REPUBLIKA E SHQIPËRISË
UNIVERSITETI POLITEKNIK I TIRANËS
FAKULTETI I TEKNOLOGJISË SË INFORMACIONIT
DEPARTAMENTI I ELEKTRONIKËS DHE TELEKOMUNIKACIONIT

EZMERINA KOTOBELLI

PËR MARJEN E GRADËS

"DOKTOR"

NË "TEKNOLOGJITË E INFORMACIONIT DHE KOMUNIKIMIT"

DREJTIMI "TELEKOMUNIKACION DHE INXHINIERI INFORMACIONI"

DISERTACION

ALGORITËM I PËRMIRËSUAR RRUGËZIMI PËR MENAXHIM EFIKAS TË DHËNASH NË WSN

Udhëheqës Shkencor

Prof. Asoc. ELMA ZANAJ

Tiranë, 2015

ALGORITËM I PËRMIRËSUAR RRUGËZIMI PËR MENAXHIM EFIKAS TË DHËNASH NË WSN

Disertacion

i paraqitur në Universitetin Politeknik të Tiranës

për marrjen e gradës

"Doktor"

në

"Teknologjitë e Informacionit dhe Komunikimit"

drejtimi Telekomunikacion dhe Inxhinieri Informacioni

nga

Znj. Ezmerina Kotobelli

2015

Disertacioni i shkruar nga

Znj. Ezmerina Kotobelli

SHPU (Master Shkencor), Universiteti Politeknik i Tiranës, Shqipëri, 2010

DIND, Universiteti Politeknik i Tiranës, Shqipëri, 2005

I aprovuar nga

_____ , Kryetari, i Jurisë së Disertacionit të Doktoraturës
_____ , Anëtarët i Jurisë së Disertacionit të Doktoraturës
_____ , Anëtarët i Jurisë së Disertacionit të Doktoraturës
_____ , Anëtarët i Jurisë së Disertacionit të Doktoraturës
_____ , Anëtarët i Jurisë së Disertacionit të Doktoraturës

I pranuar nga

_____ , Dekan, Fakulteti i Teknologjisë së Informacioni

PËRMBAJTJA

LISTA E FIGURAVE ..... **vii**

LISTA E TABELAVE ..... **ix**

ABSTRACT ..... **x**

PËRMBLEDHJE ..... **xi**

KAPITULLI 1 HYRJE **1**

1.1. Hyrje 1
1.2. Motivimi dhe qëllimi 2
1.3. Kontributi 4
1.4. Organizimi i disertacionit 5

KAPITULLI 2 RRJETAT E SENSORËVE PA TEL **6**

2.1. Nyjet e sensorëve 7
2.2. Një përshkrim i shkurtër i arkitekturës 8
2.3. Metrikat vlerësuese për një WSN 11
2.3.1. Metrikat e vlerësimit të sistemit 11
2.3.2. Metrikat e vlerësimit të nyjeve individuale 14
2.4. Standartet e shtresës fizike dhe MAC 17
2.5. Kërkesat për projektimin e algoritmave për WSN 19
2.6. Aplikimet e rrjetave të sensorëve pa tel 21
2.6.1. Klasifikimi sipas mënyrës së raportimit të të dhënave 22
2.6.2. Klasifikimi sipas fushës së përdorimit të aplikacionit 23
2.6.3. Shembuj aplikimesh 25
2.7. Përmbledhje 28

KAPITULLI 3 PROTOKOLLET E RRUGËZIMIT NË WSN **30**

3.1. Klasifikimi 30
3.1.1. Klasifikimi mbi bazën e mënyrës së funksionimit 30
3.1.2. Klasifikimi sipas mënyrës së komunikimit të nyjes me BS 30
3.1.3. Klasifikimi sipas strukturës së rrjetit 31
3.2. Protokollet ekzistuese të rrugëzimit 32
3.2.1. Protokollet e rrugëzimit data-centrik 32
3.2.2. Protokollet e rrugëzimit hierarkik 36
3.2.3. Protokollet e rrugëzimit të bazuar në vendodhje 40
3.3. Shembuj protokollesh clustering 42
3.3.1. Protokolli LEACH 43
3.3.2. Punime të tjera të ngjashme *clustering* 48
3.4. Shfrytëzimi i adresimit “virtual cord” për rrugëzim 54
3.4.1. Përshkrimi i VCP 54

3.4.2. Punime të ngjashme me VCP 62
3.5. Përmbledhje 67

KAPITULLI 4 MENAXHIMI I TË DHËNAVE NË WSN 69

4.1. Trajtimi i problemit të menaxhimit të të dhënave 69
4.2. Transmetimi i të dhënave 70
4.3. Trajtimi i WSN si baza të dhënash të shpërndara 72
4.4. Emërtimi dhe indeksimi i të dhënave 73
4.5. Tabelat hash të shpërndara 74
4.6. Ruajtja e të dhënave 76
4.6.1. Ruajtja lokale 76
4.6.2. Ruajtja jashtë rrjetit 77
4.6.3. Ruajtja brënda-rrjetit 78
4.6.4. Krahasimi analitik i tre metodave 80
4.7. Përpunimi i të dhënave 82
4.7.1. Përpunimi lokal 83
4.7.2. Përpunimi brënda-rrjetit 83
4.7.3. Përpunimi i jashtëm 84
4.8. Sistemet Peer-to-Peer 84
4.8.1. Sistemet P2P të pastrukturuara 85
4.8.2. Sistemet P2P të strukturuara 87
4.9. Përmbledhje 89

KAPITULLI 5 ALGORITËM I PËRMIRËSUAR RRUGËZIMI PËR MENAXHIM EFIKAS 92

5.1. Propozimi i algoritmit *cluster* statik 92
5.1.1. Nyjet lider statike 93
5.1.2. Bllokdiagrama e algoritmit CS 93
5.2. Propozimi i rrugëzimit VCP në rrjetin cluster 95
5.2.1. Propozimi i skemës së integruar me VCP 95
5.2.2. Një vlerësim teorik i skemës së propozuar 98
5.2.3. Bllokdiagrama e skemës së propozuar 98
5.2.4. Përmirësimi i disa problemeve që sjell VCP 100
5.3. Modelet matematikore të metodës së propozuar 102
5.3.1. Modeli radio i përdorur në algoritmin CS 103
5.3.2. Funksioni *hash* për gjenerimin e çelësave 104
5.3.3. Gjenerimi i adresave relative në kordë 104
5.3.4. Llogaritja e gjatësisë mesatare të rrugëve në skemën e propozuar 105
5.4. Përmbledhje 106

KAPITULLI 6 SIMULIME DHE VLERËSIME 107

6.1. Simulimi i rrjetit në Castalia 107
6.1.1. Struktura e simulatorit 107
6.1.2. Moduli i nyjes 108
6.1.3. Modelimi i rrjetit cluster 109
6.1.4. Modelimi i rrjetit për skemën e integruar të propozuar 112
6.2. Performanca e algoritmit CS 113

6.2.1. Përcaktimi i nyjeve heterogjene 113
6.2.2. Vlerësimi i performancës së CS kundrejt LEACH 116
6.2.3. Ndikimi i pozicionit të nyjes BS 118
6.2.4. Studimi i efektit të formave të ndryshme të zonës së ndijimit 120
6.3. Performanca e algoritmit të përmirësuar VCP 122
6.3.1. Rasti 1 122
6.3.2. Rasti 2 123
6.3.3. Rasti 3 124
6.3.4. Rasti 4 125
6.4. Përmbledhje 126
PËRFUNDIME 127
SHTOJCË – IMPLEMENTIMI I CS NË CASTALIA 129
LISTA E SHKURTIMEVE 137
LITERATURA 140

LISTA E FIGURAVE

Figura 2.1 Një rrjet tipik sensorësh wireless 6
Figura 2.2 Komponentët përbërës të nyjes së sensorit 7
Figura 2.3 Shpërndarje sensorësh për studime në agrikulturë 9
Figura 2.4 Një arkitekturë e thjeshtë WSN-je 9
Figura 2.5 Staku i protokolleve në rrjetat me sensorë 9
Figura 2.6 Integrimi i rrjetave WSN për monitorimin e ciklit të ujit 26
Figura 3.1 Protokollet e rrugëzimit sipas strukturës së rrjetit në WSN. 32
Figura 3.2 Problemi i duplikimit 33
Figura 3.3 Problemi i mbivendosjes 33
Figura 3.4 Organizimi i një rrjeti që përdor protokollin LEACH 37
Figura 3.5 Zinxhiri në PEGASIS 38
Figura 3.6 PEGASIS me zinxhirë hierarkik 39
Figura 3.7 Grupimet hierarkike në TEEN dhe APTEEN. 40
Figura 3.8 Cikli i zgjim/fjetje 45
Figura 3.9 Hierarkia e nyjeve lider të përdorur në TL-LEACH 47
Figura 3.10 (a) Bëhet CH nyja e parë kandidate që dërgon kërkesën, (b) Nyja CH aktuale dërgon kërkesa të vazhdueshme për të qëndruar si CH, (c) Konflikti i disa kërkesave për CH. 49
Figura 3.11 (a) Skema me 1 hop, (b) Skema multi-hop. 49
Figura 3.12 Nyjet me pesha të ndryshme në hierakinë e DWEHC 53
Figura 3.13 Hierarkia e nyjeve në SHPER. 54
Figura 3.14 Organizimi i VCP-së 55
Figura 3.15 Procesi i bashkimit të gjashtë nyjeve në kordën virtuale. 58
Figura 3.16 Veprimi i krijimit të një nyje virtuale 58
Figura 3.17 Rrugëzimin greedy duke shfrytëzuar informacionin e fqinjësisë lokale dhe kordën virtuale 60
Figura 3.18 Rrugëzimi në rastin e një dështimi të nyjes 0.47 62
Figura 3.19 Rrugëzimi në GPSR 64
Figura 4.1 Ruajtja lokale: Informacioni DATA ruhet lokalisht në çdo nyje. 77
Figura 4.2 Ruajtja e jashtme: të dhënat e ndijuara transmetohen drejt nyjes sink.. 78
Figura 4.3 Ruajtja brënda-rrjetit: Informacioni Data ruhet në ato nyje të rrjetit që lidhen me të dhënën. 79
Figura 4.4 Një krahasim i kompleksitetit të tre mënyrave të ruajtjes në termat e overhead-it të lookup-it (boshti y) dhe overhead-it të ruajtjes (boshti x). 82
Figura 4.5 Rrjeti P2P i pastrukturuar 85
Figura 4.6 a) Arkitektura Napster, b) Arkitektura Gnutella. 86
Figura 4.7 Arkitektura Fasttrack 87
Figura 4.8 Rrjeti P2P i strukturuar 88
Figura 4.9 Hapësira e adresimit rrethore dhe lookup-i bazë në Chord 89

Figura 5.1 Bllokdiagrama e algoritmit CS 94
Figura 5.2 Shembull rrjeti sipas VCP. 96
Figura 5.3 Formimi i grupimeve duke përzgjedhur paraprakisht nyjet CH. 96
Figura 5.4 Shembull i implementimit të kordës virtuale tek modeli i propozuar. 97
Figura 5.5 Diagrama e funksionit aktivizues për operimin VCP vetëm në nyjet CH. 97
Figura 5.6 Bllokdiagrama e skemës së integruar. 99
Figura 5.7 a) Një nyje që kërkon të lidhet në kordë komunikon me dy nyje fundore. b) Lidhja e nyjeve sipas VCP 101
Figura 5.8 Modeli i shpenzimit të energjisë në pjesën e radios. 103
Figura 6.1 Rrjeti i ngritur mbi Castalia 108
Figura 6.2 Nyja në Castalia 109
Figura 6.3 Një model rrjeti me 81 nyje i ndarë në 9 grupime 110
Figura 6.4 Modelimi i WSN në tri forma të ndryshme të zonës së studimit: kuadratike (lart majtas), trekëndore (lart djathtas) dhe rrethore (poshtë) 110
Figura 6.5 Rotacioni i nyjeve CH nëpër raunde sipas algoritmit LEACH 111
Figura 6.6 Nyje lider të njëjta në raunde të ndryshme me algoritmin e modifikuar 111
Figura 6.7 Ndërtimi i rrjetit duke integruar VCP me CS. 113
Figura 6.8 Raporti i shpenzimit të energjisë së nyjes lider kundrejt asaj të nyjes së thjeshtë 114
Figura 6.9 Jetëgjatësia e algoritmit CS e matur në raunde 114
Figura 6.10 Jetëgjatësia e rrjetit sipas CS me nyje homogjene. 115
Figura 6.11 Jetëgjatësia e rrjetit sipas CS me 2 nivele energjie të nyjeve 116
Figura 6.12 Humbjet e paketave për tre madhësi të ndryshme rrjeti. 117
Figura 6.13 Paraqitja e interferences midis nyjeve 118
Figura 6.14 Stacioni bazë: në skaj të zonës (majtas) dhe në qendër të zonës (djathtas). 119
Figura 6.15 Jetëgjatësia e llogaritur për dy pozicione të ndryshme të nyjes BS. 119
Figura 6.16 Raporti i humbjeve të paketave tek nyjet CH në zonën kuadratike. 120
Figura 6.17 Raporti i humbjeve të paketave tek nyjet CH në zonën trekëndore. 120
Figura 6.18 Raporti i humbjeve të paketave tek nyjet CH në zonën rrethore 121
Figura 6.19 Jetëgjatësia në zonën rrethore 121
Figura 6.20 Lidhja e nyjeve në rrjetin me ridërgim paketash 123
Figura 6.21 Korda e krijuar me shfrytëzimin e parametrit RSSI 124

LISTA E TABELAVE

Tabela 3.1 Parametrat fillestarë për procesin e bashkimit 56
Tabela 3.2 Krahasimi i varianteve të ndryshme të protokollit LEACH 67
Tabela 6.1 Parametrat e rrjetit 112
Tabela 6.2 Pa ridërgim paketash 122
Tabela 6.3 Me ridërgim paketash 122
Tabela 6.4 Interval i zbutur (i njëtrajtshëm) 123
Tabela 6.5 Renditje e rekordeve sipas RSSI 124
Tabela 6.6 Timer rastësor për mesazhet hello 125
Tabela 6.7 Pa timer rastësor për mesazhet hello 125

ABSTRACT

Nowadays the development of Wireless Sensor Networks (WSN) it is very rapid, because wireless communications has found great use in important areas, such as health care, environmental protection, military applications, etc. Studding WSN includes many aspects such as: routing protocols, managament of data in these nets, security, evaluation of energy, etc.

WSN is dealing with very large uses and data management is very important, especially in applications for environmental monitoring, where gathering and forwarding the information are required to be in the most efficient manner. The resource constraints of WSN makes data management in them different from that of other networks. The proposed models for MANET networks were unsuitable for WSN. New routing schemes are required for efficient data management in these nets, especially when their size is increasing. VCP (Virtual Cord Protocol) is an efficient routing scheme and also provides ways of managing data such as identification, preservation and research data. VCP routing is based on the virtual position of the nodes. Alternatively hierarchical use of nodes by grouping them in clusters is widely followed from the research community to achieve the objective of scalability at networks and also to implement energy efficient routing. Clustering algorithms are numerous and differ depending on the network application. As one of the most used models in clustering was chosen to study the LEACH algorithm, which organize network in the ways that leader nodes and the size of clusters change continuously.

In this work we propose an improved routing version of the VCP on cluster network built by Static Cluster algorithm (CS). The proposed algorithm it is suggested to be used especially in applications such as environmental monitoring, where the accumulation of large amounts of data has to be managed and where the network lifetime takes a special significance. The CS algorithm is based on the model of LEACH, adapting it for VCP routing. The CS algorithm forms stable clusters while keeping their leader nodes fixed. VCP routing is only performed between leader nodes, while simple nodes route data as CS algorithm. The simulation results demonstrated that the routing is improved, data traffic is reducing and an easy lookup of data is achieved.

Keywords*: Wireless Sensor Networks (WSN), algorithm, LEACH, VCP, CS, routing, data management, leader node.*

PËRMBLEDHJE

Zhvillimi i rrjetave me sensorë wireless (WSN), në ditët e sotme është shumë i vrullshëm, sepse komunikimet wireless kanë gjetur një përdorim shumë të madh në fusha të rëndësishme, si kujdesi për shëndetin, mbrojtja e mjedisit, zbatime në ushtri, etj. Studimi i rrjetave me sensorë wireless përfshin shumë drejtime, si: protokollet e rrugëzimit, menaxhimi i të dhënave në këto rrjeta, siguria, vlerësimi i aspekteve energjitike, etj.

Duke ditur përdorimet shumë të mëdha që kanë WSN në ditët e sotme, menaxhimi i të dhënave është shumë i rëndësishëm, veçanërisht në zbatimet për monitorimin e mjedisit, ku mbledhja e informacionit dhe përcjellja e tij duhen bërë në mënyrë sa më efikase. Kufizimet burimore të rrjetit të sensorëve wireless bën që menaxhimi i të dhënave në këtë rrjet të dallojë nga ai i rrjetave të tjera. Modelet e propozuara për rrjetat MANET ishin të papërshtatshme për WSN. Skema të reja rrugëzimi kërkohen për menaxhimin efikas të të dhënave në këto rrjeta, veçanërisht kur madhësia e tyre është në rritje. VCP (Virtual Cord Protocol) ofron një skemë efikase rrugëzimi dhe gjithashtu siguron mënyra të menaxhimit të të dhënave siç janë identifikimi, ruajtja dhe kërkimi i të dhënave. Rrugëzimi në VCP bazohet në pozicionet virtuale të nyjeve. Nga ana tjetër përdorimi hierarkik i nyjeve duke i grupuar ato në cluster-a është ndjekur gjerësisht nga komuniteti i kërkuesve për të arritur objektivin e shkallëzueshmërisë në rrjet si dhe për të realizuar rrugëzime efikase në energji. Algoritmat clustering janë të shumtë dhe dallojnë në varësi të aplikimit të rrjetit. Si një nga modelet më të përdorura clustering është zgjedhur studimi i algoritmit LEACH, i cili e organizon rrjetin në grupime ku nyjet lider të të cilëve, si dhe madhësia e tyre, ndryshojnë vazhdimisht.

Në këtë punim propozohet një version i përmirësuar rrugëzimi të VCP mbi rrjetin cluster të ndërtuar përmes algoritmit Cluster Statik (CS). Algoritmi i propozuar sygjerohet të përdoret sidomos në aplikime të tilla si monitorimi i mjedisit, ku grumbullimi i sasive të mëdha të të dhënave duhet menaxhuar dhe ku jetëgjatësia e rrjetit merr një rëndësi të veçantë. CS është mbështetur në modelin e LEACH, duke e përshtatur atë për rrugëzimin VCP. Ai formon grupime të qëndrueshme duke i mbajtur fikse nyjet lider të tyre. Rrugëzimi sipas VCP kryhet vetëm midis nyjeve lider, ndërkohë nyjet e thjeshta rrugëzojnë sipas skemës që ofron CS. Rezultatet e simulimit tregojnë një rrugëzim të përmirësuar, një reduktim të trafikut të të dhënave dhe një lehtësim të procesit të kërkimit të tyre.

Fjalët kyçe: *Rrjetat me sensorë wireless (WSN), algoritëm, LEACH, VCP, CS, rrugëzim, menaxhim të dhënash, nyje lider.*

KAPITULLI 1

HYRJE

Në këtë kapitull jepen në terma të përgjithshëm disa nga elementët kryesorë të këtij punimi. Jepet një tablo e përgjithshme e shtrimit teorik të problemit dhe e rezultateve me të cilat lidhet puna konkrete e zhvilluar. Paraqiten motivimi, objektivat dhe kontributi i punimit si dhe në fund tregohet dhe organizimi i disertacionit në kapituj.

1.1. Hyrje

Teknologjia e gjysëmpërçuesve solli një evolucion në botën e elektronikës. Kostoja për të fabrikuar një element të dhënë logjik (proçesor, memorje, periferikë) ka ardhur duke u zvogëluar në dekadat e fundit. Në veçanti, zhvillimi i teknologjive të reja, siç është teknika gjerësisht e përdorur *System-on-a-chip*, ka sjellë prodhimin e pajisjeve në përmasa të vogla të cilat mund të kryejnë shumë funksione. Një shembull i rëndësishëm i këtyre pajisjeve kompakte është një nyje me sensor, që përveç aftësive llogaritëse tradicionale, ka dhe aftësi ndijimi e komunikimi. Këto nyje paraqesin përmirësime të rëndësishme të sensorëve tradicionalë [1]. Nyjet e sensorëve janë të afta që jo vetëm të masin fenomenin fizik, por edhe të përpunojnë, të ruajnë dhe të shpërndajnë këto matje. Bashkësitë e nyjeve me sensorë që bashkëpunojnë dhe ndërtojnë një rrjet *ad hoc* duke përdorur komunikimin pa tel quhen rrjeta të sensorëve pa tel, shkurt WSN (Wireless Sensor Networks). Zakonisht nyjet sensor vendosen në mënyrë të rastësishme brenda zonës së studimit ose në afërsi të saj. Këto nyje sensor kryejnë një pjesë të rëndësishme të përpunimit të sinjalit, llogaritjes, si dhe të vetë-konfigurimit për të ndërtuar rrjeta të fuqishme, të shkallëzueshme dhe jetëgjatë. Prandaj WSN-të paraqesin mundësi kosto-efektive, praktike dhe aftësi, për të mbështetur shumë aplikacione të botës reale.

Aplikacione të ndryshme që lidhen me monitorimin e mjedisit kanë si objekt kryesor mbledhjen e sa më shumë të dhënave që e karakterizojnë mjedisin që është nën studim. Prandaj, menaxhimi i këtyre të dhënave mbetet një detyrë thelbësore e këtyre sistemeve monitoruese, veçanërisht kur madhësia e rrjetit vazhdon të rritet. WSN janë përdorur shumë mirë në aplikime të tilla, sepse përshtaten me kërkesa të tilla si: kosto e ulët, infrastrukturë e thjeshtë, shkallëzueshmëri dhe përdorim efikas të teknikave rrugëzuese. Mbledhja e të dhënave nga WSN si dhe kufizimet që kanë nga burimet e ushqimit të nyjeve sensor bëjnë të dallojë menaxhimi i të dhënave sensoriale nga ai i rrjetave të tjera të komunikimit [2].

Protokollet standarde të rrugëzimit mbështeten në teknika që nuk kanë patur si qëllim përdorimin efikas të burimeve siç e kërkojnë rrjetat me sensorë. Kombinimi i tabelave të

shpërndara *hash* (DHT – Distributed Hash Table) për të ruajtur dhe marrë të dhëna në rrjet me rrugëzimin e bazuar në standartin *peer-to-peer* çoi në krijimin e teknikave bazë të rrugëzimit në koordinata virtuale [3]. Shumica e këtyre algoritmeve janë të komplikuara dhe nuk garantojnë shpërndarjen e paketave në rrugën më të shkurtër. Për më tepër, vetëm disa prej tyre janë zbatuar praktikisht në nyjet sensor. Posaçërisht për rrjetat WSN, në lidhje me këtë problem, është projektuar VCP [4], një protokoll rrugëzimi i bazuar në pozicionet virtuale që gjithashtu ofron mënyra për menaxhimin e të dhënave të tilla si: identifikimi, ruajtja, dhe *lookup*-i i të dhënave.

Propozimi ynë ka si qëllim kryesor rritjen e aplikueshmërisë së algoritmit VCP në mënyrë që zbatimi i tij të mos ngelet vetëm tek modelet e rrjetave *peer-to-peer*, por të përdoret edhe tek rrjetat me grupime, nyjet e të cilave mbajnë pozicione hierarkike në rrjet. Për këtë qëllim, synohet të integrohen teknika *peer-to-peer* sipas të cilës vepron algoritmi VCP me teknikën e grupimeve në *cluster*-a, duke trashëguar të gjitha të mirat e VCP.

Studimi i organizimit të nyjeve sensor në *cluster*-a është ndjekur gjerësisht nga kërkuesit për të arritur objektivin e shkallëzueshmërisë dhe për mirëmbajtjen efikase të energjisë në rrjet. Çdo *cluster* do të ketë një lider, shpesh të referuar si koka e *cluster*-it (*cluster-head*, CH). Një CH mund të zgjidhet nga sensorët e një grupimi ose të paracaktohet nga projektuesi i rrjetit. Një CH mund të jetë thjesht një nga nyjet sensorë ose një nyje e cila është e pasur me burime. Anëtarësimi në grup mund të jetë fiks ose i ndryshueshëm. Nyjet CH mund të formojnë një rrjet të nivelit të dytë ose mund vetëm të drejtojnë të dhënat për tek palët e interesuara, për shembull një stacion bazë apo një qendër komanduese.

Për organizimin e rrjetit me grupime ekzistojnë një mori algoritmash. Në këtë punim, jemi mbështetur tek LEACH për krijimin e një algoritmi të ri *clustering* për të krijuar clusterat e rrjetit. LEACH është i thjeshtë në implementim dhe shfaq një kompleksitet të ulët në organizimin e grupeve, por mbështetet në disa supozime që e kufizojnë.

Skema e propozuar kombinon VCP me algoritmin e ri *clustering* duke realizuar në këtë mënyrë një rrugëzim efikas tek nyjet lider. Gjatë implementimit të skemës së propozuar në simulator kemi evidentuar disa probleme që lidhen me algoritmin VCP, si për shembull formimi i lidhjeve jo optimale në kordë në situata specifike si dhe kushte kongjestioni si rezultat i mesazheve sinjalizuese për formimin e kordës virtuale tek nyjet lider. Kemi propozuar disa zgjidhje duke e përmirësuar më tej skemën e propozuar. Rezultatet e simulimeve tregojnë një performancë më të mirë të skemës së propozuar kundrejt algoritmave standart në të cilën është mbështetur, në lidhje me reduktimin e humbjes së paketave dhe të ritransmetimeve për këto paketa të humbura dhe si rrjedhojë në uljen e trafikut të paketave në rrjet.

1.2. Motivimi dhe qëllimi

Rrjetat WSN mbledhin të dhëna, ndaj përpunimi dhe përcjellja e këtyre të dhënave në mënyrë efikase është mjaft e rëndësishme. Menaxhimi efikas i të dhënave në WSN kërkon skema dhe

algoritme të reja. Kjo dhe dëshira për të punuar me rrugëzimin na motivoi për të gjurmuar teknikat e ndryshme të rrugëzimit efikas në WSN.

Konkluzionet e shumta që janë nxjerrë nga protokollet e përdorura gjërësisht për Internetin mund të përdoren për të ndërtuar algoritmet e rrjetave me sensorë. Rreth viteve 2000 e më pas janë projektuar dhe zhvilluar një numër shumë i madh i sistemeve të shpërndara dhe të vetë-organizuara P2P (Peer-To-Peer). Ndarja e të dhënave midis përdoruesve (peers), të cilët kanë të drejta të barabarta, është aplikimi kryesor i këtyre sistemeve. Në fillim sistemet P2P kanë përdorur një server qëndror për të lokalizuar të dhënat, i cili ka të metën që sistemi vuan nga një pikë e vetme qëndrore e dështimit. Gjithashtu sistemet P2P kanë përdorur teknikën *flooding*, për të lokalizuar të dhënat e cila ka të metën që shkallëzueshmëria e këtyre sistemeve është e keqe. Qysh atëherë janë arritur përparime të mëtejshme dhe teknika të reja kanë dalë në pah. Mbështetja në konceptin e indeksimit të shpërndarë është karakteristika kryesore e këtyre teknikave të reja. Një nga idetë kryesore ishte përdorimi i tabelave hash të shpërndara (DHT) që i lidhin nyjet me të dhënat, kështu gjetja e një nyje që ka një të dhënë specifike do jetë një detyrë e lehtë. Për shkak të karakteristikave specifike të WSN, si burime mjaft të limituara në termat e jetëgjatësise së baterisë, fuqisë llogaritëse dhe aftësive të komunikimit, nevojiten shumë skemat eficiente dhe të shkallëzueshme të menaxhimit e të rrugëzimit të të dhënave.

Ka disa të përbashkëta midis WSN dhe metodave tipike P2P që kanë motivuar në punimin tonë përdorimin e teknikës *peer-to-peer* për menaxhimin efikas të të dhënave në WSN. Duke patur parasysh se me nyje i referohemi peer-it në sistemet P2P dhe nyjes së sensorit në rrjetat e sensorëve këto të përbashkëta janë:

- *Përdorimi i përbashkët i burimeve.* Brenda një grupi nyjesh, secila nyje përveç shfrytëzimit të burimeve të veta mund të shfrytëzojë dhe burimet e nyjeve të tjera, sidomos në funksionet e ruajtjes dhe të llogaritjes.
- *Arkitekturat e decentralizuara.* Në të tilla arkitektura sistemet nuk e njohin nocionin e koordinimit global, që do të thotë nyjet bashkëpunojnë lokalisht.
- *Lidhje të përkohshme.* Nyjet në sistemet P2P në mënyrë frekuente shkëputen si rezultat i lidhjes së dobët ose i përdoruesve që largohen nga sistemi. Në WSN nyjet dështojnë për shkaqe të ndryshme si për shembull shkatërrimi fizik i nyjeve, shterimi i energjisë ose gabimet e linkut të komunikimit.
- *Të drejta dhe funksione të njëjta.* Nyjet janë partnerë të barabartë me funksionalitete simetrike. Çdo nyje është plotësisht autonome në lidhje me burimet e veta.
- *Menaxhimi i identitetit.* ID-ja e nyjes zakonisht ndryshon kështu që nyja nuk është vazhdimisht e arritshme në të njëjtën adresë. Meqenëse lidhjet janë të përkohshme, nyjeve u caktohet dinamikisht një ID e re çdo herë që lidhen në rrjet.
- *Rrugëzimi dhe përcjellja e mesazheve.* Komunikimi drejtohet tërësisht nga nyjet që operojnë në nivelin lokal. Zakonisht komunikimi në rrjet përfshin prezencën e një mekanizmi përcjelljeje, për shembull nyjet çojnë mesazhe për llogari të nyjeve të tjera.

Përveç këtyre ngjashmërive ka edhe diferenca që duhen patur kujdes. Për shembull, nyjet sensorë zakonisht kanë burime mjaft të limituara llogaritëse, kujtese dhe energjie. Në dallim

peer-et në sistemet P2P janë kompjutera që kanë aftësi llogaritjeje dhe burime memorje të mjaftueshme dhe furnizim me energji të pandërprerë. Një tjetër diferencë e rëndësishme është veçimi i rrjetave fizik dhe llogjik, që komplikon përdorimin e koncepteve P2P në WSN.
Kohët e fundit grupimi i nyjeve në *cluster*-a po merr hov të madh në botën e kërkimit meqenëse rrjetat po bëhen gjithnjë e më të mëdha ndaj karakteristika e shkallëzueshmërisë duhet përmirësuar shumë. Ndaj edhe qëllimi ynë ishte që teknikën peer-to-peer ta përdornim tek rrjetat WSN me *cluster*-a. Gjithashtu ndarja e rrjetit në grupime ka rezultuar një metodë efikase në shpërndarjen e shpenzimit të energjisë e cila mund të neutralizojë diferencën burimore që kanë WSN me P2P. Përsa i takon përdorimit të shtresave llogjike, zgjedhja e një metode të thjeshtë *cluster* dhe konceptimi i rrjetit me dy shtresa nyjesh të pavaruara, ka lehtësuar implementimin [5]. Skema jonë brenda grupimit funksionon si *clustering* dhe jashtë grupimit funksionon si VCP duke i konsideruar nyjet lider si një shtresë P2P e rrjetit, e pavarur nga shtresa e nyjeve anëtare.

1.3. Kontributi

Kontributi kryesor i këtij punimi është propozimi i një skeme të re hibride që ofron rrugëzim optimal të dhënash, mundëson ruajtje dhe kërkim efikas të tyre dhe si rrjedhojë ul trafikun e paketave. Ky kontribut vjen si rezultat i përdorimit dhe i përmirësimit të algoritmit VCP në një rrjet sensorësh me clustera.
Kontribut tjetër i punimit është dhe ndërtimi i një algoritmi të ri *clustering* i bazuar në modelin LEACH, i cili është quajtur algoritëm *Cluster* Statik. Ky algoritëm e organizon rrjetin në grupime me numër konstant nyjesh dhe fikson procesin e zgjedhjes së nyjeve lider. Nyjet lider këtu janë të paracaktuara që në fillim dhe grupimet janë të qëndrueshme ndryshe nga protokolli LEACH që përdor rotacion të nyjeve CH ku numri dhe madhësia e grupeve ndryshon vazhdimisht. Algoritmi CS shikohet si një përshtatje e LEACH, për tu zbatuar në rrjeta statike të monitorimit mjedisor në aplikime të tilla ku nyjet vendosen në pozicione të njohura në një fushë studimi dhe nyjet CH parapërzgjidhen në mënyrë që të jetojnë sa më gjatë. Meqenëse aplikimet e monitorimit mjedisor shquhen për një numër të madh nyjesh, skema e propozuar jep si kontribut menaxhimin e të dhënave, përmes integrimit të një moduli VCP në algoritmin CS, që realizon rrugëzim P2P të dhënash midis nyjeve CH. Bazuar në një gamë të paracaktuar të pozicioneve, skema e propozuar buron pozicionet relative në nyjet lider pa përmbytur rrjetin dhe pa marrë parasysh vendndodhjen fizike të tyre. Pra skema e re nuk kërkon që nyjet të kenë një identitet global - në të vërtetë një identitet lokal është i mjaftueshëm. Duke përdorur vetëm informacionin mbi fqinjët fizikë, skema e propozuar garanton shpërndarjen e paketave në mes çdo dy nyjeve lider që bashkohen në kordë duke përdorur algoritmin e rrugëzimit të VCP. Integrimi i VCP tek algoritmi i përshtatur LEACH bën që që të zgjerohet aplikimi i tij jo vetëm tek rrjetat peer-to-peer por edhe tek rrjetat *cluster*. Kjo përmirëson më tej shkallëzueshmërinë e VCP dhe rrit funksionalitetet e rrjetit *cluster*, sepse trashëgon atributet e algoritmit VCP.

1.4. Organizimi i disertacionit

Ky punim është i ndarë në 6 kapituj, përfundimet, literatura dhe shtojca.
Në *kapitullin e parë*, jepet një hyrje mbi punimin, aspektet kryesore ku ndalet punimi, si dhe kontributi i propozimit bashkë me përmbajtjen.
Njohuritë e përgjithshme të WSN, duke u fokusuar në karakteristikat e arkitekturës dhe aplikimet e tyre jepen në *kapitullin e dytë*. Janë dhënë lista e metrikave vlerësuese, e standardeve të përdorura në këto rrjeta si dhe e kërkesave që duhen plotësuar për projektimin e një algoritmi për WSN. Janë trajtuar kriteret e ndryshme të klasifikimit të aplikimeve, zgjedhja e të cilit ka rëndësi në ndërtimin e arkitekturës së rrjetit.
Në *kapitullin e tretë* jepen klasifikimet e ndryshme të protokolleve rrugëzuese që lidhen me grupimin e nyjeve në WSN si dhe me përdorimin e vendodhjes së nyjeve për menaxhim efikas të të dhënave. Janë trajtuar në mënyrë të detajuar grupet e klasifikimit që preken nga skema e propozuar si: protokollet data-centrike, protokollet hierarkikë *clustering* dhe protokollet e rrugëzimit të bazuar në vendodhjen e nyjes. Është prezantuar LEACH, ku është bazuar algoritmi CS. Gjithashtu jepet një përshkrim i detajuar i VCP, i cili përdoret për rrugëzimin midis nyjeve lider në skemën e propozuar. Në këtë kapitull jepet një pasqyrë mbi punët e deritanishme që lidhen me LEACH dhe VCP dhe si rrjedhojë dhe me skemën e propozuar.
Në *kapitullin e katërt* trajtohen çështjet e menaxhimit të të dhënave në WSN ku analizohet problemi i menaxhimit efikas në disa aspekte. Një nga aspektet është dhe teknika e kërkimit të të dhënave (*lookup*) ku bëhet edhe një krahasim i performancës midis teknikave të ndryshme *lookup* të të dhënave dhe kërkesat dhe implikimet e përdorura nga çdo teknikë. Jepen disa detaje të WSN dhe sistemeve P2P, ngjashmëritë dhe dallimet midis tyre, problemet që shfaqin. Ky krahasim është parë si një aspekt për zgjidhjen e problemit të menaxhimit të të dhënave në WSN në mënyrë sa më efikase.
Në *kapitullin e pestë* trajtohet konceptimi i modelit që propozohet, i ndarë në dy faza. Në fazën e parë jepen detajet e ndërtimit të algoritmit CS që shërben për formimin e e grupimeve të qëndrueshme në rrjet. Në fazën e dytë jepet integrimi i VCP me CS. Në këtë fazë janë paraqitur edhe disa probleme të evidentuara gjatë simulimit dhe janë ofruar disa përmirësime që lidhen me optimizimin e kordës dhe reduktimin e paketave të humbura në rrugëzimin VCP.
Në *kapitullin gjashtë* jepen simulimet e bëra dhe vlerësimet për secilën fazë të propozimit. Është krahasuar performanca e algoritmit CS me atë LEACH për disa parametra, si: jetëgjatësia, humbja e paketave dhe interferenca midis grupimeve. Me anë të eksperimenteve është studiuar efekti i pozicionit të stacionit bazë kundrejt fushës së sensorëve dhe format e ndryshme të zonës së studimit tek të dy algoritmet. Pastaj është simuluar skema e integruar me VCP dhe është vlerësuar performanca e saj kundrejt algoritmit standart VCP.
Punimi përfundon me konkluzionet dhe disa tendenca të punimit në të ardhmen.

KAPITULLI 2

RRJETAT E SENSORËVE PA TEL

Zhvillimet teknologjike kanë bërë të mundur projektimin dhe implementimin e gjeneratave të reja të nyjeve të rrjetave me sensorë, duke i paketuar ato në paisje të vogla që kushtojnë pak, por me aftësi të mira llogaritëse dhe komunikim pa tel. Kjo klasë e re rrjetash, të emërtuara me emrin rrjetat e sensorëve pa tel (Wireless Sensor Networks), shkurt WSN, kanë treguar potencial dhe premisa të mëdha me një rreze aplikimesh në fusha të reja të pa imagjinuar më parë. Funksioni kryesor i këtyre rrjetave është kampionimi i të dhënave të mjedisit rrethues duke përdorur sensorët. Në fillimet e tyre, këto rrjeta konsistonin në një numër të vogël sensorësh të lidhur në një nyje kontrolli qëndrore. Sot, WSN-të përbëhen nga një numër shumë i madh nyjesh dhe mund të mos kenë nevojë për një nyje qendrore.

Për nga natyra e tyre WSN-të fokusohen tek të dhënat, kështu që mund të trajtohen si databaza të shpërndara që marrin një fluks të vazhdueshëm të dhënash nga bota fizike. Vetia e tyre kryesore qëndron në aftësinë për të shpërndarë një numër të madh nyjesh sensorë që grupohen dhe konfigurojnë veten. Këto nyje bashkëpunojnë për të ngritur rrjetin duke përdorur komunikimin me kanal radio. Normalisht, kur nyja detekton një ngjarje, ajo e dërgon këtë ngjarje drejt stacionit bazë, që zakonisht ndodhet jashtë rrjetit. Stacioni bazë mund të jetë një nyje statike ose dinamike, e aftë për të lidhur rrjetin e sensorëve me një infrastrukturë komunikimi ekzistuese ose dhe me Internetin ku mund të aksesohen të dhënat e raportuara. Figura 2.1 tregon një rrjet të zakonshëm WSN në të cilin janë shpërndarë nëntë nyje sensorësh. Kur një nyje zbulon një ngjarje kjo e dërgon informacionin e dedektuar (ndoshta me *multi-hop*) në një stacion bazë, i cili zakonisht gjendet jashtë rrjetit.

Ndryshe nga sistemet tradicionalë të kablluar, kostot e shpërndarjes në WSN janë minimale. Në vënd që të shpërndanin qindra metra teli të rrugëzuar nëpërmjet një kanali të mbrojtur, instaluesit thjesht do t'u duhet të vendosin një pajisje me madhësi sa një 50 lekëshe që përfaqëson çdo sensor. Rrjeti zgjerohet lehtësisht duke shtuar më tepër pajisje dhe s'ka nevojë për rikonfigurim tërësor, pasi shtimi i nyjeve të reja në rrjet kërkon vetëm një rikonfigurim lokal pa sjellë ndonjë kompleksitet shtesë.

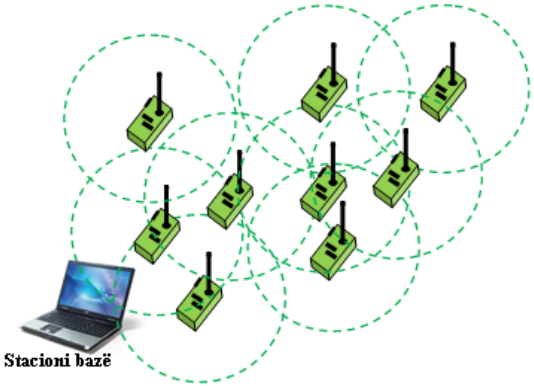

Figura 2.1 Një rrjet tipik sensorësh wireless

2.1. Nyjet e sensorëve

Zhvillimet teknologjike kanë bërë që fabrikimi i sensorëve mjaft të vegjël dhe me kosto të ulët të jetë i lehtë teknikisht dhe mjaft ekonomik. Përparime të mëdha janë bërë në teknologjinë e sensorëve dhe shumë të tjera janë në zhvillim e sipër. Një sensor është një pajisje që konverton një fenomen fizik në një sinjal elektrik. Natyra e fenomenit që do të monitorohet përcakton dhe llojin e sensorit të kërkuar. Nga ana tjetër, tipi i sensorit përcakton tipin e të dhënës që do merret ose matet. Për më tepër, për të njëjtin fenomen, ndryshimi i saktësisë së kërkuar mund të ketë efekt në madhësinë e të dhënës së prodhuar. Kështu, sensorët paraqesin pjesë të ndërfaqes ndërmjet botës fizike dhe botës së pajisjeve elektrike, siç janë kompjuterat. Pjesa tjetër e kësaj ndërfaqeje paraqitet nga ekzekutuesit që konvertojnë sinjalet elektrike në një fenomen fizik.

Një nyje sensori zakonisht përbëhet nga më shumë se një lloj sensori për të kampionuar fenomenin fizik. Këto nyje kanë aftësi komunikimi dhe ndijimi përveç aftësive tradicionale llogaritëse dhe janë një përmirësim i sensorëve tradicional. Nyjet sensorë janë të afta jo vetëm të masin fenomenin fizik, por edhe ta përpunojnë, ruajnë dhe shpërndajnë informacionin e matjes. Modelet për këto pajisje përfshijnë gjurmimin në kohë reale, monitorimin e kushteve mjedisore, llogaritjen e mjediseve gjithëpërfshirëse, monitorimin lokal shëndetsor, etj.

Ndryshe nga pajisjet tradicionale pa tel, nyjet sensorë pa tel nuk kanë nevojë të komunikojnë drejtpërdrejt me stacionin bazë më të afërt, por vetëm me nyjet e tyre lokale. Në vend që të mbështeten në një infrastrukturë të parapërcaktuar, çdo sensor individualisht bën pjesë në mënyrë të pavarur në përcaktimin e infrastrukturës së përgjithshme.

Megjithëse nyjet sensor kanë karakteristika tërheqëse, siç janë çmimi dhe kompaktësia, përsëri aftësitë e tyre mbeten shumë të limituara. Në disa raste nyjet e sensorëve nuk kanë as një identifikues unik. Megjithatë, për të përfituar vërtet nga këto rrjeta nyjesh, këto nyje duhen të operojnë në një mënyrë bashkëpunuese, të shpërndarë dhe të vetë-organizuar.

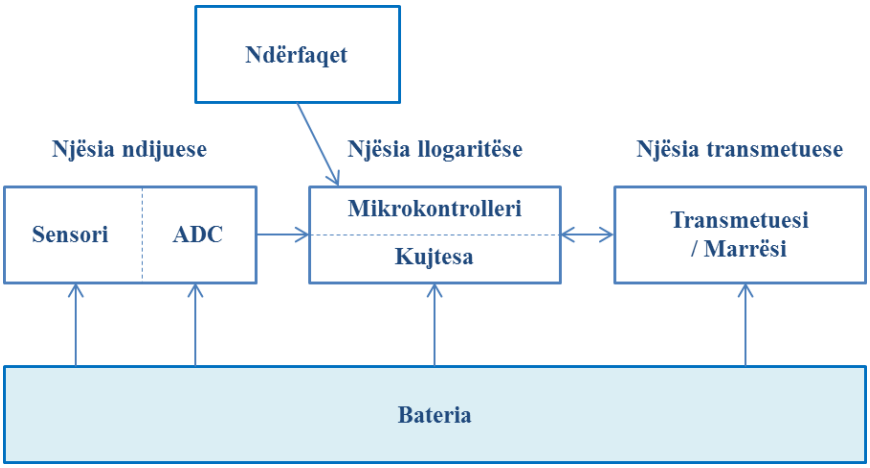

Figura 2.2 Komponentët përbërës të nyjes së sensorit

Figura 2.2 përshkruan komponentët bazë të një nyjeje sensori të zakonshme që janë: njësia ndijuese, llogaritëse, e transmetuesit dhe e fuqisë. Përveç këtyre komponentëve nyja sensor

mund të ketë edhe komponente të tjera shtesë në varësi të aplikacionit. Njësia ndijuese ndahet në dy nënnjësi: sensori dhe konvertuesi analog-numerik (ADC). Tek njësia llogaritëse mikrokontrolleri shoqërohet gjithmonë me një sasi të vogël kujtese. Njësia e fuqisë që përfaqësohet nga bateria ka një rëndësi të veçantë përsa i takon jetëgjatësisë së një nyjeje.
Më poshtë jepet një përshkrim i përgjithshëm i karakteristikave të nyjeve të sensorëve:

- *Llogaritja* - Nyjet e WSN zakonisht përdorin mikrokontrollera të vegjël, me fuqi dhe shpejtësi të ulët (për shembull: Atmel Atmega128) që mund të ofrojë veprime llogaritëse bazë.
- *Ruajtja* - Normalisht mikrokontrolleri punon me pak Kbyte RAM. Programet ruhen në disa qindra Kbyte ose pak Mbyte memorje flash, në vënd të hard-disqeve të përdorur në kompjutera normal. Ndonjëhere përfshihet pak Kbyte EEPROM që përdoret për konfigurimin.
- *Komunikimi* - Aftësitë e komunikimit kufizohen për distanca të shkurtra dhe lidhje të dobta. Zakonisht përdoret një radio me fuqi të ulët (për shembull: një Chipcon CC1000 që vepron në bandën ISM 433-915MHz). Ndonjëhere nyjet ofrojnë vetëm *broadcast*-in si model komunikimi.
- *Ushqimi me energji* - Nyjet sensor kanë si burim energjie të vetëm baterinë. Meqënëse energjia përdoret më së shumti për komunikimin ndërmjet nyjeve, kjo përbën shqetësim në lidhje me rrugëzimin e të dhënave në rrjet.
- *Ndërfaqet* - Zakonisht nyjet e sensorëve përfshijnë ndërfaqe të ndryshme për të lidhur sensorët dhe ekzekutesit. Ndërfaqet mund të jenë seriale (UART, I2C) ose paralele (GPIO). Shumica e mikrokontrollerave që përdoren në nyjet e sensorëve gjithashtu përfshijnë hyrje analoge që lidhen me një ADC të brëndshëm. Këto ndërfaqe mund të përdoren për të lidhur sensorët analog.
- *Sensorët* - Sensorë të ndryshëm të fuqisë së ulët vendosen në nyjen e sensorit ose lidhen duke përdorur ndërfaqet. Lloje të ndryshme sensorësh mund të jenë ndijues të: temperaturës, dritës, lagështisë dhe të presionit.

2.2. Një përshkrim i shkurtër i arkitekturës

Në arkitektura të zakonshme të WSN-ve nyjet sensor janë të shpërndarë në mënyrë të dendur dhe kur një informacion i dobishëm shfaqet, të dhënat dërgohen drejt një stacioni qëndror. Një shembull rrjeti tregohet në Fig. 2.3. Këtu paraqitet një instalim i mundshëm i një WSN-je në një fushë bujqësore, i cili mund të përdoret për qëllime studimi për agrikulturën (një fushë aktive e kërkimit aplikativ). Qindra nyje të shpërndara në një fushë të grupuara së bashku, ndërtojnë një rrjet dhe transmetojnë të dhëna në një pikë grumbullimi. Sensorët detektojnë temperaturën, nivelet e dritës dhe lagështinë e tokës në qindra pika të fushës dhe i komunikojnë të dhënat tek stacioni bazë me anë të rrjetit *multi-hop* për analiza të mëtejshme.
Arkitektura e zakonshme e rrjetit të përdorur në shembullin Fig.2.3, tregohet në Fig. 2.4 ku nyjet sensor të shpërndarë dendësisht monitorojnë fenomenin përmes aftësive të tyre ndijuese dhe informacionet e vlefshme dërgohen tek nyja *sink*. Nyja *sink* është një nyje e veçantë e cila

vepron si një portë midis WSN dhe një rrjeti standart komunikimi siç është Interneti. Të dhënat grumbullohen dhe kombinohen brenda nyjeve dhe kjo shpenzon burime energjie dhe kujtese si dhe kërkon llogaritje shtesë.

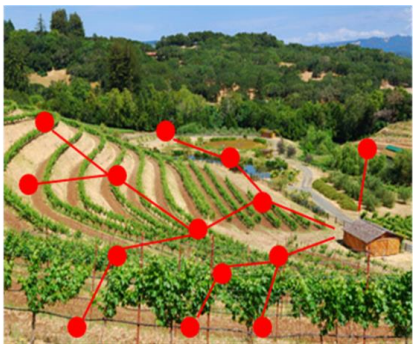

Figura 2.3 Shpërndarje sensorësh për studime në agrikulturë

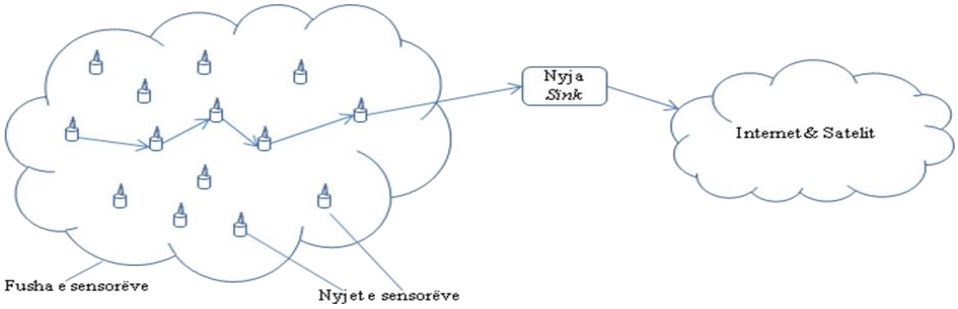

Figura 2.4 Një arkitekturë e thjeshtë WSN-je

Një stak protokolli për WSN-të, që përdoret nga nyja *sink* dhe nyjet sensor, jepet në Fig. 2.5 [6]. Ky stak është i ngjashëm me atë të përdorur në rrjetat MANET (që është i njëjti stak i përdorur edhe në rrjetat TCP/IP) përveç se janë shtuar planet e menaxhimit që operojnë nëpër të gjitha shtresat. Staku merr parasysh problemet e kufizimit të WSN duke kombinuar rrugëzimin me shpenzimin e energjisë, duke integruar të dhënat me protokollet e rrjetit, duke përdorur me efikasitet fuqinë komunikuese përmes kanalit *wireless* dhe promovon përpjekje bashkëpunuese të nyjeve sensor.

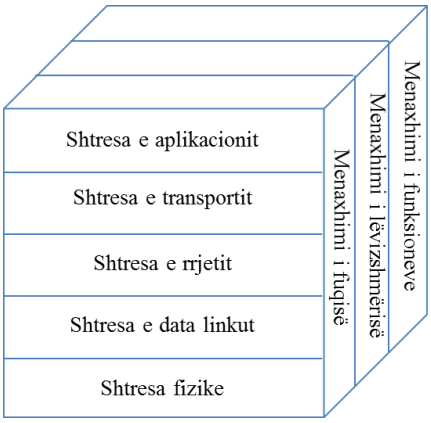

Figura 2.5 Staku i protokolleve në rrjetat me sensorë

Në *shtresën aplikacion* mund të ndërtohen dhe të përdoren tipe të ndryshme aplikimesh software-ike në varësi të funksioneve sensoriale. Le të përmendim këtu protokollin e menaxhimit të sensorit, SMP (Sensor Management Protocol), i cili përdoret për t'i bërë hardware-in dhe software-in e shtresave më të ulta transparente për aplikimet e menaxhimit të rrjetit të sensorëve. Administratorët e sistemit dhe programuesit bashkëveprojnë me rrjetin e sensorëve duke përdorur SMP-në. Në fakt merret në konsideratë mungesa e identifikimit global dhe e natyrës jo-infrastrukturore të rrjetave të sensorëve. SMP-ja siguron rregulla për çështjet e mëposhtme për të mundësuar bashkëveprim midis aplikimeve dhe rrjetave të sensorëve:

- Grumbullim të dhënash, emërtim i bazuar në atribute dhe grupime.
- Shkëmbim të dhënash i lidhur me algoritmat e gjetjes së pozicionit.
- Sinkronizim kohor.
- Lëvizja e nyjeve të sensorëve.
- Ndezja dhe fikja e nyjeve.
- Kërkesa për gjëndjen e konfigurimit të WSN-së, rikonfigurimi i WSN-së.
- Autentikimi, shpërndarja e çelësave dhe siguria.

Shtresa e transportit duhet për të mirëmbajtur fluksin e të dhënave kur një aplikim i caktuar e kërkon këtë. Protokollet tradiconale të transportit nuk mund të aplikohen drejtpërsëdrejti në rrjetat e sensorëve pa i modifikuar ata.

Shtresa e rrjetit kujdeset për rrugëzimin e të dhënave të ndijuara nga nyja sensor burim tek nyja *sink*. Meqenëse nyjet sensor janë dendësisht të shpërndara që do të thotë se nyjet fqinjë janë afër njëri tjetrit mund të përdoret komunikimi me rreze të shkurtër *multihop*. Nyja burim në këtë rast operon me një protokoll rrugëzimi që zgjedh kalimin *multihop* më efikas për nga energjia.

Shtresa e data linkut siguron inkuadrimin e të dhënave, monitorimin e *frame*-ve, aksesimin e kanalit dhe kontrollin e gabimeve. Funksioni më i rëndësishëm është kontrolli i aksesit të kanalit, shkurt MAC. MAC është përgjegjës për aksesimin e duhur të kanalit midis transmetuesve konkurrentë. Ai duhet të shmangë përplasjet sa më shumë të jetë e mundur dhe të fikë radion sa herë që një sensor nuk po transmeton ose po merr paketa në mënyrë që të kursejë energji.

Shtresa fizike adreson operacionet e nivelit më të ulët të ndërfaqes së radios për një transmetim të qëndrueshëm dhe për marrje paketash në një mjedis të ashpër *wireless*. Këto operacione përfshijnë përzgjedhjen e frekuencës, fuqinë e transmetimit, modulimin, detektimin e sinjalit dhe kodimin.

Planet e menaxhimit të fuqisë, funksioneve dhe të lëvizshmërisë monitorojnë energjinë, lëvizjen dhe shpërndarjen e detyrave përgjatë nyjeve sensor.

Plani i menaxhimit të energjisë menaxhon mënyrën se si një nyje sensor përdor energjinë e saj. Për shembull, një nyje sensor mund të fikë marrësin e tij pasi merr një mesazh nga një fqinj i tij. Kjo bëhet për të shmangur mesazhet e dyfishta. Nëse niveli i energjisë i nyjes sensor është i ulët, nyja njofton nyjet e saj fqinj që nuk mund të rrugëzojë mesazhe për shkak të nivelit të ulët të energjisë. Energjia e mbetur rezervohet për ndijim.

Plani i menaxhimit të lëvizshmërisë dedekton dhe rregjistron lëvizjen e nyjeve, dhe në këtë mënyrë ruhen rrugët e kthimit dhe gjurmohen nyjet fqinje. Duke njohur nyjet fqinje, nyjet sensor mund të balancojnë përdorimin e energjisë së tyre dhe të funksioneve. Ndërsa shumica e aplikimeve të sensorëve janë statike, nuk mund të hedhim poshtë faktin që disa aplikime kanë sensorë të lëvizshëm. Ky mund të jetë rasti kur sensorët montohen në platforma të lëvizshme siç janë: robotët, njerëzit, kafshët, makinat, etj. Rrugët që përdoren për të mbartur informacion në rrjet kanë një jetëgjatësi të kufizuar dhe kanë nevojë të riparohen periodikisht nga lëvizshmëria e nyjeve. Edhe pa praninë e lëvizshmërisë, rrugët mund të ndryshojnë nga fakti që nyjeve u mbaron energjia ose ndjekin një cikël pune të zgjimit/gjumit, kështu që një rrugë që është e vlefshme në një pikë të caktuar në kohë mund të mos jetë e vlefshme pak më vonë. Në të dyja rastet, shtresa e rrugëzimit është kryesisht përgjegjëse për mirëmbajtjen e rrugëve.

Plani i menaxhimit të detyrave balancon dhe skedulon funksionet e ndijimit të caktuar për një rajon specifik. Disa sensorë në një zone të dhënë, për shembull mund të fiken përkohësisht në qoftë se ka tepricë të mjaftueshme informacioni nga ndijimi i sensorëve të tjerë në atë zonë. Gjithashtu disa ndijojnë më shumë se të tjerë në varësi të nivelit të energjisë që ata kanë.

Këto shtresa menaxhuese janë të nevojshme që nyjet sensor të mund të punojnë bashkë për të patur një konsum efikas energjie, për rrugëzim të dhënash në një rrjet me nyje të lëvizshme dhe për të ndarë burimet ndërmjet nyjeve sensor. Pa këto shtresa, nyjet do të punonin individualisht në mënyrë jo efikase për rrjetin në tërësi.

2.3. Metrikat vlerësuese për një WSN

Për të vlerësuar një rrjet me sensorë *wireless* përdoren disa metrika vlerësimi. Për përcaktimin e këtyre metrikave janë marrë parasysh objektivat më të rëndësishme të zhvillimit të një rrjeti, domethënë se ku do të përdoret rrjeti dhe avantazhet kyçe të këtyre rrjetave mbi teknologjitë ekzistuese. Metrikat vlerësuese për një WSN ndahen në dy aspekte: sipas këndvështrimit global të sistemit dhe sipas këndvështrimit lokal të nyjes [7].

2.3.1. Metrikat e vlerësimit të sistemit

Metrikat kryesore të vlerësimit për sistemet me sensorë *wireless* janë: jetëgjatësia, mbulimi, kostoja dhe lehtësia e instalimit, koha e përgjigjes, saktësia kohore, siguria dhe shpejtësia efektive e kampionimit. Shumë nga këto metrika të vlerësimit janë të ndërlidhura. Shpesh

mund të jetë e domosdoshme për të zvogëluar performancën në një metrikë, si për shembull shpejtësia e kampionimit, në mënyre që të rritet jetëgjatësia. Të marra së bashku, kjo bashkësi metrikash formon një hapsirë shumë-dimensionale që mund të përdoret për të përshkruar aftësitë e rrjetit me sensorë *wireless*.

Jetëgjatësia

Qëllimi si i monitorimit mjedisor, ashtu dhe i aplikimeve të sigurisë është që nyjet e shpërndara në një zonë, të mos kenë nevojë për ndërhyrjen e njeriut për muaj apo vite. Pra, në çdo vendosje të këtyre rrjetave merr rëndësi jetëgjatësia e pritshme.

Faktori primar kufizues për jetëgjatësinë e WSN është ushqimi me energji. Çdo nyje duhet projektuar për të menaxhuar ushqimin lokal me energji në mënyrë që të maksimizojë jetëgjatësinë totale të rrjetit. Në shumë projektime nuk është jetëgjatësia mesatare e nyjeve ajo që është e rëndësishme, por përkundrazi jetëgjatësia minimale e nyjeve. Në rastet e sistemeve *wireless* të sigurisë, nyjet duhet të zgjasin për shumë vite. Dështimi i një nyje të vetme do krijonte një dobësi në këto sisteme.

Faktori më domethënës në përcaktimin e jetëgjatësisë të një nyjeje, është konsumi i fuqisë radio. Në një nyje sensori *wireless* pjesa radio konsumon një masë të madhe të energjisë së sistemit. Ky konsum energjie mund të reduktohet me anë të zvoglimit të fuqisë dalëse të transmetimit ose duke zvogëluar ciklin e punës së radios. Secila nga këto alternativa përfshijnë sakrifikimin e metrikave të tjera të sistemit.

Mbulimi

Pas jetëgjatësisë, mbulimi është metrika tjetër kryesore për vlerësimin e një rrjeti pa tel. Mundësia për të shpërndarë një rrjet në një zonë sa më të madhe fizike rrit në mënyrë domethënëse vlerën e sistemit për përdoruesin fundor. Duhet patur parasysh se mbulimi i rrjetit nuk është i njëjtë me distancat e lidhjeve të komunikimit *wireless* që përdoren. Teknikat e komunikimit *multi-hop* mund të zgjerojnë mbulimin e rrjetit përtej distancës së teknologjisë së radios. Në teori ato kanë aftësinë për ta rritur distancën e rrjetit në mënyrë të papërcaktuar. Megjithatë, për një distancë të dhënë transmetimi, protokollet e rrjetit të teknikës *multi-hop* rrisin konsumin e energjisë së nyjeve, që mund të zvogëlojë jetëgjatësinë e rrjetit. Gjithashtu ato kërkojnë një prag minimal densiteti të nyjeve, që mund të rrisë koston e shpërndarjes.

Shkallëzueshmëria është një komponent kyç i propozimit të vlerës së WSN-së që ndikon në parametrin mbulim. Rritja e numrit të nyjeve në sistem do ndikojë në jetëgjatësinë ose në shkallën efektive të kampionimit. Sa më shumë pika sensorësh të ketë sistemi aq më shumë të dhëna do të ketë për tu transmetuar ç'ka do të rrisë konsumin e energjisë së rrjetit. Kjo mund të kompensohet duke kampionuar më pak.

Kostoja dhe lehtësia e instalimit

Një avantazh kyç i WSN-ve është lehtësia e tyre në instalim. Që sistemet e shpërndarjes të jenë të sukseshme, rrjeti duhet të vetë-konfigurohet. Duhet të jetë e mundur për nyjet të vendosen në të gjithë mjedisin nga një person i patrajnuar dhe sistemi të vihet në punë. Rrjeti duhet të jetë në gjëndje për të vlerësuar cilësinë e shpërndarjes së informacionit në rrjet dhe të

raportojë çdo problem potencial. Kjo përkthehet në kërkesën që çdo pajisje të jetë në gjëndje të kryejë zbulim lidhjeje dhe të përcaktojë cilësinë e lidhjes.
Si shtesë të fazës fillestare të konfigurimit, sistemi duhet gjithashtu të përshtatet ndaj kushteve të ndryshimit mjedisor. Gjatë gjithë kohëzgjatjes së instalimit, nyjet mund të ripozicionohen ose objekte të mëdha fizike mund të zhvendosen duke interferuar komunikimin ndërmjet dy nyjeve. Rrjeti duhet të jetë në gjëndje të rikonfigurohet automatikisht kur i kërkohet të tolerojë këto dukuri. Shpërndarja fillestare dhe konfigurimi është vetëm një pjesë e jetëgjatësisë së rrjetit. Për afate më të gjata, kostoja totale e sistemit ka të bëjë më shumë me koston e mirëmbajtjes sesa me koston e shpërndarjes fillestare. Në instalimet reale, një fraksion i buxhetit të energjisë totale duhet ti dedikohet mirëmbajtjes së sistemit dhe verifikimit. Gjenerimi i trafikut të diagnostikimit dhe të rikonfigurimit redukton jetëgjatësinë e rrjetit dhe zvogëlon shkallën efektive të kampionimit.

Koha e përgjigjes

Veçanërisht në aplikimet e detektimit të alarmeve në fushën e sigurisë, koha e reagimit të sistemit është një metrikë performance e rëndësishme. Një alarm duhet sinjalizuar menjëherë kur një ndërhyrje detektohet. Përveç operimit me fuqi të ulët, nyjet duhet të jenë të afta për të patur mesazhe me prioritet të lartë, të menjëhershme për tu komunikuar përmes rrjetit sa më shpejt të jetë e mundur. Koha e reagimit është gjithashtu kritike kur monitorimi mjedisor përdoret për të kontrolluar makinat e fabrikës dhe pajisjet. Shumë përdorues, parashikojnë WSN-të si mjete të rëndësishme për kontrollin e proçesit industrial. Këto sisteme do të ishin praktike nëse garancitë e kohës së reagimit do të përmbusheshin.
Aftësia për të patur kohë të vogël reagimi bie në konflikt me shumë nga teknikat e përdorura për të rritur jetëgjatësinë e rrjetit. Jetëgjatësia e rrjetit mund të rritet duke patur nyjet që ti vënë në punë radiot për periudha të shkurtra kohe.
Koha e reagimit mund të përmirësohet duke përfshirë nyjet që janë të ushqyera gjatë gjithë kohës. Këto nyje mund të dëgjojnë për mesazhe alarmi dhe ti drejtojnë ato drejt një rrugëzimi bazë kur është e domosdoshme. Kjo, megjithatë, redukton lehtësinë e shpërndarjes së sistemit.

Saktësia në kohë

Në aplikimet mjedisore dhe gjurmuese, kampione nga shumë nyje mund të korrelohen për të përcaktuar natyrën e fenomenit që po matet. Saktësia e nevojshme e këtij mekanizmi korrelacioni do të varet nga shkalla e përhapjes së fenomenit që matet. Në rastin e përcaktimit të mesatares së temperaturës së një ndërtese, mjafton korrelimi i kampioneve në rend të sekondës, kurse për të përcaktuar se si një ndërtesë reagon ndaj një ngjarjeje sizmike, është e nevojshme saktësia në milisekonda.
Për të arritur saktësinë kohore, duhet mirëmbajtur një *clock* global që mund të përdoret për të renditur në mënyrë kronologjike kampionet dhe ngjarjet. Në një sistem të shpërndarë, shpenzohet energji për të mbajtur një *clock* të shpërndarë. Informacione mbi kohën e sinkronizimi duhet të komunikohen vazhdimisht midis nyjeve. Frekuenca e mesazheve të sinkronizimit varet nga saktësia e dëshiruar e *clock*-ut të orës.

Siguria

Në disa raste mund të jetë shumë e rëndësishme mbrojtja e sigurtë e informacionit të mbledhur nga një aplikim monitorimi mjedisor. Rrjetat me sensorë *wireless* duhet të jenë të afta për të mbajtur privat informacionin që po mbledhin nga përgjimi. Nëse konsiderojmë aplikimet e orientuara drejt sigurisë, siguria e të dhënave bëhet akoma më e rëndësishme. Jo vetëm duhet që sistemi të mbajë privatësinë por ai gjithashtu duhet të jetë i aftë që të autentifikojë komunikimin e të dhënave. Një kombinim i privatësisë dhe i vërtetësisë kërkohet për të adresuar nevojat e skenarëve të ndryshëm. Përdorimi i enkriptimit dhe i autentifikimit kriptografik ka koston si të fuqisë ashtu dhe të *bandwidth*-it të rrjetit. Llogaritje shtesë duhen kryer për të enkriptuar dhe dekriptuar të dhëna dhe bite të vërtetësisë shtesë duhet të transmetohen me çdo paketë. Kjo ndikon në performancën e aplikimit duke zvogëluar si numrin e kampioneve që mund të merren nga një rrjet i dhënë ashtu dhe jetëgjatësinë e pritshme të rrjetit.

Shpejtësia efektive e kampionimit

Në një rrjet të mbledhjes së të dhënave, shpejtësia efektive e kampionimit është një metrikë kryesore e performancës. Shpejtësia efektive e kampionimit përkufizohet si shpejtësia e kampionimit me të cilën merren të dhënat sensoriale në çdo sensor individual dhe që komunikohen në një pikë të grumbullimit të rrjeti të mbledhjes së të dhënave. Aplikacionet e mbledhjes së të dhënave mjedisore kërkojnë shpejtësi kampionimi 1-2 kampione për minutë. Megjithatë, përveç shpejtësisë së kampionimit të një sensori të vetëm, duhet parë impakti i arkitekturave *multi-hop* mbi aftësinë e një nyjeje për të transmetuar në mënyrë efektive të dhënat e nyjeve përreth. Në një pemë të mbledhjes së të dhënave, një nyje duhet të trajtojë të dhënat e të gjithë pasardhësve të saj. Nëse një nyje ka *n* pasardhës ajo duhet të transmetojë *n* herë të dhëna më shumë dhe po aq herë të jetë e aftë të marrë lexime në një periudhë të vetme kampionimi. Kjo rritje multiplikative ka një efekt të rëndësishëm në kërkesat e sistemit. Një mekanizëm për të rritur shpejtësinë efektive kampionuese është shfrytëzimi i përpunimit brenda rrjetit, si për shembull forma të ndryshme kompresimi që reduktojnë brezin e komunikimit që duhet duke mbajtur të njëjtën shpejtësi kampionimi, ose ruajtja lokale për periudha të shkurtra kohore.

2.3.2. Metrikat e vlerësimit të nyjeve individuale

Bashkësia e metrikave që përdoren për të vlerësuar performancën e rrjetit të sensorëve në tërësi lidhet me karakteristikat e nyjeve individuale që i suportojnë ato. Metrikat vlerësuese të nyjeve individuale gjithashtu janë të ndërlidhura. Një përmirësim në një metrikë vlerësimi të nivelit të nyjes (për shembull distanca) shpesh shkakton shpenzim të një tjetre (për shembull fuqia). Në vijim përshkruhen secila nga këto metrika.

Fuqia

Për të përmbushur kërkesat e aplikimeve për shumë vjet, nyjet individuale të sensorëve duhet të jenë me fuqi tepër të ulët. Ndryshe nga telefonat celularë, me konsum mesatar energjie të qindra miliamperëve dhe jetëgjatësi prej disa ditësh, konsumi mesatar i energjisë për nyjet e

sensorëve të WSN-së matet në mikroamper. Ky operim me fuqi tepër të ulët mund të arrihet duke kombinuar si komponentët hardware me fuqi të ulët ashtu dhe teknikat e operimit me cikël pune të ulët. Gjatë operimit aktiv, komunikimi radio do të përbëjë një fraksion të rëndësishëm të buxhetit total të energjisë së nyjes. Algoritmat dhe protokollet duhen të zhvillohen për të reduktuar aktivitetin radio kurdoherë që është e mundur. Kjo mund të arrihet duke përdorur llogaritje të lokalizuara për të reduktuar rrymat e të dhënave që gjenerohen nga sensorët dhe me anë të protokolleve të aplikimeve specifike. Për shembull ngjarjet nga shumë nyje sensorësh mund të kombinohen së bashku nga një grup lokal nyjesh përpara se të transmetohet një rezultat i vetëm nëpër rrjetin e sensorëve.

Fleksibiliteti

Diapazoni i gjerë i fushave të përdorimit që konsiderohen kërkon që arkitektura e nyjeve të jetë fleksibël dhe adaptive. Çdo skenar aplikimi do të kërkojë miksime të ndryshme të: jetëgjatësisë, shpejtësisë së kampionimit, kohës së reagimit dhe përpunimit brënda-rrjetit. Një arkitekturë e rrjetit me sensorë *wireless* duhet të jetë fleksibël mjaftueshëm për t'ju përshtatur një game të gjerë të sjelljeve të aplikimeve. Për më tepër, për arsye kostoje çdo pajisje do të ketë vetëm hardware-in dhe software-in që aktualisht i nevojitet për një aplikim të dhënë. Arkitektura duhet ta bëjë të lehtë për të asembluar grupin e duhur të komponentëve software dhe hardware.

Fortësia

Në mënyrë që të suportojë kërkesat e jetëgjatësisë, çdo nyje duhet të projektohet për të qënë sa më e qëndrueshme të jetë e mundur. Në një shpërndarje tipike, qindra nyje duhet të punojnë në harmoni për vite të tëra. Për ta arritur këtë, sistemi duhet ndërtuar në mënyre që të tolerojë dhe ti përshtatet dështimit të nyjeve individuale. Modulariteti i sistemit është një mjet i fuqishëm që mund të përdoret për të zhvilluar një sistem të fortë. Duke ndarë funksionalitetin e sistemit në nënpjesë të izoluara, çdo funksion mund të testohet plotësisht i izoluar përpara se të kombinohet në një aplikim të plotë. Për ta lehtësuar këtë, komponentët e sistemit duhet të jenë sa më të pavarur të jetë e mundur dhe të kenë ndërfaqe të detajuara, për të parandaluar ndërveprimet e paparashikuara. Përveç rritjes së fortësisë së sistemit ndaj dështimit të nyjeve, një WSN duhet të jetë robust edhe ndaj interferencave të jashtme. Meqenëse këto rrjeta do të bashkë-ekzistojnë me sisteme të tjera *wireless*, atëherë duhet të zotërojnë aftësinë për të përshtatur sjelljen e tyre. Fortësia e lidhjeve *wireless* ndaj interferencës së jashtme mund të rritet shumë me anë të përdorimit të radiove me shumë-kanale dhe me spektër të zgjeruar.

Siguria

Në mënyrë që të përmbushin kërkesat e sigurisë të nivelit të aplikimit, nyjet individuale duhet të jenë të afta të kryejnë enkriptim kompleks dhe algoritma autentifikimi. Komunikimi i të dhënave me *wireless* është lehtësisht i ndjeshëm ndaj përgjimeve. E vetmja mënyrë për të mbajtur të dhënat e këtyre rrjetave private dhe autentike është enkriptimi i të gjitha transmetimeve të të dhënave. CPU duhet të jetë në gjëndje ose t'i kryejë vetë operacionet e kërkuara kriptografike ose me ndihmën e akseleratorëve kriptografik të përfshirë [8].

Komunikimi

Në lidhje me komunikimin metrika vlerësimi kryesore për çdo WSN janë: shpejtësia e komunikimit, harxhimi i fuqisë dhe rrezja. Distanca e transmetimit ka një impakt domethënës në densitetin minimal të pranueshëm të nyjeve. Nëse nyjet vendosen shumë larg nga njëra-tjetra mund të mos krijohet një rrjet i ndërlidhur ose një rrjet me tepricë të mjaftueshme për të mbajtur një nivel të lartë besueshmërie. Shpejtësia e komunikimit gjithashtu ka një impakt domethënës në performancën e nyjeve. Shpejtësi më të mëdha komunikimi përkthehen në aftësinë për të arritur shpejtësi më të mëdha efektive kampionimi dhe harxhim më të ulët energjie të rrjetit. Me rritjen e *bit rate*-it transmetimet kërkojnë më pak kohë dhe kështu potencialisht kërkojnë më pak energji. Megjithatë, një rritje në *bit rate*-in e radios shpesh shoqërohet me një rritje në harxhimin e fuqisë.

Llogaritja

Dy operacionet më intensive të llogaritjeve për një nyje sensori janë përpunimi i të dhënave brënda rrjetit dhe menaxhimi i protokolleve të komunikimit *wireless* të nivelit të ulët. Me arritjen e të dhënave në rrjet, CPU duhet të kontrollojë njëkohësisht radion dhe të regjistrojë/dekodojë të dhënat që vijnë. Shpejtësi më të mëdha komunikimi kërkojnë llogaritje më të shpejta. Përveç se duhet të jenë në gjëndje për të përpunuar lokalisht, përmirësuar dhe flakur leximet e sensorëve, nyjet sensor duhet edhe të kombinojnë të dhënat me sensorët fqinjë përpara se të transmetojnë në rrjet. Rezultatet nga nyje të shumëfishta mund të përmblidhen së bashku. Ky përpunim brenda rrjetit kërkon burime llogaritëse shtesë. Sipas [7], 2-4 MIPS (miljon instruksione për sekond) të përpunimit kërkohen për të implementuar protokollet e komunikimit radio që përdoren në WSN. Përtej kësaj, përpunimi i të dhënave të aplikimit mund të konsumojë një sasi arbitrare të llogaritjeve në varësi sesa llogaritje kryen.

Sinkronizimi kohor

Në mënyrë që të suportojë leximе të sensorëve të korreluara në kohë dhe operim me cikël pune të ulët në skenarë aplikimi të grumbullimit të të dhënave, nyjet duhet të jenë në gjëndje për të mbajtur sinkronizim kohor preçiz me pjestarët e tjerë të rrjetit. Nyjet kanë nevojë të flenë dhe të zgjohen së bashku kështu që ato mund të komunikojnë periodikisht. Gabimet në mekanizmin e kohës krijojnë inefiçenca që rezultojnë në rritjen e ciklit të punës.

Madhësia dhe kostoja

Madhësia fizike dhe kostoja e çdo nyje sensori individualisht ka një impakt direkt dhe domethënes në lehtësinë dhe koston e shpërndarjes. Në rrjetat e grumbullimit të të dhënave, kërkuesit operojnë shpesh me një buxhet fiks. Qëllimi i tyre primar është grumbullimi i të dhënave nga sa më shumë vendodhje të jetë e mundur pa e kapërcyer buxhetin e tyre fiks. Një reduktim në koston për nyje do rezultojë në mundësinë për të blerë më shumë nyje, për të shpërndarë një rrjet sensorësh me densitet më të lartë dhe për të grumbulluar më shumë të dhëna. Madhësia fizike gjithashtu ndikon në lehtësinë e shpërndarjes së rrjetit. Nyjet më të vogla mund të vendosen në më shumë vendodhje dhe të përdoren në më shumë skenare. Në skenarin e gjurmimit të objekteve, nyje sa më të vogla në madhësi dhe me kosto sa më të ulët do të rezultojnë në aftësi gjurmimit të më shumë objekteve.

2.4. Standartet e shtresës fizike dhe MAC

Projektimet më të fundit të WSN-ve përdorin rrjeta dhe zgjidhje RF që bazohen në standarte. Nxjerrja e fundit e standarteve nga IEEE, Task Forca e Inxhinierisë në Internet (IETF) dhe Shoqëria Ndërkombëtare e Automatizimit (ISA) solli teknologjinë nga laboratorët e kërkimit dhe zhvilloi produkte të shumta komerciale. Në këtë çështje, përshkruhen disa nga standartet më praktike dhe më premtuese [9], [10].

IEEE 802.15.4

Shumë standarte premtuese dhe një sistem komercial ekzistues bazohen në standartin IEEE 802.15.4. Ky standart është për një zgjidhje me shpejtësi të ulët të të dhënave me harxhim efikas energjie dhe me kompleksitet shumë të ulët. Sipas një vëzhgimi të fundit, ky standart tashmë përfaqëson më shumë se 50% të tregut. IEEE 802.15.4 ofron implementim për shtresat më të ulta fizike (PHY) dhe MAC për një rrjet tipik WSN. Fokusohet kryesisht në komunikimin me kosto te ulët, me shpejtësi të ulët ndërmjet pajisjeve. Sistemi IEEE 802.15.4 bazë përcakton një zonë komunikimi 10 metra me një shpejtësi maksimale transmetimi 250kbit/s. Ndërkohë standarti Zigbee ofron zgjidhje të një rrjeti të kompletuar duke zhvilluar shtresat më të larta që ndërfaqësohen me IEEE 802.15.4 MAC. Standarti i radios IEEE 802.15.4 dhe i Zigbee-t shfaqen si zgjidhje mbizotëruese për aplikimet industriale dhe të ndërtesave. Ka gjithashtu shumë diskutime të IEEE 802.15.4 për rrugëzimin mbi rrjetat me fuqi të ulët dhe me humbje në grupin e punës IETF. Së fundmi, u lançua familja IEEE 802.15.4 për aplikime specifike të WSN-së. Në vijim jepet një përmbledhje e saj:

- ***IEEE 802.15.4a:*** Specifikon dy shtresa fizike (PHY) shtesë duke përdorur *Ultra-Wideband* (UWB) dhe *Chirp Spread Spectrum* (CSS) që është një përmirësim i IEEE 802.15.4 për të siguruar komunikime dhe aftësi me preçizion të lartë shtrirje/vendodhjeje, *throughput* të lartë grumbullimi dhe fuqi shumë të vogël, shkallëzueshmëri në shpejtësitë e të dhënave, distancë më të madhe dhe kosto më të ulët.
- ***IEEE 802.15.4e:*** Qëllimi i këtij ndryshimi është për të përmirësuar dhe shtuar funksionalitet te shtresa MAC e IEEE 802.15.4 që nevojiten për të mundësuar këto aplikime: automatizim fabrike, automatizim proçesesh, gjurmim asetesh, kontroll i përgjithshëm i sensorëve (industrial/komercial përfshirë automatizimin e ndërtesave), monitorimi mjekësor shtëpiak, aplikimet e telekomit, rrjetat e zonës së fqinjësisë dhe audio në shtëpi. Ky *task* grup përfshin gjithashtu dhe mekanizimin e multi-kanalit.
- ***IEEE 802.15.4f:*** Përcakton PHY të reja *wireless* dhe përmirësime të shtresës MAC të standartit IEEE 802.15.4 që kërkohen për të suportuar PHY të reja për sistemet aktiv RFID bi-direksional dhe për aplikimet e përcaktimit të vendodhjes.
- ***IEEE 802.15.4g:*** Krijon një ndryshim të PHY-së për IEEE 802.15.4 për të siguruar një standart global që lehtëson aplikimet e kontrollit të proçesit me shkallë shumë të madhe siç janë rrjetat funksionale *smart-grid*.

Zigbee

Është një specifikim për një tërësi të protokolleve të komunikimit të nivelit të lartë duke përdorur radio dixhitale të vogla me fuqi të ulët bazuar në standartin 802.15.4 për WSN-të. Sipas një raporti të publikuar së fundmi nga ON World, Zigbee është më i përhapur për sensorët *wireless* dhe kontrollon mbi 350 prodhues global me të ardhura vjetore që i tejkalojnë 1 triliard dollarë. Mundësitë e tregut të Zigbee janë zgjeruar për energjinë *smart*, kujdesin për shëndetin, automatizimin e ndërtesave dhe telekomunikacionet me anë të bashkëpunimeve ndërmjet standarteve dhe grupeve të tjera industriale. Zigbee mbulon shtresën e rrjetit dhe të aplikimit të WSN-së dhe është përcaktuar për të punuar në majë të një versioni të modifikuar të standartit IEEE 802.15.4. Ky standart lejon për të krijuar lloje të ndryshme rrjetash: në rrjetat yll, për shembull, koordinuesi i Zigbee-t nis rrjetin dhe të gjithë pjestarët e tjerë të rrjetit lidhen direkt me koordinuesin e Zigbee-t. Koordinuesi i Zigbee-t bashkëpunon me koordinuesin e rrjetit bazë IEEE 802.15.4. Në rrjetat pemë ruterat e Zigbee-t formojnë një pemë që ka rrënjë koordinuesin e Zigbee-t, ndërsa në rrjetat *mesh* topologjia e rrjetit mund të jetë një *mesh* i përgjithshëm me rutera Zigbee bashkë me koordinuesin e Zigbee-t.

WirelessHART

Është standarti i parë i komunikimit të hapur *wireless* për matje dhe kontroll në industritë e proçeseve. Përdor rrjetin *mesh wireless* ndërmjet pajisjeve të fushës industriale, si dhe zbulime te tjera, për të siguruar komunikime dixhitale të sigurta e të besueshme që mund të plotësojnë kërkesat e rrepta të aplikimeve industriale. WirelessHART është projektuar për të suportuar një diapazon te gjërë aplikimesh që përfshijnë: monitorimin, diagnozat, alarmin dhe detektimin e ngjarjeve, monitorimin e lëkundjeve, kontrollin, etj. Është një zgjidhje premtuese për zëvendësimin e protokollit HART me kabllo në kontekstet industriale. Konsumi i energjisë nuk është shqetësimi kryesor për WirelessHART ndërsa shtresa e data link-ut bazohet në TDMA, që kërkon sinkronizim në kohë dhe slote-kohore fikse me gjatësi të para-skeduluara nga një menaxhues rrjeti i centralizuar.

ISA SP-100

Ky standart lejon pajisjet kompatibël që janë relativisht me kompleksitet të ulët, kosto të arsyeshme dhe me harxhim të pakët energjie që të suportojnë jetëgjatësi baterie të madhe kur nevojitet. Shpejtësia e komunikimit të të dhënave duhet të jetë e mjaftueshme për të kënaqur hapësirën e nevojave të lidhura me këto klasa. Standarti duhet të adresojë efektivisht në kosto nevojat e gjera të *wireless*-it në mjedisin industrial që përfshin sensorët, ekzekutuesit, dhe pajisje të tjera automatike, si dhe rrjetat e infrastrukturës së *wireless*-it. Këto nevoja përfshijnë bashkë-ekzistencën, fortësinë ndaj interferencave, bashkëveprimin me rrjetat me kabllo të fabrikave, etj. ISA SP-100 po punon aktualisht me një seri standartesh që adresojnë miratimin e teknologjive *wireless* në industri të ndryshme. ISA-SP100.11a adreson aplikimet e proçeseve jokritike që mund të tolerojne vonesa deri në 100 ms. Meqenëse shfrytëzon standartin IEEE 802.15.4, ai trashëgon disa nga karakteristikat e tij: shpejtësi e ulët (deri në 250kbit/s) dhe kompleksitet të ulët implementimi për pajisje të thjeshta fundore. Ky standart

përmban një shtresë data-linku dhe një shtresë përshtatjeje midis shtresës së MAC-ut dhe të data-linkut.

IEEE 802.11

Në 1997 IEEE miratoi IEEE Std. 802.11-1997, standartin e parë *wireless* të LAN-it, WLAN. Ky standart përcakton shtresat MAC dhe atë fizike për një LAN me lidhje *wireless* dhe për kontekstin e komunikimeve industriale pa tel. Adreson rrjetin në një zonë lokale ku pajisjet e lidhura komunikojnë nëpërmjet ajrit me pajisje të tjera që janë afër me njëra-tjetrën. I ngjashëm me standarte të tjera nga seritë IEEE 802.x, MAC-u IEEE 802.11 sugjeron kontrollin logjik të lidhjes (LLC) 802.2 si një ndërfaqe standarte në shtresat më të larta. Meqenëse IEEE 802.11 është një standart i WLAN, qëllimet kryesore janë për të siguruar *throughput* të lartë dhe një lidhje të vazhdueshme rrjeti në vënd të efikasitetit në energji të rrjetit.

ROLL

Fokusohet në çështjet e rugëzimit për rrjetat me fuqi të ulët dhe me humbje (LLN). LLN-të përbëhen nga shumë pajisje të ndërfutura me fuqi, memorje dhe burime përpunimi të limituara. Ato janë ndërlidhur nga një varietete lidhjesh, si: standarti IEEE 802.15.4, *Bluetooth*-i, WiFi me fuqi të ulët dhe lidhjet me kabllo ose lidhjet e tjera me fuqi të ulët PLC (Powerline Communication Links). LLN-të janë duke tranzituar në një zgjidhje fund-më-fund të bazuar në IP për të shmangur problemin e rrjetave që nuk ndërveprojnë duke i ndërlidhur nga *gateway* të përkthimit të protokolleve dhe nga *proxy*. Ka një shtrirje të gjërë të aplikimeve të LLN-ve përfshirë monitorimin industrial, automatizimin e ndërtesave (HVAC, ndriçimin, kontrollin e aksesit, zjarrin), shtëpitë inteligjente, kujdesi për shëndetin, monitorimin mjedisor, rrjetat e sensorëve urban (për shembull: *Smart Grid*), gjurmimin e aseteve.

2.5. Kërkesat për projektimin e algoritmave për WSN

Ndryshe nga pajisjet tradicionale pa tel, nyjet sensorë pa tel nuk kanë nevojë gjithmonë të komunikojnë drejtpërdrejt me stacionin bazë më të afërt, por vetëm me nyjet e tyre lokale. Kërkesat e aplikimit për një rrjet të fuqishëm, të shkallëzueshëm, me kosto të ulët dhe shpërndarje të lehtë plotësohen më së miri nga WSN. Detyra kryesore e pjesës më të madhe të nyjeve që përbëjnë një WSN është grumbullimi i të dhënave, të cilat janë të shumta dhe rrjeti duhet ti menaxhojë ato me efikasitet.

Ekziston një kërkim gjithëpërfshirës për zhvillimin e algoritmave të rinj për grumbullimin e të dhënave, rrugëzimin *ad-hoc*, dhe përpunimin e shpërndarë të sinjaleve në kontekstin e rrjetave me sensorë *wireless*. Për zhvillimin e algoritmave dhe të protokolleve të rrjetave të sensorëve, ata duhet të suportohen nga një platformë harduere me fuqi të ulët, efikase dhe fleksibël. Megjithatë, karakteristikat unike të WSN-së, siç janë burimet me fuqi të kufizuar, kapaciteti i i vogël i ruajtjes ose lidhja e dobët dhe e kufizuar imponojnë kërkesa projektimi të shumta dhe shpesh konfliktuale. Një numër karakteristikash që kërkohen kur projektohen algoritmat e menaxhimit të të dhënave për WSN-të listohen në vijim [6]:

- *Vetë-organizues* - Algoritmi duhet në mënyrë autonome ti përshtatet ndryshimeve që ekzistojnë nga ndërhyrjet e jashtme, siç janë ndryshimet topologjike (për shembull: dështimi i një nyje) pa influencën e një kontrolli të centralizuar.
- *I shkallëzueshëm* - Për të siguruar shkallëzueshmëri, protokollet e projektuar për WSN-të duhen të shpërndahen dhe të operojnë vetëm me informacionin lokal.
- *Administrim minimal* - Algoritmi duhet të rregullojë parametrat operacionalë sipas kërkesave të projektimit.
- *Efikas në energji* - Në shumë skenare nyjet e sensorëve bazohen në një bateri. Zëvendësimi i baterive është zakonisht jo praktik, ndonjëherë edhe i pamundur, kështu që jetëgjatësia e WSN-së merr një vlerë shumë të rëndësishme. Në mënyrë evidente, meqënëse transmetimi i të dhënave është burimi më i madh i harxhimit të energjisë, përdorimi i një protokolli rrugëzimi efikas është i domosdoshëm.
- *Tolerant ndaj defekteve* - Megjithëse nyjet e sensorëve supozohen të jenë stacionare, WSN-të duhet të jenë elastik ndaj dështimeve siç është shkatërrimi fizik i nyjeve, shterimi i energjisë ose gabimet në linkun e komunikimit.
- *Bashkëpunues* - Ndonjëherë një nyje e vetme nuk është në gjëndje për të vendosur nëse ndonjë ngjarje ka ndodhur dhe vetëm të dhënat e përziera nga shumë nyje sigurojnë informacion të mjaftueshëm, kështu që shumë nyje duhet të bashkëpunojnë për të detektuar ngjarjen. Sjellja bashkëpunuese gjithashtu lejon për përpunim brënda-rrjetit në vënd të dërgimit të të gjithë të dhënave të papërpunuara në një kompjuter të jashtëm. Së fundmi, sjellja bashkëpunuese gjithashtu mund të detyrojë ndarjen e burimeve të nyjeve (për shembull: kapacitetin e ruajtjes).
- *I thjeshtë* - Nga kapaciteti i ulët i ruajtjes dhe nga mundësitë llogaritëse në nyjet e sensorëve, kërkohet një stak i thjeshtë protokolli.
- *Peer-to-Peer* - Ekzistenca e një kontrolli qëndror në rrjet pengon shkallëzueshmërinë, kështu që në vënd të përdorimit të komunikimit klient-server, preferohet komunikimi *peer-to-peer* për projektimin e algoritmave efikasë për WSN.

Sfidat e paraqitura më lart nuk e zvogëlojnë hapësirën e projektimit të WSN-ve. Çështje të tilla si programueshmëria dhe mirëmbajtja janë gjithashtu të rëndësishme, por ato janë më pak të rëndësishme për metodat e menaxhimit të të dhënave.

Një sfidë projektimi thelbësore në këto rrjeta është përballimi me kufizimet e burimeve të vendosura në pajisjet individuale. Procesori i nyjes sensor me një memorje të vogël e matur në Kbyte duhet të implementojnë protokolle rrjeti kompleks, të shpërndare dhe *ad-hoc*. Shumë kufizime rrjedhin nga fakti që këto pajisje duhet të prodhohen në sasi të mëdha dhe duhet të jenë të vogla e të lira. Reduktimi i madhësisë ishte vendimtar në aspektin e prodhimit të pajisjeve sa më të lira dhe të gatshme për t'u përdorur në një diapazon të gjërë fushash aplikimi.

Kufizimi më problematik është harxhimi i energjisë, pasi me zvoglimin e madhësisë fizike zvoglohet dhe kapaciteti i energjisë. Për sisteme të tilla konsumi i energjisë duhet optimizuar. Një fakt për tu mbajtur mënd është se llogaritja e të dhënave harxhon më pak energji se komunikimi.Vetëm 1 Kb informacion konsumon sasinë e energjisë që duhet për të ekzekutuar

miliona instruksione nga mikroproçesori. Gjithashtu, energjia në transmetim dhe në marrje janë të krahasueshme mes tyre. Edhe kur radio është vetëm në gjëndjen e dëgjimit konsumon energji të krahasueshme me transmetimin apo marrjen. Kështu, fikja e radios sjell ruajtjen e energjisë.

Sistemi operativ që përdoret është TinyOS, një sistem operativ i bazuar në komponentë i projektuar për të punuar në pajisje *wireless* të kufizuara në burime. Ky siguron primitiva komunikimi tepër efikase dhe mekanizma konkurrence të mirë-strukturuara për zhvilluesit e aplikimeve dhe të protokolleve. Një koncept kyç në TinyOS është përdorimi i programimit të bazuar në ngjarje i ndërthurur me një model komponenti me efiçencë të lartë. TinyOS mundëson optimizim në të tërë sistemin duke siguruar një çiftim të ngushtë midis hardware-it dhe software-it, si dhe mekanizmat fleksibël për të ndërtuar module specifik aplikativ.

Tradicionalisht, aplikacione të WSN-ve bazohen në monitorimin e mbledhjes së të dhënave me shpejtësi të ulët. Meqenëse këto aplikacione fokusohen në mbledhjen e të dhënave nga sensorët, ku zakonisht të dhënat etiketohen nëpërmjet atributeve, atëherë operohet me kërkim të dhënash që lidhen me një vlerë atributi të caktuar. Megjithatë, aplikimet aktuale të WSN-së mund të mbështesin operacionet edhe më komplekse duke variuar deri tek gjurmimi i njerëzve që kanë nevojë për kujdes shëndetësor. Monitorimi i substancave toksike në zonat rurale, monitorimi i burimeve të ujit të pijshëm, saktësia në bujqësi janë disa shembuj të aplikacioneve mbi monitorimin e mjedisit duke përdorur WSN-të. Rrjetëzimi i sensorëve ekzistues për qëllime të monitorimit kërkon që sensorët të jenë të programuar paraprakisht dhe të dërgojnë të dhënat në një terminal qendror ku bëhet mbledhja dhe ruajtja për analiza të mëvonshme.

Në paragrafin në vijim jepen shkurtimisht disa shembuj të aplikimeve, duke u përqëndruar kryesisht në fushën tonë të interesit, tek monitorimi i mjedisit. Në të tilla aplikime sensorët mund të vendosen në rrjet për të mbledhur informacion të detajuar rreth një ambienti si: temperatura, ndotja, të dhëna bujqësore, etj.

2.6. Aplikimet e rrjetave të sensorëve pa tel

Madhësia e vogël e pajisjeve të nyjeve, veprimi në mënyrë të pavarur dhe *wireless* i tyre, si dhe zhvillimi në shkallë të gjerë i rrjetave të dendura, i bëjnë WSN mjaft tërheqëse për shumë aplikime.

Duke u krahasuar me rrjetat e komunikimit tradicional, një nyje në WSN jo domosdomërisht ka nevojë për një identitet (për shembull një adresë). Më tepër ato fokusohen në të dhënat e grumbulluara nga sensorët. Të dhënave zakonisht u shënohen atribute, duke u mundësuar aplikimeve të kërkojnë të dhëna që lidhen me një atribut të caktuar. Kjo mënyrë shkëput të dhënat nga sensori që i prodhoi. Kjo lejon për projektim aplikimi robust: edhe nëse një nyje vdes, e dhëna që gjeneron mund të kopjohet në sensorë të tjerë (për shembull te fqinjët) për t'u marrë më vonë. Pra nëse njëra nga nyjet dështon, një topologji e re konfigurohet dhe rrjeti në tërësi vazhdon të shpërndajë të dhëna. Nëse në fushë vendosen më shumë nyje, krijohen më tepër mundësira rrugëzimi.

Për klasifikimin e aplikacioneve të shumta të WSN-ve përdoren kritere të ndryshme. Në çështjet që vijojnë paraqiten dy lloje klasifikimesh duke përdor si kritere: mënyrën e operimit me të dhënat dhe fushat e jetës ku zbatohen këto aplikacione. Kriteri i klasifikimit është i rëndësishëm pasi zgjedhja e tij jep këndvështrime të ndryshme për ndërtimin e arkitekturës së rrjetit.

2.6.1. Klasifikimi sipas mënyrës së raportimit të të dhënave

Një nyje sensor mund të përdoret për ndijime të vazhdueshme, për dedektim ngjarjesh ose ndijim pozicioni. Pikërisht për mënyrën si raportohen këto të dhëna në kohë ne i kategorizojmë aplikimet në tre klasa kryesore: *Mbledhje të dhënash mjedisore, Monitorimi i sigurisë dhe Gjurmimi i nyjeve sensorë* [7].

Mbledhja e të dhënave mjedisore

Një aplikacion për mbledhjen kanonike të të dhënave mjedisore është ai ku kërkuesit shkencorë duan të mbledhin lexime të shumta sensorësh nga shumë pika të ndryshme nëpër mjedis gjatë një periudhe kohore për të nxjerrë trendet dhe ndërvarësitë. Që të dhënat të jenë kuptimplote duhet që të mblidhen në intervale të rregullta dhe nyjet të kenë lokacione të njohura. Skenarë të tillë rrjetash përbëhen nga nyje statike të instaluara në mjedise të jashtme dhe në përgjithësi kërkojnë norma shumë të ulëta të dhënash dhe jetëgjatësi jashtëzakonisht të madhe. Pas instalimit nyjet duhet të zbulojnë topologjinë e rrjetit dhe të vlerësojnë strategjitë e rrugëzimit optimal. Këto strategji përdoren për të rrugëzuar të dhënat drejt një pike mbledhëse qëndrore. Aplikacionet e kësaj klase përdorin topologjinë me rrugëzim pemë. Të dhënat transmetohen periodikisht nga nyjet *fëmijë* tek nyjet *prind* nëpër strukturën e pemës deri tek rrënja, që është nyja *sink*. Aplikacionet e monitorimit mjedisor nuk kanë kërkesa strikte vonese, pasi të dhënat mblidhen për analiza të mëvonshme dhe jo për operacione në kohë reale. Këto aplikacione kërkojnë një skeduler komunikimi shumë preciz, pasi nyjet duhet të zgjohen për të transmetuar dhe për të marrë të dhëna. Përfundimisht mund të themi se karakteristikat më të rëndësishme për monitorimet mjedisore janë: jetëgjatësia e madhe, sikronizim i lartë, shkalla e ulët e të dhënave dhe relativisht topologji statike. Nuk është shumë e rëndësishme për këto tip aplikacionesh transmetimi në kohë reale për tek qëndra e grumbullimit. Transmetimi i të dhënave mund të vonohet përgjatë rrjetit me qëllim rritjen e efikasitetit të rrjetit. Sensorët e lidhur në rrjet mund të shpërndahen për të mbledhur informacion të detajuar rreth një mjedisi siç janë: temperatura, ndotja, të dhënat agrikulturore, etj. *Ishulli i Great Duck* [11] është një shembull projekti ku monitorohet sjellja e specieve të zogjve që jetojnë në mjedis. Monitorimi i substancave toksike në zonat rurale, monitorimi i burimeve të ujit te pijshëm, saktësia në agrikulturë janë disa shembuj të tjerë të aplikimeve të monitorimit mjedisor duke përdorur WSN-të.

Monitorimi i sigurisë

Rrjetat monitoruese të sigurisë përbëhen nga nyje të vendosura në pozicione fikse në mjedis sensorët e të cilave monitorojnë në mënyrë të vazhdueshme për të dektetuar ndonjë anomali. Ndryshimi themelor midis monitorimit mjedisor dhe atij të sigurisë është se rrjetat e sigurisë

aktualisht nuk është se mbledhin ndonjë të dhënë. Kjo ka impakt direkt tek arkitektura e rrjetit dhe si rrjedhojë dhe tek rrugëzimi i informacionit. Është shumë e rëndësishme vendosja e menjëhershme e komunikimit për mesazhet e alarmit kur preket siguria. Nyjet duhet të konfirmojnë për njëra tjetrën nëse janë në gjendje pune. Dështimi i një nyjeje duhet të raportohet si shkelje e sigurisë. Në këto tipe rrjetash konsumi më i madh i energjisë ndodh kur dedektohet shkelja e sigurisë. Kohë vonesa e komunikimit me stacionin qëndror ka ndikim direkt në performancën e aplikacionit. Nyjet duhet duhet të jenë të afta t'i përgjigjen shpejt kërkesave të nyjeve fqinje për kalimin e të dhënave. Ndaj reduktimi i vonesës së transmetimit të alarmeve është më i rëndësishëm sesa reduktimi i kostos energjike të transmetimit. Kjo për arsye se supozohet që ngjarjet alarmante të ndodhin shumë rrallë, për shembull një sistem sigurie ndaj zjarrit mund të mos sinjalizojë asnjëherë rënien e zjarrit.

Gjurmimi i nyjeve

Një skenar tjetër gjërësisht i përdorur është gjurmimi i një objekti të piketuar në një zonë hapsinore të monitoruar nga një rrjet me sensorë. Përdorimi i teknologjisë pa tel e thjeshton gjurmimin duke instaluar mbi objektin një nyje sensor të vogël. Më pas bëhet gjurmimi i kësaj nyjeje në mjedisin ku është instaluar një rrjet me nyje fikse. Këto nyje fikse në vend që të ndijojnë të dhëna mjedisore, projektohen që të ndijojnë mesazhet RF të nyjes ngjitur me objekte të ndryshme që zgjidhen për tu gjurmuar. Për të rregjistruar vendodhjen relative të objekteve që gjurmohen ndaj nyjeve të rrjetit në pozicionet e njohura përdoret një bazë të dhënash. Me këtë sistem mund të pyesim për vendodhjen aktuale të objektit dhe jo vetëm për vendodhjen e fundit të tij. Ndryshe nga dy kategoritë e para aplikacionet gjurmuese pësojnë ndryshime të vazhdueshme topologjike sepse nyjet e gjurmuara lëvizin përgjatë rrjetit. Gjithashtu objektet e gjurmuara mund të hyjnë dhe të dalin vazhdimisht nga zona e monitorimit, ndaj rrjeti duhet të jetë i aftë të bëjë dedektime efektive të prezencës së nyjeve të reja që hyjnë në rrjet. Ruajtja e kufijve ose detektimi i futjeve me forcë, survejimi i minierave të qymyrit, gjurmimi i pacientëve dhe të përgjegjësve primar në një situatë fatkeqsie janë disa aplikime të zakonshme për t'u përmendur në këtë klasifikim.

Rrjeta hibride

Në të vërtetë aplikime të mëdhaja kanë karakteristika nga të treja kategoritë e mësipërme. Për shembull mund të ketë aplikime ku natyra e rrjetit kalon nga dedektimi i një alarmi, në mbledhje të dhënash dhe anasjelltas. Si shembull mund të marrim gjurmimin e një makine. Mund të ketë periudha kohore ku makina qëndron pa lëvizur. Gjatë kësaj kohe sistemi duhet të monitorojë dedektimin e lëvizjes. Kur makina ndodhet në lëvizje, sistemi duhet të mbledhë të dhëna të vazhdueshme mbi trajektoren e saj. Pra sjellja e rrjetit trigerohet midis monitorimit të alarmit "lëvizje" dhe gjurmimit të trajektores. Për këtë janë ndërtuar arkitektura rrjetash me funksione të shumëfishta që i trajtojnë të tria këto skenare aplikimesh.

2.6.2. Klasifikimi sipas fushës së përdorimit të aplikacionit

Rrjetat me sensorë konsistojnë në tipe të ndryshme sensorësh si: sizmik, termik, viziv, akustik, infrared dhe radar që monitorojnë një shumëllojshmëri kushtesh ambientale si:

temperatura, lagështia, lëvizja e mjeteve, ndriçimi, presioni, niveli i zhurmave, prania ose jo e një objekti, karakteristika të objekteve si shpejtësia, drejtimi dhe madhësia, etj. Koncepti i ndijimeve të detajeve dhe i lidhjes pa tel të këtyre nyjeve solli një përhapje të gjërë të përdorimit të WSN në një pjesë të madhe të aktiviteteve të njeriut. Klasifikimi në kategori të ndryshme nuk mund të jetë absolut, por sipas kontekstit të operimit në fushat e ndryshme të jetës mund t'i grupojmë aplikimet e WSN-ve në: ushtarake, mjedisore, komerciale, shëndetsore dhe robotike, [12].

Aplikimet ushtarake

Instalimi i shpejtë, vetë-organizimi dhe toleranca ndaj gabimeve janë karakteristika të preferueshme për aplikimet ushtarake. Në këto rrjeta kemi një vendosje të dendur dhe me kosto të ulët të nyjeve sensor, ndaj shkatërrimi i disa nyjeve nga sulmet armike nuk ka ndonjë efekt në operacionin ushtarak në tërësi. Në aplikimet ushtarake WSN-të përdoren për mbledhje informacioni, gjurmim të armiqve dhe për survejim në një fushë beteje [13]. Klasifikimi i armikut dhe gjurmimi i tij janë aplikimet taktike bazë të fushë-betejës. Shembuj të tjerë përfshijnë detektimin e sulmeve kimike (bërthamore, biologjike), taktikat kundër-snajperit, etj.

Monitorimet mjedisore

Nëse do të gruponim në një kategori të gjitha aplikimet që lidhen me monitorimin e mjedisit mund të thuhet se janë të shumtë në fusha të ndryshme si: gjurmimi i lëvizjeve tek zogjtë, kafshë të vogla dhe insektet; monitorimi i kushteve të mjedisit që ndikojnë tek të korrat dhe blegtoria; ujitja; makroinstrumenta për monitorimin e Tokës në shkallë të gjerë dhe eksplorime planetare; dedektime kimike dhe biologjike; monitorimi i mjedisit oqeanik dhe atmosferik; dedektimi i zjarrit në pyll; hulumtime meteorologjike ose gjeofizike; zbulimi i përmbytjeve dhe studimi i ndotjes. Kjo gamë e gjerë aplikimesh ndahet në dy grupe: në monitorime në mjedise të brendshme dhe monitorime në mjedise të jashtme.

- Në monitorimet në mjedise të brendshme mund të përmendim sistemet automatike të ndriçimit dhe të ngrohjes së ndërtesave, ku rrjeta me sensorë monitorojnë kushtet e dritës dhe të temperaturës në mënyrë që të kemi një përdorim efikas dhe ekonomik të paisjeve të këtyre sistemeve [14], [15]. Aplikime të tjera në mjedise të brendshme janë shërbimet e emergjencës, sistemet që merren me zvoglimin e përhapjes së zjarrit dhe inspektimin e dëmtimeve nga tërmeti nëpër ndërtesa.
- Në monitorimet në mjedise të jashtme mund të përmendim aplikimet ekologjike, agrikulturore dhe sistemet e paralajmërimit të hershëm në raste fatkeqësish, [16]. Detektimi i zjarreve në pyje, detektimi i përmbytjeve, monitorimi i shpërthimeve vullkanike, detektimi i substancave të rrezikshme janë shembujt kryesorë të këtyre aplikimeve.

Sistemet e kujdesit shëndetësor

Kur rrjetat WSN projektohen për qëllime mjekësore shpesh referohen si rrjetat e sensorëve mjekësore pa tel, WMSNs (Wireless medical sensor networks) [17]. Këto rrjeta instalohen në trupin e pacientit dhe përdoren për të monitoruar nga afër kushtet fiziologjike të pacientëve.

Sensorët e tyre monitorojnë shenjat vitale të trupit të pacientëve (si për shembull: temperaturën, rrahjet e zemrës, presionin e gjakut, saturimin e oksigjenit, etj.) dhe transmetojnë të dhënat në një qendër në distancë pa ndërhyrjen e njeriut. Më pas një doktor mund të interpretojë leximet e sensorëve për të asistuar sipas kushteve të pacientit. Nga kjo pacientët mund të përfitojnë monitorime afatgjata edhe pas daljes nga spitali. Në përgjithësi aplikimet e rrjetave me sensor pa tel në sistemet e kujdesit shëndetësor mund t'i ndajmë në tre kategori:

- Monitorimi klinik i pacientëve [18].
- Monitorimi në shtëpi nga qëndrat e kujdesit për pacientë kronikë dhe të moshuar [19].
- Mbledhja afatgjatë e bazave të të dhënave klinike [20].

Aplikime robotike

Disa aplikime kanë çiftuar nyjet e sensorëve me robotët duke promovuar kërkimet në rrjetat e sensorëve me shkallë të gjerë ku marrin pjesë robotët. Intel po kryen studime në këtë fushë, ku robotë të lëvizshëm shikohen si porta në brendësi të rrjetave WSN për të suportuar rrjetin [21]. Disa nga detyrat janë: ruajtja e burimeve të energjisë për një kohë të pacaktuar, mirëmbajtja dhe konfigurimi harduer, zbulimi i dështimeve të sensorëve dhe dislokimi i duhur për të mundësuar lidhjen midis nyjeve. Një tjetër aplikimi i rëndësishëm [22] lidhet me lokalizimin e nyjeve në një rrjet sensorësh me anë të robotëve të lëvizshëm. Kjo qasje synon të zgjidhë problemin e unifikimit të një rrjeti që është veçuar për shkak të grupeve të shkëputura të sensorëve. Në të gjitha këto studime robotët janë të integruar si pjesë të rrjetit sensor.

Aplikime të tjera komerciale

Monitorimi Industrial/Strukturor: Monitorimi i pajisjeve/gjëndjes fizike është një aplikim tipik industrial që mund të përdorë një rrjet WSN. Sensorët e lidhur në pajisjen kritike mund të detektojnë dhe të parandalojnë probleme të pajisjes në të ardhmen. Gjithashtu, WSN-të përdoren për monitorimin e gjëndjes strukturore për të detektuar dëmtimin e urave, ndërtesave, për gjurmimin dhe dedektimin e automjeteve etj.

Transporti dhe Logjistikat: Kontrolli i inventarit dhe monitorimi i magazinës janë detyra sfiduese në aplikimet e transportit dhe të logjistikës. Duke përdorur WSN-të asetet mund të monitorohen nga prodhimi deri te shpërndarja për tek përdoruesi fundor.

Shtëpitë e automatizuara: Nyjet e sensorëve mund të vendosen në paisje të ndryshme shtëpiake dhe të formojnë një rrjet të brëndshëm që lidhet me një rrjet të jashtëm me anë të Internetit duke i dhënë mundësi njerëzve të kontrollojnë dhe të menaxhojnë shtëpinë e tyre edhe në distancë. Në ditët e sotme kanë marrë zhvillim aplikime të tilla dhe që njihen me emrin mjedise inteligjente (smart environment).

2.6.3. Shembuj aplikimesh

Ishulli i "Great Duck"

Shembulli më përfaqësues i monitorimit mjedisor është ndërtimi i një rrjeti sensorësh me 32 nyje në ishullin Great Duck, [11]. Ky rrjet monitoron habitatin. Sensorët e përdorur masin

temperaturën, presionin barometrik dhe lagështirën. Qëllimi është të monitorohet mjedisi natyral i një lloj zogu deti dhe sjellja e tij në bazë të ndryshimeve klimaterike. Për këtë arsye disa nyje sensor u vendosën dhe në foletë e zogjve për të dedektuar prezencën e zogut, ndërkohë pjesa tjetër u instaluan në zonën përreth. Të dhënat mblidhen nga nyjet sensor tek nyja portë. Roli i nyjes portë është transmetimi i të dhënave përmes një rrjeti tjetër standart tek stacioni lokal bazë që përbën dhe databazën. Databaza aksesohet përmes Internetit dhe replikohet për siguri tek një lokacion tjetër në distancë. Ky aplikacion tregon një shembull të përdorimit të një rrjeti heterogjen me shumë nivele.

"Smart Water"

Një shembull gjithashtu domethënës për kategorinë e mbledhjes së të dhënave është sistemi i përdorur në projektin *Smart Water* në Valencia [23] për monitorimin e ciklit të ujit, siç është paraqitur në Fig. 2.6. Secili komponent i sistemit kërkon asistencën e një rrjeti sensorësh pa tel për të përcaktuar hyrjet e tij. Qindra nyje të shpërndara në një mjedis të gjerë janë grupuar së bashku për të përcaktuar topologjinë e rrjetit dhe për të transmetuar të dhënat në një pikë grumbullimi. Sensorët dedektojnë parametra të ndryshme në shumë pika të terrenit dhe komunikojnë të dhëna nëpërmjet rrjetit *multi-hop* për analiza të mëtejshme.

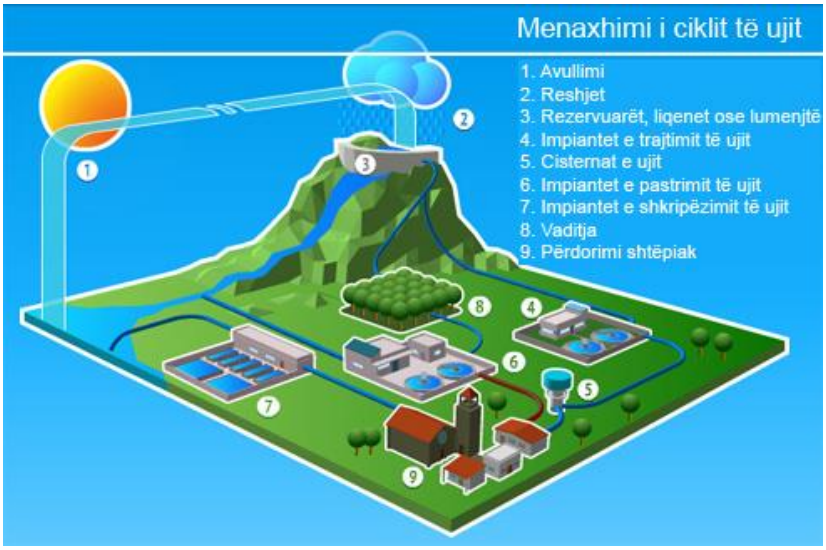

Figura 2.6 Integrimi i rrjetave WSN për monitorimin e ciklit të ujit

Projekti "Smart Santander"

Në këtë paragraf përshkruhet një shembull i klasës hibride të aplikimeve WSN, projekti "SMART Santander" [24], i cili është zhvilluar nga disa kompani dhe institucione, duke përfshirë Universitetin e Cantabria-s. Ky projekt synoi projektimin, vendosjen dhe vlerësimin në Santander (një qytet në Spanjë) të një platforme të përbërë nga sensorë, shndërrues, kamera dhe ekrane për të ofruar informata të dobishme për qytetarët. Unik në botë, "SmartSantander" është me të vërtetë një studim eksperimental në shkallë qyteti në mbështetje të aplikacioneve dhe shërbimeve tipike për qytetet e ardhshme inteligjente. Ai u ofrohet të gjithë studiuesve në mbarë botën për të testuar algoritme të ndryshme në mjedise reale.

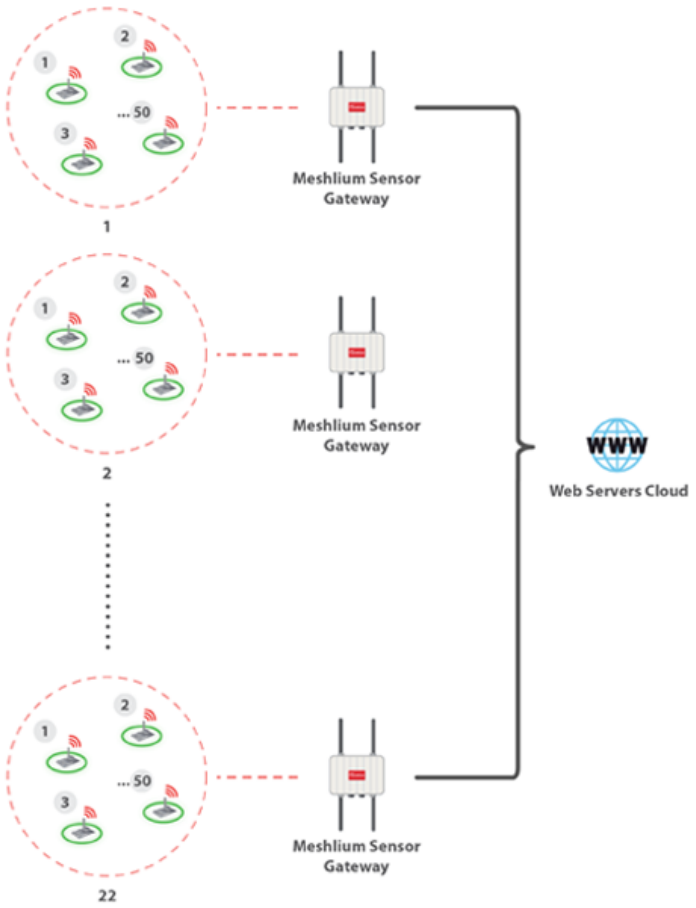

Figura 2.7 Diagrama e një aplikimi për "Smart City"

Në Fig. 2.7 jepet një diagramë e përgjithshme e huazuar nga siti www.libelium.com që ilustron projektin. Rreth 1000 paisje të integruara nyjesh (të quajtura *Waspmote*) janë vendosur për të monitoruar parametrat e ndryshme të tilla si: zhurma, temperatura, ndriçimi, CO_2 dhe parkimet e lira. Nëse ndonjë prej këtyre pesë parametrave shkon mbi një prag të caktuar, sistemi analizon informacionin dhe mund të reagojë duke dërguar një alarm në nyjen qendrore. Kjo nyje qendrore është një portë (gateway) wireless që quhet *Meshlium*, në këtë rast. Për të ditur ku një sensor është i vendosur, çdo *Waspmote* ka të integruar një sistem të pozicionimit global (GPS) që jep pozicione të sakta dhe informacione kohore. Qyteti është i ndarë në 22 zona ku secila zonë ka një portë pa tel *Meshlium*, që mbledh të dhënat nga sensorët. Numri i sensorëve varet nga zona që duhet mbuluar. Në çdo zonë zhvillohet një rrjet i pavarur që punon në kanale frekuencash të ndryshme për të mos interferuar me njëri tjetrin.
Disa *Waspmotes* të veçanta masin fushën magnetike për të dedektuar një vend parkimi të lirë. Sensori i fushës magnetike që lidhet me *Waspmote* përmes bordit të sensorit të parkimit, instalohet në sipërfaqen e vendparkimit dhe dedekton ndryshimin e fushës magnetike të gjeneruar nga një makinë parkuar mbi të.

2.7. Përmbledhje

Një WSN përbëhet nga një numër i madh nyjesh sensorë të shpërndarë në mënyrë të dendur në një hapësirë ku studiohet dhe analizohet një fenomen i caktuar fizik. Funksioni kryesor i këtyre rrjetave është kampionimi i të dhënave të mjedisit rrethues duke përdorur sensorët.
Staku i protokollit që përdoret në arkitekturën e WSN-ve është i ngjashëm me atë të përdorur në rrjetat MANET (që është i njëjti stak i përdorur edhe në rrjetat TCP/IP) përveç se janë shtuar planet e menaxhimit që operojnë nëpër të gjitha shtresat. Planet e menaxhimit të fuqisë, funksioneve dhe të lëvizshmërisë monitorojnë energjinë, lëvizjen dhe shpërndarjen e detyrave përgjatë nyjeve sensor. Staku merr parasysh problemet e kufizimit të WSN duke kombinuar rrugëzimin me shpenzimin e energjisë, duke integruar të dhënat me protokollet e rrjetit, duke përdorur me efikasitet fuqinë komunikuese përmes kanalit *wireless* dhe promovon përpjekje bashkëpunuese të nyjeve sensor. Një nga standartet më të përdorura për shtresat e ulta është standarti IEEE 802.15.4. Ky standart është për një zgjidhje me shpejtësi të ulët të të dhënave me harxhim eficient energjie dhe me kompleksitet shumë të ulët.
Përcaktimi i metrikave vlerësuese për WSN bëhet duke patur parasysh objektivat më të rëndësishme të zhvillimit të një rrjeti, se ku do të përdoret rrjeti dhe avantazhet kyçe të këtyre rrjetave mbi teknologjitë ekzistuese. Ekziston një bashkësi metrikash për vlerësimin e sistemit që formon një hapsirë shumë-dimensionale që mund të përdoret për të përshkruar aftësitë e rrjetit me sensorë *wireless*. Bashkësia e metrikave që përdoret për të vlerësuar performancën e rrjetit të sensorëve në tërësi lidhet me karakteristikat e nyjeve individuale që i suportojnë ato. Metrikat vlerësuese të nyjeve individuale gjithashtu janë të ndërlidhura ku një përmirësim në një metrikë vlerësimi të nivelit të nyjes (për shembull distanca) shpesh shkakton shpenzim të një tjetre (për shembull fuqia).
Karakteristikat unike të WSN-së, siç janë burimet me fuqi të kufizuar, kapaciteti i madh i ruajtjes ose lidhja e dobët dhe e kufizuar imponojnë qëllime projektimi të shumta dhe shpesh konfliktuale. Algoritmat e menaxhimit të të dhënave për WSN duhet të gëzojnë karakteristika të tilla si: të jenë vetë-organizues, të shkallëzueshëm, të kenë administrim minimal, efikas në energji, tolerant ndaj gabimeve, bashkëpunues dhe të operojnë me mënyrën Peer-to-Peer.
Reduktimi i madhësisë së një nyjeje ishte vendimtar në aspektin e prodhimit të pajisjeve sa më të lira dhe të gatshme për t'u përdorur në një diapazon të gjërë fushash aplikimi. Për klasifikimin e aplikacioneve të shumta të WSN-ve përdoren kritere të ndryshme. Zgjedhja e kriterit të klasifikimit është i rëndësishëm për ndërtimin e arkitekturës së rrjetit. Sipas raportimit të të dhënave në kohë aplikimet kategorizohen në tre klasa kryesore: *Mbledhje të dhënash mjedisore, Monitorimi i sigurisë dhe Gjurmimi i nyjeve sensorë.*
Karakteristikat më të rëndësishme për monitorimet mjedisore janë: jetëgjatësia e madhe, sikronizim i lartë, sasia e ulët e të dhënave dhe topologji relativisht statike. Nuk është shumë e rëndësishme për këto tip aplikacionesh transmetimi në kohë reale për tek qëndra e grumbullimit. Transmetimi i të dhënave mund të vonohet përgjatë rrjetit me qëllim rritjen e efikasitetit të rrjetit.
Në rrjetat e monitorimit të sigurisë konsumi më i madh i energjisë ndodh kur dedektohet shkelja e sigurisë. Kohë vonesa e komunikimit me stacionin qëndror ndikon direkt në

performancën e aplikacionit. Nyjet duhet duhet të jenë të afta t'i përgjigjen shpejt kërkesave të nyjeve fqinje për kalimin e të dhënave. Ndaj reduktimi i vonesës së transmetimit të alarmeve është më i rëndësishëm sesa reduktimi i kostos energjike të transmetimit. Kjo për arsye se supozohet që ngjarjet alarmante të ndodhin shumë rrallë.

Ndryshe nga dy kategoritë e para aplikacionet e gjurmimit pësojnë ndryshime të vazhdueshme topologjike sepse nyjet e gjurmuara lëvizin përgjatë rrjetit. Gjithashtu objektet e gjurmuara mund të hyjnë dhe të dalin vazhdimisht nga zona e monitorimit të rrjetit, ndaj rrjeti duhet të jetë i aftë të bëjë dedektime efektive të prezencës së nyjeve të reja që hyjnë në rrjet.

Ekzistojnë dhe aplikime hibride ku natyra e rrjetit kalon nga dedektimi i një alarmi, në mbledhje të dhënash dhe anasjelltas. Klasifikimi në kategori të ndryshme nuk mund të jetë absolut, por sipas kontekstit të operimit në fushat e ndryshme të jetës mund t'i grupojmë aplikimet e WSN-ve në: ushtarake, mjedisore, komerciale, shëndetsore dhe robotike.

KAPITULLI 3

PROTOKOLLET E RRUGËZIMIT NË WSN

Në këtë kapitull jepet klasifikimi dhe përshkrimi i protokolleve ekzistuese rrugëzuese për WSN-të, duke u ndalur në detaje në ato grupe protokollesh ku mbështetet punimi. Jepen njohuritë kryesore mbi protokollin e rrugëzimit hierarkik LEACH, i cili është përdorur si model për ndërtimin e algoritmit që shërben për krijimin e clusterave në skenarin e rrjetit të përzgjedhur ku do të implementohet teknika e kordës virtuale e huazuar nga VCP. Prandaj në vijim jepet dhe përshkrimi i detajuar i VCP. Gjithashtu në këtë kapitull prezantohen dhe punimet e ngjashme që lidhen me këto dy protokolle dhe si rrjedhojë dhe me skemën e propozuar të rrugëzimit që kombinon dy algoritmat e tyre të rrugëzimit.

3.1. Klasifikimi

Teknikat e rrugëzimit përdoren për dërgimin e të dhënave gjatë komunikimit midis nyjeve sensor dhe stacioneve bazë. Për rrjetin e sensorëve pa tel janë propozuar protokolle të ndryshme rrugëzimi, të cilët klasifikohen në bazë të parametrave të ndryshme. Në këtë çështje do të trajtojmë klasifikimin duke u bazuar: në mënyrën e funksionimit dhe të tipit të aplikacionit, në mënyrën e komunikimit të nyjes me BS (*Base Station*) dhe klasifikimi sipas strukturës së rrjetit [25].

3.1.1. Klasifikimi mbi bazën e mënyrës së funksionimit

Protokollet mund të klasifikohen si proaktive, reaktive dhe hibride, bazuar në mënyrën e tyre të funksionimit dhe llojit të aplikacioneve të synuar.

- Në një protokoll proaktiv nyjet trigerojnë sensorët dhe transmetuesit e tyre, duke ndijuar mjedisin dhe transmetuar të dhënat në një BS përmes rrugës së paracaktuar. Protokolli LEACH është i këtij lloji [26].
- Në rastin e një protokolli reaktiv nëse ka ndryshime të papritura në atributet e ndijuara përtej disa vlerave kufij të para-përcaktuara, nyjet reagojnë menjëherë. Ky lloj protokolli është përdorur në aplikacionet me kohë kritike. TEEN është një shembull i një protokolli reaktiv [27].
- Protokollet hibride si APTEEN [28] (Adaptive Periodic TEEN) përfshijnë koncepte të të dy llojeve: proaktive dhe reaktive. Ata së pari llogarisin të gjitha rrugët dhe pastaj i përmirësojnë këto rrugë në momentin e rrugëzimit.

3.1.2. Klasifikimi sipas mënyrës së komunikimit të nyjes me BS

Sipas mënyrës së komunikimit të nyjes me BS, protokollet e rrugëzimit mund të klasifikohen në protokolle të komunikimit të drejtpërdrejtë, protokollet *flat* dhe protokollet *clustering*.

Nyja BS është një nyje e veçantë e rrjetit që përfaqëson nyjen kryesore të rrjetit për grumbullimin e të dhënave. Kjo nyje shpeshherë mund të luajë dhe rolin e nyjes *sink*.

- Në protokollet e komunikimit të drejtpërdrejtë, çdo nyje mund të dërgojë direkt informacion në BS. Kur kjo aplikohet në një rrjet shumë të madh, energjia e nyjeve sensor mund shterojë shumë shpejt. Shkallëzueshmëria në këtë rast është shumë e vogël. SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation) është një shembull i këtij lloj protokolli [27].
- Në rastin e protokolleve flat, si për shembull Rumor Routing [29], nëse ndonjë nyje i duhet të transmetojë të dhëna, ajo kërkon paraprakisht për një rrugë të vlefshme në BS dhe pastaj transmeton të dhënat. Në këtë rast nyjet rreth stacionit bazë mund mbarojnë shpejt energjinë e tyre dhe kjo tregon një shkallëzueshmëri mesatare.
- Sipas protokolleve *clustering*, të gjitha nyjet e rrjetit ndahen në disa grupime. Secili grupim ka një nyje lider, të cilës në vijim do t'i referohemi shkurt si CH (Cluster Head), që komunikon direkt me BS. Të gjitha nyjet brenda grupimit i dërgojnë të dhënat e tyre tek nyja CH përkatëse (si shembull po përmendim sërish TEEN).

3.1.3. Klasifikimi sipas strukturës së rrjetit

Në varësi të strukturës së rrjetit, protokollet mund të klasifikohen në hierarkike, data-centrike dhe protokolle të bazuar në vendodhje [30].

- Rrugëzimi hierarkik (shembuj: LEACH, TEEN, APTEEN) përdoret për të realizuar rrugëzime efikase në energji, pra, nyjet me sasi më të lartë të energjisë mund të përdoren për procesim dhe dërgim informacioni; nyjet me më pak energji përdoren për të kryer ndijimin në zonën e interesuar.
- Ndërsa tek protokollet data-centrike në mungesë të një identifikuesi global të nyjeve, është i nevojshëm një emërtim i bazuar në atribute për të përcaktuar cilësitë e të dhënave që kërkohen përmes pyetësorëve. Këta pyetësorë dërgohen në rajone të caktuara nga stacioni bazë i rrjetit, i cili pret për të dhëna nga sensorët e lokalizuar në rajonin e përzgjedhur. Pra kemi të bëjmë me një rrugëzim të orientuar nga të dhënat që ndryshon nga rrugëzimi tradicional i bazuar në adresa nyjesh, ku kemi krijim rrugësh midis nyjeve të adresueshme që menaxhohen nga shtresa e rrjetit në stakun e komunikimit. Në varësi të pyetjes, sensorët mbledhin një të dhënë të veçantë nga zona e interesuar dhe vetëm ky informacion i veçantë nevojitet të transmetohet në BS duke reduktuar kështu numrin e transmetimeve. SPIN është protokolli i parë data-centrik.
- Protokollet e bazuar në vendodhje përdorin informacionin e vendodhjes së nyjes për t'i transmetuar të dhënat drejt zonave të dëshiruara. Informacioni i vendndodhjes mund të merret nga sinjalet GPS (Global Positioning System), nga fuqia e sinjalit radio të marrë, etj. Shfrytëzimi i informacionit për vendndodhjen, jep mundësinë e formimit të një rruge optimale pa përdorur teknikat *flooding*. GEAR (Geographic and Energy-Aware Routing) është një shembull i një protokolli rrugëzimi i bazuar në vendndodhje [31].

3.2. Protokollet ekzistuese të rrugëzimit

Në paragrafin 3.1 u trajtuan disa mënyra të klasifikimit të protokolleve të rrugëzimit në WSN. Kriteri i klasifikimi që përdoret më shumë është ai sipas strukturës së rrjetit dhe në këtë paragraf trajtohen protokollet ekzistuese të këtij grupimi. Ky grup klasifikohet më tej si në Fig. 3.1. Vlen të theksohet se disa janë përmendur edhe në klasifikimet e tjera duke qenë se bëjnë pjesë në disa grupe klasifikimesh.

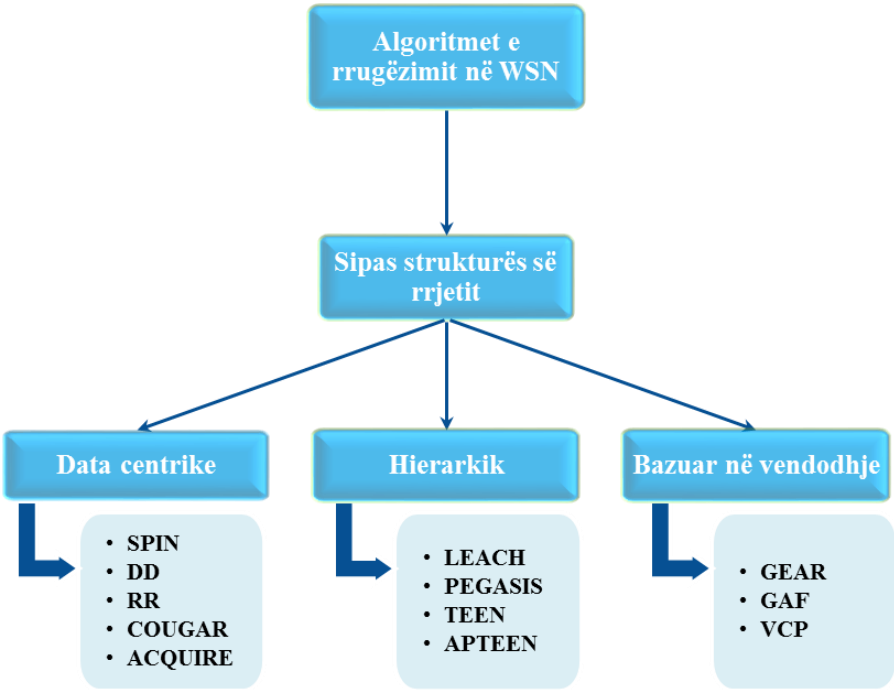

Figura 3.1 Protokollet e rrugëzimit sipas strukturës së rrjetit në WSN.

3.2.1. Protokollet e rrugëzimit data-centrik

Në disa aplikacione të rrjetave të sensorëve, nuk është e mundur të shënohen indetifikues global për çdo nyje për shkak të numrit shumë të madh të tyre. Të dhënat zakonisht transmetohen nga nyjet sensor të rajonit me shumë tepricë. Në terma të përdorimit të energjisë kjo tepricë sjell joefikasitet. Ndaj protokollet e rrugëzimit duhet të kenë aftësinë e zgjedhjes së një grupi nyjesh sensor dhe duhet të marrin në konsideratë agregimin e të dhënave gjatë transmetimit të të dhënave. Këto rrethana çuan në lindjen e rrugëzimit data-centrik. Në këtë rrugëzim, nyjet *sink* dërgojnë pyetësor në disa rajone të veçanta dhe presin të dhëna nga sensorët e lokalizuar në rajonet e përzgjedhura.

Flooding dhe gossiping

Dy mekanizma klasike për transmetimin e të dhënave në një rrjet sensorësh janë *flooding* dhe *gossiping*, të cilët nuk kanë nevojë për algoritma rrugëzuese apo mirëmbajtje të topologjisë. Në *flooding*, çdo sensor bën *broadcast* paketën e marrë të të dhënave tek të gjithë fqinjët e tij dhe ky proces vazhdon derisa paketa arrin në destinacion ose kur paketa ka arritur numrin maksimal të hopeve. Nga ana tjetër *gossiping* është një version ku nyja marrëse e dërgon

paketën tek fqinji i zgjedhur në mënyrë rastësore, i cili nga ana e tij e përcjell paketën tek një tjetër fqinj i rastësishëm e kështu me radhë deri në destinacion. *Flooding* implementohet shumë thjesht por mbart disa probleme si: mesazhet e duplikuara në të njëjtën nyje, mbivendosjen e paketave në rastin kur dy nyje ndijojnë në të njëjtin rajon dhe dërgojnë paketa të ngjashme tek i njëjti fqinj, dhe mos marrja në konsideratë e burimeve të kufizuara duke konsumuar një sasi të madhe energjie. Problemi i duplikimit shpjegohet në Fig. 3.2, ku një nyje A transmeton të dhënat e saj me *flooding* tek të gjithë fqinjët e saj. Nyja D merr dy kopje të njëjta të këtyre të dhënave. Në Fig. 3.3 shpjegohet problemi i mbivendosjes. Dy nyje sensor mbulojnë një rajon gjeografik të mbivendosur r dhe nyja D merr kopje të njëjta të dhënash prej tyre.

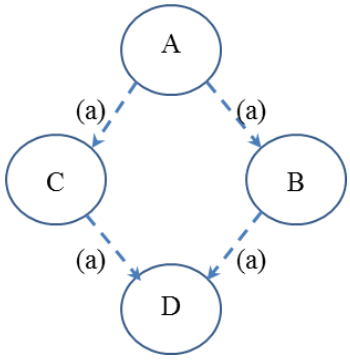

Figura 3.2 Problemi i duplikimit

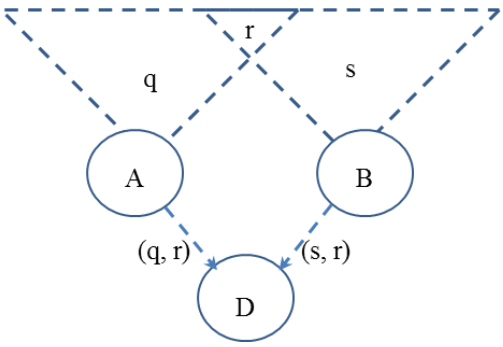

Figura 3.3 Problemi i mbivendosjes

Gossiping e shmang problemin e mesazheve të duplikuara thjesht duke e transmetuar paketën tek nyja e zgjedhur rastësisht në vend të transmetimit *broadcast* të saj. Por në këtë metodë shfaqet një problem tjetër ai i vonesës së dërgimit të të dhënave përmes nyjeve.

SPIN

SPIN bën pjesë në familjen e protokolleve adaptive që përdorin algoritme që punojnë me negociata të dhënash dhe përshtatje burimesh [27]. Ai është një protokoll rrugëzimi data-centrik. Ai bën dy supozime: 1) të gjitha nyjet në rrjet janë stacione bazë, 2) nyjet pranë njëri-tjetrit kanë të dhëna të ngjashme. Ideja kryesore në SPIN është emërtimi i të dhënave duke përdorur deskriptorë të nivelit të lartë ose metadata-t. Meqenëse të gjitha nyjet supozohen si stacione bazë i gjithë informacioni transmetohet broadcast tek çdo nyje e rrjetit. Kështu

përdoruesi mund të pyesë tek çdo nyje dhe mund të marrë informacion menjëherë. Nyjet në këtë rrjet përdorin emërtime të nivelit të lartë për të përshkruar të dhënat e tyre të mbledhura që quhen metadata.
SPIN ka tre lloje mesazhesh: ADV, REQ dhe DATA. Mesazhi ADV krijohet kur një nyje ka të dhëna për të dërguar. Ky mesazh përmban metadata. Mesazhin REQ një nyje e dërgon kur ajo dëshiron të marrë disa të dhëna. Mesazhi DATA përmban të dhënat me një kokë që mban metadata-t e këtyre të dhënave. Para se të dërgohet një mesazh DATA, nyja sensor transmeton një mesazh ADV që përmban një deskriptor (domethënë metadata) të të dhënave. Nëse një fqinj është i interesuar për këtë të dhënë, ai dërgon një mesazh REQ për mesazhin DATA, i cili pastaj i dërgohet këtij fqinji. Përkatësisht, nyja fqinj përsërit të njëjtën procedurë deri sa të dhënat dërgohen në nyjen sink (ose BS).
Një nga avantazhet e SPIN është se ndryshimet topologjike janë të lokalizuara meqë çdo nyje duhet të njohë vetëm fqinjët e saj një hop larg. Gjithashtu SPIN kursen më shumë energji sesa *flooding* dhe negocimi me metadata gati i përgjysmon të dhënat e tepërta. Megjithatë, SPIN ka disavantazhe të qarta. Para së gjithash, ai nuk është i shkallëzueshëm. Së dyti, nyjet rreth nyjes sink mund të zbrazin tërë energjinë e tyre nëse sink është i interesuar në shumë ngjarje. Së fundi, mekanizmi i njoftimit të të dhënave me ADV nuk mund të garantojë shpërndarjen e të dhënave. Për shembull, nëse nyjet që janë të interesuar për të dhënat janë shumë larg nga nyja burim dhe nyjet ndërmjet burimit dhe destinacionit nuk janë të interesuar në ato të dhëna, këto të dhëna nuk do të shkojnë në destinacion.

Difuzioni i drejtuar

Difuzioni i drejtuar DD (Directed Diffusion) [32] është një protokoll data-centrik dhe specifik për aplikacionin në të cilin të dhënat e gjeneruar nga nyjet sensor emërtohen nëpërmjet çifteve atribut-vlerë. Ky çift përdoret për t'i kërkuar të dhënat në momentin e kërkesës, përmes pyetësorëve. Përdorimi i kësaj skeme emërtimi shmang operacionet e panevojshme të rrugëzimit në shtresën e rrjetit duke kursyer energji. DD konsiston në 4 elementë: mesazhet e tipit "interest", mesazhet e të dhënave, gradientët dhe përforcuesit. Një mesazh interest (një listë e çifteve atribut, vlerë) përshkruan një target. Mesazhet e të dhënave emërtohen duke përdorur çiftet atribut, vlerë. Një gradient specifikon *data rate*-in dhe drejtimin e eventit. Përforcuesit zgjedhin një rrugë të veçantë nga një bashkësi rrugësh. Një BS difuzon një pyetësor drejt nyjeve në zonën e interesuar. Pyetësori ose mesazhi interest difuzohet hop pas hopi. Secili sensor që merr mesazhin interest vendos një gradient nyjeve nga të cilat merr mesazhin. Ky proces vazhdon derisa vendosen të gjithë gradientët nga nyja burim deri tek BS. Të dhënat e ndijuara dërgohen tek BS përmes rrugëve reverse. Nyjet ndërmjetëse mund t'i agregojnë të dhënat e tyre në varësi të mesazhit të të dhënave duke reduktuar kështu koston e komunikimit. Duke qenë se transmetimi këtu nuk është i besueshëm BS ridërgon periodikisht mesazhin interest deri kur fillon të marrë të dhënat e kërkuara nga burimi.
Përparësia e DD është kursimi i energjisë përmes zgjedhjes së rrugës optimale, ruajtjes (*cashing*) dhe përpunimit të të dhënave brenda në rrjet. Megjithatë ai ka disa probleme. Fillimisht për agregimin e të dhënave nevojiten teknika sikronizimi kohor që nuk realizohen lehtë në WSN. Për më tepër ai nuk mund të zbatohet tek aplikacionet që kërkojnë një

transmetim të vazhdueshëm të dhënash, pasi do të sillte joefikasitet, meqenëse përdor model transmetimi të dhënash sipas kërkesës. Prandaj DD nuk është një zgjedhje e mirë si protokoll rrugëzimi në aplikime të tilla si monitorimet mjedisore. Gjithashtu procesi i lidhjes së të dhënave me pyetësorët krijon ngarkesë shtesë tek sensorët.

Rumor Routing

Rumor Routing, shkurt RR, është një variant i DD dhe përdoret kryesisht në aplikacione ku rrugëzimi gjeografik nuk mund të zbatohet [29]. DD përdor flooding për të injektuar një kërkesë në të gjithë rrjetin. Por ndonjëherë sasia e të dhënave të kërkuara është aq e vogël sa flooding bëhet i panevojshëm. Një mënyrë alternative është bërja flooding e eventeve kur numri i tyre është i vogël dhe kur numri i kërkesave është i lartë. Ideja kryesore është rrugëzimi i kërkesave drejt nyjeve që kanë vëzhguar një ngjarje të veçantë në vend që të pyesim të gjithë rrjetin me flooding për të marrë informacion mbi ndodhinë e ngjarjes. RR gjeneron disa paketa me jetëgjatësi të madhe të quajtura agjentë. Kur një nyje dedekton një event e shton atë në tabelën e saj lokale të eventeve dhe gjeneron një agjent. Agjentët udhëtojnë në rrjet për të përhapur informacionin mbi eventet lokale tek nyjet e largëta, duke ndjekur rrugë rastësore. Nyjet e vizituara prej tyre krijojnë një gradient për eventet. Kur një nyje gjeneron një kërkesë për një event, nyjet që kanë krijuar gradient mbi eventin mund të përgjigjen, duke iu referuar tabelave të tyre të eventeve. Kështu nuk është më e nevojshme për flooding në të gjithë rrjetin, duke ulur kështu koston e komunikimit.

Përparësia e RR është se mirëmban vetëm një rrugë midis burimit dhe destinacionit në dallim nga DD ku të dhënat dërgohen në nivel të ulët në rrugë të shumëfishuara. Rezulatet e simulimeve kanë treguar se ai shfaq një kursim të rëndësishëm energjie përmes flooding të eventeve dhe është i manovrueshëm në rast dështimesh të nyjeve. Megjithatë RR performon mirë ku numri i eventeve është i ulët. Kur numri i tyre bëhet shumë i lartë, kostoja e mirëmbajtjes së agjentëve dhe e tabelave të eventeve bëhet e tepërt nëse nuk ka interes të mjaftueshëm për këto evente nga stacioni qendror BS. Ngarkesa shtesë që sjell RR kontrollohet nga parametra të ndryshëm të përdorur në algoritëm si time-to-live (TTL) që i përket pyetësorëve dhe agjentëve.

COUGAR

Një tjetër protokoll i tipit data-centrik, i quajtur COUGAR [33], e shikon rrjetin si një sistem të madh databaze të shpërndarë. Thelbi i tij është përdorimi i pyetësorëve deklarativë për të abstraguar procesin e pyetësorëve nga funksionet e shtresës së rrjetit, siç është për shembull përzgjedhja e sensorëve të duhur dhe agregimi brenda në rrjet. Ky abstragim suportohet duke shtuar një shtresë *query* midis shtresës së rrjetit dhe shtresës aplikacion. Arkitektura e COUGAR-it është e tillë ku nyjet sensor zgjedhin një nyje lider për të bërë agregimin dhe transmetimin për në BS. Nyja BS është përgjegjëse për gjenerimin e një plani pyetësorësh që specifikon informacionin e nevojshëm mbi rrjedhjen e të dhënave dhe përpunimin brenda rrjetit për kërkesat e mbërritura dhe ia dërgon sensorëve të duhur. Ky plan gjithashtu përshkruan se si të zgjidhet lideri për pyetësorin. Kjo arkitekturë mundëson përpunimin brenda në rrjet për të gjitha nyjet e rrjetit duke siguruar efikasitetin energjitik sidomos në

rastet kur numri i sensorëve që gjenerojnë dhe dërgojnë të dhëna tek lideri është i madh. COUGAR siguron një metodë të pavarur nga shtresa e rrjetit për kërkesat mbi të dhënat. Përveç këtyre të mirave ai ka disa të meta. Pikë së pari futja e një shtrese query shtesë në çdo nyje sensor sjell ngarkesë ekstra tek nyja sensor në terma të konsumimit të energjisë dhe të kujtesës. Së dyti përpunimi i të dhënave brenda në rrjet nga një seri nyjesh kërkon sinkronizimin e tyre (për shembull jo të gjitha të dhënat vijnë në të njëjtën kohë nga burimet) përpara se të dhënat të dërgohen tek nyja lider. Së treti, nyjet lider duhen mirëmbajtur dinamikisht për të parandaluar dështimin e tyre.

ACQUIRE

ACQUIRE është një mekanizëm tjetër data-centrik që sikurse dhe COUGAR, e shikon rrjetin si një databazë të shpërndarë ku pyetësorë komplekse ndahen në një seri nënpyetësorësh, [34]. Funksionimi i ACQUIRE bëhet si vijon. Nyja BS dërgon një pyetësor, i cili përcillet më tutje nga çdo nyje që e merr. Gjatë kësaj, çdo nyje përpiqet ti përgjigjet pyetësorit pjesërisht duke përdorur informacion të ruajtur më parë në kujtesën e saj cash dhe pastaj e përcjell këtë pyetësor tek nyja tjetër sensor. Nëse informacioni i tyre i mëparshëm nuk është rifreskuar nyjet mbledhin informacion nga fqinjët deri në *d* hope larg. Kur pyetësori zgjidhet plotësisht, ai dërgohet tek BS nga e njëjta rrugë apo në rrugë më të shkurtra. Duke lejuar marrjen e përgjigjes nga disa nyje bëhet i mundur suportimi i pyetësorëve më kompleks. Thamë që DD nuk është i përshtatshëm për pyetësorë kompleks, pasi përdor *flooding*. Ndërkohë ACQUIRE siguron një proces pyetësori efikas duke rregulluar vlerën e parametrit *d*. Kur *d* është e barabartë me madhësinë e rrjetit, sjellja e ACQUIRE bëhet e njëjtë me flooding. Kur *d* është shumë e vogël udhëtimi për tu zgjidhur plotësisht query bëhet më i gjatë. Për të gjetur një vlerë optimale të parametrit *d* përdoret një model matematikor i cili në literaturë është provuar vetëm për një rrjet sensorësh ku secila nyje ka 4 fqinjë direkt.

3.2.2. Protokollet e rrugëzimit hierarkik

Edhe tek rrjetat e sensorëve sikurse dhe në shumë rrjeta të tjera komunikimi, shkallëzueshmëria mbetet ndër atributet më kryesore të projektimit. Në një rrjet me një nivel të vetëm nyjesh mund të ketë një rritje ngarkese tek nyja portë me rritjen e densitetit të sensorëve. Kjo ngarkesë mund të shkaktojë vonesa në komunikim dhe gjurmim të papërshtatshëm të eventeve. Gjithashtu arkitektura me një portë nuk është e shkallëzueshme kur numri shumë i madh i sensorëve mbulon një zonë të gjerë të studimit. Në mënyrë që sitemi t'a përballojë ngarkesën shtesë dhe të mbulojë një zonë të madhe studimi pa degraduar shërbimin, në disa metoda rrugëzimi u fut koncepti i rrjetave me *cluster*-a. Formimi i grupimeve bazohet veçanërisht në rezervën energjitike të sensorëve dhe në afërsinë e tyre me nyjen lider. Përdorimi i metodës *cluster* rrit shkallëzueshmërinë dhe efikasitetin e komunikimit, prandaj u përdor për të realizuar rrugëzime efikase në WSN. Në një arkitekturë hierarkike nyjet me energji të lartë perdoren për të procesuar dhe dërguar informacion dhe nyjet me energji të ulët përdoren për ndijimin në afërsi të targetit. Pra krijimi i grupimeve dhe caktimi i detyrave specifike nyjeve lider kontribuon në jetëgjatësinë dhe shkallëzueshmërinë e tërë sistemit si dhe në efikasitetin energjitik. Qëllimi kryesor i rrugëzimit hierarkik është

mirëmbajtja efikase e konsumimit të energjisë tek nyjet sensor duke i përfshirë ato në komunikime multihop brenda një grupimi të veçantë dhe realizimi i agregimit dhe i përzierjes së të dhënave në mënyrë që të ulet numri i mesazheve të transmetuara drejt BS. Në kategorinë flat të gjitha nyjet luajnë të njëjtin rol, ndërsa protokollet hierarkik synojnë t'i grupojnë nyjet në mënyrë që nyja lider e grupimit të bëj nga pak agregim dhe reduktim të dhënash për të kursyer energji në nivel rrjeti. Në ngjashmëri me rrjetat telefonike celulare, këtu nyjet sensor i dërgojnë të dhënat e tyre tek një nyje lider qendrore e cila më pas i dërgon të dhënat tek marrësi i dëshiruar.

Në vijim përshkruhen disa versione të LEACH që janë nga protokollet më të rëndësishme të këtij grupi. LEACH, i cili është gjithashtu pjesë e këtij grupi, përshkruhet shkurtimisht këtu dhe detaje të tij trajtohen më gjërësisht në paragrafin 3.3, meqënëse ka shërbyer si model për ndërtimin e algoritmit CS që bën clusterizimin e rrjetit në metodën e propozuar.

LEACH

Ideja është formimi i grupimeve bazuar në fuqinë e sinjalit të marrë dhe përdorimi i nyjeve lider lokale si rutera për tek nyja sink. Kjo do të kursejë energji meqenëse transmetimi do të kryhet vetëm nga nyjet CH në vend që të kryhet nga të gjitha nyjet sensor. Nyja CH mbledh të dhënat nga nyjet e grupimit të saj dhe i dërgon ato direkt tek nyja sink pas procesit të agregimit të tyre. Në mënyrë që të gjitha nyjet e rrjetit të konsumojnë njësoj energji dhe të rritet kështu jetëgjatësia e rrjetit, ky algoritëm ndryshon në mënyrë random nyjet CH për çdo periudhë kohore.

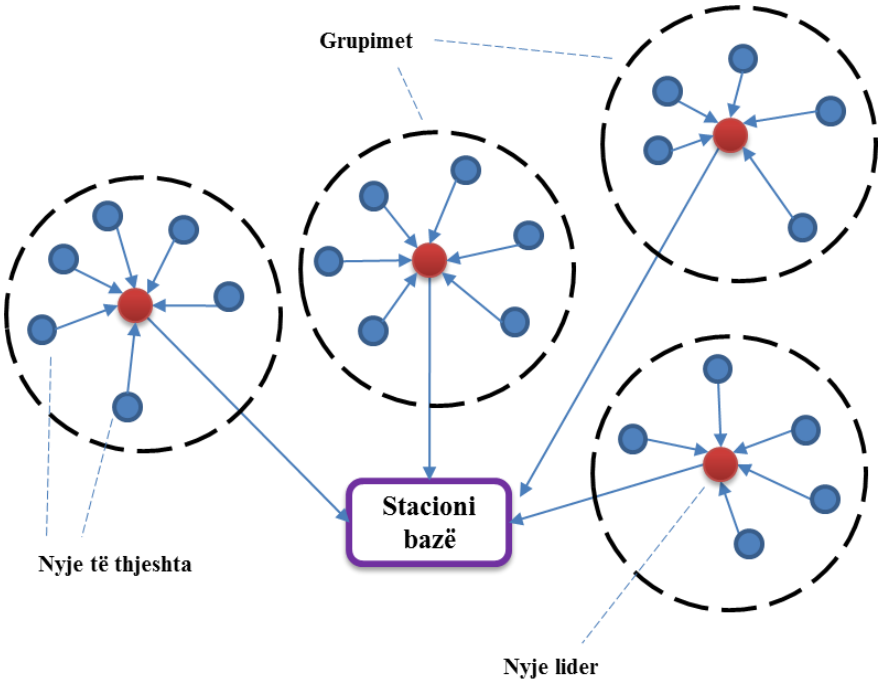

Figura 3.4 Organizimi i një rrjeti që përdor protokollin LEACH

Figura 3.4 tregon skematikën e krijimit të *clustera*-ve dhe mënyrën e komunikimit me stacionin bazë. Nyja e thjeshtë anëtarësohet me atë grupim, nyja lider e të cilit është më pranë

nyjes në fjalë. Nyjet e thjeshta nuk komunikojnë asnjëherë në mënyrë të drejtpërdrejtë me stacionin bazë. Ato komunikojnë vetëm me nyjen lider të grupimit të tyre. Komunikimi me stacionin bazë bëhet nëpërmjet nyjeve lider CH. Supozohet që nyjet CH arrijnë të komunikojnë direkt me një hop me stacionin bazë.

PEGASIS

PEGASIS (Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems) është një përmirësim i LEACH, [35]. Në vend të formimit të shumë grupimeve ai formon zinxhirë me nyje sensor ku secila nyje transmeton dhe merr nga një nyje fqinj dhe vetëm një nyje nga zinxhiri zgjidhet për të transmetuar tek stacioni bazë. Të dhënat e mbledhura lëvizin nga nyja në nyje në nyje, agregohen dhe dërgohen tek stacioni bazë. Ndërtimi i zinxhirit bëhet sipas mënyrës *greedy*. Siç tregohet në Fig.3.5, nyja *c0* i kalon të dhënat e saj nyjes *c1*, nyja *c1* agregon të dhënat e saj me ato të *c0* dhe i transmeton tek nyja lider *c2*.

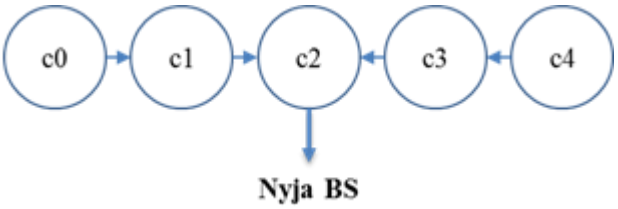

Figura 3.5 Zinxhiri në PEGASIS

Nyja *c2* ia kalon radhën nyjes *c4* e cila i dërgon të dhënat e saj nyjes *c3*. Nyja *c3* i agregon këto të dhëna me të vetat dhe ia transmeton nyjes *c2*. Kjo nyje pret të marrë të dhëna nga të dy fqinjët, pastaj i agregon të dhënat e veta me ato të fqinjëve dhe në fund transmeton një mesazh tek stacioni bazë.

PEGASIS supozon që të gjithë nyjet sensor kanë të njëjtën nivel energjie dhe vdesin pak a shumë në të njëjtën kohë. Sipas këtij protokolli, të gjitha nyjet kanë informacion për të gjitha nyjet e tjera dhe secila ka aftësi transmetimi direkt në BS. Prandaj, duke qenë se nyjet janë statike dhe kanë njohuri globale mbi rrjetin, zinxhiri ndërtohet lehtë me algoritmin greedy. PEGASIS performon më mirë se LEACH në jetëgjatësi dhe kjo e provuar në madhësi të ndryshme rrjetash dhe topologjish. Ky rezultat vjen si pasojë e eliminimit të ngarkesës së formimit të grupimeve dinamike, distancat e shkurtra të transmetimit midis nyjeve jolider dhe kufizimi i numrit të transmetimeve. Por nga ana tjetër, PEGASIS sjell vonesa të panevojshme për nyjet e largëta në zinxhir dhe konfigurimi me një nyje të vetme lider mund të sjellë bllokim. Për të reduktuar vonesat u propozua një version i PEGASIS që ndërton zinxhira në formën e një peme hierarkike, [36], (Fig. 3.6).

TEEN

TEEN [27] është një protokoll rrugëzimi hierarkik i bazuar në LEACH. Përdoret në aplikacione me kohë kritike. Nyjet në këtë protokoll ndijojnë vazhdimisht, por transmetimet nuk bëhen shpesh. Rrjeti përbëhet nga nyje të thjeshta, CH të nivelit të parë për grupimet larg BS dhe CH të nivelit të dytë për grupimet që formohen afër BS (Fig. 3.7).

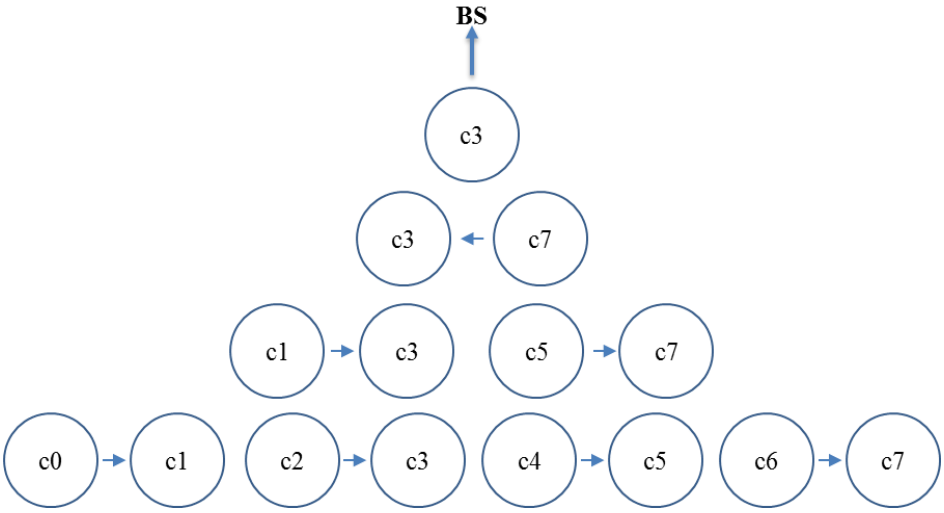

Figura 3.6 PEGASIS me zinxhirë hierarkik

Një CH i dërgon anëtarëve dy pragje (thresholds): pragu i fortë, i cili përfaqëson vlerën prag të atributit të ndijuar dhe pragu i butë, i cili përfaqëson një ndryshim të vogël në vlerën e atributit të ndijuar që bën nyjen të ndezë transmetuesin dhe të transmetojë. Pragu i fortë përdoret për të reduktuar numrin e transmetimeve duke lejuar nyjet të transmetojnë vetëm kur atributi i ndijuar është në rrezen e interesit. Pragu i butë e ul më tej numrin e transmetimeve duke mos i lejuar ata kur ka shumë pak ose aspak ndryshim në atributin e ndijuar. Sidoqoftë TEEN nuk është i mirë për aplikacione ku kërkohen raporte periodike, pasi përdoruesi mund të mos marrë fare të dhëna nëse pragjet nuk arrihen. Disa nga problemet që dalin me TEEN janë:

1. Nyjet presin për slotin kohor të tyre për transmetim, i cili mund të mos shfrytëzohet nëse nyja nuk ka të dhëna për të transmetuar.
2. CH presin gjithmonë për të dhëna nga nyjet duke e mbajtur ndezur transmetuesin.

APTEEN

APTEEN [28] është një përmirësim i TEEN, i projektuar për rrjeta hibride dhe shërben për të dyja si për mbledhje periodike të dhënash, ashtu dhe për reagime ndaj ngjarjeve me kohë kritike. APTEEN suporton pyetësorë si analiza historike për vlera të dhënash në të shkuarën, një fotografi të pamjes aktuale të rrjetit dhe monitorime persistente të një ngjarjeje për një periudhë kohe. Arkitektura është e njëjtë me atë të TEEN e paraqitur në Fig. 3.7. Këtu shtohet një parametër që është një timer për nyjet që nuk transmetojnë për një periudhë kohore të barabartë me timer-in. Këto nyje detyrohen të ndijojnë dhe të transmetojnë të dhëna. APTEEN ofron fleksibilitet duke ndryshuar periodicitetin dhe vlerat prag sipas nevojave të përdoruesit dhe tipit të aplikacionit. Por APTEEN ka problem kompleksitetin shtesë për implementimin e funksioneve të threshold-eve dhe timer-in.

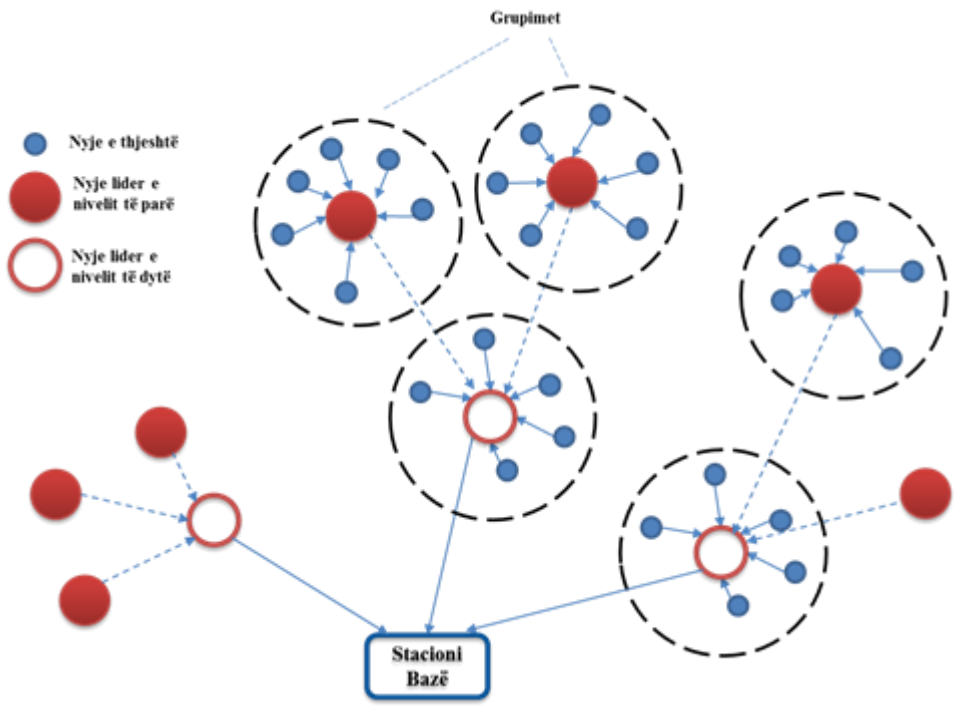

Figura 3.7 Grupimet hierarkike në TEEN dhe APTEEN.

Të dy protokollet TEEN dhe APTEEN performojnë më mirë se LEACH, përsa i takon shpërndarjes së energjisë dhe jetëgjatësisë, por mbetet problem për ta ngarkesa dhe kompleksisteti lidhur me formimin e grupimeve me disa nivele, implementimin e funksioneve thresholds dhe bashkëpunimi me pyetësorët që përdorin emërtime bazuar në atribute.

3.2.3. Protokollet e rrugëzimit të bazuar në vendodhje

Ideja e protokolleve që bazohen në vendodhje është përdorimi i një zone në vend të identifikuesit të nyjes si destinacion të një pakete. Informacioni për vendodhjen nevojitet për të llogaritur distancën midis dy nyjeve të veçanta në mënyrë që të vlerësohet konsumi i energjisë. Meqenëse në rrjetat e sensorëve nuk përdoren skema adresimi IP dhe duke qenë se ata zhvillohen në mënyrë hapësinore në një rajon atëherë informacioni i vendodhjes mund të përdoret për rrugëzimin e të dhënave në mënyrë efikase në energji. Për shembull, nëse njihet rajoni që ndijohet, një pyetësor mund të difuzohet vetëm drejt asaj pjese rajonale të veçantë duke përdorur vendodhjen e sensorëve dhe kjo do të ulë në mënyrë domethënëse numrin e transmetimeve.

Protokollet rrugëzuese të bazuar në vendodhje marrin parasysh lëvizshmërinë e nyjeve sensor dhe veprojnë shumë mirë me rritjen e densitetit të rrjetit. Por performanca e tyre është e ulët për rrjeta me shtirje të gjerë dhe kur nyjet lider nuk bëjnë agregim të dhënash. Në vazhdim do të përshkruhen disa protokolle nga kjo kategori.

GEAR

Protokolli GEAR (Geographic and Energy Aware Routing) përdor njohuritë energjitike dhe heuristika të zgjedhjes së fqinjëve për rrugëzimin e një pakete drejt rajonit të dëshiruar [31].

Ai konsideron vetëm një rajon të caktuar në vend të dërgimit të interesave në të gjithë rrjetin siç ndodh në Difuzionin e Drejtpërdrejtë duke ulur në këtë mënyrë numrin e interesave. Në GEAR çdo nyje llogarit një kosto të vlerësimit dhe një kosto të të mësuarit për arritjen e destinacionit përmes fqinjëve të saj. Kostoja e vlerësimit është një kombinim i energjisë së mbetur dhe distancës nga destinacioni. Kostoja e të të mësuarit është një përpunim i kostos së vlerësimit që merr parasysh rrugëzimin përreth gropave në rrjet. Një gropë ndodh kur një nyje nuk ka asnjë fqinj më afër rajonit destinacion sesa veten e saj. Kur nuk ka gropa kostoja e vlerësimit është e barabartë me koston e të mësuarit. Kostoja e të të mësuarit përcillet në rrugën e kthimit sa herë që një paketë mbërrin në destinacion në mënyrë që të rregullohet diagrama e rrugës për paketën e ardhshme. Në algoritëm ka dy faza.

- ***Faza 1 - Përcjellja e paketave rreth rajonit objektiv.*** Me të marrë një paketë, një nyje kontrollon fqinjët e saj për të parë nëse ka ndonjë më të afërt me objektivin sesa veten. Nëse ka më shumë se sa një, zgjidhet më i afërti për kërcimin e radhës. Nëse të gjithë fqinjët janë më larg objektivit sesa nyja në fjalë, atëherë formohet një gropë. Në këtë rast, njëri nga fqinjët zgjidhet mbi bazën e funksionit të kostos së të mësuarit. Zgjedhja rifreskohet sipas konvergjencës së kësaj kostoje përgjatë dërgimit të paketës.
- ***Faza 2 – Përcjellja e paketës përbrenda rajonit objektiv.*** Pasi paketa arrin tek rajoni i synuar, ajo mund të difuzohet në atë rajon me të dy mënyrat ose me përcjelljen gjeografike rekursive ose me flooding restrikt. Flooding restrikt është i mirë kur sensorët nuk janë dendësisht të shpërndarë. Në rrjetat me densitet më të lartë është më efikas flooding gjeografik rekursiv. Në rastin e tij, rajoni ndahet në katër nënrajone dhe katër kopje të mesazhit krijohen, nga një për secilin. Pastaj secili nga këto nënrajone ndahet në katër pjesë prap e kështu me radhë ndarja dhe përcjellja e kopjeve të paketës vazhdon gjersa mbeten zona vetëm një nyje.

GAF

Protokolli GAF (Geographic Adaptive Fidelity) u projektua fillimisht për rrjetat ad-hoc, por mund të aplikohet dhe në rrjetat e sensorëve, [25]. Edhe pse është i tipit të bazuar në vendodhje mund të implementohet edhe si protokoll hierarkik ku grupimet bazohen në vendodhjen gjeografike.

Fillimisht zona e interesuar ndahet në disa zona fikse duke formuar një rrjetë virtuale. Nyjet në çdo zonë kanë funksionalitete të ndryshme dhe secila prej tyre shfrytëzon vendodhjen e saj me GPS për ta lidhur veten me një pikë të rrjetës. Nyjet e pozicionuara në të njëjtën pikë të rrjetës konsiderohen ekuivalente në terma të kostos së rrugëzimit të paketave. Kjo ekuivalence ndahet për të mbajtur disa nyje të një zone të veçantë të rrjetës në gjendje gjumi për të kursyer energji. Kështu GAF rrit jetëgjatësinë e rrjetit kur numri i nyjeve në rrjet shtohet. GAF ruan energjinë, duke i mbajtur fikur nyjet e panevojshme të rrjetit por pa ndikuar në nivelin e besueshmërinsë së rrugëzimit. GAF përmban tre gjëndje: gjëndja e zbulimit, gjendja aktive dhe gjëndja e gjumit. Gjëndja e zbulimit përdoret për të përcaktuar fqinjët në rrjetën virtuale. Gjëndja aktive përdoret për procesin e rrugëzimit dhe në kohën e gjendjes së gjumit bëhet fikja e radios së nyjes. Për të trajtuar lëvizshmërinë, çdo nyje në rrjetë vlerëson kohën e saj të largimit nga rrjeta dhe e dërgon atë fqinjëve të saj. Fqinjët në gjendje gjumi rregullojnë kohën

e tyre të gjumit në përputhje me ruajtjen e besueshmërisë së rrugëzimit. Përpara se të mbarojë koha e daljes nga gjendja aktive e nyjes, nyjet në gjendje gjumi zgjohen dhe një prej tyre bëhet aktive.

VCP

VCP (Virtual Cord Protocol), është një protokoll i veçantë që bën pjesë tek grupi i protokolleve që bazohen në vendodhjen virtuale të nyjes, por gjithashtu ka dhe natyrë data-centrike [4]. Ai konsiston në ngritjen e një korde virtuale që lidh nyjet në një seri të renditur koordinatash unike. Një nyje ndërmjetëse ka parardhësin dhe pasardhësin me koordinata direkt nën dhe sipër saj. VCP e përdor kordën virtuale për të lidhur të dhënat me pozicionin relativ të nyjeve. Çdo nyje mban në një tabelë parardhësin, pasardhësin dhe fqinjët fizik nëse ka. Me anë të një funksioni *hash* e dhëna e gjeneruar lidhet me një çelës dhe ruhet tek ajo nyje që është përgjegjëse për çelësin në fjalë, domethënë tek ajo nyje që ka koordinatën më afër vlerës së çelësit. I njëjti funksion *hash* përdoret për ta kërkuar të dhënën. Kështu VCP realizon lookup-in e të dhënave duke shfrytëzuar pozicionet relative të nyjeve. Nuk ka nevojë të njihen adresat reale, për rrugëzimin e paketave përdoret një mekanizëm i thjeshtë ai i fqinjit me adresën relative më të afërt me destinacionin. Metoda e propozuar integron teknikën e adresimit virtual që përdor VCP për të mundësuar një rrugëzim të thjeshtë tek nyjet lider të WSN me clustera. Për këtë arsye VCP si një protokoll që lidhet me studimin tonë ritrajtohet hollësisht në paragrafin 3.4.

3.3. Shembuj protokollesh clustering

Përdorimi gjithnjë e më tepër i rrjetave me sensorë si dhe përparimet në fushën e tyre, lindën kërkesën për një organizim të këtyre rrjetave në forma të kuptueshme dhe efikase në kosto. Duke qënë se këto rrjeta janë të ndërtuar nga një tërësi sensorësh të vegjël, elementi më kritik dhe më i rëndësishëm për to është energjia. Një nga format e ruajtjes së energjisë është grupimi i sensorëve në grupe më të vegjël. Një mënyrë tepër e përdorur për të arritur këtë gjë është ndarja e rrjetit me sensorë në zona transmetimi dhe rrugëzimi më të vogla të quajtura "cluster". Është kjo arsyeja pse edhe vetë metoda merr emrin "Cluster". Metoda *cluster* sjell disa përfitime të rëndësishme në fushën e ndërtimit të rrjetave me sensorë pasi: përmirësohet jetëgjatësia e rrjetit; mbështetet shkallëzueshmëria e rrjetit (rritja në përmasë); shmanget trafiku në komunikim duke përqendruar shkëmbimet vetëm në nyjet lider CH. Kategoria e protokolleve clustering siç e thamë bën pjesë në klasifikimin sipas mënyrës së komunikimit të nyjes me BS.

Çdo *cluster* ka një kordinues i quajtur "koka e cluster-it" (CH-*Cluster Head)* dhe një numër të caktuar nyjesh të cilat janë nën mbikëqyrjen e tij. Ky model mund të interpretohet edhe si arkitekturë me dy shtresa ku shtresa më e lartë formohet nga nyjet lider CH dhe shtresa më e ulët e formuar nga anëtarët e grupimit *cluster*. Duke qënë se nyjet lider janë përgjegjëse për komunikime dhe rrugëzime në largësi, ato janë të prirura të shpenzojnë më tepër energji. Për këtë arsye nëse CH paracaktohen të jenë fikse atëherë ata duhet të kenë kapacitete burimore

më të mira se nyjet jo lider të clustera-ve të tyre. Por nëse CH nuk janë të paracaktuar por përzgjidhen në mënyrë periodike, atëherë dinamiciteti kthehet në karakteristikë bazë të kësaj arkitekture. CH që përzgjidhen duhet të kenë energjinë më të madhe ndër të gjithë sensorët e cluster-it në fjalë.
Teknika "Clustering" funksionon në mënyrë të tillë që çdo nyje në një grupim komunikon me nyjen lider CH dhe çdo nyje CH komunikon me CH e tjera. Algoritmat që përdoren për të menaxhuar një rrjet pa tel me sensorë që punon mbi bazën e *clustering* klasifikohen në dy grupime të mëdha bazuar në [37], [38]:

- përzgjedhjen e nyjes CH,
- implementimin e clustering.

3.3.1. Protokolli LEACH

Sfida më e madhe në WSN është që të konsumojnë më pak energji në mënyrë që jetëgjatësia e rrjetit të mund të zgjatet meqenëse nyjet e vogla sensor që përbëjnë rrjetin ushqehen me bateri të vogla dhe kanë aftësi të vogla komunikimi dhe përpunimi. Gjithashtu, ata janë të vendosur në një mjedis armiqësor. Rrugëzimi luan një rol vendimtar në WSN, sepse vetë komunikimi është një burim i madh i konsumit të energjisë. Përdorimi i grupimeve për komunikim në rrjetat me sensorë *wireless* është një avantazh i madh për sa i përket faktit se nyjeve do tu duhet të komunikojnë vetëm në distanca të shkurtra me përjashtim të CH të grupimeve. Këtë avantazh e shfrytëzon edhe LEACH, një nga protokollet më popullor për rrjetat e sensorëve. Ai është një nga protokollet e parë të rrugëzimit *cluster* i bazuar në protokollin e rrugëzimit tradicional, i cili përpiqet që të shpërndajë energji të njëtrajtshme në të gjithë rrjetin. LEACH përdoret në ato rrjeta me sensorë ku nuk merret parasysh natyra heterogjene e nyjeve përsa i përket energjisë si dhe stacioni bazë është i fiksuar dhe larg prej rrjetit me sensorë.
Algoritmi i përzgjedhjes së nyjeve CH funksionon si në vijim. Çdo nyje që e kërkon këtë rol dërgon një mesazh nyjeve të tjera për ta bërë të ditur kërkesën e saj. Nyjet mund ti bashkohen një grupimi dhe një CH vetëm me një llogaritje të thjeshtë për të gjetur grupimin më të arritshëm nga pikëpamja e komunikimit. CH janë të ndryshueshme. Roli i të qenurit CH rrotullohet periodikisht midis nyjeve për të siguruar balancimin e ngarkesës, në mënyrë që shpenzimi i energjisë midis nyjeve të presupozuara me energji të barabartë, të jetë i njëjtë. Duke u nisur nga thjeshtësia e implementimit LEACH ka një kufizim. Ai nuk përdoret për rrjeta shumë të mëdha.

3.3.1.1. Fazat e algoritmit

Algoritmi *clustering* i LEACH përbëhet nga dy fazat kryesore: faza *set-up* dhe faza *steady*.
Në fazën *set-up* organizohen grupimet dhe përzgjidhen nyjet CH. Pika më e fortë e këtij algoritmi që e bën atë të dallueshëm nga algoritmat e tjerë është metoda e përzgjedhjes së CH-ve. Përzgjedhja e CH bëhet nga nyjet sensor për një kohë të caktuar me një farë probabiliteti. Çdo nyje gjeneron një numër random *r* midis 0 dhe 1. Nyja bëhet nyje lider CH në raundin aktual nëse ky numër është më i vogël se pragu T(n), i përcaktuar nga ekuacioni (3.1) që fut përqindjen e dëshiruar *p* të nyjeve CH (në literaturë është përcaktuar një vlerë optimale e *p*

prej 5% e të gjithë nyjeve të rrjetit), raundin aktual *r* dhe bashkësinë e nyjeve që nuk janë zgjedhur si CH gjatë 1/*p* raundeve të fundit, e shënuar me G.

$$T(n) = \begin{cases} \dfrac{p}{1 - p * \left(r \bmod \frac{1}{p}\right)} & \text{nëse } n \in G \\ 0 & \text{nëse } n \notin G \end{cases} \tag{3.1}$$

Nyjet e zgjedhura si CH transmetojnë *broadcast* një mesazh për të njoftuar zgjedhjen e tyre si lider tek pjesa tjetër e nyjeve të rrjetit. Nyjet jo lider pasi marrin mesazhin e njoftimit vendosin se cilit grup t'i përkasin, bazuar në fuqinë e sinjalit të njoftimit. Ata informojnë duke përdorur protokollin MAC CSMA, nyjet përkatëse lider që do jenë pjesë e grupimit të tyre. Më pas kur përcaktohet numri i nyjeve në grupim, nyja lider krijon një skedulues TDMA dhe i cakton secilës nyje një interval kohor gjatë të cilit mund të transmetojë. Ky skeduler i shpërndahet të gjitha nyjeve të grupit.

Gjatë fazës *steady* çdo nyje lider pret radhën e saj për të dërguar të dhënat nëse është e nevojshme. Nyjet lider pasi marrin të gjitha të dhënat nga grupimi i tyre, i agregojnë dhe i dërgojnë të kompresuara tek nyja BS. Meqenëse BS zakonisht është larg nga CH, duhet shumë energji për transmetim. Kjo prek vetëm nyjet CH, prandaj zgjedhja e një CH-je varet nga energjia e mbetur e asaj nyjeje.

Pas njëfarë kohe të përcaktuar apriori, rrjeti kthehet sërish në fazën e setup-it duke hyrë në një raund tjetër të përzgjedhjes së CH-ve të reja. Secili grupim komunikon me kode të ndryshme CDMA për të reduktuar interferencën nga nyjet e grupimeve të tjera.

Krijimi i skedulerave

Pasi krijohen clusterat çdo CH vendos një skedulues TDMA për veprimtarinë e nyjeve të grupimit të tij për ti treguar çdo nyje se kur mund të transmetojë. Mekanizmi i nevojshëm për të siguruar këtë komunikim implementohet në shtresën MAC të rrjetit. Përcaktohen tre gjendje të ndryshme në të cilat mund të ndodhet nyja në një moment të caktuar. Kalimi nga një gjendje në tjetrën realizohet me anë të kohuesve. Gjendjet janë:

1. Gjendja TX në të cilën nyja është e gatshme për transmetim.
2. Gjendja RX në të cilën nyja është e gatshme të marrë të dhëna.
3. Gjendja SLEEP në të cilën nyja është në gjendje pasive, pra nuk komunikon më me nyjen lider të grupimit.

Transmetimi i të dhënave

Pasi clusterat dhe tabelat TDMA krijohen, mund të fillojë transmetimi i të dhënave. Duke supozuar se nyjet kanë gjithmonë diçka për të dërguar, ato dërgojnë në momentin e përcaktuar në tabelën skeduler TDMA. Kanali radio i nyjeve jo lider mund të fiket gjatë çdo momenti tjetër në të cilën kjo nyje nuk është duke transmetuar. Nyjet CH janë në gjendje aktive gjatë gjithë kësaj kohe për të pritur të dhënat që i vijnë nga nyjet e tjera të grupimit. Pasi i gjithë informacioni ka mbërritur, CH i duhet të procesojë këto të dhëna në një sinjal të vetëm për ti transmetuar më pas drejt stacionit bazë.

LEACH funksionon me raunde. Kjo do të thotë se pasi koha e një raundi përfundon, është momenti që e gjithë puna e përzgjedhjes së CH të përsëritet për ti dhënë mundësinë nyjeve të tjera të rrjetit. Ky mekanizëm i rrotullimit të rolit CH bëhet për të siguruar balancimin e ngarkesës, në mënyrë të tillë që shpenzimi i energjisë i nyjeve të rrjetit të jetë i njëjtë. Duke u nisur nga thjeshtësia e implementimit LEACH ka një kufizim. Ai nuk përdoret për rrjeta shumë të mëdha.

3.3.1.2. Detaje të skedulimit

Ideja kryesore e skedulimit të nyjeve në një grupim *cluster* është reduktimi i kohës gjatë të cilës nyja qëndron pasive ose shpenzon duke dëgjuar aktivitete të panevojshme për mbarëvajtjen e saj. Kjo realizohet duke e vendosur nyjen në gjendje të fjetur.
Kushti më ideal i skedulimit të një nyjeje është momenti kur ajo fle në pjesën më të madhe të kohës dhe zgjohet vetëm për të transmetuar ose për të marrë paketa. Një nyje zgjohet periodikisht për të dërguar ose për të pritur paketa nga nyjet e tjera. Zakonisht pasi një nyje zgjohet, ajo dëgjon fillimisht në kanalin e transmetimit për ndonjë aktivitet, para se të fillojë transmetimin ose marrjen e paketave. Nëse nyja nuk ka asnjë paketë për të transmetuar, ajo kthehet sërisht në gjendje të fjetur. Një cikël i plotë i periudhave në gjendje të fjetur dhe i periudhave në gjendje dëgjimi përcakton atë që quhet periudha zgjim/fjetje, Fig. 3.8.

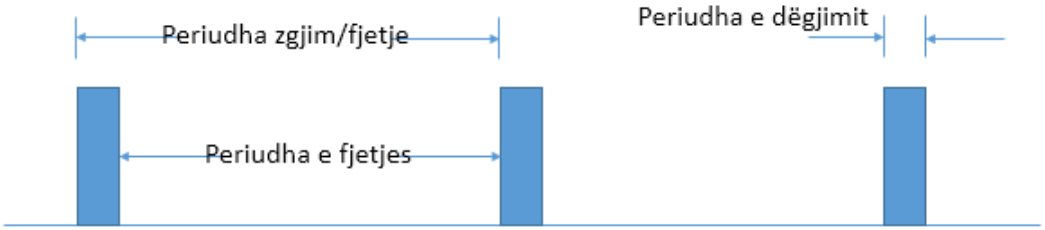

Figura 3.8 Cikli i zgjim/fjetje

Sipas [26], LEACH redukton me 7 herë konsumin e panevojshëm të energjisë krahasuar me teknikën e thjeshtë të komunikimit direkt, ku çdo nyje e rrjetit transmeton direkt tek nyja *sink*. Nyjet vdesin në mënyrë random dhe clusteri dinamik rrit jetëgjatësinë e sistemit. Ai është krejtësisht i shpërndarë dhe nuk kërkon informacion global mbi rrjetin. Por LEACH funksionon me rrugëzim 1 hop ku nyjet transmetojnë direkt tek CH dhe CH direkt tek nyja *sink*. Prandaj nuk aplikohet në rrjeta shumë të mëdha. Dinamiciteti tek grupimet sjell ngarkesë ekstra që ul përfitimin në konsumin e energjisë. Gjithashtu këto kufizime lidhen me supozimet që bën ky protokoll. Sipas tij të gjitha nyjet kanë mjaftueshëm energji për të arritur BS dhe çdo nyje ka mjaftueshëm fuqi llogaritëse për të suportuar protokolle të ndryshme MAC. Një supozim tjetër që bëhet është se nyjet kanë gjithnjë informacion për të dërguar dhe nyjet pranë njëri-tjetrit kanë të dhëna të korreluara. Kështu të gjitha nyjet supozohen si homogjene dhe me energji të kufizuar. Ekziston mundësia që CH të përqëndrohen vetëm në një pjesë të rrjetit dhe mund të ketë nyje që nuk kanë CH në afërsi. Protokolli LEACH bën edhe një supozim të fundit ku të gjitha nyjet e fillojnë çdo raund me të njëjtën sasi energjie.

Për të gjitha këto kufizime protokolli duhet të zgjerohet duke marrë parasysh energjinë jouniforme të nyjeve për shembull duke përdorur threshold-e të bazuar në energji. Në skemën e propozuar kemi krijuar një algoritëm clustering që supozon dy nivele të ndryshme kapacitetesh burimore të nyjeve që përbëjnë rrjetin, duke iu përshtatur aplikimit të rrjetave me nyje statike dhe të paraprogramuara.

3.3.1.3. Variante të LEACH

Në paragrafin 3.2.2 u përshkruan disa versione të përmirësuar të LEACH si: PEGASIS, TEEN dhe APTEEN, që klasifikohen si protokolle të rrugëzimit hierarkik. Në këtë çështje do të trajtohen disa variante të tjera të tij [39]. Njohja e tyre ka shërbyer për pozicionimin e algoritmit *clustering* të krijuar në këtë punim disertacioni, i cili sikurse dhe punime të tjera të ngjashme, është bazuar në modelin standart LEACH.

LEACH-C

LEACH i centralizuar e ka fazën steady të njëtë me atë bazë të protokollit LEACH, por ndryshon nga faza set-up. Nyjet CH zgjidhen nga nyja BS. Secila nyje dërgon informacion rreth nivelit të energjisë dhe vendodhjes aktuale të saj tek stacioni bazë. Ky informacion mund të merret duke përdorur një sistem marrës të pozicionimit global (GPS) që aktivizohet në fillim të çdo raundi për të marrë vendndodhjen aktuale të nyjes. Stacion bazë aplikon një algoritëm optimizimi për të përcaktuar cluster-at për raundin. BS zgjedh CH mbi bazën e informacionit të vendodhjes dhe nivelit të energjisë të gjithë nyjeve sensor. Për të siguruar edhe shpërndarjen e ngarkesës ndërmjet nyjeve sensor, BS llogarit një nivel mesatar të energjisë dhe nëse niveli i energjisë të ndonjë nyje është nën këtë nivel mesatar të energjisë, ajo nyje nuk ka mundësi për të qenë një CH për atë raund. Pasi zgjidhet CH, BS u dërgon ID e CH nyjeve të tjera për të formuar clusterat. Kjo metodë mund të bëjë që nyjet me më shumë energji dhe me më shumë mundësi të bëhen cluster head-at në raundin aktual. Por në këtë fazë, çdo nyje sensor duhet të dërgojë ID dhe informacionin e energjisë së tij tek BS për të konkurruar për rolin e cluster head-ave, kjo shkakton konsumin e energjisë në distanca të gjata. LEACH-C jep një shpërndarje më të mirë të nyjeve CH në rrjet, por kërkon informacionin e vendodhjes për të gjitha nyjet duke përdorur GPS, e cila nuk është shumë e përshtatshme.

LEACH-F

Sikurse protokolli LEACH-C, edhe ky përdor një metodë centralizuese për formimin e grupimeve. Pasi përfundon procesi i formimit të grupimeve, nuk ka më riformim grupimesh në raundin pasardhës. Roli i cluster head ndërrohet me rotacion në nyje të ndryshme sensor brenda secilit cluster. Faza steady është e njëjtë si LEACH-i klasik. Këtu eliminohet ngarkesa që vjen nga formimi dinamik i grupimeve. Por ky protokoll nuk është fleksibël në lidhje me shtimin apo heqjen e nyjeve pas formimit të clusterave dhe nyjet nuk mund të rregullojnë sjelljen e tyre në rast dështimi nyjesh.

TL-LEACH

LEACH me dy nivele është një zgjerim i LEACH. Në këtë protokoll të dhënat e agreguara tek CH nuk transmetohen direkt tek BS, por përdoret një nyje lider që shtrihet në rrugën për tek BS, si transmetuese. Meqenëse nyjet lider të largëta vdesin më shpejt, TL-LEACH përmirëson efikasitetin energjitik duke përdorur një nyjet lider pranë BS si nyje transmetuese për nyjet e tjera lider. Në Fig. 3.9 jepet ideja e hierarkisë së nyjeve lider të përdorur. E meta e këtij protokolli është se kërkon ngarkesë shtesë për zgjedhjen e nyjeve CH të nivelit të dytë dhe për formimin e grupimeve.

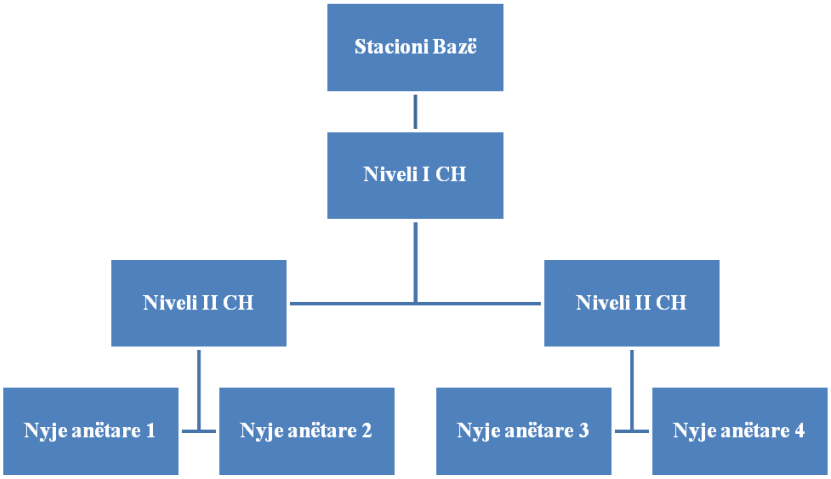

Figura 3.9 Hierarkia e nyjeve lider të përdorur në TL-LEACH

LEACH-A

Në Advanced Leach, një heterogjenitet energjish propozohet me qëllim uljen e probabilitetit të dështimit të nyjeve dhe për të rritur intervalin kohor përpara se të vdesë nyja e parë. Duke përdorur një orë të sinkronizuar, çdo sensor di fillimin e çdo raundi. Le të jetë *n* numri i përgjithshëm i nyjeve dhe *m* të jetë pjesë e *n* dhe të përfaqësojë numrin e nyjeve që janë të pajisura me më shumë energji se të tjerët. Këto nyje përzgjidhen si nyje lider ose si porta dhe pjesa tjetër (1-*m*)**n* përbën nyjet normale. Nyjet lider të përzgjedhura bëjnë agregimin e të dhënave dhe transmetimin e tyre për tek sink.

EEPSC

EEPSC (Energy-Efficient Protocol with Static Clustering) është një protokoll hierarkik i bazuar në clustera që e ndan rrjetin në grupime statike duke eliminuar kështu ngarkesën që sjell formimi dinamik i grupimeve [40]. Ai përdor nyje lider të përkohshme për të shpërndarë ngarkesën energjitike përgjatë nyjeve sensor me fuqinë më të madhe duke rritur jetëgjatësinë e rrjetit. Në çdo grupim zgjidhet si nyje lider nyja sensor me energjinë maksimale. Grupimet formohen vetëm një herë gjatë operimit të rrjetit. Ky protokoll operon gjithashtu në raunde dhe secili raund përbëhet nga 3 faza:

- Në fazën e parë me anë të mesazheve njoftuese të BS dhe në varësi të përgjigjes së nyjeve, rrjeti ndahet në një numër *k* clusterash statik që formohen që në fillim të

operimit të rrjetit. Pastaj BS zgjedh random një CH të përkohshme për çdo grupim, krijon dhe skedulerat TDMA në varësi të numrit të nyjeve që ka çdo grupim dhe njofton rrjetin për rregullat e vendosura.

- Në fazën e dytë pas formimit të grupimeve statike, në fillim të çdo raundi secila nyje dërgon nivelin e saj energjitik nyjes së përkohshme CH të grupimit të saj. Pas kësaj nyja e përkohshme CH zgjedh nyjen sensor me më shumë energji si nyje lider të grupit e cila do jetë përgjegjëse për të kryer detyrat normale që një nyje lider duhet të bëjë në raundin aktual. Gjithashtu nyja e përkohshme CH zgjedh nyjen sensor me energji më të ulët si nyje të përkohshme CH për raundin tjetër.
- Në fazën e fundit bëhet transmetimi i të dhënave sipas TDMA nga nyja e thjeshtë tek CH dhe nga CH tek BS, sikurse në LEACH.

3.3.2. Punime të tjera të ngjashme *clustering*

Në këtë paragraf trajtohen punime të tjera të ngjashme *clustering*. Studimi i tyre u bë me qëllimin për të përzgjedhur një metodologji të përshtatshme për skenarin e rrjetit *cluster* të ngritur për skemën e propozuar në këtë disertacion. Ndër të gjithë algoritmat e trajtuara fillimisht u përjashtuan ato të cilët kishin të bënin më rrjeta me sensorë të lëvizshëm, pasi studimi ynë trajton nyje me pozicione fikse. Bazuar në karakteristikat e algoritmave që shpjegohen në vijim, u zgjodh modeli LEACH si bazë për ndërtimin e algoritmit që krijon clusterat për skenarin e rrjetit në metodën tonë. Arsyet e zgjedhjes janë disa. *Së pari*, LEACH ka konsum të ulët në energji. *Së dyti*, përdoret gjerësisht, është shumë popullor dhe si i tillë gjen implementime të testuara mirë në të gjithë simulatorët e rrjetave. *Së treti*, ka një kompleksitet të ulët në formimin e grupimeve.

Clustering i bazuar në konkurencë rastësore

Qëllimi bazë i këtij algoritmi, shkurt RCC (Random Competition Clustering) është të sigurojë stabilitet dhe thjeshtësi [41]. Ai është përdorur gjerësisht në rrjetat *ad-hoc* por sot aplikohet edhe në rrjetat e sensorëve pa tel. Sipas këtij algoritmi bëhet CH e grupimit ajo nyje e cila e kërkon më parë këtë detyrë (Fig. 3.10 (a)). Nyjes do ti duhet gjithashtu të ruajë detyrën duke dërguar mesazhe kërkesë tek nyjet e tjera në mënyrë të vazhdueshme (Fig. 3.10 (b)). Egziston një moment në të cilin CH aktuale nuk është duke dërguar dhe gjatë këtij momenti mund të ndodhë që një nyje tjetër të bëjë *broadcast* për tu bërë CH. Ky njihet edhe si rasti i konfliktit i protokollit RCC (Fig. 3.10 (c)) i cili është zgjidhur duke përdorur timer-a. Çdo nyje mund të dërgojë kërkesa për tu bërë CH vetëm pas një intervali të përcaktuar kohe.

CLUBS

Për të trajtuar specifikat e protokollit CLUBS duhet kuptuar koncepti i hopeve në fushën e rrjetave me sensorë *wireless* pasi edhe disa nga algoritmet që do të trajtojmë në vijim mund të shpjegohen fare mirë nëpërmjet këtij koncepti. Me termin hop do të kuptojmë kalimin nga një nyje në një nyje tjetër fqinjë me një lëvizje dhe pa ndërmjetësinë e një nyjeje tjetër. Për ta bërë më të kuptueshëm konceptin i referohemi Fig. 3.11 në të cilin janë paraqitur dy raste të

ndryshme clusterash: me një hop dhe me shumë hope. Figura 3.11 (a) paraqet një skemë *cluster* me një hop ku çdo nyje është egzaktësisht 1 hop larg prej CH. Figura 3.11 (b) paraqet një skemë *cluster* me shumë hope ku nyjet në një clusteri janë me një dhe me disa hope larg nga CH-ja e grupit.

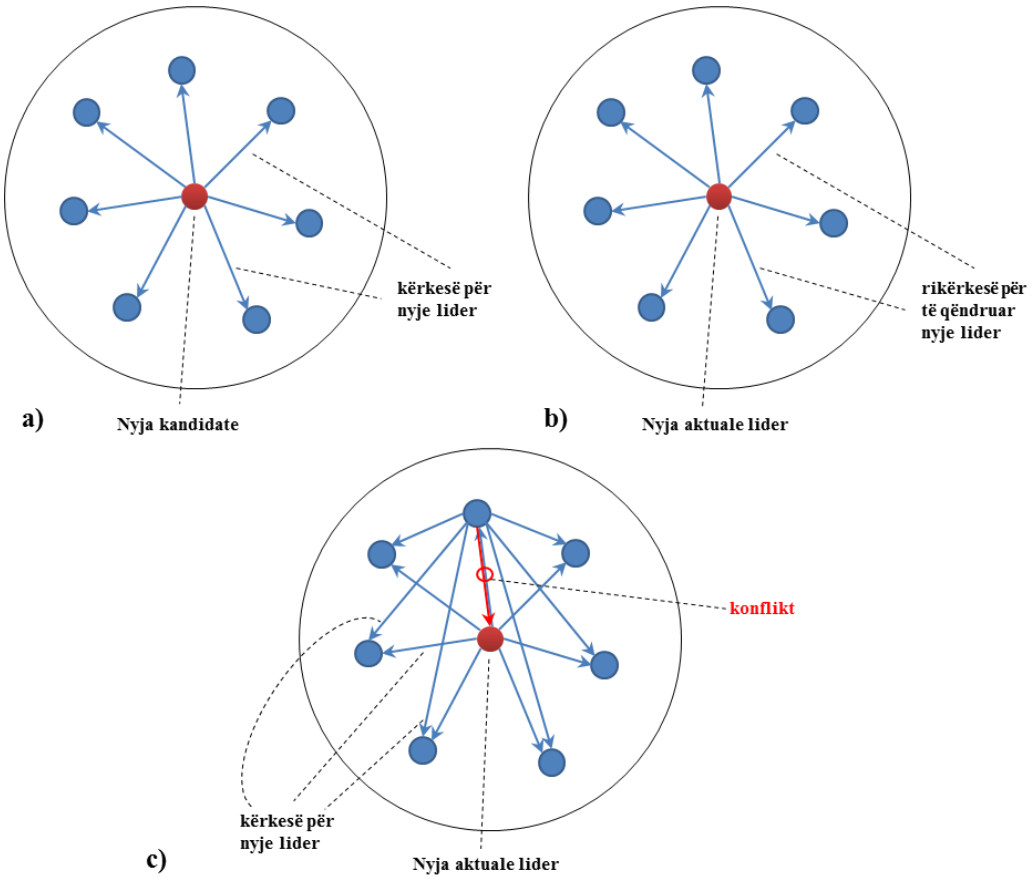

Figura 3.10 (a) Bëhet CH nyja e parë kandidate që dërgon kërkesën, (b) Nyja CH aktuale dërgon kërkesa të vazhdueshme për të qëndruar si CH, (c) Konflikti i disa kërkesave për CH.

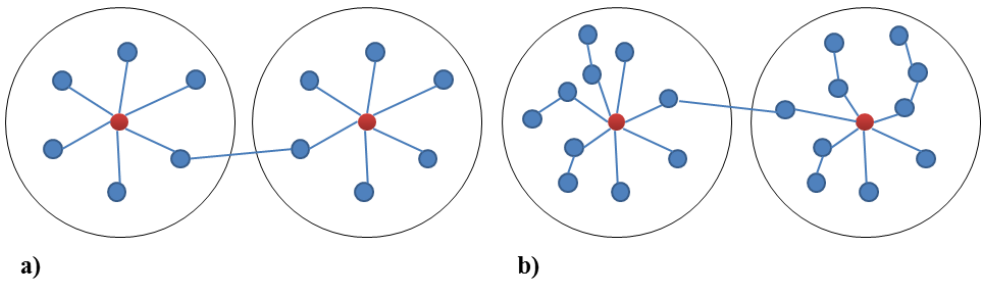

Figura 3.11 (a) Skema me 1 hop, (b) Skema multi-hop.

Algoritmi CLUBS është një rast i clusterit me shumë hope. Qëllimi i tij është që grupimet (clusters) të sigurojnë alokim të burimeve dhe vetëorganizim në rrjet [42].
Formimi i grupimeve sipas algoritmit CLUBS bazohet në karakteristikat e mëposhtme:

- Çdo nyje në rrjet duhet të jetë e lidhur në një grupim.

- Çdo grupim duhet të ketë të njëjtin diametër.
- Cluster-at duhet të suportojnë komunikimin intra-cluster që do të thotë se nyjet brënda një grupimi duhet të jenë në gjendje të komunikojnë me njëra-tjetrën.

Ky algoritëm pavarësisht se krijon cluster-a me më shumë se një hop distancë nga CH, e ka të kufizuar numrin e hopeve. Distanca maksimale e çdo nyjeje nga CH përkatëse është 2. Përzgjedhja e nyjeve për të krijuar grupimin bëhet në mënyrë rastësore nga vetë nyjet ku secila përzgjedh një numër N nyjesh të tjera për t'ju bashkuar cluster-it. Ky numër reduktohet në çdo nyje që bashkohet dhe nëse arrin 0 pa u ndërprerë nga ndonjë nyje tjetër që po bën të njëjtën gjë, atëherë ajo bëhet CH dhe bën *broadcast* një mesazh që e sinjalizon këtë gjë.

Cluster hierarkik efikas në energji

Objektivi i këtij algoritmi shkurt, EEHC (Energy Efficient Hierarchical Clustering) është maksimizimi i jetëgjatësisë së rrjetit, [43]. Informacioni i përpunuar nga çdo grupim mblidhet nga CH korespondente dhe një rezultat i përmbledhur dërgohet në stacionin bazë. Protokolli është krijuar me qëllimin që të zgjidhet problemi i heterogjenitetit të nyjeve. Me heterogjenitet do të kuptojmë faktin se nyjet nuk janë identike, por ndryshojnë për nga sasia e rezervave të energjisë.

Algoritmi ndjek këtë rrugë:

- *Faza Fillestare* - Në fazën fillestare çdo nyje sensor e deklaron veten CH me probabilitet *p* në nyjet fqinjë që ka në rrezen e komunikimit. Këto CH quhen CH vullnetare. Lajmërimin për nyjet CH e marrin të gjithë nyjet që ndodhen deri në *k* hope larg prej nyjes CH që e ka lëshuar njoftimin. Çdo nyje që e merr këtë njoftim dhe që nuk është vetë një CH i bashkohet cluster-it më të afërt që ka. CH-të e sforcuara (jo vullnetare) janë ato që as nuk i takojnë ndonjë grupimi dhe as nuk janë shpallur CH vullnetare.
- *Faza e zgjeruar* - Procesi zgjerohet për të lejuar ndërtimin e një grupimi hierarkik, me shtresa. Algoritmi tenton të ndërtojë një rrjet me *n* hope në dërgimin e të dhënave në stacionin bazë. Kështu duke presupozuar që niveli *n* është më i larti në hierarki, nyjet trasmetojnë informacionin e llogaritur drejt CH të nivelit 1. Këto CH e trasmetojnë informacionin e agreguar drejt CH të nivelit 2 e kështu me rradhë deri sa arrihet në stacionin bazë pas nivelit *n*. Ky algoritëm në dallim nga të tjerët e parë më lart ka një kompleksitet kohe të përmirësuar ndjeshëm.

EEHC bën pjesë në klasifikimin hierarkik njësoj si LEACH por dallon nga ai se merr për bazë natyrën heterogjene të nyjeve përsa i përket energjisë. EEHC është më kompleks në krahasim me LEACH-in me implementim relativisht të thjeshtë, por nga ana tjetër është më i saktë.

Shërbim clustering lokal ishpejtë

FLOC (Fast LOcal Clustering service) është një teknikë që tenton të krijojë cluster-a me përmasa të njëjta dhe gjithashtu që nuk mbivendosen, [44]. Përdoret koncepti i iner-band dhe outer-band. Nyjet komunikojnë në mënyrë të sigurtë nëse janë iner-band (brenda të njëjtit

cluster) dhe në mënyrë të pasigurtë nëse janë outer-band (në cluster-a të ndryshëm). Nyjet mund të përcaktojnë nëse ato janë iner band me një cluster apo outer-band në një nga mënyrat në vijim:

- Nyjet mund të llogarisin fuqinë e mesazhit që i ka ardhur.
- Nyjet mund të mbajnë një përqindje rekordesh për mesazhet e ardhura në lidhje me fqinjësinë.
- Një shërbim lokalizimi i jashtëm mund t'ja sigurojë nyjeve këtë informacion.

Në këtë algoritëm nyjet mund të qëndrojnë në pritje ose të kërkojnë të bëhen CH. Nëse një nyje thjesht qëndron në pritje për tu informuar rreth CH atëherë mund të ndodhin dy situata. Në të parën mesazhi vjen dhe nyja e kupton se cila është përzgjedhur CH. Në të dytën mesazhi nuk vjen dhe atëherë nyja kupton se duhet ta marrë vetë përsipër rolin e CH. Normalisht që në rastin e dytë pritja për një mesazh që nuk vjen kurrë nuk është e pafundme. Kjo rregullohet me kohues të caktuar që përcaktojnë edhe kohën maksimale të pritjes deri në marrjen e një vendimi.
Nyja e cila bëhet CH transmeton mesazhin e këtij eventi tek nyjet e tjera. Nëse në të njëjtën kohë ajo merr një mesazh të tillë nga një nyje tjetër, menjëherë e konsideron veten nyje outer-band. Në rast të kundërt ajo kthehet në CH dhe fton nyjet e tjera ti bashkohen. Ndryshe nga LEACH, FLOC përdoret edhe për rrjeta shumë të mëdha pasi shkallëzon shumë mirë.

Algoritmi për vendosjen e clusterit

ACE (Algorithm for Cluster Establishment) është algoritëm që përfshihet në klasifikimin me mbivendosje [42]. Kjo do të thotë se nyjet e rrjetit mund të jenë njëkohësisht nyje të më shumë se sa një cluster-i. Megjithatë algoritmi përcakton se nyjet duhet të jenë totalisht besnike ndaj një grupimi të vetëm. Algoritmi lejon nyjet të vlerësojnë potencialin e tyre si CH para se të bëhen të tillë dhe për të dhënë dorëheqjen nëse nuk janë CH më e mirë e momentit. Dy komponentët kryesorë të algoritmit janë krijimi i grupimeve të reja si edhe migrimi i grupimeve aktualë. Një nyje vendos të krijojë një grupim të ri nëse ajo do të jetë CH e atij grupimi. Në këtë mënyrë ajo fillon të ftojë nyje të tjera për tu bërë pjesë e grupimit të saj. Procesi i dytë migrimi ka të bëjë me përzgjedhjen e kandidatit më të përshtatshëm për tu bërë CH. Nëse një nyje që është CH nuk është më e mira e mundshme thuhet se ajo migron për ti lënë vendin një nyjeje që i plotëson më mirë kushtet për tu bërë CH. Me kushte kuptohet numri i ndjekësve që një nyje ka. Sa më i madh ky numër aq më probabël është që nyja të zgjidhet CH e grupimit.

Algoritmi i clusterit me mbivendosje dhe me shumë hope

Një algoritëm tjetër, që bën pjesë në klasifikimin me mbivendosje është edhe MOCA (Multi-hop Overlapping Clustering Algorithm) [42]. Tek MOCA numri i grupimeve që mbivendosen me njëri tjetrin nuk është e thënë të jetë domosdoshmërisht i vogël. Mjafton që ky numër të jetë brenda disa limiteve. Protokolli përdor mbivendosjen pasi në logjikën e tij ajo mund të ndikojë pozitivisht në elemente të tilla si rrugëzimi midis grupimeve, zbulimi i topologjive apo lokalizimi i nyjeve. MOCA është algoritëm që bazohet në organizimin e grupimeve me *n*

hope. Sipas algoritmit, një nyje ose është CH ose është *n* hope maksimalisht larg CH. Kjo bën që një nyje të mund të jetë në rrezen e veprimit të më shumë se një CH-je. Se në sa grupime mund të bëjë pjesë një nyje përcaktohet nga numri i mesazheve të anëtarësimit që i kanë ardhur nyjes duke qënë se ajo mund të jetë deri në *n* hope larg prej më shumë se një CH-je. Përzgjedhja e cluster-it më të përshtatshëm për anëtarësimin e nyjes bëhet duke u bazuar në vlerat energjitike dhe shpenzimet në varësi të largësisë.

Clustering në një sistem të shpërndarë hibrid dhe efikas në energji

HEED (Hybrid Energy Efficient Distributed Clustering) është një skemë e *clustering* të shpërndarë në të cilën nyjet CH zgjidhen nga sensorët e dislokuar [42]. Nyjet presupozohen me të njëjtën rëndësi në procesin e përzgjedhjes dhe çdo nyje ekzekuton një numër të caktuar iterimesh. HEED merr parasysh një përzjerje hibride të energjisë dhe komunikimit kur përzgjedh CH. Ndryshe nga LEACH këtu nyjet CH nuk zgjidhen në mënyrë rastësore. Vetëm nyjet të cilat disponojnë nivele të larta të energjisë së mbetur mund të bëhen CH. Një implementim i HEED në TinyOS ka treguar se *clustering* në këtë rast ka dyfishuar jetëgjatësinë e rrjetit në krahasim me LEACH. HEED ka tre karakteristika bazë:

- Probabiliteti që dy nyje në zonën e njëra-tjetrës së transmetimit të bëhen CH është i ulët. Ndryshe nga LEACH kjo do të thotë se CH janë të shpërndara mirë nëpër rrjet.
- Shpenzimi i energjisë është jo i njëtrajtshëm në çdo nyje të rrjetit.
- Për një largësi transmetimi të dhënë, probabiliteti i zgjedhjes së CH-ve mund të rregullohet që të sigurohet lidhja midis CH-ve.

HEED ka dhe tre faza të tjera:

1. *Faza e inicializimit* - Algoritmi fillimisht ndan një përqindje të CH nëpër sensorë. Kjo përqindje përdoret për të kufizuar deklarimet CH drejt sensorëve të tjerë.
2. *Faza e përsëritjes* - Gjatë kësaj faze çdo sensor kalon nëpër një numër iterimesh deri sa gjen CH së cilës mund ti transmetojë me shpenzimin më të vogël të energjisë. Nëse nuk e gjen një CH të tillë atëherë zgjedh të bëhet vetë CH dhe t'ja transmetojë këtë fakt fqinjëve.
3. *Faza e përfundimit* - Gjatë kësaj faze çdo sensor merr një vendim përfundimtar rreth gjendjes së tij. Ai ose zgjedh një CH së cilës ti transmetojë, ose bëhet vetë CH.

Clustering hierarkik i shpërndarë, efikas në energji dhe i bazuar në pesha

DWEHC (Distributed Weight Based Energy-Efficient Hierarchical Clustering) u propozua si një version i përmirësuar i HEED për të arritur në mënyrë më të plotë qëllimet, [42]. Çdo sensor llogarit peshën personale pasi dedekton çdo fqinj në rrezen e vet të veprimit. Pesha është një funksion i energjisë së sensorit dhe afërsisë me fqinjët. Në një fqinjësi, nyja me peshë më të madhe do të zgjidhet CH dhe nyjet e tjera do të bëhen anëtarë të grupimit me këtë CH. Këto nyje quhen edhe anëtarë në nivel të parë meqë kanë lidhje direkte me CH siç tregohet në Fig. 3.12 Ndërsa nyjeve të niveleve më të ulta do tu duhet të kërkojnë midis nyjeve të niveleve më lart për të gjetur atë nyje që e dërgon tek CH me shpenzimin minimal të energjisë. DWEHC ngjason në shumë drejtime me HEED si për shembull çdo nyje në rrjet

merr pjesë në procesin e *cluster*-izimit dhe gjithashtu çdo nyje merr parasysh rezervat e veta të energjisë. Nga ana tjetër DWEHC ka edhe dallime me HEED. DWEHC gjeneron grupime më të balancuara dhe harxhon sasi më të vogla energjie në trasmetimet intra dhe inter se sa HEED.

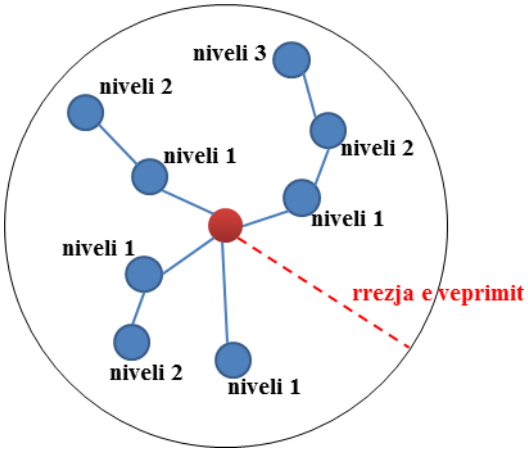

Figura 3.12 Nyjet me pesha të ndryshme në hierakinë e DWEHC

SHPER

Protokolli SHPER supozon egzistencën e një stacioni bazë dhe një numri nyjesh të ndodhura një zonë të caktuar dhe të limituar [45]. Presupozohet gjithashtu që nyjet janë statike pra jo *mobile*. Gjithashtu stacioni bazë merret me energji të palimituar ndërkohë që nyjet sensorë kanë energji të limituar. Nyjet e rrjetit janë të gjitha të grupuara në cluster-a. Një nyje nga çdo grupim zgjidhet si koka e grupimit. CH-të e gjendura në afërsi 1 hop nga stacioni bazë quhen edhe CH të nivelit të lartë. CH e ndodhura në largësi më të mëdha se 1 hop nga stacioni bazë quhen CH të niveli të ulët (Figura 3.13).

SHPER specifikon se përzgjedhja e CH nuk është rastësore. Në lidhje me këtë gjë, zgjidhet CH e çdo grupimi ajo nyje me energjinë më të madhe të mbetur. Gjithashtu algoritmi i zgjedhur për rrugëzim merr parasysh energjinë e mbetur për çdo nyje si edhe energjinë e shpenzuar në çdo rrugë të mundshme. Algoritmi SHPER organizohet në dy faza kryesore: faza e inicializimit dhe faza e gjendjes së qëndrueshme.

- Gjatë etapave të hershme të fazës së inicializimit stacioni bazë ngre një skeduler për të gjitha nyjet së bashku. Ky skeduler detyron nyjet të prezantojnë veten para nyjeve të tjera. Në momentin që një nyje dërgon një mesazh prezantimi me *broadcast* tek nyjet e tjera, llogaritet nga nyjet që e marrin këtë mesazh distanca që ato kanë nga kjo nyje e cila ka prezantuar veten me një mesazh. Në momentin që ky proces ka përfunduar stacioni bazë zgjedh në mënyrë rastësore disa nyje që ato të jenë nyje të nivelit të lartë për këtë stacion. Ndërkohë që nyjet prej të cilave nuk ka marrë njoftim pranie vendosen në nivelin e ulët. Përzgjidhet nga stacioni bazë edhe numri i nyjeve që do të jenë CH. Algoritmi parapërcakton që ky numër është i ditur. Është detyrë e stacionit bazë më pas të bëjë *broadcast* mesazhin me CH e zgjedhura tek të gjitha nyjet. Më pas çdo nyje jo CH zgjedh të bëhet pjesë e grupimit të CH, mesazhi i të cilit i ka ardhur me nivelin më të lartë të energjisë (me supozimin se ajo është më afër). Për të përcaktuar rrugëzimin e të dhënave nga niveli i ulët drejt stacionit bazë algoritmi

përdor mënyrën e tij me anë të të cilit zgjedh rrugën më optimale të mundshme. Mesazhet transmetohen midis nyjeve dhe CH-ve deri kur arrijnë në stacionin bazë. Në fund të kësaj procedure faza e inicializimit përfundon.

- Faza e gjendjes së qëndrueshme: Gjatë kësaj faze stacioni bazë përzgjedh CH e reja në çdo grupim duke përdorur informacionin e ardhur nga mesazhet. Më saktë themi që stacioni bazë i zgjedh CH e reja në bazë të energjisë së mbetur në secilën nyje që ka transmetuar gjatë fazës së parë.

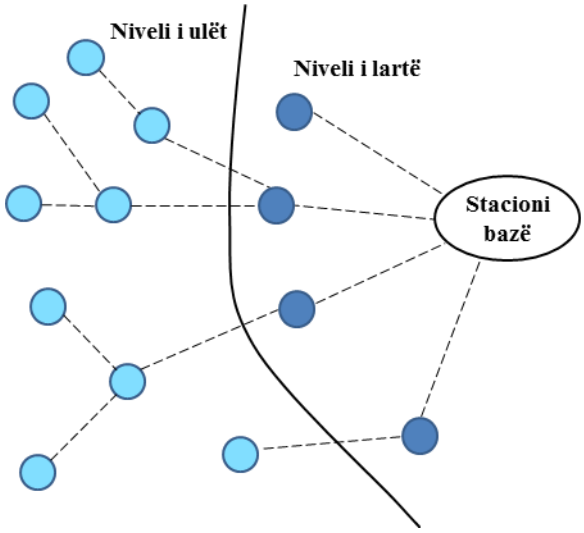

Figura 3.13 Hierarkia e nyjeve në SHPER

3.4. Shfrytëzimi i adresimit "virtual cord" për rrugëzim

Në këtë paragraf përshkruhet në mënyrë të detajuar projektimi i VCP. VCP ofron rrugëzim efikas si dhe shërbime tradicionale të DHT-së për WSN-të. Operacionet bazë të kryera në VCP janë krijimi dhe lookup-i i çifteve (çelës, vlerë). Të kuptuarit e mënyrës se si funksionon ky protokoll ka ndihmuar në përdorimin e metodës së adresimit virtual të nyjeve sipas *virtual cord* tek skema e propozuar në këtë punim. Gjithashtu në vijim janë trajtuar dhe punime të ngjashme me VCP dhe që bazohen në DHT.

3.4.1. Përshkrimi i VCP

VCP është projektuar posaçëridht për WSN duke ofruar rrugëzim bazë midis nyjeve të sensorëve [4]. Çdo nyje mirëmban një sasi të vogël të informacionit të rrugëzimit që është i pavarur nga numri i nyjeve në rrjet. Për të siguruar këtë ndërfaqe të ngjashme me tabelën *hash* kërkohet që çdo nyje të suportojë një operacion të vetëm: me dhënjen e një çelësi në hyrje, një nyje duhet të jetë në gjëndje për të rrugëzuar mesazhet te nyja përgjegjëse për atë çelës. Si i tillë, projektimi i VCP kryesisht adreson çështjet e lidhura me suportin e këtij operacioni rrugëzimi data-orientues në një mënyrë krejtësisht të shpërndarë (nuk kërkon asnjë formë të kontrollit të centralizuar, të koordinimit ose të konfigurimit), që është i shkallëzueshëm (nyjet

mirëmbajnë tabelat e rrugëzimit që janë të pavarura nga numri i nyjeve të rrjetit), që është i thjeshtë dhe i lehtë për tu ndërtuar dhe që është robust ndaj dështimeve të nyjeve.

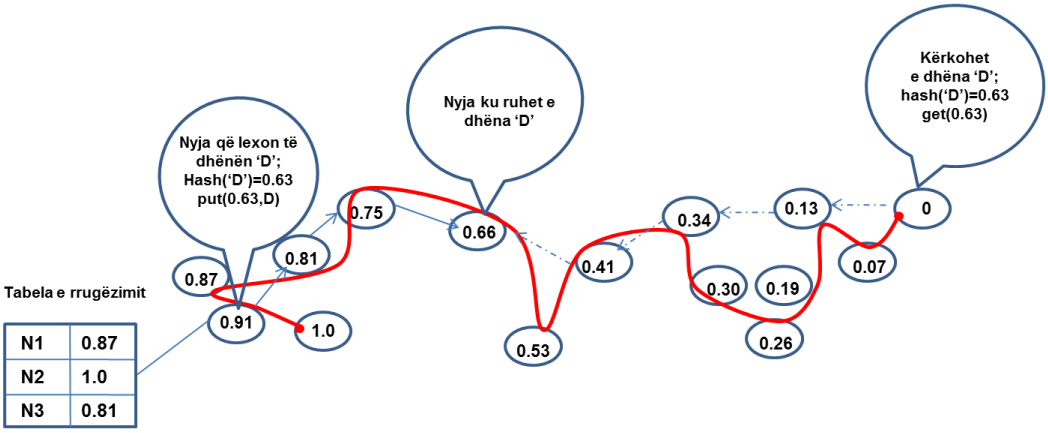

Figura 3.14 Organizimi i VCP-së

Ideja bazë e VCP-së tregohet në Fig. 3.14. Në të supozohet se një kordë i lidh të gjitha nyjet në rrjet. Korda fillon me një vlerë të dhënë minimale (për shembull: 0) dhe mbaron me një vlerë maksimale (për shembull: 1). Çdo nyje ndërmjetëse ka një vlerë unike dhe komunikon të paktën me nyjen e cila vlerën në kordë e ka menjëherë më të vogël se vlera e kësaj nyjeje (që quhet paraardhëse) si dhe me nyjen që ka vlerë menjëherë më të madhe se vetë vlera e nyjes në fjalë (që quhet pasardhëse). VCP i organizon të gjitha nyjet në një kordë të strukturuar dhe çdo nyje mirëmban një sasi të vogël të informacionit të rrugëzimit. Tabela e rrugëzimit e secilës nyje përmban paraardhësin (rreshti i parë), pasardhësin (rreshti i dytë) si dhe fqinjë të tjerë fizik. Kur një nyje gjeneron një të dhënë (për shembull: nyja 0.91 gjeneron D-në), ajo e ruan këtë të dhënë (ose një referencë të saj) në kordë. Nyja 0 dërgon një kërkesë për D-në tek nyja që e zotëron këtë të dhënë. Siç diskutohet në kapitullin e katërt, ky problem "lookup-i" mund të zgjidhet lehtësisht duke përdorur konceptin e DHT-së. Nyja gjeneruese ruan të dhënën në një nyje të para-përcaktuar. Si pasojë, të gjitha *query*-t lidhur me këtë të dhënë do të avancohen në mënyrë deterministike te kjo nyje. Nyja e para-përcaktuar përcaktohet nga një funksion *hash* i thjeshtë. Tani, problemet kyçe që shtrohen si pyetje janë:

- Si të ndërtohet korda?
- Si të realizohet rrugëzimi duke përdorur kordën?
- Si të kopjohet e dhëna në mënyrë që të sigurohet vazhdimësi maksimale e të dhënave me përdorim minimal të burimeve kur nyjet dështojnë?

Ideja që qëndron pas VCP-së është kombinimi i *lookup*-it të të dhënave me teknikat e rrugëzimit në një mënyrë sa më efikase. VCP e arrin këtë duke i vendosur të gjithja nyjet në një kordë virtuale, që gjithashtu përdoret për të lidhur të dhënat me to. Një funksion *hash* përdoret për të *hash*-uar të dhënat me vlerat në një diapazon të para-përcaktuar [S, E], i cili mbulohet plotësisht nga nyjet pjesëmarrëse. Kështu, çdo nyje mban një pjesë nga i tërë diapazoni. Mekanizmi i rrugëzimit mbështetet në dy koncepte: Së pari, korda virtuale mund të përdoret për të gjetur një rrugë në çdo destinacion të rrjetit. Së dyti, informacioni i fqinjësisë

që është në dispozicion lokalisht është përdorur për rrugëzimin efikas *greedy* në drejtim të destinacionit.

3.4.1.1. Ndërtimi i kordës

Projektimi i VCP-së përqëndrohet rreth një diapazoni virtual, të para-përcaktuar [S, E], që është korda një-dimensionale. Çdo nyje në rrjet është përgjegjëse për një pjesë të tërë hapësirës, të përcaktuar nga pozicioni i saj relativ nga fqinjët fizik. Në këtë mënyrë, është e mundur për të ruajtur të dhëna te nyjet, duke i lidhur të dhënat në mënyrë deterministike në hapësirë duke përdorur një funksion *hash*. Çifti korresponsdues çelës-vlerë pastaj ruhet në nyjen e cila ka pozicionin më afër çelësit. Rrugëzimi i paketave bëhet bazuar në pozicionin e fqinjëve fizik. Për të tërhequr të dhëna, nyjet duhet të aplikojnë të njëjtin funksion *hash* për të gjetur vlerën e çelësit, pastaj ato mund të rrugëzojnë kërkesën te nyja e cila ka pozicionin më afër çelësit.
Kur një nyje bashkohet me rrjetin e VCP-së, ajo duhet të vendosë tre variabla të rëndësishëm: pozicionin, paraardhësin dhe pasardhësin e vet. Çdo nyje i përcakton këto vlera bazuar në pozicionet e fqinjëve të saj që janë një kërcim larg. Së pari, një nyje duhet të para-programohet si nyje fillestare, domethënë që merr pozicionin S. Veç kësaj, një numër variablash fillestarë inicializohen në fazën e nisjes siç listohen në Tabelën 3.1.

Tabela 3.1 Parametrat fillestarë për procesin e bashkimit

Parametrat, Vlerat	Përshkrimi
Fillimi S = 0.0	Pozicioni më i ulët në kordë
Fundi E = 1.0	Pozicioni më i lartë në kordë
Pozicioni P = -1.0	Pozicioni aktual në kordë, -1 nënkupton se pozicioni është ende i papërcaktuar
Perioda T_h = 1s	Perioda e mesazheve *Hello*
SetPosDelay T_{ps} = 1s	Intervali kohor përpara se të ri-kërkohet një pozicion i ri
SetVPosDelay T_{vps} = 1s	Intervali kohor përpara kërkimit të një pozicioni virtual
BlockDelay T_b = 1s	Perioda e bllokimit për të parandaluar caktimin e të njëjtit pozicion në më shumë se një nyje
Intervali I = 0.1	Intervali midis midis pozicionit të paraardhësit ose të pasardhësit
VirtInterval I_v = 0.9	Intervali midis pozicionit të nyjes dhe pozicionit virtual të nyjes
MaxVirtuals V_{max} = 2	Numri maksimal i nyjeve virtuale që një nyje lejohet të krijojë

Për të zbuluar strukturën e rrjetit, pra domethënë të gjitha nyjet fqinje dhe pozicionin e tyre në kordë, përdoren mesazhet *hello*. Mesazhi *hello* përmban pozicionin, paraardhësin dhe pasardhësin e një nyje. Në implementimin aktual të VCP-së, mesazhet *hello* janë transmetuar me anë të *broadcast*-it, pra çdo nyje transmeton një *hello* çdo T_h. T_{ps} është vonesa që duhet të ketë kaluar përpara se një nyje të mund të ri-kërkojë për një pozicion relativ në rastin kur prova e fundit për të gjetur një pozicion relativ ka dështuar. Kjo vonesë përdoret për të parandaluar të kërkuarit e shumë nyjeve në të njëjtën kohë. T_b është një vonesë që përdoret për

të parandaluar caktimin e të njëjtit pozicion në më shumë se një nyje (pra që të merret një pozicion unik për çdo nyje). Intervalet I dhe I_v përdoren për të zbutur shpërndarjen e pozicionit midis nyjeve. Si alternativë, operacioni i bashkimit gjithashtu mund të ekzekutohet duke përdorur një mekanizëm mbi bazën e kërkesës (*on-demand*), që ka përparësi në rrjetat statike ose në ato me dendësi të lartë. Bazuar në mesazhet *hello* periodikisht të transmetuara, nyja në momentin e bashkimit në kordë merr informacion rreth fqinjëve fizik dhe nyjeve afër tyre. Algoritmi 3.1 përshkruan trajtimin e mesazheve *hello* të marra. Në qoftë se nyja që dërgoi mesazhin *hello* nuk është në tabelën e fqinjëve fizik atëhere e shtojmë atë, përndryshe azhornojmë informacionin e saj në tabelë. Natyrisht që mesazhi *hello* azhornon gjithashtu informacionin e pasardhësit dhe të paraardhësit. Në qoftë se nyja nuk është bashkuar akoma me rrjetin (pra, pozicioni i saj është -1), ajo thërret funksionin *SetMyPosition( )* (i realizuar me një tjetër algoritëm) për të gjetur një pozicion relativ në kordë. Një kohë vonese T_{ps} duhet të kalojë përpara se të ri-kërkohet për një pozicion relativ.

Algoritmi 3.1 Trajtimi i mesazheve Hello

Kërkon: Gjëndjen e ruajtur lokalisht të të gjithë fqinjëve në bashkësinë N.
Siguron: Mirëmbajtjen e bashkësisë N së fqinjëve dhe vendosjen e adresave virtuale

---

1: Merr (hello, Pos, SuccPos, PrePos) nga nyja N_i
2: **if** $N_i \notin N$ **then**
3: $N \leftarrow N_i$
4: else
5: Rifresko $N_i \notin N$
6: end if
7: **if** N_i== MySucc **then**
8: Rifresko MySucc
9: end if
10: **if** N_i==MyPre **then**
11: Rifresko MyPre
12: end if
13: **if** P == -1 AND (Time( ) – OldTime) > T_{ps} **then**
14: OldTime ← Time( )
15: SetMyPosition( )
16: end if

Çdo nyje që bashkohet me rrjetin ka për të marrë të paktën një mesazh hello nga një nyje që tashmë i është bashkuar kordës në mënyrë që të merret një pozicion relativ në kordë. Ekzistojnë një listë algoritmesh në VCP që realizojnë kordën virtuale të paraqitur në Fig. 3.15. Në këtë figurë tregohet procesi i bashkimit të gjashtë nyjeve në kordë me një hapësirë pozicionesh [0, 1]. Me një rreth me vija të ndërprera tregohet rrezja e komunikimit të nyjes së

bashkuar së fundmi. Fillimisht, një nyje e para-programuar i caktohet pozicioni më i ulët, 0 (si në Fig. 3.15.a). Nyja e bashkuar së fundmi (Fig. 3.15.b) konstaton të jetë nyja e dytë, sepse ajo komunikon me një nyje që ka pozicionin më të ulët dhe se pasardhësi i saj nuk është vendosur. Kështu nyja e re merr pozicionin tjetër fundor, 1. Nyja e radhës që bashkohet me rrjetin (Fig. 3.15.c) komunikon me nyjen që ka vlerën më të ulët, pasardhësi i të cilës i është vendosur – ndaj nyja e re zë këtë pozicion, 0, dhe i jep nyjes së vjetër (që kishte pozicionin 0) një pozicion midis të vjetrës dhe pasardhësit të saj (në rastin e shembullit të Fig. 3.15.c, nyja me vlerën e vjetër 0 merr pozicionin e ri të ndërmjetëm 0.5). E njëjta ndodh në Fig.3.15.d, por këtë rradhë me anën tjetër të kordës me vlerën maksimale, 1. Nyja bashkuese në Fig. 3.15.e nuk mund të komunikojë me asnjë nyje fundore, por mund të komunikojë me dy nyje fqinje të ndërmjetme në kordë. Kështu, kjo nyje e re merr pozicionin midis pozicioneve të nyjeve fqinje dhe bëhet pasardhës për atë nyje me numër më të vogël dhe paraardhëse për atë nyje me numër më të madh. Në Fig. 3.15.f nyja e re mund të komunikojë vetëm me një nyje ku pozicioni i saj nuk është fundor. Kështu nyja e re detyrohet të thërrasë për një nyje virtuale dhe të marrë një pozicion relativ midis nyjes virtuale dhe nyjes së vetme me të cilën komunikon që ndodhet aktualisht në kordë. Figura 3.16 ilustron se si një nyje merr një adresë relative duke krijuar një nyje virtuale. Nyja e re që kërkon të bashkohet me rrjetin komunikon vetëm me nyjen me vlerë 0.5, e cila është një nyje jofundore e kordës. Atëherë duke krijuar një nyje virtuale me vlerë 0.55, nyja e re do të marrë një vlerë të re midis 0.5 dhe 0.55, për shembull 0.52. Në këtë rast nyja e re e bashkuar ka për paraardhës dhe pasardhës të njëjtën nyje, atë me adresë relative 0.5.

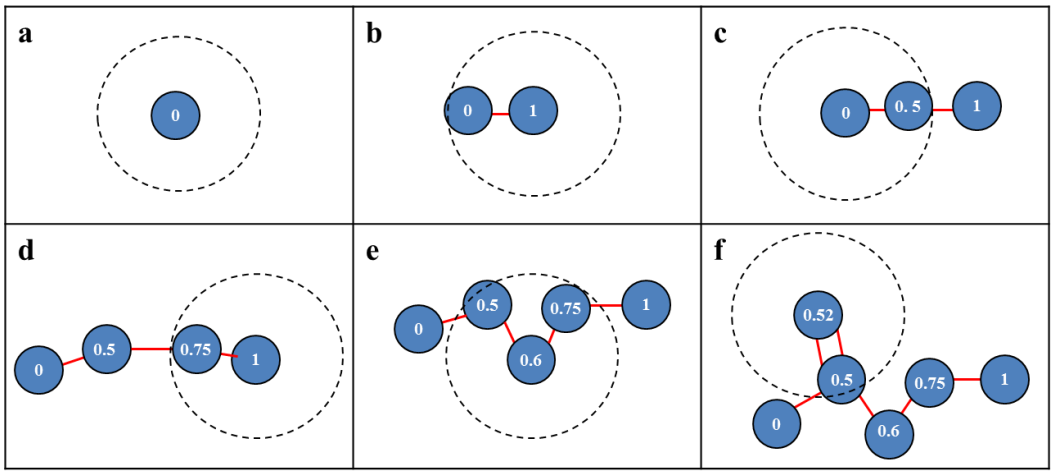

Figura 3.15 Procesi i bashkimit të gjashtë nyjeve në kordën virtuale

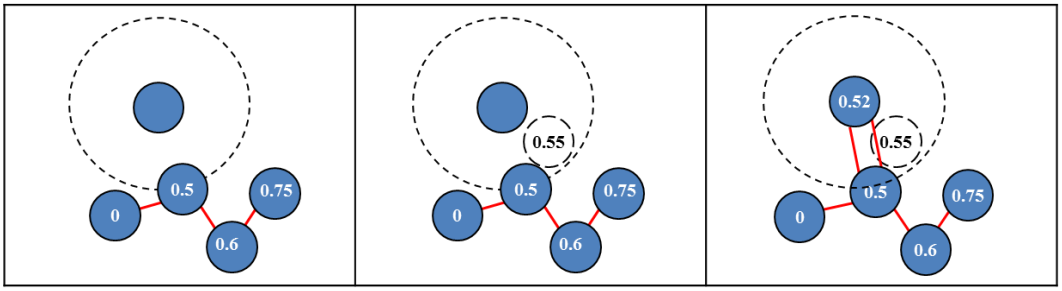

Figura 3.16 Veprimi i krijimit të një nyje virtuale

3.4.1.2. Rrugëzimi në kordë

Në literaturën [4] është vërtetuar se për rrjeta statike *greedy forwarding* i bazuar në informacionin lokal garanton gjetjen e rrugës midis çdo dy nyjeve të rrjetit. Po t'i rikthehemi Fig. 3.14 në të jepet një shembull rrugëzimi me anë të shigjetave me vijë të vazhduar për rastin e ruajtjes së të dhënave në nyjen destinacion dhe një shembull rrugëzimi për rastin e paketave të kërkesës mbi një të dhënë të caktuar. Rrugëzimi në VCP kryhet duke përdorur kordën virtuale dhe duke shfrytëzuar informacionin e fqinjësisë lokale. Mekanizmi i *greedy forwarding* punon si në vijim: një nyje me një pozicion relativ *P* avancon një paketë te fqinji i tij N_i që ka pozicionin më të afërt virtual me destinacionin D_p. Avancimi përfundon nëse s'ka më progres, pra nëse koordinata lokale *P* është më e afërta me D_p. Bazuar në kordën e krijuar, VCP bllokohet nga fundet e vdekura. Studimet paraprake kanë treguar se shtrirja e rrugës është afër optimales. Gjithashtu, është e qartë se bashkimi i një nyje të re vetëm ndikon një numër të vogël nyjesh në afërsi të saj dhe kompleksiteti i operacionit të bashkimit është i pavarur nga numri total i nyjeve të rrjetit. Në fakt, futja në rrjet e një nyje të re, ndikon vetëm *O(m)* nyje, ku *m* është numri i pasardhësve.

Rrugëzimi Greedy

Në VCP, paketat janë shënuar nga origjinuesi i tyre me vendodhjet e destinacioneve të tyre. Si rezultat, një nyje avancuese mund të bëjë një zgjidhje lokalisht optimale kur ka për të zgjedhur hopin e ardhshëm të paketës. Kështu, nëse një nyje njeh pozicionet e fqinjëve, zgjidhja lokale optimale për kërcimin e ardhshëm është fqinji që është më afër destinacionit të paketës. Kjo llogjikë avancimi rezulton në kërcime më të vogla pasuese derisa destinacioni të arrihet. Kështu, për rrugëzimin në VCP çdo nyje duhet të njohë fillimisht fqinjët e vetë fizik. Pastaj, një algoritëm *greedy*, Algoritmi 3.2, përdoret për të dërguar paketa për te nyja e fqinjit fizik që e ka pozicionin më afër destinacionit derisa asnjë progres nuk është më i mundur dhe vlera shtrihet midis pozicioneve të paraardhësit dhe të pasardhësit.

Algoritmi 3.2 Algoritmi i Greedy Forwarding

Kërkon: Paketën e marrë të të dhënës D për pozicionin e destinacionit D_p dhe bashkësinë e të dhënave $[P_{min}, P_{max}]$ e ruajtur lokalisht.

1: **if** $P_{min} \leq Dp \leq Pmax$ **then**
2: StoreData( )
3: **else if** $\exists$ Ni $\in$ N : $\lvert$Position(Ni) - Dp$\rvert < \lvert$P – Dp$\rvert$ **then**
4: Send(Ni, D)
5: **end if**

VCP, në mënyrë të pandarë mbështetet në një kordë të krijuar më përpara. Kështu, rrugëzimi *greedy* do gjejë gjithmonë një rrugë për në destinacion - nuk ekziston mundësia për një fund të vdekur. Për më tepër, VCP lejon të përdorë rrugët e shkurtra sa herë që është në dispozicion

një fqinj fizik me një numër virtual më afër destinacionit. Me anë të Fig. 3.17 ilustrohet një shembull më i detajuar i rrugëzimit *greedy* në VCP. Duke vazhduar me këtë shembull, nëse nyja 0.25 ndijon një të dhënë, para se ta transmetojë ajo e lidh këtë të dhënë tek vlera korrespondente *hash* - po supozojmë një vlerë *hash* prej 0.921.

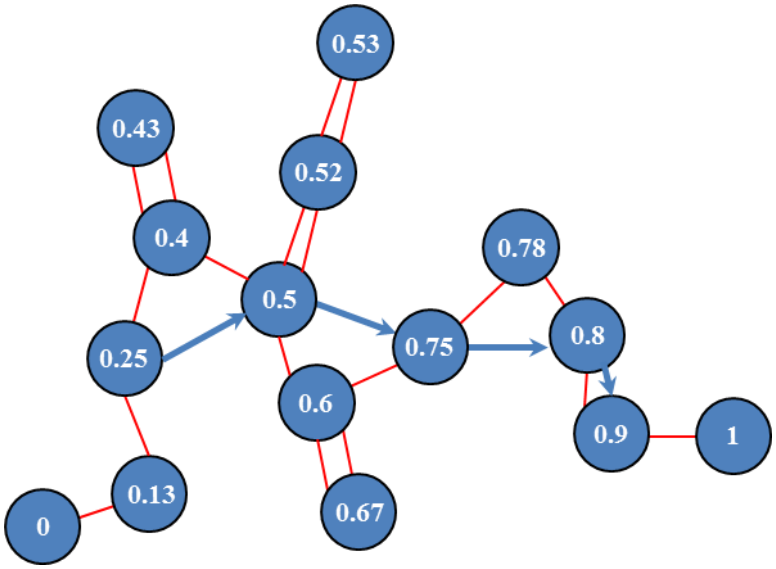

Figura 3.17 Rrugëzimin greedy duke shfrytëzuar informacionin e fqinjësisë lokale dhe kordën virtuale

Kështu, nyja 0.25 do e avancojë këtë mesazh tek fqinji i saj më afër nyjes destinacion, që në rastin e shembullit të Fig. 3.17, te nyja 0.5, që ka pozicionin më të afërt me vlerën (0.921) midis fqinjëve fizik. Pastaj, nyja 0.5 do ta dërgojë mesazhin tek nyja 0.75 dhe pastaj nyja 0.75 do ta dërgojë atë te nyja 0.8, e cila e përcjell tek nyja 0.9. Nyja 0.9 më në fund do ta ruajë të dhënën dhe nuk do ta avancojë atë më tutje sepse nuk ka më progres të mundshëm sepse vlera shtrihet në intervalin e vlerave për të cilat ajo është përgjegjëse.

Përparësia më e madhe e *greedy forwarding* është mbështetja që ka vetëm tek njohuritë e fqinjëve direkt të nyjes avancuese. Sasia e informacionit të gjëndjes që nevojitet të gjurmohet është e neglizhueshme dhe e varur nga dendësia e nyjeve në rrjetin pa tel, jo nga numri total i destinacioneve në rrjet. Në rrjetat ku rrugëzimi *multi-hop* është i dobishëm, numri i fqinjëve brënda rrezes së komunikimit të radios së një nyje do të jetë kryesisht më pak se numri total i nyjeve në rrjet. Kështu, shkallëzueshmëria mund të analizohet si në vijim. Matja më e dallueshme e shkallëzueshmërisë të një protokolli rrugëzimi është *overhead*-i që lidhet me mirëmbajtjen e tabelave të rrugëzimit. Në një WSN dy matje të këtij *overhead*-i janë të rëndësishme: madhësia e tabelës së rrugëzimit dhe *overhead*-i i komunikimit që kërkohet për ta mbajtur tabelën të azhornuar. Madhësia jo vetëm i referohet madhësisë së memorjes për të ruajtur tabelën e rrugëzimit, por gjithashtu se sa hyrje të tabelës kërkohen të rregullohen kur nyjet bashkohen ose largohen. *Overhead*-i i komunikimit tregon se sa komunikim kërkohet për të azhornuar çdo hyrje. Në VCP, tabela e rrugëzimit të çdo nyje përmban vetëm fqinjët radio, kështu madhësia është *O(m)*, ku *m* është shkalla e nyjes. Meqenëse një mesazh *hello*

është i mjaftueshëm për të azhornuar çdo hyrje të tabelës së rrugëzimit, *overhead*-i i komunikimit për të azhornuar çdo hyrje është *O(1).* Nga kjo analizë arrijmë në përfundimin se VCP-ja ka karakteristika të mira shkallëzimi.

Menaxhimi i dështimeve

Kur nyjet lidhen në kordën virtuale ato të gjitha qëndrojnë në dispozicion. *Greedy forwarding* mund të garantojë arritjen e destinacionit vetëm në qoftë se nuk ka asnjë dështim. Megjithatë, në rastin e dështimeve të nyjeve, *greedy forwarding* mund të dështojë dhe korda mund të bëhet e paqëndrueshme. Për ta mposhtur problemin e gjetjes së rrugës drejt destinacionit në rastin e dështimeve të nyjeve, propozohet një skemë e re për të gjetur një rrugë alternative.

Janë mesazhet *hello* ato që përdoren për të identifikuar nyjet e dështuara: përveç pozicioneve të pasardhësit dhe të paraardhësit, ruhen gjurmët e kohës të mesazhit të fundit *hello* në tabelën e rrugëzimit, domethënë në tabelën e fqinjëve fizik. Në qoftë se një nyje nuk mori një mesazh *hello* nga një fqinj për $k*T_h$, ku T_h është perioda e mesazhit *hello*, ky fqinj etiketohet si një nyje e vdekur. Nga informacioni në dispozicion në tabelën e rrugëzimit, çdo nyje mund të kontrollojë lokalisht nëse destinacioni final i një pakete është një nga ato të fqinjëve fizik të tyre ose jo.

Gjatë rrugëzimit të paketës ka dy raste në të cilën *greedy forwarding* nuk mund të arrijë destinacionin korrekt dhe kjo ndodh nga një nyje e dështuar në kordë.

- *Rasti i parë* nënkupton arritjen e fqinjit fizik të nyjes së dështuar. Në këtë rast, paketa mund ose të hidhet ose të ruhet brënda fqinjit të nyjes së dështuar, nëse bëhet fjalë për dërgim. Nëse operacioni është për të marrë të dhëna, atëhere në rastet e përdorimit të mënyrës së replikimit, ekziston mundësia që e dhëna të jetë në këtë nyje fqinje.
- Në *rastin e dytë*, nyja dështuese është hopi tjetër drejt destinacionit, por nuk është vet destinacioni final. Në këtë rast, gjendet një rrugë tjetër alternative. Procedura është si vijon. Fqinji i nyjes së dështuar krijon lokalisht të ashtuquajturin intervali *no path NP-I.* Ky interval i korrespondon shtrirjes së çelësave që nyja e vdekur ishte përgjegjëse. Pastaj, nyja dërgon një paketë *no path* (*NP*), e cila përfshin *NP-I* në një tjetër nyje aktive të fqinjësisë, e cila selektohet sipas pozicionit të saj në kordë, i cili duhet të jetë sa më afër të jetë e mundur me *NP-I*. Në mënyrë që të parandalohen laqet e rrugëzimit, informacioni ka nevojë të ruhet në të gjitha nyjet e përfshira në këtë proces. Megjithatë, të dhënat e ruajtura *NP-I* priten të shuhen pas T_{np} sekondash. Derisa të mbarojë afati T_{np}, *NP-I* parandalon çdo mesazh të ri të adresuar me çelësat në këtë interval. Pra nëse *NP-I* e llogaritur në një nyje është [a, b], kjo do të thotë se për momentin kjo nyje nuk mund të gjejë një rrugë për paketat e adresuara me vlera në intervalin [a, b]. Kështu, çdo paketë me destinacion $a + \varepsilon < b$ nuk do të dërgohet te kjo nyje. Nga tani e në vijim, çdo nyje ose transmeton të dhëna duke përdorur *greedy forwarding* drejt destinacionit (në qoftë se ka një nyje fqinje më afër destinacionit në dispozicion), ose ajo vazhdon të dërgojë paketa *NP*. Duke përdorur të dhënat *NP-I* të ruajtura, ky informacion kurrë nuk do të dërgohet dy herë. Nëse një paketë *NP* arrin një nyje që tashmë e ka *NP-I* në tabelën e saj, ajo ka për të dërguar një paketë *no path back* (*NPB*) si një indikator të një laku të detektuar.

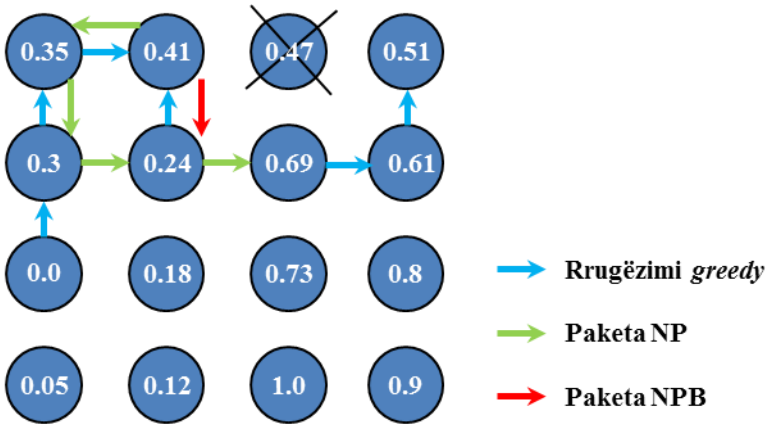

Figura 3.18 Rrugëzimi në rastin e një dështimi të nyjes 0.47

Një shembull për rrugëzimin e paketave në rastin e dështimeve të nyjeve ilustrohet në Fig. 3.18. Në këtë shembull, nyja 0.0 prodhon një paketë të dhënash që adresohet për tek vlera 0.52. Sipas principeve të rrugëzimit *greedy* të VCP-së, paketa e të dhënave do të avancohet nga nyjet 0.3 dhe 0.35 derisa të arrijë nyjen 0.41. Në këtë nyje, detektohet një fund i vdekur sepse nyja 0.47 që ekzistonte më përpara ka dështuar. Kështu, nyja 0.41 do të krijojë një interval *no path NP-I* = [0.44, 1] dhe të dërgojë një paketë *NP* në rrugën prapa për tek nyja 0.35. Njëlloj, paketa *NP* avancohet derisa arrin nyjen 0.24. Kjo, bazuar në rregullat e programuara, përpiqet të arrijë edhe njëherë nyjen 0.41. Megjithatë, nyja 0.41 detekton një lak dhe dërgon një paketë *NPB* te nyja 0.24. Në përgjigje të kësaj, nyja 0.24 përpiqet të gjejë një tjetër rrugë duke dërguar një paketë *NP* tek nyja 0.69. Më në fund, kjo nyje mund të rifillojë *greedy forwarding* drejt nyjes destinacion 0.51, që është përgjegjëse për vlerën 0.52.

3.4.2. Punime të ngjashme me VCP

Në këtë çështje përshkruhen punimet e ngjashme me VCP që kanë të përbashkët trajtimin e problemit të menaxhimit të të dhënave në WSN dhe lidhjen me DHT. Problemi i menaxhimit të të dhënave trajtohet gjërësisht në kapitullin 4 në disa aspekte: në mënyrën e emërtimit, ruajtjes dhe rrugëzimit të të dhënave gjatë transmetimit dhe mënyrës së trajtimit të WSN në ngjashmëri me një rrjet P2P. Aty përmenden në detaje disa nga punimet e ngjashme si për shembull: Chord si një shembull i sistemeve P2P të strukturuara dhe GHT si një shembull për mënyrën e ruajtjes së të dhënave brenda-rrjetit. Në të dyja rastet kemi shfrytëzimin e idesë që sjell metoda DHT.

Chord dhe DYMO

Chord merret si një shembull për të treguar problemet dhe mangësitë e implementimit të DHT në WSN, [46]. Ai është një sistem efikas i shpërndarë *lookup*-i i bazuar në funksione *hash* dhe implementohet si një shtresë llogjike mbulesë (*overlay*) që do të thotë një kërcim në Chord përfshin disa kërcime në rrjetin real. Ndaj Chord i nevojitet një protokoll rrugëzimi që ofron shërbime rrugëzimi poshtë saj (*underlay*). Në bashkëpunim me Chord do merret DYMO si një

protokoll kandidat rrugëzimi. DYMO është protokoll reaktiv i rrugëzimit, i grupit MANET. Ai ndërtohet mbi eksperiencën e mënyrave të mëparshme të rrugëzimit reaktiv, veçanërisht tek protokolli i rrugëzimit AODV. DYMO operon në mënyrë të ngjashme me AODV por projektimi i tij është më i thjeshtë, duke ndihmuar në uljen e kërkesave të sistemit për nyjet dhe në thjeshtimin e implementimit të protokollit. Rrugët në DYMO zbulohen sipas kërkesës, kur një nyje dërgon paketa në një destinacion që nuk ndodhet aktualisht në tabelën e saj të rrugëzimit. Një mesazh kërkese për rrugë RREQ shpërndahet në rrjet me *broadcast*. Kur paketa arrin destinacionin një mesazh përgjigje RREP me rrugën e zbuluar dërgohet mbrapsht. Secila nyje ka numrin e saj sekuencial i cili inkrementohet sa herë që nyja dërgon një mesazh RREQ. Kjo i lejon nyjet e tjera të përcaktojnë radhën e mesazheve për të shmangur mesazhet e duplikuara dhe laqet.

E meta kryesore e implementimit të DHT-së si *overlay* në WSN është ndarja midis rrjeteve logjik (overlay) dhe fizik (underlay). Kjo ndarje shkakton ngarkesë shtesë dhe kompleksitet në sistem, ku secila shtresë ka skemat e veta të rrugëzimit. Për të analizuar koston e *overlay*-t, konsiderohet një rrjet me madhësi n nyjesh. Rrugëzimi në *overlay* kërkon $O(\log(n))$ kërcime, ndërsa për *underlay* kërkohen $O(\sqrt{n})$ kërcime. Si pasojë, rrugëzimi total kërkon $O(\log(n)(\sqrt{n})$ kërcime. Rifreskimi i tabelave të rrugëzimit shkakton gjithashtu një ngarkesë domethënëse. Te Chord, madhësia e tabelës së rrugëzimit është $\log(n)$. Çdo hyrje në këtë tabelë kërkon $O(\sqrt{n}\ \log(n))$ kërcime, kështu që rifreskimi i tabelës së rrugëzimit kërkon $O(\log(n)^2\sqrt{n})$ kërcime. Pra, përveç ngarkesës që sjell *overlay* ka dhe një ngarkesë nga *underlay*. Përveç overhead-it të komunikimit, implementimet zakonisht kërkojnë memorje shtesë për tabelat e rrugëzimit dhe programet.

VRR

Virtual Ring Routing (VRR) është një protokoll rrugëzimi i frymëzuar nga shtresa *overlay* e DHT-së, [47]. Përveç rrugëzimit, ai siguron funksionalitetet tradicionale të DHT-së. VRR-ja përdor një çelës unik për të identifikuar nyjet. Ky çelës është një numër i plotë i pavarur nga pozicioni. VRR i organizon nyjet sikurse Chord, në një unazë virtuale në rendin rritës të identifikuesve. Për qëllime rrugëzimi, çdo nyje mirëmban një grup fqinjësh virtual (*vset*) me kardinalitet r që janë më afër identifikuesit të nyjes në unazën virtuale. Çdo nyje gjithashtu mirëmban një grup fqinjësh fizik (*pset*) me identifikuesit e nyjeve që mund të komunikojë direkt me to. Një hyrje në tabelën e rrugëzimit identifikon kërcimin tjetër drejt fqinjit virtual. Ky informacion mbahet në mënyrë aktive, që do të thotë mbahet edhe kur nuk ka trafik përgjatë rrugës. Për të drejtuar paketën drejt destinacionit zgjidhet nyja me identifikuesin që është më afër destinacionit nga tabela e rrugëzimit dhe përcillet mesazhi drejt asaj nyje.

Në krahasim me Chord, VRR e redukton numrin e tabelave të rrugëzimit nga dy në një. Por problemi i këtyre protokolleve është se nyjet e afërta në unazë mund të jenë shumë larg në rrjetin real. Si rezultat, avancimi i mesazheve për në nyjen më të afërt mund të rezultojë në një rrugë shumë të gjatë. Për më tepër, shkallëzueshmëria është problem sepse me rritjen e rrjetit protokolli duhet të mirëmbajë tabela rrugëzimi më të mëdha.

GHT dhe GPSR

Tabela gjeografike hash (GHT - Geographic Hash Tables) lidh me funksion hash çelësat me vendodhjet gjeografike, kështu që të dhënat ruhen në nyjen e sensorit gjeografikisht më afër *hash*-it të çelësit, [48]. Të dhënat e ruajtura replikohen lokalisht për të siguruar vazhdimësi kur nyjet dështojnë. Si DHT-të e zakonshme, GHT-të janë ndërtuar si *overlay* dhe mbështeten në rrugëzimin *underlay*. Në fakt, përdoret GPSR-në për rrugëzimin në shtresën e poshtme. GPSR përdor vendodhjen fizike të nyjeve për qëllime rrugëzimi, [49]. Kështu, supozohet se të gjitha nyjet në rrjet e dijnë pozicionin e tyre.

Përparësia kryesore e algoritmeve të rrugëzimit gjeografik është shkallëzueshmëria e tyre optimale. Arsyeja e kësaj, është mbështetja vetëm në informacion lokal për rrugëzim. GPSR përdor *greedy forwarding*, bazuar në informacionin lokal në lidhje me vendndodhjen reale të fqinjëve fizike, për të vijuar paketat në nyjet që janë gjithmonë progresivisht më afër destinacionit. Dërguesi përfshin koordinatat e destinacionit final kur dërgon paketën. Mënyra *greedy forwarding* dështon në rastin e fundeve të vdekura (edhe në rrjetet statike), ndaj GPSR përdor një mënyrë të dytë për rrugëzim, e quajtur mënyra perimetër. Mënyra perimetër përdor një nëngraf planar pa skaje të kryqëzuara. Paketa përshkon me radhë nyjet më të afërta të një nëngrafi planar të lidhjeve të rrjetit, deri sa të arrihet një nyje më afër destinacionit. Në këtë moment rinis *greedy forwarding*.

Figura 3.19 ilustron se si funksionon rrugëzimi në GPSR. Nyja N8 dëshiron të komunikojë me nyjen N14. Tabela e rrugëzimit e nyjes N8 përmban adresat dhe vendndodhjet e fqinjëve të saj një hop larg. Pozicioni i N14 është i njohur për nyjen N8, rrjedhimisht ajo e dërgon mesazhin në nyjen pozicioni i të cilës është më afër destinacionit, në këtë rast nyja N32. Nyja N32 nga ana e saj e dërgon mesazhin në nyjen N56.

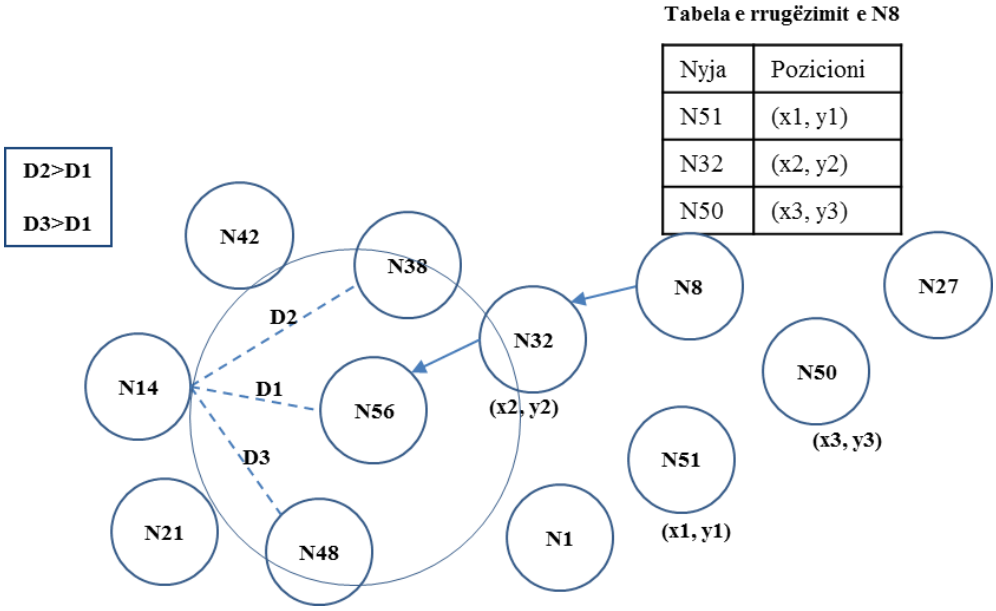

Figura 3.19 Rrugëzimi në GPSR

Deri më tani, *greedy forwarding* pati sukses për të gjetur nyjen tjetër më të mirë. Megjithatë, për shkak se distanca në mes nyjeve N56 dhe N14 (D1) është më e shkurtër se distanca midis N38 dhe N14 (D2), si dhe distanca midis N48 dhe N14 (D3), nuk do të ketë përparim drejt

destinacionit kur paketa dërgohet ose te N38 ose te N48. Kështu, *greedy forwarding* dështon në nyjen N56. Tani GPSR ndryshon në mënyrën tjetër (mënyra perimetër), në të cilën, duke përdorur rregullin e dorës së djathtë, paketa përshkon nyjet në perimetër (N56, N48, N21, N14, N42, N38), për të gjetur një nyje afër destinacionit. Operimi i mënyrës perimetër përfundon kur paketa arrin destinacionin dhe në rastin e shembullit paketa përshkon një pjesë të perimetrit deri tek nyja N14.

GRWLI

Përdorimi i koordinata reale në GPSR, është i kushtueshëm, shpesh herë jo i disponueshëm dhe i ndjeshëm ndaj gabimeve të lokalizimit. Ndryshe nga GPSR, protokolli GRWLI nuk përdor koordinata reale. Përkundrazi, ai formon një sistem koordinativ virtual n-dimensional, [50]. Ndërtimi i koordinatave bazohet në gjetjen e nyjeve perimetër dhe të pozicioneve të tyre përmes projektimit të tyre në rrathë imagjinarë, nëse ato nuk janë të para-përcaktuara. Pastaj, përdoret një algoritëm për të gjetur pozicionin virtual të nyjeve në rrjet. Një nga arsyet e projektimit të nyjeve perimetër mbi rrathë është të pasurit e një zonë të mirëpërcaktuar për të implementuar DHT. Megjithatë, e meta e të pasurit shumë dimensione që rezultojnë për një *n* të madhe, është se formimi i koordinatave virtuale kërkon një kohë të gjatë për të konvergjuar. Kjo sjell shpenzim më të madh energjie gjatë komunikimit. Sërish, ekziston dhe këtu problemi i fundeve të vdekura që mund të ndodhin, kështu që algoritmi *greedy forwarding* nuk mund të garantojë arritjen e destinacionit korrekt.

Hop ID

Në skemën e rrugëzimit hop ID në koordinata virtuale, çdo nyje mban një hop ID, e cila është një koordinatë multidimensionale bazuar në distancën e disa nyjeve referuese, [51]. Nyjet referuese mund të selektohen rastësisht në rrjet. Megjithatë, për të marrë performancë më të mirë dhe për të reduktuar efektin e fundeve të vdekura, ekzistojnë metoda të shumta për selektimin e nyjeve referuese. Për të ndërtuar dhe për të mirëmbajtur sistemin hop ID, 3 hapa bazë duhen ndjekur. Së pari, një nyje vullnetare mbulon të tërë rrjetin për të ndërtuar një pemë të rrugës më të shkurtër që e ka zanafillën te kjo nyje. Pastaj, zgjidhen nyjet referuese. Së fundmi, çdo nyje rregullon hop ID -në e vetë periodikisht dhe transmeton hop ID-në e re duke përdorur një mesazh *hello*. Për tu marrë me fundet e vdekura kur dështon *greedy forwarding*, një mënyrë e tërthortë e drejtuar nga një nyje referuese projektohet dhe aplikohet me një algoritëm kërkimi *flooding* me shtrirje unazore në rrjet për të devijuar nga fundet e vdekura. Përveç problemeve të fundeve të vdekura dhe të selektimit të numrit optimal dhe të pozicioneve të nyjeve referuese, nyjet që bashkohen si dhe ato që largohen mund të ndikojnë një numër të madh nyjesh në rrjet dhe kërkon një numër të madh nyjesh për të rifreskuar hop ID-në e tyre.

Mbështetja në DHT dhe VCP

Tabelat DHT sigurojnë kompleksitet të ulët *O(1)* për operacionet e futjes dhe të *lookup*-it të të dhënave, [52]. Ato punojnë në mënyrë të shpërndarë dhe vetë-organizuese. Këto karakteristika i bëjnë këto, siç e kemi thënë, të përdorshme në WSN. Zakonisht, DHT-të ndërtohen në shtresën e aplikimit dhe mbështeten në protokolle të rrugëzimit themelor që

siguron lidhjen midis nyjeve. Implementimi i DHT-ve në WSN si një shtresë *overlay* dhe duke u mbështetur tek protokollet e rrugëzimit të MANET-it (për shembull: DSR, DSDV ose AODV) ka mangësinë për të mirëmbajtur globalisht informacion topologjie të vlefshëm për të tërë rrjetin. Kjo nuk e favorizon shkallëzueshmërinë sepse nevojitet një ngarkesë shtesë për të mirëmbajtur *overlay*-n. Për më tepër, DHT-të nuk janë projektuar për të përfituar nga përparësia e nyjeve fqinje fizike. Nga ana tjetër, nëse përdoren protokollet e rrugëzimit që përdorin pozicionin gjeografik, rritet shkallëzueshmëria. Fatkeqësisht, gjetja e pozicionit është jo vetëm e kushtueshme dhe e ndjeshme nga gabimet e lokalizimit, por gjithashtu nuk është gjithnjë në dispozicion dhe rrugëzimet e thjeshta si *greedy forwarding* nuk mund të garantojnë arritshmërinë e të gjitha destinacioneve.

Protokolli VCP i shmang problemet e mësipërme, sepse ndryshe nga protokollet MANET, nuk ka nevojë për informacion global dhe përdor adresat relative lokale të nyjeve. Ai mbështetet në DHT dhe ofron përveç fuksioneve standart të DHT-së (për shembull: *insert, get* dhe *delete*) edhe një mekanizëm rrugëzimi efikas. Karakteristikat kyçe të rëndësishme të këtij protokolli përveç rrugëzimit efikas janë:

- Pasardhësit dhe paraardhësit e një nyje janë në afërsinë e saj direkte, ç'ka redukton ngarkesën e komunikimit kur nyjet bashkohen me rrjetin ose e lënë atë.
- Vendodhja fizike e saktë nuk kërkohet, e cila mund të jetë e shtrenjtë në termat e komunikimit ose të kërkesave të sistemit. Përkundrazi, përdoret një pozicion relativ që gjendet lehtë.
- VCP është e shkallëzueshme sepse ajo ka nevojë vetëm për informacion rreth fqinjëve direkt për rrugëzimin.
- Rrugëzimi *greedy* në kordën virtuale garanton arritshmërinë e paketës në destinacion.
- Protokolli implementohet lehtësisht në krye të shtresës MAC.

Krahasimi me VCP

Në krahasim me algoritmat e përmendur më përpara, VCP huazon prej tyre, por ka dhe specifikat e tij. Nga Chord-i, VCP huazon identifikuesin e thjeshtë një-dimensional, por megjithatë VCP ka vetëm një tabelë rrugëzimi në krahasim me dy tabelat e rugëzimit në implementimet e *overlay*-t. Veç kësaj, VCP ka gjëndje rrugëzimi më të vogla sesa përdorimi i algoritmave të rrugës më të shkurtër. Nga VRR, VCP huazon kombinimin e shërbimeve të rrugëzimit dhe të DHT-së, megjithëse detajet e adresimit dhe të avancimit janë krejtësisht të ndryshme. Gjithashtu, tabela e rrugëzimit të VCP-së mban vetëm informacion lokal dhe (ndryshe nga VRR) nuk kërkon përkrahje të çdo informacioni të largët të nyjes. VCP përdor mënyrën *greedy forwarding* gjatë koordinatave të nyjes, por (ndryshe nga GPSR) *greedy forwarding* garanton shpërndarje paketash, nuk kërkon informacion gjeografik dhe nuk bën supozime rreth lidhjes apo gjendjes së lidhjes radio. Nga GRWLI, VCP huazon nocionin e përdorimit të koordinatave virtuale, por (ndryshe nga GRWLI) ajo përdor një algoritëm shumë të thjeshtë të ndërtimit të koordinatave, nga e cila *greedy forwarding* garanton shpërndarje paketash. Siç u përmend më përpara, VCP fokusohet te rrugëzimi efikas në një kordë virtuale. Ajo përmban një diapazon të para-përcaktuar vlerash *hash*-i që i lejon aplikacionet për të lidhur dallueshëm të dhënat me vëndet në kordë.

3.5. Përmbledhje

Në këtë kapitull u hodh një vështrim mbi protokolle të ndryshme rrugëzimi që përdoren në rrjetat me sensor pa tel, duke parë diferencat dhe ngjashmëritë midis tyre si dhe përparësitë e gjithësecilit. Nuk ekziston një ndarje absolute e të bërit pjesë në një grup klasifikimi apo një tjetër, pasi implementimi i këtyre rrjetave është specifik për çdo aplikacion. Kriteri më i përdorur i klasifikimit është ai sipas strukturës së rrjetit që i ndan protokollet e rrugëzimit në: hierarkike, data-centrike dhe të bazuar në vendodhje. Disa nga protokollet janë hibride që bëjnë pjesë në më shumë se një kategori.

Protokollet hierarkike i grupojnë nyjet sensor me qëllim që të kryhen transmetime efikase të dhënave të ndijuara drejt nyjes *sink*. Grupimi i sensorëve në grupe më të vegjël të quajtura "cluster-a" është një nga format e ruajtjes së energjisë. Nyjet lider të grupimeve kryejnë agregim të dhënash dhe transmetimet e tyre drejt nyjes *sink*. LEACH është protokolli më i njohur dhe më i studiuari i kësaj kategorie, sepse mbështetet në disa supozime që e bëjnë implementimin e tij mjaft të thjeshtë. Por këto supozime nuk janë shumë reale dhe në rrjeta të mëdha nyjet lider largohen shumë nga nyja *sink*. Mbi LEACH mbështeten protokollet TEEN dhe APTEEN, të cilët performojnë më mirë, përsa i takon shpërndarjes së energjisë dhe jetëgjatësisë, por mbetet problem për ta ngarkesa dhe kompleksiteti lidhur me formimin e grupimeve me disa nivele, implementimin e funksioneve *thresholds* dhe bashkëpunimi me pyetësorët që përdorin emërtime bazuar në atribute. Një objektiv i përbashkët i këtyre protokolleve është përpjekja për të rritur jetëgjatësinë e rrjetit të sensorëve, pa ndikur në përcjelljen e të dhënave. Në tabelën 3.2 jepet një krahasim i karakteristikave të protokolleve të ndryshme variante të LEACH.

Tabela 3.2 Krahasimi i varianteve të ndryshme të protokollit LEACH

Protokolle rrugëzimi clustering	**Shkallëzue-shmëria**	**Vetë-organizim**	**I shpërndarë**	**Homogjene**	**Përdorim i informacionit mbi vendodhjen**
LEACH	E limituar	Po	Po	Po	Jo
LEACH-C	E mirë	Po	Jo	Po	Po
LEACH-F	E limituar	Jo	Jo	Po	Po
TL-LEACH	Shumë e mirë	Po	Po	Po	Po
LEACH-A	E mirë	Po	Po	Jo	Jo
EEPSC	E mirë	Po	pjesërisht	Po	Jo

Protokollet që i emërtojnë të dhënat dhe i pyesin nyjet mbi bazën e disa atributeve të të dhënave kategorizohen si data-centrike. Ndjekja e kësaj mënyre nga shumë kërkues, është bërë për të shmangur ngarkesën që sjell formimi i grupimeve që kanë nyje lider. Sidoqoftë skemat e emërtimit që përdorin çiftin atribut-vlerë, shpeshherë nuk mjaftojnë për pyetësorë kompleks. Interesi i studimeve të sotme në këtë kategori është ndërtimi i skemave efikase të emërtimit. Skemat DHT kanë ngjallur një interes të veçantë. Tabelat DHT sigurojnë kompleksitet të ulët O(1) për operacionet e futjes dhe të lookup-it të të dhënave. Ato punojnë

në mënyrë të shpërndarë dhe vetë-organizuese. Zakonisht, DHT-të ndërtohen në shtresën e aplikimit si *overlay* dhe mbështeten në protokolle të rrugëzimit *underlay* që sigurojnë lidhjen midis nyjeve. Ide mjaft interesante që diskutohet sot është përdorimi i protokolleve të rrugëzimit që përdorin pozicionin gjeografik si rrugëzim *underlay*.

Ideja e protokolleve që bazohen në vendodhje është përdorimi i një zone në vend të identifikuesit të nyjes si destinacion të një pakete. Informacioni për vendodhjen nevojitet për të llogaritur distancën midis dy nyjeve të veçanta në mënyrë që të vlerësohet konsumi i energjisë. Domethënë, nëse njihet rajoni që ndijohet, një pyetësor mund të difuzohet vetëm drejt asaj pjese rajonale të veçantë duke përdorur vendodhjen e sensorëve dhe kjo do të ulë në mënyrë domethënëse numrin e transmetimeve. Pra rrugëzimi i bazuar në vendodhje nuk kërkon vendosjen apo mirëmbajtjen e rrugëve. Nyjet nuk kanë as për të ruajtur tabela rrugëzimi, as për të përcjellë mesazhe për të mbajtur koherente këto tabela. Rrugëzimi i bazuar në vendodhje suporton krejt natyrshëm dërgimin e paketave tek të gjitha nyjet në një rajon të dhënë gjeografik dhe kjo është përparësia kryesore e tij. Mbështetja në DHT e rrit shkallëzueshmërinë e këtyre protokolleve por fatkeqësisht, gjetja e pozicionit është jo vetëm e kushtueshme dhe e ndjeshme nga gabimet e lokalizimit, por gjithashtu nuk është gjithnjë në dispozicion dhe rrugëzimet e thjeshta si *greedy forwarding* nuk mund të garantojnë arritshmërinë e të gjitha destinacioneve. Kështu lindi ideja e projektimit të protokolleve bazuar në vendodhjen virtuale të nyjes, ku nuk ishte më e nevojshme lokalizimi i pozicionit fizik të nyjes. Për shembull GRWLI dhe Hop ID janë dy algoritmat që mbështeten në lloje të ndryshme të sistemeve me koordinata virtuale: GRWLI është një protokoll rrugëzimi gjeografik që përdor koordinatat karteziane virtuale, ndërsa Hop ID shfrytëzon historinë e një grupi nyjesh për të ndërtuar koordinatat e nyjeve të tjera.

Në krahasim me algoritmat e përmendur në kategorinë e protokolleve të bazuar në vendodhje, VCP huazon prej tyre identifikuesin e thjeshtë një-dimensional, kombinimin e shërbimeve të rrugëzimit dhe të DHT-së, përdor mënyrën *greedy forwarding* gjatë koordinatave të nyjes. Përparësia më e madhe e *greedy forwarding* është mbështetja që ka vetëm tek njohuritë e fqinjëve direkt të nyjes avancuese. Sasia e informacionit të gjëndjes që nevojitet të gjurmohet është e neglizhueshme dhe e varur nga dendësia e nyjeve në rrjetin pa tel, jo nga numri total i destinacioneve në rrjet.

KAPITULLI 4

MENAXHIMI I TË DHËNAVE NË WSN

Natyra e WSN është e orientuar tek të dhënat që lexojnë sensorët, për këtë veçori, këto rrjeta mund të trajtohen si baza të dhënash të shpërndara me një fluks të vazhdueshëm të dhënash nga bota fizike. Menaxhimi i të dhënave në WSN paraqet sfida të reja në krahasim me mundësitë e shumta që ofrojnë sistemet tradicionale të bazave të të dhënave. Sfida vjen kryesisht nga përdorimi i nyjeve të vogla të sensorëve. Problemi i menaxhimit të të dhënave në këta lloje rrjetash shtrohet si më poshtë:

> *Si të emërtohet dhe të ruhet, si të kërkohet dhe rrugëzohet një e dhënë nga nyja sensor, duke përdorur me efikasitet burimet e disponueshme (bateri, brez, kujtesë) pa asnjë koordinim apo kontroll qendror.*

Shtrimi i këtij problemi është fokusi i këtij kapitulli për menaxhimin e të dhënave në mënyrë që të përfitohet një përdorim efikas i burimeve të limituara të nyjeve sensor.

4.1. Trajtimi i problemit të menaxhimit të të dhënave

Dobishmëria e informacionit nuk mund të përcaktohet apriori, sepse varet nga lloji i aplikimit, fenomeni fizik që do të vrojtohet dhe jetëgjatësia e pritshme e rrjetit të sensorëve. Si dy raste ekstreme, mund të marrim si shembull një aplikim që raporton temperaturën në një rajon të largët dhe një aplikim të sistemeve të alarmit ndaj zjarreve që detekton zjarrin në një zyrë publike. Në të dyja skenaret e aplikimeve temperatura është fenomeni që do të matet. Megjithatë, në rastin e parë përdoruesi fundor është më tepër i interesuar në grumbullimin e një numri të madh të leximeve të sensorëve për një periudhë të gjatë kohe. Ky rast karakterizohet nga volume të mëdha të dhënash të grumbulluara për një periudhë të gjatë kohe, por pa nevojën e një saktësie ekstreme në informacionin e grumbulluar. Nga ana tjetër, aplikimi i sistemeve të alarmit ndaj zjarreve, është në gjëndje të fjetur në shumicën e kohës, por duhet të jetë shumë i besueshëm dhe i saktë kur zjarri detektohet. Të gjitha këto konsiderata reflektohen në mënyrën se si një WSN programohet dhe se si të dhënat që qarkullojnë në rrjetin e sensorëve përpunohen dhe menaxhohen.
Mënyrat tradicionale që janë përdorur për dekada përshtaten me mundësitë e WSN-së. Si për shembull përdorimi i një sistemi P2P i cili është i vetë-organizueshëm, i përbërë nga entitete që quhen *peers* që janë të njëjta dhe autonome. Këto entitete përdorin së bashku burimet e shpërndara në një mjedis rrjeti duke shmangur përdorimin e burimeve të qendërzuara [53].
Mënyra të reja janë propozuar për të krijuar një lidhje midis përmbajtjes së të dhënave dhe identifikuesit të nyjeve (për shembull adresa IP). Këto rrjeta janë të njohur si rrjetat P2P të

strukturuara. Marrëdhënia në mes identifikuesit të përmbajtjes dhe identifikuesit të nyjeve bazohet zakonisht në tabelat e shpërndara hash, DHT (Distributed Hash Tables) [52]. Tabelat DHT menaxhojnë të dhënat duke i ndarë ato nëpër nyjet e rrjetit dhe zbatojnë një skemë rrugëzimi që e lejon një nyje të kërkojë në mënyrë efikase nyjen në të cilën ndodhet një e dhënë specifike. Ideja kryesore e DHT është e thjeshtë: të dhënat lidhen me numrat dhe çdo nyje në rrjet është përgjegjëse për një varg të këtyre numrave.
Edhe pse sistemet P2P bazuar në DHT mund të përdorin skema të ndryshme rrugëzimi për të kërkuar për një tjetër lidhje, rregull i vetëm që ata duhet të respektojnë është që mesazhet të avancojnë tek ato *peers* që kanë numra më afër identifikuesit të destinacionit. Pra, zgjidhja e kërcimeve të njëpasnjëshme përcaktohet nga algoritma dhe metrika rrugëzuese. Një metrikë e zakonshme është metrika e afërsisë numerike. Kjo skemë, idealisht rrugëzon mesazhe të besueshme në destinacion me një kërcim të vogël. Por realisht, është e vështirë të hartohen algoritme me metrika rrugëzimi ku dështimet e nyjeve dhe rrugëzimi i informacioneve jokorrekte të kenë pak ndikim apo ndikim të kufizuar në saktësinë e rrugëzimit dhe në qëndrueshmërinë e sistemit.
Në rrjetat ekzistuese të sensorëve për qëllime monitorimi, supozohet që sensorët janë të paraprogramuar dhe duhet t'i dërgojnë të dhënat drejt një terminali qëndror ku grumbullohen dhe ruhen për tu analizuar në një kohë të mëvonëshme. Kjo mënyrë paraqet dy të meta të rëndësishme: 1) përdoruesi nuk mund ta ndryshojë dinamikisht sjelljen e sistemit; 2) rrjetat e sotme të komunikimit janë në rende më të shtrenjta sesa llogaritjet lokale, ndaj përpunimi dhe ruajtja lokale brenda rrjetit, mund të reduktojnë përdorimin e burimeve dhe të rrisin jetëgjatësinë e rrjetit të sensorëve.

Punime të deritanishme që kanë trajtuar problemin e menaxhimit efikas të të dhënave ndahen sipas dy këndvështrimeve: reduktimi i të dhënave përmes kompresimit ose agregimit dhe reduktimi i trafikut të komunikimit. Ky punim pozicionohet në këndvështrimin e dytë.

Reduktimi i të dhënave përmes kompresimit ose agregimit kërkon kapacitete shtesë të kujtesës. Ndërsa reduktimi i trafikut të të dhënave mund të arrihet përmes algoritmeve rrugëzuese dhe kërkimeve efikase. Ai trajtohet në disa pikëpamje duke nisur që në aspektin e transmetimit përmes lejimit ose jo të transmetimit të të dhënave për kushte të caktuara, në mënyrën se si emërtohen dhe indeksohen të dhënat e ndijuara nga sensorët, si ruhen dhe përpunohen këto të dhëna. Të gjitha këto pikëpamje që lidhen me menaxhimin efikas të të dhënave për WSN trajtohen në detaje në paragrafet që vijojnë. Punimi ynë ka për qëllim të trajtojë problemin e menaxhimit efikas duke testuar algoritme rrugëzuese në rrjeta sensorësh wireless me grupime (*cluster*-a).

4.2. Transmetimi i të dhënave

Burimi kryesor i shpenzimit të energjisë në një WSN është transmetimi i të dhënave. Shumë punime dhe studime janë bërë për të optimizuar transmetimin e të dhënave në shtresat fizike,

të data linkut dhe të rrjetit. Detyrat bazë të shtresës fizike janë selektimi i frekuencës dhe modulimi. Një opsion për kanalin e komunikimit është përdorimi i bandave industriale, shkencore dhe mjeksore (ISM), që ofrojnë komunikim pa liçensë në shumicën e vëndeve. Shtresa e data-linkut është kryesisht e përgjegjshme për kontrollin e aksesit të mjedisit dhe për kontrollin e gabimeve. Nga eksperimentet e kryera për të studiuar performancën e shpërndarjes së paketave në tre mjedise të ndryshme (në një ndërtesë zyre brënda, në një habitat me shumë pemë dhe në një vend parkimi të hapur), u vërejt një asimetri domethënëse në mjediset reale dhe performanca në këto mjedise ishte mjaft pesimiste [54].
Siç u përmend më përpara, meqenëse një nga operacionet që harxhojnë më tepër energji është transmetimi i të dhënave, kërkimet në WSN më shumë fokusohen në studimin dhe projektimin e algoritmave vigjilent në energji për transmetimin e të dhënave nga nyjet e sensorëve për në stacionin bazë. Zakonisht transmetimi i të dhënave është multi-hop (nga nyja në nyje për në stacionin bazë) dhe kjo sjell rritje polinomiale të kostos në energji prej transmetimit me radio që varet nga distanca e transmetimit.
Fokusimi më i madh i studimeve sot bëhet në shtresën e rrjetit, që është kryesisht përgjegjëse për strategjitë e rrugëzimit. Klasifikimi protokolleve dhe i algoritmave të rrugëzimit u trajtua gjerësisht në kapitullin e tretë. Po i rikthehemi në veçanti dy grupeve të mëdha mbi algoritmat e rrugëzimit të përdorura në WSN, ku njëri bazohet në mënyrën se si reagon rrjeti nga ndryshimet e topologjisë dhe tjetri bazohet në vendodhjen e nyjes.

Shumë algoritma ad-hoc të bazuar në ndryshimet e topologjisë janë përshtatur për të punuar në WSN. Këtij grupi i jemi referuar më parë dhe si klasifikimi mbi bazën e mënyrës së funksionimit, por meqenëse ky klasifikimi ndikon dhe në mënyrën e transmetimit, në vijim përshkruhen karakteristikat më tipike. Siç e thamë ky grup ndahej në proaktive, reaktive dhe hibride. Ky klasifikim vjen nga klasifikimi tradicional i përdorur për protokollet e rrugëzimit në rrjetat e lëvizshme ad-hoc (MANET) [55].

- *Protokollet proaktivë* quhen ndryshe dhe protokollet e gjëndjes globale. Ato mbajnë informacione rrugëzimi për rrugët e vlefshme në rrjet edhe nëse këto rrugë nuk janë duke u përdorur aktualisht. Tabelat e rrugëzimit mbahen aktuale përmes teknikës së përmbytjes së rrjetit me mesazhe për të ndjekur ndryshimet topologjike. Disavantazhi kryesor i këtyre algoritmave është se mirëmbajtja e rrugëve të papërdorura zë një pjesë të rëndësishme të gjerësisë së brezit kur topologjia ndryshon shpesh. Kjo sjell një kundërveprim të ngadaltë në rastet e ristrukturimit dhe të dështimeve.
- *Protokollet e rrugëzimit reaktiv* nga ana tjetër mirëmbajnë vetëm rrugët që janë aktualisht në përdorim. Infrastruktura e rrugëzimit krijohet vetëm kur një nyje kërkon të transmetojë një paketë. Një mënyrë e tillë kursen burimet gjatë periodave inaktive, por ka overhead-in e zbulimit të rrugëve për çdo nyje origjinuese. Këto protokolle janë përgjithësisht më të shkallëzueshëm, meqenëse gjenerojnë më pak trafik rrjeti, dhe kështu janë të përshtatshëm për rrjetat ad-hoc shumë dinamike. Megjithatë mirëmbajtja e rrugës vetëm kur ajo përdoret kërkon një procedurë zbuluese përpara se të bëhet shkëmbimi i paketave ndërmjet dy entiteteve të komunikimit. Kjo sjell vonesë për paketën e parë që do të transmetohet. Koha e madhe e vonesës dhe sigurisht edhe

gjenerimi i paketave zbuluese rrit trafikun kur kemi ndryshim të topologjisë dhe mund të çojnë në bllokimin e rrjetit.

- *Protokollet hibride*, kombinojnë veçori të dy kategorive të lartpërmendura. Ata mbajnë një pamje globale vetëm për një numër të caktuar të kërcimeve për secilën nyje. Rrugëzimi fillimisht krijohet me disa rrugë proaktive dhe pastaj shërben kërkesën nga nyjet e aktivizuara me anë të mbulimit reaktiv. Zgjidhja për njërën ose tjetrën metodë kërkon parapërcaktim për rastet tipike. Problemi i këtyre algoritmave është se varen nga numri i nyjeve të aktivizuara dhe se kundërveprimi ndaj kërkesave të trafikut varet nga gradienti i volumit të trafikut.

Algoritmat e rrugëzimit gjeografik ose të bazuar në vendodhje eliminojnë disa kufizime të rrugëzimit të bazuar në topologji duke përdorur pozicionin e nyjeve, [56]. Algoritmat e rrugëzimit gjeografik mund të ndahen kryesisht në dy lloje: të bazuar në vendodhjen reale dhe të bazuar në vendodhjen virtuale.

- Në llojin e parë është e domosdoshme që çdo nyje të dijë pozicionin e vet fizik. Përgjithësisht supozohet se çdo nyje përcakton pozicionin e vet me anë të përdorimit të *Global Positioning System* (GPS), [57], ose ndonjë tjetër shërbim pozicionimi. Një shërbim lokalizimi përdoret nga dërguesi i paketës për të përcaktuar pozicionin e destinacionit për ta futur më pas këtë në adresën e destinacionit të paketës. Vendimi i rrugëzimit në çdo paketë bazohet më pas në pozicionin e destinacionit që përmban paketa dhe nga pozicioni i fqinjëve të nyjes që do të përcjellin paketën.
- Në llojin e dytë, një pozicion virtual caktohet për secilën nyje. Qëllimi i metodës së propozuar në këtë punim është përdorimi i këtij rrugëzimi të varur nga koordinatat virtuale të nyjes i cili u trajtua në Kapitullin 3.

4.3. Trajtimi i WSN si baza të dhënash të shpërndara

Zakonisht një WSN rrethohet nga fenomeni që monitoron. Mënyra më e zakonshme është që përdoruesi të pyesë sensorët nëpërmjet një deklarate të ngjashme me një *query* (siç është SQL). Si shembull po japim Algoritmin 4.1 ku një përdorues në distancë i kërkon WSN-së informacion për dritën dhe temperaturën nga ato sensorë që masin një vlerë temperature mbi një prag të dhënë (në këtë rast 25°C). Informacioni i kërkuar grumbullohet me një periodë kampionimi prej 5 sekondash.

Algoritmi 4.1 Shembull i një query të përdorur në WSN

```
SELECT  nodes id, light, temperature
FROM    sensors
WHERE temp > 25
SAMPLE PERIOD  5 s
```

Një nënshtresë e *query*-t (e pozicionuar në shtresën aplikacion tek staku i protokollit paraqitur në Fig. 2.5) është përgjegjëse për të përkthyer *query*-in në plane ekzekutimi, duke marrë në konsideratë kufizimet e ndryshme që burojnë nga aplikimet specifike dhe nga shpërndarja e rrjetit të sensorëve. Kjo është një mënyrë efikase për të përmbledhur të dhënat e sistemit dhe mbështetet në një ndërfaqe *user-friendly* për të programuar sensorët. Kjo, siç thamë në fillim, është arsyeja pse mund t'a shikojmë rrjetin WSN si një bazë të dhënash të shpërndarë.
Por sigurisht ka dallime ndërmjet një WSN-je dhe një sistemi tradicional të databazës [2], që duhen marrë parasysh në projektimin e kujdesshëm të nënshtresës *query* për të përfituar menaxhim efikas të dhënash. Disa prej këtyre dallimeve janë:

- *Përcjellja e fluksit të të dhënave* - Në ndryshim nga baza e të dhënave, WSN përgjigjet duke dërguar të dhëna në intervale konstante kohe të parapërcaktuar kur merr një *query*.
- *Gabimet e komunikimit* - Ndërsa të dhënat që merren nga përgjigjja në databazë janë tërësisht të besueshme, të dhënat e gjeneruara nga nyjet e sensorëve shpërndahen drejt nyjes *sink* me anë të komunikimit *multi-hop*, ku linjat e komunikimit mund të jenë aspak të besueshme dhe që influencohen nga gabimet. Kjo nënkupton se e dhëna arrin nyjen *sink* me një vonesë dhe besueshmëri mjaft të variueshme.
- *Përpunimi në kohë reale* - Meqenëse energjia e shpenzuar në operacionet e përpunimit është disa rende madhësie më e vogël se ajo e shpenzuar për komunikimin, zakonisht është e preferueshme për të përpunuar informacionin në kohë reale, në mënyrë që të shmangen transmetimet e panevojshme. Problemi i energjisë nuk është thelbësor në databaza.

Për të përkthyer *query*-in me një sintaksë të ngjashme me SQL-në në operacione të sistemit ekzistojnë disa implementime të proçesorëve. TinyDB është një implementim i proçesorit *query* që punon në krye të sistemit operativ TinyOS [58]. Përparësia e përdorimit të një ndërfaqeje *user-friendly*, i jep mundësinë përdoruesit në distancë që të kërkojë lehtësisht të dhënat në WSN duke përdorur sintaksën e duhur të SQL-së. Protokolli data-centrik COUGAR që e trajtuam në Kapitullin 3, është një tjetër implementim i cili përdor një plan pyetësorësh për të përcaktuar rolin e nyjeve në përpunimin brënda-rrjetit të *query*-t. COUGAR gjithashtu merret me studimin e ndërveprimit të nënshtresës *query* me shtresën e poshtme të rrugëzimit.

4.4. Emërtimi dhe indeksimi i të dhënave

Ka dy mënyra për të përdorur të dhënat e prodhuara nga sensorët: përcjellja në kohë reale e informacionit në stacionin bazë ose duke i tërhequr të dhënat e kërkuara me anë të *query*-t që kemi përmendur më lart. Për mënyrën e dytë, është e nevojshme që të lidhen emrat me të dhënat e prodhuara. Për të dhënat në *web* ekzistojnë metoda të mirënjohura dhe efikase emërtimi që mund të përshtaten në WSN. Megjithatë natyra e të dhënave në WSN është e ndryshme nga ajo e të dhënave *web*. Përdoruesit në Internet janë më tepër të interesuar rreth vetë të dhënave sesa kur dhe ku të dhënat janë krijuar. Nga ana tjetër, në WSN, këto atribute

mund të kenë të njëjtën rëndësi si dhe vetë të dhënat. Diferenca e dytë është se të dhënat (*file*-t) në internet zakonisht emërtohen manualisht. Nga ana tjetër, nyjet e sensorëve duhet të emërtojnë automatikisht të dhënat që gjenerohen. Kjo çon në një hapësirë të madhe fushe për emrat në internet në krahasim me një hapësirë emërtimi shumë të kufizuar në WSN. Në literaturën [59] diskutohen sfidat që kanë të bëjnë me emërtimin dhe indeksimin e të dhënave sensoriale. Prejardhja e të dhënave (provenanca) shihet si bazë për emërtimin dhe adresimin e tyre. Përpara se të indeksohet diçka, zgjidhet granulariteti në të cilin do të indeksohet. Teorikisht mund të indeksohet çdo lexim sensori. Megjithatë, kjo duket e parealizueshme, nga numri i thjeshtë i leximeve dhe gjithashtu jo domosdoshmërisht i përdorshëm, meqenëse leximet individuale të sensorëve të izoluar kanë pak kuptim. Një zgjidhje më e mirë është të indeksohen grupet e leximeve të sensorëve, të grupuara sipas ndonjë karakteristike, zakonisht koha. Për shembull, një grup leximesh mund të përmbajë të gjitha leximet e një natyre të veçantë gjatë intervalit kohor të një ore ose të një minute. Që të jetë praktike marrja e të dhënave, çdo grup leximi nga sensorët duhet të ketë një emër unik. Problemi themelor është se emri përpiqet të enkodojë një koleksion atributesh. Në shumë fusha ky informacion identifikues quhet provenancë. Provenanca e grumbullimit të të dhënave nuk është vetëm një përshkrim i dobishëm. Është një identifikues i vetëm, unik për atë grup të dhënash. Realisht, kjo e bën provenancën emrin e grupit të të dhënave. Për këtë arsye provenanca duhet të jetë një karakteristikë kryesore. Në vend të enkodimit të emrit si një stringë, bëhet një paraqitje më e plotë si një koleksion çiftesh emër-vlerë. Natyrisht, emërtimi tradicional mund të përdoret gjithashtu. Veç kësaj, provenancat kanë gjasa të jenë specifike sipas aplikimit. Përdorimi i strukturave të indeksimit në sistemet e ruajtjes së të dhënave sensoriale japin mundësinë për kërkime (*lookup*) efikase në shumë aspekte. Literatura [60] propozon një metodë efikase për shpërndarjen e të dhënave përmes indeksimit të shpërndarë tek WSN shumë të mëdha. Kjo metodë minimizon përdorimin e burimeve llogaritëse dhe njëkohësisht siguron përgjigjen në kohë të pyetësorëve. Gjithashtu përmes ruajtjes së të dhënave me indeksim të shpërndarë brenda në rrjet, sigurohet shkallëzueshmëri dhe ngarkesë të balancuar.

4.5. Tabelat hash të shpërndara

Një tabelë *hash* e shpërndarë (DHT) [52] është një klasë e një sistemi të shpërndarë dhe të decentralizuar që ofron një shërbim *lookup* të të dhënave të ngjashme me një tabelë *hash*. Vetitë e saj kënaqin në mënyrë të përshtatur kërkesat për menaxhim efikas që ka WSN [61]. Tabelat *hash* janë struktura të dhënash që përdorin një funksion *hash* për të lidhur në mënyrë efikase identifikuesit e njohur si çelësa me vlerat e shoqëruara (për shembull: emrin e individit me numrin e tij të telefonit). Çiftet (çelës, vlerë) ruhen në një DHT, dhe çdo nyje pjesëmarrëse mund të tërheqë në mënyrë efikase vlerën që lidhet me një çelës të dhënë. Përgjegjësia për të suportuar lidhjen mes çelësave dhe vlerave shpërndahet midis nyjeve në atë mënyrë që një ndryshim në bashkësinë e pjesëmarrësve shkakton një sasi minimale çrregullimi. Kjo i lejon DHT-së të shkallëzohet në një numër shumë të madh nyjesh dhe të trajtojë ardhje, largime dhe dështime të vazhdueshme të nyjeve.

Të dhënat e ruajtura në tabelën *hash* mund të mos jenë të dhënat aktuale të kërkuara, por thjesht mund të jetë një lidhje për tek e dhëna. Për shembull, kur përdoret një tabelë *hash* e shpërndarë, si pjesë e një motori kërkimi, rezultati i kthyer nga sistemi mund të jetë më shumë një lidhje me serverin që strehon përmbajtjen e kërkuar, se sa të jetë vetë përmbajtja.
Tabelat DHT përfshijnë një hapësirë çelësash, setin e të gjithë çelësave të mundshëm, i cili ndahet në të gjitha nyjet e sistemit. Për të shoqëruar çelësat, është përcaktuar një funksion tjetër që përshkruan distancën nga një çelës në një tjetër. Çdo nyjeje i caktohet një identifikues, që është vetë një çelës dhe nyja zotëron të gjithë çelësat dhe të dhënat e lidhura brenda distancës të caktuar. Kjo do të thotë se në qoftë se një nyje largohet nga rrjeti, vetëm një pjesë e vogël e të dhënave duhet të rikuperohen nga nyjet e tjera.
Çdo nyje mban një listë të lidhjeve me nyjet e tjera, efektivisht një tabelë rrugëzimi. Në këtë mënyrë, ata veprojnë si një mbulesë virtuale e rrjetit që qëndron mbi rrjetin fizik. Sipas kësaj mbulese, nyjet janë të gjithë të lidhura dhe kërkimi i çelësit rrjedh nga nyja në nyje deri sa të arrijë nyjen përgjegjëse për hapësirën që mbulon atë çelës. Për çdo çelës, një nyje ose zotëron çelësin ose ka një lidhje me një nyjë që është më afër çelësit. Ky organizim e bën të thjeshtë rrugëzimin e mesazhit duke përdorur një algoritëm *greedy*, algoritëm në të cilin çdo nyje thjesht kalon kërkesën tek nyja më afër me çelësin bazuar në matjen e distancës. Kjo arrihet në mënyra të ndryshme në varësi të zbatimit specifik.
Për të reduktuar sasinë e trafikut që kërkohet për të arritur rezultate dhe në këtë mënyrë për të arritur rrugëzimin efikas, numri maksimal i fqinjëve dhe gjatësia maksimale e rrugës për çfarëdo nyje mbahet i ulët. Disa sisteme mund të mbajnë një memorizim të rrugëve për të rritur efikasitetin dhe për ti dhënë rrjetit aftësi vetë-riparuese. Ky projektim gjithashtu rrit rezistencën kundër sulmeve ndaj shërbimit. Meqenëse ndikohen një numër i kufizuar i nyjeve, zvogëlohet efektivisht mundësia e fikjes së sistemit si pasojë e këtyre sulmeve.
Tabelat e shpërndara *hash* siç u përmend janë në shtresën e aplikimit, edhe pse nuk janë zakonisht vetë aplikimet. Ato janë përdorur në aplikacione komplekse të tilla si sistemet e shpërndara të skedarëve, sistemet e emërtimit të fushave, mesazhet e menjëhershme, sistemet multicast. Një nga përdorimet e tyre më të famshme është në shkëmbimin e skedarëve *peer-to-peer*. BitTorrent, eDonkey, dhe versionet e reja të Gnutella përdorin tabelat DHT në përputhje me mjetet më tradicionale të shpërndarjes së të dhënave. Ka disa motorë kërkimi eksperimental si YaCy, të cilët përdorin tabelat e shpërndara *hash* për të indeksuar të dhënat. Tabelat DHT janë përdorur edhe në rrjetet anonimë të tilla si FREENET, për të anashkaluar censurën duke kaluar informacionin në mënyrë indirekte përmes një numri nyjesh.
Tabelat e shpërndara *hash* ofrojnë një mënyrë të shpejtë aksesimi të një sasie të madhe të të dhënave me kosto minimale dhe me tolerancë gabimi. Çdo nyje në DHT mban një panoramë të pjesshme të sistemit të shpërndarë në tërësi që përcjell efektivisht informacionet e rrugëzimit. Mbi bazën e këtij informacioni, procedura rrugëzuese kalon zakonisht në pak nyje duke iu afruar destinacionit me çdo hop derisa të arrihet nyja destinacion. Kjo realizohet duke mbajtur tabela rrugëzimi tek çdo nyje, të cilat përmbajnë informacion të dobishëm (si numri i portës, adresa IP) për të arritur direkt tek disa nyje rrjeti, nëpërmjet të cilave çdo nyje të mund të kap të gjitha nyjet e tjera në rrjet. Më poshtë përmblidhen në një listë, karakteristikat që zotërojnë tabelat DHT:

- Duke lidhur nyjet dhe të dhënat e tyre në një hapësirë të përbashkët adresimi, rrugëzimi për tek një nyje të çon tek të dhënat për të cilat ajo nyje është përgjegjëse.
- Çdo nyje menaxhon vetëm një numër të vogël referencash nga nyjet e tjera.
- Duke shpërndarë identifikuesin e nyjeve dhe të dhënat afërsisht njëlloj gjatë gjithë sistemit, ngarkesa për të tërhequr të dhëna balancohet njëlloj midis të gjitha nyjeve.
- Meqenëse asnjë nyje nuk luan rol të veçantë brënda sistemit, mund të shmanget formimi i spot-eve "të nxehta" ose i kufizimeve në sistem.
- Një indeks i shpërndarë siguron një përgjigje përfundimtare rreth rezultateve. Nëse një e dhënë ruhet në sistem, DHT-ja garanton gjetjen e të dhënës.

Në vijim koncepti DHT përmendet sërish në teknikën e ruajtjes brenda rrjetit dhe më pas në sistemet e strukturuara P2P.

4.6. Ruajtja e të dhënave

Shumë studime janë fokusuar për të siguruar një menaxhim efikas, tek mënyra se si dhe ku do të ruhen të dhënat e gjeneruara në rrjetin WSN. Mënyrat e ruajtjes në WSN mund të ndahen kryesisht në tre kategori. Kategoria e parë është ruajtja lokale, në të cilën të dhënat ruhen në të njëjtën nyje që i prodhoi pa vendosur një referencë tek të dhënat. Mënyra e dytë është për të çuar të dhënat në stacionin bazë në kohë-reale. Mënyra e fundit është për të ruajtur të dhënat në një nyje që nuk është domosdoshmërisht ajo që i prodhoi ato duke i shpërndarë të dhënat mbi një numër nyjesh dhe duke implementuar një skemë rrugëzimi që lejon të marrë në mënyrë efikase një të dhënë specifike të vendosur në një nyje. Në vijim diskutohet principi dhe implikimet e çdo mënyre.

4.6.1. Ruajtja lokale

Ruajtja e të dhënave lokalisht është efektive përsa i përket komunikimit që bëhet për ruajtjen e tyre. Megjithatë, për të tërhequr të dhëna nga rrjeti, mundësia e vetme është për të pyetur sa më shumë nyje të jetë e mundur nëse ato aktualisht e kanë ose jo të dhënën e kërkuar. Megjithëse kompleksiteti për ruajtjen është vetëm *O(1)*, kompleksiteti për të tërhequr të dhëna nga rrjeti është *O(N)*. Mënyra e ruajtjes lokale ka avantazhin se nuk ka nevojë për përpjekje proaktive për të mirëmbajtur një tabelë rrugëzimi. Por nga ana tjetër, hapësira e limituar e ruajtjes në nyje tregon që kapaciteti i ruajtjes së nyjeve mund të mbarohet shpejt, siç shikohet tek njëra nyje (Nyja A) në Fig. 4.1. Pra kapaciteti i ruajtjes është një shqetësim që merret në konsideratë kur të dhënat ruhen lokalisht në nyje. Mënyra të shumta mund të përdoren për të tërhequr të dhënat nga rrjeti. Një mënyrë është përmbytja e rrjetit me pyetësorë për të gjetur përgjigjen. Kjo teknikë të cilës do i referohemi me emrin *flooding*, e kthen përgjigjen shumë shpejt, është shumë tolerante ndaj ndryshimeve dinamike të rrjetit, por kërkon një numër të tepërt mesazhesh, që çon në shterimin e baterisë së nyjeve dhe mund të mbingarkojë rrjetin, veçanërisht në rrjeta të dendura.

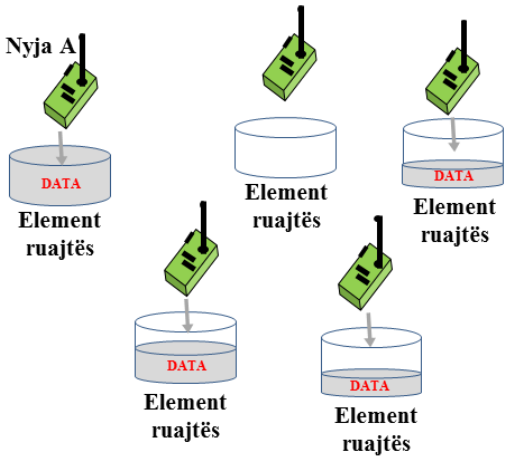

Figura 4.1 Ruajtja lokale: Informacioni DATA ruhet lokalisht në çdo nyje.

Një nga teknikat *flooding* më të njohura që përdoret si një algoritëm *query* në WSN është difuzioni i drejtuar, [32], që u trajtua tek Kapitulli 3. Ky algoritëm konsiston në disa elementë: interesa, mesazhe të dhënash, gradientë dhe përforcime. Një mesazh interesi është një *query* që specifikon se çfarë një përdorues kërkon. Çdo interes përmban një përshkrim të një detyre ndijimi që suportohet nga rrjeti i sensorëve për të marrë të dhëna. Ngjarjet mund të jenë të dhënat që grumbullohen ose përpunohen nga një fenomen fizik. Të dhënat emërtohen duke përdorur çiftet atribut-vlerë. Një detyrë ndijimi (ose një nëndetyrë nga kjo) përhapet gjatë gjithë rrjetit si një interes për të dhënat e emërtuara. Kjo përhapje ndërton gradientët brënda rrjetit që përcaktohen për të "plotësuar" ngjarjen (të dhënat që i përgjigjen interesit). Drejtimi i gradientit çohet drejt nyjes fqinjë nga e cila merret interesi. Ngjarjet fillojnë të rrjedhin drejt iniciatorëve të interesave përgjatë rrugëve të shumëfishta të gradientëve. Pastaj nyja *sink* sapo merr përgjigjen, përforcon rrugët me cilësi më të mira. Për të suportuar këtë ngarkesë të madhe mesazhesh algoritma të shumtë janë zhvilluar bazuar në lëvizjen rastësore ose në lëvizjen e parapërcaktuar të ngjarjes, përfshirë këtu *ACQUIRE* dhe *Rumour Routing*.

4.6.2. Ruajtja jashtë rrjetit

Mënyra e ruajtjes së jashtme është analoge me mënyrën klient-server. Çdo lexim sensori duhet të transmetohet në stacionin bazë në kohë reale. Në dallim nga ruajtja lokale, ruajtja jashtë rrjetit nuk imponon kosto komunikimi për të tërhequr të dhëna. Aktualisht kjo strategji ruajtjeje mund të jetë e përdorshme kur të gjitha leximet e sensorëve janë të rëndësishme, për shembull në monitorimin e habitatit. Sistemet tipike që përdorin ruajtje të jashtme kërkojnë algoritma rrugëzimi efikas për të siguruar kosto të ulta komunikimi për të ruajtur të dhënat. Në këta algoritme kompleksiteti për të ruajtur të dhënat është $O(\sqrt{N})$. Meqenëse të gjitha të dhënat e grumbulluara ruhen në një server të jashtëm, nuk ka kosto për tërheqjen e të dhënave, pasi dihet vendi ruajtës i tyre. Megjithatë, kanali i komunikimit në nyjen *Sink* mund të hasi në një ngarkesë të madhe trafiku, si pasojë paraqet një kufizim në të tërë sistemin. Në Fig. 4.2 tregohet sasia e madhe e ngarkesës në nyjen B në afërsi të nyjes *Sink*. Në përgjithësi, mënyra e ruajtjes së jashtme është më e mirë për rrjeta të thjeshta e të vogla, meqenëse

kostoja për marrjen e të dhënave është optimale. Por, shkallëzueshmëria është një karakteristikë thelbësore që penalizohet nga kjo metodë e cila kërkon disponueshmërinë e një rruge gjatë gjithë kohës nga çdo nyje e rrjetit deri tek nyja *Sink* siç tregohet tek Fig. 4.2 me anë të shigjetave.

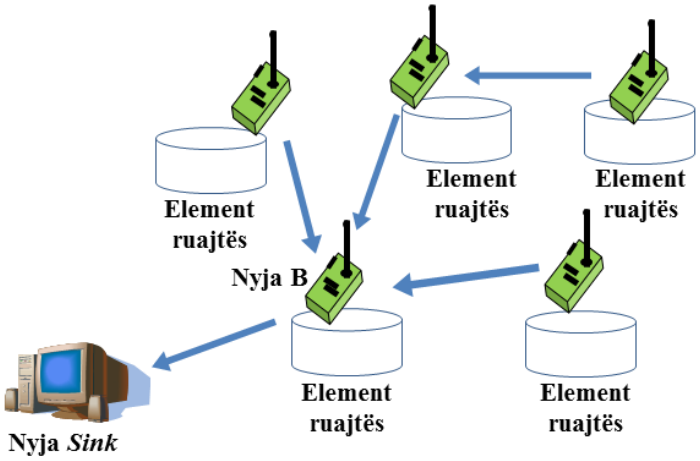

Figura 4.2 Ruajtja e jashtme: të dhënat e ndijuara transmetohen drejt nyjes sink..

4.6.3. Ruajtja brënda-rrjetit

Të dy mënyrat e mësipërme shfaqin kufizime që mund të ndikojnë shkallëzueshmërinë dhe efikasitetin e WSN-së. Në këtë rast me shkallëzueshmëri kuptojmë se nëse sistemi rritet me disa rende madhësie, kompleksiteti i ruajtjes dhe i kërkimit për nyje nuk do të rritet së tepërmi. Në të vërtetë, ruajtja e jashtme penalizohet nga një kompleksitetit jo linear për shkak të komunikimin me nyjen *Sink*. Mënyra e ruajtjes lokale shmang menaxhimin e referencave në nyjet e tjera, kështu që kërkimi i të dhënave bëhet më i kushtueshëm dhe çon në probleme shkallëzueshmërie për shkak të ngarkesës së komunikimit dhe konsumit të energjisë. Një zgjidhje më e mirë për kërkimin e të dhënave do të ishte shmangia e këtyre problemeve duke kërkuar një rrugë të mesme midis këtyre dy metodave. Në vend që të dhënat të ruhen në një nyje të vetme jashtë rrjetit, ato ruhen duke i shpërndarë në nyje të ndryshme brenda rrjetit. Kjo mënyrë quhet ruajtja brenda rrjetit dhe paraqitet në Fig. 4.3, ku të dhënat ruhen ose lokalisht ose shpërndahen për t'u ruajtur në nyje të tjera të rrjetit.

Të dhënat e grumbulluara ruhen në çdo nyje të rrjetit dhe jo domosdoshmërisht në nyjen që i mblodhi të dhënat. Kjo nënkupton se të dhënat e ndijuara dërgohen në një ose grup nyjesh në rrjet dhe të gjitha kërkesat për këtë të dhënë të shkojnë drejt asaj nyjeje ose atij grupi nyjesh që e ruan atë. Një metodë e përshtatshme për mënyrën sesi do të shpërndahet ruajtja e të dhënave është indeksimi i shpërndarë, që përdoret tek sistemet P2P, shpesh e implementuar si DHT.

Për këtë qëllim në punimet shkencore, objektivat e të cilëve kanë natyrë të orientuar nga të dhënat, disa metoda lidhin emrat e të dhënave të ndijuara me nyjet specifike që do ti mbajnë këto të dhëna, zakonisht duke përdorur një funksion lidhës. Kështu që, kërkesat dërgohen direkt te nyja korresponduese. Një ruajtje brënda-rrjetit tipike për WSN-të është metoda e tabelave hash gjeografike (GHT) [48]. GHT-ja kombinon idenë e DHT-së me emërtimin dhe

rrugëzimin gjeografik. Në GHT ka hapësirë për identifikuesat e nyjeve dhe të çelësave. Ndryshe nga DHT-të e tjera kjo hapësirë nuk është virtuale, por fizike. GHT-ja hash-on çelësat nëpër koordinatat gjeografike, kështu që të dhënat ruhen në nyjen e sensorit që është gjeografikisht më afër hash-it të çelësit të tij. Ekzistojnë shumë shembuj të tjerë të skemave të ruajtjes brënda-rrjetit në WSN si DIFS [62] dhe DIMENSIONS [63]. DIFS është një tjetër rast i ndërtuar mbi GHT dhe konsideron ngjarjet e nivelit të lartë me atribute të shumëfishta. Ky konsideron një indeks të shpërndarë të bazuar në vlerat e çelësave duke hashuar çelësat. DIFS ndërton një indeks hierarkik me rrënjë të shumëfishta që balancon mbingarkesën e komunikimit për të suportuar kërkesa efikase të zonës. DIMENSIONS është një sistem ruajtjesh të dhënash ku të dhënat e freskëta ruhen të plota, ndërsa të dhënat afatgjata ruhen në mënyrë jo të plotë. Ai përdor një shumatore kohore dhe hapësinore në një strukturë hierarkike, për të gjetur nënbashkësinë e duhur të nyjeve sensor që i përgjigjen një serie të caktuar të pyetësorëve. Performanca e tij është varet shumë nga korrelacioni i të dhënave për shkak të skemës shumatore së të dhënave. Në literaturën [64] përdoret zëvëndësimi i nyjeve të ruajtjes me qëllim minizimin e kostos totale energjitike për grumbullimin e të dhënave tek nyjet e ruajtjes.

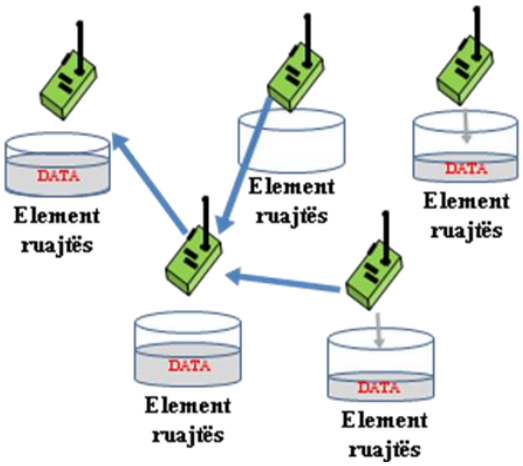

Figura 4.3 Ruajtja brënda-rrjetit: Informacioni Data ruhet në ato nyje të rrjetit që lidhen me të dhënën.

Ka dy mundësi për të ruajtur të dhënat në një DHT. Në metodën e parë që quhet ruajtje direkte, të dhënat kopjohen pasi hyjnë tek nyja përgjegjëse për të. E mira është se e dhëna pozicionohet direkt në sistemin P2P dhe nyja që e mori të dhënën mund të lërë më pas DHT-në pa humbur mundësia për të patur të dhënën. E meta është *overhead*-i në termat e ruajtjes dhe të *bandwidth*-it të rrjetit. Meqenëse nyjet mund të dështojnë, të dhënat duhen kopjuar në disa nyje për të rritur disponueshmërinë e tyre. Për më tepër, për shumë nyje, një sasi e madhe ruajtjeje është e domosdoshme për çdo nyje. Mundësia tjetër, që quhet ruajtje indirekte, ruan referencat tek të dhënat. Nyja ndijuese e të dhënës vetëm jep një *pointer* të të dhënave për te nyja përgjegjëse për këto të dhëna dhe kjo çon në një ngarkesë të reduktuar në DHT. Vetë të dhënat mbeten në nyjen që i ndijoi ato. Megjithatë, të dhënat janë në dispozicion vetëm kur

nyja përgjegjëse për to është në dispozicion. Pra, metoda e parë shkaktonte trafik më të madh në ruajtje, por mesazhi i *query*-t e gjen destinacionin final më shpejt se në metodën e dytë. Se cila metodë është më e përshtatshme për WSN-në kjo varet nga madhësia e të dhënave. Ruajtja direkte është e preferueshme për të dhëna me përmasa të vogla, ndërsa ruajtja indirekte është më e përshtatshme për të dhëna me përmasa më të mëdha.

4.6.4. Krahasimi analitik i tre metodave

Në literaturën [65] jepet një krahasim analitik midis tri skemave të ruajtjes. Për thjeshtësi konsiderohet një WSN me *n* nyje të shpërndara në një sipërfaqe drejtkëndore të caktuar. U konsiderua një shpërndarje në formë rrjete në të cilën çdo nyje mund të komunikojë vetëm me fqinjët e saj direkt horizontalisht ose vertikalisht por jo në diagonal. Megjithëse, kompleksiteti i madh O për *overhead*-in e komunikimit për të dërguar të dhëna në skajin e rrjetit dhe tek një nyje brënda rrjetit është O$(\sqrt{n})$, është e rëndësishme të vërehet se komunikimi mesatar me një nyje jashtë rrjetit konsumon rreth 30% më tepër sesa me nyjet brënda rrjetit. Përpara se të llogariten kostot e komunikimit për skemat e ruajtjes është e rëndësishme për të përmendur se ndonjëherë është më e saktë të lidhen gjatësitë e rrugëve me zonën dhe me distancën e komunikimit të nyjeve më mirë se me numrin e nyjeve. Gjatësia maksimale e rrugës mund të shkruhet si $(2*\sqrt{A})/r$ dhe mesatarja është $\sqrt{A}/r$ ku *A* është sipërfaqja dhe *r* është distanca e komunikimit.

Për të gjitha skemat e ruajtjes, është përcaktuar një kosto duke supozuar një WSN me parametrat e mëposhtme: *D* është numri total i ngjarjeve të detektuara (të dhënat) në rrjet. *Q* është numri total i *query*-t në rrjet. Nyja *Sink* është vendosur në skaj të rrjetit. Gjithashtu funksionin *C* përcakton koston mesatare të komunikimit për të ruajtur dhe për të tërhequr të dhëna nga rrjeti.

Në ruajtjen e jashtme meqenëse nyjet e ruajtjes janë jashtë rrjetit (në një skaj), kostoja mesatare për të transportuar çdo të dhënë në ruajtësin e jashtëm është $\sqrt{n}$-1. Meqenëse të dhënat janë tashmë në nyjen e ruajtjes së jashtme, nuk ka kosto për query-t. Ndaj kostoja për këtë tip ruajtjeje rezulton si në barazimin 4.1:

$$C_e = D*(\sqrt{n}-1) \qquad (4.1)$$

Në barazimin 4.2 jepet kostoja për ruajtjen lokale. Meqenëse të dhënat nuk do të transportohen, nuk ka kosto komunikimi për ruajtjen e të dhënave. Megjithatë, query-t mbulojnë të tëra nyjet me një kosto mesatare dhe maksimale *(n).* Përgjigjet kthehen mbrapsht për te burimi i query-t me një kosto mesatare prej $\sqrt{n}$-1.

$$C_l = Q*(n) + Q*(\sqrt{n}-1) \qquad (4.2)$$

Siç thamë për ruajtjen brënda rrjetit kishte dy mënyra për të ruajtur të dhënat, direkte dhe indirekte. Në ruajtjen direkte çdo të dhënë transferohet te nyja përgjegjëse për të. Kosto

mesatare e transferimit të të dhënës (ngjarjes) te nyja përgjegjëse për këtë të dhënë është ((2*$\sqrt{n}$) / 3)-(2 / (3*$\sqrt{n}$)). Meqenëse burimi i query-t vendoset në një skaj, përgjigjet kthehen mbrapsht me një kosto mesatare prej $\sqrt{n}$-1 dhe kostoja për ruajtjen brënda rrjetit në mënyrë direkte paraqitet në barazimin 4.3:

$$C_{id} = D * ((\frac{2 * \sqrt{n}}{3} - \frac{2}{3 * \sqrt{n}})) + 2Q * (\sqrt{n} - 1) \tag{4.3}$$

Në ruajtjen indirekte supozohet dhe numri i azhornimeve të referencave R_a ndaj kjo çon në barazimin 4.4:

$$C_{ii} = (R_a + Q) * ((\frac{2 * \sqrt{n}}{3} - \frac{2}{3 * \sqrt{n}})) + 2Q * (\sqrt{n} - 1) \tag{4.4}$$

Nga këto llogaritje studiuesit nxjerrim disa përfundime:

- Brënda një rrjeti me një numër të madh nyjesh, ruajtja lokale shkakton koston më të madhe.
- Ruajtja lokale shkakton kosto më të ulët për skenare me një numër shumë të ulët të *query*-t. Për një numër të madh të *query*-t, ruajtja e jashtme shkakton koston më të vogël. Për një numër të ndërmjetëm të *query*-t, ruajtja brënda-rrjetit shkakton koston më të ulët.
- Rritja e dendësisë së rrjetit (për shembull: rritja e numrit të nyjeve në të njëjtën sipërfaqe do të rrisë koston e komunikimit për skemat e jashtme dhe brënda-rrjetit të ruajtjes). Arsyeja për këtë është se (siç u diskutua më përpara) rruga më e shkurtër varet nga sipërfaqja dhe nga distanca e komunikimit të nyjeve më tepër se nga numri i nyjeve të rrjetit. Megjithatë, në rastin e ruajtjes lokale, kostoja do të rritet linearisht me rritjen e numrit të nyjeve, krahas shtimit të kongjestionit në rrjet.
- Ruajtja brënda-rrjetit e bazuar në ruajtjen indirekte shkakton koston më të ulët nëse ritmi i azhornimeve të referencave është shumë i ulët.

Figura 4.4 krahason karakteristikat kryesore të tre skemave të ruajtjes në termat e kompleksitetit, karakteristikave dhe të kërkesave. Sipas kompleksitetit të tyre në termat e *overhead*-it të komunikimit, ruajtja e jashtme ka performancën më të ulët. Por, kjo mënyrë vuan nga dy probleme. Së pari, porta hyrëse për ruajtjen e jashtme paraqet një kufizim për sistemin sepse ajo ka trafik të madh për njësi kohe (sidomos kur një numër i madh nyjesh dërgojnë të dhëna në të njëjtën kohë). Disavantazhi i dytë i kësaj mënyre është se kërkon disponueshmërinë e një rruge për te ruajtësi i jashtëm gjatë gjithë kohës. Ndërsa ruajtja lokale ofron *overhead*-in më të ulët për ruajtjen, proçesi i *lookup*-it kërkon një *overhead* më të madh komunikimi dhe rezultatet e kërkimit nuk janë të garantuara, meqenëse jetëgjatësia e mesazheve të kërkimit kufizohet në një numër të kufizuar kërcimesh. Ruajtja brënda-rrjetit që përhap të dhëna dhe informacion rrugëzimi përmes shumë nyjeve është më e shkallëzueshme

meqenëse shmang harxhimin e plotë të kujtesës së nyjes individuale apo bllokimin e nyjeve pranë nyjes *Sink* nga trafiku i madh. Kjo metodë shfaq një *overhead* optimal komunikimi. Përdorimi i DHT-të është një mënyrë për të siguruar efikasitet për problemin e *lookup*-it në sistemet e shpërndara.

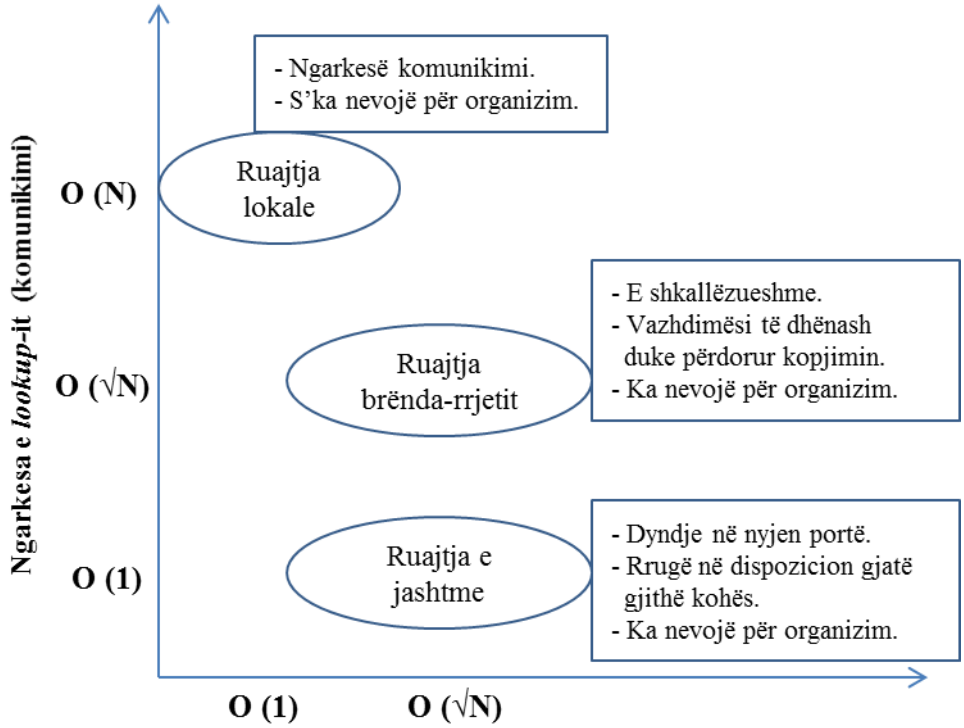

Figura 4.4 Një krahasim i kompleksitetit të tre mënyrave të ruajtjes në termat e overhead-it të lookup-it (boshti y) dhe overhead-it të ruajtjes (boshti x).

4.7. Përpunimi i të dhënave

Përpunimi i të dhënave zakonisht sjell reduktim të dhënash dhe si pasojë ulet përdorimi i burimeve të energjisë, të *bandwidth*-it dhe të ruajtjes në rrjet. Ngjarjet në një WSN dedektohen nga grupe sensorësh të shpërndarë në hapësirë që bashkëpunojnë për të marrë vendime. Një mënyrë është komprensimi i të dhënave përpara transmetimit për të reduktuar energjinë, meqenëse njëfarë humbjeje mund të pranohet pa ndikuar rezultatet e aplikimit. Të dhënat e grumbulluara nga sensorët që janë shumë afër shfaqin korrelim hapësinor. Nëse kampionet e grumbulluara gjatë kohës janë nga i njëjti burim/burime, të dhënat gjithashtu shfaqin korrelim kohor. Si tek skemat e ruajtjes së të dhënave, janë tre skema për të përpunuar të dhënat. Të dhënat e thjeshta dhe të korreluara mund të përpunohen në nyje (përpunim lokal). Disa vlera statistikore (për shembull: mesatarja, maksimumi) ose detektimi i ngjarjeve mund të merren nga bashkëpunimi midis nyjeve (përpunimi brënda-rrjetit). Të dhënat e komplikuara duhet të përpunohen në makina të sofistikuara (përpunimi i jashtëm). Dy skemat e para (përpunimi lokal dhe brënda-rrjetit) zakonisht përdoren për reduktim të dhënash.

Përpunimi i jashtëm kryesisht përdoret për paraqitjen vizuale të të dhënave dhe për qëllime të domethënies së të dhënave.

4.7.1. Përpunimi lokal

Qëllimi kryesor i përpunimit të të dhënave në një nyje është që të reduktohet sasia e të dhënave që duhet ruajtur në nyje dhe që do të trasmetohet me anë të rrjetit në nyjen sink. Kursimi i energjisë është proporcional me numrin e kërcimeve që të dhënat kalojnë në rrjet. Përpunimi i të dhënave merr disa forma: për shembull ai mund të përdoret për të hequr zhurmat nga vlerat e matura, të nxjerrë informacion nga të dhënat ose për të kompresuar të dhënat. Një algoritëm i kompresimit të të dhënave tek nyja sensor është S-LZW [66], i cili përdor fushën e karakteristikive të të dhënave të sensorëve për të reduktuar konsumin e energjisë me më shumë se 1.5 herë si dhe trasformime të tjera të të dhënave që përfitojnë nga struktura e të dhënave për të zvogëluar konsumin e energjisë së rrjetit mesatarisht me faktor 2.5 herë. Pra, sigurohet kursim si në nyjen e sensorit ashtu dhe në të tërë rrjetin. Ka teknika kompresimi për reduktimin e informacionit historik në rrjetat e sensorëve. Këtu, shfrytëzohen korrelimi dhe tepricat midis matjeve të shumëfishta në të njëjtin sensor dhe arrin një shkallë të lartë të reduktimit të të dhënave duke menaxhuar dhe detajet më të vogla të matjeve të regjistruara. Kjo teknikë mbështetet në idenë se vlerat e matjeve të grumbulluara shfaqin ngjashmëri gjatë kohës.

4.7.2. Përpunimi brënda-rrjetit

Ky përpunim shpesh referohet si grumbullim i të dhënave dhe është një nga mënyrat më të zakonshme për të reduktuar overhead-in e komunikimit. Kjo teknikë përpiqet të shfrytëzojë maksimalisht korrelimet e të dhënave për të minimizuar madhësinë e tyre dhe kështu koston e komunikimit. Përveç faktit se nyjet e sensorëve janë pajisje shumë të kufizuara në burime, shumë nyje që punojnë së bashku mund të prodhojnë fuqi llogaritëse të konsiderueshme. Meqenëse natyra e WSN-së i nxit nyjet për bashkëpunim janë përdorur më shumë algoritmat e shpërndarë ku propozohen mënyra për të hequr tepricat e të dhënave në një WSN të dendur, në një mënyrë krejt të shpërndarë. Aftësia bashkëpunuese mundëson kompresim shumë efektiv nëpër një rrjet sensorësh pa patur nevojën për të krijuar komunikim ndërmjet nyjeve, duke përdorur algoritma kodimi të mirëstudiuar dhe të shpejtë për korrigjimin e gabimeve. Në disa skenare aplikimi, informacioni i interesuar nuk është e dhëna në një nyje individuale sensori, por statistikat e grumbullimeve të informacionit midis një grupi sensorësh [2]. Në *Geographic Gossip* [67] paraqesin mënyra për të llogaritur grumbullime si mesatarja, max/min apo shuma duke reduktuar konsumin e energjisë.

Më tepër se mundësia e reduktimit të volumit të biteve të transmetuar, në një klasë të madhe të skenareve të aplikimeve, përdoruesi fundor nuk është i interesuar në të dhënat e plota historike të rrjetit të sensorëve, por më saktë në detektimin e disa ngjarjeve specifike (për shembull: triger-i i një alarmi) ose në një pamje të specifike të fenomenit të vrojtuar (për shembull: temperatura maksimale në rajonin e monitoruar). Përpunimi brënda-rrjetit supozon një përpunim ruaj-dhe-transmeto të mesazheve, ku një mesazh është një njësi kuptimplote të

dhënash që një nyje mund të përpunojë. Në çdo nyje të rrjetit të sensorëve, një shtresë e përpunimit brënda-rrjetit është e ngarkuar për të trajtuar mesazhet e ardhura, ti përpunojë ato dhe të vendosë për mesazhet e tjera që do të dërgohen.

4.7.3. Përpunimi i jashtëm

Për përpunim intensiv të dhënash, do ishte më efikase për të përpunuar të dhënat jashtë në një makinë të sofistikuar aty ku të dhënat grumbullohen, analizohen dhe paraqiten. Për më tepër, përpunimi i të dhënave në nyje zakonisht ka nevojë për më shumë kohë sesa në një makinë me mundësi të mëdha, kështu që për aplikimet në kohë reale është e preferueshme përpunimi i të dhënave nga jashtë. Është e qartë se analiza e të dhënave dhe paraqitja vizuale e tyre i bën të dhënat më të aksesueshme për përdoruesit njerëzor.

4.8. Sistemet Peer-to-Peer

Në dekadat e fundit u shfaq një paradigmë e re interesante e komunikimit në Internet e quajtur Peer-to-Peer (P2P). Siç e thamë dhe në kapitullin e parë ekzistojnë ngjashmëri midis WSN dhe P2P që kanë motivuar përdorimin e këtij nocioni në projektimin e protokolleve dhe algoritmeve për WSN. Në këtë paragraf trajtohet shkurtimisht sistemi P2P, bëhet krahasimi me sistemin klient-server dhe përshkruhen dy format e tij: i pastrukturuar dhe i strukturuar, [68]. Teknika e ndërtimit të “virtual cord” që përdoret në metodën e propozuar në këtë disertacion mbështetet tek koncepti i P2P të strukturuar.

Paradigma Peer-to-Peer mbështetet në hartimin dhe implementimin e sistemeve të shpërndara ku çdo sistem ka (pothuajse) të njëjtën funksionalitet dhe përgjegjësi. Nga përkufizimi, këto sisteme duhet të vetëkoordinohen në mënyrë të shpërndarë pa kontroll të centralizuar dhe pa përdorimin e shërbimeve të centralizuara. Në sistemet tradicionalë klient-server, serveri është i vetmi sigurues i shërbimeve ose i të dhënave, për shembull një web server. Klientët vetëm kërkojnë një informacion ose një shërbim nga serveri. Kështu përgjithësisht klientët janë sistemet me performancë më të ulët ndërsa severat janë me performancë të lartë. Në dallim, në sistemet peer-to-peer, të gjitha burimet, pra informacioni i përbashkët dhe shërbimet sigurohen nga peer-et. Pra, një sistem P2P është një sistem vetë-organizues i përbërë nga peer-e të njëjta, autonome që përdorin ndarjet e burimeve të shpërndara në rrjet duke shmangur burimet qëndrore. Shfaqja e P2P-ve të reja filloi në fundin e viteve 1990 dhe përdorimi kryesor i tyre ishte ndarja e file-ve në Internet midis përdoruesve. P2P i është kushtuar një vëmëndje e madhe në dekadën e fundit si në fushën e kërkimit ashtu dhe në atë komerciale. Zakonisht, P2P-të janë ndërtuar në shtresën e aplikimit si overlay dhe shfrytëzojnë shërbimet e rrugëzimit ekzistues në Internet. Kështu që, implementimi tradicional i sistemeve P2P kërkon që modelimi i nyjes të ketë një shtresë fizike, linku dhe rrjeti. Fillimisht sistemet P2P u zhvilluan për të lejuar ndarje të të dhënave jo të strukturuara, sistemet e propozuar së fundmi përpiqen për të siguruar suport për të ndarë të dhënat e strukturuara.

4.8.1. Sistemet P2P të pastrukturuara

Termi "Peer-to-peer i pastrukturuar" i referohet skemave në të cilat përmbajtja e ruajtur në një nyje të caktuar dhe emri (d.m.th. adresa IP) i saj janë të palidhura në kuptimin që nuk ndjekin ndonjë strukturë të veçantë. Gjenerata e parë e këtyre sistemeve përdor akoma konceptin centralizim, duke përdorur ende disa servera qëndror. Megjithatë, në kundërshtim me qasjen klient-server ky server vetëm ruan informacion në lidhje me peer-et që disponojnë një përmbajtje, duke e zvogëluar në masë të madhe ngarkesën e tij. Adresa e këtij serveri duhet të jetë e njohur paraprakisht nga peer-et. Në Fig. 4.5 paraqitet një rrjet tipik P2P i gjeneratës së parë. Nëse një nyje (p.sh. N40) ka nevojë për një të dhënë fillimisht kontakton me serverin, i cili i jep vendodhjen e nyjes që ka të dhënën (p.sh. N17). Pastaj transferimi i të dhënës bëhet midis dy nyjeve: asaj që e përmban të dhënën dhe asaj që e kërkon atë, pa ndërhyrjen e serverit.

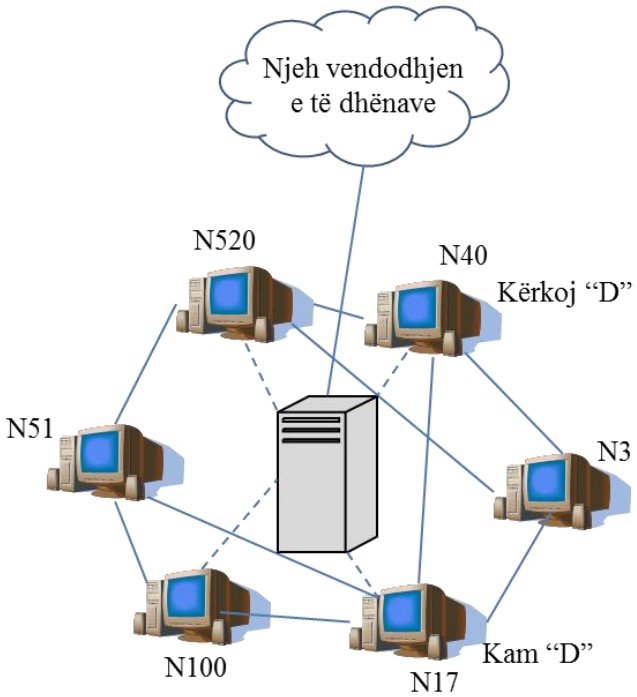

Figura 4.5 Rrjeti P2P i pastrukturuar

Sistemet P2P të pastrukturuara klasifikohen në tre grupe në varësi se ku ruhen indekset e file-ve dhe të peer-eve: P2P i pastër, P2P i pastër me supernyje dhe P2P hibrid. Indekset që lidhin file-t me peer-et përdoren për të përpunuar query-n. Në arkitekturën e pastër P2P, çdo peer ruan indekset e file-ve lokalisht dhe të gjitha peer-et trajtohen njëlloj. Në P2P me supernyje, peer-e të ndryshme i ruajnë indekset e tyre në supernyje të ndryshme. Në P2P hibrid, të gjitha peer-et i ruajnë indekset e tyre në serverin qëndror (ose një grup serverash).

Një aplikim i famshëm i gjeneratës së parë P2P ishte Napster (Fig. 4.6.a), i cili përdorej për ndarjen e skedarëve muzikor midis përdoruesve nëpër shtëpi. Ai nuk ishte plotësisht i decentralizuar, sepse mbështetej në një server qendror ku ruheshin të gjitha kërkesat për

gjetjen e skedarëve. Vetëm transferimi i skedarëve bëhej midis peer-ve. Kur një përdorues futet në sistem, lidhet me serverin dhe dërgon një listë të skedarëve që disponon. Për të marrë skedarin e synuar nga Napster, një listë mbi skedarët e dëshiruar dërgohet në server. Rezultati i query kthen adresat IP të nyjeve që posedojnë skedarët e kërkuar. Ky përdorues mund të zgjidhë një nga adresat IP të kthyera dhe shkarkon skedarin. Kur një përdorues shkëputet nga serveri, lista e skedarëve të poseduara nga ai përdorues fshihet nga serveri.

Gnutella i paraqitur në Fig. 4.6.b është një protokoll rrjeti P2P i pastër. Lista fillestare e nyjeve host zakonisht merret nga një *lookup* tranzitor Web-i. Një nyje shërbyese (ose peer) transmeton në mënyrë *broadcast* një mesazh *Ping* për të gjetur nyjet aktive *host* që formojnë rrjetin fillestar. Të gjitha mesazhet transmetohen për tek fqinjët brenda një numri të kufizuar të hopeve i përcaktuar nga *Time to Live* (TTL) në kokën e mesazhit. Nëse gjendet skedari i dëshiruar, nyja shërbyese dërgon në kthim serinë e rezultateve të përputhura përmes fqinjit prej të cilit ai mori pyetjen mbi skedarin. Nyja kërkuese zgjedh skedarin nga seria e rezultateteve dhe e shkarkon atë direkt nga nyja që e zotëron, me të njëjtën mënyrë si në shkarkimet HTTP. Ky mekanizëm query në protokollin Gnutella mund të shkaktojë një rritje në mënyrë të konsiderueshme të trafikut të rrjetit. Një numër studimesh u përqendruan në reduktimin e përdorimit të tillë joefikas të rrjetit. DHT është një qasje që redukton komunikimin e rrjetit. Në DHT, nyjes i vihet një çelës që përcaktohet nga një tabelë hash.

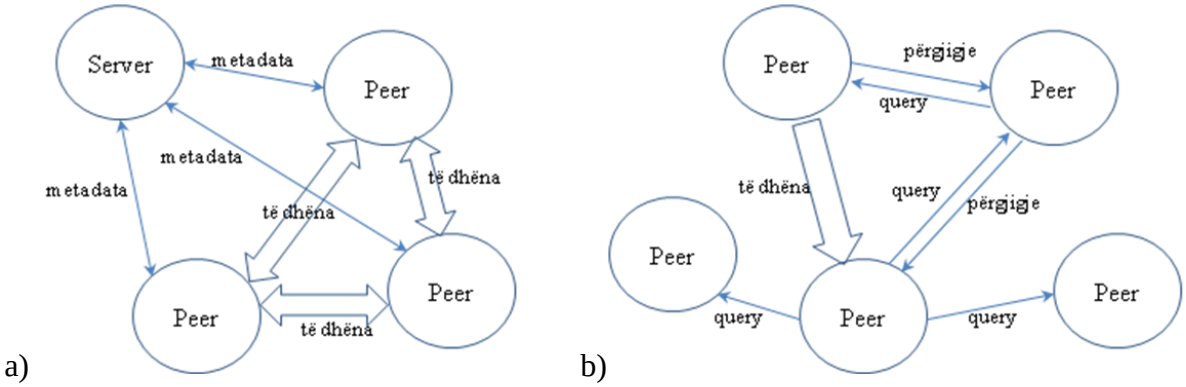

Figura 4.6 a) Arkitektura Napster, b) Arkitektura Gnutella.

Arkitektuar me super nyje për rrjetat P2P të pastrukturuara u fut për performancë më të mirë. Si shembull jepet në Fig. 4.7 arkitektura *Fasttrack.* Në vend të kontrollit të centralizuar, një nyje që ka mjaft bandwidth dhe magazinim zgjidhet vullnetarisht si supernyje. Supernyja ka një numër më të madh të lidhjeve sesa nyjet e zakonshme. Shumica e nyjeve veprojnë në të njëjtën mënyrë si në Gnutella dhe pyesin supernyjen për të gjetur të dhënat e kërkuara. Shuma e madhe e metadata-ve të ruajtura në supernyje redukton në mënyrë dramatike trafikun e rrjetit. Nga lista e të dhënave të kërkuara nga nyjet përfshirë dhe supernyjet, skedarët e përzgjedhur mund të shkarkohen nëpërmjet protokollit të thjeshtuar HTTP.

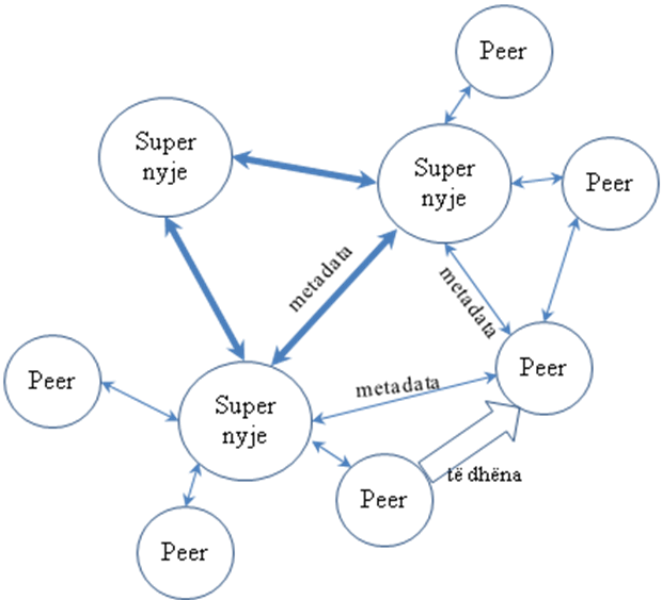

Figura 4.7 Arkitektura Fasttrack

4.8.2. Sistemet P2P të strukturuara

Mënyra të reja janë propozuar që krijojnë një lidhje midis përmbajtjes së ruajtur dhe identifikuesit të nyjes (për shembull: adresa IP). Këto rrjeta njihen si rrjeta P2P të strukturuar. Lidhja midis identifikuesit të përmbajtjes dhe identifikuesit të nyjes zakonisht bazohet në DHT. Përparësitë e sistemeve të decentralizuara dhe vetë-organizues frymëzojnë kërkuesit për tu fokusuar në mënyra për ruajtje të dhënash të shpërndarë e të adresueshme në përmbajtje. DHT-të u projektuan për një indeksim të tillë të shpërndarë, si dhe shkallëzueshmëri, besueshmëri dhe tolerancë gabimesh. DHT-të i menaxhojnë të dhënat duke i shpërndarë ato përmes nyjeve të rrjetit dhe duke implementuar një skemë rrugëzimi, që lejon një nyje për *lookup* efiçent te nyja ku një e dhënë specifike ndodhet. Ideja kryesore e DHT-së është e thjeshtë: të dhënat lidhen me numra dhe çdo nyje në rrjet ka përgjegjësi për një diapazon nga këto numra. Në dallim nga kërkimet e bazuara në mbulimin e rrjetit, çdo nyje në DHT ruan një pamje të pjesshme të të tërë sistemit të shpërndarë që efektivisht shpërndan informacionin e rrugëzimit. Bazuar në këtë informacion, proçedura e rrugëzimit zakonisht kalon në disa nyje, duke iu afruar destinacionit me çdo hop derisa nyja destinacion të arrihet.

Figura 4.8 paraqet një rrjet tipik P2P i strukturuar. Çdo nyje mban një tabelë rrugëzimi, e cila përmban informacion të dobishëm (domethënë adresën IP dhe numrin e gateway-it) për të arritur direkt disa nyje të rrjetit, nëpërmjet të cilave të gjitha nyjet mund ti arrijnë të gjithë të tjerat në rrjet. Në qoftë se një nyje ka një përmbajtje (për shembull: nyja 6), do e dërgojë atë në nyjen përgjegjëse për të mbajtur këtë përmbajtje (për shembull: nyje 10). Tani në qoftë se një nyje ka nevojë për këtë përmbajtje, ajo mund të përdorë të njëjtën skemë lidhëse (zakonisht një funksion hash) për të gjetur nyjen e propozuar për ruajtjen e kësaj përmbajtjeje. Zakonisht, DHT janë ndërtuar në shtresën e aplikimit dhe mbështeten në një protokoll bazë rrugëzimi që siguron lidhjen midis nyjeve. DHT-të fusin një hapësirë të re

adresimi në të cilën lidhen të dhënat. Hapësirat e adresimit zakonisht konsistojnë në vlera të mëdha të numrave të plotë (për shembull: ato variojnë nga 0 deri $2^{160} - 1$). DHT e arrijnë indeksimin e shpërndarë duke caktuar pjesë të hapësirës së adresimit në çdo nyje pjesëmarrëse. Duke na dhënë një vlerë nga hapësira e adresimit, operacioni kryesor i siguruar nga një sistem DHT është funksioni i *lookup*-it, pra që të përcaktojë nyjen përgjegjëse për këtë vlerë.

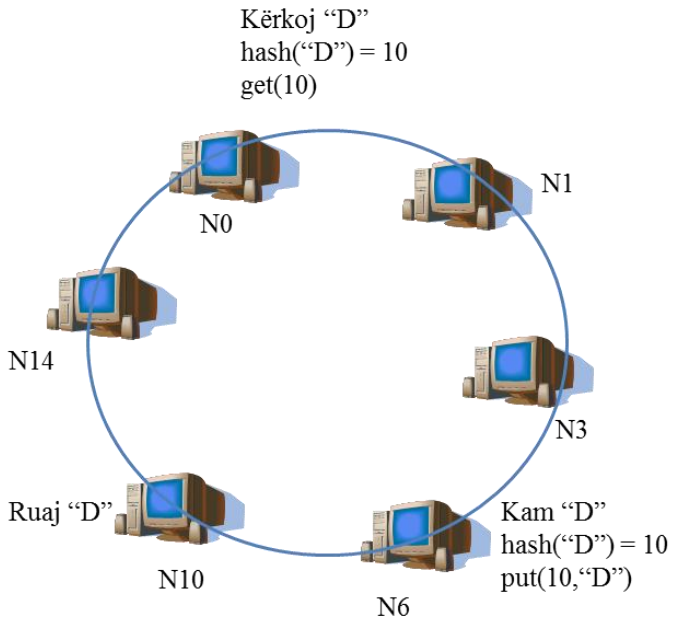

Figura 4.8 Rrjeti P2P i strukturuar

Skemat DHT ndryshojnë kryesisht në mënyrën se si ato e menaxhojnë nga brenda dhe e ndajnë në pjesë hapësirën e tyre të adresave. Në shumicën e rasteve, këto skema i përshtaten interpretimeve gjeometrike të hapësirave të adresimit. Në një sistem DHT, çdo të dhëne i caktohet një identifikues ID, një vlerë unike nga hapësira e adresimit. Kjo vlerë mund të zgjidhet lirisht nga aplikimi, por shpesh nxirret edhe nga vetë e dhëna me anë të një funksioni *hash* rezistent ndaj përplasjeve, siç është SHA-1. Për shembull, ID-ja e një *file*-i mund të jetë rezultati i hash-it të emrit të *file*-it ose komplet të *file*-it binar. Kështu, DHT-ja duhet të ruajë *file*-in në nyjen përgjegjëse për porcionin e hapësirës së adresës që përmban identifikuesin. Ndërfaqet e aplikimit të DHT-ve shkëputen nga këto detaje dhe sigurojnë operacione të thjeshta por të përgjithshme. Bazuar në funksionin e *lookup*-it, shumica e DHT-ve gjithashtu implementojnë një ndërfaqe ruajtjeje të ngjashme me një tabelë *hash*. Kështu, funksioni *put* pranon një identifikues dhe të dhënat arbitrare (për shembull: vlerën hash të një *file*-i dhe përmbajtjet e *file*-it) për të ruajtur të dhënat (në nyjen përgjegjëse për ID-në). Ky identifikues dhe e dhëna njihen si sekuenca e fundme (çelës, vlerë). Simetrikisht, funksioni *get* merr të dhënat e lidhura me një identifikues specifik.

Chord që përmendëm në Kapitullin 3 është një nga sistemet më të mirënjohura të DHT-së, [46]. Figura 4.9 ilustron hapësirën e adresimit rrethore lineare dhe *lookup*-in bazë të Chord-it.

Këtu, çdo nyje mban një diapazon të hapësirës së adresimit dhe hapësira e adresimit mund të konsiderohet si një rreth. Çdo nyje në DHT menaxhon një diapazon vlerash të çelësave.

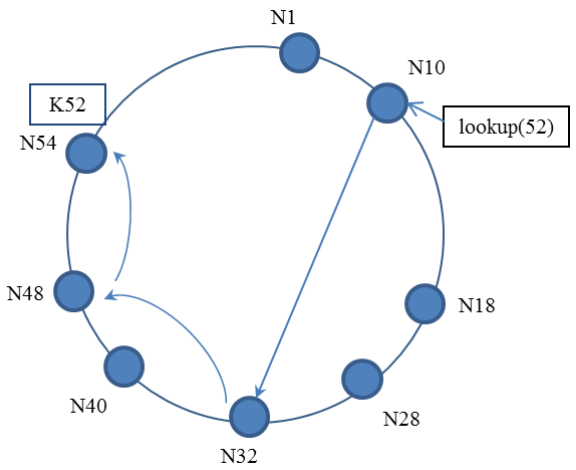

Figura 4.9 Hapësira e adresimit rrethore dhe lookup-i bazë në Chord

Duke përdorur algoritmin e DHT-së, *peer*-et mund të lidhin çelësat me nyjet lehtësisht. Skema bazë e *lookup*-it tregohet në Fig. 4.9, ku një nyje N10 kërkon për çelësin 52. Kur N10 shikon që nuk është përgjegjëse për këtë çelës ajo e avancon mesazhin te nyja e saj fqinje me diapazon çelësash më pranë çelësit destinacion, N32. Nëse N32 nuk është destinacioni, mesazhi do avancohet te nyja tjetër N48 më pranë destinacionit dhe kështu arrihet tek nyja N54 përgjegjëse për çelësin K52. Megjithëse sisteme P2P të bazuar në DHT mund të përdorin skema të ndryshme rrugëzimi për të kërkuar për kërcimin tjetër, i vetmi rregull që ata duhet të zbatojnë është se mesazhet janë avancuar te peer-et që kanë numrat e identifikuesve më afër destinacionit. Pra, zgjidhja e kërcimeve të njëpasnjëshme përcaktohet nga algoritmi i rrugëzimit dhe nga metrika e rrugëzimit. Një metrikë e zakonshme është pikërisht afërsia numerike. Idealisht, një skemë e tillë, rrugëzon besueshëm mesazhet për në destinacion me pak kërcime. Sigurisht, është sfidë projektimi i algoritmave të rrugëzimit dhe i metrikave, në mënyrë që dështimet e nyjeve dhe informacioni i rrugëzimit jo korrekt të kenë pak ndikim ose ndikim të kufizuar në saktësinë e rrugëzimit dhe në qëndrueshmërinë e sistemit. Një protokoll i projektuar për WSN që shfrytëzon nocionin e P2P të strukturuar duke përdorur DHT është VCP [4]. Ai përdor pozicionet virtuale të nyjeve për skemat e shpërndarjes së të dhënave.

4.9. Përmbledhje

Konsiderata në lidhje me dobishmërinë e informacionit si: lloji i aplikimit, fenomeni fizik që do të vrojtohet dhe jetëgjatësia e pritshme e rrjetit të sensorëve, merren parasysh në mënyrën se si një WSN programohet dhe se si të dhënat që qarkullojnë, përpunohen dhe menaxhohen. Për shkak të karakteristikave unike të WSN, menaxhimi i të dhënave në këto rrjeta ndryshon kundrejt atij nëpër rrjetat e tjera të komunikimit. Mënyrat tradicionale të përdorura për dekada

mund të përshtaten me mundësitë e WSN-së. Si për shembull përdorimi i një sistemi P2P i cili gëzon veti të ngjashme me WSN-të si: vetë-organizueshmëria, entitete autonome që përdorin së bashku burimet e shpërndara në një mjedis rrjeti duke shmangur burimet e qendërzuara.
Problemi i menaxhimit efikas të të dhënave është trajtuar sipas dy këndvështrimeve: reduktimi i të dhënave përmes kompresimit ose agregimit dhe reduktimi i trafikut të komunikimit. Reduktimi i trafikut të të dhënave trajtohet në disa pikëpamje duke nisur që në aspektin e transmetimit përmes lejimit ose jo të transmetimit të të dhënave për kushte të caktuara, në mënyrën se si emërtohen dhe indeksohen të dhënat e ndijuara nga sensorët, si ruhen dhe përpunohen këto të dhëna.
Meqenëse burimi kryesor i shpenzimit të energjisë në një WSN është transmetimi i të dhënave atëherë ai duhet optimizuar, sidomos transmetimi i të dhënave nga nyjet për në stacionin bazë. Kur transmetimi i të dhënave është multi-hop (nga nyja në nyje për në stacionin bazë), kemi një rritje polinomiale të kostos në energji prej transmetimit me radio që varet nga distanca e transmetimit.
Duke e trajtuar WSN si një bazë të dhënash të shpërndarë mund të shfrytëzohen pyetësorët (query) si një mënyrë efikase për të përmbledhur të dhënat e sistemit, e cila mbështetet në ndërfaqe të thjeshta për të programuar sensorët. Por sigurisht ka dallime ndërmjet një WSN-je dhe një sistemi tradicional baze të dhënash që duhen konsideruar si: përcjellja e fluksit të të dhënave, gabimet e komunikimit, përpunimi në kohë reale.
Marrja e të dhënave të kërkuara me anë të pyetësorëve kërkon emërtimin e tyre. Metoda të ngjashme me emërtimin e përdorur në web mund të përdoren, por duke patur parasysh që natyra e të dhënave në WSN është e ndryshme nga ajo e të dhënave *web*.
Shumë studime për të përfituar një menaxhim efikas janë fokusuar tek mënyra se si dhe ku do të ruhen të dhënat e gjeneruara në rrjetin WSN. Mënyra e ruajtjes mund të jetë direkte ose indirekte. Se cila metodë është më e përshtatshme për WSN-në kjo varet nga madhësia e të dhënave. Ruajtja direkte është e preferueshme për të dhëna të vogla, ndërsa ruajtja indirekte është më e përshtatshme për të dhëna më të mëdha. Në mënyrën sesi shfrytëzohen kapacitetet e ruajtjes së nyjeve individuale janë tre metoda standarte të ruajtjes (ruajtja lokale, e jashtme dhe brenda rrjetit) dhe nga analiza e kompleksitetit të tyre në lidhje me ngarkesën që jep secila njëra prej tyre rezulton si më optimalja për ta përdorur në metodën e propozuar, ruajtja brenda rrjetit. Ruajtja brënda-rrjetit përhap të dhëna dhe informacion rrugëzimi përmes shumë nyjeve dhe paraqet një mënyrë të shkallëzueshme meqenëse nuk ka *hot spot*-e në rrjet dhe kërkon *overhead* të ndërmjetëm komunikimi në krahasim me dy metodat e tjera.
Një metodë e përshtatshme për mënyrën sesi do të shpërndahet ruajtja e të dhënave është indeksimi i shpërndarë, që përdoret tek sistemet P2P, shpesh e implementuar si DHT. Tabelat DHT-të sigurojnë një mënyrë efikase për problemin e *lookup*-it në sistemet e shpërndara.
Përpunimi i të dhënave zakonisht sjell reduktim të dhënash dhe si pasojë ulet përdorimi i burimeve të energjisë, të *bandwidth*-it dhe të ruajtjes në rrjet. Sikurse dhe metodat e ruajtjes edhe metodat e përpunimit janë tre.
Në përpunimin lokal ka teknika kompresimi për reduktimin e informacionit të vjetër në rrjetat e sensorëve. Këtu, shfrytëzohen korrelimi dhe tepricat midis matjeve të shumëfishta në të

njëjtin sensor dhe arrihet një shkallë e lartë reduktimi të të dhënave duke menaxhuar dhe detajet më të vogla të matjeve të regjistruara.

Përpunimi brënda-rrjetit supozon një përpunim ruaj-dhe-transmeto të mesazheve, ku një mesazh është një njësi kuptimplote të dhënash që një nyje mund të përpunojë. Pasi në shumë aplikime, përdoruesi fundor nuk është i interesuar në të dhënat e plota historike të rrjetit të sensorëve, por më saktë në detektimin e disa ngjarjeve specifike ose në një pamje të "shkurtuar" të fenomenit të vrojtuar.

Për aplikimet në kohë reale është e preferueshme përpunimi i të dhënave nga jashtë. Analiza e të dhënave dhe paraqitja vizuale e tyre në një kompjuter jashtë rrjetit, i bën të dhënat më të aksesueshme për përdoruesit njerëzor.

Ka ngjashmëri midis WSN dhe P2P që kanë motivuar përdorimin e këtij nocioni në projektimin e protokolleve dhe algoritmeve për WSN. Këto sisteme duhet të koordinojnë veten në një mënyrë të shpërndarë pa kontroll të centralizuar dhe pa përdorimin e shërbimeve të centralizuara. Kështu, implementimi tradicional i sistemeve P2P kërkon që nyjet të modelohen me një shtresë fizike, linku dhe rrjeti. Fillimisht sistemet P2P u zhvilluan për të lejuar ndarje të të dhënave jo të strukturuara, sistemet e propozuar së fundmi përpiqen për të siguruar suport për të ndarë të dhënat e strukturuara. P2P i strukturuar përshtatet më shumë me nevojat e strukturave të indeksimit që përdoren në WSN.

KAPITULLI 5

ALGORITËM I PËRMIRËSUAR RRUGËZIMI PËR MENAXHIM EFIKAS

Në këtë kapitull jepet propozimi i një skeme të re rrugëzimi, përshkruhen modifikimet në algoritmet përkatëse dhe aparati matematikor i përdorur. Propozimi i skemës ndahet në dy faza: ndarja e rrjetit në clustera dhe implementimi i VCP mbi këtë rrjet cluster. Kjo skemë konsiston në vendosjen e një korde virtuale e cila lidh nyjet përmes koordinatave virtuale, por vetëm nyjet e selektuara si nyje lider (CH) kanë të drejtën të vendosen në këtë kordë. VCP ka dy dimensione të ndryshme të veprimit, që janë krijimi i kordës dhe rrugëzimi i paketave në kordë. Për të realizuar të dy funksionet, është e nevojshme që nyjet lider të shkëmbejnë si paketa sinjalizuese, ashtu dhe paketa të dhënash mes njëra-tjetrës. Paketat sinjalizuese shërbejnë për krijimin dhe mirëmbajtjen e kordës virtuale, duke iu përshtatur në mënyrë reaktive ndryshimeve në rrjet. Nga ana tjetër, paketat e të dhënave gjenerohen nga nyjet dhe dërgohen drejt fqinjeve, duke u rrugëzuar deri tek nyja destinacion që është përgjegjëse për çelësin e të dhënës së gjeneruar.

Në punim propozohet një përmirësim i mëtejshëm i skemës së propozuar i cili do të prodhojë një perfomancë të përmirësuar për rrugëzimin efikas, veçanërisht në aplikime WSN të tilla si monitorimet mjedisore për grumbullim të dhënash me trafik të ulët.

Nëse supozojmë një sistem të projektuar për rrjeta statike që do të operojnë në mjedise të tilla ku implementimi i rrjetit parapërcaktohet që në fillim për shkak të kushteve të vështira të punës, atëherë paraprogramimi i tipit të nyjes CH që kërkohet në skemën e propozuar nuk do të rezultojë në një kosto shtesë domethënëse.

5.1. Propozimi i algoritmit *cluster* statik

Faza e parë e propozimit ka të bëjë me propozimin e algoritmit për ndarjen e rrjetit në clustera. Nga studimi i modelit bazë LEACH në aspektin teorik ekzistojnë disa probleme në lidhje me rrugëzimin. Pikë së pari, në çdo raund ka një nyje të re lider dhe krijohet një clusteri i ri rreth saj. Kështu që formohen rrugë të reja sa herë që fillon një raund, domethënë një ngarkesë shtesë për rrugëzimin. Së dyti, fakti që çdo nyje ka probabilitet për tu bërë lider, atëherë të gjitha duhet të jenë të afta të komunikojnë direkt me BS, duke reduktuar kështu mundësinë për aplikime në rrjeta të mëdha.

Algoritmi *cluster* statik, shkurt CS, ofron një zgjidhje të problemit të ngarkesës së rrugëzimit që vjen për shkak të formimit dinamik të clusterave në LEACH. Kjo realizohet përmes stabilizimit të proçesit të rolit të CH duke e bërë atë statik dhe që kjo të jetë efikase nyjeve CH i japim më shumë kapacitete burimore. Në çdo raund do të kemi të njëjtat nyje lider gjë që rrit

probabilitetin e krijimit të të njëjtit *cluster* rreth saj. Kjo qëndrueshmëri e clusterave e përmirëson rrugëzimin.

5.1.1. Nyjet lider statike

Duke qenë se algoritmi LEACH operon me rotacion të nyjes lider grupimet do të ndryshojnë në varësi të raundit. Kjo nënkupton që numri i grupimeve do jetë subjekt i numrit të nyjeve lider që do të gjenerohen gjatë një raundi. Energjia supozohet e njëjtë për të gjitha nyjet. Algoritmi CS përmban disa modifikime. Modifikimi i parë lidhet me rotacionin e rolit të CH-ve. Ky proces është zëvëndësuar me një metodë statike që i përzgjedh CH që në fillim, para se rrjeti me sensorë të fillojë transmetimin e parë. Nyja lider e secilit grupim qëndron e tillë në çdo raund derisa bateria e saj të shkarkohet tërësisht. Ndërkohë nyjet e tjera i ruajnë të qëndrueshme vlerat energjike meqenëse ato nuk zgjidhen asnjëherë si CH. Modifikimi i dytë është ndryshimi i rezervës energjitike të tipeve të ndryshme të nyjeve. Rrjeti në këtë rast përbëhet nga nyje me dy nivele të ndryshme energjie. Pra nyjet në skenarin tonë të rrjetit janë heterogjene, përsa i takon energjisë fillestare me të cilën ata projektohen. Në [69], [70], kemi provuar se duke përdorur energji heterogjene të nyjeve për një rrjet me nyjet CH statike, energjia totale e kursyer mund të kontrollohet që të jetë njësoj ose edhe më e madhe, në krahasim me të njëjtin rrjet që përdor rotacion të liderit tek nyjet homogjene. Përmirësimi i energjisë totale të kursyer varet nga raporti i niveleve fillestare energjitike që kanë nyjet CH kundrejt nyjeve jo CH. Gjatë vlerësimit të algoritmit CS në Kapitullin 6 jepet dhe modeli matematikor i llogaritjes së sasisë së energjisë që duhet të kenë nyjet e thjeshta dhe nyjet lider në mënyrë të tillë që të mbahet e njëjta energji totale e rrjetit të përdorur në LEACH. Ky model varet nga një parametër që del me simulim eksperimental. Modifikimet e kryera nuk duhen të rezultojnë me një kosto shtesë energjitike gjatë projektimit të rrjetit në mënyrë që të bëhet një krahasim i drejtë midis dy algoritmeve.

Gjithashtu një ndryshim tjetër nga algoritmi standart LEACH është dhe numri i grupimeve që formohen. Në algoritmin CS ky numër mbetet i njëjtë raund pas raundi dhe varet nga numri i CH që përcaktohet që në fillim të instalimit të rrjetit në varësi të kërkesave të aplikacionit specifik ku do të zbatohet.

5.1.2. Bllokdiagrama e algoritmit CS

Bllokdiagrama e algoritmit CS paraqitet në Fig. 5.1. Në fazën përgatitore bëhet leximi i konfigurimeve të vendosura në simulator që është i njëjtë me atë të përdorur për modulin LEACH. Konfigurimet përfshijnë vendosjen e nyjes *sink*, gjatësinë e raundit, fuqitë e transmetimit. Në fund të fazës përgatitore bëhet vendosja në gjendjen "zero" e të gjithë variablave të kontrollit që përdoren gjatë zhvillimit të algoritmit. Disa nga variablat janë: madhësia e *clusterit*, nyjet kandidate për CH, timer-at që përdoren, buffer-at e paketave, etj. Në këtë moment, gjithçka është përgatitur për nisjen e raundit të parë. Sikurse në LEACH edhe këtu çdo raund përbëhet nga dy faza: faza e setup-it dhe faza *steady*.

Faza e setup-it përbëhet nga tre hapa: në hapin e parë përzgjidhen nyjet lider, në hapin e dytë formohen grupet dhe në hapin e tretë krijohen skedulerat TDMA nga nyja lider që

shfrytëzohen për transmetim nga nyjet e thjeshta. Përzgjedhja e nyjeve lider bëhet sipas nivelit energjitik që ato kanë. Nyjet që u zgjodhën CH dërgojnë paketa ADV në *broadcast* për të deklaruar pozicionin e tyre. Pasi presin për pak kohë në varësi të "offsetit random", CH-të dërgojnë paketat TDMA nëpërmjet të cilave bëjnë skedulimin e ciklit të aktivitetit të nyjeve që kanë në grupimet përkatëse. Paketat TDMA që dërgohen merren nga tabelat TDMA që ka ndërtuar CH për të skeduluar veprimet e nyjeve anëtare të grupimit të saj. Nga ana tjetër, nyjet e thjeshta dërgojnë paketa *JOIN* për tu anëtarësuar nëpër grupimet më të arritshme (në varësi të forcës së sinjalit nga CH).

Në fazën *steady* bëhet transmetimi i të dhënave. Nyjet e thjeshta dërgojnë me radhë të dhënat e tyre tek nyja lider e tyre dhe nyjet lider i agregojnë këto të dhëna dhe i transmetojne drejt BS në fund të çdo raundi. Në fund të transmetimeve rritet me një variabli që monitoron numrin e raundeve. Nëse nyjet kanë akoma energji dhe nëse koha në dispozicion e vendosur nga konfigurimi i simulimit nuk ka përfunduar ende, raundi përsëritet sërish në mënyrë ciklike. Në të kundërt rrjeti konsiderohet i "vdekur".

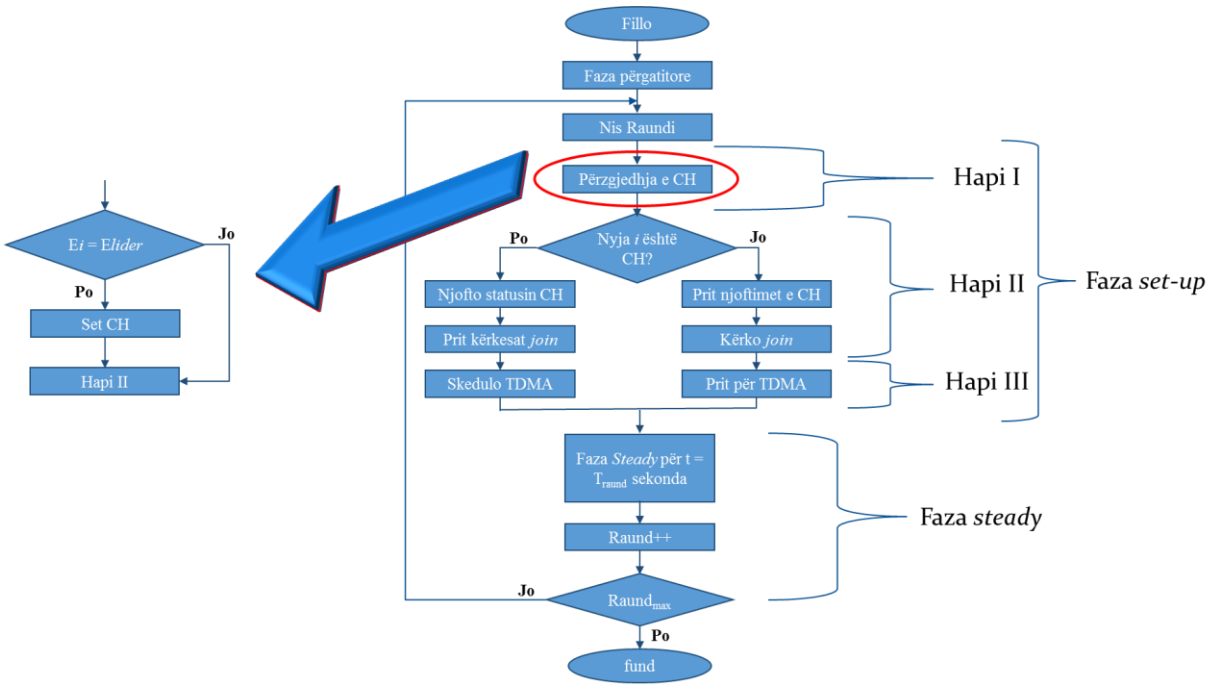

Figura 5.1 Bllokdiagrama e algoritmit CS

Në teknikën e clusterizimit të rrjetit sipas LEACH kemi ndërhyrë tek hapi i parë i fazës së setup-it, ku nyjet përzgjidhen sipas nivelit energjitik që ato kanë.

Pas çdo raundi do kemi ripërzgjedhjen e të njëjtave nyje lider dhe si rrjedhim të njëjtat bashkësi anëtarësh meqenëse nyjet janë statike dhe nuk ndryshon distanca e tyre me nyjen lider raund pas raundi.

Raundet e LEACH-it ruhen dhe tek algoritmi i ri, edhe pse këtu nyjet lider janë statike. Raundet janë të rëndësishme për ruajtjen dhe rifreskimin e gjendjeve të grupimeve. Në CS ata shfrytëzohen jo për krijimin e clusterave të rinj por vetëm për transmetimin periodik të të dhënave. Prandaj edhe gjatësia e tij nuk është më apriori si në LEACH, por është e përcaktuar nga kërkesat e aplikacionit, në varësi të fenomenit fizik që studiohet.

5.2. Propozimi i rrugëzimit VCP në rrjetin cluster

Një nga objektivat e disertacionit është propozimi i një skeme efikase për aplikime të kategorisë së monitorimit mjedisor në rastet e grumbullimit të të dhënave në mënyrë të vazhdueshme për tu analizuar në një kohë të mëvonshme. Në këtë aplikim nyjet e rrjetit janë statike dhe implementohen në pika të caktuara në fushën mjedisore ku studiohet fenomeni. Algoritmi CS përfaqëson përshtatjen e teknikës së clusterizimit të LEACH për këtë tip aplikimi, duke përdorur shpërndarjen e paraprogramuar të nyjeve, duke mundësuar qëndrueshmërinë e grupimeve dhe duke përdorur energji fillestare heterogjene për nyjet për të ruajtur efikasitetin energjitik total që vjen nga clusterizimi i rrjetit. Por algoritmi CS derivon problemin kryesor që ka LEACH, ulje të performancës për rrjeta të mëdha për shkak se të gjitha nyjet CH kudo ku janë duhet të komunikojnë direkt me stacionin bazë BS. Këtë problem në fakt e kanë të gjitha algoritmet *clustering* që ngrihen mbi të njëjtat supozime që bën LEACH. Skema e propozuar e shmang këtë problem pasi në të nyjet lider nuk kanë përse të transmetojnë direkt në BS por rrugëzojnë paketa vetëm tek nyjet lider fqinje.
Rrugëzimi që përdor algoritmi CS është i thjeshtë pasi nyjet anëtare të grupimit thjesht transmetojnë në mënyrë direkt me CH e tyre një hop larg dhe po kështu nyjet CH transmetojnë drejt BS. Por nëse madhësia e rrjetit rritet shumë atëherë lind nevoja për një komunikim *multihop* nga CH-të e largëta drejt BS. Siç e kemi përmendur një skemë e thjeshtë rrugëzimi si *greedy* është shumë e përshtashme për një rrjet me burime të limituara energjitike, siç është WSN. Gjithashtu nëse shfrytëzohet vetëm informacioni lokal është edhe më mirë. Ndaj shfrytëzimi i skemave të rrugëzimit që përdorin algoritmet e bazuar në vendodhje është një zgjidhje e mirë. Rrugëzimi *greedy forwarding* sipas adresave relative të nyjeve lidhur në një kordë virtuale, siç u përmend tek protokolli VCP, i plotëson më së miri kushtet e të qenurit një metodë efikase për menaxhimin e të dhënave në rrjetat WSN. Por ka një problem për ta zbatuar këtë metodë në rrjetat me sensorë *wireless* me grupime, sepse ajo e koncepton rrjetin si P2P. Në fillim të këtij dizertacioni u listuan një sërë ngjashmërish midis WSN dhe rrjetave P2P, që mundësojnë shkrirjen e teknikave të përdorura në këto tipe rrjetash. Duke i shikuar nyjet lider të grupimeve si një rrjet më vete dhe duke i konsideruar si nyje P2P, kemi arritur të zbatojmë metodën VCP për të realizuar rrugëzimin *multihop* midis CH-ve në mënyrë sa më efikase, aq e nevojshme kjo për rrjeta të mëdha.

5.2.1. Propozimi i skemës së integruar me VCP

Siç u përmend më parë propozimin e skemës e kemi ndarë në dy faza dhe faza e dytë ka të bëjë me implementimin e VCP në rrjetin me clustera që krijuam sipas CS në fazën e parë. Objektivi ynë kryesor ishte përdorimi i rrugëzimit VCP në nyjet lider. Ndaj kombinimi i dy algoritmeve sjell modifikimin e tabelave të rrugëzimit tek nyjet lider, [71].
Për të shpjeguar më qartë atë çfarë kemi propozuar, le të marrim si shembull një rrjet hipotetik me 36 nyje. Implementimi i VCP mbi këtë rrjet u cakton të gjitha nyjeve pozicione relative të renditura sipas një korde virtuale. Të gjitha nyjet e rrjetit konsiderohen peer-e të njëjta. Secila prej tyre mund të ndijojë, të ruajë dhe të transmetojë të dhëna me të drejta të barabarta. Të njëjtin rrjet e organizojmë tani me grupime si në Fig. 5.3, ku disa nyje zgjidhen të jenë nyje

lider. Nyjet e thjeshta zgjedhin CH e tyre dhe bëhen nyje anëtare të grupit të CH-së. Nyjet anëtare komunikojnë vetëm me nyjen CH të grupit të tyre, prandaj mund të projektohen më të thjeshta se nyjet në rrjetin standart sipas VCP. Ato kanë vetëm funksionin e ndijimit të të dhënave dhe përcjelljes së tyre me komunikim të drejtëpërdrejtë me CH e clusterit ku bëjnë pjesë. Nyjet CH kanë aftësi të komunikojnë me nyjet CH fqinje, prandaj duhet të projektohen me kapacitete më të mira se nyjet në rrjetin standart VCP. Në [5] sygjerohet një formulë e përgjithësuar që duhet patur parasysh për ta mbajtur të njëjtë koston totale të ndërtimit të këtyrë dy rrjetave të paraqitur përkatësisht në Fig. 5.2 dhe Fig. 5.3. Për organizimin e rrjetit me grupime ka algoritma të ndryshme *cluster*.

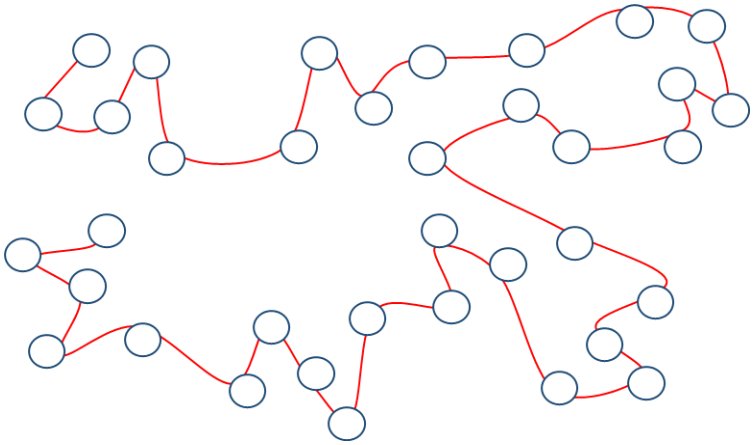

Figura 5.2 Shembull rrjeti sipas VCP

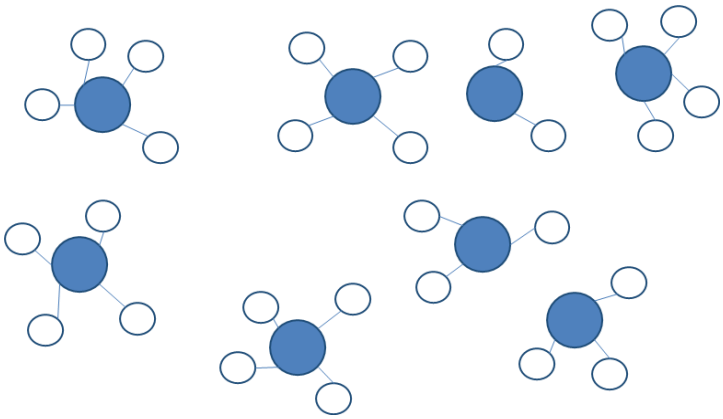

Figura 5.3 Formimi i grupimeve duke përzgjedhur paraprakisht nyjet CH

Në Fig. 5.4 paraqitet pamja e rrjetit të shembullit të marrë në konsideratë pas implementimit mbi rrjetin *cluster* të algoritmit VCP. Vetëm nyjet CH lidhen në kordën virtuale dhe gëzojnë të gjitha karakteristikat e algoritmit VCP. Nyjet anëtare kanë të implementuar vetëm algoritmin *cluster*. Ky model rrjeti, por në mënyrë të thjeshtëzuar me shpërndarje uniforme sipas modelit *grid* përdoret më pas për testimin e skemës së propozuar në simulator. Gjatë projektimit fillimisht bëhet ndarja e nyjeve në grupe. Çdo grup ka një nyje të paracaktuar të quajtur CH. Grupet shpërndahen sipas një rrezeje që mbulon të gjithë zonën që do të

monitorohet, duke patur parasysh që çdo grup komunikon me të paktën një grup paraardhës dhe një grup pasardhës në planin një dimensional. Kjo nënkupton që rrezja e komunikimit e çdo nyje CH është e tillë që të komunikojë me të paktën dy nyje fqinjë CH, duke garantuar lidhjen e tyre në kordën virtuale të VCP. Ndryshimi i vetëm në kosto që rezulton në fazën e implementimit të rrjetit kundrejt rrjetit P2P me VCP, është që disa nyje rrjeti duhet të zgjidhen me një rreze transmetimi më të madhe (dhe këto nyje në metodën e re janë nyjet lider).

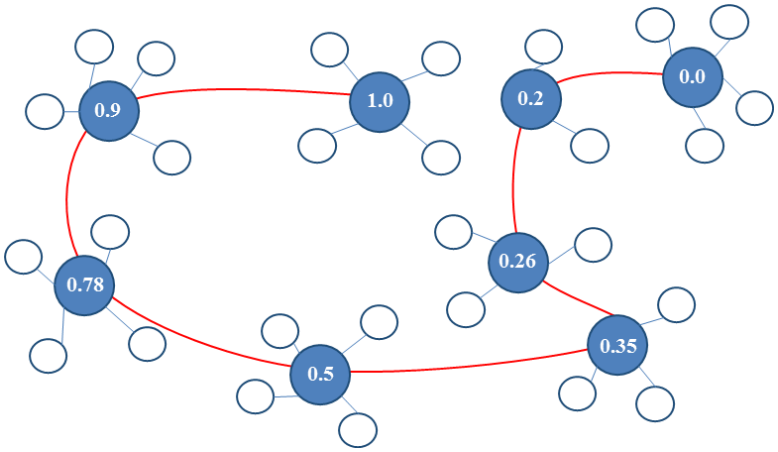

Figura 5.4 Shembull i implementimit të kordës virtuale tek modeli i propozuar

Një ndryshim tjetër që i bëhet nyjeve të rrjetit me VCP është modifikimi i tabelave të rrugëzimit të tyre. Përveç rreshtave aktuale që jep VCP shtohet një fushë që identifikon tipin e nyjes dhe vetëm nëse tipi rezulton si nyje CH aktivizohet operimi VCP. Meqenëse algoritmi VCP operon vetëm tek nyjet CH, tek tabelat e nyjeve anëtare jo CH nuk ka rreshtat që sjell VCP-ja, kjo i bën të pa ndikuara tabelat e tyre nga modifikimi ynë. Figura 5.5 përfaqëson diagramën e asaj pjese të algoritmit të propozuar që është përgjegjëse për aktivizimin e mënyrës së operimit VCP tek nyjet CH pasi kemi implementuar teknikën *cluster* të CS.

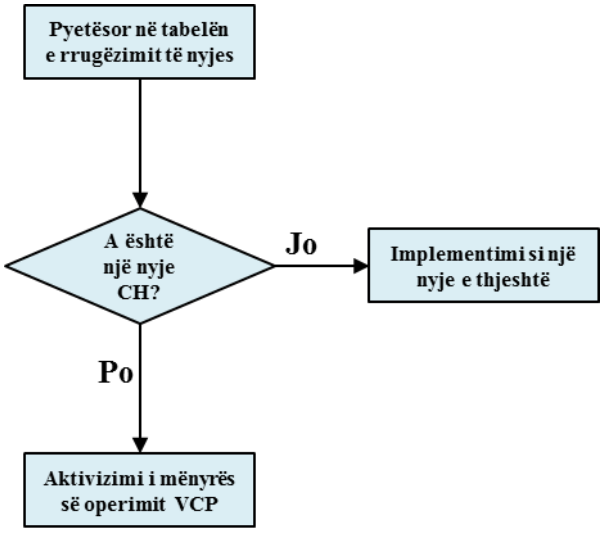

Figura 5.5 Diagrama e funksionit aktivizues për operimin VCP vetëm në nyjet CH

5.2.2. Një vlerësim teorik i skemës së propozuar

Për të realizuar një vlerësim teorik të kostos që ka modifikimi i rrjetit me VCP standart sipas skenarit të ri me clustera kemi marrë në konsideratë shembullin e mëparshëm të rrjetit me 36 nyje. Nëse shënojmë me N koston për implementimin e VCP për çdo nyje, atëherë kostoja e implementimit të rrjetit standart *peer-to-peer* me VCP të Fig. 5.2 është $36N$. Nëse shënojmë me M koston e implementimit të një clusteri duke zbritur koston e VCP tek nyjet anëtare, atëherë versioni i ri VCP rezulton me një kosto totale të tillë: $8\ (M + N)$, ku 8 është numri i clusterave të krijuar për rastin e shembullit. Nëse krahasimi bëhet me koston që ka rrjeti peer-to-peer ($36N$), atëherë sygjerohet që $M < (28/8)\ N$, në mënyrë që të mos kemi kosto shtesë për implementimin e skemës së re. Po të derivojmë në një relacion matematikor të përgjithshëm në lidhje me peshën që ka modifikimi i algoritmit në rrjet, atëherë kostoja totale e implementimit të versionit të ri VCP llogaritet me ekuacionin 5.1:

$$C = (Z-X)(M+N) \tag{5.1}$$

ku Z është numri total i nyjeve në rrjet dhe X numri i nyjeve anëtare.

Theksojmë që për thjeshtësi i kemi supozuar clusterat me numër të njëjtë nyjesh. Në rastin e shembullit të Fig. 5.4 kemi grupe me numër të ndryshëm anëtarësh. Meqenëse M përfshin dhe koston e hequr të VCP tek nyjet anëtare varet nga numri i tyre brenda grupit. Kështu M do të ishte e ndryshme për grupe të ndryshme. Në një rast të tillë kostoja totale M_v që duhet për clusterizimin e rrjetit standart VCP jepet nga ekuacioni 5.2:

$$M_v = \Sigma\, M_i \qquad \text{për i nga 1 deri në } Z\text{-}X \tag{5.2}$$

Kostoja C e dhënë në ekuacionin 5.1 për clustera të barabartë, për clustera me madhësi të ndryshme llogaritet nga ekuacioni 5.3:

$$C = M_v + N*(Z-X) \tag{5.3}$$

Me anë të kësaj përllogaritje sygjerohet se për instalimin e nyjeve të rrjetit sipas skemës së propozuar pa kosto shtesë duke patur si referencë koston e skemës standarte, duhet patur kujdes që kostoja për clusterizimin e rrjetit M_v të mos jetë më e madhe sesa $X*N$.

5.2.3. Bllokdiagrama e skemës së propozuar

Në bllokdiagramën e skemës së integruar të paraqitur në Fig. 5.6 çdo raund i ka të dyja fazat e nevojshme për clusterizimin e rrjetit. Në fazën e setup-it përveç 3 hapave që kishte algoritmi CS shtohet dhe hapi IV, i cili realizon ndërtimin e kordës virtuale tek nyjet lider. Ndërsa në fazën *steady* përdoret faza e rrugëzimit të VCP tek nyjet lider për transmetimin e të dhënave.
Faza *steady* përbëhet nga ana e saj nga dy hapa. Hapi i parë është transmetimi i të dhënave sipas radhës së skedulerit nga nyjet anëtare për tek nyja përkatëse lider. Ky hap është ruajtur i

paprekur sikurse në algoritmin standart *clustering* edhe në skemën e propozuar. Propozimi ynë në këtë fazë ka qenë në hapin e dytë që lidhet me transmetimin e të dhënave nga nyja lider. Njësoj sikurse në algoritmin standart *clustering* edhe këtu nyjet CH agregojnë të dhënat e marra nga anëtarët e grupimit, por në vend që ti transmetojnë ato tek BS direkt, i transmetojnë tek nyja lider fqinje me pozicionin më afër çelësit të të dhënës që rezulton pas agregimit. Sigurisht që do të kemi transmetim nga nyjet CH vetëm kur informacioni është i vlefshëm. Gjithashtu në këtë hap nyjet CH mund të kryejnë dhe transmetime për llogari të nyjeve të tjera lider për të realizuar rrugëzimin *multihop* që nevojitet për metodën e ruajtjes së të dhënave brenda në rrjet që përdor VCP si dhe për procesin e kërkimit të të dhënave që mundëson kjo skemë. Skema e rrugëzimit *multihop* që përdoret është *greedy forwarding* që siç e kemi thënë është ndër më të thjeshtat, për shkak të përdorimit të pozicioneve relative dhe lidhjes së tyre me çelësin e të dhënave. Natyra data-centrike e rrugëzimit VCP del në pah vetëm tek nyjet lider. Implementimi i VCP është transparente për nyjet anëtare.

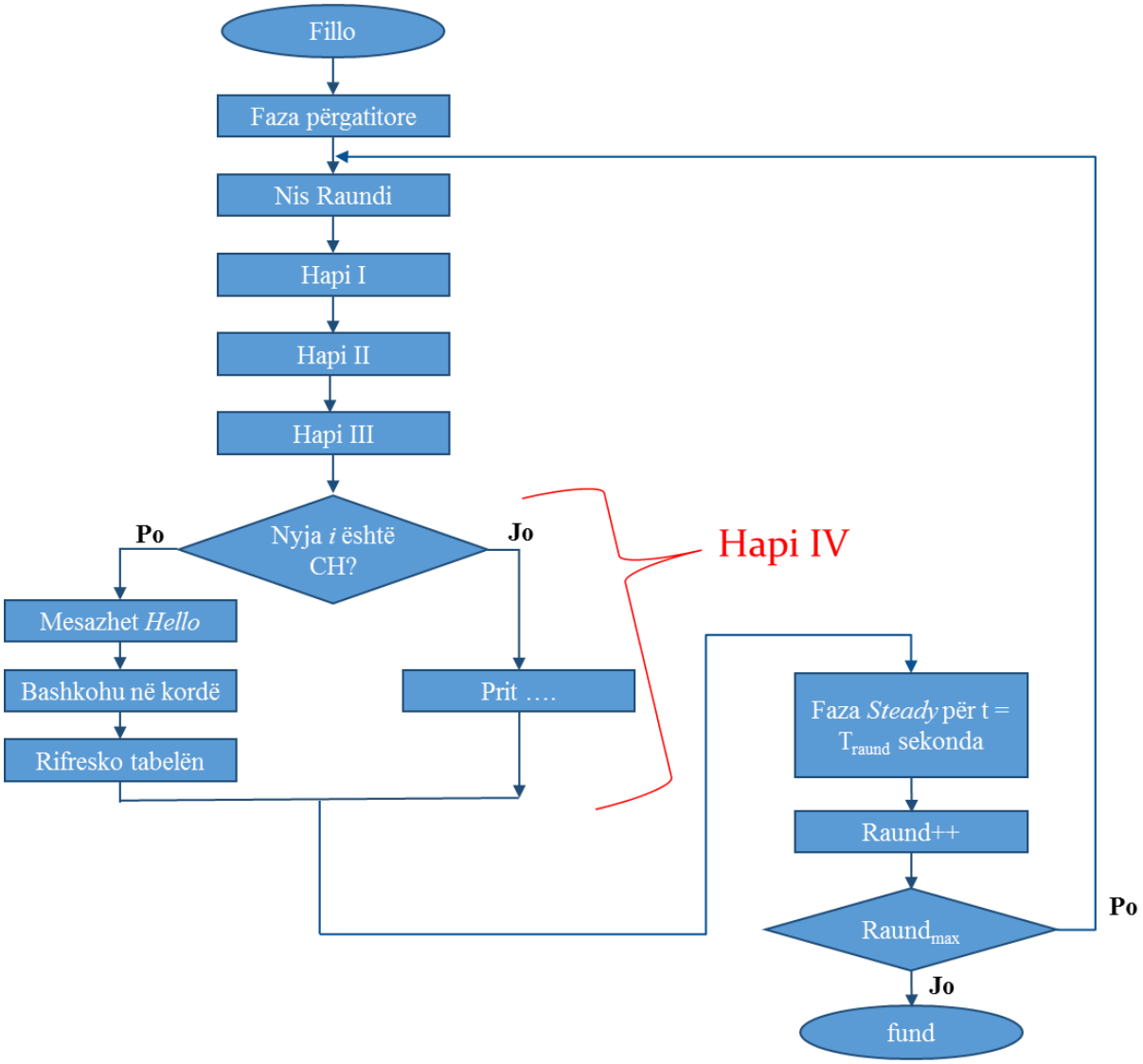

Figura 5.6 Bllokdiagrama e skemës së integruar

5.2.4. Përmirësimi i disa problemeve që sjell VCP

Simulimi i protokollit VCP në një simulator si Castalia, vuri në dukje pikat e dobëta të VCP-së në kushtet e një komunikimi real në nivel radio që ofron ky simulator, me të gjitha problematikat e komunikimeve valore. Gjatë fazës së dytë të propozimit kemi evidentuar disa probleme dhe kemi propozuar disa përmirësime në lidhje me implementimin e VCP.

Protokolli VCP është protokoll rrugëzimi, dhe si i tillë i takon shtresës së rrjetit në stakun e protokolleve. Duke i qëndruar besnik këtij fakti protokolli është implementuar në zonën e protokolleve "Routing" të stakut të Castalia-s. Nga 8 paketat e ndryshme që VCP përdor për sinjalizim në kordë, 6 janë të çiftuara: *newpos<->newposack*, *blockreq<->blockack*, *virtualreq<->virtualack*. Humbja e këtyre paketave nuk është kritike për mbarëvajtjen e kordës, sepse nyjet[1] lëshojnë paketa *hello* në mënyrë periodike për të mbajtur gjëndjen e kordës sa më të përditësuar. Periodiciteti i kontrolleve bën që paketat e sinjalizimit të ridërgohen. Pra humbja e paketave të sinjalizimit në përgjithësi çon në vonesën e ndërtimit të kordës, por jo në sabotimin e saj.

Nevoja për mekanizmat e kontrollit të shtresës MAC

Megjithatë kemi vërejtur një rast specifik kur humbja e një pakete çon në shkatërrimin e kordës. Bëhet fjalë për një çast shumë kritik të krijimit të kordës, çasti kur korda ka vetëm një nyje fillestare dhe nyja e dytë është duke kontaktuar me të. Nyja fillestare i dërgon nyjes së dytë një paketë speciale ACK të quajtur *firstack*. Pasi dërgon këtë paketë, nyja fillestare ngren një flamur bllokues që nuk i lejon të dërgojë më paketa *firstack* përgjithmonë. Nëse ndodh që për arsye fizike kjo paketë të humbasë, krijimi i kordës është përfundimisht i sabotuar, sepse flamuri *SentF* që ngren nyja fillestare nuk ka kthim mbrapa.

VCP nuk parashikon asnjë teknikë për kontrollin e dërgimit të paketave në destinacion. Nëse situata e përshkruar në paragrafin më lart evidentohet, rrjeti e ka të pamundur të dalë nga gjendja e gabuar. Një zgjidhje e mundshme e problemit do ishte pasurimi i VCP me një mekanizëm konfirmimi/ridërgimi për paketat kritike, ose vetëm për paketën *firstack*. Kjo do çonte në ndërlikimin e protokollit dhe në një shmangie nga qëllimi fillestar. Zgjidhja më praktike (të cilën e kemi përdorur konkretisht) është delegimi i mekanizmave të kontrollit drejt shtresave të tjera të rrjetit. Në përgjithësi shtresa e Linkut është e pajisur me teknika të tilla. Në Castalia kjo shtresë njihet si "MAC Layer". Në Kapitullin 6 është realizuar një simulim që provon sjelljen e gabuar të VCP në kushtet e humbjes së *firstack*.

Përmirësimi i kordës

Në versionin origjinal të VCP, nyjet e kordës dërgojnë paketa *hello* periodikisht në *broadcast* rreth vetes. Nëse një nyje jashtë kordës kap një paketë të tillë, ajo nis një procedurë të caktuar për tu bërë pjesë e kordës. Fillimisht nyja e re kontrollon nëse është në kontakt direkt me

[1] Në këtë paragraf me nyje i referohemi nyjeve lider në të cilat operon VCP.

nyjen e parë të kordës, pastaj kontrollon nëse është në kontakt me nyjen e fundit, më pas kontrollon nëse është në kontakt me dy nyje të njëpasnjëshme në kordë dhe së fundmi kontrollon nëse është në kontakt me vetëm një nyje në trupin e kordës. Rasti i fundit nuk është shumë i dëshirueshëm pasi çon në krijimin e nyjeve virtuale, gjë që ul cilësinë e kordës. Kontrolli bëhet duke bredhur tabelat e fqinjësisë që çdo nyje mban lokalisht. Duke qenë se nyja fillestare figuron si rekordi i parë në tabelat e të gjitha nyjeve që e kanë marrë mesazhin e saj, vërehet një tendencë e kordës për t'i "mbledhur" nyjet rreth e rrotull kësaj nyjeje. Kjo tendencë mund të krijojë lidhje jo-optimale mes nyjeve. Situata shpjegohet në Fig. 5.7 ku jepet rasti kur nyja e re që kërkon të bashkohet në kordë ka komunikuar me dy nyjet fundore të kordës (Fig. 5.7.a).

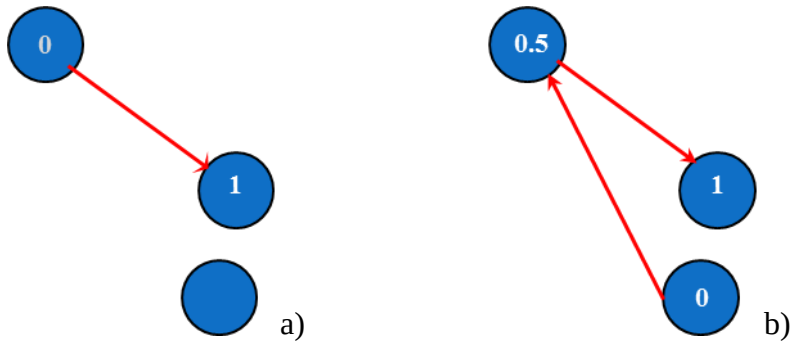

Figura 5.7 a) Një nyje që kërkon të lidhet në kordë komunikon me dy nyje fundore. b) Lidhja e nyjeve sipas VCP

Sipas VCP nyja hyrëse[2] bëhet fqinje korde me nyjen fillestare[3] (Fig. 5.7.b) edhe pse ndërkohë është fqinje me nyjen e dytë që ndodhet më pranë. Duket qartë që kjo situatë nuk është optimale, pasi do të ishtë më me vend që nyja hyrëse të bëhej fqinje korde me nyjen e dytë, por fakti që nyja fillestare është e para në tabelën e nyjes hyrëse dhe që ndodhen në rreze komunikimi me njëra-tjetrën, bën që t'i jepet prioritet kësaj lidhjeje në kordë. Pasojat reflektohen në koston e rrugëzimit të të dhënave.

Propozimi ynë për përmirësimin e situatës, është shtimi i një fushe të re në rekordet e tabelave që nyjet mbajnë në kuadrin e VCP. Konkretisht propozojmë shtimin e vlerës RSSI (Received Signal Strength Indication) në rekordet e tabelave. Sa herë që tabela e një nyjeje freskohet me të dhëna (nga paketat *hello*), nyja mat forcën e sinjalit RSSI dhe e ruan në rekordin e krijuar/rifreskuar. Direkt pas kësaj, nyja bën një renditje zbritëse të rekordeve sipas RSSI. Kësisoj, kur nyja vihet në pozitën e nyjes hyrëse, do t'i japë prioritet caktimit si fqinje korde nyjeve me të cilat ka cilësi më të larta komunikimi, përkundrejt prioritetit kronologjik që paraqitet në propozimin origjinal të VCP. Hipoteza jonë është që ky ndryshim do të ulë

[2] Me nyje hyrëse do të kuptojmë nyjen aktuale që kërkon të bashkohet në kordën virtuale.

[3] Me nyje fillestare do të kuptojmë nyjen fundore me vlerë minimale.

numrin e paketave me të dhëna të humbura gjatë rrugëzimit. Hipoteza trajtohet në Kapitullin 6 me simulimet e realizuara.

Trajtimi i kongjestionit

Paketat e sinjalizimit VCP, dërgohen në momente periodike të caktuara të fazës së setup-it. Sinjali i parë në rrjet në lidhje me formimin e kordës virtuale është paketa *hello*, e cila "zgjon" nyjet duke provokuar një seri sinjalesh si përgjigje dhe kundërpërgjigje. Nëse supozojmë si periodë *hello* kohën 1s, nyja fillestare e rrjetit do dërgojë paketa *hello* në çastet 0, 1, 2, etj. Nyja e dytë e rrjetit do bëhet anëtare e kordës në një çast shumë të afërt me 0 ose me 1, dhe do vazhdojë të dërgojë *hello*, le të themi, në çastet 0.01, 1.01, 2.01, etj. Ky rregull vlen për të gjitha nyjet e kordës. Nga vetë natyra e sinjalizimit VCP, ndodh që i gjithë rrjeti karakterizohet nga intervale shumë të shkurtra dhe periodike aktiviteti të vrullshëm (burst paketash). Kështu rreth sekondave 1, 2, 3 etj, rrjeti përballet me kushte kongjestioni.

Problemi i parë që rrjedh nga kjo situatë është humbja e paketave si pasojë e gjendjes së modulit radio të nyjeve. Kur radioja e nyjes është duke transmetuar një paketë, deklarohet gjendja TX. Gjatë kohës që radio është në TX, nuk mund të marrë asnjë paketë nga nyjet e afërta. Meqë të gjitha nyjet aktivizohen shumë afër në kohë me njëra-tjetrën për të dërguar sinjalizime, shumica e paketave bëhen *drop* për shkak se nyjet destinacion janë duke dërguar paketa për vete. Pas valës së drop-eve, nyjet tentojnë t'i ridërgojnë paketat e humbura, duke shkaktuar kështu valë të njëpasnjëshme dërgesash dhe humbjesh. Eventualisht fenomeni vjen duke u shuar.

Një tjetër problem që e rëndon gjendjen e kongjestionit, është shfaqja e fenomenit të interferencës. Meqë të gjitha nyjet dërgojnë pothuajse njëkohësisht, radiot e nyjeve marrëse bombardohen nga disa sinjale njëherësh. Kur shuma e forcës së sinjaleve në hyrje të radios së nyjes tejkalon një vlerë kufi, nyja e ka të pamundur të identifikojë sinjalet individuale. Nga pikëpamja e modulit të rrugëzimit, kjo do të thotë që të gjitha paketat që arrijnë njëkohësisht drejt të njëjtës nyje, kanë probabilitet të lartë të bëhen që të gjitha *drop*.

Propozimi ynë për të zgjidhur, ose të paktën për të tkurrur kongjestionin, është futja e timer-ave rastësor për thyerjen e periodicitetit strikt të mesazheve *hello*. Konkretisht, nyjet nuk duhet të dërgojnë paketa *hello* çdo 1s, por koha luhatet për shembull në intervalin 1s +/- 0.3s, pra [0.7s, 1.3s]. Timeri rastësor përdor funksionin random (a, b) të tipit pseudorandom që prodhon në dalje një numër rastësor midis intevalit [a, b]. Vlera e "zakonshme" e *hello* është 1 sekond, ndërsa me timer rastësor si në shembullin e mësipërm del një vlerë në segmentin [0.7, 1.3]. Hipoteza në këtë rast është se ky ndryshim sjell uljen e paketave të dropuara si pasojë e gjendjes së gabuar radio, si dhe uljen e paketave të dropuara për shkak të interferencës. Hipoteza trajtohet me simulime në Kapitullin 6.

5.3. Modelet matematikore të metodës së propozuar

Për të realizuar komunikimin me radio midis nyjeve simulatori duhet të ndjekë një model matematikor që përfaqëson sjelljen e radios në lidhje me shpenzimin e energjisë. Në vijim

përshkruhet modeli i përdorur për rastin e studiuar në punim që lidhet me implementimin e algoritmit CS. Gjithashtu në këtë paragraf jepen dhe modelet matematikore që ndiqen për gjenerimin e çelësave për të dhënat, për gjenerimin e adresave relative të nyjeve në kordë, ndërkohë që funksioni i gjenerimit të timerave rastësor që propozohen për dërgimin e mesazheve *Hello* u dha më sipër. Në fund të këtij paragrafi do të paraqitet dhe modeli matematikor që llogarit gjatësinë mesatare të rrugëve midis nyjeve lider.

5.3.1. Modeli radio i përdorur në algoritmin CS

Në vijim paraqitet pjesa e aparatit matematikor që përdoret për të ndërtuar modelin radio të rendit të parë, i paraqitur në Fig. 5.8, i cili përdoret në LEACH [26] dhe që u gjend me vend të përdoret edhe për algoritmin CS.

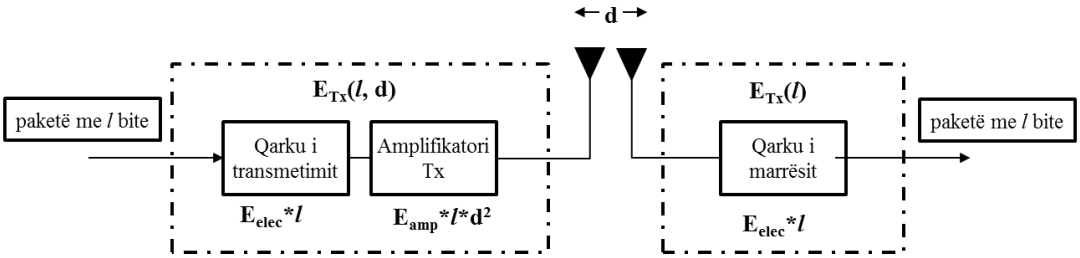

Figura 5.8 Modeli i shpenzimit të energjisë në pjesën e radios

Në LEACH supozohet një model i thjeshtë ku humbja e energjisë për shkak të konsumit të brëndshëm të energjisë të qarkut transmetues ose marrës për bit është E_{elec} = 50 NJ / bit dhe ϵ_{amp} = 100 pJ/bit/m^2 për amplifikitorin e transmetuesit (Fig. 5.8). Gjithashtu supozohet një humbje e energjisë me r^2 për shkak të transmetimit në kanal. Sigurisht ky është dhe modeli i përdorur në algoritmin e propozuar. Kështu, për të transmetuar një mesazh *k*-bit në një distancë *d* për këtë model të radios, shpenzohet një energji e llogaritur sipas formulës 5.4 dhe për marrjen shpenzohet një energji e llogaritur sipas formulës 5.5.

$$E_{Tx}(k,d) = E_{Tx-elec}(k) + E_{Tx-amp}(k,d) = E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * k * d^2 \qquad (5.4)$$

$$E_{Rx}(k) = E_{Rx-elec}(k) = E_{elec} * k \qquad (5.5)$$

Nëse distanca midis dy nyjeve në rrjet është *r*, energjia e shpenzuar për të transmetuar direkt një mesazh *k* bit nga një nyje që është larg (*n* nyje)**r* nga stacioni bazë, nisur nga ekuacioni 5.4, del që:

$$E_{direkt} = E_{Tx-elec}(k, d = n * r) = E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * k * (nr)^2$$
$$= k\left(E_{elec} + \epsilon_{amp} n^2 r^2\right) \qquad (5.6)$$

5.3.2. Funksioni *hash* për gjenerimin e çelësave

Funksionet *hash* janë të shumëllojshme por në metodën e propozuar përdoret një funksion i zgjedhur nga familja lineare e funksioneve *hash* i quajtur funksioni *hash* i shumëzimit i përcaktuar nga ekuacioni 5.7:

$$h(k) = \left[n * \left((f(k) * r)(mod1)\right)\right] \quad \text{ku } 0<r<1 \qquad (5.7)$$

Shumëzimi i një numri real midis 0 dhe 1 me një çelës integer *k* jep një numër tjetër real "të rastit". Duke marrë pjesën decimale të tij marrim më shumë shifra të saktësisë të origjinalit, dhe në të njëjtën kohë vepron si një modalitet me ndarje *hash* për të kufizuar daljen tek një gamë vlerash. Nëse shumëzohet numri "i rastit" i rezultuar midis 0 dhe 1 me madhësinë e tabelës *hash* (*n*) përfitohet një indeksim "i rastit" në të.
Me anë të këtij funksioni që implementohet në shtresën aplikacion, bëhet lidhja e të dhënave me një çelës vlera e të cilit shtrihet në intervalin [0, 1]. Për të realizuar rrugëzimin e paketës nyja shfrytëzon këtë çelës dhe pozicionet relative të nyjeve që marrin gjithashtu vlera në intervalin [0, 1]. Çelësi i prodhuar nga hashi i shtresës aplikacion do ti shërbejë nyjes si indikacion për destinacionin, ndaj ajo do e rrugëzojë paketën tek fqinji që ka adresën relative më pranë këtij çelësi destinacion.

5.3.3. Gjenerimi i adresave relative në kordë

Funksioni që përcakton pozicionin e një nyjeje të re në kordë varet nga disa parametra që lidhen me pozicionin e nyjeve aktualisht në kordë me të cilat nyja e re komunikon. Me anë të koeficentëve *Cord_interval* dhe *Virtual_cord_interval* realizohet shpërndarja e vlerave të poziconeve midis dy skajeve fundore të kordës.
Në rastin kur nyja e re komunikon me nyjen fundore me vlerën minimale që ka pasardhës thamë që nyja e re e merr për vete vlerën minimale dhe për ripozicionimin e nyjes që e kishte këtë vlerë përdoret relacioni 5.8:

$$\text{Pozicioni}(N_i) = \text{Ppasardhës} - \text{Cord_interval} * (\text{Ppasardhës} - \text{Poz_vjetër}(N_i)) \qquad (5.8)$$

Ku nyja N_i është nyja aktuale në kordë fqinjë me nyjen e re dhe ka pasardhës një nyje të ndërmjetme të kordës (për shembull: Pozicioni(N_i) = 0, Ppasardhës = 0.3)

Kur N_i është nyje fundore me vlerën maksimale të kordës dhe ka paraardhës një nyje të ndërmjetme të kordës (për shembull: Pozicioni(N_i) = 1, Pparardhës = 0.7), relacioni 5.8 mund të rishkruhet si:

$$\text{Pozicioni}(N_i) = \text{Pparardhës} - \text{Cord_interval} * (\text{Pparardhës} - \text{Poz_vjetër}(Ni)) \qquad (5.9)$$

Kur një nyje e re N_x komunikon me dy nyje aktuale në kordë që janë fqinje të ndërmjetme N_i dhe N_j, atëherë pozicioni i saj do jetë vlera e mesit midis tyre:

$$\text{Pozicioni}(N_x) = [\text{Pozicioni}(N_i) + \text{Pozicioni}(N_j)]/2 \quad (5.10)$$

Ndërkohë kemi dhe rastin një nyje e re që kërkon ti bashkohet kordës komunikon vetëm me një nyje të ndërmjetme N_p. Në këtë rast krijohet një nyje virtuale sipas formulës 5.11, pozicioni i të cilës do merret si referencë për përcaktimin e pozicionit të nyjes së re.

$$\text{VirtualPosition} = (\text{Ppasardhës}(N_p) - P) \times \text{Virtual_cord_interval} + P \quad (5.11)$$

ku *VirtualPosition* është nyja virtuale që po krijohet, Ppasardhës(N_p) është nyja pasardhëse e N_p si dhe P është vlera e nyjes aktuale N_p.

Meqenëse pasardhësi i N_p nuk njihet nga nyja e re, është nyja N_p që e krijon këtë nyje virtuale për nyjen e re. Koeficienti *Virtual_cord_interval* zgjidhet në mënyrë të tillë që të jetë sa më pranë vlera e nyjes virtuale me nyjen N_p, në mënyrë që nyja e re ta konsiderojë si fqinje dhe kështu mbi bazën e formulës 5.10, nyja e re merr vlerën e ndërmjetme midis N_p dhe vlerës *VirtualPosition*.

5.3.4. Llogaritja e gjatësisë mesatare të rrugëve në skemën e propozuar

Në rastin e skemës me transmetim *multihop* mund të llogaritet gjatësia mesatare e rrugëve, l_{mes}. Kjo gjatësi mesatare varet nga numri *n* i nyjeve që përbëjnë rrjetin. Llogaritjet e mëposhtme vlejnë për një rrjet ku nyjet shpërndahen në formën e një grile brenda një zone drejtkëndëshe. Gjatësia maksimale e rrugës l_{max} ndodh kur kemi rrugëzim midis dy skajeve. Për thjeshtësi në një rrjet me një nyje l_{max} është 0, për 4 nyje është 2, për 9 nyje është 4 e kështu me radhë. Ndaj duke përdorur rekursivitetin l_{max} llogaritet nga ekuacioni 5.12.

$$l_{max} = 2\sqrt{n} - 2 \quad (5.12)$$

Numri minimal i hopeve l_{min} është zero dhe i takon rastit kur nyja i dërgon mesazh vetes. Grila e formuar nga shpërndarja e nyjeve është simetrike dhe kjo do të thotë që numri i nyjeve që kanë l_{max} është i njëjtë me ato që kanë l_{min}. Po kështu numri i nyjeve që kanë l_{max-1} është i njëjtë me numrin e nyjeve që kanë l_{min+1}. Kështu gjatësia mesatare e rrugëve l_{mes} llogaritet me ekuacionin 5.13.

$$l_{mes} = \frac{l_{max} + l_{min}}{2} = \sqrt{n} - 1 \quad (5.13)$$

Për shembull në rastin e 81 nyjeve që është marrë në modelin e rrjetit sipas VCP, l_{mes}=8 dhe l_{max} = 16. Ndërsa në skemën e propozuar ku VCP funksionon mbi 9 nyje të rrjetit do të kemi l_{mes}=2 dhe l_{max} = 4.

5.4. Përmbledhje

Objektivi kryesor i punimit është përmirësimi i skemave të rrugëzimit me qëllim reduktimin e trafikut të të dhënave. Për realizimin e këtij objektivi punimi ka kaluar në disa hapa.

- *Hapi i parë* është: analizimi dhe implementimi i VCP, i cili mundëson menaxhim efikas të dhënash.
- *Hapi i dytë* është propozimi dhe implementimi i algoritmi CS, i cili shërben për organizimin e rrjetit në clustera.
- Dhe së fundmi *hapi i tretë* është integrimi i VCP me CS, duke krijuar një skemë hibride që sjell rrugëzimin me menaxhimin efikas të dhënash në nivelin e nyjeve lider të clusterave.

Sipas protokollit LEACH, në çdo raund, duhet të zgjidhet një nyje e re lider dhe për pasojë nevojitet një formim i ri grupimi. Kjo sjell një ngarkesë të panevojshme në rrugëzim dhe si rezultat një përdorim të tepruar të energjisë. Algoritmi i propozuar CS synon kapërcimin e këtij problemi, përmes stabilizimit të procesit të zgjedhjes së nyjeve lider duke i bërë ato statike. Ai është një version i ri clusterizimi ku eliminohet rotacioni i nyjeve lider, duke i paracaktuar ato si fikse që në fillim. Për të shmangur përfundimin e shpejtë të rezervës energjitike nyjet lider projektohen me një energji fillestare disa herë më të madhe se sa ajo e nyjeve jo lider.

Duke përdorur shpërndarjen e paraprogramuar të nyjeve, duke futur formimin e grupimeve statike dhe përdorimin e nyjve me nivele energjie të ndryshme për të rritur efikasitetin energjitik, kemi përshtatur metodën LEACH për aplikime në rrjetat statike të monitorimit mjedisor. Por problemi i degradimit të performancës për rrjeta e mëdha qëndron edhe tek algoritmi i ri, duke qenë se është derivat i LEACH. Ndaj shtimi i modulit VCP në bllokdiagramën kryesore të algoritmit CS e përmirëson situatën. Ky modul zgjeron aplikimin e kësaj metode në rrjetat e mëdha sepse realizon një rrugëzim efikas *multihop* midis nyjeve CH, duke i konsideruar si nyje P2P. Rrugëzimi *greedy forwarding* sipas adresave relative të nyjeve lidhur në një kordë virtuale i plotëson më së miri kushtet për të qenë një metodë efikase për menaxhimin e të dhënave në rrjetat e mëdha WSN duke e integruar me teknikën *clustering*. Skema e integruar konsiston në vendosjen e një korde virtuale e cila lidh nyjet CH përmes koordinatave virtuale. Moduli VCP është transparent për nyjet e thjeshta anëtare.

Gjithashtu gjatë implementimit të skemës së propozuar u hetuan disa probleme në lidhje me modulin VCP dhe u propozuan disa përmirësime si marrja në konsideratë e parametrit RSSI për ndërtimin e kordës dhe përdorimi i timerave rastësor për dërgimin e mesazheve *hello* me qëllim zvoglimin e kongjestionit. Në këtë kapitull jepen gjithashtu dhe disa nga modelet dhe relacionet matematikore që përdoren në skemën e propozuar si për shembull: për realizimin e çelësave të të dhënave, për përcaktimin e pozicioneve relative për nyjet lider, relacioni për timerin rastësor dhe modeli i llogaritjes së gjatësisë mesatare të rrugëve midis nyjeve lider.

KAPITULLI 6

SIMULIME DHE VLERËSIME

Në këtë kapitull jepen modelet e rrjetit të simuluar në Castalia për të implementuar skemën e propozuar. Më pas është testuar algoritmi *cluster* statik për të bërë vlerësimin e performancës së tij, për madhësi të ndryshme të rrjetit dhe për forma të ndryshme të zonës së ndijimit. Algoritmi CS është krahasuar me algoritmin LEACH, për parametra të ndryshëm si jetëgjatësia, humbja e paketave, interferencat midis grupimeve. Gjithashtu janë realizuar dhe simulime për të vrojtuar ndikimin që ka pozicioni i stacionit bazë në jetëgjatësinë e rrjetit dhe efektin që ka forma e zonës së studimit në performancën e rrjetit për të dy algoritmet e përdorura. Rezultatet e simulimeve kanë treguar se clusterizimi i rrjetit ka performancën e nevojshme për të implementuar rrugëzimin *virtual cord* në të.
Simulimet e tjera lidhen me shtimin e modulit VCP në rrjetin e ndërtuar sipas algoritmit CS, ku shikohet perfomanca e skemës me përmirësimet e propozuara në Kapitullin 5.

6.1. Simulimi i rrjetit në Castalia

Për të vënë në jetë një eksperiment për qëllime shkencore, shpesh nuk është e mundur dhe efikase realizimi real i eksperimentit pasi kjo do të kërkonte tepër kohë. Për të zgjidhur këtë problem, në fushën e rrjetave pa tel, janë projektuar shumë simulatorë që mund të ndihmojnë në zhvillimin e eksperimenteve për qëllimet e çdo përdoruesi. Një ndër këto simulatorë, të cilin kemi zgjedhur për të realizuar eksperimentet tona, është Castalia. Castalia është një simulator për rrjetat që janë të përbëra nga elementë që kërkojnë pak energji për të punuar. Përdoret gjerësisht në rrjetat pa tel me sensorë. Bazohet mbi platformën OMNeT++ dhe përdoret për testim të algoritmeve dhe protokolleve, në modele reale të radios dhe të kanalit *wireless*, me një sjellje reale nyjesh veçanërisht në lidhje me aksesin e radios. Castalia mund të përdoret gjithashtu për të vlerësuar karakteristikat e ndryshme të platformës për aplikacione specifike, pasi ajo është shumë parametrike dhe mund të simulojnë një gamë të gjerë të platformave. Modulariteti, besueshmëria dhe shpejtësia e Castalias sigurohen pjesërisht nga framework-et e OMNeT++-it. OMNeT++ është një framework dhe një librari simulimi e zgjeruar, modulare, me komponente të bazuar në gjuhën e programimit C++, kryesisht për të ndërtuar simulatorë rrjeti të komunikimeve me dhe pa tel.

6.1.1. Struktura e simulatorit

Ashtu si në OMNET++ edhe në Castalia punohet me module. Moduli bazë i Castalias paraqitet në Fig. 6.1. Ai përbëhet nga tre shtresa logjike:

1. Kanali *wireless* me anë të të cilit transmetojnë nyjet;
2. Nyjet (që mund të jenë sensorë që komunikojnë nëpërmjet kanalit *wireless*);

3. Procesi fizik i cili po matet (për shembull: lagështia në një mjedis apo temperatura në një faqe mali, etj).

Në një organizim të tillë nyjet nuk komunikojnë drejt për së drejti me njëra-tjetrën por lidhen nëpërmjet kanalit *wireless*. Në këtë mënyrë shkëmbehen paketat midis nyjeve. Kur një nyje ka për të dërguar një paketë te një nyje tjetër ajo e kalon atë nëpërmjet kanalit *wireless* siç edhe tregohet nga drejtimi i shigjetave. Një nyje ashtu siç mund të dërgojë mund edhe të marrë paketa. Njëkohësisht mund të egzistojnë shumë procese fizike. Kjo e bën projektimin e një nyjeje akoma më komplekse. Pasi tanimë nyjes do ti duhet të ketë një sërë modalitetesh aq sa janë procese fizike dhe do ti duhet të përkthejë në të dhëna sensor informacionet e fituara për çdo proces fizik. Moduli i nyjes trajtohet me detaje në paragrafin që vijon. Struktura në Fig. 6.1 implementohet në Castalia me ndihmën e gjuhës NED të OMNeT++. Nëpërmjet saj përcaktohen moduli, emri, parametrat dhe ndërfaqja e modulit.

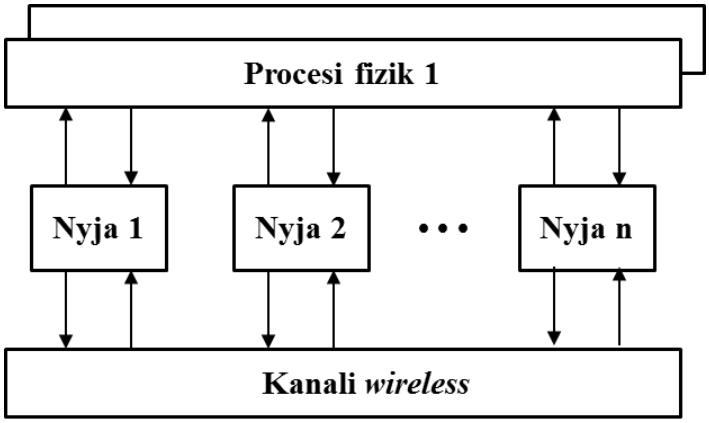

Figura 6.1 Rrjeti i ngritur mbi Castalia

6.1.2. Moduli i nyjes

Moduli i nyjes është modul i përbërë. Figura 6.2 paraqet strukturën e brendshme të përgjithshme të një nyjeje. Shigjetat e vazhduara në skemë tregojnë për transmetime mesazhesh ndërsa shigjetat e ndërprera tregojnë për transmetime funksionesh. Për shembull, shumica e moduleve thërrasin një funksion nga moduli i menaxhimit të burimeve, nëpërmjet të cilit raportojnë shpenzimet energjitike ose informohen mbi gjendjen e baterisë. Moduli i aplikimit është në përgjithësi moduli që ndryshohet më shpesh nga përdoruesit e Castalias, duke qenë se aty implementohet logjika dhe objektivi i rrjetit. Ky modul qëndron në majë të shtresave nga këndvështrimi teorik OSI. Modulet MAC dhe Rrugëzimi janë zakonisht "shënjestra" për zhvillimin e protokolleve të reja ose për modifikimin e protokolleve ekzistuese në simulatorin Castalia. Moduli i lëvizshmërisë së nyjes përcakton një model trajektoreje përgjatë së cilës mund të lëvizë nyja. Zakonisht modulet që vijnë të paketuara me simulatorin ofrojnë shkallë të lartë konfigurueshmërie, por nuk përjashtohet mundësia e shkrimit të moduleve të reja nëse ekzistueset rezultojnë të papërdorshme në lidhje me specifikat e rrjetit që duhet modeluar.

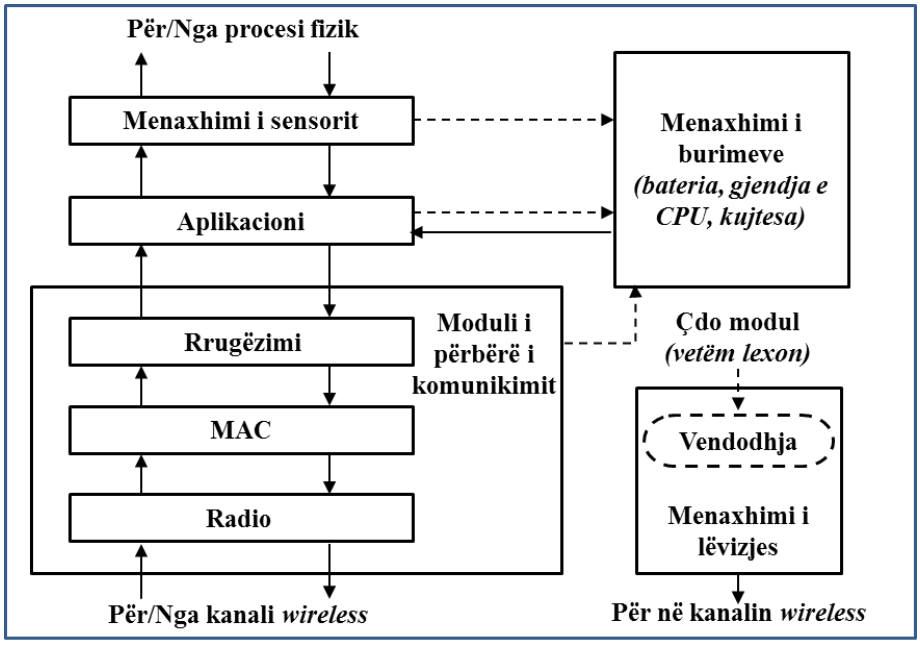

Figura 6.2 Nyja në Castalia

6.1.3. Modelimi i rrjetit cluster

Për të krahasuar metodën e re me LEACH, fillimisht është përcaktuar modeli i rrjetit, që përdoret për të dy algoritmet. Është përdorur një shpërndarje uniforme e nyjeve sipas mënyrës *grid*. Për të demostruar filozofinë e shpërndarjes së nyjeve është marrë si shembull një rrjet me 81 nyje, Fig. 6.3. Nyjet janë vendosur në mënyrë të tillë që të formohen grupime të qëndrueshme me 9 nyje. Kjo është bërë me qëllim rritjen tej mase të probabilitetit që këto grupime të jenë të njëjtë për raunde të ndryshme. Kjo do të thotë që do të kthejmë CH në statike, por me kalimin e çdo raundi nuk eliminohet mundësia e riorganizimit të grupimeve. Kështu që rrjeti është modeluar në mënyrë të tillë që ta zbehë shumë mundësinë e riorganizimit. Theksojmë që me riorganizim të grupimeve nënkuptojmë faktin që nyjet anëtare mund të anëtarësohen në cluster-a të ndryshëm për raunde të ndryshme. Për thjeshtësi janë shqyrtuar modele të thjeshta gjeometrike të shpërndarjes së nyjeve si: katrore, trekëndore dhe rrethore, Fig.6.4. Madhësia e zonës së studimit është marrë 90x90m. Distanca midis nyjeve brenda grupit varion nga 2-5 metra në varësi të eksperimentit që është realizuar, por në modelin e Fig. 6.3, kjo distancë është 5 metra dhe distanca midis grupeve 30 metra. Gjithashtu për të parë sjelljen e algoritmit CS dhe për ta krahasuar me LEACH, është menduar të merren dy raste të vendodhjes së stacionit bazë, përkatësisht në skaj të fushës së ndijimit (Fig. 6.3) dhe në qendër të saj (Fig. 6.4).

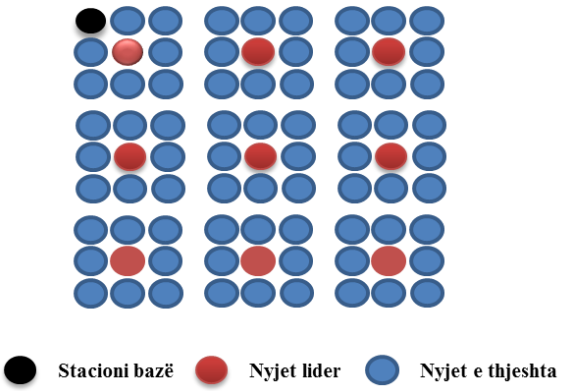

Figura 6.3 Një model rrjeti me 81 nyje i ndarë në 9 grupime

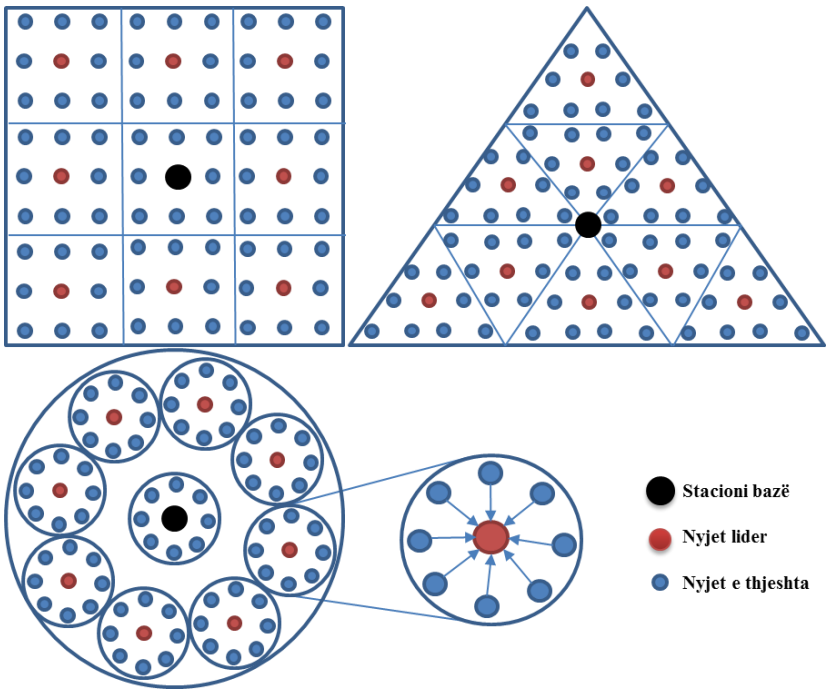

Figura 6.4 Modelimi i WSN në tri forma të ndryshme të zonës së studimit: kuadratike (lart majtas), trekëndore (lart djathtas) dhe rrethore (poshtë)

Krahasimi i formimit të grupimeve sipas dy algoritmeve

Duke marrë në konsideratë faktin se algoritmi LEACH funksionon me raunde, grupimet do të ndryshojnë në varësi të raundit. Në modelin e propozuar të rrjetit, Fig. 6.5, në të cilin është zgjedhur protokolli LEACH për rrugëzim, do të përzgjidhen si CH rreth 5% e numrit të përgjithshëm të nyjeve. Kjo do të thotë se në një rrjet me 81 nyje do të përzgjidhen gjatë çdo raundi një numër i vogël CH që do të variojë nga 3-5 nyje CH. Siç duket në Fig. 6.5 pozicioni i nyjeve lider sipas algoritmit standart në raunde të ndryshme ndryshon, pasi kjo është edhe filozofia e tij që lidhet me rotacionin e nyjeve CH.

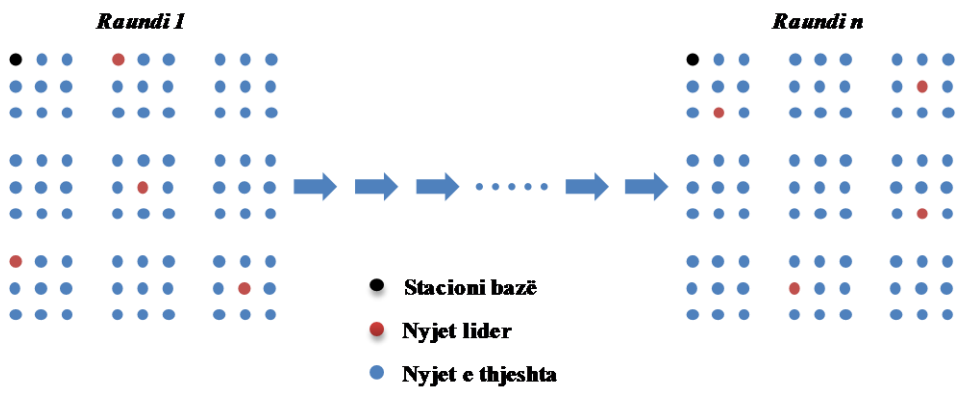

Figura 6.5 Rotacioni i nyjeve CH nëpër raunde sipas algoritmit LEACH

Rrjeti hipotetik që shpjegon edhe sjelljen e algoritmit të ri në lidhje me krijimin e grupimeve dhe shpërdarjen e nyjeve CH është paraqitur në Fig. 6.6. Siç duket edhe nga figura nyjet CH janë të parapërzgjedhura dhe janë fikse pavarësisht ndryshimit të raundeve. Duke qenë se nyjet lider paraprogramohen të jenë fikse atëherë vendosja e tyre në qendër të grupimit dhe mënyra e shpërndarjes uniforme dhe grid, rezulton në një *cluster* të përbërë nga 9 nyje. Kështu për rrjetin me 81 nyje numri i CH të përzgjedhura është 9, një numër që përfaqëson optimalen për konfigurimin katror të clusterit. Për të qenë korrekt e mbajtëm këtë numër edhe për zonën rrethore dhe trekëndore. Numri i CH-ve rreth 10% e numrit total të nyjeve është sa dyfishi i atij të përdorur në LEACH. Duhet theksuar se propozimi nuk sjell kosto shtesë për rritjen e numrit të CH-ve, pasi duke përdorur nyje me energji të ndryshme në varësi të rolit që ato kanë në rrjet, thjesht sasinë e tepërt të energjisë të nyjeve të thjeshta që nuk do jenë asnjëherë lider ia kemi shtuar nyjeve CH qysh në momentin e ngritjes së rrjetit, duke e lënë të paprekur energjinë totale të rrjetit. Me energjinë totale të rrjetit këtu nënkuptojmë energjinë e 81 nyjeve homogjene të përdorur në rrjetin LEACH.

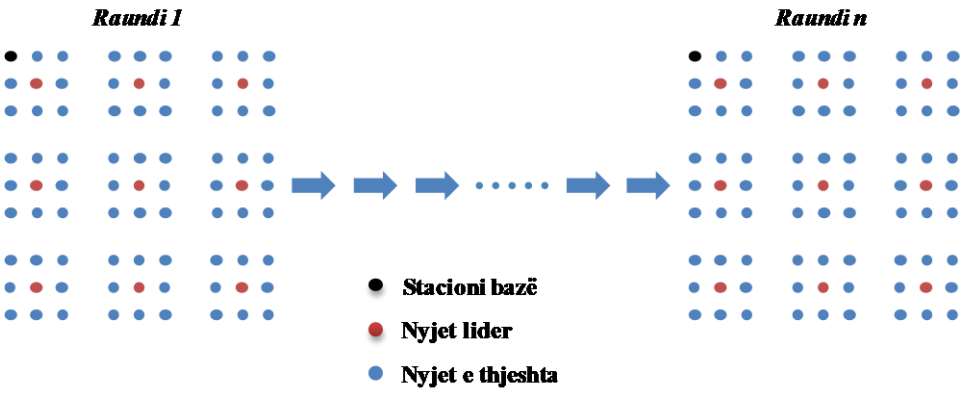

Figura 6.6 Nyje lider të njëjta në raunde të ndryshme me algoritmin e modifikuar

Parametrat e rrjetit të simuluar

Bashkësia e parametrave të rrjetit të përdorur gjatë simulimeve listohen në Tabelën 6.1 për të dy algoritmet LEACH dhe CS. Siç edhe u përmend më parë, për qëllimet e skemës së propozuar ndërtohet një rrjet me *n* nyje me rreth 10%**n* grupime. Energjia e çdo nyjeje

përcaktohet të jetë 18720J. Përmasa e paketave të transmetuara nga nyjet është 9Byte dhe raundi i transmetimit zgjat 10 sekonda. Kjo do të thotë se kemi ndryshuar metodën përzgjedhëse të CH-ve por jo konceptin e raundeve pasi ai është i rëndësishëm për skedulimin e nyjeve anëtare të një grupimi.

Tabela 6.1 Parametrat e rrjetit

Parametrat e rrjetit	***Algoritmi LEACH***	***Algoritmi CS***
Madhësia e rrjetit	18, 81, 162 nyje	18, 81, 162 nyje
Numri i nyjeve lider	5% e nyjeve totale	10% e nyjeve totale
Numri i nyjeve brenda grupimit	i ndryshueshëm	9 nyje
Koha e simulimit	300 sekonda	300 sekonda
Diametri i zonës së ndijimit	90 metra	90 metra
Madhësia e paketës	9 byte	9 byte
Rotacioni i nyjeve lider	Po	Jo
Numri i raundeve	30	30
Energjia fillestare e nyjeve	18720J	Dy nivele: 15745.79J për nyjet e thjeshta dhe 42513.68J për CH

6.1.4. Modelimi i rrjetit për skemën e integruar të propozuar

Nga shembulli i rrjetit në Fig. 5.4, që u trajtua në 5.2.1 kalojmë në një model konkret të rrjetit që kemi simuluar, tashmë duke shkrirë bashkë të dy teknikat, organizimin e grupimeve sipas algoritmit CS dhe implementimi i kordës virtuale tek nyjet lider. Për këtë kemi marrë modelin kuadratik me të njëjtat karakteristika si ai i paraqitur në Fig. 6.4, duke i shtuar karakteristika të reja si për shembull pozicionet relative të nyjeve lider në kordë (shiko Fig. 6.7). Rrezja e komunikimit e nyjes lider është minimalisht e tillë që të mund të komunikojë me të paktën dy nyje të tjera CH. Rrezja e komunikimit e nyjeve të thjeshta është sa ajo që përdoret dhe në CS, domethënë sa distanca e tyre me nyjen lider.

Një detaj që duhet përmendur, është fakti se në Fig. 6.7, nuk paraqitet nyja e 82-të e rrjetit, nyja *sink*. Në fakt nyja *sink* nuk operon sipas parimeve të protokollit VCP. Të gjitha paketat sinjalizuese që vijnë drejt sink-ut, bëhen drop automatikisht. Në rrjetat WSN "tradicionale" nyja *sink* luan rol të rëndësishëm pasi shërben si pika e grumbullimit e të gjitha të dhënavë që mblidhen nga sensorët e nyjeve. Në rastin e VCP, të dhënat nuk grumbullohen në një pikë të caktuar, por barra e ruajtjes shpërndahet ndërmjet të gjitha nyjeve pjesëmarrëse. Në këtë kontekst, nyjen *sink* mund ta imagjinojmë thjesht si një *gateway* me "botën" jashtë rrjetit VCP, ose si një stacion bazë nga ku mund të drejtohen *query* drejt rrjetit për leximin e të dhënave të mbledhura nga nyjet aktive në kordën virtuale. Në modelin e përdorur të rrjetit, megjithëse nuk është paraqitur në figurë, nyja *sink* që në rastin tonë do jetë një BS, është e vendosur shumë pranë nyjes N5, pra në qendër të rrjetit.

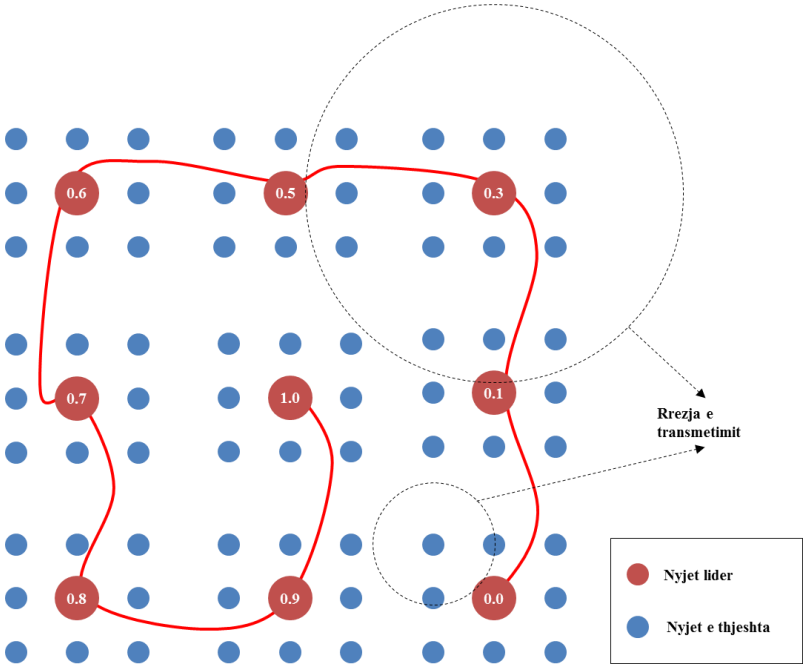

Figura 6.7 Ndërtimi i rrjetit duke integruar VCP me CS

6.2. Performanca e algoritmit CS

Performancën e algoritmit CS e kemi krahasuar me LEACH për faktin se të gjitha supozimet e bëra mbi rrjetin LEACH qëndrojnë edhe këtu, përveç homogjenitetit të nyjeve. Në CS përdoren 2 nivele nyjesh me kapacitete të ndryshme burimore por sigurisht duke mos ndryshuar koston totale që do jetë e njëjtë për të dyja rrjetat. Nyjet e thjeshta që përbëjnë 90 % të rrjetit merren me energji më të vogël se ajo që përdoret në LEACH, dhe nyjet lider me më shumë energji. Këtë e kemi bërë që të mos preket performanca energjitike që ka organizimi i rrjetit në clustera statik.

6.2.1. Përcaktimi i nyjeve heterogjene

Në mënyrë që energjitë fillestare të dy tipeve të nyjeve të mos merren apriori kemi kryer një simulim të rrjetit ku kemi marrë nyjet në CS homogjene si në LEACH. E kemi vrojtuar sjelljen e CS për dy shpërndarje të rrjetit: random dhe uniform.

Për shpërndarjen random të nyjeve

Për përcaktimin e niveleve fillestare të energjisë kemi kryer një simulim të rrjetit me shpërndarje random në një zonë kuadratike ku fillimisht i kemi marrë nyjet në CS homogjene. Duke qënë se nyjet lider nuk ndryshojnë kemi parë se sa herë më shumë shpenzon energji nyja CH kundrejt nyjeve të thjeshta në Fig. 6.8. Kemi studiuar rastin më të keq: nyja lider dhe nyja e thjeshtë që kanë shpenzuar më shumë. Ky raport konvergjon në një mesatare të 100 simulimeve, rezultat të cilin e kemi patur parasysh kur marrim 2 nivelet e nyjeve CS. Përdorimi i këtyre 2 niveleve siç shikohet në Fig. 6.9 ka rritur dukshëm jetëgjatësinë e rrjetit, edhe kundrejt LEACH. Parametrat e rrjetit të përdorur në këtë simulim kanë qenë: 81 nyje,

madhësia e paketës 1 Byte, energjia fillestare e nyjeve homogjene 1,872J dhe dy nivelet e energjisë për nyjet heterogjene: 1.6997J për nyjet e thjeshta dhe 2.9575J për nyjet lider. Pozicioni i nyjes BS është marrë në qendër të rrjetit. Formula që përcakton këtë raport të energjive jepet në vijim tek rasti i shpërndarjes uniforme, meqenëse është dhe rasti më i përdorur në simulimet tona.

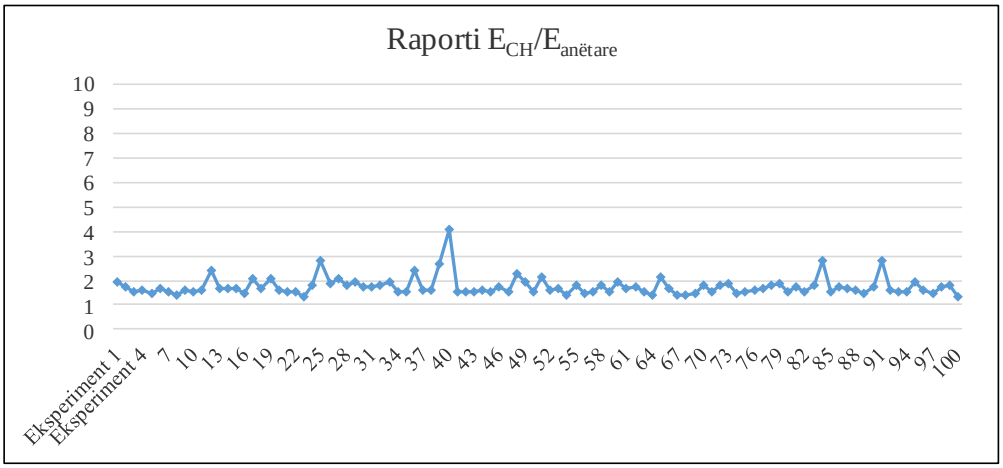

Figura 6.8 Raporti i shpenzimit të energjisë së nyjes lider kundrejt asaj të nyjes së thjeshtë

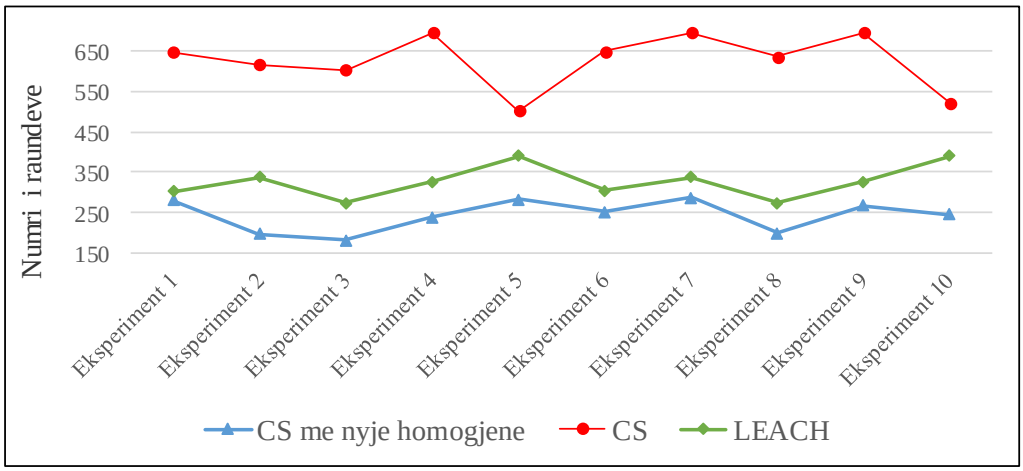

Figura 6.9 Jetëgjatësia e algoritmit CS e matur në raunde

Për shpërndarjen uniforme

Rastin e mësipërm e kemi përsëritur për shpërndarje të nyjeve në mënyrë uniforme sipas modelit grid, duke qenë se për thjeshtësi implementimi ky do jetë dhe modeli i përdorur në vijim për skemën e propozuar. Parametrat e rrjetit në këtë rast do jenë sipas Tabelës 6.1. Janë marrë tre raste të ndryshme të madhësisë së rrjetit, një rrjet i vogël me 18 nyje, një rrjet i mesëm me 81 nyje dhe një rrjet relativisht i madh me 162 nyje. Nyjet shpërndahen sipas modelit të rrjetit të përcaktuar në Fig. 6.3. Jetëgjatësia rrjetit është përcaktuar duke u bazuar në energjinë e shpenzuar dhe energjinë e mbetur të nyjeve CH. Nyja që vdes e para është përcaktuese për jetëgjatësinë. Rezultatet tregohen në Fig. 6.10. Siç shihet, algoritmi CS me

nyje homogjene nuk sjell përmirësime krahasuar me LEACH. Jetëgjatësia e rrjetit ka pësuar një përkeqësim në momentin që kemi zëvëndësuar rotacionin me CH statike. Në fakt ky është një rezultat i pritshëm pasi qëllimi i rotacionit është pikërisht shpërndarja e shpenzimit të energjisë ndër nyje duke rritur jetëgjatësinë e rrjetit. Nyjet lider në algoritmin CS shpenzojnë më shumë energji, sepse nuk bëjnë rotacion.

Pra rezultatet këtij simulimi eksperimental me një organizim energjitik fillestar të njëjtë për të gjitha nyjet tregojnë se pezullimi i rotacionit shkurton jetëgjatësinë e rrjetit, pra nuk është i mjaftueshëm për të na dhënë një algoritëm të përmirësuar. Por nga ky rast marrim një të dhënë të rëndësishme për algoritmin e propozuar CS, e cila ka lidhje me shpenzimin e energjisë së një CH-je kundrejt nyjeve të thjeshta. Rezultatet e simulimit përcaktuan për të tre rrjetat (me përmasë: 18, 81, 162) se nyjet CH shpenzojnë 2,7 herë më tepër energji se sa nyjet jo CH. Kjo do të thotë se kur nyjet lider mbeten pa energji, nyjet jo lider kanë një sasi të konsiderueshme energjie që nuk përdoret.

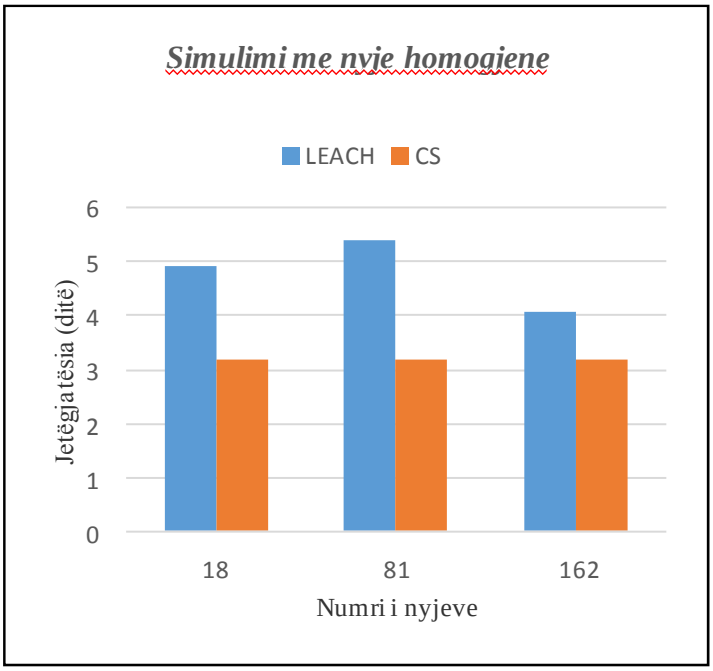

Figura 6.10 Jetëgjatësia e rrjetit sipas CS me nyje homogjene

Ideja e propozimit tonë ishte kalimi i kësaj energjie të mbetur tek nyjet lider. Pra për eksperimentet në vazhdim energjia fillestare e nyjeve lider do të jetë më e madhe se e nyjeve të thjeshta. Energjia shtesë do ti zbritet nyjeve anëtare të grupimit pa e ndryshuar kështu koston totale energjitike të rrjetit. Sasia e energjisë që zhvendoset midis dy llojeve të nyjeve përcaktohet nga:

$$18720\ J * N = A * 2.7 * X + B * X \qquad (6.1)$$

Ku: N është numri total i nyjeve, A është numri i nyjeve lider, B është numri i nyjeve anëtare dhe X është vlera e re e energjisë së nyjeve anëtare.

Duke zgjidhur ekuacionin (6.1) i cili bazohet në simulimet me nyje homogjene, përcaktohen vlerat fillestare energjitike të nyjeve përkatësisht 15745.79J për nyjet anëtare dhe 42513.68J për nyjet lider. Këto rezultate shërbejnë për të mbërritur në formën finale të algoritmit të propozuar CS. Theksojmë se faktori 2.7 është rezultat simulimesh dhe varet nga skenari i rrjetit të përzgjedhur. Ky rezultat shërben si referencë për përcaktimin jo apriori të niveleve energjitike për nyjet heterogjene.

6.2.2. Vlerësimi i performancës së CS kundrejt LEACH

Në këtë paragraf testohet sërish algoritmi i propozuar CS në kushtet e reja të rrjetit, në të cilat nyjet mbajnë energji të ndryshme në varësi të rolit që kanë në rrjet. Performanca e tij vlerësohet në lidhje me tre parametra: jetëgjatësia, humbjet e paketave dhe interferencat ndërmjet grupimeve. Rrjeti me algoritmin e ri përmban nyje me dy nivele energjie të llogaritura pas kryerjes së simulimeve me nyjet homogjene. Modeli i rrjetit do vazhdojë të jetë i njëjti me shpërndarje të rregullt të nyjeve në formë kuadratike dhe me pozicion të stacionit bazë në skaj të fushës së ndijimit.

6.2.2.1. Krahasimi i jetëgjatësisë

Jetëgjatësia e rrjetit është përcaktuar si varësi e nyjes që vdes e para në rrjetin që kemi përdorur. Për përcaktimin e energjisë së nyjeve janë përdorur rezultatet e marra nga simulimi me nyjet homogjene. Rezultatet paraqiten grafikisht në Fig. 6.11, ku duket qartë diferenca midis LEACH dhe CS. Kështu rezulton se jetëgjatësia e rrjetit që përdor algoritmin CS është 7.23 ditë krahasuar me jetëgjatësinë 3.18 ditë të simulimit parardhës. Ndryshimi i rezervës energjitike funksionoi më së miri, pasi siç shikohet për tre madhësi të ndryshme rrjeti algoritmi i propozuar performon më mirë sesa LEACH.

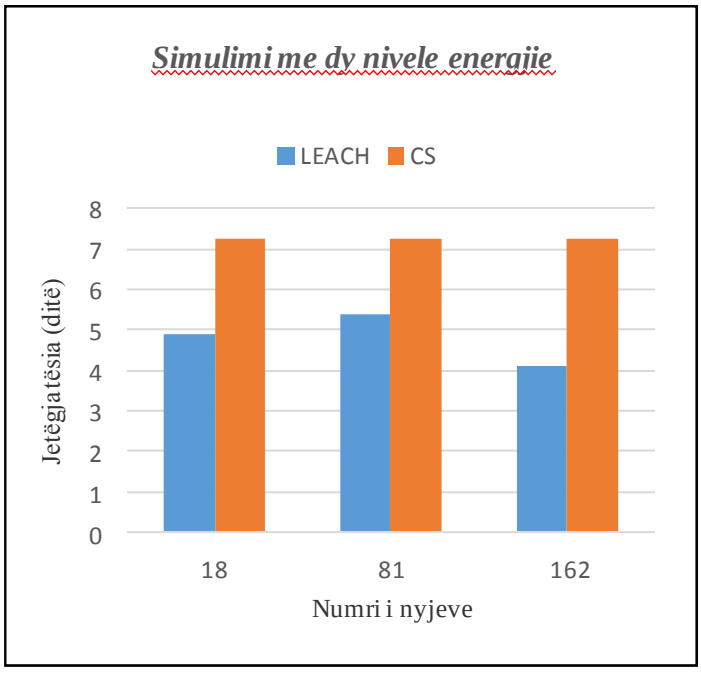

Figura 6.11 Jetëgjatësia e rrjetit sipas CS me 2 nivele energjie të nyjeve

Arsyeja pse jetëgjatësia është një vlerë pak a shumë konstante pavarësisht rritjes së përmasës së rrjetit lidhet me faktin se nyjet CH menaxhojnë numër të njëjtë anëtarësh në çdo rast. Nëse në LEACH madhësia e grupimeve varion nga raundi në raund dhe brenda raundit nga grupi në grup, tek CS grupet janë të qëndrueshme, pothuajse fikse meqenëse CH janë statike.

6.2.2.2. Krahasimi i sasisë së paketave të humbura

Parametri i dytë që është krahasuar për dy algoritmat është numri i paketave të humbura në lidhje me numrin e përgjithshëm të paketave që dërgohen. Rezultatet e marra nga simulimet për të tre rrjetat me përmasë të ndryshme dhe për të dyja algoritmet jepen në Fig. 6.12. Modifikimi ynë ndikon pozitivisht në humbjen e paketave në rrjet. Duke patur më shumë nyje CH, distanca e komunikimit me stacionin bazë zvogëlohet dhe nëse distanca është më e vogël më shumë paketa do të dërgohen me sukses në destinacion. Gjithashtu bazuar në rezultatet, shikohet prirja në rritje e paketave të humbura me rritjen e madhësisë së rrjetit. Nëse madhësia e rrjetit rritet më shumë grupime do të formohen dhe më shumë nyje lider do jenë larg stacionit bazë, prandaj më shumë paketa do humbasin. Në rrjetat e mëdha të dy algoritmat kanë një sasi të madhe ngarkese për shkak të rritjes së numrit të grupimeve që duhen organizuar, që është e vështirë të menaxhohet.

Vlen të theksohen dy konsiderata në lidhje me interpretimin e vlerave të humbjes së paketave. Së pari vlerat e raportit të humbjeve janë një numër tepër i madh që gati shkon drejt vlerës maksimale 1 që nënkupton se humbjet janë 100%. Kjo ndodh pasi simulatori Castalia në momentin e llogaritjes së frekuencës së humbjeve e cila observohet midis CH dhe BS, merr parasysh edhe paketat që dërgohen midis nyjeve dhe CH koresponduese të grupimit. Ky kalim llogaritet me frekuencë humbjeje 1 nga simulatori pasi këto nyje dërgojnë paketa por jo në mënyrë të drejtpërdrejtë tek stacioni bazë.

Së dyti, vlerat e raportit të humbjeve janë lehtësisht më të ulta kur përdoret algoritmi ynë i propozuar. Kjo ndodh pasi, duke pasur më tepër CH, mesatarja e raportit të humbjeve do të ulet lehtësisht si pasojë e kontributit të më tepër CH-ve në krahasim me algoritmin standart.

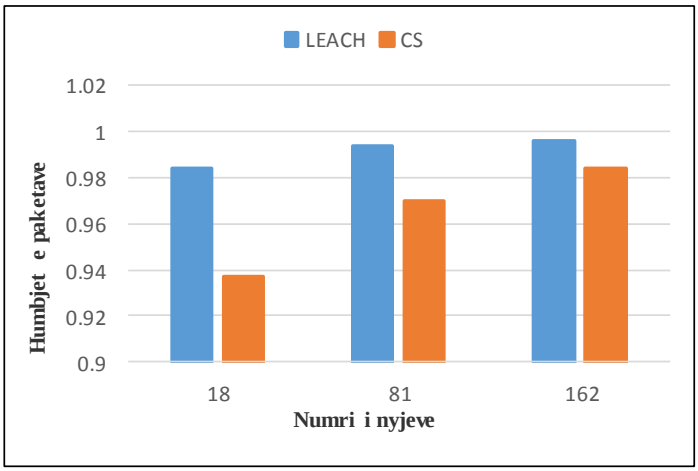

Figura 6.12 Humbjet e paketave për tre madhësi të ndryshme rrjeti

6.2.2.3. Krahasimi i interferencave

Castalia ofron suport për të përllogaritur interferencën e sinjaleve që transmetohen midis nyjeve gjatë vendosjes së lidhjes së grupimeve ose gjatë sinjalizimit të rolit CH.
Nga rezultatet e marra nga simulimi për interferencën, në Fig. 6.13, shihet qartë një rritje e vogël e interferencës midis sinjaleve që dërgojnë nyjet tek algoritmi CS. Arsyeja pse ndodh kjo lidhet me konceptin e sinjalizimeve në protokollin LEACH. Nyjet CH janë gjatë pjesës më të madhe të kohës në gjendjen RX, që do të thotë se janë në pritje të sinjaleve nga nyjet të cilat duan të bëhen pjesë e grupimit të tyre. Nga ana tjetër nyjet anëtare janë në pjesën më të madhe të kohës në gjendje të fjetur, që do të thotë se nuk marrin dhe nuk dërgojnë sinjale. Kjo do të thotë se sa më shumë CH të ketë rrjeti, aq më tepër sinjale do të interferojnë me njëri tjetrin. Prandaj shpjegohet dhe diferenca në nivelet e interferencave midis rrjetit që përdor LEACH dhe rrjetit që përdor algoritmin CS. Ky problem menaxhohet duke ndryshuar madhësinë e grupimit, që sjell automatikisht uljen e numrit total të grupimeve në rrjet. Rimodelimi i grupimit do të sjellë dhe modifikimin e niveleve të rezervës energjitike të nyjeve sipas formulës 6.1, por sigurisht jo më duke përdorur faktorin 2.7, por një faktor tjetër *k* që do të varet nga numri i nyjeve në një grupim. Mund të jetë në një nga objektivat e punës në të ardhmen zbulimi i funksionit të varësisë së këtij faktori nga numri i nyjeve të grupimit dhe në përgjithësi nga skenari i rrjetit.

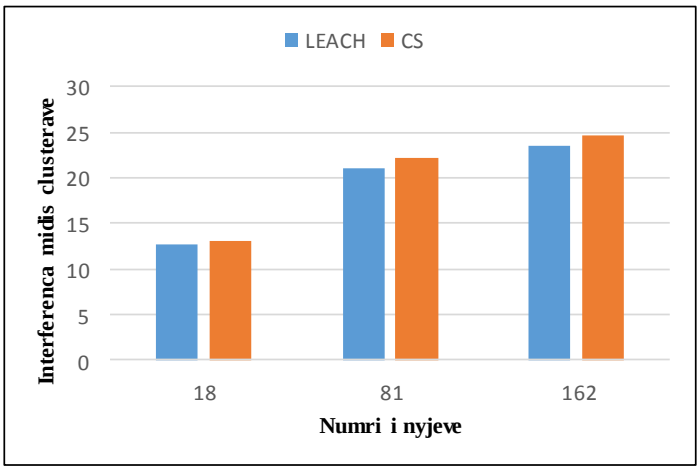

Figura 6.13 Paraqitja e interferences midis nyjeve

6.2.3. Ndikimi i pozicionit të nyjes BS

Me anë të simulimeve të ndryshme provohet se përmirësimet e algoritmit tonë CS në jetëgjatësi kundrejt algoritmit klasik do të mbeten dhe për rastin kur e ndryshojmë pozicionin e nyjes BS nga skaji në qendër. Përveç kësaj kemi hetuar edhe për efekte të tjera që sjell ndryshimi i pozicionit të BS. Të gjitha simulimet në këtë paragraf përdorin madhësinë e rrjetit në 81 nyje. Modeli i rrjetit për të dy rastet e pozicionimit të stacionit bazë pas formimit të grupimeve në algoritmin e propozuar tregohet në Fig. 6.14.

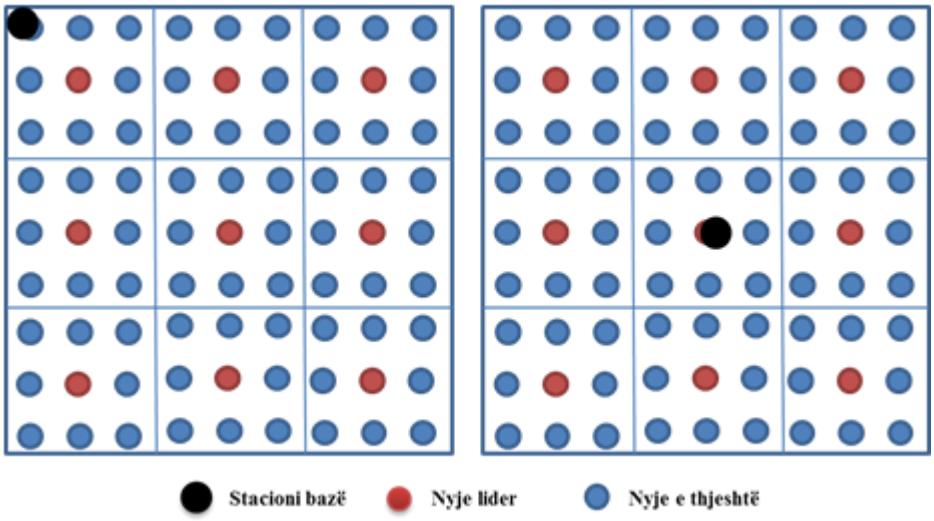

Figura 6.14 Stacioni bazë: në skaj të zonës (majtas) dhe në qendër të zonës (djathtas)

Rezultatet e simulimit paraqiten në Fig. 6.15. Sikurse duket për skenarin e përzgjedhur algoritmi CS është më efikas sesa algoritmi standart edhe në rastin kur pozicioni i stacionit bazë ndryshon nga skaji në qendër të zonës së studimit. Madje diferenca midis dy skemave është pak më e madhe në pozicionimin në qendër të stacionit bazë. Kjo diferencë vjen pasi LEACH përdor rotacionin e nyjeve CH dhe distanca e tyre me nyjen BS ndryshon vazhdimisht, ndaj pozicioni i BS do ketë pak ndikim në energjinë që konsumohet.
Ky ndikim është pak më i madh tek algoritmi CS pasi nyjet CH janë të fiksuara dhe distanca e tyre me BS është konstante. Kur nyja BS vendoset në qendër merret një shpërndarje më e mirë e distancave midis nyjes BS dhe nyjeve CH. Gjithsesi vendosja e nyjes BS në qendër duket një zgjidhje më e mirë për të dy algoritmet në këtë model rrjeti. Ndërsa për humbjet e paketave vrojtohet një ndikim i madh nga ndryshimi i pozicionit të BS. Për të njëjtin skenar të mësipërm të aplikuar vetëm tek rasti i algoritmit CS në Fig. 6.16 shikohet një ulje e ndjeshme e këtij parametri kur stacioni bazë vihet në qendër, sepse siç e thamë për grupime fikse distanca mesatare nga BS shkurtohet.

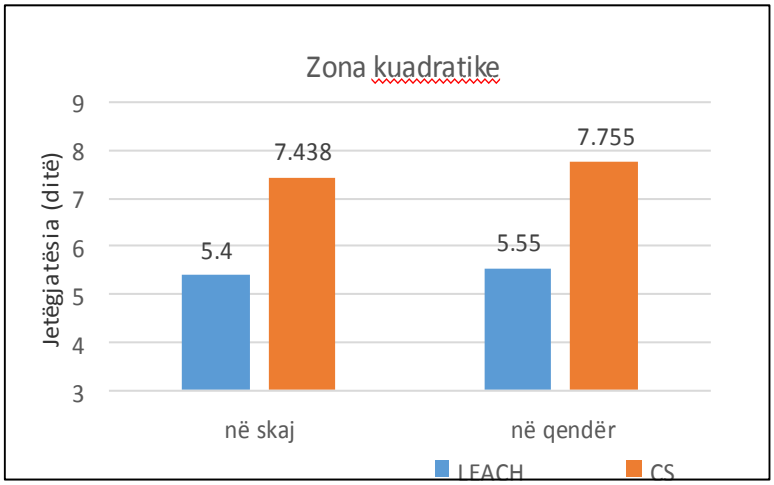

Figura 6.15 Jetëgjatësia e llogaritur për dy pozicione të ndryshme të nyjes BS

6.2.4. Studimi i efektit të formave të ndryshme të zonës së ndijimit

Për të parë efektin që ka forma e zonës së studimit në algoritmin CS, janë kryer eksperimentet për tri forma të fushës së ndijimit, përkatësisht: kuadratike, trekëndore dhe rrethore dhe për dy pozicionet e nyjes BS në çdo rast.

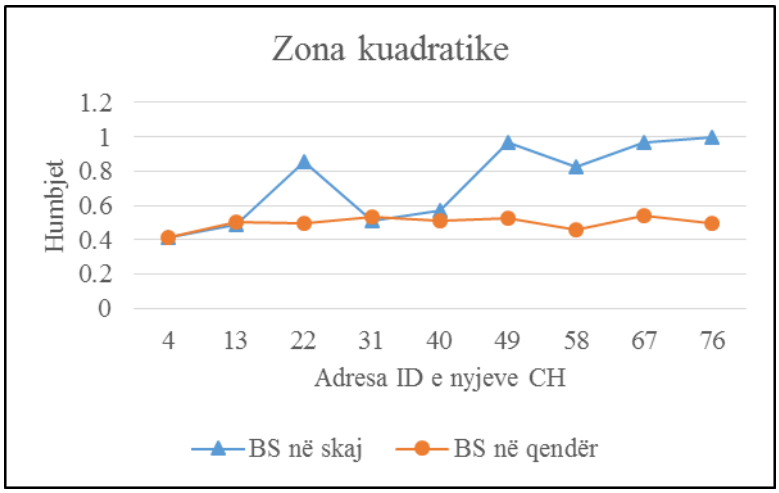

Figura 6.16 Raporti i humbjeve të paketave tek nyjet CH në zonën kuadratike

Figura 6.16 siç e thamë në çështjen parardhëse tregon se raporti i humbjes së paketave ulet në mënyrë të ndjeshme kur stacioni bazë vihet në qendër të zonës kuadratike. Kjo vjen sepse distanca mesatare midis nyjeve CH dhe BS shkurtohet. E njëjta gjë vërehet edhe në rastin trekëndor (Fig. 6.17), por jo kaq e theksuar. Në rastin e zonës rrethore (Fig. 6.18) raporti i humbjeve të paketave nuk tregon ndonjë sjellje shumë të ndryshme kur pozicioni i nyjes BS ndryshon. Kjo shpjegohet me faktin se rrethi është një formë optimale saqë pozicioni i BS në qendër apo në perimetrin e tij nuk e ndryshon shumë distancën maksimale të BS me nyjet CH.

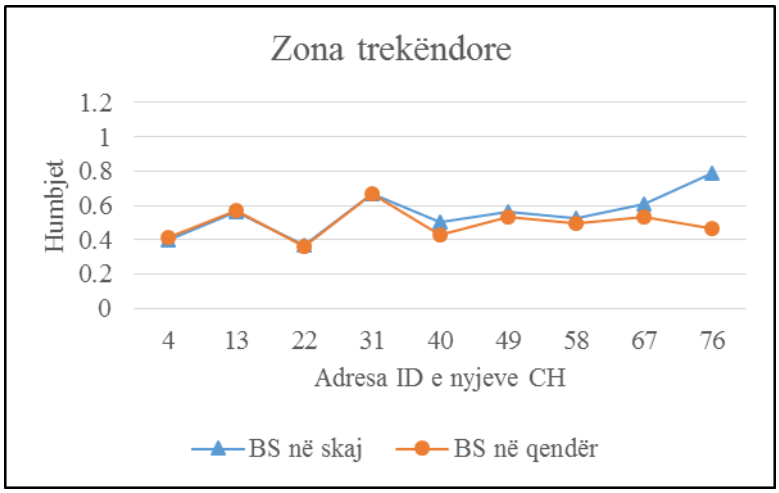

Figura 6.17 Raporti i humbjeve të paketave tek nyjet CH në zonën trekëndore

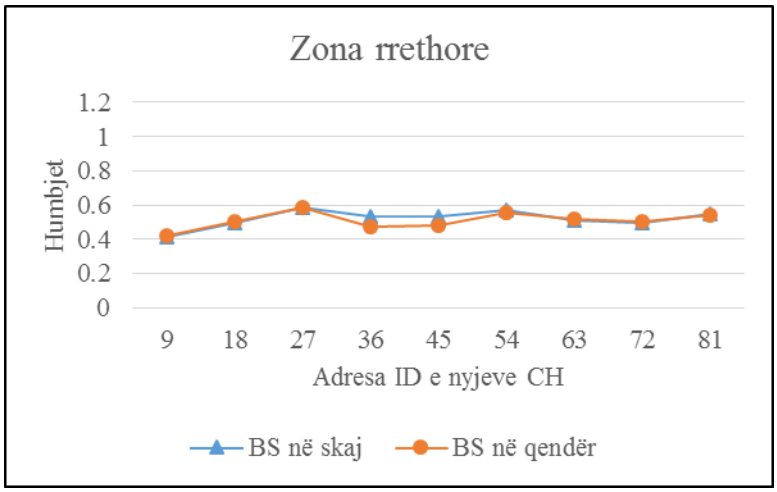

Figura 6.18 Raporti i humbjeve të paketave tek nyjet CH në zonën rrethore

Distanca maksimale midis CH dhe BS është diametri i rrethit dhe në rastin e fushës që është përdorur në simulim Dmaks_rreth = 90 m. Në rastin kuadratik distanca maksimale mund të jetë diagonalja e katrorit. Nëse thjesht zbatojmë teoremën e Pitagorës, Dmaks_katror = 126 m, që është më e madhe se ajo e rrethit, domethënë nyjet CH kanë më shumë mundësi për të qenë larg BS, prandaj diferenca e raportit të humbjeve është më evidente në rastin e zonës kudratike. Në rastin e zonës trekëndore Dmaks_trekëndor = 101 m, ndaj dhe humbjet këtu shtrihen midis rastit të rrethit dhe rastit kudratik.

Pra rezultatet tregojnë se diferenca e raportit të humbjeve midis dy pozicioneve të nyjes BS ndryshon për shpërndarje gjeometrikë të ndryshme të nyjeve CH. Raporti mesatar i humbjeve zbret kur kalojmë përkatësisht nga forma kuadratike, në trekëndore dhe në rrethore në rastin kur stacioni bazë vihet në skaj të zonës. Ndërsa për vendosjen e BS në qendër humbjet nuk ndikohen dhe aq shumë me ndryshimin e formave.

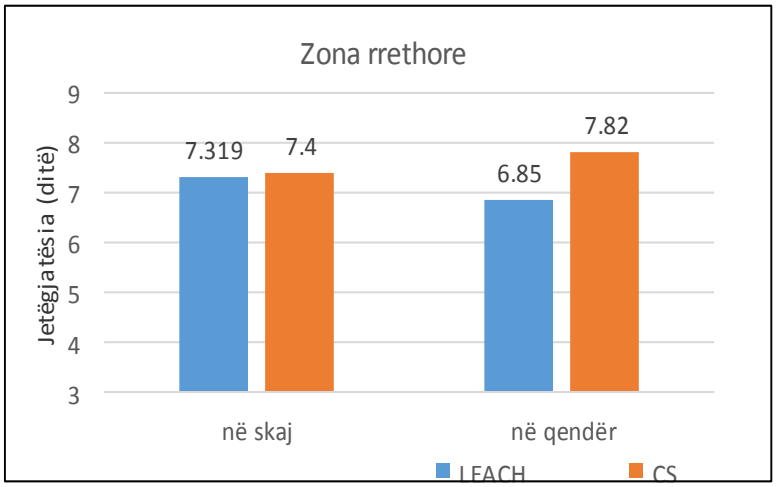

Figura 6.19 Jetëgjatësia në zonën rrethore

Nëse bëjmë një krahasim me LEACH, algoritmi i propozuar CS paraqet një performancë më të mirë në jetëgjatësi dhe në humbjet e paketave për të gjitha format e shpërndarjes së nyjeve. Forma kuadratike rezulton të ketë dhe diferencat më të mëdhaja midis dy skemave. Për parametrin jetëgjatësi, nëse pozicioni i BS ndryshohet nga skaji në qendër, zona rrethore paraqet përmirësimin më të mirë për skemën e propozuar (Fig. 6.19). Megjithatë ndryshimi i formës nuk paraqet ndonjë trend në jetëgjatësinë e rrjetit, kjo sepse të gjitha nyjet lider të rrjetit supozohen një hop larg stacionit bazë.

6.3. Performanca e algoritmit të përmirësuar VCP

Simulimet/eksperimentet e parashtruara në vijim bëjnë vlerësimin e VCP në trajtën origjinale si dhe hedhin dritë mbi efikasitetin e përmirësimeve të propozuara prej nesh në hipotezat e bëra në kapitullin 5.

6.3.1. Rasti 1

Fillimisht do bëjmë një simulim të rrjetit duke shuar mekanizmat e kontrollit/ritransmetimit për paketat e humbura. Shuarjen e realizojmë duke vendosur në 0 parametrin e modulit MAC për ridërgimin e paketave të dështuara.
Të njëjtin simulim e përsërisim duke aktivizuar ridërgimin e paketave të dështuara, duke e vendosur parametrin e ridërgimit në vlerën 3 (maksimumi tre tentativa për ridërgim).
Tabelat në vijim pasqyrojnë gjendjen e nyjeve në kordë në fund të simulimit prej 30 sekondash për secilin rast, kohë kjo më se e mjaftueshme për lidhjen e të 9 nyjeve lider në kordë.

Tabela 6.2 Pa ridërgim paketash

Nyja	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vlera	0.5	0	-1	-1	0.55	0	-1	-1	1
Paraardhës	0	-1	-1	-1	0.5	-1	-1	-1	0.5
Pasardhës	1	0.55	-1	-1	0.5	0.55	-1	-1	-1

Tabela 6.3 Me ridërgim paketash

Nyja	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vlera	0.45	0.405	0.3645	0.5	0.525	0	0.55	0.595	1
Paraardhës	0.405	0.3645	0	0.45	0.5	-1	0.5	0.55	0.595
Pasardhës	0.5	0.45	0.405	0.55	0.5*	0.3645	0.595	1	-1

Siç duket nga vlerat e Tabelës 6.2, në rastin e parë algoritmi ka dështuar, pasi nyjet nuk formojnë një listë të lidhur mes tyre, madje disa nga nyjet kanë ngelur të paprekura nga vala e paketave *hello*.
Në rastin e dytë (Tabela 6.3), nyjet formojnë një kordë të lidhur saktë. Nyja 5 rezulton të ketë vlerën 0.5 edhe si paraardhëse edhe si pasardhëse. Kjo do të thotë që nyja 5 ka për paraardhës

një nyje virtuale, e cila simulohet nga nyja 4. Konfigurimi vizual i kordës në rastin e dytë është si në Fig. 6.20.

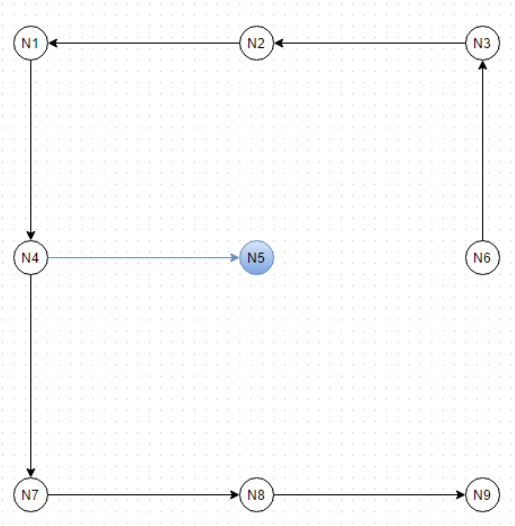

Figura 6.20 Lidhja e nyjeve në rrjetin me ridërgim paketash

6.3.2. Rasti 2

Në listën e parametrave origjinale të VCP, ka dy vlera koeficent që përdoren në formulën e përcaktimit të pozicionit të nyjes në kordë. Këto dy vlera kanë për synim "zbutjen" e vlerave në kordë, në mënyrë të tillë që nyjet të jenë të shpërndara sa më njëtrajtshmërisht në intervalin [0,1]. Shpërndarja e njëtrajtshme siguron ndarjen e barabartë të ngarkesë për ruajtjen e informacionit në nyjet VCP. Vlerat e përcaktuara sipas VCP janë: CORD_INTERVAL = 0.1 dhe CORD_VIRTUAL_INTERVAL = 0.9

Po të shqyrtojmë vlerat e Tabelës 6.3 në rastin 1 të studimit, do dallojmë se nyjet e ndërmjetme të kordës shtrihen në intervalin [0.36, 0.6]. Praktikisht kjo do të thotë që nyja 0, 0.36, 0.6 dhe nyja 1 do të jenë përgjegjëse për shumicën e të dhënave, ndërkohë që nyjet e tjera do të shpërndajnë një ngarkesë të voglë në pjesë akoma më të vogla mes tyre.

Le të provojmë një konfigurim të ri të koeficentëve zbutës të intervalit, për të garantuar një shpërndarje më të drejtë të ngarkesës: CORD_INTERVAL = 0.2 dhe CORD_VIRTUAL_INTERVAL = 0.8. Vlerat rezultojnë si ne tabelën 6.4.

Tabela 6.4 Interval i zbutur (i njëtrajtshëm)

Nyja	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vlera	0.4	0.32	0.256	0.5	0.55	0	0.6	0.68	1
Paraardhës	0.32	0.256	0	0.4	0.5	-1	0.5	0.6	0.68
Pasardhës	0.5	0.4	0.32	0.6	0.5*	0.256	0.68	1	-1

Me vlerat e reja të koeficentëve zbutës, konfigurimi i kordës ngelet identik si në Fig. 6.20, por shpërndarja e vlerave është më e njëtrajtshme. Mbulimi në nyjet e ndërmjetme të kordës lëviz nëpër intervalin [0.256, 0.68].

6.3.3. Rasti 3

Hipoteza 1: Nëse shfrytëzojmë parametrin RSSI do të realizojmë një kordë virtuale më optimale.

Një nga propozimet tona për përmirësimin e VCP ishte renditja e rekordeve në tabelat e routimit sipas RSSI të sinjalit të marrë nga fqinji. Hipoteza ishte se ky ndyshim do të përmirësonte rrugëzimin e të dhënave.
Ndryshimin e propozuar e zbatojmë mbi rrjetin e Tabelës 6.3. Rezultati i simulimit na jep konfigurimin e kordës sipas Tabelës 6.5 dhe e paraqitur në Fig. 6.21.

Tabela 6.5 Renditje e rekordeve sipas RSSI

Nyja	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vlera	0.45	0.405	0.3645	0.5	0	0.2775	0.55	0.595	1
Paraardhës	0.405	0.3645	0.2775	0.45	-1	0	0.5	0.55	0.595
Pasardhës	0.5	0.45	0.405	0.55	0.2775	0.3645	0.595	1	-1

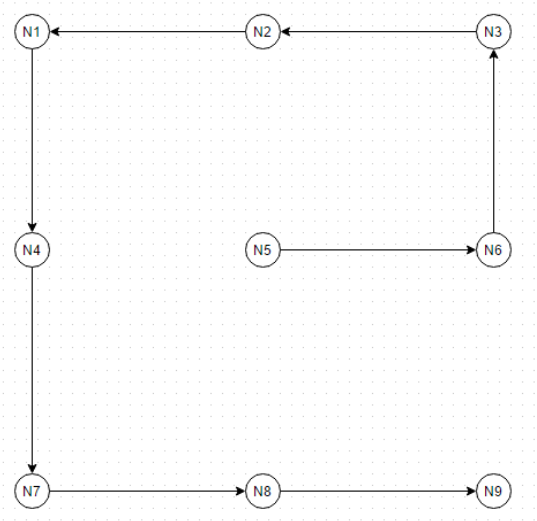

Figura 6.21 Korda e krijuar me shfrytëzimin e parametrit RSSI

Ndryshimi është i dukshëm, pasi nyja 5 nuk është më e lidhur nëpërmjet një nyjeje virtuale, por është pjesë "organike" e kordës. Kjo vërteton se nyjet janë më të "lira" të organizohen sipas afërsisë fizike që kanë, pa qenë nën "presionin" e nyjes fillestare të rrjetit (N1). Nga parashikimet teorike të bëra për versionin standart VCP, performanca e rrjetit është në përpjestim të zhdrejtë me numrin e nyjeve virtuale të krijuara. Këtë mund ta provojmë duke vlerësuar numrin mesatar të ritransmetimeve për paketa të dhënash të humbura. Para përmirësimit, numri mesatar i ritransmetimeve për paketat e të dhënave ishte 2.21, ndërsa pas përmirësimit mesatarja zbriti në 1.68.

6.3.4. Rasti 4

Hipoteza 2: Nëse fusim një element rastësor në periodicitetin e dërgimit të mesazheve *hello*, do të kemi ulje të kongjestionit në rrjet.

Për të vlerësuar hipotezën kemi zhvilluar një tjetër simulim duke përdorur të njëjtin rrjet si në Tabelën 6.3, duke ruajtur përmirësimin e futur në Rastin 3 si dhe duke shtuar "përmirësimin" e timer-ave rastësor. Me timer rastësor kuptojmë ndryshimin e periodës së mesazheve *hello* nga vlera fikse 1s, në një vlerë të ndryshueshme në intervalin [0.7s, 1.3s].
Statistika mesatare për paketat e marra në të 9 nyjet lider rezulton si në Tabelën 6.6.

Tabela 6.6 Timer rastësor për mesazhet hello

Paketa të nisura drejt nyjes	723
Paketa të marra me sukses	309 (42.7%)
Paketa të "humbura" nga largësia	268 (37%)
Paketa të humbura nga gjendja TX	61 (8.4%)
Paketa të humbura nga interferenca	85 (11.7%)
Numri mesatar i ritransmetimeve	1.37

Sqarojmë se paketat e "humbura nga largësia" realisht nuk janë paketa të humbura. Kjo është mënyra e Castalias për të identifikuar mungesën e komunikimit fizik të drejtpërdrejtë midis dy nyjeve që ndodhen jashtë zonës së transmetimit të njëra-tjetrës. Mos marrja e këtyre paketave nuk shkakton ridërgim në shtresën MAC.
Vërejmë që numri i ritransmetimeve ka rënë nga 1.68 në 1.37. Të dhënat për simulimin pa përmirësimin e mësipërm janë paraqitur në Tabelën 6.7.

Tabela 6.7 Pa timer rastësor për mesazhet hello

Paketa të nisura drejt nyjes	1053
Paketa të marra me sukses	201 (19%)
Paketa të "humbura" nga largësia	259 (24.6%)
Paketa të humbura nga gjendja TX	288 (27.4 %)
Paketa të humbura nga interferenca	305 (29 %)
Numri mesatar i ritransmetimeve	1.68

Duket nga vlerat që efekti i humbjeve nga interferenca dhe nga gjendja e gabuar e modulit radio është pakësuar ndjeshëm, më shumë se dyfish. Ulja e ritransmetimeve ul edhe numrin e përgjithshëm të paketave të dërguara në rrjet. Pra trafiku në total ka rënë, kongjestioni ka rënë, duke vërtetuar kështu hipotezën tonë numër dy.

6.4. Përmbledhje

Performancën e algoritmit CS e kemi krahasuar me LEACH për faktin se të gjitha supozimet e bëra mbi rrjetin LEACH qëndrojnë edhe këtu, përveç atij të nyjeve homogjene. Në CS përdoren 2 nivele nyjesh me kapacitete të ndryshme burimore por sigurisht duke mos ndryshuar koston totale që do jetë e njëjtë për të dyja rrjetat. Thjesht nyjet e thjeshta që përbëjnë 90 % të rrjetit merren me energji më të vogël se ajo që përdoret në LEACH, dhe nyjet lider me më shumë energji. Këtë e kemi bërë që të mos preket performanca energjitike që ka organizimi i rrjetit në clustera statik. Në mënyrë që energjitë fillestare të dy tipeve të nyjeve të mos merren apriori kemi kryer një simulim të rrjetit nyjet në CS homogjene si në LEACH. Duke qënë se nyjet lider nuk ndryshojnë kemi parë se sa herë më shumë shpenzon energji nyja CH kundrejt nyjeve të thjeshta. Kemi studiuar rastin më të keq: nyja lider dhe nyja e thjeshtë që kanë shpenzuar më shumë. Ky raport konvergjon në një mesatare të 100 simulimeve, rezultat të cilin e kemi patur parasysh kur marrim 2 nivelet e nyjeve në CS finale. Përdorimi i këtyre niveleve ka rritur dukshëm jetëgjatësinë e rrjetit, edhe kundrejt LEACH. Në këto kushte jetëgjatësia e rrjetit me CS ka qënë më e madhe se ajo e LEACH në të gjitha rastet, si për shpërndarje random ashtu dhe në shpërndarjen uniforme, si edhe për madhësi të ndryshme të rrjetit, për forma të ndryshme të zonës së ndijimit, madje edhe për pozicione të ndryshme të BS.

Kjo na garanton jetëgjatësinë e nevojshme që duhet të ketë rrjeti kur implementojmë rrugëzimin me menaxhim efikas të dhënash që i sjell rrjetit funksione të reja.

Kemi parë një performancë më të mirë të CS edhe tek humbja e paketave me madhësi të ndryshme rrjeti, por gjithashtu kemi vënë re dhe një rritje të vogël të interferences midis clusterave. Kjo vjen si pasojë e numrit më të madh të clusterave në CS, në krahasim me LEACH.

Pastaj është studiuar performanca e skemës së integruar ku është vlerësuar numri mesatar i ritransmetimeve për një paketë të dhënë të humbur i cili për versionin origjinal të modulit VCP ka dalë 2.21, me shtimin e RSSI siç pritej është ulur dhe akoma më shumë me përdorimin e timer-it rastësor për mesazhet hello. Nga analiza e paketave shikojmë se varianti i përmirësuar me timer rastësor ka arritur objektivin e reduktimit të humbjes së paketave.

PËRFUNDIME

Rrjetat me sensorë *wireless* (WSN) paraqesin një teknologji të afirmuar e cila ka aftësinë për të perceptuar shumë më mirë se sa përdoruesit botën që na rrethon dhe për të sjellë tek ky përdorues rezultate të interpretueshme të mjedisit. Megjithatë kjo teknologji gjithashtu përfshin sfida të mëdha që duhen kaluar për të ndërtuar sisteme funksionale. Sfidat që prekin sistemet e rrjetave me sensorë janë të larmishme. Në këtë punim u adresua problemi i rrugëzimit që ofron menaxhim efikas të dhënash. U prezantua një skemë e re rrugëzimi për rrjetat me sensorë *wireless* që integron një algoritëm që shërben për clusterizimin e rrjetit me një algoritëm rrugëzimi efikas që mbështet menaxhimin e të dhënave përsa i përket emërtimit dhe ruajtjes së tyre, si dhe *lookup*-it.
Si objektiv të punimit kemi pasur rrugëzimin e përmirësimuar që mundëson *lookup*-in efikas në një rrjet me clustera me qëllim reduktimin e trafikut të të dhënave. Për realizimin e këtij objektivi punimi ka kaluar në disa hapa.

I. Analizimi i rrugëzimit VCP, i cili u cakton të gjitha nyjeve të rrjetit pozicione relative të renditura sipas një korde virtuale. Ai përmes këtyre pozicioneve relative mundëson menaxhim efikas të dhënash. Analizimi i LEACH si një model bazë *clustering* për organizimin me kompleksitet të ulët të rrjetit në grupime.

II. Propozimi dhe implementimi i algoritmit *Cluster Statik* (CS), i cili shërben për organizimin e rrjetit në clustera. Algoritmi i propozuar CS bazohet mbi algoritmin e njohur dhe efikas në energji LEACH. Përdorimi i nyjeve heterogjene në algoritmin CS siguron një përfitueshmëri në jetëgjatësinë e rrjetit e cila përllogaritet nga rezultatet e eksperimentit të jetë rreth 30% mbi vlerën normale të jetëgjatësisë së rrjetit që përdor LEACH për modelin e rrjetit që kemi përzgjedhur.

III. Integrimi i VCP me CS, duke krijuar një skemë hibride që sjell rrugëzimin me menaxhimin efikas të dhënash në nivelin e nyjeve lider të clustera-ve.
Implementimi ynë në një simulator të specializuar në rrjetat WSN, siç është Castalia, na lejoi të studiojmë sjelljen e protokollit në një rrjet me model real të kanalit *wireless*. Vërejtëm disa probleme që rrjedhin nga simulimi i një rrjeti me rrugëzim VCP dhe propozuam disa zgjidhje të tyre.
   - Së pari, ekziston mundësia që VCP të arrijë një gjendje të gabuar nga e cila nuk del dot, nëse ndodh që të humbasë një paketë kyçe sinjalizimi gjatë krijimit të kordës. Për të shmangur gjendjen e gabuar, protokolli duhet pajisur me mekanizma ridërgimi të paketave të humbura, ose kjo detyrë duhet siguruar nga shtresat e tjera të rrjetit (shtresa e linkut zakonisht) dhe në rastin tonë përdorëm mekanizma kontrollit të MAC-ut të Castalias.
   - Së dyti, VCP ka një tendencë që kordën ta krijojë përreth nyjes fillestare të rrjetit. Kjo mund të çojë në krijimin e rrugëzimeve jo-optimale. Një zgjidhje e testuar

dhe në simulator, është marrja parasysh e parametrit RSSI si kriter renditës në përzgjedhjen e fqinjëve të kordës nga secila nyje.

- Së treti, rezulton që VCP krijon momente trafiku të lartë në rrjet (kongjestion) në mënyre periodike, sa herë që nyjet dërgojnë paketa për zbulimin e nyjeve fqinje. Propozimi ynë për uljen e kongjestionit ishte futja e një tranzitimi rastësor në periodicitetin e dërgimit të mesazheve zbuluese. Duke i larguar në kohë dërgimet e paketave zbuluese, ulet probabiliteti i përplasjeve që mund të shkaktojnë interferencë, ridërgim paketash e për rrjedhojë kongjestion. Zgjidhjen e propozuar e aplikuam në simulator dhe vumë re përmirësim të ndjeshëm të parametrave, si interferenca, marrja e paketave në gjendje të gabuar radio, numri mesatar i ridërgimeve për nyje si dhe numri total i paketave në rrjet.

Përfundimet e punimit mund ti përmbledhim sipas fazave të propozimit që korespondojnë me dy hapat e fundit në të cilët ka kaluar punimi për realizimin e objektivave.

1. Në fazën e parë të propozimit pamë se algoritmi CS krahasuar me modelin standart *clustering* performon më mirë përsa i takon humbjes së paketave dhe jetëgjatësisë, dhe kjo ka ardhë si rezultat i reduktimit të ngarkesës që formohej nga krijimi dinamik i grupimeve duke përdorur CH statike.
2. Përsa i takon fazës 2 të propozimit skema e propozuar ka sjellë rrugëzimin me menaxhim efikas të dhënash në rrjetin cluster, dhe përmirësimi i mëtejshëm i skemës solli:
   - optimizim të rrugëzimit,
   - reduktim të humbjeve të paketave rreth 17 %,
   - reduktim të trafikut për shkak të uljes së ritransmetimeve.

Të mirat e skemës së propozuar janë:

1. Nyjet lider për rrugëzim shfrytëzojnë vetëm pozicionet relative lokale dhe realizojnë menaxhim efikas të dhënash që do të thotë emërtim me indeksim të shpërndarë, ruajtja e tyre brenda në rrjet dhe *lookup* me kompleksitet të ulët. Këtë të mirë skemës së propozuar ia sjell VCP-ja.
2. Skema merr nga algoritmi *cluster* që grumbullon të dhëna në fund të çdo raundi sipas kërkesave të aplikacioneve që duhet të grumbullojnë periodikisht të dhëna për analiza të mëvonshme të trendit të tyre.

Si objektiv për të ardhmen kemi:

- Studimin e performancës për rrjeta shumë të mëdha.
- Trajtimin e dështimit të nyjeve.
- Trajtimin e mobilitetit të nyjeve.
- Si dhe lidhjen e nyjeve të thjeshta në kordë virtuale duke realizuar rrugëzim efikas të dhënash në dy nivele hierarkike të kordës.

SHTOJCË – IMPLEMENTIMI I CS NË CASTALIA

```
/**
 * Konstantet e modulit Leach
 */
#include "LeachSubstationRouting.h"
Define_Module(LeachSubstationRouting);
/**
 * Inicializimi i nje nyjeje perfshin leximin e parametrave nga konfigurimi dhe
 * vendosjen e vlerave fillestare tek variablat e kontrollit. Algoritmi CS ne
* kod referohet me emrin LeachSubstation, meqenese nyjet lider luajne rolin e nje
* ministacioni qe grumbullon te dhena nga anetaret e grupimit
 */
void LeachSubstationRouting::startup()
{
	/*--- The .ned file's parameters ---*/
	percentage = par("percentage");
	roundLength = par("roundLength");
	isSink = par("isSink");
	isSubStation = par("isSubStation");
	slotLength = par("slotLength");
	advPacketSize = par("advPacketSize");
	joinPacketSize = par("joinPacketSize");
	tdmaPacketSize = par("tdmaPacketSize");
	dataPacketSize = par("dataPacketSize");
	applicationID = par("applicationID").stringValue();
	/*--- Class parameters ---*/
	CHcandidates.clear();
	clusterMembers.clear();
	roundNumber=0;
	probability = 0;
	isCH = false;
	endFormClus = false;
	isCt = false;
	readXMLparams();
	/*--- Nese nyja eshte Sinku i rrjetit, hapet timeri START_ROUND---*/
	if(!isSink) setTimer(START_ROUND, 0);
}
/**
 * Ketu trajtohen paketat qe prodhohen ne agjentin Application te nyjes. Nyja
 * Sink anashkalohet nga kjo metode sepse Sinku nuk dergon asnjehere paketat
 * drejt nyjeve tjera, por vetem merr nga ato, pra eshte gjithmone destinacion.
 */
void LeachSubstationRouting::fromApplicationLayer(cPacket *pkt, const char *destination)
{
	if(!isSink)
	{
		// enkapsulimi i paketes
		string dst(destination);
		LeachRoutingPacket *netPacket = new LeachRoutingPacket("Leach routing data packet",
NETWORK_LAYER_PACKET);
		netPacket->setLeachRoutingPacketKind(LEACH_ROUTING_DATA_PACKET);
		netPacket->setByteLength(dataPacketSize);
		netPacket->setSource(SELF_NETWORK_ADDRESS);
		encapsulatePacket(netPacket, pkt);
		// per nyjet jo CH, percaktohet CH destinacion i paketes ne baze te RSSI
		if (!isCH && endFormClus)
		{
```

```
                        CHInfo info = *CHcandidates.begin();
                        stringstream buffer;
                        buffer << info.src;
                        string dst = buffer.str();
                        netPacket->setDestination(dst.c_str());
                        bufferPacket(netPacket);
                }
                else if (!isCH && !endFormClus)
                {
                        tempTXBuffer.push(netPacket);
                }
                /*---per nyjet CH injorohet shtresa e aplikacionit, sepse CH nuk dergojne te dhena
                gjate roundit qe jane CH---*/
                else if (isCH)
                {
                        bufferAggregate.push_back(*netPacket);
                }
        }
}
/**
 * Ketu trajtohen paketat qe nyja merr nga shtresat e poshtme, konkretisht MAC
 * Protokolli percakton 4 lloje paketash qe trajtohen secila ne menyre te
 * vecante: pakete te dhenash, pakete shpalljeje, pakete anetaresimi dhe pakete
 * TDMA
 */
void LeachSubstationRouting::fromMacLayer(cPacket *pkt, int macAddress, double rssi, double lqi){
        LeachRoutingPacket *netPacket = dynamic_cast <LeachRoutingPacket*>(pkt);
        if (!netPacket)
                return;
        switch (netPacket->getLeachRoutingPacketKind()) {
                // pakete te dhenash
                case LEACH_ROUTING_DATA_PACKET:{
                        Cominfos()<<SELF_NETWORK_ADDRESS<<" "<<macAddress<<"
"<<"LEACH_ROUTING_DATA_PACKET "<<netPacket ->getSource() ;
                        string dst(netPacket->getDestination());
                        // CH injoron paketat e te dhenave qe dergon vete
                        if (isCH && dst.compare(SELF_NETWORK_ADDRESS) == 0){
                                //trace() << "Node " << self << " Aggregate Data Frame \n";
                                bufferAggregate.push_back(*netPacket);
                        // nyja Sink pranon te gjithe paketat e te dhenave, i dekapsulon dhe i dergon drejt
                        shtreses se vet te aplikacionit
                        }else if (dst.compare(SINK_NETWORK_ADDRESS) == 0 && isSink) {
                                trace() << "Node " << self << " Processing Data Packet \n";
                                toApplicationLayer(decapsulatePacket(netPacket));
                        }
                        break;
                }
                // pakete shpalljeje qe CH dergon drejt nyjeve ne fillim te cdo roundi
                case LEACH_ROUTING_ADV_PACKET:{
                Cominfos()<<SELF_NETWORK_ADDRESS<<" "<<macAddress<<"
"<<"LEACH_ROUTING_ADV_PACKET "<<netPacket ->getSource() ;
                        // shpallja i intereson vetem nyjeve te thjeshta
                        if(!isCH && !isSink)
                        {
                        //trace() << "Node " << self << " Received a Advertisement Message of node " <<
                        netPacket->getSource() << " with RSSI: " << rssi << "\n";
                        // regjistrohet CH shpallese si kandidate e mundshme te ciles nyja mund ti bashkohet
                        ne cluster
                                CHInfo rec;
                                rec.src = atoi(netPacket->getSource());
```

```
                                rec.rssi = rssi;
                                CHcandidates.push_front(rec);
                        }
                        break;
                }
                // pakete anetaresimi qe nyjet e thjeshta dergojne drejt CH per tu futur ne cluster
                case LEACH_ROUTING_JOIN_PACKET:{
                Cominfos()<<SELF_NETWORK_ADDRESS<<" "<<macAddress<<"
"<<"LEACH_ROUTING_JOIN_PACKET "<<netPacket ->getSource() ;
                        string dst(netPacket->getDestination());
                        // Nyjet CH injorojne paketat Join qe kane derguar vete
                        if(isCH && dst.compare(SELF_NETWORK_ADDRESS) == 0) {
                        //trace() << "Node " << self << " Received a Join Request. Adding to
clusterMembers\n";
                                clusterMembers.push_back(atoi(netPacket->getSource()));
                        }
                        break;
                }
                // pakete TDMA
                case LEACH_ROUTING_TDMA_PACKET:{
                Cominfos()<<SELF_NETWORK_ADDRESS<<" "<<macAddress<<"
"<<"LEACH_ROUTING_TDMA_PACKET "<<netPacket ->getSource() ;
                        // trajtohet vetem nga nyjet e thjeshta
                        if(!isCH && !isSink)
                        {
                        /* skedulohet veprimtaria e nyjes duke lexuar udhezimet e CH. Nyja flen dhe ngren
nje
                         timer qe ta zgjoje ne castin kur ka radhen per transmetim */
                                clusterLength = netPacket->getScheduleArraySize();
                                for(int i=0; i<clusterLength; i++) {
                                        if (netPacket-
>getSchedule(i)==atoi(SELF_NETWORK_ADDRESS)) {
                                                setStateSleep();
                                                setTimer(START_SLOT, i*slotLength);
                        //trace() << "Node " << self << " Received TDMA pkt, I am: "<< i << "th \n";
                                                break;
                                        }
                                }
                        }
                        break;
                }
        }
}
/**
 * Protokolli percakton 6 lloje timer-ash: fillim roundi, dergim shpalljeje,
 * anetaresim ne cluster, skedulim TDMA, zgjim nyjeje dhe rikthim ne gjume.
 */
void LeachSubstationRouting::timerFiredCallback(int index)
{
        switch (index) {
                // fillim roundi
                case START_ROUND:{
                // inicializohen dhe resetohen te gjithe variablat e kontrollit qe jane tashme te "ndotura" nga
                roundi i perparshem
                        setStateRx();
                        setPowerLevel(maxPower);
                        endFormClus = false;
                        CHcandidates.clear();
                        clusterMembers.clear();
                        if (getTimer(START_SLOT) != 0) {
```

```
                        cancelTimer(START_SLOT);
                }

                /* Ne protokollin Leach tradicional, nyjet CH zgjidhen me rotacion. Cdo nyje ka nje
                probabilitet zgjedhjeje qe llogaritet ne funksion te roundeve te meperparshme. Ne
                versionin Leach me Substation, ne sigurohemi qe nyjet e konfiguruara si Substation te
                zgjidhen gjithmone CH, duke ja vendosur probabilitetin e  zgjedhjes jo si funksion i
                historikut, por direkt 1 */
                if (isSubStation)
                {
                        probability = 1;
                }
                else {
                        probability = 0;
                }
                // me poshte vijon procedura e perzgjedhjes se CH, ku me siguri do zgjidhen nyjet
                Substation
                double randomNumber = uniform(0,1);
                double timer = uniform(0,1);
                if (randomNumber<probability)
                {
                // nyjet qe sapo u zgjodhen CH startojne timer-at per dergimin e paketes shpallje dhe
                per skedulimin TDMA
                        setTimer(SEND_ADV, (timer));
                        setTimer(MAKE_TDMA, 2.0+timer);
                        //trace() << "Node " << self << " is Cluster Head.";
                        isCH=true;
                        NodeStatinfos()<<self<<" CLUSTER_HEAD";
                }
                // nyjet qe nuk  u zgjodhen CH startojne timer-in per anetaresim ne cluster
                if (!isCH) setTimer(JOIN_CH, (1.0+timer));
                roundNumber++;
                setTimer(START_ROUND, roundLength);
                break;
        }
        // dergim shpalljeje
        case SEND_ADV:{
        // enkapsulohet paketa shpallese duke vendosur si burim CH dhe si destinacion adresen
        Broadcast te rrjetit
        LeachRoutingPacket *crtlPkt = new LeachRoutingPacket("ClusterHead Announcement
Packet", NETWORK_LAYER_PACKET);
                crtlPkt->setByteLength(advPacketSize);
                crtlPkt->setLeachRoutingPacketKind(LEACH_ROUTING_ADV_PACKET);
                crtlPkt->setSource(SELF_NETWORK_ADDRESS);
                crtlPkt->setDestination(BROADCAST_NETWORK_ADDRESS);
                toMacLayer(crtlPkt, BROADCAST_MAC_ADDRESS);
                //trace() << "Node " << self << " Sent Beacon";
                break;
        }
        // anetaresim ne cluster
        case JOIN_CH:{
                /* Nyja rendit fillimisht kandidatet per CH sipas fuqise se sinjalit RSSI. Me pas
                enkapsulon nje pakete   anetaresimi duke vendosur si burim veten dhe si destinacion
                CH kandidate me RSSI me te larte. */
                if(CHcandidates.size()!=0){
                        CHcandidates.sort(cmpRssi);
                        LeachRoutingPacket *crtlPkt = new LeachRoutingPacket("ClusterMember
Join Packet", NETWORK_LAYER_PACKET);
                        crtlPkt-
>setLeachRoutingPacketKind(LEACH_ROUTING_JOIN_PACKET);
```

```
                        crtlPkt->setByteLength(joinPacketSize);
                        crtlPkt->setSource(SELF_NETWORK_ADDRESS);
                        CHInfo info = *CHcandidates.begin();
                        stringstream buffer;
                        buffer << info.src;
                        string dst = buffer.str();
                        crtlPkt->setDestination(dst.c_str());
                        toMacLayer(crtlPkt, BROADCAST_MAC_ADDRESS);
                        endFormClus = true;
                        //trace() << "Node " << self << " Sent Join Request to " << dst;
                }
                break;
        }
        // skedulim TDMA
        case MAKE_TDMA:{
        /* Nyja CH copeton kohen e nje roundi ne pjese te barabarta sipas numrit te nyjeve anetare qe
        ka ne cluster.  Me pas enkapsulon nje pakete skedulimi TDMA duke vendosur si burim veten
        dhe si destinacion adresen broadcast  te rrjetit. Se fundmi ajo nis timer-in e zgjimit te nyjes per
        vetveten duke llogaritur te zgjohet ne castin  e fundit para mbylljes se roundit, kur te gjitha
        nyjet e clusterit perkates kane derguar te dhena. */
                if (clusterMembers.size()!=0){
                        LeachRoutingPacket *crtlPkt = new LeachRoutingPacket("ClusterHead
TDMA Packet", NETWORK_LAYER_PACKET);
                        crtlPkt->setByteLength(tdmaPacketSize);
                        crtlPkt-
>setLeachRoutingPacketKind(LEACH_ROUTING_TDMA_PACKET);
                        crtlPkt->setSource(SELF_NETWORK_ADDRESS);
                        crtlPkt->setDestination(BROADCAST_NETWORK_ADDRESS);
                        clusterLength = clusterMembers.size();
                        crtlPkt->setScheduleArraySize(clusterMembers.size());
                        for(int i=0; i<clusterLength; i++) crtlPkt->setSchedule(i,clusterMembers[i]);
                        toMacLayer(crtlPkt, BROADCAST_MAC_ADDRESS);
                        //trace() << "Node " << self << " Sent TDMA pkt";
                        setTimer(START_SLOT, clusterLength*slotLength);
                }
                else setTimer(START_SLOT, slotLength);
                break;
        }
        // zgjim nyjeje
        case START_SLOT:{
                if(isCH && clusterMembers.size()==0) setTimer(START_SLOT, slotLength);
                else setTimer(START_SLOT, clusterLength*slotLength);
                // nyjet CH dergojne drejt sinkut te dhenat e mbledhura ne cluster
                if (isCH) {
                        sendAggregate();
                        processBufferedPacket();
                        //trace() << "Node " << self << " Sent Pkt Aggr"  << "\n";
                }
                /* Nyjet e thjeshta dergojne te dhena drejt CH. Para dergimit, nyja rregullon fuqine e
                transmetimit ne menyre te tille  qe t'i pershtaten fuqise se transmetimit te CH. Fuqia e
                transmetimit duhet te jete e mjaftueshme per te derguar paketen me sukses, por as nje
                decibel me e larte sepse shpenzon energji te tepert. Pas dergimit hapet timeri
                percaktohet  rikthimin ne gjume. */
                if (!isCH){
                        CHInfo info = *CHcandidates.begin();
                        int power = maxPower - ((info.rssi)-(sensibility));
                        levelTxPower(power);
                        //trace() << "Node " << self << " Sent Data Packet"  << "\n";
                        processBufferedPacket();
                        setTimer(END_SLOT, slotLength);
```

```
                        }
                        break;
                }
                // rikthim ne gjume
                case END_SLOT:{
                // nyjet Sink dhe CH perjashtohen nga gjendja e gjumit sepse duhet te jene aktive gjate gjithe
                roundit
                        //trace() << "Node " << self << " Sleept"  << "\n";
                        if (!isSink && !isCH) setStateSleep();
                        break;
                }
        }
}
/**
 * CH bashkon te dhenat e te gjithe cluster ne nje pakete te vetme qe e
 * dergon drejt Sinkut. Paketa enkapsulohet brenda nje Application Packet.
 * Kjo metode merret gjithashtu me monitorimin e konsumit te energjise.
 */
void LeachSubstationRouting::sendAggregate()
{
        if(bufferAggregate.size()!=0)
        {
                double bitsLength = bufferAggregate.size() * dataPacketSize * 1000;
                double energyBit = (aggrConsumption / pow(10,9)) * bitsLength;
                powerDrawn(energyBit);
                LeachRoutingPacket *aggrPacket = new LeachRoutingPacket("ClusterHead Aggredated
Packet", NETWORK_LAYER_PACKET);
                aggrPacket->setByteLength(dataPacketSize+4);
                aggrPacket->setLeachRoutingPacketKind(LEACH_ROUTING_DATA_PACKET);
                aggrPacket->setSource(SELF_NETWORK_ADDRESS);
                aggrPacket->setDestination(SINK_NETWORK_ADDRESS);

                ApplicationPacket *newPacket = new ApplicationPacket("App generic packet",
APPLICATION_PACKET);
                newPacket->setData(0);
                newPacket->getAppNetInfoExchange().destination = string("0");
                newPacket->getAppNetInfoExchange().source = selfAddress;
                newPacket->getAppNetInfoExchange().timestamp = simTime();
                newPacket->setApplicationID(applicationID.c_str());
                encapsulatePacket(aggrPacket, newPacket);

                bufferPacket(aggrPacket);
                bufferAggregate.clear();
        }
}

/**
 * Metoda qe zbraz buffer-in e paketave duke u kujdesur per dergimin e
 * sakte ne destinacion te seciles pakete.
 */
void LeachSubstationRouting::processBufferedPacket()
{
        while (!tempTXBuffer.empty())
        {
                cPacket *pkt = tempTXBuffer.front();
                LeachRoutingPacket *netPacket = dynamic_cast <LeachRoutingPacket*>(pkt);
                CHInfo info = *CHcandidates.begin();
                stringstream buffer;
                buffer << info.src;
                string dst = buffer.str();
```

```
                netPacket->setDestination(dst.c_str());
                bufferPacket(netPacket);
                tempTXBuffer.pop();
        }

        while (!TXBuffer.empty()) {
                toMacLayer(TXBuffer.front(), BROADCAST_MAC_ADDRESS);
                TXBuffer.pop();
        }
}

/**
 * Metodat e meposhtme jane komanda per shtresen MAC te nyjes. Qellimi i tyre
 * eshte vendosja e MAC-ut ne gjendje transmetimi(TX), marrjeje(RX) ose gjumit
 * (SLEEP).
 */
void LeachSubstationRouting::setStateRx()
{
        send(createRadioCommand(SET_STATE, RX), "toMacModule");
}

void LeachSubstationRouting::setPowerLevel(double powerLevel)
{
        send(createRadioCommand(SET_TX_OUTPUT, powerLevel), "toMacModule");
}

void LeachSubstationRouting::setStateSleep()
{
        send(createRadioCommand(SET_STATE, SLEEP), "toMacModule");
}

/**
 * Kjo metode sherben per perzgjedhjen e fuqise se transmetimit me te ulet te
 * mundshme qe mjafton per te realizuar transmetimin. Fuqite qe nje nyje mund
 * te perdore jane te deklaruara ne nje skedar konfigurimi qe zakonisht i
 * bashkangjitet simulimit te rrjetit (powersConfig.xml)
 */
void LeachSubstationRouting::levelTxPower(int linkBudget)
{
        vector<int>::iterator constIterator;
        for (constIterator = powers.begin();
                constIterator != powers.end();
            constIterator++ ) {
                if(*constIterator > (linkBudget))
                {
                        setPowerLevel(*constIterator);
                        break;
                }
        }
}

/**
 * Metode ndihmese per leximin e parametrave nga nje skedar XML
 */
void LeachSubstationRouting::readXMLparams()
{
        cXMLElement *rootelement = par("powersConfig").xmlValue();
        if (!rootelement) endSimulation();
        cXMLElement* data = rootelement->getFirstChildWithTag("maxPower");
        maxPower = atoi(data->getNodeValue());
```

```
		data = rootelement->getFirstChildWithTag("sensibility");
		sensibility = atoi(data->getNodeValue());
		data = rootelement->getFirstChildWithTag("aggrConsumption");
		aggrConsumption = atoi(data->getNodeValue());
		cXMLElementList sources = rootelement->getChildrenByTagName("power");
		for (int s = 0; s < sources.size(); s++)
			powers.push_back(atoi(sources[s]->getNodeValue()));
		if (powers.size() < 1) endSimulation();
		sort(powers.begin(), powers.end());
}
/**
 * Metode ndihmese per krahasimin e dy CH-ve per nga RSSI. Perdoret gjate
 * fazes se anetaresimit te nyjeve ne cluster.
 */
/*bool cmpRssi(CHInfo a, CHInfo b){
		return (a.rssi > b.rssi);
}*/
```

LISTA E SHKURTIMEVE

ACE	Algorithm for Cluster Establishment
ADC	Analog to Digital Converter
ADV	ADVertisement
AODV	Ad hoc On-Demand Distance Vector routing
APTEEN	Adaptive Periodic TEEN
BS	Base Station
CDMA	Code Division Multiple Access
CH	Cluster Head
CPU	Central Processing Unit
CS	Cluster Statik
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
CSS	Chirp Spread Spectrum
DD	Directed Diffusion
DHT	Distributed Hash Table
DIFS	Distributed coordination function InterFrame Space
DSDV	Destination-Sequenced Distance-Vector routing
DSR	Dynamic Source Routing
DWEHC	Distributed Weight Based Energy-Efficient Hierarchical Clustering
DYMO	Dynamic MANET on Demand
EEHC	Energy Efficient Hierarchical Clustering
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
EEPSC	Energy-Efficient Protocol with Static Clustering
FLOC	Fast LOcal Clustering service
GAF	Geographic Adaptive Fidelity protocol
GEAR	Geographic and Energy-Aware Routing
GHT	Geographic Hash Tables
GPIO	General Purpose Input/Output

GPS	Global Positioning System
GPSR	Greedy Perimeter Stateless Routing
GRWLI	Geographic Routing Without Location Information
HART	Highway Addressable Remote Transducer protocol
HEED	Hybrid Energy Efficient Distributed Clustering
HTTP	HyperText Transfer Protocol
HVAC	Heating, Ventilation, and Air Conditioning
ID	Identity
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IP	Internet Protocol
ISA	International Society of Automation
ISM	Industrial, Scientific and Medical radio bands
LAN	Local Area Network
LEACH	Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy protocol
LEACH-A	Advanced Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy
LEACH-C	Centralized Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy
LEACH-F	Fixed number of cluster Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy
LLC	Logical Link Control
LLN	Low-power and Lossy Network
MAC	Media Access Control
MANET	Mobile Ad hoc NETwork
MIPS	Millions of Instructions Per Second
MOCA	Multi-hop Overlapping Clustering Algorithm
NP	No Path
P2P	Peer To Peer
PEGASIS	Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems
PHY	PHYsical layer
RAM	Random-Access Memory
RCC	Random Competition Clustering
REQ	REQuest

RF	Radio Frequency
RFID	Radio Frequency IDentification
RREP	Routing Reply
RREQ	Route Request
RSSI	Received Signal Strength Indication
RX	Receiver mode
SHA	Secure Hash Algorithm
SHPER	Scaling Hierarchical Power Efficient Routing
S-LZW	Sensor Lempel–Ziv–Welch
SMP	Sensor Management Protocol
SPIN	Sensor Protocols for Information via Negotiation
SQL	Structured Query Language
TCP	Transmission Control Protocol
TDMA	Time Division Multiple Access
TEEN	Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network
TTL	Time To Live
TX	Transmitter mode
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
UWB	Ultra Wide Band
VCP	Virtual Cord Protocol
VRR	Virtual Ring Routing
WLAN	Wireless Local Area Network
WMSNs	Wireless Medical Sensor Networks
WSN	Wireless Sensor Networks

LITERATURA

[1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "*A Survey on Sensor Networks,"* IEEE Communications Magazine, vol. 40, no. 8, pp. 102–116, August 2002.

[2] Iacopo Carreras, Francesco De Pellegrini, Csaba Kiraly, Imrich Chlamtac, *"Data Managment in Wireless Sensor Networks"*, Global Data Management, IOS Press, 2006.

[3] Vinh Vu Tanh, Hung Nguyen Chan, Binh, Pham Viet, Thanh Nguyen Hu, *"A Survey of Routing Using DHT over Wireless Sensor Networks"* The 6th International Conference on Information Technology and Applications (ICITA 2009).

[4] Abdalkarim Awad, Christoph Sommer, Reinhard German, Falko Dressler, *"Virtual Cord Protocol (VCP): A Flexible DHT-like Routing Service for Sensor Networks",* 978-1-4244-2575-4/08/$20.00c 2008 IEEE.

[5] **E. Kotobelli**, E. Zanaj, M. Alinci, *"Data Management in WSNs by a light cost algorithm",* Proc. of Int. Conference: "Information System and Technology Innovation – their application in economy", MSIZ, Tirana, AL, 8 – 9 June 2012.

[6] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, *"Wireless sensor networks: a survey",* Broadband and Wireless Networking Laboratory, School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332, USA, 2001. Published by Elsevier Science in Computer Networks 38 (2002) 393–422.

[7] Jason Lester Hill., *"System Architecture for Wireless Sensor Networks"*, PhD dissertation, University of California at Berkeley, 2003.

[8] Perrig, A., et al., "*SPINS: Security protocols for sensor networks*". Proceedings of MOBICOM, 2002.

[9] Raymond S. Wagner, *"Standards-Based Wireless Sensor Networking Protocols for Spaceflight Applications",* NASA Johnson Space Center, Houston, Texas, 2010.

[10] Chiara Buratti, Andrea Conti, Davide Dardari, Roberto Verdone, *"An Overview on Wireless Sensor Networks Technology and Evolution"*, Sensors 2009.

[11] A. Mainwaring, J. Polastre, R. Szewczyk, D. Culler, and J.Anderson, *"Wireless sensor networks for habitat monitoring",* In ACM Inter. Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA'02), Atlanta, GA, 2002.

[12] Th. Arampatzis, J. Lygeros, Senior Member, IEEE, and S. Manesis, Member, IEEE, *"A Survey of Applications of Wireless Sensors and Wireless Sensor Networks",* The 13th Mediterranean Conference on Control and Automation Limassol, Cyprus, June 27-29, 2005.

[13] T. He, S. Krishnamurthy, J. A. Stankovic, T. Abdelzaher, L. Luo, R. Stoleru, T. Yan, L. Gu, J. Hui, B. Krogh, *"An energy-efficient surveillance system using wireless sensor networks"*, MobiSys'04, Boston, MA, 2004.

[14] Kintner-Meyer, M. e. *"Report On Cost-Effectiveness And Energy Savings From Application Of Low-Cost Wireless Sensing.Richland"*, WA, USA: Pacific Northwest National Laboratory, 2004.

[15] Powercast Corporation. (2012) *"Powercast Exceeds 25-Year Battery Life in Wireless Sensors for Building Monitoring and Control".*
http: // www.powercastsensors.com / powercast – exceeds - 25- year – battery – life – in – wireless - sensors – for – building – monitoring – and – control – 20120111 /

[16] J. Burrell, T. Brooke, R. Beckwith, *"Vineyard computing: sensor networks in agricultural production"* Pervasive Computing, IEEE, Volume: 3, Issue: 1, pp. 38-45, Jan.-Mar 2004.

[17] Dr. Afsaneh Minaie, Dr. Ali Sanati-Mehrizy, Paymon Sanati-Mehrizy, Dr. Reza Sanati-Mehrizy, Utah Valley University, *"Application of Wireless Sensor Networks in Health Care System",* American Society for Engineering Education, 2013.

[18] By JeongGil Ko, Chenyang Lu, Mani B. Srivastava, John A. Stankovic, Andreas Terzis, and Matt Welsh, *"Wireless Sensor Networks for Healthcare",* Vol. 98, No. 11, IEEE 2010.

[19] K Ranjitha Pragnya, J Krishna Chaitanya, *"Wireless sensor network based healthcare monitoring system for homely elders",* International Journal of Advances in Engineering & Technology, Vol. 6, Issue 5, pp. 2078-2083, 2013.

[20] Dishongh, Terrance, et al, *"Wireless Sensor Networks for Healthcare Applications",* Artech House Publishing, 2010.

[21] A. LaMarca, D. Koizumi, M. Lease, S. Sigurdsson and G. Borriello, W. Brunette, K. Sikorski, D. Fox, *"Making Sensor Networks Practical with Robots"*, Intel Corporation, 2002.

[22] P. Pathirana, N. Bulusu, A. Savkin, S. Jha, *"Node Localization Using Mobile Robots in Disconnected Sensor Networks"*, IEEE Transactions on Mobile Computing (Accepted Jun 2004).

[23] *Smart Water project in Valencia to monitor Water Cycle Management,* 10 shkurt 2012, http://www.libelium.com/smart_water_cycle_monitoring_sensor_network/

[24] http://www.libelium.com/smart_santander_environment_smart_ctiy/ 22 shkurt 2013.

[25] Debnath Bhattacharyya, Tai-hoon Kim dhe Subhajit Pal*, "A Comparative Study of Wireless Sensor Networks and Their Routing Protocols,"* Sensors journal, ISSN 1424-8220, 2010.

[26] W.Rabiner Heinzelman, A.Chandrakasan and H.Balakrishnan 2000, *"Energy-Efficient communication protocol for wireless microsensor networks",* Washington DC: IEEE Computer Society, 2000.

[27] M. Omari, N. Tiouririne, D. Dahmani, *"Simulation of the TEEN and the SPIN Protocols in a Wireless Sensor Network Environment",* Cyber Journals: Multidisciplinary Journals in Science and Technology, Journal of Selected Areas in Telecommunications (JSAT), October Edition, 2012.

[28] Manjeshwar, A.; Agarwal, D.P. *"APTEEN: A hybrid protocol for efficient routing and comprehensive information retrieval in wireless sensor networks",* 16th International Parallel and Distributed Processing Symposium, Ft. Lauderdale, FL, USA, April 2002, pp. 195–202.

[29] D. Braginsky, D. Estrin, "Rumor Routing Algorithm For Sensor Networks", WSNA'02, Atlanta, Georgia, USA, 2002.

[30] Shamsad Parvin, Muhammad Sajjadur Rahim, *"Routing Protocols for Wireless Sensor Networks: A Comparative Study"*, International Conference on Electronics, Computer and Communication, ICECC, 2008.

[31] Yan Yu, Ramesh Govindan, Deborah Estrin, *"Geographical Energy Aware Routing: a recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks"*, CS428 - Info Processing in Sensor Networks, 2001.

[32] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, and F. Silva, *"Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking",* IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), vol. 11, no. 1, pp. 2–16, February 2003.

[33] Yong Yao, Johannes Gehrke: *"The Cougar Approach to In-Network Query Processing in Sensor Networks",* Cornell University, SIGMOD, Vol. 31, No. 3, Shtator 2002.

[34] Jamal N. Al-Karaki, Ahmed E. Kamal, *"Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: a survey",* IEEE Wireless Communications, 2004.

[35] Lindsey, Raghavendra, C.S. *"PEGASIS: Power-efficient gathering in sensor information systems",* Aerospace Conference Proceedings, 2002. IEEE.

[36] Parul Bansal, Poonam Kundu, Prabhjot Kaur, *"Comparison of LEACH and PEGASIS Hierarchical Routing Protocols in Wireless Sensor Networks",* Int. J. of Recent Trends in Engineering & Technology, Vol. 11, June 2014.

[37] Ossama Younis, Marwan Krunz dhe Srinivasan Ramasubramanian, *"Node Clustering in Wireless Sensor Networks: Recent Developments and Deployment Challenges",* IEEE Network - 0890-8044 / 2006.

[38] Boyinbode, O.; Hanh Le ; Mbogho, A. ; Takizawa, M. ; Poliah, R., *"A Survey on Clustering Algorithms for Wireless Sensor Networks",* Network-Based Information Systems (NBiS), 13th International Conference, 2010.

[39] Heena Dhawan, Sandeep Waraich, *"A Comparative Study on LEACH Routing Protocol and its Variants in Wireless Sensor Networks: A Survey",* International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), Volume 95– No.8, June 2014.

[40] A.S. Zahmati, B.Abolhassani, Ali A.B.Shirazi, and A.S. Bahitiari, *"An Energy-Efficient Protocol with Static Clustering for Wireless Sensor Networks"*, International Journal of Electronics, Circuit, and Systems Vol. 1, No. 2, May. 2007, pp. 135-138.

[41] Kaixin Xu, Mario Gerla, *"A heterogeneous routing protocol based on a new stable clustering scheme"* Computer Science Department, UCLA, University of California, Los Angeles, IEEE, 2002.

[42] B. Mamalis, D. Gavalas, Ch. Konstantopoulos, G. Pantziou, *"Clustering in Wireless Sensor Networks"* Zhang/RFID and Sensor Networks AU7777_C012 Page Proof Page 323, kapitulli 12, 2009.

[43] Dilip Kumar, Trilok C. Aseri, R.B. Patel, *"EEHC: Energy efficient heterogeneous clustered scheme for wireless sensor networks",* Computer Communications 32 (2009) 662–667.

[44] Murat Demirbas Anish Arora Vineet Mittal Vinod Kulathumani, *"Design and Analysis of a Fast Local Clustering Service for Wireless Sensor Networks"* PROC. BROADBAND WIRELESS NETWORKING SYMP, 2004.

[45] Dionisis Kandris, Panagiotis Tsioumas, Anthony Tzes, George Nikolakopoulos and Dimitrios D. Vergados, *"Power Conservation through Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks",* Sensors 2009, 9, 7320-7342; doi:10.3390/s90907320, ISSN 1424-8220.

[46] I. Stoica, R.Morrisy, D. Liben-Nowelly, D.Kargery, M. Frans Kaashoeky, F. Dabeky, H. Balakrishnany, *"Chord: A Scalable Peer-to-peer Lookup Service for Internet Applications",* University of California, Berkeley, 2002.

[47] M. Caesar, M. Castro, E. B. Nightingale, G. O'Shea, and A. Rowstron, *"Virtual Ring Routing: Network routing inspired by DHTs,"* in ACM SIGCOMM 2006. Pisa, Italy: ACM, September 2006.

[48] S. Ratnasamy, B. Karp, S. Shenker, D. Estrin, R. Govindan, L. Yin, and F. Yu, *"Data-Centric Storage in Sensornets with GHT, a Geographic Hash Table,"* ACM/Springer Mobile Networks and Applications (MONET), Special Issue on Wireless Sensor Networks, vol. 8, no. 4, pp. 427–442, August 2003.

[49] B. Karp and H. T. Kung, *"GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks,"* in 6th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (ACM MobiCom 2000), Boston, MA, 2000, pp. 243–254.

[50] A. Rao, S. Ratnasamy, C. Papadimitriou, S. Shenker, and I. Stoica, *"Geographic Routing without Location Information,"* in 9th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (ACM MobiCom 2003), San Diego, CA, September 2003.

[51] Y. Zhao, Y. Chen, B. Li, and Q. Zhang, *"Hop ID: A Virtual Coordinate-Based Routing for Sparse Mobile Ad Hoc Networks,"* IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 6, no. 9, pp. 1075–1089, September 2007.

[52] Claus Wehrle, Stefan Götz, Simon Rieche, *"Distributed Hash Tables",* R. Steinmetz and K. Wehrle (Eds.): P2P Systems and Applications, LNCS 3485, kapitulli 7 (pp. 79-93), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005.

[53] Rolando Blanco, Nabeel Ahmed, David Hadaller, L.G Alex Sung, Herman Li, Mohamed Ali Soliman, *"A Survey of Data Management in Peer-to-Peer Systems"*, University of Waterloo, 2006.

[54] J. Zhao and R. Govindan, *"Understanding Packet Delivery Performance In Dense Wireless Sensor Network,"* in 1st ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (ACM SenSys 2003), Los Angeles, CA, November 2003.

[55] N. Sharma, R.Mahirania, Ch. Prakash Verma, *"Reactive and Proactive Routing Algorithm Selection Through Simulation of Various Parameters in Applications Based on MANETS",* IJCST Vol. 4, Issue 4, Oct - Dec 2013.

[56] M. Mauve and J. Widmer, *"A Survey on Position-Based Routing in Mobile Ad-Hoc Networks,"* IEEE Network, vol. 15, no. 6, pp. 30–39, 2001.

[57] A. Caruso, S. Chessa, S. De, and A. Urpi, *"GPS Free Coordinate Assignment and Routing in Wireless Sensor Networks,"* in 24th IEEE Conference on Computer Communications (IEEE INFOCOM 2005), Miami, FL, March 2005.

[58] Samuel R. Madden, Michael J. Franklin, Joseph M. Hellerstein, Wei Hong: *"TinyDB: an acquisitional query processing system for sensor networks",* ACM Transactions on Database Systems (TODS) Volumi 30, çwshtja 1, Faqe 122-173, 2005.

[59] J. Ledlie, C. Ng, D. Holland, K.-K. Muniswamy-Reddy, U. Braun, and M. Seltzer, *"Provenance-Aware Sensor Data Storage",* in 21st International Conference on Data Engineering Workshops (ICDEW 2005), IEEE, April 2005, pp. 1189–1189.

[60] Yiwei Wu, Yingshu Li, *"Distributed Indexing and Data Dissemination in Large Scale Wireless Sensor Networks"*, Georgia State University, 978-1-4244-4581-3/09/, ©2009 IEEE.

[61] Al-Mamou, A.A.-B. Labiod, H., *"ScatterPastry: An Overlay Routing Using a DHT over Wireless Sensor Networks"*. Published in Intelligent Pervasive Computing, IPC. Page(s): 274 – 279, Print ISBN: 978-0-7695-3006-2. Publisher: IEEE, 2007.

[62] B. Greenstein, D. Estrin, R. Govindan, S. Ratnasamy, and S. Shenker, *"DIFS: A Distributed Index for Features in Sensor Networks,"* in 1st IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications, May 2003, pp. 163–173.

[63] D. Ganesan, D. Estrin, and J. Heidemann, *"Dimensions: why do we need a new data handling architecture for sensor networks?"* ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 33, no. 1, pp. 143–148, January 2003.

[64] B. Sheng, Q. Li, and W. Mao, *"Data Storage Placement in Sensor Networks,"* in 7th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (ACM Mobihoc 2006), Florence, Italy, May 2006, pp. 344–355.

[65] Abdalkarim Awad, *"Efficient Data Management in Wireless Sensor Networks using Peer-to-Peer Techniques",* PhD dissertation, University of Erlangen, · Dept. of Computer Science 7 Martensstr. 3 · 91058 Erlangen · Germany, 2009.

[66] C. M. Sadler and M. Martonosi, *"Data Compression Algorithms for EnergyConstrained Devices in Delay Tolerant Networks,"* in 4th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (ACM SenSys 2006). Boulder, CO: ACM, pp. 265–278, 2006.

[67] A. G. Dimakis, A. D. Sarwate, and M. J. Wainwright, *"Geographic Gossip: Efficient Aggregation for Sensor Networks,"* in 5th ACM/IEEE International Symposium on Information Processing in Sensor Networks (IPSN 2006). Nashville, TN: ACM, pp. 69–76, 2006.

[68] Cristian Negulescu, "An analysis of structured and unstructured P2P systems over MANET, Ryerson University", Toronto, Ontario, Canada, 2007.

[69] **Ezmerina Kotobelli,** Elma Zanaj, Mirjeta Alinci, Edra Bumçi, Mario Banushi *"A Modified Clustering Algorithm in WSN"*, (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications,Vol. 6, No. 7, pp.63-67, 2015.

[70] **Ezmerina Kotobelli**, Elma Zanaj, Edra Bumçi, Igli Tafaj, Blerina Zanaj, *"Energy efficient analysis of a proposed algorithm based on LEACH",* IJCSMS (International Journal of Computer Science & Management Studies) Vol. 18, Issue 01, 2015.

[71] **E. Kotobelli**, M. Alinci, E. Zanaj, *"An Improved Algorithm for Efficient Data Management in Wireless Sensor Networks"*, 28 May – 2 June, (Vth International Scientific Conference on Water, Climate and Environment), Ohrid, Macedonia, Proc. of BALWOIS 2012.