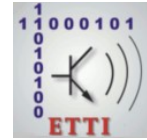




**POLITEHNICA UNIVERSITY  
OF BUCHAREST**



**Doctoral School of Electronics, Telecommunications  
and Information Technology**

**Decision No. 939 from 21-10-2022**

# **Ph.D. THESIS SUMMARY**

**Mohammed Kareem Hussein**

---

**DATA REDUCTION ALGORITHMS TO IMPROVE  
THE ENERGY EFFICIENCY OF SINGLE HOP OR  
CLUSTER BASED WIRELESS SENSOR NETWORKS**

**ALGORITMI PENTRU REDUCEREA VOLUMULUI DE DATE ÎN  
VEDEREA AMELIORĂRII EFICIENȚEI ENERGETICE A  
REȚELELOR WIRELESS DE SENZORI CU TRANSMISIE DIRECTĂ  
SAU ORGANIZATE ÎN CLUSTERE**

---

## **THESIS COMMITTEE**

Chairman	Prof. Dr. Eng. Gheorghe Brezeanu	from	Univ. Politehnica of Bucharest
Doctoral supervisor	Prof. Dr. Eng. Ion Marghescu	from	Univ. Politehnica of Bucharest
Referee	Prof. Dr. Eng. Ioan Nicolaescu	from	Military Technical University Ferdinand I Bucharest
Referee	Prof. Dr. Eng. Ioan Bogdan	from	Technical University “Gheorghe Asachi”
Referee	Prof. Dr. Eng. Calin Vladeanu	from	Univ. Politehnica of Bucharest

**BUCHAREST 2022**

# Conținut

<b>1. Introducere .....</b>	<b>1</b>
1.1. Problemă de cercetare, obiective și limitări.....	2
1.2. Conținutul tezei.....	3
<b>2. O prezentare generală a metodelor de reducere a datelor utilizate în rețelele de senzori fără fir.....</b>	<b>5</b>
2.1. Provocările rețelelor de senzori fără fir .....	7
2.2. Activități de cercetare în domeniul realizării unor rețele eficiente energetic.....	8
2.3 Compresia datelor livrate de senzori.....	9
2.3.1 Prezentare generală Comprimarea datelor senzorului.....	9
2.3.2 Metode de segmentare a datelor.....	10
2.4 Reducerea datelor.....	10
2.4.1. Reducerea datelor bazată pe codare .....	10
2.4.2 Reducerea datelor bazată pe prognoză.....	10
2.4.3 Reducerea datelor pe baza mai multor senzori.....	10
2.5. Concluzii .....	11
<b>3. Performanța algoritmilor de reducere a datelor pentru WSN folosind diferite seturi de date în timp real.....</b>	<b>12</b>
3.1.4. Bazat pe reducerea datelor – Un algoritm eficient de colectare și difuzare a datelor (EDCD2).....	13
3.2. Seturi de date în timp real.....	14
3.2.1. Data 1-AirQ.....	15
3.4. Simulare și rezultate.....	15
3.5. Concluzii.....	17
<b>4. Impactul diferitelor dimensiuni ale pachetelor de date asupra performanței WSN bazate pe cluster.....</b>	<b>17</b>
4.1. Algoritm de rutare LEACH.....	22
4.3. Efectul dimensiunii pachetului de date asupra performanței WSN bazate pe cluster - Scenariul 1.....	20
4.5. Concluzii.....	22
<b>5. Un algoritm hibrid de reducere a datelor (HDRA).....</b>	<b>22</b>
5.1. Scenariul sistemului.....	23
5.2. Prezentarea algoritmului HDRA.....	25
5.2.1. Implementarea și evaluarea performanței.....	25
5.2.2. Set de date artificiale.....	26
5.3. Analysis of the Results.....	26
5.3.1. Scenariul 1.....	28
5.4. Concluzii.....	29

<b>6. Concluzii și lucrări viitoare.....</b>	<b>29</b>
6.1. Concluzii .....	31
6.2. Contribuții originale .....	32
6.3. Lucrări viitoare .....	32
6.4. Lista publicațiilor.....	34
<b>Bibliography .....</b>	<b>34</b>

# lista de tabele

Table 3. 1 Eșantioane de date pentru nodul 1 din setul de date AirrQ.....	14
Table 4.3 Diverse dimensiuni de pachet de date.....	18
Table 5. 1 Parametrii folosiți în simulare.....	23

# lista figurilor

Figure 1. 1 Arhitectura WSN.....	1
Figure 2. 1 The architecture of WSN.....	6
Figure 3. 4 Diagrama bloc generală a algoritmului EDCD2.....	12
Figure 3. 6 Structure of Date1- AirQ.....	14
Figure 3. 11 Accuracy of Applying Various Algorithms for all Selected Nodes from DATE2-ARHO.....	15
Figure 4. 1 Proiectarea rețelei pentru protocolul LEACH.....	17
Figure 4.2 Desfășurarea temporală a algoritmului LEACH.....	18
Figure 4. 4 Suprafața câmpului senzorului 50m x 50m.....	19
Figure 4. 5 Numărul de noduri vii pe rundă prin aplicarea diferitelor dimensiuni de pachet.....	19
Figure 4. 6 Numărul de noduri vii per transmisii prin aplicarea diferitelor pachete.....	20
Figure 4. 7 Energia medie consumată pe transmisie.....	20
Figure 5. 1 Suprafața câmpului senzorului 200m x 200m.....	22
Figure 5. 5 Eșantion de date în timp real .....	25
Figure 5. 6 set de date artificiale .....	26
Figure 5. 7 Exemplu de set de date artificiale.....	26
Figure 5.8 Energia reziduală.....	27
Figure 5.9 Noduri vii pe transmisii.....	27
Figure 5.10 Noduri vii pe runde.....	28

# Lista de abrevieri

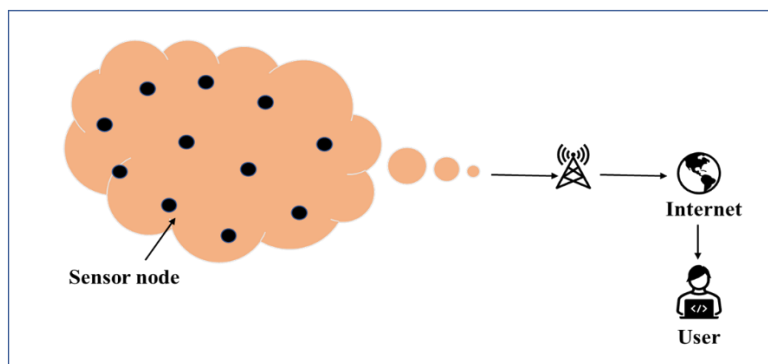
WSN	Wirless Sensor Network
IOT	Internet of Things
BS	Base station
Qos	Quality of service
CPU	Central processing unit
CH	Cluster head
CS-RD	Coding schemes are the based relative difference
CS-FP	Coding schemes are the based factor of precision
BLUE	Best linear unbiased estimation
DPS	Dual Prediction System
GW	Gateway
FC	Fusion centre
LEACH	Low-energy adaptive clustering hierarchy
EDCD2	An Efficient Data Collection and Dissemination
FICA	Fast Independent Component Analysis
NNF	Neural Network Fitting
NNTS	Neural Network Time Series
LRMV	Linear Regression with Multiple Variables
AirQ	Air Quality
ARHO	American River Hydrologic Observatory
GSB	Grand St. Bernard
IBRL	Intel Berkeley Research Lab
HDRA	Hybrid Data Reduction Algorithm
S	Sensor
N	Node
T	Temperature
H	Humidity

# Capitolul 1

## Introducere

Interesul crescut pentru rețelele de senzori fără fir (WSN) a dus la numeroase realizări tehnice și sute de lucrări elaborate de specialiști în ultimii câțiva ani. Progresele semnificative realizate în acest domeniu au permis o gamă largă de aplicații comerciale și militare [1].

WSN-urile sunt alcătuite dintr-un număr mare de noduri de senzori multifuncționale, mici, cu costuri reduse, de putere redusă, care comunică fără fir pe distanțe scurte. Nodurile din WSN sunt, de obicei, distribuite aleatoriu în regiunea de interes și sunt utilizate pe scară largă pentru urmărirea și monitorizarea diverselor procese sau fenomene. Un astfel de dispozitiv poate detecta date din zona înconjurătoare pe care trebuie să le transmită la stația de bază (așa cum se poate observa în Figura 1.1).



*Figure 1. 1 Arhitectura WSN*

Odată cu evoluția tehnologiei, au fost identificate noi și noi utilizări practice ale WSN. Aplicațiile WSN pot fi împărțite în două mari categorii: supraveghere și urmărire. Supravegherea este utilizată pentru a analiza, gestiona și controla funcționarea unui sistem în timp real. Urmărirea este folosită, în mod obișnuit, pentru a supraveghea evoluția unui eveniment, a unui individ sau a unui animal. Monitorizarea mediului interior/exterior, supravegherea comercială, agricultura de precizie, monitorizarea biomedicală sau a sănătății, monitorizarea rețelei electrice și monitorizarea locației în aplicațiile militare sunt exemple de utilizări existente de monitorizare. Aplicațiile de urmărire includ urmărirea traficului de mediu, urmărirea țintelor militare [2] și așa mai departe. WSN au diverse proprietăți care le diferențiază de alte tipuri de rețele. Unele dintre cele mai importante caracteristici ale lor sunt menționate pe scurt mai jos [3] [4]:

- **Energia bateriei.** Ca urmare a epuizării energiei, mai multe dintre nodurile-senzor devin invalide. Se recomandă să fie abordate procese și algoritmii predefiniți pentru conservarea energiei bateriei și pentru a reduce impactul

acestui efect. În plus, cantitatea de energie utilizată de nod pentru transmiterea datelor depășește cu mult cantitatea de energie utilizată pentru realizarea unor calcule. Cantitatea de electricitate pe care o consumă un nod senzor pentru a trimite o cantitate relativ mică de date poate fi folosită pentru a implementa mii de linii de cod. Prin urmare, pentru a extinde la maximum de durată de viață a rețelei de senzori wireless, una dintre cele mai importante probleme care trebuie analizată de experții în comunicații este cum să reducă cantitatea de energie consumată în realizarea transmisiunilor de date.

- **Dinamica rețelei.** Unele noduri de senzori se pot deconecta de la rețea, fie pentru că bateriile din dispozitivele lor au rămas fără energie, fie din cauza unei alte probleme. Din cauza evoluției sarcinilor atribuite rețelei, este posibil ca anumite noduri senzori să devină active în anumite intervale de timp sau ca rețeaua să primească noduri noi. Din acest motiv, este foarte probabil ca topologia rețelei să fie modificată. Prin urmare, topologia WSN ar trebui să conțină caracteristici precum reconfigurarea, regenerare, auto-depanare și așa mai departe.
- **Comunicații multi-hop.** În WSN, nodurile-senzor pot comunica doar cu vecinii lor direcți. Dacă un nod trebuie să se conecteze la un alt nod care se află în afara raza de acțiune a transmițătorului radio al nodului, acesta trebuie să utilizeze o cale multi-hop care implică noduri intermediare.

## 1.1 Probleme de cercetat, obiective și limitări

Rețelele de Senzori Wireless achiziționează date de mediu multivariabile. Ele au resurse și energie limitate. Comunicația radio între nod și stația de bază este un consumator major de energie. De asemenea, nu toate aplicațiile WSN pot folosi metode de reducere a datelor. Aceste tehnici economisesc puterea nodului-senzor în moduri diferite. Proiectarea strategiilor de reducere a datelor pentru nodurile WSN cu numeroși senzori este crucială. Ca urmare, principalele obiective urmărite în activitatea de cercetare au fost următoarele:

- Realizarea unei evaluări critice a metodelor actuale de reducere a datelor și a protocoalelor de rutare pentru a crește eficiența energetică a WSN.
- Investigarea impactului dimensiunilor pachetelor de date asupra performanței WSN bazate pe cluster.
- Dezvoltarea unor noi abordări de reducere a datelor în WSN și analiza performanțelor acestora.
- Dezvoltarea unui nou algoritm hibrid de reducere a datelor pentru WSN bazate pe clustere.
- Evaluarea performanței algoritmului sugerat și compararea acesteia cu cea a altor algoritmi folosind o varietate de metrici.



Acest studiu are următoarele ipoteze și limitări:

- i. Caracteristicile de bază ale modelului de sistem luat în considerare în acest studiu sunt:
  - Fiecare nod își transmite datele către nodul principal al clusterului (*cluster head*).
  - Nodul principal este un nod normal, ceea ce înseamnă că are energie limitată în baterie.
  - Nodul principal agregă datele de la membrii clusterului.
  - Nodul principal are limitări în dimensiunea pachetelor sale.
- ii. Algoritmii propus și protocolul bazat pe cluster este testat folosind diferite seturi de date artificiale definite conform mai multor scenarii (a se vedea capitolul 5).
- iii. Metricile de performanță care vor fi utilizate în acest studiu sunt acuratețea datelor transmise, rata consumului de energie, durata de viață a nodurilor senzorialor etc.
- iv. Pentru a simula algoritmi și pentru a evalua performanțele acestora este folosit mediul MATLAB.

## 1.2 Conținutul tezei

**În Capitolul 2** este realizată o prezentare generală a algoritmilor de reducere a datelor utilizați în WSN. Voi începe cu o prezentare generală a WSN care include: principalele provocări ale WSN; utilizarea eficientă a energiei în WSN; compresia datelor de la nodul-senzor. Mai mult, voi trece în revistă lucrările anterioare care s-au concentrat pe algoritmi de reducere a datelor și de rutare, cu scopul de a reduce consumul de energie al nodului-senzor. În final, se evidențiază limitările studiilor actuale și oportunitățile de cercetare ulterioară.

**În capitolul 3** voi investiga diferite metode de reducere a datelor pentru WSN. Aceste metode sunt: EDCCD2, FICA, NNF, NNTS și LRMV. Voi folosi seturi de date existente pe Internet: Data1-AirQ, Data2-ARHO, Data3-GSB și Data4\_Intel. Parametrii observați sunt: Acuratețea datelor recepționate, Raport de reducere a datelor și consumul total de energie.

**În capitolul 4** voi investiga impactul dimensiunii pachetelor de date asupra performanțelor WSN bazate pe cluster. Conform rezultatelor acestui studiu (care confirmă anticipările teoretice), dimensiunea pachetului de date trimis influențează destul de mult ciclul de viață al WSN. Pentru analizele realizate prin simulare am folosit mediul Matlab. Indicatorii de performanță considerați au fost: consumul de energie pe transmisie, numărul de noduri active pentru fiecare rundă și numărul de noduri active pe transmisie.

**În capitolul 5** este prezentat un nou algoritm hibrid de reducere a datelor (HDRA) pentru Rețele de Senzori fără Fir bazate pe clustere dezvoltat în cursul stagiului de doctorat. Este explicat în detaliu algoritmul HDRA dezvoltat, luând în considerare atât procesele de reducere a datelor cât și cele de rutare. Scopul general al algoritmului HDRA este de a reduce cantitatea de energie pe care o consumă fiecare nod sensor. Algoritmul HDRA propus, a fost evaluat prin utilizarea unui set de date artificiale definite în situații cât mai apropiate de cele reale pornind de la baze de date existente pe Internet.

**Capitolul 6** va fi dedicat concluziilor generale privind rezultatele, contribuțiilor personale, prezentarea activității de diseminare precum și a perspectivelor de evoluție, în continuare a activității mele de cercetare.

# Capitolul 2

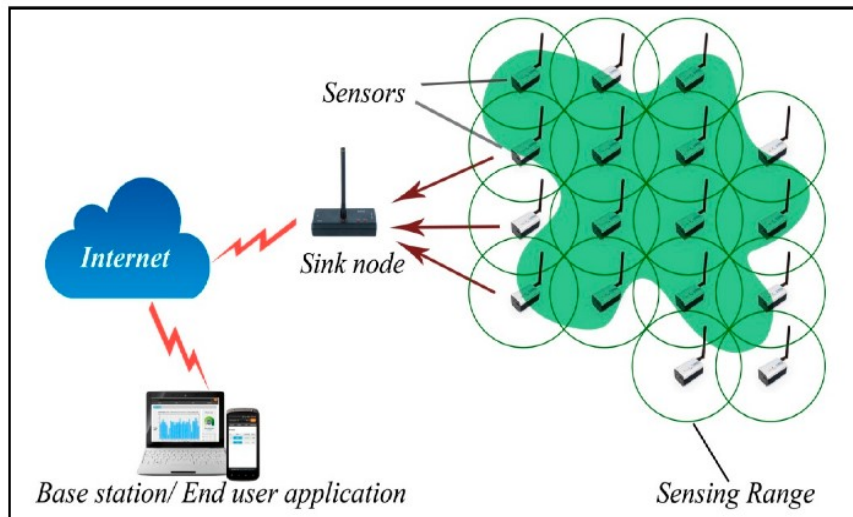
## O prezentare generală a metodelor de reducere a datelor utilizate în rețelele de senzori fără fir

Așa cum s-a menționat în capitolul 1 rețelele de senzori fără fir sunt alcătuite din diferite dispozitive autonome care sunt distribuite spațial pentru a asigura o monitorizare cât mai precisă a unor parametri fizici și de mediu folosind senzori selectați în mod corespunzător. WSN au conexiuni wireless la Internet printr-un nod stație de bază. În ultima perioadă se urmărește folosirea conceptelor asociate Internetului Obiectelor (IoT) și Rețelelor definite prin Software (Defined Networking - SDN) pentru a face controlul rețelei mai simplu, mai ușor și mai eficient. SDN este o schimbare de paradigmă promițătoare, capabilă să permită o rețea programabilă fără fir simplificată și robustă pentru a servi o gamă largă de obiecte fizice și aplicații [7].

IoT este o secțiune integrată a infrastructurii Internet și poate fi considerată a fi un model de comunicare, cu o perspectivă de conectivitate între toate obiectivele implicate în activitățile vieții de zi cu zi. Acest lucru face ca IoT să fie un concept în expansiune promovând accesul universal la Internet, care facilitează interacțiunea între dispozitive de diverse tipuri [8]. WSN include mai multe entități compacte, cu consum redus de energie cum sunt nodurile-senzor multifuncționale care se conectează pe distanțe scurte între ele. Arhitectura WSN prezentată în Figura 2.1 evidențiază, de asemenea, diferitele componente pentru WSN, inclusiv noduri-senzor, o poartă și o stație de fuziune [9].

Nodurile-senzor: sunt dispozitive electronice autonome care pot detecta, stoca date, realiza calcule simple și, în final realizează transmisiunile de date către nodul poartă. stocarea comunicațiilor. Nodul senzor are două componente principale, și anume placa-senzor și transceiverul. Primul este senzorul care dobândește informații din mediul înconjurător (intensitate lumina, nivelul unor substanțe chimice și temperatura, umiditate etc.) Transceiverul va asigura transmiterea datelor culese și prelucrate. Cele două sunt integrate pe un placă de bază (pad). Stația de bază (BS): este concentratorul de date, care au fost trimise de către nodurile-senzor,. În plus, stația de bază (BS) poate configura de la distanță sau chiar reconfigurează nodurile terminale.

Gateway (nodul poartă): conectează rețele externe cu WSN dacă este nevoie. În ceea ce privește mesajele de date, acestea sunt trimise la destinație direct sau folosind mai multe salturi pentru a reduce consumul de energie pentru transmisie.



**Figure 2. 1** Arhitectura rețelelor de senzori fără fir (WSN) [9].

## 1- Aspecte cu privire la proiectare

Există mulți factori care trebuie avuți în vedere la proiectarea unei rețele de senzori, cum ar fi programabilitatea, mentenabilitatea, accesul la resurse, scalabilitatea, toleranța la erori etc. [9]. Amintim câteva aspecte cu privire la primii factori menționați

- Programabilitatea: ar putea fi necesară programarea nodurilor în unele cazuri, cum ar fi adăugarea unei noi caracteristici pentru monitorizare. De asemenea, unele sarcini trebuie făcute de la distanță; de exemplu, existența unor moduri WSN în locuri care nu sunt accesibile.
- Mentenabilitatea: menținerea în funcțiune, depanarea, adaptarea rețelei la schimbările tipologice este o necesitate, cum ar fi adăugarea unui nou nod, care include și unele modificări generale a topologiei rețelei.
- Resursele: în cazurile în care resursele de energie sunt limitate, optimizarea consumului de energie este o problemă majoră. Printre aceste probleme se poate remarca incapacitatea sau dificultatea de a schimba bateriile, care are un efect negativ asupra duratei de viață a nodurilor-senzor.

## 2- Colectarea și prelucrarea datelor

Rețelele de senzori sunt adaptabile în ceea ce privește procesul de detecție de date, dar are unele probleme în ceea ce privește obținerea unei durate de viață prelungite din cauza bugetului energetic limitat, terminalele bazându-se pe baterii cu capacitate limitată. Capacitatea rețelelor de senzori fără fir (WSN) de a colecta date și de a le furniza datele utilizatorului pentru prelucrare este motivația fundamentală pentru folosirea lor în multe aplicații informatice. Una dintre strategiile folosite pentru reducerea duratei transmisiunilor, menținând în același timp o calitate corespunzătoare a datelor, este de a face predicții bazate pe modele deduse prin analiza datelor deja colectate. Această tehnică este cunoscută sub denumirea de colectare de date bazată pe model și este adecvată în aplicațiile care presupun raportarea frecventă a datelor culese.

În situații ca acestea, poate fi dezvoltat local pe unul dintre noduri un model de evoluție a datelor care poate fi folosit pentru a prelucra în prealabil informațiile care ar trebui raportate la nodul de colectare a datelor. Atâta timp cât datele colectate și prognoza modelului sunt consecvente una cu cealaltă, se pot elimina unele transmisiuni. Așadar, numai în situațiile când datele nu evoluează identic pe model și în realitate se impune ca datele detectate să le înlocuiască pe cele rezultate din model și să fie trimise la nodul receptor.

## 2.1 Problemele cu care se confruntă rețelele de senzori fără fir

Există multe probleme cu care se confruntă aceste rețele cum ar fi: energia limitată, securitatea, alegerea arhitecturii, colectarea și transmiterea datelor, Structura eterogenă, necesitatea unor transmisii multimedia, prelucrarea datelor în timp real, localizarea nodurilor. În acest rezumat mă voi opri pe scurt la trei, pe care le consider mai importante.

- **Energia:** Senzorii necesită energie pentru a efectua sarcinile pentru care au fost concepuți. Colectarea datelor, manipularea informațiilor și transmiterea rezultatelor către stația de bază necesită energie; de asemenea, monitorizarea continuă a informațiilor destinate urmării evoluției procesului supravegheat necesită un consum suplimentar de energie la nodurile-senzor chiar și atunci când acestea sunt inactive. După ce au fost epuizate, bateriile de alimentare trebuie înlocuite sau reîncărcate. Din cauza diverșilor factori, reîncărcarea sau înlocuirea bateriilor poate fi dificilă [11].
- **Securitatea:** WSN nu este folosit numai pe câmpul de luptă, ci și pentru supraveghere, monitorizare a clădirilor și alarme antiefracție, precum și în sisteme critice precum aeroporturi și spitale. Acest lucru face ca securitatea să fie o problemă importantă. În WSN, trimiterea datelor între nodurile-senzor sau între senzori și BS trebuie păstrată privată. Dacă nu este, cineva ar putea urmări conversația și folosi datele în interes propriu sau poate interveni pentru a le altera. În rețelele de senzori, nodul și BS trebuie să verifice dacă datele pe care le-au primit sunt de la un transmițător de încredere și nu de la un atacator (date false). Informațiile false pot face dificilă luarea unor decizii corecte.
- **Arhitectura:** Arhitectura este definită ca un set de reglementări pentru realizarea funcționalității, precum și o colecție de interfețe, componente funcționale, protocoale și structuri hardware. Este posibilă schimbarea numărului de noduri iar rețelele de senzori ar trebui să aibă un set stabil de proceduri de comunicare la care să se conformeze. Totodată și calitatea serviciului (QoS) trebuie să fie adaptabilă pentru ca rețeaua să se poată adapta la o gamă largă de situații. Viteza de calcul și ratele de transmisie pot duce la performanțe energetice suboptime.

## 2.2 Activități de cercetare în domeniul realizării unor rețele eficiente energetic

Performanța energetică este o condiție esențială în rețelele wireless din cauza limitărilor energetice ale senzorilor. Prin urmare, trebuie găsite modalități de a reduce consumul de energie și de a menține calitatea datelor transmise. Multe lucrări publicate în ultimul timp vizează îmbunătățirea performanței rețelei concentrându-se pe procesarea, distribuția și planificarea datelor. Aspectele vizate sunt:

- Reducerea datelor.
- Optimizarea funcționării secțiunii radio.
- Alegerea metodelor de modulație optime
- Rutarea eficientă energetic.
- Folosirea unor scheme de repaus/trezire a nodurilor-senzor.
- Identificarea unor soluții de încărcare.

În acest rezumat mă voi opri pe scurt la primele trei.

- **Reducerea datelor:** Pentru a limita cantitatea de date livrate la stația de bază, nodurile existente pe rutele de transmisiune realizează fuziunea datelor. Comprimarea datelor este o metodă de codificare a informațiilor care reduce numărul de biți care reprezintă mesajul inițial. O economie importantă de energie se poate obține prin scurtarea timpilor de transmisie prin reducerea dimensiunilor pachetelor de date. De asemenea, algoritmi de compresie existenți pot fi inaplicabili unor noduri-senzor din cauza limitărilor de resurse. Pentru a rezolva asemenea situații, au fost concepute strategii speciale de adaptare la capacitățile de procesare și energetice ale nodurilor fără fir [14] [15] [13]. Autorii lucrării [16], au conceput un sistem adaptiv de agregare a datelor cu scopul de a utiliza corelația spațială dintre nodurile senzorilor. Este un mecanism utilizat la nivelul nodului principal al clusterelor cu date unidirecționale, iar fiecare nod membru al clusterului include acceptă un singur senzor. În [17], autorii au sugerat două abordări pentru a minimiza dimensiunea pachetelor generate la CH, luând în considerare acuratețea predicției datelor detectate la stația de bază. Schemele propuse sunt bazate diferența relații (CS-RD) respectiv pe un factor asociat preciziei (CS-FP).
- **Optimizarea funcționării secțiunii radio:** modulul radio este componenta principală care poate duce la epuizarea bateriilor la nodurile senzor. Pentru a reduce consumul de energie corespunzător comunicațiilor fără fir, cercetătorii au încercat să optimizeze parametrii radio, cum ar fi schemele de codare și modulație, puterea de transmisie și directivitatea antenei.
- **Folosirea metodelor de modulație optime:** urmărește găsirea parametrilor optimi de modulație care au ca rezultat consumul minim de energie pentru secțiunea radio. [13].

## 2.3 Compresia datelor livrate de senzori

Există o varietate de aplicații în care corectitudinea deciziilor poate fi susținută îmbunătățită prin utilizarea unor date obținute de la senzori distribuiți. În asemenea situații pentru a reduce consumul datele trebuie mai întâi comprimate. Acest lucru este necesar deoarece nodul de colectare are un număr redus de conexiuni și capacitate limitată de calcul. O metodă pentru atingerea acestui obiectiv care nu implică pierderea de informații este reducerea numărului de pachete de date. Este posibil să se utilizeze metoda denumită cea mai bună estimare liniară imparțială (best linear unbiased estimation - BLUE), pentru a comprima local datele de la senzori la o dimensiune acceptabilă.

### 2.3.1 Stadiul cercetărilor în compresia datelor livrate de senzori

O rețea de senzori fără fir (WSN) este alcătuită din mai multe noduri-senzor separate care lucrează împreună pentru a îndeplini o anumită sarcină. Fiecare nod senzor wireless are un număr de senzori, o unitate centrală de procesare (CPU), un modul de comunicație și o sursă de energie (de exemplu o baterie).

WSN-urile ridică o serie de probleme, dintre care cea mai importantă este cât de bine folosesc energia care poate fi livrată de sursă. Acest lucru se datorează faptului că durata de viață a bateriei are un efect mare asupra duratei rețelei. Energia stocată în baterie este consumată în timpul procesării și transmisiei. S-a constatat că aproximativ 80% din energia utilizată este pentru transmiterea datelor prin rețea.. Deci aici trebuie acționat pentru ca nodurile senzorilor să dureze mai mult. Au existat multe soluții propuse pentru a reduce consumul de energie [24]. Au fost analizate performanțele diferiților algoritmi care pot reduce numărul de pachete de date transmise de nodurile senzoriale din cadrul WSN. Prin aceste comparații s-a constatat că o cale eficientă constă în reducerea dimensiunii pachetelor deci a duratei transmisiilor sau în reducerea numărului de pachete de date de la noduri la receptorul stației de bază [25].

### 2.3.2 Metode de segmentare a datelor

Pentru a realiza partiționarea se pot folosi două metode de grupare de bază. O primă metodă, metoda iterativă, provine din metodele de partiționare folosite în cercetarea segmentării pieței. Acest tip de partiționare are două dezavantaje. În primul rând, utilizarea diferitelor categorii de noduri a crescut dificultatea de a găsi segmente de rețea omogene. În al doilea rând, în acest caz este necesar ca investigatorul să decidă în prealabil numărul de clustere care urmează să fie formate. În situațiile tipice, un investigator începe orbește, deoarece este posibil să nici nu cunoască numărul de noduri.

A doua categorie de metode o reprezintă metodele ierarhice, recunoscute în mod obișnuit ca metode de oarbe, iar cele mai multe dintre ele încep prin identificarea perechilor de noduri care se potrivesc între ele pe baza unor caracteristici comune. Aceste metode ierarhice oferă un punct de început fără nicio prevedere cu privire la clustere rezultate, care vor fi echilibrate și omogene. O altă metodă alternativă mai recentă este metoda analizei clusterelor în două faze. Adică, investigatorul începe cu

metoda ierarhică și apoi folosește metoda de partiționare iterativă. Metoda ierarhică produce clusterelor incipiente, iar apoi procesul de partiționare reiterat leagă mai multe clusterelor printr-o serie de treceri de detașare, generate de computer. În timpul ciclurilor de iterație, se schimbă noduri între clusterelor pentru a îmbunătăți omogenitatea clusterelor, ceea ce face ca metoda în două etape să fie capabilă să ofere clusterelor mai eficiente [15].

## **2.4. Reducerea datelor**

Am identificat lucrări actuale care vizează îmbunătățirea performanțelor rețelei concentrându-se pe procesarea, distribuția și planificarea datelor. În cele ce urmează voi da câteva considerente cu privire la trei metode de reducere a datelor: reducerea datelor bazată pe codare, reducerea datelor bazată pe prognoză, reducerea datelor bazată pe senzori multipli.

### **2.4.1 Reducerea datelor bazată pe codare**

În [29], autorii au prezentat o propunere pentru un sistem de stocare a datelor distribuite configurabil, care este capabil să prelucreze date criptate și să controleze rezultatul folosind tehnologia multi-cloud, și care are următoarele caracteristici: cifru homomorf, schema de partajare a cheilor secrete ponderată și coduri de corectare a erorilor.

În [32], pentru a minimiza consumul general de energie autorii au sugerat o abordare cu acronimul LASSO (Operator cu cea mai bună reducere și selecție a datelor) folosind agregarea datelor senzorilor cu mai multe variabile în spații cu mai multe coordonate, bazându-se pe forma și caracteristicile datelor livrate de senzori,.

### **2.4.2 Reducerea datelor bazată pe predicției**

Am identificat multe abordări care încearcă reducerea cantității de date prin folosirea predicției modului în care vor evolua datele. De exemplu în [37], autorul a sugerat un sistem cu dublă predicție (Dual Prediction System - DPS) care presupune transmiterea modelului predictiv de la oricare nod senzor la gateway-uri (GW). Un alt studiu [38], propune o metodă de reducere a datelor folosind seturi de indicatori denumite Seturi de indicatori dependenți (DS), metodă care este bazată pe conexiune și în care se transmit datele derivate prin formule luând în considerare seturi de indicatori corelate (Regress sau Indicators Set - RS).

### **2.4.3 Reducerea datelor bazată senzori multipli**

Atunci când sistemul include senzori multipli trebuie să se ia în considerare informații mai complexe deduse prin analiza diverselor caracteristici ale datelor individuale. De exemplu În lucrarea [6] autorii au sugerat o abordare interesantă pentru a obține un model eficient de colectare a datelor în timp real pentru rețele de senzori multivariați fără fir, numite aplicații RDCM la care se reduce sarcina utilă (payload) la fiecare senzor înainte de a fi transmisă la centrul de fuziune (FC). În [14] autorii explorează o



nouă abordare pentru evaluarea eficienței diferitelor modele multivariate de reducere a datelor WSN prin evaluarea pragului modelului în timpul procesului de antrenament.

## 2.5 Concluzii

WSN face posibilă detectarea flexibilă a unor parametrii de mediu sau de proces, dar se confruntă cu problema cerinței de a prelungi durata de viață a rețelei care are la bază un buget de energie restrâns (alimentarea cu baterii). S-a constatat că frecvent cauza primară de epuizare a energiei este procesul de comunicație. În acest capitol sunt evidențiate unele dintre eforturile altor cercetători anterioare care au fost depuse cu privire la metodele de reducere a datelor pentru WSN, limitările acestora precum și unele direcții potențiale pentru continuarea studiilor în aceste domenii.

Majoritatea aplicațiilor care folosesc cele mai recente tehnologii de reducere a datelor se referă la nodurile senzor care pot transmite date direct (într-un singur salt) către stația de bază (BS). Există însă multe aplicații care folosesc protocoale de rutare (multi-hop) iar adesea acestea nu iau în considerare posibilitatea reducerii datelor. Prin urmare, în această lucrare urmărim propunerea unui algoritm luând în considerare atât reducerea cât și rutarea datelor, pentru a realiza reducerea consumului de energie la fiecare nod senzor și pe ansamblul rețelei.

Ca urmare a activității desfășurate pentru a elabora acest capitol am publicat următoarele lucrări:

[70] M. K. Hussein, "*Data Reduction Algorithms for Wireless Sensor Networks Applications: Review*," 2021 3rd International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA), 2021, pp. 1-7, Doi: 10.1109/HORA52670.2021.9461309.

[7] H. Mohammed, R. M. KHALEEF AH, M. k. Hussein and I. Amjad Abdulateef, "*A Review Software Defined Networking for Internet of Things*," 2020 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA), 2020, pp. 1-8, Doi: 10.1109/HORA49412.2020.9152862.

# Capitolul 3

## Analiza performanțelor algoritmilor de reducere a datelor pentru WSN folosind diferite seturi de date în timp real

Eficiența energetică a unui nod senzor este afectată de procesul de transmitere a pachetelor de date de la nodul senzor la stația de bază (BS) și de cantitatea de date transmise. Prin urmare, această secțiune utilizează o diversitate de seturi de date pentru a examina modul în care tehnicile de reducere a datelor existente afectează performanțele WSN. Tehnicile de reducere a datelor analizate sunt: „Fitting Neural Network (NNF)”, „Neural Network Time Series (NNTS)”, „Regresia liniară cu mai multe variabile (LRMV)”, „Algoritm de Colectare și diseminare eficientă a datelor (EDCD2)” și „Fast Independent Component Analysis - FICA”. Bazele de date identificate și folosite sunt: Data 1-AirQ, Data 2-ARHO, Data 3- GSB, Data 4- Intel. Valorile de performanță urmărite sunt: consumul de energie, acuratețea datelor și procentul de reducere a datelor. Modul de abordare fiind asemănător am reținut în acest rezumat numai algoritmul EDCCD2.

### 3.1.4 Algoritmi Bazați pe reducerea datelor – Un algoritm eficient de colectare și difuzare a datelor (EDCD2).

EDCD2 este o schemă de actualizare a datelor măsurate la BS [54]. EDCCD2 a fost folosit pentru a scădea numărul de pachete transferate de la noduri (senzori multipli). Trebuie remarcat faptul că există două versiuni ale acestui algoritm: EDCCD1 și EDCCD2 care se adresează nodurilor senzori cu unul și, respectiv, cu mai mulți senzori. De multe ori modulul senzor livrează date cu o singură caracteristică variabilă deci sunt date univariate. Acest lucru se datorează faptului că modulul senzor este menită să colecteze doar un tip de date (lumină, temperatură sau umiditate). În alte cazuri se folosesc module senzor grupând mai mulți senzori deci datele rezultate sunt multivariate, astfel încât să poată satisface cerințele unei game mai largi de aplicații [14].

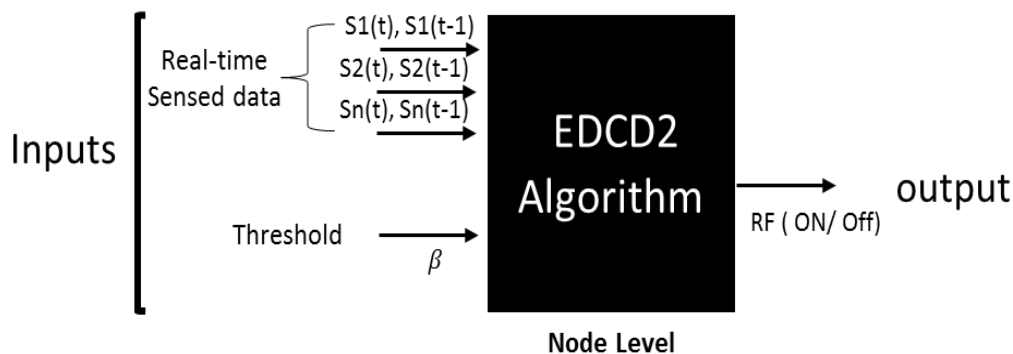


Figure 3. 4 Schema bloc generală a algoritmului EDCCD2

În această secțiune, este descrisă aplicarea EDCD2 pentru a reduce dimensiunea datelor transferate. Figura 3.4 prezintă o schema bloc care pune în evidență funcționarea algoritmului EDCD2. Ideea de bază se referă la evitarea transmiterii datelor detectate dacă valoarea diferenței relative dintre datele curente detectate  $S(t)$  și ultimele date transmise  $S(t-1)$  este mai mică decât o valoare de prag  $\beta$  pentru toți senzorii de același tip, în caz contrar, datele detectate  $S(t)$  vor fi transmise. O descriere detaliată a algoritmului EDCD2 este dată prin următorul pseudocod [54].

---

//EDCD2//

---

```

1  Inputs:
    $S_i(t), S_i(t - 1)$  for each sensor  $S_i$  and  $\beta$ .

2  Output:  $D_s$ 
3  Begin:
4  For  $i = 1:n$  Do //  $i=1, 2, n$  ;
5  Set  $S_i(t - 1) \leftarrow$  last measuring value transmitted by the sensor  $S_i$ 
6  Read: the sensor value ( $SV_i$ ) at  $t$  time
7  Set  $S_i(t) \leftarrow (SV_i)$ 
8  //Calculate the relative differences ( $R_f$ )
9   $R_f = \text{Abs}(S(t) - S(t - 1)) / (S(t) + S(t - 1)) \times 0.5$ 
10 If  $R_f > \beta$  Then
11 Set  $SS_i \leftarrow 1$ 
12 Else: Set  $SS_i \leftarrow 0$ 
13 End if
14 End For
15 // Recalculate the node data size ( $D_s$ )
16 Set  $D_s \leftarrow 0$ ;
17 For  $i = 1:n$  Do
18  $D_s = (D_s + (SV_i \times SS_i))$ 
19 End For
20 // The decision to send data
21 If  $D_s = 0$  Then
22  $RF$ transmit (Off) // no update / no send
23 Else:  $RF$ transmit (On) // update(send)
24 End If
25 End Algorithm

```

---

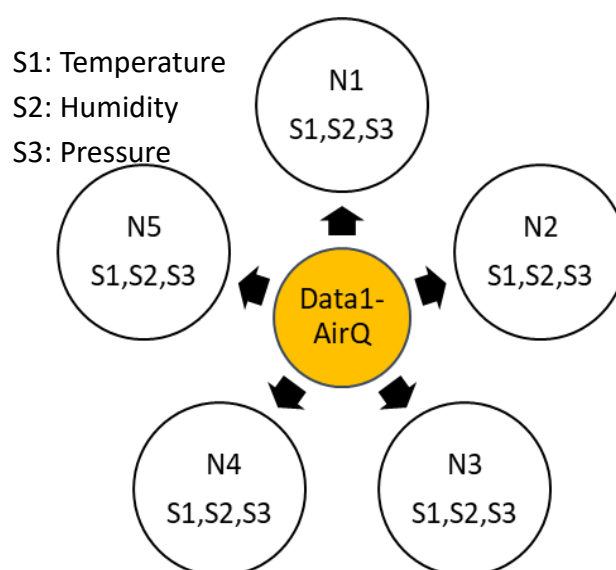
## 3.2 Seturi de date în timp real

Algoritmii considerați sunt evaluați pe diferite seturi de date de referință, așa cum este descris în următoarele subsecțiuni. Este important de reținut că, de obicei, doar o parte din datele de la anumite noduri ale acestor seturi de date sunt utilizate pentru a evalua performanțele metodelor actuale de reducere a datelor în WSN [57][58][59] [6][60] [61][57] [58][59][6][60][61][ 62]. Motivul este că majoritatea metodelor de reducere a datelor se concentrează pe reducerea cantității de date transferate fără a lua în considerare modul în care aceste date sunt transmise către CH /BS. Cu alte cuvinte, ei presupun că nodurile senzor pot transmite direct datele detectate către CH/BS. Am identificat și folosit pentru evaluarea algoritmilor prezentați în secțiunea 3.1 (NNF,

NNST, EDCD2, LRMV și FICA) patru baze de date: AirQ (Air Quality), ARHO (American River Hydrologic Observatory) GSB (Grand St. Bernard), IRBL, (Intel Berkeley Research Lab). În acest sumar am reținut numai prezentarea primului set de date alături de câteva eșantioane de date de la nodul 1.

### 3.2.1 Date 1-AirQ

Date 1- Calitatea aerului (AirQ) este un set de date WSN, inclusiv senzori de presiune, umiditate și temperatură a aerului. Aceste date ale senzorilor au fost colectate de 56 de noduri de senzori în anul 2017 la Cracovia, Polonia. Numărul eșantionului este 3500. Pentru mai multe informații, consultați sursa principală [63]. Figura 3.6 prezintă structura Data1-AirQ. În plus, unele mostre de valori ale senzorilor sunt prezentate în tabelele 3.1



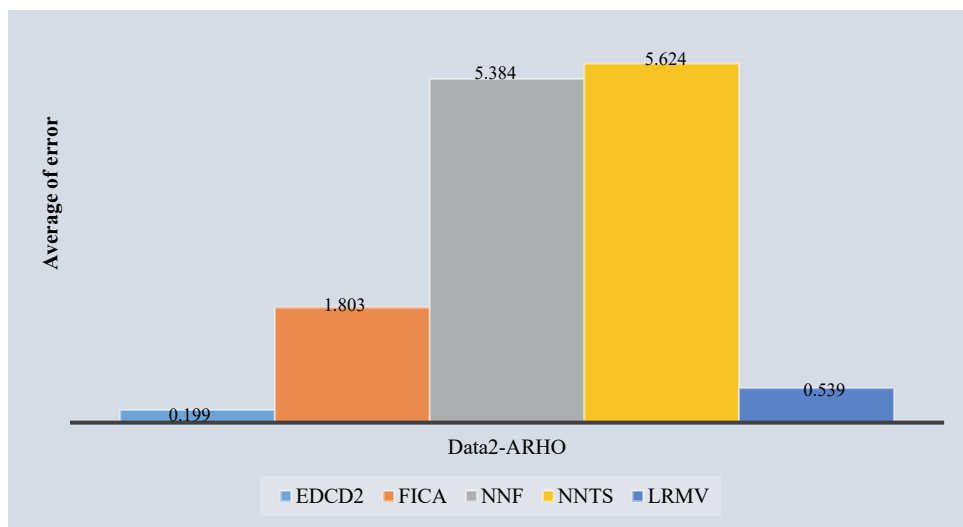
**Figure 3. 6** Structura setului de date 1 - AirQ

**Table 3. 1** Eșantioane de date de la nodul 1 – Setul de date1- AirQ

Sample	Temperature[°C]	Humidity [%]	Pressure [Pa]
1	6	92	101906
2	6	92	101869
3	5	94	101837
4	5	92	101834
5	4	94	101832
6	5	94	101833
7	9	78	101842
8	11	66	101831
9	15	50	101798
10	17	42	101745

### 3.4 Simulare și rezultate

În figura 11 sunt sintetizate rezultatele referitoare la acuratețea algoritmilor analizați (EDCD2, FICA, NNF, NNTS și LRMV) pentru nodurile selectate N1, N2, N3, N4, N5 în cazul setului de date DATA2-ARHO. Se poate observa că, algoritmul EDCD2 are cea mai bună acuratețe în comparație cu ceilalți algoritmi FICA, NNF, NNTS și LRMV. Concluzia se bazează eroarea absolută totală medie care are cea mai mică valoare (0,199) atunci când EDCD2 este utilizat pentru toate nodurile. EDCD2 nu se bazează pe metode de antrenament pentru reducerea datelor precum FICA, NNF, NNTS și LRMV. Ideea cheie a EDCD2 este de a evita transmiterea datelor detectate dacă valoarea diferenței relative dintre datele curente detectate  $S(t)$  și ultimele date transmise  $S(t-1)$  este mai mică decât valoarea de prag  $\beta$  pentru toți senzorii de același tip, în caz contrar, datele detectate  $S(t)$  vor fi transmise.



*Figura 3. 11 Corectitudinea datelor transmise la aplicarea algoritmilor analizați pentru nodurile selectate din setul de date - ARHO*

În comparație cu FICA, NNF, NNTS și LRMV, așa cum este descris în pseudocod, aceste metode necesită ca parametrii de referință să fie determinați în timpul fazei de antrenament, iar validarea modelului va fi afectată de valoarea acestor parametri și de numărul de mostre. Mai mult, acuratețea modelelor de reducere a datelor care depinde de antrenament scade în timp datorită creșterii erorii de aproximare. Ca atare, algoritmi NNTS și NNF au cele mai slabe performanțe în ceea ce privește acuratețea erorilor absolute medii fiind de 5,38 și, respectiv, 5,62. În concluzie, EDCD2 este un algoritm de reducere a datelor bazat pe prag eficient în cazul unor sisteme de culegere de date care sunt lent variabile în timp.

### 3.5 Concluzii

Acest capitol investighează influența tehnicilor de reducere a datelor asupra funcționării WSN prin intermediul diferitelor seturi de date. În MATLAB, experimentele sunt efectuate pentru diverse strategii pentru a reduce cantitatea de date furnizate. Seturile de date în timp real sunt utilizate pentru a testa variantele EDCD2, NNST, FICA, LRMV

și NNF. Metricile de performanță considerate au fost: precizia datelor, consumul de energie și procentul de reducere a datelor. Concluziile studiului arată că algoritmi analizați ajută la reducerea datelor trimise și a consumului de energie, iar eficiența fiecărui algoritm diferă în funcție de datele utilizate. EDCCD2, de exemplu, care nu se bazează pe abordări de formare pentru reducerea datelor precum FICA, NNF, NNTS și LRMV este foarte eficient în cazul setului de date ARHO.

Ideea principală din spatele EDCCD2 este de a evita transmiterea datelor detectate dacă diferența relativă dintre datele curente detectate  $S(t)$  și ultimele date transmise  $S(t-1)$  pentru toți senzorii din același nod este mai mică decât o anumită valoare de prag; în caz contrar, datele detectate  $S(t)$  vor fi transmise către BS.

Rezultatele prezentate în acest capitol au fost prezentate în două lucrări publicate:

[72] Hussein, M K; Marghescu, Ion; Nayef. A.M. Alduais: *Performance of Data Reduction Algorithms for Wireless Sensor Network (WSN) using Different Real-Time Datasets: Analysis Study*, 2022 International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA).

[25] M. I. Husni, M. K. Hussein, N. A. M. Alduais, J. Abdullah and I. Marghescu, "Performance of Various Algorithms to Reduce the Number of Transmitted Packets by Sensor Nodes in Wireless Sensor Network," 2019 11th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 2019, pp. 1-7, doi: 10.1109/ECAI46879.2019.9042081, WOS:00056998540010

# Chapter 4

## Impactul dimensiunilor pachetelor de date asupra performanțelor WSN bazate pe clustere

### 4.1 Algoritm de rutare LEACH

Ierarhia de grupare (clusterizare) adaptivă la energie scăzută (LEACH) este un algoritm pionier în domeniul rutării WSN. Obiectivul principal al LEACH este de a spori eficiența energetică prin folosirea unui nod coordonator (CH – Cluster Head) desemnat prin rotație. Figura 4.1 prezintă organizarea specifică pentru protocolul LEACH. Funcționarea algoritmului LEACH este bazată pe runde (round), fiecare rundă având două etape: etapa de configurare (*set-up*) și etapa de regim permanent (*steady state*), așa cum se vede în Figura 4.2. Selectarea CH, clasificarea și crearea planurilor temporale pe baza metodei de acces multiplu cu diviziune în timp (TDMA) și alocarea acestora de către CH către nodurile membre au loc în timpul fazei de configurare. Fiecare nod participă cu o măsură de prioritate variabilă din intervalul 0 la 1 la procesul de alegere a CH (măsură care este funcție de energia remanentă). Dacă numărul aleator generat pentru un nod senztor este mai mic decât un prag,  $T(n)$ , atunci acest nod devine CH. Pragul  $T(n)$ , este calculat cu ecuația:

$$T(n) = \begin{cases} p & \\ 1 - p * (r \bmod \frac{1}{p}) : IF n \in G & \\ 0: & otherwise \end{cases} \quad (4.1)$$

Aici  $p$  reprezintă procentul de noduri CH în cadrul rețelei,  $r$  reprezintă numărul de ordine al rundei actuale iar  $G$  se referă la grupul de noduri senztor care nu au participat la alegerea CH în  $1/p$  runde precedente. Deci un nod care devine CH în runda  $r$  nu va putea participa la selectarea CH în următoarele  $1/p$  runde.

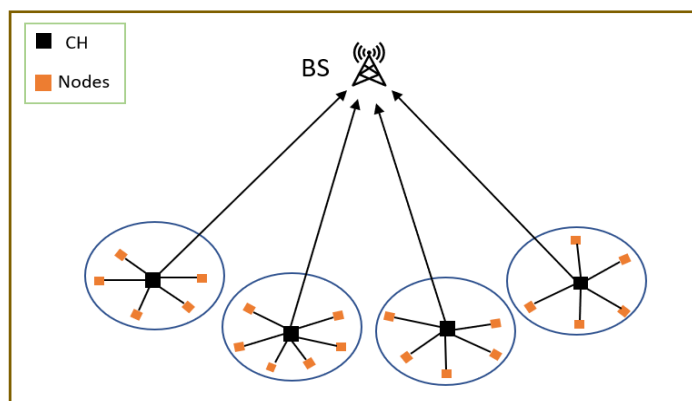
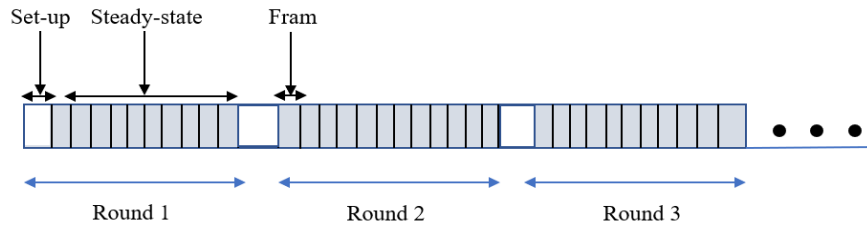


Figura 4. 1 Proiectarea rețelei pentru protocolul LEACH



**Figura 4. 2** Desfășurarea temporală a algoritmului LEACH

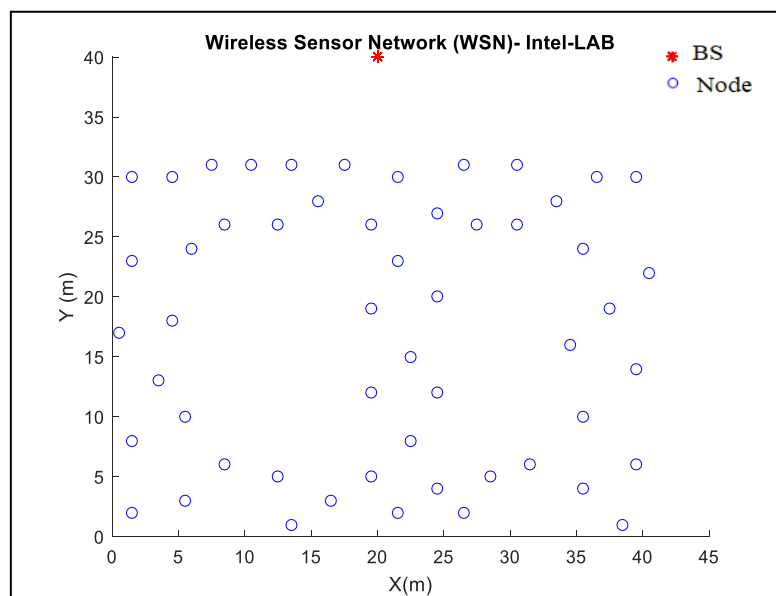
### 4.3 Efectul dimensiunii pachetelor de date asupra performanțelor WSN bazate pe cluster - Scenariul 1

Pentru a evalua efectul dimensiunii pachetelor de date asupra performanței rețelelor WSN bazate pe cluster am conceput și evaluat mai multe scenarii. În primul scenariu, locația BS (20, 40) și zona de stocare a senzorului (50m x 50m) sunt fixe. Dimensiunea pachetului de date sunt precizate în Tabelul 4.3. Numărul de noduri este 54 și energia inițială a fiecărui nod este 2 Jules. Nodurile senzor sunt plasate în aria de interes, așa cum se poate vedea în Figura 4.4.

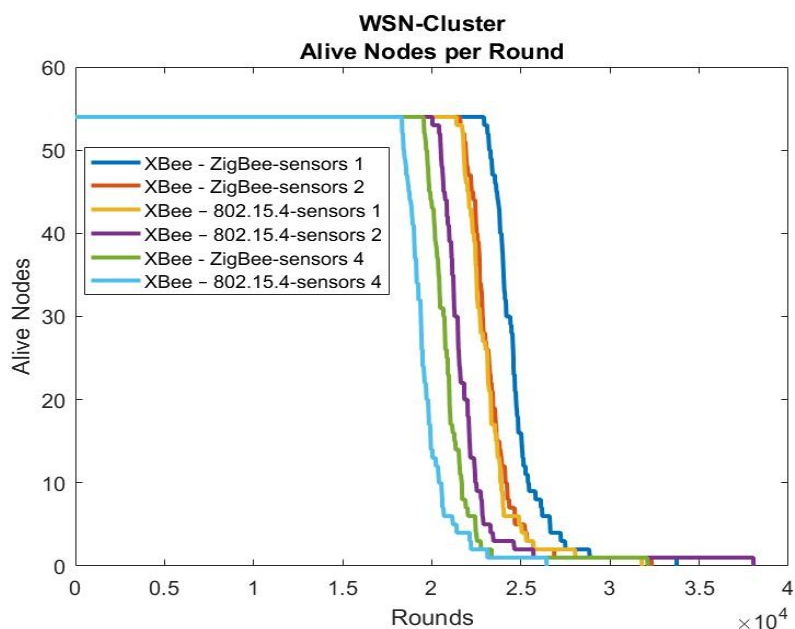
**Tabelul 4. 1** Dimensiunile pachetelor folosite în diferite scenarii și tehnologii de comunicație

	Frame type	data packet size
Packet 1	XBee - ZigBee-sensors 1	656 bits
Packet 2	XBee - ZigBee-sensors 2	696 bits
Packet 3	XBee – 802.15.4-sensors 1	704 bits
Packet 4	XBee – 802.15.4-sensors 2	744 bits
Packet 5	XBee - ZigBee-sensors 4	776 bits
Packet 6	XBee – 802.15.4-sensors 4	824 bits



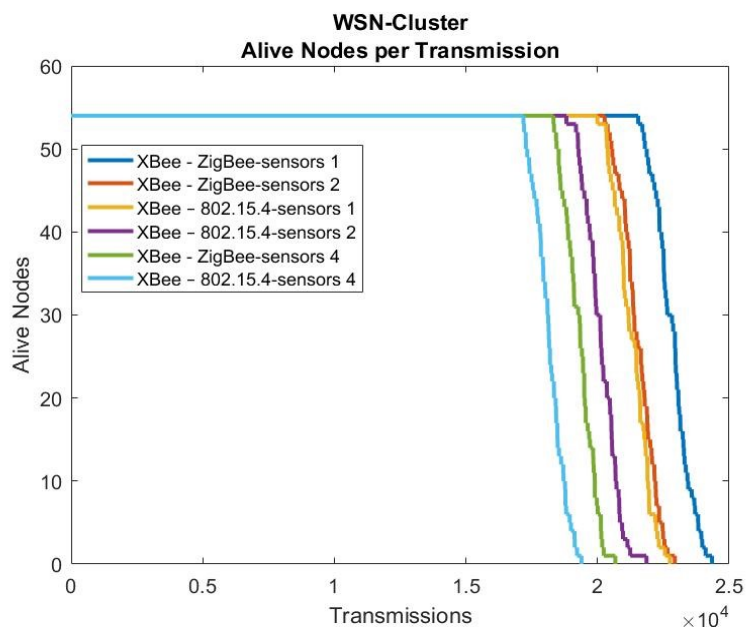


**Figura 4. 4** Dispunerea senzorilor și a stației de bază în scenariul 1 (50m x 50m)

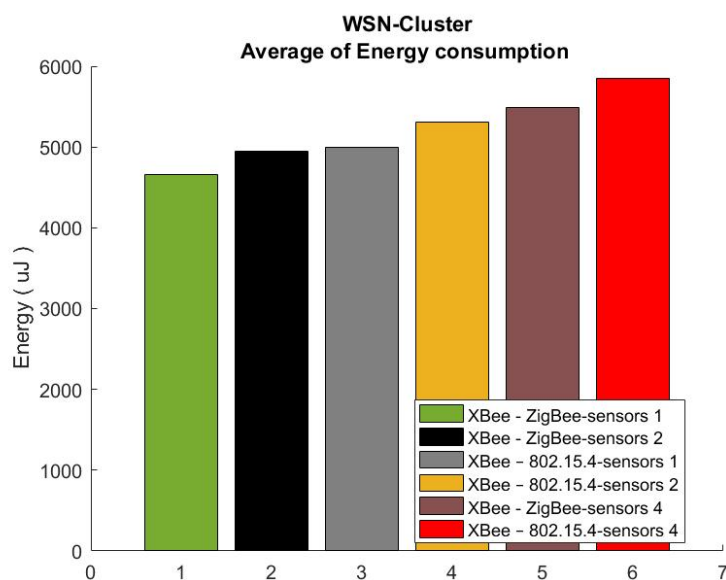


**Figura 4. 5** Numărul de noduri vii pe rundă la folosirea diferitelor dimensiuni de pachet

Figura 4.5 ilustrează numărul de noduri în fiecare rundă utilizând un protocol bazat pe cluster considerând diferite dimensiuni pentru pachetele de date. Conform rezultatelor, numărul de noduri vii scade cel mai lent la utilizarea configurației XBee – ZigBee-1 (656 biți) unde durata de viață a rețelei ajunge rămâne până la  $2,9 \times 10^4$  runde. Cu alte cuvinte, energia minimă consumată de rețea corespunde variantei XBee - ZigBee- 1. În schimb, atunci când dimensiunea pachetului de date este de 824 biți (802.15.4-senzori 4), numărul de noduri active scade cel mai repede, iar durata de viață a rețelei ajunge numai până la  $2,3 \times 10^4$  runde.



**Figura 4. 6** Numărul de noduri vii per transmisii prin aplicarea diferitelor pachete



**Figura 4. 7** Energia medie consumată pe transmisie

A mai fost analizat numărul de noduri vii per transmisiune precum și consumul mediu de energie pe transmisie. Rezultatele sun incluse în figurile 4.6 și 4.7. Se poate observa că se obțin concluzii similare cu cele din analiza precedentă.

## 4.5 Concluzii

În acest capitol am investigat efectul dimensiunii pachetelor de date asupra performanțelor rețelelor organizate în clustere. Pentru realizarea simulărilor am utilizat mediul MATLAB. Ca indicatori de performanță am folosit: consumul de energie pe transmisie, numărul de noduri active pentru fiecare rundă și numărul de

noduri active pe transmisie. Conform rezultatelor acestui studiu, dimensiunea pachetului de date trimis influențează ciclul de viață al Rețelelor de senzori fără fir organizate în clustere (rezultat predictibil).

Pe baza rezultatelor obținute, considerând mai multe scenarii, cum ar fi un scenariu pentru interior (54 de noduri, 50 x 50 m<sup>2</sup>) și altul pentru aer liber (200 de noduri, 700 x 700 m<sup>2</sup>), protocolul funcționează mai bine în interior decât în exterior, deoarece nodurile coordonator (CH) și nodurile terminale sunt mai aproape unul de altul. Dar în această teză, provocarea este de a îmbunătăți performanța rețelei pe o arie largă. Se recomandă ca protocoalele de rutare să fie integrate cu strategiile de reducere a datelor pentru a obține performanțe ridicate. Cercetarea dezvoltată și analizată în acest capitol a fost diseminată prin publicarea unui articol de conferință:

[71] M. K. Hussein, "*Impact of various data packet sizes on the performance of WSN-based clusters: Study*," 2021 5th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT), 2021, pp. 424-428, Doi: 10.1109/ISMSIT52890.2021.9604692.

# Chapter 5

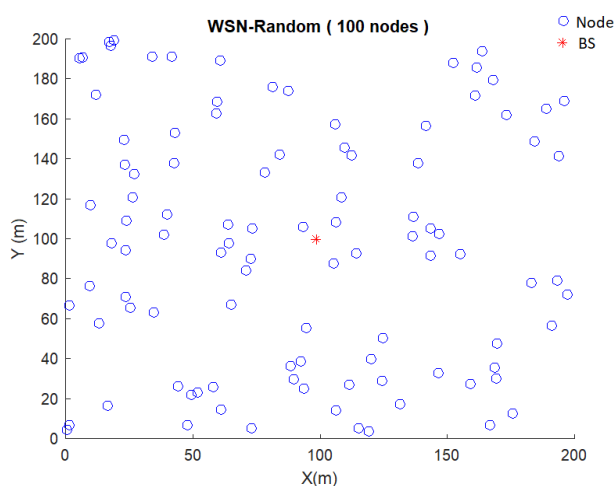
## Un algoritm hibrid de reducere a datelor (HDRA)

În prezent, rețelele de senzori fără fir (WSN) reprezintă un domeniu activ de cercetare datorită problemelor deosebite cu care se confruntă cum ar fi: consumul de energie, algoritmi de rutare, calitatea datelor transmise etc. În ciuda acestor probleme există deja un număr foarte mare de aplicații în care se folosesc astfel de rețele. În orice caz, la proiectarea oricărei aplicații, unul dintre obiectivele principale este păstrarea WSN activă pentru o perioadă cât mai îndelungată, atât în cazul rețelelor cu transmisie directă cât și în cazul rețelelor organizate în clustere. În cea mai mare parte a lucrărilor referitoare la metodele de reducere a datelor, se consideră cazul în care nodurile sensor pot trimite date direct (un singur salt) către stația de bază (BS).

În același timp, majoritatea protocoalelor de rutare actuale (multi-hop) nu au luat în considerare problema reducerii datelor înainte de a le transmite către BS. În acest context, în această lucrare, am propus un nou algoritm luând în considerare și reducerea și rutarea datelor, care urmărește economisirea consumului de energie de către nodul sensor. Algoritmul propus este analizat folosind diferite seturi de date artificiale și scenarii, după cum este descris în secțiunile următoare.

### 5.1 Scenarii folosite pentru analiza protocolului

**Scenariul #1:** Se generează un set de date artificiale care include un tip de sensor care este senzorul de temperatură. Apoi se setează datele generate pentru 100 de noduri desfășurate aleatoriu într-o arie de dimensiuni  $(200 \times 200) \text{ m}^2$ .



*Figura 5. 1 Suprafața acoperită cu noduri-senzor ( 200m x 200m)*

- Scenario #2: Se generează Generate an Artificial dataset that includes one type of sensor which is Temperature. Then set the generated data for 200 nodes randomly deployed in filed area size (200 ×200) m<sup>2</sup>.
- Scenario #3: Se generează Generate an Artificial dataset that includes one type of sensor which is Temperature. Then set the generated data for 200 nodes randomly deployed in filed area size (400 ×400) m<sup>2</sup>.
- Scenario #4: Se generează Generate an Artificial dataset that includes one type of sensor which is Temperature. Then set the generated data for 400 nodes randomly deployed in filed area size (800 ×800) m<sup>2</sup>.
- Se repetă scenariile #1-4 cu schimbarea tipului de date livrate de senzori la Umiditate.
- Cazul 2: Se generează un set de date artificiale care include două tipuri de senzori: temperatura și umiditatea. Apoi se setează datele generate conform scenariilor #1-4.

Parametrii folosiți în simulări sunt concentrați în Tabelul 5.1.

*Tabelul 5. 1 Parametrii de simulare*

PARAMETERS	VALUE
<b>Initial Energy of a Node (<math>E_o</math>)</b>	1 JOULE
$E_{TX}$ (J)	$50 \times 10^{-9}$
$E_{RX}$ (J)	$50 \times 10^{-9}$
TRANSMIT AMPLIFIER ENERGY ( $E_{AMP}$ ) (J)	$100 \times 10^{-12}$
DATA AGGREGATION ENERGY ( $E_{DA}$ ) (J)	$5 \times 10^{-9}$
THE PERCENTAGE OF CH ( $P$ )	0.5%
NUMBER OF NODES	SCENARIO#1-4
FIELD AREA	SCENARIO#1-4
BS LOCATION	SCENARIO#1-4
PACKET SIZE(BITS)	500

## 5.2 Prezentarea algoritmului HDRA

În această secțiune voi prezenta HDRA (Hybrid Data Reduction Algorithm) care a fost dezvoltat în etapa de doctorat. Scopul principal al HDRA este de a prelungi durata de viață a întregului WSN în cazul organizării WSN în clustere. Algoritmul urmărește reducerea numărului de pachete transmise de nodurile senzor dacă valoarea raportată de senzori nu se modifică semnificativ. Cu alte cuvinte, HDRA propus își propune să ia decizii înainte de a transmite datele nodului senzor către CH. Dacă nu este necesară nicio modificare, datele de actualizare vor fi modificate la zero, în caz contrar, nodul trebuie să își transmită noile date către CH și apoi către stația de bază. O descriere detaliată a algoritmului propus este realizată prin pseudocodul de mai jos.

---

**// Proposed Algorithm**

---

1. **Set** (  $X, Y$  ) // **Field Dimensions in meters**  $x m X x m$
2. **Set** "Number of Nodes in the field"
3. **Set**  $Initial\_Energy \leftarrow 1$  //units in Joules //
4. **Set ENERGY MODEL** // "Energy required to run circuitry (both for transmitter and receiver) See Table X"
5. **Set**  $NCH \leftarrow p * \text{Number of Nodes}$ ; // " $p=0.05$  Number of Clusters" According to Ref []
6. **Set**  $Round \leftarrow 1$  // Round of Operation//
7. **Set**  $Alive\_nodes \leftarrow \text{Number of Nodes}$  ;
8. **Set**  $Number\ of\ Transmissions \leftarrow 0$ ;
9. **FOR** each NODE (i) **do**
10. **Call**  $NOED(i)Parameters \leftarrow \text{Node Structure}(i)$  // Call Node Structure ()
11. **SET**  $NOED(i).update\ Data \leftarrow 1$  // To Send only first value for Node i at Round 1
12. **SET**  $NOED(i).L\_Transmitted\ Data = [NOED(i).Sensor\ Data(1)]$  // Set the first Raw sensors value  $[T, H]$  to the last transmitted data at time  $(t-1)$
13. **END FOR**
14. **WHILE**  $Alive\_nodes > 0$  **do**
15. **IF**  $Round > 1$  // When Round =1 non-reduction mod // Only one time to transmit first value//
16. **FOR** each NODE (i) **do**
17. // Phase Updating data
18. **Set**  $S(t-1) \leftarrow NOED(i).L\_Transmitted\ Data$
19. **Read:** the current sensor value at  $t$  time (Round)
20. **Set**  $S(t) \leftarrow NOED(i).Data(Round)$
21. //Calculate the relative differences ( $R_f$ )
22.  $R_f = \text{Abs}(S(t) - S(t-1)) / (S(t) + S(t-1)) \times 0.5$
23. **If**  $R_f > Thrd$  **Then**
24. **Set:**  $NOED(i).update\ Data \leftarrow 1$ ;  
     $NOED(i).Transmitted\ Data \leftarrow NOED(i).Data(Round)$
25. **Else:** **Set**  $NOED(i).update\ Data \leftarrow 0$
26. **End if**
27. **Set**  $Round \leftarrow (Round + 1)$
28. **END FOR**
29. **FOR** each NODE (i) **do**
30. **If**  $NOED(i).update\ Data == 1$
31. **CALL**  $SELECT\_CH()$  //
32. **CALL**  $STEADY-STATE\ PHASE$  //
33. **Determine** // Energy Dissipation for Normal Nodes & Cluster Head //
34. **IF**  $NOED(i).E \leq 0$
35.  $Dead\ nodes \leftarrow Deadnodes + 1$
36.  $Alive\_nodes \leftarrow Alive\_nodes - 1$
37. **END FOR**
38. **END WHILE**
39. **END**

---

## 5.2.1 Implementarea algoritmului și evaluarea performanțelor

Această secțiune studiază performanțele algoritmului propus în cazul rețelelor organizate în clustere (vezi secțiunea 5.2). Valoarea pragului este setată la 0.01, 0.03 și 0.05. Algoritmul propus și protocolul bazat pe cluster se aplică pentru diferite seturi de date artificiale, așa cum este descris în subsecțiunea următoare.

## 5.2.2 Set de date artificiale

Pentru a evalua algoritmul propus, a fost generat un set de date artificial bazat pe un set de date în timp real. Pentru a face acest lucru, setul de date este selectat pe baza zonei nodului senzorialui.

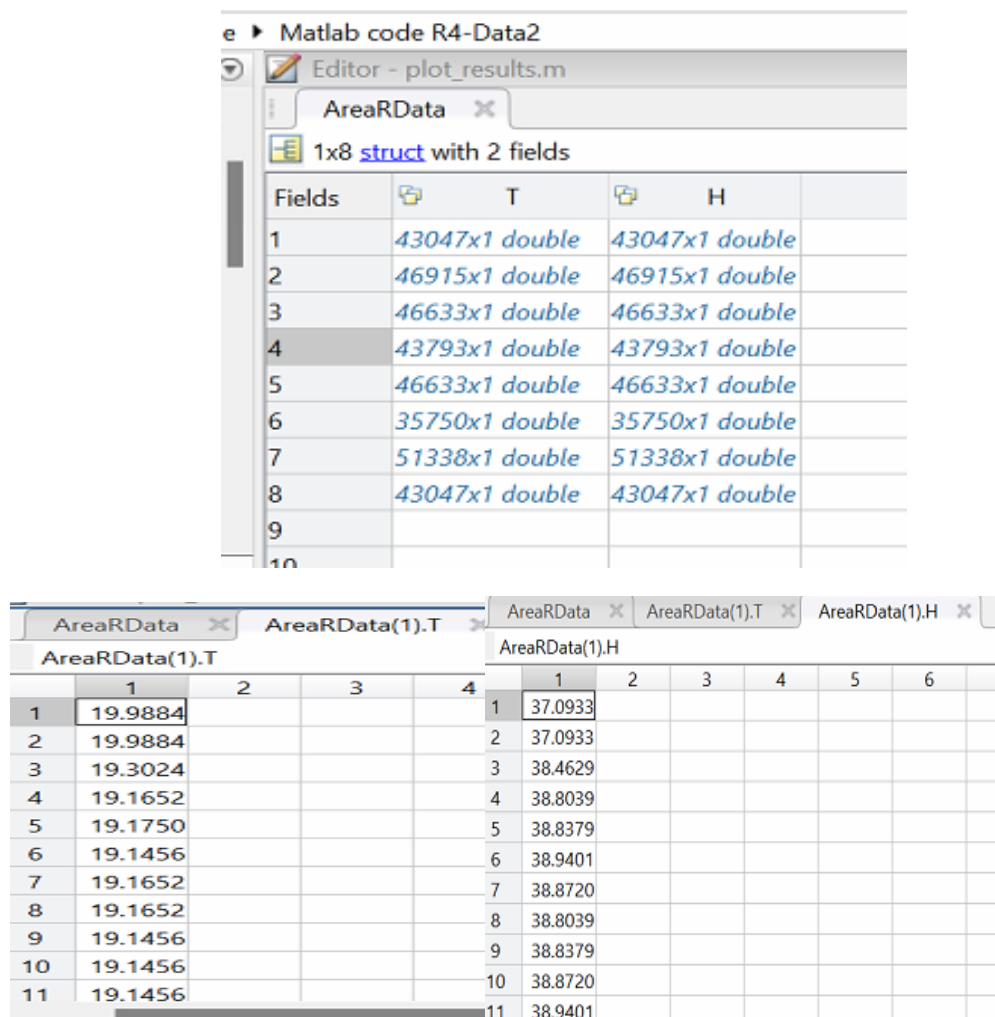


Figure 5. 2 Eșantion de date în timp real

Fields	Area	DataT	DataH
1	5	200000x1 double	200000x1 double
2	7	200000x1 double	200000x1 double
3	5	200000x1 double	200000x1 double
4	3	200000x1 double	200000x1 double
5	4	200000x1 double	200000x1 double
5	4	200000x1 double	200000x1 double
7	5	200000x1 double	200000x1 double
3	6	200000x1 double	200000x1 double
9	1	200000x1 double	200000x1 double
10	5	200000x1 double	200000x1 double

Figure 5. 3 set de date artificiale

	1	2	3	4
1	22.3600			
2	20.3706			
3	21.2232			
4	24.0358			
5	24.4474			
6	25.8194			
7	23.3596			
8	24.4474			
9	18.1460			
10	23.7614			
11	18.5478			

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	32.9308							
2	36.6118							
3	37.0933							
4	37.0246							
5	41.5789							
6	32.8257							
7	41.5116							
8	34.5360							
9	41.7133							
10	38.7357							
11	34.8139							

Figure 5. 4 Exemplu de set de date artificiale

## 5.3 Analiza Rezultatelor

### 5.3.1 Scenariul 1

Figura 5.8 și Figura 5.9 prezintă energia reziduală și numărul de noduri vii pe transmisie în cazul folosirii protocolului de rutare bazat pe clustere de sine stătător precum și acest protocol combinat cu trei variante al ptopocolului de reducere a datelor ( $p=0.01, 0.03, 0.05$ ) considerând mai multe tipuri de senzori (Temperatură, Umiditate, și Temperatură+Umiditate), analiza este realizată la toate scenariile. Aici mă voi referi numai la rezultatele obținute pentru scenariul 1. Din aceste rezultate, se poate observa că numărul maxim de noduri vii se obțin în cazul folosirii ambelor protocoale cu pragul 0.05. Conform graficului numărul de transmisii ajunge până la 21000, 26000, și 16000 pentru senzori T, H și, respectiv, TH.



În schimb, în cazul protocolului de rutare bazat pe clustere, care nu folosește reducerea datelor, numărul de transmisii a ajuns până la 11000.

În plus, în Figura 5.10 unde este reprezentată evoluția numărului de noduri vii pe rundă în aceleași condiții și pentru aceleași tipuri de senzori (T, H, TH). Conform rezultatelor, algoritmul propus îmbunătățește durata de viață a rețelei având în vedere că numărul maxim de runde a fost de 83000 de runde în varianta combinată, comparativ cu 12000 de runde pentru protocolul bazat pe cluster singur. În concluzie, algoritmul propus îmbunătățește performanțele din punctul de vedere al consumului de energie deci al duratei de viață a rețelei.

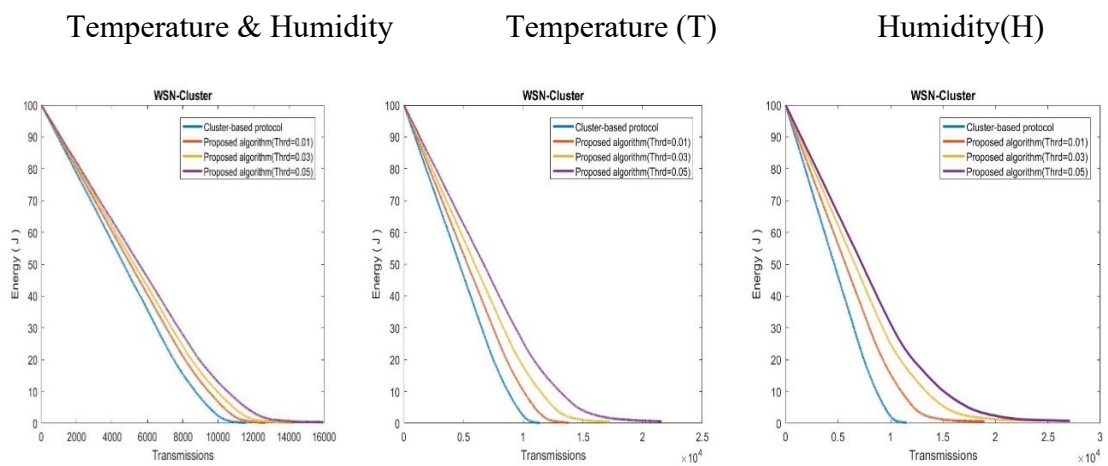


Figure 5. 8 Energia reziduală

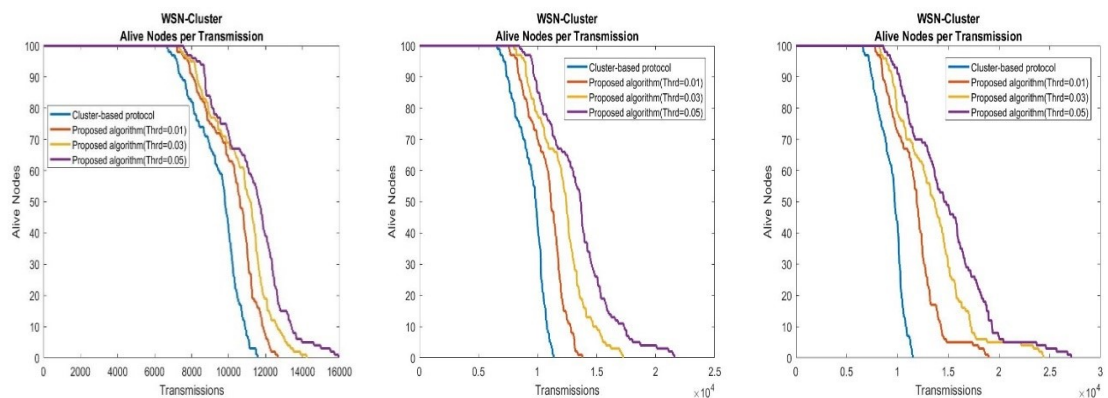


Figure 5. 9 Noduri vii pe transmisii

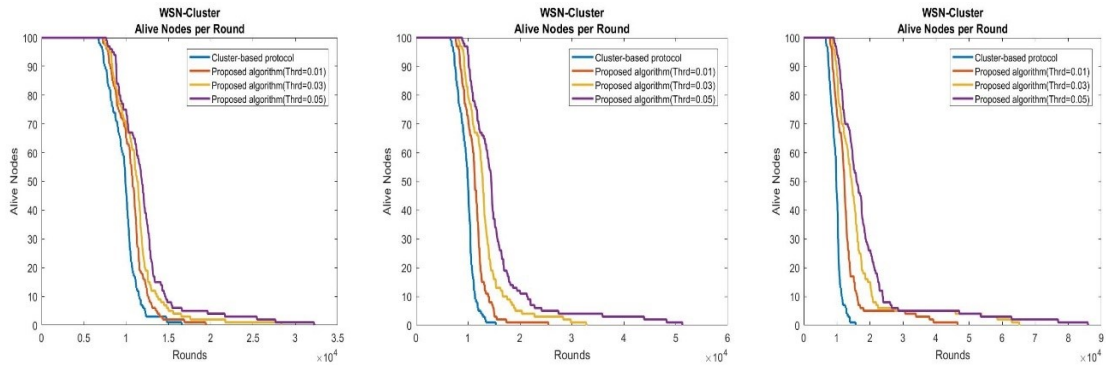


Figure 5. 10 Noduri vii pe runde

## 5.4 Concluzii

În acest capitol, este prezentat un algoritm denumit HDRA dezvoltat în perioada stagiului de doctorat care consideră aplicarea unui algoritm de reducere a datelor trimise de la nodurile senzor către stația de bază folosind rutarea bazată pe clustere (LEACH). Obiectivul general al algoritmului HDRA este de a reduce cantitatea de energie pe care trebuie să o consume nodurile senzor. Performanțele algoritmului HDRA cât și cele ale algoritmului de rutare de sine stătător au fost evaluate prin utilizarea unui set de date artificiale într-o varietate de scenarii. Rezultatele obținute, pentru ansamblul celor patru scenarii, au evidențiat că numărul maxim de noduri vii a rezultat atunci când a fost aplicat algoritmul propus cu tipul de senzor setat la temperatură, umiditate sau combinat temperatură + umiditate (T, H și TH). În acest caz numărul mediu de transmisii pentru toate scenariile a ajuns până la 17550, 21250, 13700 (pentru senzori T, H și, respectiv, TH).

Considerând protocolul bazat pe cluster fără a lua în considerare algoritmul de reducere a datelor a rezultat cel mai mic număr de noduri vii iar numărul mediu de transmisii pentru toate scenariile a ajuns până la 10300.

Faptul că algoritmul propus îmbunătățește durata de viață a rețelei a rezultat și din aceea că media numărului maxim de runde pe care nodurile de rețea sunt încă în viață pentru toate scenariile a fost de 48550 de runde pentru HDRA comparativ cu 10750 de runde pentru protocolul fără reducerea datelor. Pe scurt, algoritmul propus duce la economisirea energiei și îmbunătățește performanța rețelei din punctul de vedere al duratei de viață.

Analiza algoritmului analizat în acest capitol este, de asemenea, prezentată într-o lucrare:

Hussein, M K; Marghescu, Ion: *Hybrid Data Reduction Algorithm*, International Journal of Advanced Computer Science and Applications (**submitted**).

# Chapter 6

## Concluzii și lucrări viitoare

### 6.1 Concluzii

WSN-urile sunt în prezent un subiect de studiu fierbinte din cauza problemelor delicate cu care se confruntă, cum ar fi: consumul de energie, algoritmi de rutare, calitatea datelor etc.. În ciuda problemelor deschise în WSN, în prezent există un număr mare de aplicații disponibile. Unul dintre obiectivele cheie pentru proiectarea oricărei aplicații cu WSN constă în păstrarea WSN activă pentru o perioadă cât mai unghi de timp. În majoritatea lucrărilor recente dedicate tehnologiilor de reducere a datelor se consideră cazul în care nodurile senzor transportă datele direct (single hop) la stația de bază (BS). Totodată, și majoritatea protocoalelor de rutare existente (multi-hop) nu iau în considerare folosirea reducerii datelor înainte de a le transmite către BS.

În această teză, am analizat și evaluat performanțele a numeroase tehnici de reducere a datelor pentru WSN, cu scopul de a reduce consumul de energie și de a crește durata de viață. În ultima parte am propus un algoritm (HDRA) care ia în considerare atât operațiunile de reducere a datelor, cât și pe cele de rutare. Scopul al algoritmului HDRA este de a reduce cantitatea de energie de care trebuie să o consume nodul senzor. Noul algoritm a fost comparat cu protocolul original bazat pe cluster, LEACH. Am optat pentru această variantă deoarece protocolul LEACH este un protocol popular care este utilizat în mod regulat în WSN-urile bazate pe cluster și are performanțe bune. Pentru a atinge obiectivele acestei teze am început cu analiza cercetărilor anterioare privind reducerea datelor și cu algoritmi de rutare. Am implementat și examinat influența unora dintre cele mai cunoscute metode de reducere a datelor: NNF, NNTS, LRMV, EDCD2 și FICA. Performanțele au fost evaluate folosind o serie de seturi de date în timp real existent online.

După aceea, am evaluat efectul diferitelor dimensiuni ale pachetelor de date asupra performanțelor unor WSN bazate pe cluster.

În cele din urmă, am propus și analizat performanțele pentru un nou algoritm numit HDRA. Este o abordare hibridă de reducere a datelor pentru WSN bazat pe cluster considerând atât efectul procesului de rutare cât și pe cel al reducerii datelor. Scopul general al algoritmului HDRA este de a reduce cantitatea de energie de care trebuie să o consume nodul senzor. Analiza a fost realizată folosind un set de date artificiale create din seturile existente plecând de la o serie de considerente. Am comparat performanțele algoritmului HDRA cu cele ale

reșelei lucrând numai cu protocolul de rutare.

Teza este organizată în șase capitole:

**În capitolul 1**, se face o scurtă introducere în domeniul de cercetare. Au fost analizate o definiție generală a WSN și unele dintre caracteristicile sale cheie. Apoi au fost evidențiate tema și obiectivele activității de cercetare.

**În capitolul 2**, am început cu o prezentare generală a WSN. În acest capitol am discutat, de asemenea, despre lucrările anterioare care s-au concentrat pe reducerea datelor și pe algoritmi de rutare urmărind economia de energie la nodurile senzor. De asemenea, am sintetizat limitările studiilor existente și am încercat să identific cu ce alte cercetări s-ar putea continua.

**În capitolul 3**, am dezvoltat și investigat diferite metode de reducere a datelor pentru WSN. Am reținut 5 astfel de metode: EDCD2, FICA, NNF, NNTS și LRMV. Pentru analiza acestora am selectat 4 seturi de date: Data1-AirQ, Data2-ARHO, Data3-GSB și Data4\_Intel. Din rezultatele obținute, am constatat că procentul mediu de reducere a datelor pentru algoritmi aplicați EDCD2, FICA, NNF, NNTS și LRMV pentru setul de date în timp real 1 AirQ este de 33%, 33%, 67%, 67% și, respectiv, 33%. Algoritmi NNF și NNTS realizează cea mai mare reducere a datelor. Conform figurii 3.10, ambii algoritmi, NNF și NNTS, au și o acuratețe adecvată. Cea mai mică eroare rezultă pentru algoritmul EDCD2. În mod similar, pentru setul de date Data2-ARHO procentul mediu de reducere a datelor la folosirea algoritmilor NNF, NNTS, EDCD2, LRMV și FICA este de 67%, 67%, 56%, 33% și, respectiv, 67%. Deși algoritmi NNF și NNTS au obținut cel mai bun raport de reducere a datelor, ei au, de asemenea, cea mai mare eroare și cea mai slabă performanță de precizie, așa cum se rezultă din Figura 3.11. Așa cum rezultă din Figura 3.12, pentru setul de date în timp real numit Data3-GSB, procentul mediu de reducere a datelor pentru algoritmi NNF, NNTS, EDCD2, LRMV și FICA este de 67%, 67%, 67%, 67%, 33% și, respectiv, 33%. Algoritmi NNF, NNTS și EDCD2 au reducerea maximă a datelor. Algoritmul EDCD2 are cea mai mică eroare. FICA a avut cea mai slabă performanță de precizie, cu cele mai mari erori. Procentele medii de reducere a datelor pentru algoritmi NNF, NNTS, EDCD2, LRMV și FICA aplicați pe cel de al patrulea set de date în timp real, Data4 Intel, sunt de 50%, 50%, 83%, 25% și, respectiv, 75%. Trebuie remarcat faptul că algoritmul EDCD2 produce cea mai mare reducere a datelor. Conform figurii 3.13 și tabelor 3.21 și 3.22, algoritmi NNF, NNTS, EDCD2 și LRMV au o acuratețe rezonabilă, FICA, în schimb, prezintă cele mai multe erori. În concluzie alegerea unui algoritm pentru reducerea datelor depinde în mare măsură de tipurile de date culese. Un algoritm destul de eficient și precis este EDCD2.

**În capitolul 4**, am investigat impactul diferitelor dimensiuni ale pachetelor de date asupra performanțelor WSN bazate pe clustere. Conform constatărilor acestui studiu, dimensiunea pachetului de date trimis influențează ciclul de viață al WSN. Se recomandă ca protocoalele de rutare să fie integrate cu strategiile de reducere a datelor pentru a obține performanțe ridicate.

**În capitolul 5**, am propus un algoritm hibrid de reducere a datelor pentru WSN bazate pe cluster. Algoritmul HDRA propus ia în considerare și procedurile de

reducere a datelor și pe cele de rutare. Scopul general al algoritmului HDRA este de a reduce cantitatea de energie de care trebuie să o consume nodul senzor. Atât metoda HDRA propusă, cât și protocolul de sine stătător de rutare au fost evaluate folosind seturi de date artificiale deduse din seturile existente, cu o serie de considerente. Rezultatele obținute, pentru ansamblul celor patru scenarii, au evidențiat că numărul maxim de noduri vii a rezultat atunci când a fost aplicat algoritmul propus cu tipul de senzor setat la temperatură, umiditate sau combinat temperatură + umiditate (T, H și TH). În acest caz numărul mediu de transmisii pentru toate scenariile a ajuns până la 17550, 21250, 13700 (pentru senzori T, H și, respectiv, TH).

Considerând protocolul bazat pe cluster fără a lua în considerare algoritmul de reducere a datelor a rezultat cel mai mic număr de noduri vii iar numărul mediu de transmisii, pentru toate scenariile, a ajuns până la 10300.

Faptul că algoritmul propus îmbunătățește durata de viață a rețelei a rezultat și din aceea că media numărului maxim de runde pe care nodurile de rețea sunt încă în viață pentru toate scenariile a fost de 48550 de runde pentru HDRA comparativ cu 10750 de runde pentru protocolul fără reducerea datelor. Pe scurt, algoritmul propus duce la economisirea energiei și îmbunătățește performanța rețelei din punctul de vedere al duratei de viață.

## 6.2 Contribuții originale

Principalele contribuții aduse și prezentate în această teză pot fi rezumate după cum urmează:

- Realizarea unei evaluări critice a metodelor actuale de reducere a datelor și a protocoalelor de rutare pentru a ameliora eficiența energetică a WSN. Ca rezultat al acestei contribuții au fost evidențiate limitările din studiile actuale și, de asemenea, oportunități de cercetare ulterioară. ***(Rezultatul a fost diseminat în două articole publicate în volumele unor conferințe IEEE internaționale IEEE [7] [70])*** .
- Investigarea impactului dimensiunilor pachetelor de date asupra performanței energetice a WSN bazate pe clustere. În cele mai multe aplicații ale WSN, nodurile-senzor funcționează pe baza unor baterii cu o durată de viață limitată. În plus, dimensiunea pachetului de date a nodurilor senzorilor afectează durata de viață a bateriei. Acest lucru se datorează faptului că eficiența energetică este afectată de dimensiunea transmisiilor de date de la nod la stația de bază (BS). Prin urmare, această contribuție evaluează impactul diferitelor dimensiuni de pachete asupra performanței clusterelor bazate pe WSN. Rezultatele acestui studiu au confirmat că dimensiunea pachetului de date transmis afectează ciclul de viață al WSN organizate în clustere. Pentru a obține performanțe ridicate, se recomandă integrarea protocoalelor de rutare cu metode de reducere a datelor. **Rezultatele obținute au fost diseminate printr-o lucrare publicată în volumul unei Conferințe IEEE [71]** .

- Analizarea performanțelor diferitelor soluții folosite pentru reducerea datelor transmise prin WSN. Dintre variantele existente am abordat: EDCCD2, FICA, NNF, NNTS și LRMV. Evaluarea performanțelor a fost realizată folosind 4 seturi de date existente pe Internet: Data1-AirQ, Data2-ARHO, Data3-GSB și Data4\_Intel. (Vezi capitolul 3). *Rezultatele obținute au fost publicate sub forma unui articol în International Journal of Advanced Computer Science and Applications (o revistă indexată WOS) [72].*
- Dezvoltarea unui algoritm hibrid de reducere a datelor pentru rețele organizate în clustere. Algoritmul HDRA dezvoltat ia în considerare atât procesul de reducere a datelor cât și pe cel de rutare. Scopul general al algoritmului HDRA este de a reduce cantitatea de energie pe care trebuie să o consume nodul senzor. Am arătat că algoritmul dezvoltat a îmbunătățit performanțele rețelei și permite economisirea energiei disponibile. *(I have submitted the outcome as a paper in International Journal of Advanced Computer Science and Applications a WOS indexed journal).*

## 6.3 Lucrări viitoare

Din această lucrare se pot desprinde mai multe linii de continuare a activității de cercetare cum ar fi:

- Dezvoltarea unui ciclu de funcționare adaptabil bazat pe rețea centrat pe informații pentru rețele de senzori wireless eficiente din punct de vedere energetic.
- Dezvoltarea unei noi metode de reducere a datelor pentru WSN organizate în clustere, care ia în considerare mobilitatea nodurilor.
- Dezvoltarea unei noi tehnici pentru extinderea duratei de viață a rețelei, luând în considerare comprimarea datelor adunate la nivel de coordonator de cluster înainte de a le transfera la BS.
- Examinarea performanțelor algoritmului sugerat pentru protocolul de rutare cunoscut sub numele de PEGASIS.

## 6.4 Lista publicațiilor

### A. Lucrări publicate în etapa de doctorat

1. M. K. Hussein, "Data Reduction Algorithms for Wireless Sensor Networks Applications: Review," 2021 3rd International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA), 2021, pp. 1-7, doi: 10.1109/HORA52670.2021.9461309,

2. Hussein, M K; Marghescu, Ion; Nayef. A.M. Alduais, *Performance of Data Reduction Algorithms for Wireless Sensor Network (WSN) using Different Real-Time Datasets: Analysis Study*, International Journal of Advanced Computer Science and Applications; West Yorkshire, Vol. 13, Iss. 1, (2022). DOI:10.14569/IJACSA.2022.0130178, WOS:000754703200001
3. M. K. Hussein, "Impact of various data packet sizes on the performance of WSN-based clusters: Study," 2021 5th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT), 2021, pp. 424-428, doi: 10.1109/ISMSIT52890.2021.9604692.
4. M. I. Husni, M. K. Hussein, N. A. M. Alduais, J. Abdullah and I. Marghescu, "Performance of Various Algorithms to Reduce the Number of Transmitted Packets by Sensor Nodes in Wireless Sensor Network," 2019 11th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 2019, pp. 1-7, doi: 10.1109/ECAI46879.2019.9042081, WOS:000569985400109
5. H. Mohammed, R. M. KHALEEF AH, M. k. Hussein and I. Amjad Abdulateef, "A Review Software Defined Networking for Internet of Things," 2020 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA), 2020, pp. 1-8, doi: 10.1109/HORA49412.2020.9152862.
6. Hussein, M K; Marghescu, Ion: *Hybrid Data Reduction Algorithm: International Journal of Advanced Computer Science and Applica*, **submitted**.

## **B. Lucrări publicate înaintea stagiului de doctorat sau cu tematici înrudite**

1. J. Abdullah, M. K. Hussien, N. A. M. Alduais, M. I. Husni and A. Jamil, "Data Reduction Algorithms based on Computational Intelligence for Wireless Sensor Networks Applications," 2019 IEEE 9th Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE), 2019, pp. 166-171, doi: 10.1109/ISCAIE.2019.8743665.
2. A. Hamid Mohammed, R. M. KHALEEF AH, M. k. Hussein and A. Hatem AlMarzoogee, "The Method of Calibration Compensation for Fiber Nonlinearity- A Review," 2020 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA), 2020, pp. 1-8, doi: 10.1109/HORA49412.2020.9152914.

# Bibliografie

- [1] I. F. Akyildiz, T. Melodia, and K. R. Chowdury, “*Wireless multimedia sensor networks: A survey*,” IEEE Wirel. Commun., vol. 14, no. 6, pp. 32–39, 2007.
- [2] Z. Fei, B. Li, S. Yang, C. Xing, H. Chen, and L. Hanzo, “*A survey of multi-objective optimization in wireless sensor networks: Metrics, algorithms, and open problems*,” IEEE Commun. Surv. Tutorials, vol. 19, no. 1, pp. 550–586, 2016.
- [3] L. Yong-Min, W. Shu-Ci, and N. Xiao-Hong, “*The architecture and characteristics of wireless sensor network*,” in 2009 International Conference on Computer Technology and Development, 2009, vol. 1, pp. 561–565.
- [4] C. Buratti, A. Conti, D. Dardari, and R. Verdone, “*An overview on wireless sensor networks technology and evolution*,” Sensors, vol. 9, no. 9, pp. 6869–6896, 2009.
- [5] D. Bhattacharyya, T. Kim, and S. Pal, “*A comparative study of wireless sensor networks and their routing protocols*,” Sensors, vol. 10, no. 12, pp. 10506–10523, 2010.
- [6] N. A. M. ALDUAIS and A. A. J. JIWA ABDULLAH, “*RDCM: An Efficient Real-Time Data Collection Model for IoT / WSN Edge With Multivariate Sensors*,” IEEE Access, vol. 7, pp. 89063–89082, 2019.
- [7] A. Hamid Mohammed, R. M. KHALEEF AH, M. k. Hussein and A. Hatem AlMarzoogee, “*The Method of Calibration Compensation for Fiber Nonlinearity- A Review*,” 2020 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA), 2020, pp. 1-8, doi: 10.1109/HORA49412.2020.9152914.
- [8] A. Camacho Martínez, “*Implementation and testing of LOADng: A routing protocol for WSN*,” 2012 - upcommons.upc.edu, visited on January -2019.
- [9] Y. El Khamlichi, A. Tahiri, A. Abtoy, I. Medina-Bulo, and F. Palomo-Lozano, “*A hybrid algorithm for optimal wireless sensor network deployment with the minimum number of sensor nodes*,” Algorithms, vol. 10, no. 3, 2017.
- [10] S. Ozdemir and Y. Xiao, “*Secure Data Aggregation in Wireless Sensor Networks: A comprehensive overview*,” Computer Networks, vol. 53, no. 12, pp. 2022–2037, 2009.
- [11] E. Troubleyn, I. Moerman and P. Demeester, “*QoS Challenges in Wireless Sensor Networked Robotics*”, Springer Wireless Personal Communications, vol. 70, no. 3, June 2013, pp. 1059-1075.
- [13] T. Rault, A. Bouabdallah, and Y. Challal, “*Energy efficiency in wireless sensor networks: A top-down survey*,” Comput. Networks, vol. 67, pp. 104–122, 2014.
- [14] N. A. M. Alduais, J. Abdullah, A. Jamil, and H. Heidari, “*Performance Evaluation of Real-Time Multivariate Data Reduction Models for Adaptive-Threshold in Wireless Sensor Networks*,” IEEE Sensors Lett., vol. 1, no. 6, pp. 1–4, 2017.
- [15] N. A. M. Alduais, J. Abdullah, and A. Jamil, “*APRS: adaptive real-time payload data reduction scheme for IoT/WSN sensor board with multivariate sensors*,” Int. J. Sens. Networks, vol. 28, no. 4, pp. 211–229, 2018.
- [16] R. N. Enam and R. Qureshi, “*An adaptive data aggregation technique for dynamic cluster based wireless sensor networks*,” 2014 23rd International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN), 2014.



- [17] N. A. M. Alduais, J. Abdullah, and A. Jamil, "Enhanced payload data reduction approach for Cluster Head (CH) nodes," *Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 15, no. 3, pp. 1477–1484, 2017.
- [24] Q. Ye, Y. Liu, and L. Zhang, "An extended DISCUS scheme for distributed source coding in wireless sensor networks," in 2006 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2006, pp. 1–4.
- [25] M. I. Husni, M. K. Hussein, N. A. M. Alduais, J. Abdullah and I. Marghescu, "Performance of Various Algorithms to Reduce the Number of Transmitted Packets by Sensor Nodes in Wireless Sensor Network," 2019 11th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 2019, pp. 1-7, doi: 10.1109/ECAI46879.2019.9042081.
- [27] J. Kammerl and E. Steinbach, "Deadband-based Offline-Coding of Haptic Media," *MM'08 - Proc. 2008 ACM Int. Conf. Multimedia, with co-located Symp. Work.*, pp. 549–557, 2008.
- [28] B. Huang, W. Liu, T. Wang, X. Li, H. Song, and A. Liu, "Deployment Optimization of Data Centers in Vehicular Networks," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 20644–20663, 2019.
- [29] N. Chervyakov, M. Babenko, A. Tcherynykh, N. Kucherov, V. Miranda-López, and J. M. Cortés-Mendoza, "AR-RRNS: Configurable reliable distributed data storage systems for Internet of Things to ensure security," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 92, pp. 1080–1092, 2019.
- [30] J. Azar, A. Makhoul, M. Barhamgi, and R. Couturier, "An energy efficient IoT data compression approach for edge machine learning," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 96, pp. 168–175, 2019.
- [31] G. Huo, C. Yu-cheng, L. Wang, Y. Zhao, and Y. Jin, "Design of a High Accuracy and Real-Time Indoor Positioning System Based on Coding Point Identification and its FPGA Implementation," pp. 21–24, 2020.
- [32] L. Yin, C. Liu, X. Lu, J. Chen, and C. Liu, "Efficient compression algorithm with limited resource for continuous surveillance," *KSII Trans. Internet Inf. Syst.*, vol. 10, no. 11, pp. 5476–5496, 2016.
- [33] A. González-Vidal, F. Jiménez, and A. F. Gómez-Skarmeta, "A methodology for energy multivariate time series forecasting in smart buildings based on feature selection," *Energy Build.*, vol. 196, pp. 71–82, 2019.
- [37] G. M. Dias, B. Bellalta, and S. Oechsner, "The impact of dual prediction schemes on the reduction of the number of transmissions in sensor networks," *Comput. Commun.*, vol. 112, pp. 58–72, 2017.
- [54] N. A. M. Alduais, J. Abdullah, A. Jamil and L. Audah, "An efficient data collection and dissemination for IOT based WSN," 2016 IEEE 7th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON), 2016, pp. 1-6.
- [57] S. K. Gupta, S. Vanjale, S. Rasal and M. Vanjale, "Securing IoT Devices in Smart City Environments," 2020 International Conference on Emerging Smart Computing and Informatics (ESCI), 2020, pp. 119-123.
- [58] L. Mesin, S. Aram and E. Pasero, "A neural data-driven approach to increase Wireless Sensor Networks' lifetime," 2014 World Symposium on Computer Applications & Research (WSCAR), 2014, pp. 1-3.
- [59] M. A. Rassam, A. Zainal, and M. A. Maarof, "An adaptive and efficient dimension reduction model for multivariate wireless sensor networks applications," *Applied Soft Computing*, vol. 13, no. 4, pp. 1978–1996, 2013.

- [60] L. Tan and M. Wu, "Data Reduction in Wireless Sensor Networks: A Hierarchical LMS Prediction Approach," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, no. 6, pp. 1708-1715, March 15, 2016.
- [61] C. Carvalho, D. G. Gomes, N. Agoulmine, and J. N. de Souza, "Improving prediction accuracy for WSN data reduction by applying multivariate spatio-temporal correlation," *Sensors*, vol. 11, no. 11, pp. 10010–10037, 2011.
- [70] M. K. Hussein, "Data Reduction Algorithms for Wireless Sensor Networks Applications: Review," 2021 3rd International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA), 2021, pp. 1-7.
- [71] M. K. Hussein, "Impact of various data packet sizes on the performance of WSN-based clusters: Study," 2021 5th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT), 2021, pp. 424-428.
- [72] M. K. Hussein, I. Marghescu, and N. A. M. Alduais, "Performance of Data Reduction Algorithms for Wireless Sensor Network (WSN) using Different Real-Time Datasets: Analysis Study," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 13, no. 1, pp. 649–661, 2022.