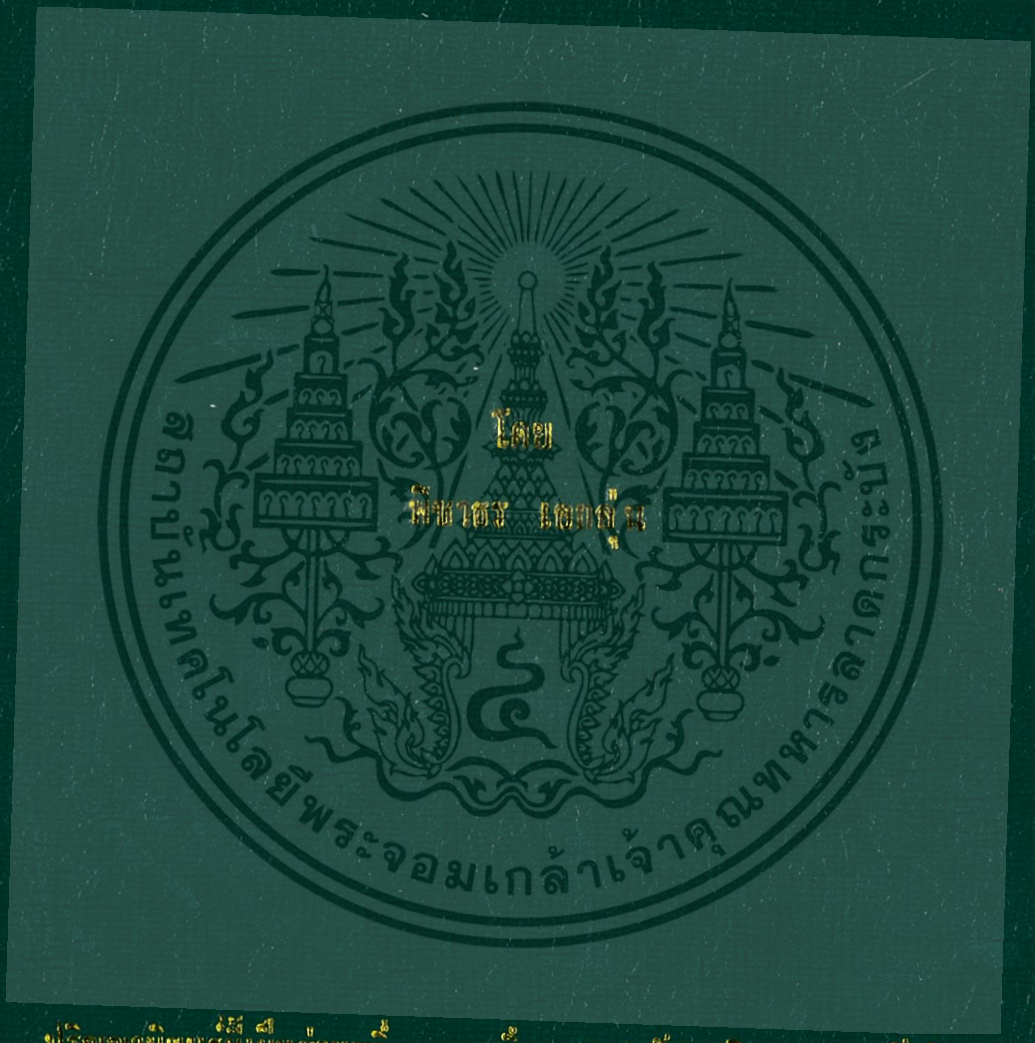
# การเริ่มต้นระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายด้วยพลังงานเริ่มต้นที่ไม่เท่ากัน

# UNEQUAL INITIAL ENERGY ASSIGNMENT IN WIRELESS SENSOR NETWORKS




โดย

พีรพล แดงกุ้ง


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# การเริ่มต้นระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายด้วยพลังงานเริ่มต้นที่ไม่เท่าเทียมกัน

# UNEQUAL INITIAL ENERGY ASSIGNMENT IN WIRELESS SENSOR NETWORKS

T144546

โดย

พิชาธร เอกอุ่น

PICHATORN EAK-UNE

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.โชติพัชร์ ภรณวลัย

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....144546
วัน,เดือน,ปี...25 พ.ค. 2559

b00268199
.b.12812286
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การเริ่มต้นระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายด้วยพลังงานเริ่มต้นที่ไม่เท่าเทียมกัน

# UNEQUAL INITIAL ENERGY ASSIGNMENT IN WIRELESS SENSOR NETWORKS


โดย

พิชาธร เอกอุ่น

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.โชติพัชร์ ภรณวลัย


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# UNEQUAL INITIAL ENERGY ASSIGNMENT IN WIRELESS SENSOR NETWORKS

PICHATORN EAK-UNE

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF SCIENCE PROGRAM IN INFORMATION TECHNOLOGY

FACULTY OF INFORMATION TECNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2/2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**COPYRIGHT 2015**

**FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ประจำปีการศึกษา 2557

## คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

## สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**เรื่อง** การเริ่มต้นระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายด้วยพลังงานเริ่มต้นที่ไม่เท่าเทียมกัน

**UNEQUAL INITIAL ENERGY ASSIGNMENT IN WIRELESS SENSOR NETWORKS**


**ผู้จัดทำ**

1. นายพิชาธร เอกอุ่น รหัสนักศึกษา 54070060


.....อาจารย์ที่ปรึกษา

( รองศาสตราจารย์ ดร.โชติพัชร์ ภรณวลัย )


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อโครงงาน** การเริ่มต้นระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายด้วยพลังงานเริ่มต้นที่ไม่เท่าเทียมกัน
**นักศึกษา** นายพิชาธร เอกอุ่น รหัสนักศึกษา 54070060
**ปริญญา** วิทยาศาสตรบัณฑิต
**สาขาวิชา** เทคโนโลยีสารสนเทศ
**ปีการศึกษา** 2557
**อาจารย์ที่ปรึกษา** รองศาสตราจารย์ ดร. โชติพัชร์ ภรณวลัย

# บทคัดย่อ

ในระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่มีการส่งต่อข้อมูลหลายทอดมายังสถานีฐาน คือการที่เซ็นเซอร์ลดการใช้พลังงานจากการส่งข้อมูลระยะไกลมายังสถานีฐาน (Sink, Base Station, BS) โดยตรง มาใช้วิธีการส่งข้อมูลมาให้เซ็นเซอร์ที่ให้ใกล้สถานีฐานมากกว่าตัวเอง เพื่อให้เซ็นเซอร์ตัวดังกล่าวที่รับข้อมูลไป ส่งต่อข้อมูลไปยังสถานีฐานให้แทนตัวเอง กลุ่มของเซ็นเซอร์ (Cluster) ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อลดการใช้พลังงานรวมของระบบ โดยมีหัวหน้ากลุ่ม (Cluster Head, CH) ประจำกลุ่มและมีสมาชิกกลุ่ม (Cluster Members, CM) ทำหน้าที่เก็บข้อมูลส่งให้ CH ของตัวเอง จากนั้น CH จะต้องทำการสรุปข้อมูลของ CMs ใช้เป็นชิ้นเดียวเพื่อลดปริมาณข้อมูลที่ CH จะต้องส่งออกไปเพื่อให้ไปถึงสถานีฐาน โดยทั่วไปแล้ว CH จะมีการใช้พลังงานสูงกว่า CM ทั่วไป หน้าที่หัวหน้ากลุ่มจึงต้องทำการผลัดเปลี่ยนกันทำหน้าที่ดังกล่าวในแต่ละรอบการทำงานเพื่อเฉลี่ยการใช้พลังงานของเซ็นเซอร์โหนด (Sensor nodes) ในระบบให้สมดุล แต่อย่างไรก็ตามการส่งข้อมูลจาก CHs ไปยังสถานีฐาน CHs ที่อยู่ใกล้ BS จะต้องการใช้พลังงานมากกว่า CHs ที่อยู่ห่างออกจากตัว BS เพื่อใช้ในการรับส่งต่อข้อมูลจาก CHs ข้างหลังที่อยู่ไกล BS กว่าตัวเองเพื่อที่จะส่งข้อมูลไปยัง BS โดยพื้นที่ที่ใกล้ BS จะมีระดับการใช้พลังงานที่สูงกว่าพื้นที่ที่ห่างออกไปมาก เซ็นเซอร์ที่อยู่ในบริเวณดังกล่าวจะถูกใช้พลังงานจดหมดในเวลาอันสั้น แต่เซ็นเซอร์ที่อยู่ห่างออกไปยังสามารถทำงานได้ แต่ไม่มี CHs ในการรับช่วงต่อข้อมูลที่จะส่งไปยัง BS ได้ ปัญหาดังกล่าวถูกเรียกว่า “หลุมพลังงาน” (Energy-hole) ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

ในงานนี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอการคำนวณระดับพลังงานเริ่มต้น เพื่อกำหนดให้กับ Sensor nodes โดยมีพื้นฐานมาจากระยะห่างจาก BS โดยกระบวนการดังกล่าวจะกำหนดพลังงานเริ่มต้นที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่เก็บข้อมูลย่อยในระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ที่อยู่ใกล้ BS ควรจะต้องมีพลังงานเริ่มต้นที่สูง เพื่อชดเชยการใช้พลังงานรับส่งต่อข้อมูลจาก CH ข้างหลัง การคำนวณจะถูกคำนวณอย่างแม่นยำเพื่อให้เซ็นเซอร์ทั้งระบบไม่ว่าจะอยู่ตำแหน่งในของพื้นที่ให้บริการ พลังงานของเซ็นเซอร์ที่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งต่างๆจะถูกใช้จนหมดในเวลาใกล้เคียงกัน กระบวนการนี้ทำให้ระบบเครือข่ายสามารถทำงานโดยที่ขนาดของกลุ่มเท่ากันตลอดทั้งระบบ และมีอิสระในการกำหนดค่าขนาดของกลุ่ม เพื่อตอบสนองความต้องการของการใช้งานบางอย่างที่ให้ความสำคัญกับขนาดของกลุ่ม ประสิทธิภาพของระบบจากการจำลองแสดงให้เห็นว่ากระบวนการนี้สามารถทำงานให้ขนาดของกลุ่มที่เล็กกว่าเพื่อความละเอียดและแม่นยำของข้อมูลที่ถูกสรุปจาก เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของกลุ่มเฉลี่ยในกระบวนการ EC ในขณะที่ยังสามารถทำงานได้นานใกล้เคียงกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **Project Title** | Unequal Initial Energy Assignment in Wireless Sensor Networks |
| **Student** | Mr. Pichatorn Eak-une Student ID 54070060 |
| **Degree** | Bachelor of Science |
| **Program** | Information Technology |
| **Academic Year** | 2014 |
| **Advisor** | Assoc. Prof. Dr. Chotipat Pornavalai |

# ABSTRACT

In multi-hop clustering Wireless Sensor Networks (WSNs), Cluster Head (CH) role is rotated among sensor nodes in order to their residual energy usages. However, to forward data from CHs to sink or Base Station (BS), CH nodes that are placed near to the sink consume more energy than CH nodes that are further away. This is known as "Energy Hole" problem in WSNs. This paper proposes an algorithm called "Unequal Initial Energy Assignment" or UIEA to determine initial energy for sensors based on their distances to the sink. This unequal energy assignment is to assign different values of initial energy to sensors that belong to different regions in the network field. Since CHs perform data aggregation, this approach allows sensors to operate using same cluster sizes throughout deployed network field, which is one of the important requirements for some specific applications. Performance from simulation shows that UIEA can get more detail and precise data after aggregation by deploying smaller cluster size than average EC cluster size while the Stable Operation Period (SOP) is approximately the same as EC solution.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย ..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... III

สารบัญ ..... IV

สารบัญรูป ..... VII

บทที่

1. บทนำ ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ..... 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา ..... 3

1.3 วิธีดำเนินงาน ..... 3

1.4 ขอบเขตการทำงาน ..... 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 3

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 4

2.1 เซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Device, Sensor Node, Node) ..... 4

2.2 รูปแบบการส่งข้อมูลของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ..... 4

2.2.1 การส่งข้อมูลแบบเป้าหมายเดียว (Unicast) ..... 4

2.2.2 การส่งข้อมูลแบบการประกาศข้อมูล (Broadcast) ..... 5

2.3 รูปแบบการวางเซ็นเซอร์ลงบนพื้นที่การให้บริการ ..... 5

2.3.1 การวางเซ็นเซอร์แบบ Uniform Distribution ..... 5

2.3.2 การวางเซ็นเซอร์แบบ Non-Uniform Distribution ..... 5

2.4 ความหนาแน่นของเซ็นเซอร์ไร้สาย ..... 6

2.5 ตัวแทนกลุ่มเซ็นเซอร์หรือหัวหน้ากลุ่มเซ็นเซอร์ (Cluster Head : CH) ..... 6

2.6 รูปแบบการส่งข้อมูลไปยังสถานีฐาน ..... 6

2.6.1 การส่งข้อมูลแบบ Single Hop ..... 6

2.6.2 การส่งข้อมูลแบบ Multi Hop ..... 7




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


2.7 การรวมข้อมูล (Data Aggregation) ..... 7

2.8 การแบ่งพื้นที่การเก็บข้อมูล (Region) ..... 8

2.9 วัฏจักรการทำงานของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ..... 8

2.10 แหล่งพลังงานหลักของเซ็นเซอร์ไร้สาย ..... 9

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 9

2.12 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องในการจำลองระบบ ..... 10

2.12.1 Python Programming Language ..... 10

2.12.1.1 Numerial Python (Numpy) ..... 10

2.12.1.2 Decimal fixed point and floating point arithmetic (Decimal) ..... 11

2.12.1.3 Matplotlib pyplot (Pyplot) ..... 11

2.12.1.4 PyOpenCL ..... 11

3 วิธีดำเนินการศึกษา ..... 12

3.1 แบบจำลองการใช้พลังงาน (Sensor Energy Consumption model) ..... 12

3.2 โมเดลระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Network Model on WSN, Network Topology) 13

3.3 ปัจจัยที่ใช้เปรียบเทียบของแต่ละโปรโตคอล ..... 14

3.3.1 อัตราการลดลงของจำนวนเซ็นเซอร์ที่ทำงานได้ (Sensor Depletion Rate, SDR) 14

3.3.2 จำนวนรอบที่สามารถทำงานได้จนมีเซ็นเซอร์พลังงานหมดตัวแรก (Stable Operation Period, SOP) ..... 14

3.3.3 ขนาด Cluster Size เฉลี่ยที่เกิดขึ้นในระบบต่อจำนวนรอบที่สามารถทำงานได้จนมีเซ็นเซอร์พลังงานหมดตัวแรก (Cluster Size per SOP) ..... 14

3.4 วิเคราะห์การทำงานและประสิทธิภาพของโปรโตคอล ..... 14

3.4.1 โปรโตคอล Energy-efficient Clustering (EC Solution) ..... 14

3.5 วิธีการที่นำเสนอ ..... 16

3.5.1 การเริ่มต้นระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายด้วยพลังงานเริ่มต้นที่ไม่เท่าเทียมกัน : Unequal Initial Energy Assignment in Wireless Sensor Networks (UIEA) ..... 16




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


3.5.1.1 Energy Usage in Data Collection Round ..... 17

3.5.1.2 สมการคำนวณพลังงานที่ใช้ในหนึ่งรอบการเก็บข้อมูล ..... 17

4 ผลการทดลอง ..... 22

4.1 ข้อกำหนดของการทดลอง ..... 22

4.2 ค่าที่ใช้ในการทดลอง ..... 22

4.3 ผลการทดลอง ..... 22

5 สรุปผลการทดลอง ..... 26

บรรณานุกรม ..... 27

ประวัติผู้เขียน ..... 29




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

2.1 เซ็นเซอร์ไร้สาย. ....4
2.2 Uniform Distribution ที่เกิดจากการสุ่มอย่างเท่าเทียม. ....5
2.3 Non-Uniform Distribution ที่เกิดจากการสุ่ม. ....5
2.4 Cluster Head. ....6
2.5 การส่งข้อมูลแบบ Single-hop. ....7
2.6 การส่งข้อมูลแบบ Multi-hop ....7
2.7 Data Aggregation ....8
2.8 Region และ Cluster ที่ถูกสร้างขึ้นมาแล้ว ....8
3.1 Network Topology ....13
3.2 โปรโตคอล EC. ....15
3.3 Monte Carlo. ....18
3.4 UIEA Algorithm. ....21
4.1 รูปเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย cluster size ต่อ SOP ที่ความหนาแน่น 0.00625. ....24
4.2 รูปเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย cluster size ต่อ SOP ที่ความหนาแน่น 0.0125 ....24
4.3 รูปเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย cluster size ต่อ SOP ที่ความหนาแน่น 0.025. ....24
4.4 รูปเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย cluster size ต่อ SOP ที่ความหนาแน่น 0.05. ....24
4.5 รูปเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย cluster size ทั้งระบบเปรียบเทียบที่ความหนาแน่นต่างๆ. ....25



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network, WSN) คือการที่อุปกรณ์เซ็นเซอร์ (Sensor Device, Sensor Node, Node) ที่มีพลังงานจำกัด มีขนาดเล็ก มีความสามารถในการตรวจจับข้อมูลแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น และสามารถส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุ ปริมาณตั้งแต่สิบถึงพันตัว มาทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบเพื่อทำงานเก็บข้อมูลและส่งข้อมูลไปยังสถานีฐาน (Sink, Base Station, BS) ที่ทำงานรวบรวมข้อมูลของเซ็นเซอร์ หนึ่งในข้อจำกัดที่สำคัญของ WSN คือพลังงานอันจำกัดของระบบ ปัจจุบันพลังงานที่ใช้ในระบบนั้นมาจากแบตเตอรี่ Sensor จะทำงานเป็นรอบการทำงานไปจนกว่าพลังงานที่ใช้ได้ของตัวเองจะหมด เมื่อ Sensor อยู่ห่างจาก BS นั้นจะเสียพลังงานจากการส่งข้อมูลมากกว่า Sensor อื่นๆที่อยู่ใกล้กว่า ในปัจจุบันได้มีงานหลายตัวที่นำเสนอกระบวนการบริหารจัดการพลังงานใน WSN เพื่อใช้พลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด [1].

เพื่อที่จะบรรลุจุดประสงค์ต่างๆที่ต้องการเช่น ระยะเวลาการทำงาน (Duration of Operation) หรือ การครอบคลุมพื้นที่ระบบ (Coverage area) ระบบกลุ่มของเซ็นเซอร์ (Cluster) ได้ถูกคิดค้นและนำมาใช้และแสดงให้เห็นว่าสามารถลดการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ [2-3] โดยที่ภายในระบบจะทำการเลือกหัวหน้ากลุ่ม (Cluster Head, CH) ด้วยวิธีการที่กำหนด และให้สร้างกลุ่มเพื่อหาสมาชิก (Cluster Members, CM) จากนั้น CM จะส่งข้อมูลมายัง CH แทนที่จะเป็น BS เพื่อรวบรวมข้อมูลของ CM จากนั้นแล้ว CH จะทำการสรุปข้อมูลให้มีขนาดเล็กลง (Data Aggregation) เพื่อลดปริมาณข้อมูลที่ CH จะต้องส่งออก การสรุปรวมข้อมูลนั้นใช้พลังงานเพียงเล็กน้อยมากเมื่อเทียบกับพลังงานที่ต้องใช้หากจะต้องส่งข้อมูลดิบของ CM ทั้งหมด เมื่อ CH สรุปข้อมูลเสร็จแล้วจะส่งข้อมูลที่สรุปไปยัง BS ในที่สุด แต่อย่างไรก็ดีหน้าที่ CH นั้นมีการใช้พลังงานที่สูง ระบบเครือข่ายควรจะผลัดกันให้ Node ทำหน้า CH เพื่อกระจายการใช้พลังงานในระบบให้ใกล้เคียงกัน โดยวิธีการเลือก CH ในระบบจะต้องสามารถทำงานได้ด้วยตัว Nodes เอง ไม่ต้องพึ่งพาความช่วยเหลือของ BS

แต่ปัญหาการใช้พลังงานที่สูงจากการส่งข้อมูลระยะไกลยังไม่หมดไป CH ที่อยู่ห่างจาก BS มากจะต้องใช้พลังงานที่สูงกว่า CH ที่อยู่ใกล้ BS เพื่อส่งข้อมูลไปยัง BS โดยตรง ทำให้การใช้พลังงานในระบบไม่สมดุลกัน การส่งต่อข้อมูลหลายระดับ (Multi-hop) ได้ถูกเสนอและนำมาใช้เพื่อลดการใช้พลังงานส่งข้อมูลของ CH ที่อยู่ห่างไกลจาก BS CH จะทำการส่งข้อมูลสรุปมาให้กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CH ที่ถูกเลือกเพื่อส่งข้อมูลและที่อยู่ใกล้ BS กว่าตัวเอง ถ้าไม่มี CH อยู่ใกล้กว่าตัวเองแล้ว จึงจะทำการส่งข้อมูลสรุปของตัวเอง และที่รับมาจาก CH ข้างหลัง ไปยัง BS ทั้งหมด

วิธีการส่งข้อมูลแบบ Multi-hop นั้นสามารถลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็นของการส่งข้อมูลระยะไกลออกไปได้อย่างดี แต่อย่างไรก็ตามบนวิธีการส่งข้อมูลเป็น Multi-hop นั้น CH ที่อยู่ใกล้ BS จะถูกใช้พลังงานจำนวนมากเพื่อรับส่งข้อมูลให้กับ CH ที่อยู่ข้างหลังตัวเองหรือเรียกอีกอย่างว่าห่างจาก BS มากกว่าตัวเอง ในพื้นที่ที่ถูกใช้พลังงานสูงดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า hop-spot หรือปัญหา energy hole เมื่อหน้าที่ CH ถูกผลัดเปลี่ยนกันในพื้นที่แล้ว node ที่อยู่ใกล้บริเวณ BS จะถูกใช้พลังงานจนหมดอย่างรวดเร็วก่อนหน้า node ที่อยู่ห่างออกไป

เพื่อลดความรุนแรงของปัญหาดังกล่าว ระยะห่างระหว่าง sensor และระหว่าง BS จะต้องถูกวิเคราะห์เพื่อที่จะสามารถใช้คำนวณพลังงานเริ่มต้นให้กับ node แต่ละตัว ระดับพลังงานเริ่มต้นของ node ที่อยู่ใกล้ BS ควรจะต้องสูงกว่า node ที่อยู่ห่างจาก BS เพื่อรองรับปัญหา hop-spot เพื่อให้การวิเคราะห์และการคำนวณรวมถึงการใช้งานจริงสามารถทำได้ง่ายขึ้น พื้นที่ระบบเครือข่าย (Network field) จะถูกแบ่งออกเป็นพื้นที่เก็บข้อมูลย่อย (Region) Nodes ที่อยู่ใน region เดียวกันจะถูกใช้ในการคำนวณและกำหนดระดับพลังงานร่วมกัน แทนที่จะวิเคราะห์แยกเป็นตัว node

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวคิดการคำนวณพลังงานเริ่มต้นของเซ็นเซอร์ไร้สายที่เหมาะสม เพื่อให้การให้บริการในพื้นที่โดยรวมนั้น สามารถทำงานได้ภายในเวลาที่กำหนดไว้ โดยจะไม่เกิดพื้นที่ที่มีเซ็นเซอร์ที่ไม่สามารถทำงานได้ขึ้นมาก่อนพื้นที่อื่นๆ มีชื่อเรียกว่า “Unequal Initial Energy Assignment” (UIEA) โดยที่ UIEA นั้นมีความแตกต่างกับวิธีการอื่นๆที่มีการนำเสนอออกมา โดยที่ระบบที่ใช้กระบวนการนี้สามารถใช้ขนาดของกลุ่ม (Cluster Size) ที่มีขนาดเท่ากันตลอดทั้งระบบ การคำนวณพลังงานมีพื้นฐานจากความต้องการของระบบในส่วนต่างๆ เช่น ขนาดของกลุ่ม ปริมาณรอบการทำงานที่ระบบสามารถทำงานได้โดยไม่มีเซ็นเซอร์ที่พลังงานหมด (Stable Operation Period, SOP) พลังงานเฉลี่ยของทั้งระบบที่มี (Average Initial Energy) ความหนาแน่นของกลุ่ม เซ็นเซอร์ (Sensor Density) ผลการจำลองระบบแสดงให้เห็นว่า UIEA สามารถทำงานได้ SOP ที่ใกล้เคียงกับกระบวนการที่ถูกนำเสนอออกมาก่อนหน้า EC solution โดยที่ UIEA สามารถใช้ cluster size ที่เล็กกว่า

ส่วนอื่นของงานวิจัยนี้ จะถูกอธิบายออกไปเป็นส่วนต่างๆดังนี้ จุดมุ่งหมาย วิธีการทำงาน ขอบเขตการทำงาน และประโยชน์ที่จะได้รับอยู่ใน 1.2-1.5 ทฤษฎี งานวิจัยและเทคโนโลยี ที่เกี่ยวข้องถูกอธิบายในบทที่ 2 การดำเนินการศึกษา โมเดลการจำลอง วิเคราะห์กระบวนการที่นำมาใช้เปรียบเทียบ รวมถึงกระบวนการนำเสนอ ได้แสดงไว้ในบทที่ 3 การจำลองเปรียบเทียบและผลการจำลองอยู่ในบทที่ 4 และ บทที่ 5 เป็นสรุปของงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อค้นหาอัลกอริทึม ที่จะคำนวณขนาดของพื้นที่ของกลุ่มพลังงานเริ่มต้นของเซ็นเซอร์ไร้สายที่เหมาะสม เพื่อที่จะให้ได้ซึ่งระยะเวลาการให้บริการเป็นไปตามที่กำหนด

## 1.3 วิธีดำเนินงาน

โครงงาน "การค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย" จะทำการศึกษาและพัฒนาอัลกอริทึม สรุปผลการทดลองการแบ่งพื้นที่กลุ่มในการติดต่อสื่อสาร โดยมีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1) ศึกษาปัจจัยการทำงานของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในงานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อใช้เป็นแนวทางการทำงานของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย และนำมาพัฒนาต่อ
2) ศึกษาปัญญาที่มีอยู่ของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย
3) ค้นหาวิธีการใหม่ ที่เป็นไปได้ของการทำงานเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย
4) วิเคราะห์การทำงานของวิธีการใหม่ดังกล่าวด้วยทฤษฎีทางคณิตศาสตร์
5) ทำแบบจำลองของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ภายใต้วิธีการทำงานที่คิดค้นขึ้น
6) แก้ไขปัญหาและข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากการทดสอบ

## 1.4 ขอบเขตการทำงาน

ศึกษาหากระบวนการแบ่งขนาดพื้นที่ ความหนาแน่น การใช้พลังงาน การเลือกหัวหน้ากลุ่ม การค้นหาเส้นทาง และ พลังงานที่เหมาะสม ของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ให้ทำงานได้ภายใต้ระยะเวลาที่กำหนด และเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ใกล้เคียงกันที่มีมาก่อนหน้านี้

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย จะมีการกระจายอย่างเท่าเทียมภายใต้พื้นที่ มีปริมาณความหนาแน่นของเซ็นเซอร์ไม่เท่ากันในแต่ละพื้นที่ พลังงานของเซ็นเซอร์จำกัดไม่สามารถประจุไฟใหม่ได้ เซ็นเซอร์ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ในระยะเวลาการทำงาน

การทดสอบวิธีการใหม่และการจำลองเปรียบเทียบ ทำจำลองการทำงานบนโมเดลพื้นฐานการใช้พลังงานในระบบจำลองเสมือนจริงเท่านั้น

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

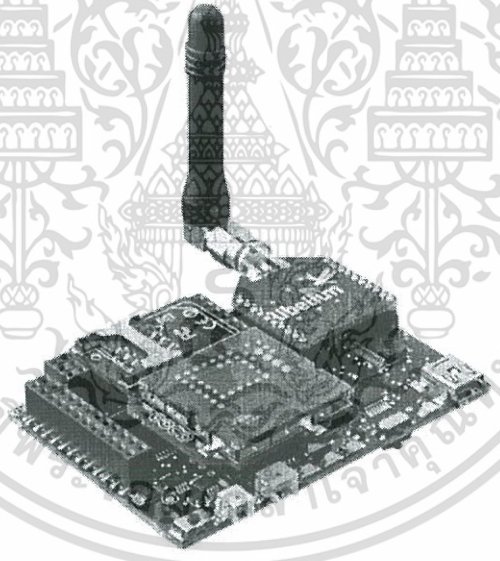
1) มีความเข้าใจการทำงานระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย
2) พัฒนาประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย
3) ได้สร้างระบบจำลองเสมือนจริงเพื่อการทดลองทฤษฎี
4) ได้ศึกษาการพัฒนาระบบและการนำเสนองานวิจัย
5) สามารถใช้เป็นพื้นฐานการศึกษาต่อระดับสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 เซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Device, Sensor Node, Node)

เป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก บรรจุชุดคำสั่งให้ทำงานตามการทำงานที่กำหนด มีเสาส่งสัญญาณไร้สาย สามารถติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ประเภทเดียวกันด้วยชุดการทำงาน (โปรโตคอล) ที่ออกแบบ สามารถผลิตได้จำนวนมาก มีฐานแบตเตอรี่ติดตั้งและถอดได้บนตัวอุปกรณ์ อาจจะมีอุปกรณ์ที่สามารถทำให้เคลื่อนที่ได้ หรืออุปกรณ์ที่ช่วยให้แบตเตอรี่อยู่ได้นานขึ้น เช่นโซล่าเซลใช้ร่วมกับแบตเตอรี่ที่สามารถประจุไฟเข้าไปใหม่ได้ และมีอุปกรณ์ในการตรวจจับข้อมูลที่สนใจ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แรงลม ความสั่นสะเทือน หรือ ในการทางทหารเช่นตรวจจับมนุษย์ที่อาจจะเป็นข้าศึกด้วยการตรวจจับวัตถุที่เข้ามาใกล้เซ็นเซอร์ เพื่อเก็บข้อมูลกลับมายังสถานีฐานนำไปใช้ต่อไป



**รูปที่ 2.1** เซ็นเซอร์ไร้สาย

## 2.2 รูปแบบการส่งข้อมูลของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

### 2.2.1 การส่งข้อมูลแบบเป้าหมายเดียว (Unicast)

การส่งข้อมูลแบบ Unicast เป็นส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์ตัวหนึ่ง ไปยังอีกตัวหนึ่งโดยตรง เช่น จากเซ็นเซอร์สมาชิกส่งข้อมูลไปยังหัวหน้ากลุ่ม หรือหัวหน้ากลุ่มส่งข้อมูลไปยังหัวหน้ากลุ่มอีกกลุ่มหนึ่งที่อยู่ใกล้สถานีฐาน โดยที่ผู้รับจะเปิดตัวรับไว้รับข้อมูล (Receiver Antenna) Node

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถอ่านข้อมูลปลายทางได้ว่าข้อมูลนั้นใช่ของตัวเองหรือไม่ หากไม่ใช่ node สามารถไม่รับข้อมูลต่อได้ เพื่อรักษาพลังงานของตัวเอง

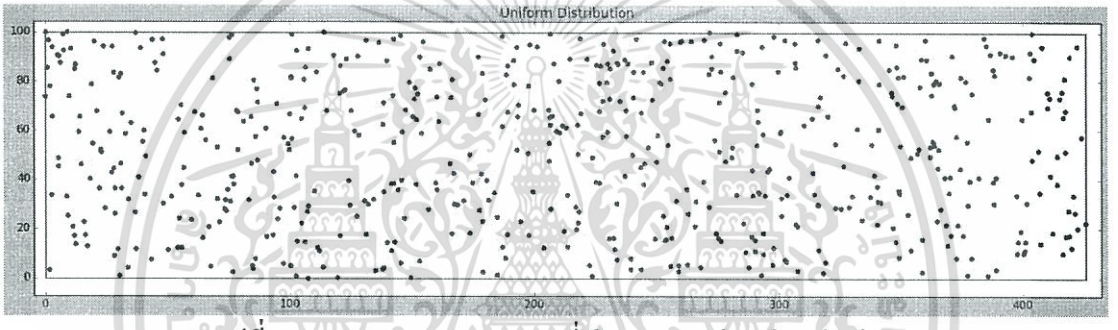
### 2.2.2 การส่งข้อมูลแบบการประกาศข้อมูล (Broadcast)

การส่งข้อมูลแบบ Broadcast ระบุเป้าหมายเป็นเลขเฉพาะของการสื่อสารที่เซ็นเซอร์ทุกตัวเข้าใจกัน และจะต้องรับข้อมูลชิ้นนั้นไปประมวลผลเมื่อได้รับข้อมูลประเภท Broadcast ออกมา node ทุกตัวที่เปิดตัวรับไว้ จะได้รับข้อมูลประเภทนี้โดยไม่มีการปฏิเสธการรับข้อมูลต่อ

## 2.3 รูปแบบการวางเซ็นเซอร์ลงบนพื้นที่การให้บริการ

### 2.3.1 การวางเซ็นเซอร์แบบ Uniform Distribution

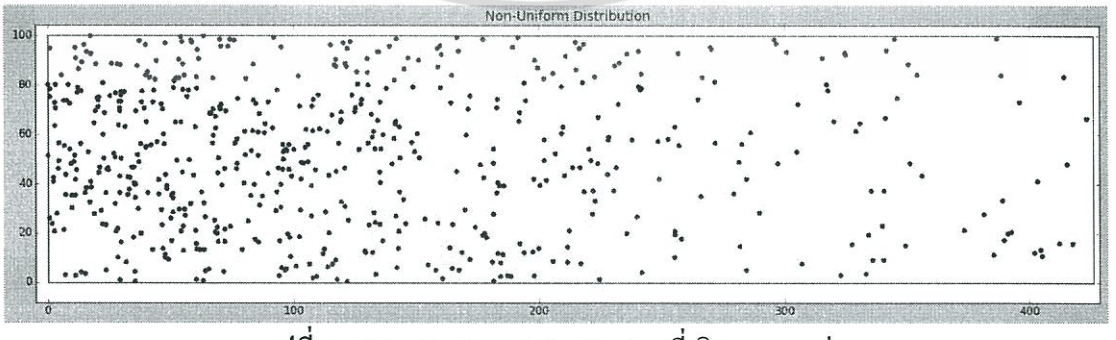
การวางเซ็นเซอร์แบบ Uniform Distribution เกิดมาจากการสุ่มอย่างเท่าเทียม เพื่อกระจายเซ็นเซอร์ออกจากกันให้มีระยะห่างใกล้เคียงหรือเท่ากัน




**รูปที่ 2.2** Uniform Distribution ที่เกิดจากการสุ่มอย่างเท่าเทียม

### 2.3.2 การวางเซ็นเซอร์แบบ Non-Uniform Distribution

การวางเซ็นเซอร์แบบ Non-Uniform Distribution เกิดมาจากการวางเซ็นเซอร์ลงพื้นที่บริการแบบสุ่ม โดยที่จะมีความหนาแน่นในระบบไม่เท่ากันเมื่อแบ่งตามสัดส่วนของพื้นที่ให้บริการย่อยที่ต้องการ




**รูปที่ 2.3** Non-Uniform Distribution ที่เกิดจากการสุ่ม

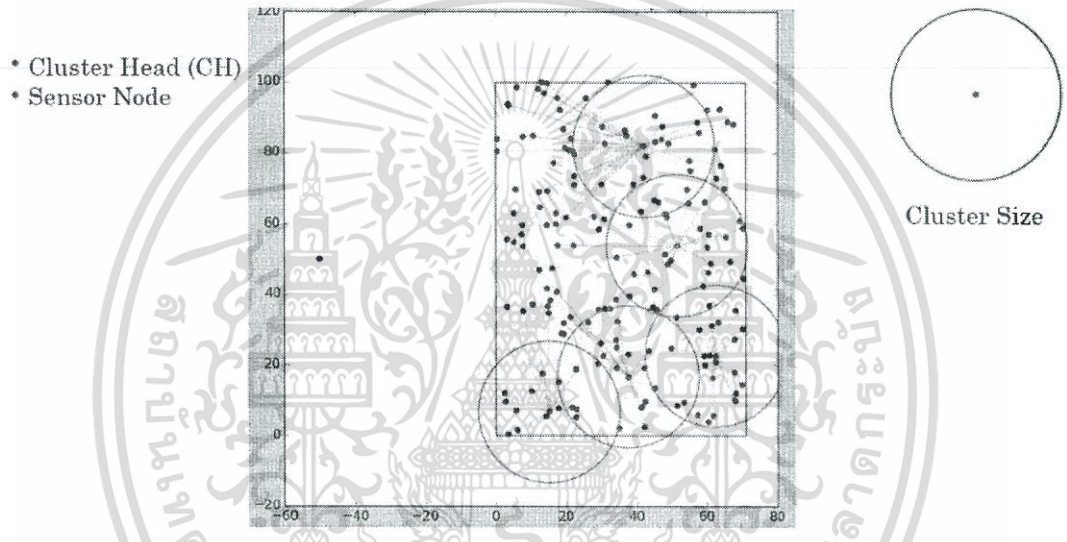
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ความหนาแน่นของเซ็นเซอร์ไร้สาย

ปริมาณของเซ็นเซอร์ที่ถูกวางลงพื้นที่เก็บข้อมูลจะบอกปริมาณรวมได้ด้วยความหนาแน่นของเซ็นเซอร์ต่อพื้นที่ตารางเมตรแทนด้วยสัญลักษณ์ $\sigma$

## 2.5 ตัวแทนกลุ่มเซ็นเซอร์หรือหัวหน้ากลุ่มเซ็นเซอร์ (Cluster Head : CH)

การเลือกเซ็นเซอร์ขึ้นมาเป็นหัวหน้ากลุ่มจากกลุ่มของเซ็นเซอร์ที่อยู่ใกล้กัน เพื่อเป็นตัวแทนส่งข้อมูลไปยังสถานีฐานแทนเซ็นเซอร์รอบๆเพื่อลดการใช้พลังงาน ในการหาเส้นทางในการส่งข้อมูลแบบ Multi-Hop เป็นหน้าที่ของ CH ในแต่ละ region เช่นกัน การทำงานแบบมี Cluster Head จะใช้ร่วมกับการรวมข้อมูล (Data Aggregation)



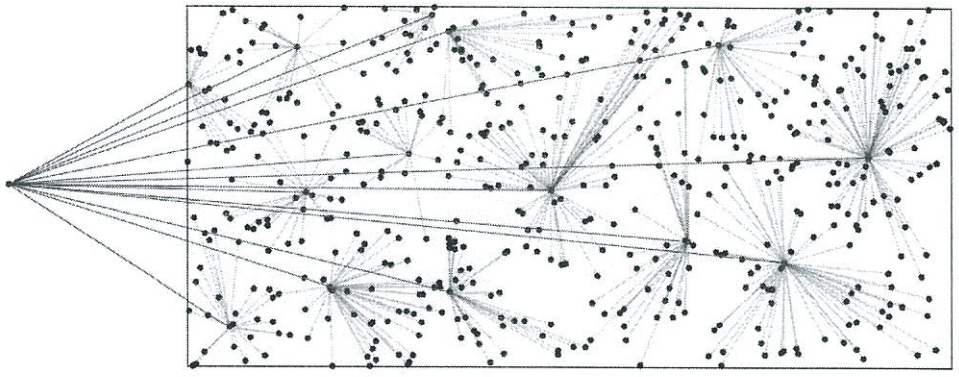

**รูปที่ 2.4** Cluster Head

## 2.6 รูปแบบการส่งข้อมูลไปยังสถานีฐาน

### 2.6.1 การส่งข้อมูลแบบ Single Hop

การส่งข้อมูลแบบ Single-hop เป็นการส่งข้อมูลจากหัวหน้ากลุ่มไปยังสถานีฐานโดยตรง โดยไม่ผ่านหัวหน้ากลุ่มตัวอื่น วิธีการส่งข้อมูลดังกล่าวจะทำให้หัวหน้ากลุ่มที่อยู่ห่างจากสถานีฐานมากจำเป็นต้องใช้พลังงานที่สูงมากในการส่งข้อมูลระยะไกล เป็นผลทำให้พลังงานหัวหน้ากลุ่มดังกล่าวถูกใช้ไปมากกว่าหัวหน้ากลุ่มที่อยู่ใกล้สถานีฐาน จากรูป 2.6 จุดสีน้ำเงินคือ CM เส้นสีแดงคือ CM ที่ทำการเข้ากลุ่ม Cluster กับ CH ที่อยู่ใกล้ตนเองที่สุด จุดสีแดงคือ CH และเส้นสีเขียวคือเส้นทางที่ CH จะต้องทำการส่งข้อมูลไปยัง BS ในลักษณะเป้าหมายเดียว

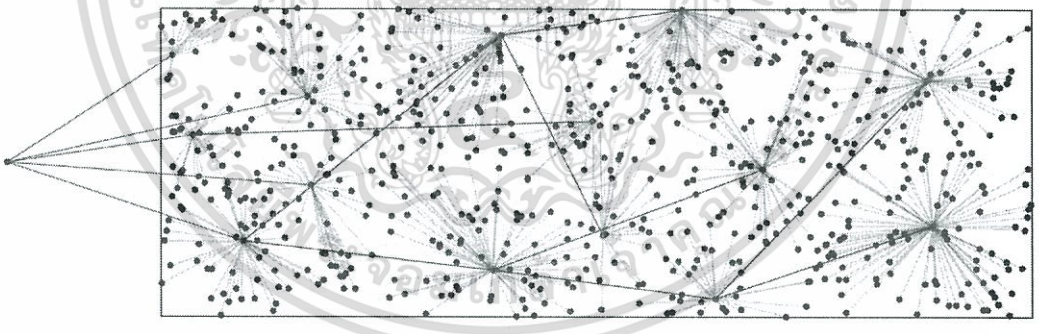
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 2.5** การส่งข้อมูลแบบ Single-hop

### 2.6.2 การส่งข้อมูลแบบ Multi Hop

การส่งข้อมูลแบบ Multi-hop เป็นการส่งข้อมูลจากหัวหน้ากลุ่ม ไปยังหัวหน้ากลุ่มที่อยู่ใกล้สถานีฐานมากกว่าตน เพื่อให้หัวหน้ากลุ่มตัวนั้นทำการส่งข้อมูลต่อให้แทนตนเอง เพื่อรักษาการใช้พลังงาน จากรูปที่ 2.7 ระบบจะคล้ายคลึงกับ หัวข้อที่ผ่านมาแต่ CH จะต้องค้นหาเส้นทางในการส่งข้อมูลข้าม region ไปยัง CH ที่อยู่ region ข้างหน้าตนเองเพื่อมุ่งไปยัง BS เส้นสีน้ำเงินคือเส้นทางที่ CH ที่ไม่ใช่ region แรก เลือก CH ที่อยู่ region ข้างหน้า ทิศทางการส่งจะเป็นลักษณะพาข้อมูลไปหา BS จากขวาไปซ้าย

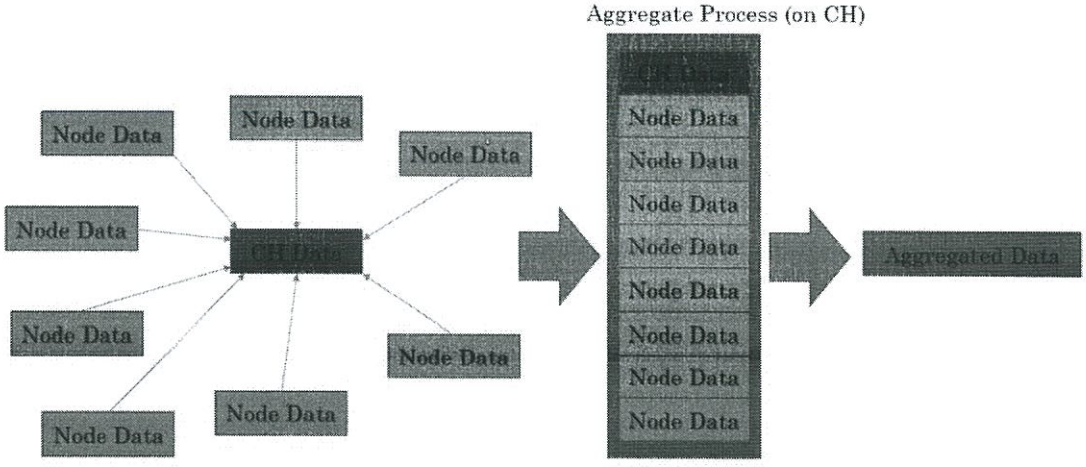


**รูปที่ 2.6** การส่งข้อมูลแบบ Multi-hop

## 2.7 การรวมข้อมูล (Data Aggregation)

การรวบรวมข้อมูลจาก CM แล้วทำการประมวลผลชุดข้อมูล เพื่อประมวลผลข้อมูลสรุปออกมา ใช้กับการทำงานของเซ็นเซอร์ที่มีการสร้าง Cluster ที่มี CH เป็นผู้รวบรวมข้อมูลจาก CM ที่อยู่ในการควบคุม ข้อมูลที่เป็นข้อมูลสรุป จะไม่ถูกสรุปข้อมูลซ้ำอีก

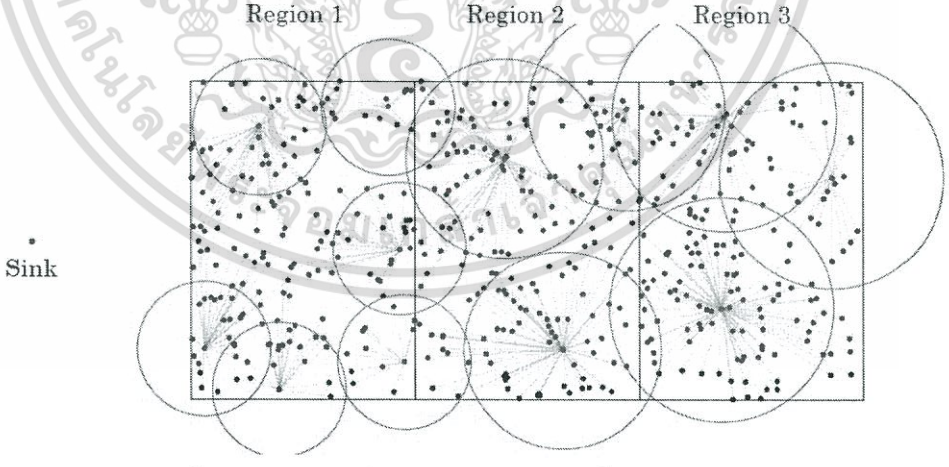
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.7** Data Aggregation

## 2.8 การแบ่งพื้นที่การเก็บข้อมูล (Region)

การแบ่งพื้นที่เก็บข้อมูลคือการทำให้พื้นที่บริการทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ โดยที่ในพื้นที่เก็บข้อมูลนั้นจะจัดการระบบเครือข่ายไร้สายของตนเองให้ทำงานได้ใน region นั้น โดยที่เซ็นเซอร์แต่ละตัวจะรู้ว่าตนเองอยู่พื้นที่เก็บข้อมูลที่ใด ในการส่งข้อมูลนั้น พื้นที่เก็บข้อมูลที่ห่างจากสถานีฐานมาก จะต้องทำการส่งต่อข้อมูลมาให้หัวหน้ากลุ่มของพื้นที่ให้บริการข้างหน้า ที่อยู่ใกล้สถานีฐานมากกว่า ขนาดของ region นั้นจะถูกแบ่งออกเป็นขนาดที่เหมาะสมเพื่อให้การทำงานของ node ภายใน region นั้นมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด




**รูปที่ 2.8** Region และ Cluster ที่ถูกสร้างขึ้นมาแล้ว

## 2.9 วัฏจักรการทำงานของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

วัฏจักรการทำงานของเครือข่ายจะทำงานตั้งแต่เริ่มแข่งขันการเลือก CH การสร้าง Cluster การเก็บข้อมูลและสรุปข้อมูล หาเส้นทางการส่งข้อมูลข้าม Region และส่งข้อมูลข้าม Region

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งต่อข้อมูลไปยังสถานีฐานได้ครบทุกชิ้นข้อมูลจะนับเป็นหนึ่งรอบการทำงาน โดยที่ nodes จะต้องทำงานในลักษณะนี้ไปจนกว่าพลังงานของตัวเองจะหมด

## 2.10 แหล่งพลังงานหลักของเซ็นเซอร์ไร้สาย

การจ่ายพลังงานเลี้ยงวงจรของตัวเซ็นเซอร์ไร้สายเป็นแบบแบตเตอร์รี่ที่ใช้แล้วหมดไป ขนาดเล็กพอที่จะติดอยู่กับตัวเซ็นเซอร์ได้ มีพลังงานได้หลายระดับ เซ็นเซอร์จะทำงานภายใต้พลังงานที่มีอยู่จำกัด จนพลังงานหมด ก็จะถือว่าเซ็นเซอร์ตัวนั้นๆหมดสภาพการใช้งาน

## 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีงานวิจัยหลายชิ้นที่นำเสนอเพื่อแก้ปัญหา "Energy Hole" Lian และคณะได้นำเสนอวิธีการวางเซ็นเซอร์เพิ่งลงไปบนพื้นที่ใกล้ BS เพื่อรองรับการใช้พลังงานที่สูงในพื้นที่ดังกล่าว [4] Oyman และคณะนำเสนอวิธีการวาง BSs หลายตัวรอบๆพื้นที่ระบบเพื่อลดการใช้พลังงานที่ฟุ่มเฟือยและลดจำนวนข้อมูลที่ถูกส่งเข้ามายังพื้นที่ hotspot ของระบบ [5] Gandham และคณะเสนอให้ใช้ BSs หลายตัววางรอบๆพื้นที่บริการเป็นวงกลมและเคลื่อนที่ไปรอบๆเพื่อลดระดับความแตกต่างของการใช้พลังงานของเซ็นเซอร์ในระบบ [6] Wang และคณะเสนอให้วาง BS ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ลงบน network field เพื่อลดการใช้พลังงาน [7] วิธีการต่างๆที่กล่าวมานั้นจำเป็นต้องเพิ่มอุปกรณ์การทำงานในระบบเช่นเพิ่ม BS หรือ เพิ่มเซ็นเซอร์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้

EECS [8] นำเสนอว่าให้ใช้ cluster size ที่ไม่เท่ากัน โดยที่ clusters ที่ห่างจาก BS จะมีขนาดเล็กกว่า clusters ที่อยู่ใกล้ BS CHs ทำการสรุปข้อมูลและส่งข้อมูลมายัง BS โดยตรงเป็น single hop

UCR [9] นำเสนอวิธีการใช้ cluster size ที่ไม่เท่ากัน โดยที่ clusters ที่อยู่ใกล้ BS มีขนาดเล็กกว่า clusters ที่อยู่ห่างออกไปจาก BS โดยที่ UCR นั้นทำงานไม่เหมือนกัน EECS เพราะ UCR ทำการส่งข้อมูลมายัง BS โดยใช้วิธีการส่งต่อข้อมูลเป็นทอดๆ (multi hops)

EC [10] นำเสนอวิธีการแบ่ง network field ออกเป็น regions ที่มีขนาดเล็กลงมา และมีวิธีการคล้ายกับ UCR โดยที่ cluster size ของ clusters ที่อยู่ใกล้ BS (inner regions) จะมีขนาดเล็กกว่า clusters ที่อยู่ไกล BS (outer regions) ในการที่รักษาการใช้พลังงานภายใน cluster CHs ในทุกๆ region จะติดต่อกับ CHs ภายนอกที่อยู่ region ที่ติดกันเท่านั้น

ทั้งกระบวนการ UCR และ EC ไม่ต้องการอุปกรณ์พิเศษเพิ่มเติมในระบบอย่างในงานอื่นๆที่ถูกนำเสนอมา แต่ข้อมูลที่ส่งออกมาจากแต่ละ clusters นั้นมาจากการสรุปข้อมูลของ CH ที่มี cluster size ไม่เท่ากัน การสรุปรวมข้อมูลจาก clusters ที่มีขนาดเล็กจะทำให้ข้อมูลสรุปนั้นมีความเที่ยงตรงต่อความเป็นจริงมากกว่า clusters ที่มีขนาดใหญ่ ในบางระบบที่ต้องการ cluster size ที่เท่ากัน สามารถควบคุมและมีความน่าเชื่อถือ วิธีการที่ใช้ cluster size ที่ไม่เท่ากันอาจจะไม่สามารถตอบสนองความต้องการนี้ได้ ทั้งใน UCR และ EC cluster size ของแต่ละ cluster จะถูกควบคุมและกำหนดโดยค่าความหนาแน่นของเซ็นเซอร์ในระบบเครือข่ายหรือในพื้นที่ย่อยที่ถูกแบ่งออกมาจากระบบ วิธีการที่จะทำให้ cluster size มีขนาดเล็กลงบนกระบวนการทั้งสอง คือต้องเพิ่มความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนาแน่นของเซ็นเซอร์ให้กับระบบเครือข่าย ซึ่งนำไปสู่ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น และการจำลองของกระบวนการนั้นแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มเซ็นเซอร์ลงไปในระบบนั้นสามารถเพิ่มระยะเวลาการทำงานของระบบได้เพียงเล็กน้อย และการเพิ่มเซ็นเซอร์ลงไปในระบบจำนวนมากไม่ทำให้ระยะเวลาการทำงานเพิ่มจากเดิมแต่อย่างใด

ผู้วิจัยมีข้อเสนอว่า cluster size ในระบบ WSNs ควรจะต้องปรับเปลี่ยนค่าได้ โดยขึ้นกับความต้องการของการทำงานต่างๆบนพื้นที่ให้บริการ โดยที่วิธีการที่นำเสนอ UIEA สามารถคำนวณ ค่าเฉลี่ยของพลังงานเริ่มต้นของเซ็นเซอร์ในแต่ละ region เพื่อให้สามารถทำงานในระบบได้ตามจำนวนรอบการทำงานที่ต้องการ และการเพิ่มพลังงานให้กับเซ็นเซอร์โดยตรงนั้นง่ายกว่าจัดหาอุปกรณ์พิเศษอื่นๆที่มีค่าใช้จ่ายสูงกว่า

## 2.12 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องในการจำลองระบบ

ในการจำลองระบบเพื่อเปรียบเทียบและทดสอบประสิทธิภาพ ผู้วิจัยได้ใช้เทคโนโลยีโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเขียนโปรแกรมจำลองระบบขึ้นมา โดยมีพื้นฐานการทำงานจากโมเดลการใช้พลังงานทางคณิตศาสตร์ และรูปแบบการทำงานเป็นไปตามกระบวนการทำงานที่กำหนด รวมไปถึงการคำนวณต่างๆที่ต้องใช้ในกระบวนการที่นำเสนอ และกระบวนการที่นำมาเปรียบเทียบด้วย

### 2.12.1 Python Programming Language

Python (ไพธอน) เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงที่ใช้ตัวแปลภาษาแบบ Interpreter สามารถมีใช้งานได้ทั้งในระบบปฏิบัติการ Windows Based และ Unix Based โดยที่ python เป็นภาษาที่เขียนและเข้าใจง่าย มีความเร็วสูงพอที่สามารถยอมรับได้ สามารถค้นหาและแก้ไขปัญหาเมื่อเกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย ตัวภาษารองรับเทคโนโลยีและ programming concept ครอบคลุมทุกอย่างที่งานวิจัยนี้ต้องการใช้ เช่น Object Oriented (OO) และเทคนิคอื่นที่เกี่ยวข้องกับ OO และในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ผู้วิจัยได้ใช้ Library (เรียกว่า Module ใน Python) อื่นๆเพื่อความแม่นยำและน่าเชื่อถือได้จากการคำนวณ และ module บางตัวเพื่อช่วยให้การจำลองระบบและการคำนวณทำงานได้เร็วขึ้น

#### 2.12.1.1 Numerial Python (Numpy)

Numpy ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อนำมาใช้งานในระดับงานทางวิทยาศาสตร์ มีความสามารถหลากหลายและช่วยแบ่งเบาภาระในการเขียนโปรแกรมเป็นอย่างดี ผู้วิจัยได้ใช้ Numpy ในการคำนวณงานต่างๆที่มีลักษณะเป็น Array (List ใน Python) และการดำเนินการกับ List และในการสุ่ม numpy ได้การันตีการ random แบบ uniform ไว้และสามารถเชื่อถือได้ ไม่เหมือนกับ module random ธรรมดาใน python

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.12.1.2 Decimal fixed point and floating point arithmetic (Decimal)

การคำนวณในกระบวนการ UIEA และ EC นั้น ทุกส่วนของสมการมีทศนิยมเข้ามาเกี่ยวของ ในการคำนวณคณิตศาสตร์บนตัวเลขทศนิยมของคอมพิวเตอร์นั้น มีปัญหาเรื่องของความแม่นยำที่มีไม่มากนักของการเก็บข้อมูลทศนิยม (Floating point Arithmetic problem) ซึ่งใน module Decimal ของ Python นั้นสามารถการันตีความแม่นยำของทศนิยมในลักษณะการเก็บข้อมูลเป็น String และสามารถกำหนดความแม่นยำได้ ซึ่งผู้วิจัยใช้จุดเด่นตรงนี้เพื่อใช้คำนวณทศนิยมให้มีความแม่นยำที่สูงมาก แต่การใช้ Decimal นั้นทำให้ความเร็วในการคำนวณตกลงไปมาก ผู้วิจัยได้ใช้ Decimal ในการคำนวณสมการ UIEA และ EC เท่านั้น ในระบบจำลองผู้วิจัยใช้วิธีอื่นในการคำนวณการใช้พลังงานเพื่อให้มีความเร็วที่ดีกว่า

#### 2.12.1.3 Matplotlib pyplot (Pyplot)

Pyplot ถูกนำมาใช้กราฟแสดงการทำงานของระบบจำลองใน Python pyplot นั้นมีความสามารถที่จะ plot กราฟทั้งระบบจำลอง และมีวิธีการใช้งานที่ไม่ยากจนเกินไป สามารถปรับแต่งได้หลากหลาย ความเร็วการตอบสนองไม่สูงนักเนื่องจากใช้ CPU ในการคำนวณเป็นหลัก ผู้วิจัยใช้ pyplot เพื่อพล็อตกราฟที่ต้องการแบบง่ายๆ และแสดงระบบแบบสองมิติเท่านั้น

#### 2.12.1.4 PyOpenCL

ในการคำนวณบางส่วนของ UIEA มีส่วนหนึ่งเป็น Approximate Algorithms (Monte Carlo) นั้นมี Big O ที่สูงมากเพราะเป็นการทำงานซ้ำๆด้วยปริมาณข้อมูลที่สูง การคำนวณด้วย CPU อย่างเดียวอาจจะไม่สามารถคำนวณค่าที่ต้องใช้ในการจำลองระบบทั้งหมดที่ต้องการใช้งานได้ภายในเวลาอันจำกัด PyOpenCL ได้ถูกนำมาใช้งาน เพื่อยกภาระนี้ไปใช้ หน่วยประมวลผลกราฟฟิก (GPU) ไปคำนวณแทน โดยที่ PyOpenCL นั้นต้องเขียน Kernel ติดต่อกับ GPU เป็นภาษา OpenCL และเขียนโปรแกรมควบคุม PyOpenCL ด้วยภาษา Python ปกติครอบลงไปอีกชั้นหนึ่ง

ความเร็วของ PyOpenCL (GPU) เมื่อเทียบกับใช้ Python (CPU) คำนวณปกติ อัตราส่วนความเร็วอยู่ที่ 60:1 โดยค่าอัตราส่วนนี้มาจากเครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินการศึกษา

ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัย [10] และทำการทดลองกระบวนการทำงาน ผ่านโปรแกรมจำลองบนภาษา Python เพื่อทำความเข้าใจและค้นหาวิธีการทำงานใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า ตามปัญหาที่ผู้วิจัยได้กำหนดไว้

## 3.1 แบบจำลองการใช้พลังงาน (Sensor Energy Consumption model)

แบบการจำลองใช้พลังงานมี 2 แบบที่ใช้คำนวณพลังงานในการส่งข้อมูลคือ free space model และ multi-path fading model ขึ้นอยู่กับระยะทาง $d$ ว่าอยู่ในเงื่อนไขดังกล่าวต่อดังนี้

$$E_{TX}(d,l) = \begin{cases} l(\varepsilon_{fs} d^2 + e_t); & d \le d_0 \\ l(\varepsilon_{mp} d^4 + e_t); & d > d_0 \end{cases} \tag{3.1}$$

เมื่อ Sensor Node จะต้องส่งข้อมูลใดๆที่มีขนาด $l$ บิท และมีระยะทาง $d$ เมตร โดยที่ผู้รับที่ระยะทาง $d$ นั้นสามารถรับข้อมูลโดยที่มีความผิดพลาดของข้อมูลอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ sensor จะต้องใส่พลังงานให้กับเสาส่งข้อมูลเป็นค่าคงที่ $e_t$ คูณกับ $d^2$ ถ้าระยะทางที่ต้องการส่งน้อยกว่าหรือเท่ากับ $d_0$ แต่ถ้ามากกว่านั้น โมเดลการใช้พลังงานจะใช้ multi-path fading model ที่เป็น $d^4$ แทน
แบบที่ใช้การคำนวณการใช้พลังงานในการรับข้อมูลจะใช้โมเดลดังนี้

$$E_{RX}(l) = le_r \tag{3.2}$$

Sensor Node จะต้องใช้พลังงานในการรับข้อมูลจากเสารับข้อมูลเป็นค่าคงที่ $e_r$ หน่วยจูลต่อบิท ต่อปริมาณข้อมูล 1 บิท

แบบที่ใช้การคำนวณการใช้พลังงานในการสรุปข้อมูลของ Cluster head จะใช้โมเดลดังนี้

$$E_{PROC} = l\varepsilon_{agg} \tag{3.3}$$

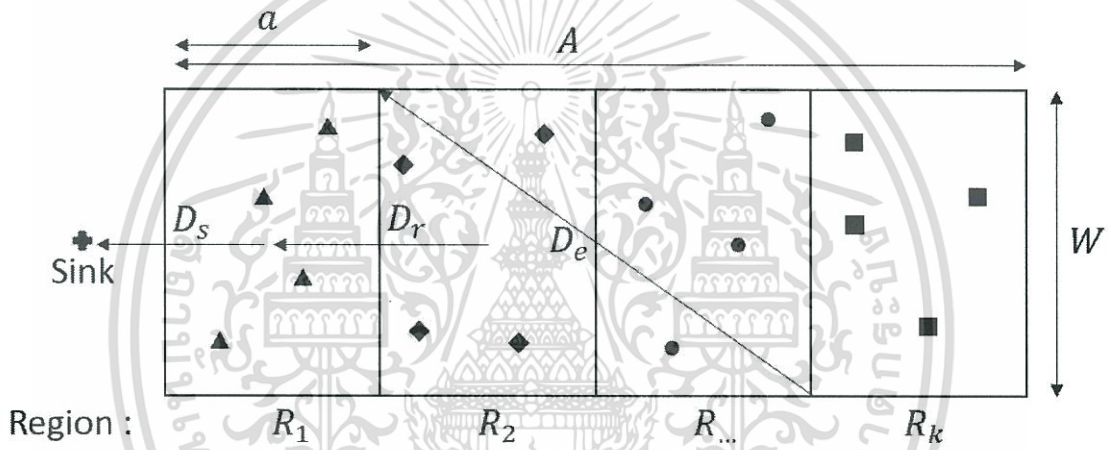
CH จะต้องทำการสรุปข้อมูลจาก CM ทั้งหมดที่อยู่ใน Cluster ของตนเอง ซึ่งปริมาณข้อมูลรวมที่ต้องนำไปสรุปจะมีปริมาณเท่ากับ CM ของ Cluster ตนเองคูณกับขนาดของข้อมูลที่ CM ส่งมา และการใช้พลังงานในการสรุปข้อมูลก็ต้องเสียเท่ากับข้อมูลข้างต้น $l$ คูณกับค่าคงที่ในการสรุปข้อมูล $\varepsilon_{agg}$ หน่วยเป็นจูลต่อบิท เป็นไปตามโมเดลดังกล่าว

ตัวโมเดลแบบจำลองการใช้พลังงานนี้เป็นอิสระกับรูปแบบของตัวอุปกรณ์ และลักษณะการส่งสัญญาณ กล่าวคือเป็นโมเดลพื้นฐานในการคำนวณพลังงานที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย หากตัวอุปกรณ์ที่ใช้งานเป็นลักษณะอื่นและมีโมเดลการใช้พลังงานที่แตกต่างจากโมเดลที่ผู้วิจัยได้นำมาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 โมเดลระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Network Model on WSN, Network Topology)

Sensors $N$ ตัวถูกวางแบบสุ่มอย่างเท่าเทียมลงบน Network field โดยสามารถคิดเป็นความหนาแน่นของเซ็นเซอร์ (Sensor Density) $\sigma$ Network field ถูกสมมติให้เป็นลักษณะสี่เหลี่ยม และถูกแบ่งออกเป็น k regions ที่มีขนาดเท่ากัน Network field มีความกว้าง $W$ และยาว $A$ และขนาดของ region นั้นกว้างเท่ากับ network field $W$ แต่ยาว $a = A/k$ สมมติว่ามี Sink (BS) เพียงตัวเดียวอยู่ข้างนอกทางซ้ายของ Network field Region ที่อยู่ใกล้ Sink มากที่สุดหรือทางซ้ายนั้น เป็น region ลำดับที่ 1 หรือ $R_1$ และ region ที่อยู่ห่างที่สุดหรือขวาสุดคือ region ที่ $k$ หรือ $R_k$ จำนวน nodes ใน network นั้นสามารถคิดได้เป็บ $N = WA\sigma$ และจำนวน nodes ใน region คือ $N_i = Wa\sigma$ ลักษณะ Network Topology ที่ใช้แสดงในรูปที่ 3.1




**รูปที่ 3.1** Network Topology

Sensor นั้นสามารถทำงานเป็น CH หรือ CM ก็ได้ในช่วงเริ่มต้นของแต่ละรอบการทำงานเรียกที่ว่า Data Collection Round หรือ DCR ในแต่ละ DCR หลังจากได้สร้าง Cluster แล้ว CM ทุกตัวจะต้องเก็บข้อมูลตามที่ได้กำหนดขึ้นมา นำมาสร้างเป็นชิ้นข้อมูล (Data Packet) และส่งมาให้ CH จากนั้น CH ทำการสรุปข้อมูลเป็นชิ้นเดียว ถ้าหาก cluster ขนาดใหญ่ข้อมูลที่ CH ทำการสรุปจะมีความถูกต้องต่ำกว่า cluster ที่มีขนาดเล็ก จากนั้น CH จะต้องส่งข้อมูลที่สรุปมายัง Sink โดยที่ CH ใน region $R_i$ จะต้องส่งมายัง CH ที่อยู่ region $R_{i-1}$ และ CH ที่ region $R_1$ จะต้องส่งมายัง Sink ระยะห่างเฉลี่ยที่ sensors สองตัวที่อยู่คนละ region ที่ติดกันคือ $D_r$ และระยะห่างที่มากที่สุดระหว่าง sensors สองตัวจะอยู่ห่างกันได้มากที่สุดระหว่างสอง region ที่ติดกันคือ $D_e$ และระยะห่างใดๆระห่าง sensors ที่ $R_1$ กับ Sink คือ $D_s$

ในงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยสมมติให้ sink และ sensors ทุกตัวถูกติดตั้งอยู่กับที่หลังจากวางระบบ sensors ทุกตัวรู้ตัวเองว่ากำลังทำงานบน region id ใด และ sensors ทุกตัวถูกระบุด้วย ID ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยสมมติให้ sink และ sensors ทุกตัวถูกติดตั้งอยู่กับที่หลังจากวางระบบ sensors ทุกตัวรู้ตัวเองว่ากำลังทำงานบน region id ใด และ sensors ทุกตัวถูกระบุด้วย ID ที่เป็นหมายเลขประจำตัวของตัวเอง Sensors สามารถคำนวณระยะห่างระหว่าง sensors ตัวอื่นๆ หรือ sink ได้จากค่าพลังงานที่ได้รับเมื่อ sensor รับข้อมูลเข้ามา ระยะเวลาการทำงานในแต่ละกระบวนการยาวนานมากพอที่จะสามารถส่งข้อมูลได้อย่างสมบูรณ์แบบโดยที่ไม่มีข้อมูลสูญหายหรือชนกัน

## 3.3 ปัจจัยที่ใช้เปรียบเทียบของแต่ละโปรโตคอล

### 3.3.1 อัตราการลดลงของจำนวนเซ็นเซอร์ที่ทำงานได้ (Sensor Depletion Rate, SDR)

ในการทำงานของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย จะมีเซ็นเซอร์ที่หมดสภาพการทำงานเกิดขึ้นหลังจากช่วงเวลาหนึ่ง และจะมีจำนวนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเมื่อจำนวนรอบการทำงานผ่านไป อัตราการลดลงของจำนวนเซ็นเซอร์เป็นตัวบ่งชี้ที่ดีในการวัดประสิทธิภาพระบบในแง่การกระจายการใช้พลังงาน การกระจายพลังงานที่ดีจะทำให้เซ็นเซอร์ใช้พลังงานใกล้เคียงกันตลอดจนพลังงานหมดพร้อมกัน

### 3.3.2 จำนวนรอบที่สามารถทำงานได้จนมีเซ็นเซอร์พลังงานหมดตัวแรก (Stable Operation Period, SOP)

มีหน่วยเป็นรอบที่ $L$ ที่เซ็นเซอร์หมดสภาพการทำงานเป็นตัวแรกของระบบ นับตั้งแต่เริ่มต้นระบบ สามารถเป็นตัวชี้วัดถึงการกระจายการใช้พลังงานและระดับการใช้พลังงานของกระบวนการทำงาน

### 3.3.3 ขนาด Cluster Size เฉลี่ยที่เกิดขึ้นในระบบต่อจำนวนรอบที่สามารถทำงานได้จนมีเซ็นเซอร์พลังงานหมดตัวแรก (Cluster Size per SOP)

Cluster Size เฉลี่ยที่เกิดขึ้นในระบบจำลองนั้นคำนวนจากระยะห่างเฉลี่ยของ CM ทุกตัวกับ CH ของ CM ตัวนั้นๆ ในทางทฤษฎีอยู่ที่ *2r/3* แต่ในการทำงานจริงนั้น ไม่เป็นอย่างนั้นเสมอไป ต้องคำนวณ cluster size เฉลี่ยที่เกิดขึ้นในระบบเมื่อระบบ WSN ถูกตั้งค่า cluster size เป็นค่า $r$ และสังเกตุ SOP ที่ระบบนั้นสามารถทำงานให้ได้

## 3.4 วิเคราะห์การทำงานและประสิทธิภาพของโปรโตคอล

### 3.4.1 โปรโตคอล Energy-efficient Clustering (EC Solution) [10]

อัลกอริทึ่มของ EC จะเป็นการคำนวณระยะการครอบครองของหัวหน้ากลุ่ม เพื่อให้ได้มาซึ่งการกระจายการใช้พลังงานให้เท่ากันในแต่ละ region โดยการหา cluster size เพื่อแต่งตั้ง CH ของ CCH มีการคำนวณดังนี้

$$r_i = \sqrt{\frac{1}{\pi \sigma p_i}} \tag{3.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\sigma$ $(node/m^2)$ คือความหนาแน่นของจำนวนเซ็นเซอร์ที่อยู่ในพื้นที่ Region $p_i$ คือความน่าจะเป็นที่ Sensor จะได้เป็น Cluster Head วิธีการของ EC สรุปย่อเป็นสมการพหุนามได้ดังนี้

$$Ap_i^2 + Bp_i + C = 0 \tag{3.5}$$

ซึ่งการหาคำตอบของ $p_i$ จะมีได้สองคำตอบที่มีค่าเหมือนกันและเป็นความน่าจะเป็น กล่าวคือค่า $p_i$ จะต้องอยู่ในช่วง [0, 1] ค่า $A, B, C$ เป็นสัมประสิทธิ์ที่หาได้จากสมการที่วิธีการของ EC ได้เขียนไว้ดังนี้

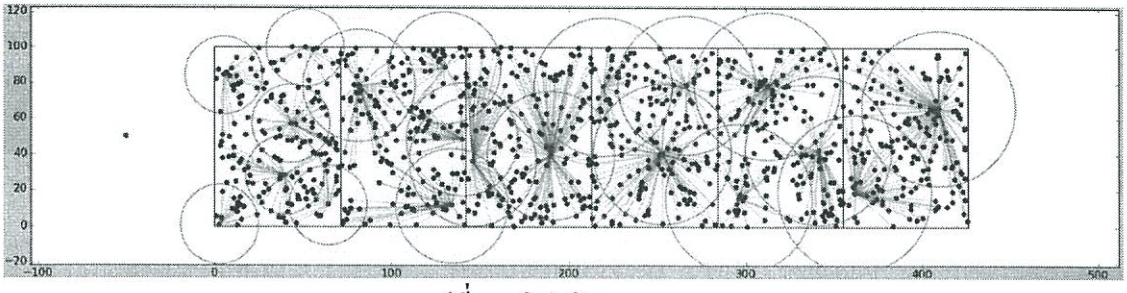
$$A = l_0\varepsilon_{mp}(W^2 + 4a^2)^2 + l_0\sum_{i<j\le k} p_j + l(\varepsilon_{mp}D^4 - \varepsilon_r) \tag{3.6}$$

$$B = l_0\left[\frac{\varepsilon_{fs}}{\pi\sigma}(2\alpha^2 - \frac{4}{9}) + (\alpha^2 + 3 - T)e_r + (T-3)e_t\right] + 2\varepsilon_{mp}(W^2 + 4a^2)^2\sum_{i<j\le k} p_j - \frac{\overline{E_0}}{L_{\max}} + l\left[e_r + e_t + \varepsilon_{agg} - \frac{4\varepsilon_{fs}}{9\pi\sigma} + (e_r + e_t + \varepsilon_{mp}D^4)\sum_{i<j\le k} p_j\right] \tag{3.7}$$

$$C = l_0\left[T^2 e_r + \frac{\varepsilon_{fs}}{\pi\alpha}(T + \frac{4}{9})\right] + l\frac{4\varepsilon_{fs}}{9\pi\alpha} \tag{3.8}$$

ในวิธีการของ EC จะใช้ความน่าจะเป็น $T$ ในการหา CCH (Tentative Cluster Head : CCH) เพื่อแข่งขันกันเป็น CH ด้วยการให้ CCH ประกาศค่าพลังงานของตัวเองและชื่อของผู้ประกาศ ออกไปเป็นระยะทาง $r_i$ ที่คำนวณได้จากสมการข้างต้น CCH ที่มีพลังงานสูงสุดเมื่อเทียบกับที่ได้รับมาจากหัวหน้ากลุ่มชั่วคราวที่อยู่ใกล้เคียงจะได้เป็น CH ถ้า CCH ไม่ได้รับข้อมูลจากวิธีการข้างต้น CCH ตัวนั้นจะได้เป็น CH ทันที เมื่อเสร็จสิ้นการแข่งขันการเป็น CH แล้ว CH จะทำการประกาศออกไปรอบตัวเองรัศมี $\alpha r$ ให้เซ็นเซอร์ได้รับข้อมูลและทำการเลือกหัวหน้ากลุ่มที่จะส่งข้อมูลด้วย หลังจากนั้น CH จะทำการค้นหาเส้นทางในการส่งข้อมูลข้าม Region โดยการประกาศถามหา CH ที่อยู่ Region ข้างหน้า แล้วให้หัวหน้ากลุ่มหนึ่งตัวในนั้นที่มีพลังงานมากที่สุดตอบกลับมาเพียงตัวเดียว

ผู้วิจัยเห็นว่าขนาดของกลุ่มที่มีขนาดไม่เท่ากันจะส่งผลถึงคุณภาพของข้อมูลที่ส่งไปยังสถานีฐาน ควรจะมีวิธีที่ทำให้ขนาดของกลุ่มมีขนาดคงที่ แต่ยังสามารถควบคุมการใช้พลังงานให้เซ็นเซอร์พลังงานหมดในเวลาที่ใกล้เคียงกันได้ และยังต้องการที่จะลดการใช้พลังงานโดยเปล่าประโยชน์ของวิธีการ EC




**รูปที่ 3.2** โปรโตคอล EC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.5 วิธีการที่นำเสนอ

### 3.5.1 การเริ่มต้นระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายด้วยพลังงานเริ่มต้นที่ไม่เท่าเทียมกัน: Unequal Initial Energy Assignment in Wireless Sensor Networks (UIEA)

แนวคิดการกำหนดพลังงานเริ่มต้นที่ไม่เท่ากันในแต่ละพื้นที่ย่อย โดยขึ้นกับระยะห่างระหว่างฐาน มีเป้าหมายเพื่อยืดระยะเวลาการทำงานของระบบเรียกว่า SOP สามารถคำนวณได้จากจำนวนของ DCR ให้ $L_i$ คือจำนวนรอบการทำงานที่ระบบทำงานได้ในแต่ละ region $i$ ในระบบ WSNs ที่ดีควรจะต้องมีจำนวนรอบที่เท่ากันในทุกพื้นที่เก็บข้อมูลย่อย ให้ $k$ เป็นจำนวนพื้นที่เก็บข้อมูลย่อยในระบบ จำนวนรอบอธิบายได้ดังสมการ $L$ คือรอบการทำงานสูงสุดของระบบ คิดได้จากค่าที่น้อยที่สุดของแต่ละ $L_i$ ซึ่งการจะทำให้ค่า $L$ นี้มีค่าที่สูงที่สุดคือการทำให้ระบบมีการใช้พลังงานที่สมดุลกันทั้งระบบ หรือกล่าวได้ว่าทั้งระบบ sensors ควรจะทำงานให้พลังงานหมดพร้อมกัน ตามสมการ (3.9)

$$L = L_1 = L_2 = \ldots = L_k \tag{3.9}$$

ในแต่ละรอบการทำงานของ WSNs แต่ละพื้นที่เก็บข้อมูลย่อยจะทำงานเก็บข้อมูลเป็นอิสระจากกัน จะติดต่อกันในการค้นหาเส้นทาง และส่งต่อข้อมูลที่สรุปเท่านั้น ปัญหาของระบบการส่งข้อมูลแบบ multi-hop นั้น sensors ที่อยู่ region ใกล้ sink จะพลังงานหมดก่อน sensors ที่อยู่ region ที่ห่างออกไป เพื่อที่จะต้องการให้จำนวนรอบเท่ากับในแต่ละ region ตามสมการ (3.9) sensors ยิ่งอยู่ region ใกล้ sink ยิ่งควรจะมีพลังงานเริ่มต้นที่สูงกว่า sensor ที่อยู่ห่างออกไป สมมติว่าแบตเตอรี่ที่จ่ายพลังงานให้กับ sensor มี $m$ ระดับ ปัญหาของ UIEA คือกำหนดพลังงานเริ่มต้นระดับใดๆตั้งแต่ $1<j\leq m$ ให้กับ sensor $i$ ตั้งแต่ $1<i\leq N$ โดยที่ให้สมการ (3.9) เป็นจริง

กำหนดให้ E0i พลังงานเริ่มต้นรวมของ sensors ใน region ที่ $i$ และ $E_0$ คือพลังงานเริ่มต้นรวมทั้งระบบคำนวณได้จากผลรวมของพลังงานเริ่มต้นรวมในแต่ละ region $E_0 = \sum_{i=1}^{k} E_0^i$ และพลังงานที่ต้องใช้ในหนึ่งรอบการทำงาน (DCR) ของ region ที่ i คือ $E_{DCR}^i$ และพลังงานที่ต้องใช้ในทุก region ในหนึ่งรอบการทำงานคือ $E_{DCR} = \sum_{i=1}^{k} E_{DCR}^i$ จำนวนรอบการทำงานของ region สามารถคิดได้จาก พลังงานเริ่มต้นของ region นั้น หารด้วยพลังงานที่ใช้ในหนึ่งรอบการทำงาน และ จำนวนรอบของระบบที่สามารถทำงานได้คือพลังงานเริ่มต้นรวมทั้งระบบหารด้วยพลังงานรวมที่ใช้ในหนึ่งรอบการทำงานของทุก region จำนวนรอบการทำงานทั้งหมดของระบบและรอบการทำงานของ region เมื่อผนวกรวมเข้ากับสมการ (3.9) จะสามารถคำนวณรวมได้ดังสมการ (3.10)

$$L = \frac{E_0}{E_{DCR}} = L_i = \frac{E_0^i}{E_{DCR}^i} \tag{3.10}$$

Sensors node ที่อยู่ region ใกล้ sink จะต้องใช้พลังงานมากขึ้นเพื่อใช้ไปกับการรับส่งต่อข้อมูลจาก CH ที่อยู่ด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



$$E^1_{DCR} \geq E^2_{DCR} \geq \ldots \geq E^k_{DCR} \quad (3.11)$$

เพื่อที่จะให้สมการ (3.9) และ (3.10) เป็นจริง พลังงานเริ่มต้นรวมในแต่ละ region จะต้องเพิ่มขึ้นตามพลังงานที่ใช้ไปในสมการ (3.11)

$$E^1_0 \geq E^2_0 \geq \ldots \geq E^k_0 \quad (3.12)$$

**3.5.1.1 Energy Usage in Data Collection Round**

ในหนึ่งรอบการทำงานเก็บข้อมูล ใน region $i$ จะต้องใช้พลังงานในการทำงานแบ่งออกมาเป็น 5 ส่วนคือ

1) $E^i_{INTRA}$ : พลังงานที่ใช้ภายในกลุ่ม คือการส่งข้อมูลของ CM ทุกตัว

2) $E^i_{CLUSTER}$ : พลังงานที่ใช้ในการสร้าง Cluster และเลือก CH

3) $E^i_{PROC}$ : พลังงานที่ใช้ในการสรุปข้อมูล

4) $E^i_{ROUTE}$ : พลังงานที่ CH ใช้ค้นหาเส้นทางในการส่งต่อข้อมูลไปยัง CH ข้างหน้า

5) $E^i_{INTER}$ : พลังงานที่ต้องใช้ในการรับส่งข้อมูลข้าม region

ค่าของ $E^i_{DCR}$ จะเขียนเป็นสมการที่ (3.13)

$$E^i_{DCR} = E^i_{INTRA} + E^i_{CLUSTER} + E^i_{PROC} + E^i_{ROUTE} + E^i_{INTER} \quad (3.13)$$

หลังจากคำนวณ $E^i_{DCR}$ จากสมการ (3.13) ได้แล้ว ผู้วิจัยสามารถเลือกตัวเลือกได้สองทางคือ 1) กำหนดปริมาณรอบการทำงานของระบบที่ต้องการ $L$ เพื่อคำนวณพลังงานทั้งหมดที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่เก็บข้อมูลย่อย พลังงานที่ต้องใช้ในพื้นที่เก็บข้อมูลย่อยที่ $i$ จะคำนวณได้ดังนี้

$$E^i_0 = L \times E^i_{DCR} \quad (3.14)$$

และเมื่อจำนวนเซ็นเซอร์มีความหนาแน่น $\sigma$ ต่อพื้นที่เก็บข้อมูลย่อยกว้าง $W$ ยาว $a$ สามารถหาพลังงานเฉลี่ยของพื้นที่เก็บข้อมูลย่อยที่ $i$ ได้ดังนี้

$$\overline{E^i_0} = \frac{E^i_0}{N_i} = \frac{E^i_0}{Wa\sigma} \quad (3.15)$$

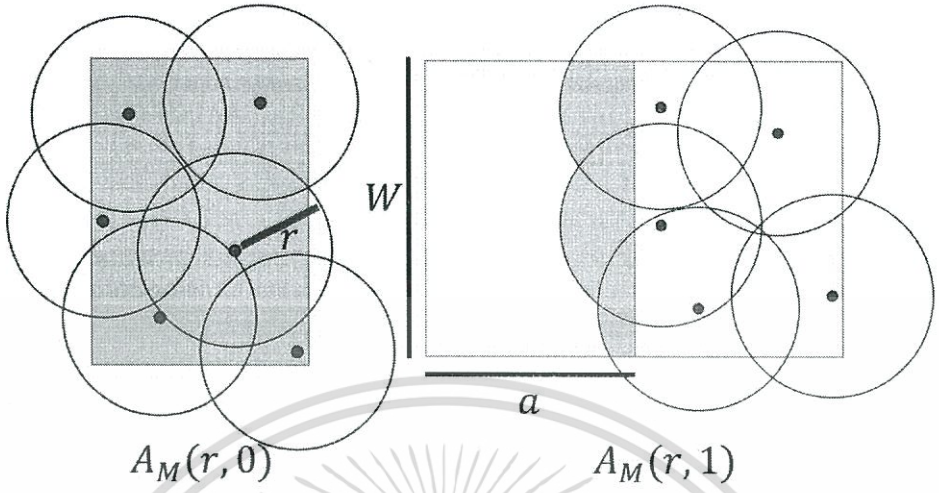
2) สมมติว่าทราบพลังงานรวมของระบบที่มีอยู่ $E_0$ จำนวนรอบการทำงาน L หรือ SOP สามารถคำนวณได้จากสมการ (3.10) จากนั้น $E^i_0$ และ $\overline{E^i_0}$ สามารถคำนวณได้จากสมการ (3.14) และ (3.15)

**3.5.1.2 สมการคำนวณพลังงานที่ใช้ในหนึ่งรอบการเก็บข้อมูล**

จำนวน CH ภายใน region $R_i$ หรือ $N^i_{CH}$ สามารถคำนวณได้จากขนาดของพื้นที่ region หารด้วยขนาดของ cluster size เฉลี่ย เพราะว่าการส่งข้อมูลของ sensor นั้นส่งข้อมูลไปรอบทิศทางและขนาดของ cluster ขึ้นกับตำแหน่งที่ CH อยู่ใน region นั้นๆ เพื่อที่จะหาค่าเฉลี่ย cluster size วิธีการ Monte Carlo ได้ถูกนำมาใช้ ผลลัพธ์ของฟังก์ชั่น Monte Carlo $A_M(r, s)$ คือค่าเฉลี่ยพื้นที่ของวงกลมหรือ cluster ที่อยู่บนพื้นที่ region โดยที่ $r$ คือรัศมีของ cluster และ $s$ คือค่าของ hop ที่อยู่ของ region ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
144546

CH ได้ถูกวางลงไป จากรูปที่ 3.2 ถ้า $s = 0$ หมายความว่า CH ได้อยู่ภายในตัว region เอง และถ้า $s = 1$ หมายความว่า CH ได้ถูกวางบน region ที่อยู่ติดกันกับ region ที่ต้องการหาพื้นที่เฉลี่ย




**รูปที่ 3.3** Monte Carlo

จำนวน CH ใน region ที่ $i$ $N_{CH}^{i}$ สามารถคำนวณได้จากสมการ (3.16)

$$N_{CH}^{i} = \frac{Wa}{A_M(r,0)} \tag{3.16}$$

ในงานนี้ ผู้วิจัยสมมติให้ sensors กระจายลงบน network field แบบสุ่มอย่างเท่าเทียม ขนาดของ region นั้นเท่าๆกัน และ cluster size เท่ากัน หมายความว่า $N_{CH}^{i}$ นั้นเท่ากันในทุก regions sensors ทุกตัวใน region จะต้องส่งข้อมูลมายัง CH ของตัวเองด้วยระยะทางเฉลี่ย cluster *2r/3* ด้วยขนาดข้อมูล 1 ทำให้ CMs มีการส่งข้อมูล $N_i - N_{CH}^{i}$ ครั้ง และรับในปริมาณเท่ากัน ดังนั้น $E_{INTRA}^{i}$ มีค่าเท่ากับ

$$E_{INTRA}^{i} = (N_i - N_{CH}^{i})E_{TX}(\frac{2r}{3}, l) + (N_i - N_{CH}^{i})E_{RX}(l) \tag{3.17}$$

CH ได้ถูกเลือกในกระบวนการแข่งขัน CH (Cluster Head Competition process) เริ่มต้นจาก candidate CHs (CCHs) เลือกตนเองขึ้นมาจากค่าความน่าจะเป็น $T$ ในงานนี้ผู้วิจัยใช้ $T =$ *10%* เหมือนกับ [10] CCH แต่ละตัวจะประกาศบอกค่าพลังงานที่เหลืออยู่ของตัวเองไปยัง CCHs ตัวอื่นที่อยู่รอบๆภายในรัศมีการประกาศ $r$ ถ้าไม่มี CCHs ภายในระยะการประกาศ CCH ตัวนั้นจะเป็น CH แต่ถ้ามี CCH มากกว่าหนึ่งตัวอยู่ในระยะประกาศ CCH ที่มีพลังงานเหลืออยู่มากที่สุดจะได้เป็น CH หลังจากนั้น CH จะประกาศข้อมูลของตัวเองไปยัง sensors อื่นในรัศมี $\alpha r$ โดยที่ $\alpha$ คือ $\sqrt{2\ln 10}$ เพื่อจะให้มั่นใจได้ว่ามากกว่า 99% ของ nodes ใน region นั้นๆจะได้รับข้อมูลประกาศนี้ [10] node จะทำการเลือก CH ที่อยู่ใกล้ตัวเองมากกว่าที่หากมีได้รับข้อมูลประกาศจาก CH มากกว่าหนึ่งตัว จะถูกเลือกโดย node ที่ไม่ใช่ CH node ที่ไม่ใช่ CH จะทำการส่งข้อมูลขอเข้าร่วม cluster

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มายัง CH ที่ได้เลือกไว้ หลังจากกระบวนการนี้ CH จะทำการประกาศลำดับช่องเวลา (Timeslot) ให้กับ CM เป็นระยะ $\alpha r$ เช่นกัน $E^i_{CLUSTER}$ สามารถคำนวณได้จากสมการ (3.18) เมื่อ $l_0$ คือข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารในกระบวนการดังกล่าว (Controlled Packet)

$$\begin{aligned} E^i_{CLUSTER} &= Wa\sigma T\left(E_{TX}(r,l_0)+(A_M(r,0)\sigma T-1)E_{RX}(l_0)\right) \\ &+(N_i-N^i_{CH})\left(E_{TX}(\frac{2r}{3},l_0)+E_{RX}(l_0)\right) \\ &+2N^i_{CH}\left(E_{TX}(\alpha r,l_0)+(A_M(\alpha r,0)\sigma-1)E_{RX}(l_0)\right) \\ &+\sum_{j=1}^{i-1}\Big(Wa\sigma T(A_M(r,i-j)\sigma T-1)E_{RX}(l_0) \\ &\qquad +2\left[N^i_{CH}(A_M(\alpha r,i-j)\sigma-1)E_{RX}(l_0)\right]\Big) \\ &+\sum_{j=i+1}^{k}\Big(Wa\sigma T(A_M(r,j-i)\sigma T-1)E_{RX}(l_0) \\ &\qquad +2\left[N^i_{CH}(A_M(\alpha r,j-i)\sigma-1)E_{RX}(l_0)\right]\Big) \end{aligned} \tag{3.18}$$

เมื่อ data packet จาก CMs ทุกตัวได้ส่งมายัง CH ของตัวเองเป็นจำนวน $N_i$ packet ภายใน region นั้น พลังงานที่ต้องใช้ในการสรุปข้อมูลของ CH ใน region $R_i$ มีค่าดังนี้

$$E^i_{PROC}=N_i l\varepsilon_{agg} \tag{3.19}$$

พลังงานที่ต้องใช้ใน $R_i$ บนการค้นหาเส้นทางส่งข้อมูลข้าม region ของ CH และรับข้อมูลตอบกลับ คือ $E^i_F$ และพลังงานที่ต้องใช้ใน $R_i$ บนการรับข้อมูลค้นหาเส้นทางจาก CH บน region ข้างหลังคือ $E^i_B$ และพลังงานที่สูญเปล่าจากการข้อมูลถามตอบจาก region อื่นที่ไม่เกี่ยวข้องในการตอบกลับหรือรับเข้ามา กระบวนการหาเส้นทางอธิบายได้ดังนี้ CH ใน $R_i$ ส่งข้อมูลประกาศไปข้างหน้า $R_{i-1}$ เพื่อหา CH ที่สามารถจะรับข้อมูลและส่งต่อให้ CH ใน $R_i$ ได้ CH จะต้องประกาศเป็นระยะทาง $D_e$ เพื่อให้มั่นใจได้ว่า CHs ทุกตัวบน $R_{i-1}$ จะได้รับข้อมูลประกาศหาเส้นทางนี้ และ CH จาก $R_{i-1}$ จะตอบกลับมาเพียงตัวเดียว CH ใน $R_1$ ไม่จำเป็นต้องส่งข้อมูลค้นหาเส้นทางเพราะว่ารู้ตำแหน่งของ sink อยู่แล้ว สมการคำนวณ $E^i_F$ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$E^i_F=\begin{cases} N^i_{CH}\left[E_{TX}(D_e,l_0)+E_{RX}(l_0)\right]; i>1 \\ 0; otherwise \end{cases} \tag{3.20}$$

CHs ใน region $R_i$ จะต้องตอบกลับจากที่ได้รับข้อมูลประกาศหา CH จาก region $R_{i+1}$ จากจำนวน CHs จาก $R_{i+1}$ ที่ประกาศถามขึ้นมา $R_6$ จะไม่ใช้พลังงานในส่วนนี้ การคำนวณพลังงาน $E^i_B$ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E^i_B=\begin{cases} N^i_{CH}E_{TX}(D_e,l_0); i<k \\ 0; otherwise \end{cases} \tag{3.21}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$E^i_{ROUTE}$ สมการคำนวณได้จากสมการ (3.22) พจน์แรกคือพลังงานที่สูญเปล่าจากการรับข้อมูลประกาศที่ไม่จำเป็น

$$E^i_{ROUTE} = N^i_{CH} E_{RX}(l_0)\left(\sum_{j=1}^{i-1}\left[\frac{A_M(D_e, i-j)}{A_M(r,0)} + \sum_{j=i+1}^{k}\left[\frac{A_M(D_e, j-i)}{A_M(r,0)}\right]\right]\right) + E^i_F + E^i_B \quad (3.22)$$

ในการรับส่งข้อมูลสรุประหว่าง region CHs ใน region $R_i$ ได้รับข้อมูลสรุปจำนวน $N^i_{CH}(k-i)$ ชิ้นจาก CHs ที่อยู่ region $R_{i+1}$ และข้อมูลสรุป $N^i_{CH}(1+k-i)$ ชิ้นจะต้องถูกส่งไปยัง CHs ที่อยู่ region ข้างหน้า $R_{i-1}$ รวมข้อมูลจาก CHs ของตัว region $R_i$ เองแล้ว สามารถเขียนสมการได้ด้วยนี้

$$E^i_{INTER} = N^i_{CH}(k-i)E_{RX}(l) + N^i_{CH}(1+k-i)E_{TX}(D,l) \quad (3.23)$$

เมื่อ $E^i_0$ สามารถคำนวณได้แล้วจากสมการ (3.14) ขั้นตอนสุดท้ายคือการติดตั้งและกำหนดพลังงานเริ่มต้นให้กับ sensor แต่ละตัวใน region ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยสมมติให้มีพลังงานเริ่มต้นได้สองระดับ (m = 2) ให้ $E_{high}$ และ $E_{low}$ คือระดับค่าพลังงานสูงต่ำเริ่มต้นที่ใช้ในระบบ โดยที่ปกติแล้วค่าพลังงานเฉลี่ยของทั้งระบบจะอยู่ตรงกลางระหว่างค่าพลังงานทั้งสองระดับนี้ $E_{low} < \overline{E_0} < E_{high}$ เพื่อที่จะได้สามารถปรับเปลี่ยนค่าพลังงานเฉลี่ยให้เป็นไปตามที่คำนวณได้ โดยที่พลังเฉลี่ยทั้งระบบคำนวณได้จาก $\overline{E_0} = E_0 / AW\sigma$ ให้ $N^i_{high}$ เป็นจำนวน sensors ใน region $R_i$ ที่มีระดับพลังงานเท่ากับ $E_{high}$ และ $N^i_{low}$ คือจำนวน sensors ใน region $R_i$ ที่มีระดับพลังงานเริ่มต้นเท่ากับ $E_{low}$ ค่าของ $N^i_{high}$ และ $N^i_{low}$ สามารถคำนวณได้จากการแก้สมการ (3.24) และ (3.25) โดยที่ $0 <= N^i_{high}$, $N^i_{low}$

$$N^i_{high} + N^i_{low} = W a \sigma \quad (3.24)$$

$$N^i_{high} E_{high} + N^i_{low} E_{low} = E^i_0 \quad (3.25)$$

ชุดคำสั่งเทียมของกระบวนการ UIEA แสดงไว้ใน รูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Algorithm 1:** UIEA Algorithm

**EdcrMethod1**:
1: **Determine** $\sigma, r, L, W, a, k$
2: $i = k$
3: **while** $i > 0$ **do**
4: **Calculate** $E^i_{DCR}$ **by equation** (3.13)
5: **Calculate** $E^i_0$ **by equation** (3.14)
6: $i \leftarrow i - 1$
7: **endwhile**
8: **return** $E^1_0, E^2_0, ..., E^k_0$

**EdcrMethod2:**
1: **Determine** $\sigma, r, E_0, W, a, k$
2: $i = k$
3: **while** $i > 0$ **do**
4: **Calculate** $E^i_{DCR}$ **by equation** (3.13)
5: $i \leftarrow i - 1$
6: **endwhile**
7: **Calculate** $L$ **by equation** (3.10)
8: **Calculate** $E^i_0$ **by equation** (3.14)
9: **return** $E^i_0$

**getAmountTwoLevel**( $E^i_0, N_i, high, low$ ):
1: $x = (high \times N_i - E^i_0)/2$
2: $y = (E^i_0 - low \times N_i)/2$
3: $N^i_{high} = y$
4: $N^i_{low} = x$
3: **if** $N^i_{high} > N^i_{low}$ do
4: **return** ceil( $N^i_{high}$ ),floor( $N^i_{low}$ )
5: **else if** $x < y$ do:
6: **return** floor( $N^i_{high}$ ),ceil( $N^i_{low}$ )
7: **endif**
8: **return** $N^i_{high}, N^i_{low}$

$A_M(r, s)$:
1: **Determine** $W, a, size, iterator$
2: **for** $i$ **from** 1 **to** $iterator$ **do**:
3: $count \leftarrow 0$
4: $p$ = **Random coordinate from** $(0,0)$ **to** $(a, W)$ $size$ **points**
5: $q$ = **Random coordinate from** $(s \cdot a, 0)$ **to** $(a(s+1), W)$ 1 **point**
6: **for** $j$ **from** 1 **to** $size$ **do**:
7: **if distance of** $p_i$ **to** $q_1$ **less than** $r$ **do**:
8: $count \leftarrow count + 1$
9: **endif**
10: **endfor**
11: **Calculate area by** $A_i = (count / size) \cdot W \cdot a$
12: **endfor**
13: **return** $\bar{A}$

**รูปที่ 3.4** UIEA Algorithm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4

# ผลการทดลอง

## 4.1 ข้อกำหนดของการทดลอง

1) เซ็นเซอร์ถูกวางลงในแต่ละพื้นที่เก็บข้อมูลแบบสุ่ม

2) เซ็นเซอร์สามารถปรับระยะทางการส่งข้อมูลได้อย่างอิสระ

3) เซ็นเซอร์มีเสาสัญญาณส่งข้อมูลแบบรอบทิศทาง (Ommi-directional) ที่ทำงานได้สมบูรณ์แบบบนระยะทางการส่งข้อมูลใดๆ โดยที่ไม่มีการสูญหายของข้อมูลหรือข้อมูลชนกัน

4) เซ็นเซอร์สามารถคำนวณระยะห่างของผู้ส่งได้จากการวัดค่าระดับพลังงานสัญญาณของข้อมูลที่รับมา

5) เซ็นเซอร์มีเลขประจำตัวของตัวเอง

6) เซ็นเซอร์เคลื่อนที่ไม่ได้

7) เซ็นเซอร์จะหมดสภาพการทำงานก็ต่อเมื่อ พลังงานคงเหลือไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้งาน ณ การทำงานใดๆ

## 4.2 ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองการทำงานเพื่อทดสอบกระบวนการบันทึกผลการทำงานด้วยภาษา Python เพื่อใช้จำลองการทำงานและเก็บข้อมูลค่า Cluster size เฉลี่ยที่เกิดขึ้นในระบบ และ SOP

วิธีการ EC กับ UIEA ต่างกันที่ EC คำนวณการใช้พลังงานเริ่มต้นที่เท่ากันให้ได้ซึ่งขนาดของกลุ่มที่ไม่เท่ากันในแต่ละพื้นที่เก็บข้อมูลและขนาดของกลุ่มนี้ไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้ แต่ UIEA เป็นวิธีคำนวณการใช้พลังงานบนพื้นฐานของขนาดกลุ่มที่ถูกกำหนดมาเพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงานเริ่มต้นของเซ็นเซอร์โหนด ในขณะที่ค่าตัวแปรต่างๆยังเหมือนเดิม

เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพได้ จะใช้พลังงานรวมทั้งระบบมีปริมาณพลังงานเท่ากันระหว่าง EC กับ UIEA $E_0^{EC} = E_0^{UIEA}$

ในการจำลองนั้นผู้วิจัยได้ทดสอบที่ค่าความหนาแน่นของเซ็นเซอร์ที่ค่าต่างตั้งแต่ 0.0125 ถึง 0.05 ในลักษณะทวีคูณ และ ในกระบวนการ UIEA ผู้วิจัยได้ทำการจำลองบน cluster size ที่ค่าต่างๆตั้งแต่ 15 ถึง 80 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 1** ค่าตัวแปรที่ใช้ทดสอบที่ใช้เหมือนกันระหว่างวิธี UIEA และ EC

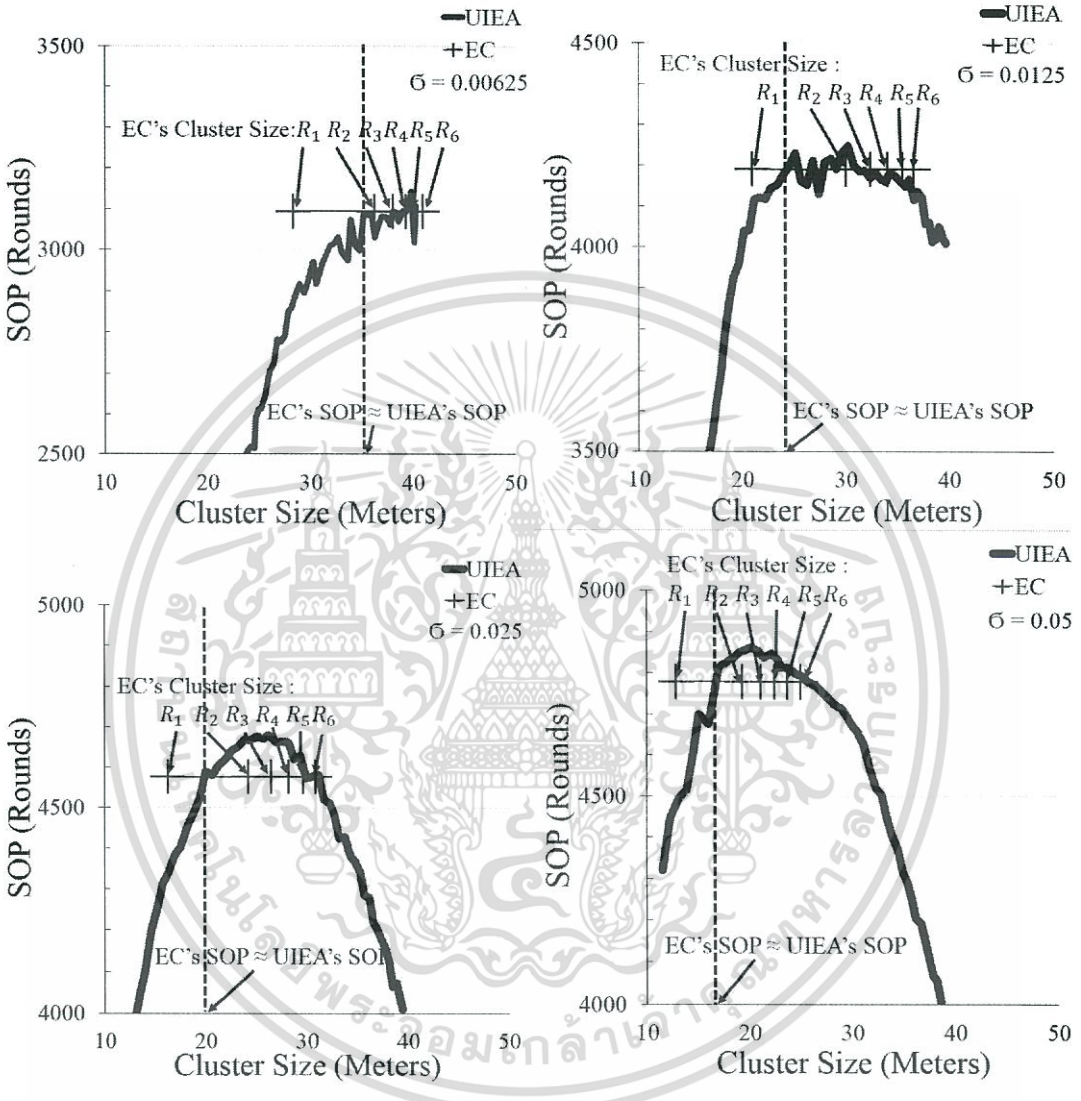
| **Parameter** | **Value** |
|---|---|
| Network size | 426 x 100 $m^2$ |
| Region size | 71 x 100 $m^2$ |
| Number of Regions , $k$ | 6 |
| $\alpha$ | 2.1459660262893472 |
| $\varepsilon_{fs}$ | 10 pJ/bit/ $m^2$ |
| $\varepsilon_{mp}$ | 0.0013 pJ/bit/ $m^4$ |
| $\varepsilon_{agg}$ | 50 nJ/bit |
| $\varepsilon_{elec}$ , $e_r$ , $e_t$ | 5 nJ/bit |
| $l$ | 4000 bit |
| $l_0$ | 200 bit |
| $W$ | 100 m |
| $a$ | 71 m |
| $d_0$ | 87 m |
| $E_{high}$ | 4J |
| $E_{low}$ | 2J |
| $\overline{E_0}$ | 3J |

## 4.3 ผลการทดลอง

ผู้วิจัยได้แสดงผลการทดลองเป็นกราฟ cluster size ที่เกิดขึ้นในระบบจำลองของ UIEA ต่อ SOP ที่สามารถทำได้ใน cluster size นั้นๆ เปรียบเทียบระหว่าง UIEA กับ EC แต่ใน EC นั้นในหนึ่งค่าความหนาแน่นมีคำตอบของ cluster size เพียงชุดคำตอบเดียวที่มีค่าไม่เท่ากันในแต่ละ region ผู้วิจัยได้แสดงค่า cluster ของ EC ที่ region 1 ถึง 6 โดยใช้ลูกศรชี้ไปที่จุดต่างๆบนกราฟ $R_1$ ถึง $R_6$ ต่อ SOP ที่ EC ทำได้บนค่าความหนาแน่นนั้นๆ ในรูปที่ 4.1 ถึง 4.4 ได้แสดงถึง cluster size ของ UIEA ที่สามารถทำงานได้ SOP ที่มีค่ามากกว่า EC หรืออีกความหมายหนึ่งคือ UIEA สามารถทำงานได้ SOP ใกล้เคียงกันกับ EC แต่ว่าสามารถทำงานที่ cluster size ที่เล็กกว่าได้ จากรูป 4.1 ถึง 4.4 ที่ SOP ของ UIEA ที่ใกล้เคียงกับ SOP ของ EC นั้น UIEA สามารถทำงานที่ cluster size เฉลี่ย อยู่ระหว่าง $R_1$ กับ $R_2$ ของ EC ที่ความหนาแน่น 0.025 EC มีขนาด cluster size เฉลี่ยเป็นชุดคำตอบคือ 16.2, 24.2, 26.4, 28.1, 29.6, 30.8 เมตร $R_1$ ถึง R6 ตามลำดับ แต่ UIEA สามารถทำงานได้ที่ cluster size เฉลี่ย 20 เมตรเท่ากันทั้งระบบ โดยที่ทำงานได้ SOP ใกล้เคียงกันคือ 4600 รอบ โดยที่ค่าความหนาแน่นอื่นถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.5 โดยความได้เปรียบนี้สื่อถึงความละเอียดของข้อมูลที่ UIEA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนาแน่นอื่นถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.5 โดยความได้เปรียบนี้สื่อถึงความละเอียดของข้อมูลที่ UIEA สามารถทำได้ดีกว่า EC โดยที่สามารถใช้ค่า cluster size เฉลี่ยที่น้อยกว่า EC ได้ประมาณ 5-22% โดยเปรียบเทียบกับ cluster size เฉลี่ยทั้งระบบของ EC เมื่อทั้งสองกระบวนการมีค่า SOP ที่ใกล้เคียงกัน




(ซ้ายไปขวา บนลงล่าง)

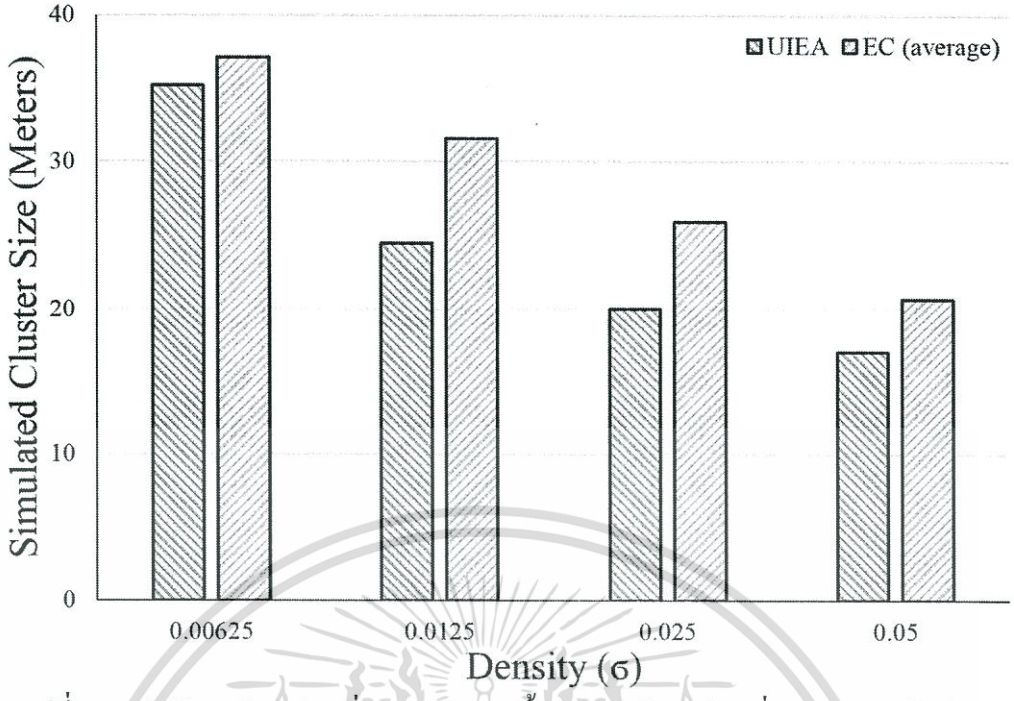
**รูปที่ 4.1** รูปเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย cluster size ต่อ SOP ที่ความหนาแน่น 0.00625

**รูปที่ 4.2** รูปเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย cluster size ต่อ SOP ที่ความหนาแน่น 0.0125

**รูปที่ 4.3** รูปเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย cluster size ต่อ SOP ที่ความหนาแน่น 0.025

**รูปที่ 4.4** รูปเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย cluster size ต่อ SOP ที่ความหนาแน่น 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.5** รูปเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย cluster size ทั้งระบบเปรียบเทียบที่ความหนาแน่นต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอกระบวนการ UIEA ที่คำนวณพลังงานเริ่มต้นที่ไม่เท่าเทียมกัน ในระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยมีพื้นฐานมาจาก EC Protocol แต่ UIEA สามารถปรับเปลี่ยนค่า cluster size ได้อย่างอิสระ โดยกำหนดปรับเปลี่ยนระดับค่าพลังงานเริ่มต้นที่แตกต่างกัน โดยขึ้นกับระยะของ sensors ที่อยู่ในแต่ละ region โดยผลการเปรียบเทียบ UIEA มีประสิทธิภาพที่เหนือกว่า EC ในด้านการลด cluster size ให้เล็กกว่า EC ได้ 5 ใน 6 regions โดยที่ UIEA ลด cluster size ได้ประมาณ 2-7 เมตร หรือ 5-22% ให้เล็กกว่าขนาด cluster size เฉลี่ยทุก regions ของ EC โดยที่ยังสามารถทำงานได้ SOP ใกล้เคียงกัน โดยข้อได้เปรียบนี้สามารถนำไปสู่ความละเอียดของข้อมูลที่สูงกว่า และความเป็นอิสระของการใช้งาน cluster size ตามความต้องการของระบบที่หลากหลายของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม


[1] X. Wu, G. Chen, and S. K. Das, "Avoiding Evergy holes in wireless sensor networks with nonuniform node distribution", **IEEE Transactions on parallel and distributed systems, vol. 19, no. 5, may 2008.**

[2] S. Bandyopadhyay and E. J. Coyle, "An Energy Efficient Hierarchical Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks", INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications. **IEEE Societies (Volume: 3)**

[3] T. Anker, D. Bickson, Danny Dolev, and B.Hod, "Efficient Clustering for Improving Network Performance in Wireless Sensor Networks", **Wireless Sensor Networks, Lecture Notes in Computer Science Volume 4913, 2008, pp 221-236**

[4] J. Lian, K. Naik, and G.B. Agnew, "Data Capacity Improvement of Wireless Sensor Networks Using Non-Uniform Sensor Distribution," **Int'l J. Distributed Sensor Networks, vol. 2, no. 2, pp. 121-145, Apr.-June 2006.**

[5] E.I. Oyman and C. Ersoy, "Multiple sink network design problem in large scale wireless sensor networks", **In Proceedings of the International Conference on Communications, June 2004.**

[6] Shashidhar Rao Gandham, Milind Dawande, Ravi Prakash and S. Venkatesan, "Energy Efficient Schemes for Wireless Sensor Networks with Multiple Mobile Base Stations", **GLOBECON 2003, 377-381.**

[7] Z.M. Wang, S. Basagni, E. Melachrinoudis and C. Petrioli, "Exploiting sink mobility for maximizing sensor networks lifetime", **In Proceedings of the 38th Hawaii International Conference on System Sciences, January 2005.**

[8] M. Ye; C. Li; G. Chen; J. Wu, "EECS: an energy efficient clustering scheme in wireless sensor networks," Performance, Computing, and Communications Conference, 2005. IPCCC 2005. **24th IEEE International, vol., no., pp.535,540, 7-9 April 2005**

[9] G. Chen, C. Li, M. Ye, J. Wu. "An unequal cluster-based routing strategy in wireless sensor networks," **Wireless Networks. 2009, 15, 193–207.**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม (ต่อ)

[10] D. Wei, Y. Jin, S. Vural, K. Moessner, R. Tafazolli, "An Energy-Efficient Clustering Solution for Wireless Sensor Networks," **Wireless Communications, IEEE Transactions on, Vol.10, No.11, pp.3973-3983, November 2011**

[11] A. Kumar, V. Kumar, N. Chand , "Energy Efficient Clustering and Cluster Head Rotation Scheme for Wireless Sensor Networks", **IJACSA, Volume 3 Issue 5, 2012.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| ชื่อ-นามสกุล | นายพิชาธร เอกอุ่น |
| วัน เดือน ปีเกิด | วันที่ 13 ตุลาคม พ.ศ 2535 |
| ประวัติการศึกษา | 2557 วิทยาศาสตรบัณฑิต เทคโนโลยีสารสนเทศ |
| | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |

ผลงานและประสบการณ์

| | |
|---|---|
| พ.ศ. 2555-2557 | ผู้ช่วยสอนวิชา Problem Solving in Information Technology |
| พ.ศ. 2557 | รองชนะเลิศอันดับหนึ่ง Thailand NetRider 2014 |
| | ผู้ช่วยสอนวิชา Practical Computer Network |
| พ.ศ. 2556 | รองชนะเลิศอันดับหนึ่ง Thailand NetRider 2013 |
| | ผู้ช่วยสอนวิชา Computer Networking for Enterprise and ISP |
| พ.ศ. 2554 | เข้าร่วมการแข่งขันระดับประเทศ ACM-ICPC 2012 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การเริ่มต้นระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ด้วยพลังงานเริ่มต้นที่ไม่เท่าเทียมกัน

**พิชาธร เอกอุ่น**

*คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ*

*Emails: kinisanken@hotmail.com*

## บทคัดย่อ

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่มีสถานีฐานติดตั้งอยู่กับที่นอกพื้นที่ให้บริการ เซ็นเซอร์โหนดที่ทำการเก็บข้อมูลและส่งข้อมูลมายังสถานีฐานจะต้องส่งข้อมูลที่ระยะไกลมาก ที่ให้โหนดที่อยู่ห่างจากฐานมากพลังงานหมดลงอย่างรวดเร็ว การสร้างกลุ่มของเซ็นเซอร์โหนดเพื่อบริหารจัดการพลังงานโหนดที่อยู่ใกล้กัน สามารถลดการใช้พลังงานไปได้มาก แต่หัวหน้ากลุ่มนั้นใช้พลังงานที่สูงมากกว่าสมาชิกทั่วไปรวมการส่งข้อมูลไปยังสถานีฐาน หน้าที่หัวหน้ากลุ่มจึงมีการผลัดเปลี่ยนกันเพื่อรักษาสมดุลการใช้พลังงาน และใช้การส่งข้อมูลเป็นทอดๆระยะสั้นเพื่อลดการใช้พลังงานการส่งข้อมูลระยะไกล โดยให้หัวหน้ากลุ่มรับส่งข้อมูลต่อกันไปถึงสถานีฐานเป็นช่วงระยะทางสั้นๆ โดยมีการแบ่งพื้นที่ให้บริการออกเป็นพื้นที่ย่อยเป็นลำดับต่อเนื่องกันห่างจากสถานีฐาน แต่โหนดที่ยิ่งใกล้สถานีฐานยิ่งมีการใช้พลังงานที่สูงเนื่องจากการรับส่งต่อข้อมูลจากหัวหน้ากลุ่มที่ห่างออกไปจากสถานีฐาน งานวิจัยชิ้นนี้ผู้วิจัยได้เสนอวิธีการคำนวณพลังงานเริ่มต้นให้กับเซ็นเซอร์โหนดที่ไม่เท่ากัน โดยที่โหนดที่อยู่ใกล้สถานีฐานควรจะต้องมีพลังงานเริ่มต้นที่มากกว่าเพื่อรองรับการใช้พลังงานในการรับส่งข้อมูล โดยคำนวณจากการวิเคราะห์การใช้พลังงานของระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในแต่ละขั้นตอน เพื่อให้ระบบเครือข่ายสามารถทำงานได้ยาวนานตามต้องการและมีระยะการทำงานที่เท่าเทียมกันในทุกๆพื้นที่ให้บริการย่อย

**คำสำคัญ** – WSNs; Clustering; Initial Energy;

## 1. บทนำ

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network, WSN) ถูกเรียกมาจากการที่มีอุปกรณ์เซ็นเซอร์ไร้สาย (Sensor Device, Node) ที่มีความสามารถตรวจจับข้อมูลแวดล้อมบางอย่างตามที่ต้องการของผู้วางระบบ จำนวนมากตั้งแต่สิบถึงพันตัว ทำงานร่วมกันเป็นระบบเพื่อจุดมุ่งหมายคือส่งข้อมูลมายังสถานีฐาน (Base Station, BS, Sink) ลำพังด้วยตัวเซ็นเซอร์นั้นเป็นอุปกรณ์ที่มีพลังงานจำกัดเมื่อถูกวางลงพื้นที่ให้บริการ (Network Field) เซ็นเซอร์โหนดที่อยู่ไกลจาก sink มากจะสูญเสียพลังงานจำนวนมากในการส่งข้อมูลระยะไกลที่เป็นอัตรายกกำลังเพื่อขยายสัญญาณให้ไปได้ไกลมากพอที่จะถึง sink ได้ แนวคิดการสร้างกลุ่ม (Cluster) จึงมีขึ้นเพื่อให้เซ็นเซอร์ที่อยู่ใกล้เคียงกันทำการรวมข้อมูลเป็นชิ้นเดียวก่อนส่งไปยัง sink เนื่องจากว่าเซ็นเซอร์ที่อยู่ใกล้กัน ข้อมูลแวดล้อมของเซ็นเซอร์ที่อยู่ใกล้กันนั้น มีความแตกต่างน้อยในจุดที่ยอมรับได้ ขึ้นกับความต้องการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งาน จึงให้เซ็นเซอร์ทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม โดยที่มีหัวหน้ากลุ่ม (Cluster Head, CH) หนึ่งตัวต่อกลุ่ม และมีสมาชิกกลุ่ม (Cluster Member, CM) ได้หลายตัวขึ้นกับรัศมีการครอบครองของกลุ่ม (Cluster size) ให้ CH ทำการจัดการตารางเวลา (Time slot) ภายใน cluster เพื่อให้ CMs ส่งข้อมูลมาให้ CH โดยที่ไม่มีข้อมูลชนกัน เมื่อ CH ได้รับข้อมูลมาครบแล้ว จะต้องทำการสรุปข้อมูลเพื่อลดปริมาณข้อมูลที่จะต้องส่งออกไปจาก CH เอง โดยปกติแล้วข้อมูลที่ CH ทำการสรุปนั้นจะมีความแตกต่างกันไม่มากเนื่องจากเซ็นเซอร์กลุ่มนั้นๆอยู่ใกล้เคียงกัน เมื่อ CH สรุปข้อมูลเสร็จจึงทำการส่งข้อมูลไปยัง sink เพื่อประมวลผลต่อไป การสร้างกลุ่มเช่นนี้ CHs จะใช้พลังงานจำนวนมากในการรับข้อมูลจาก CMs และสรุปข้อมูลรวมถึงส่งข้อมูลระยะไกลที่ต้องทำอยู่แล้ว หน้าที่หัวหน้ากลุ่มจึงควรต้องผลัดเปลี่ยนกันในแต่ละเซ็นเซอร์เพื่อให้การใช้พลังงานมีความสมดุลตลอดทั้งพื้นที่ให้บริการ อย่างไรก็ตาม เซ็นเซอร์ที่อยู่ห่างจาก sink ยังมีการใช้พลังงานที่สูงอยู่จากการส่งข้อมูลระยะไกล เพื่อลดการใช้พลังงานเกินความจำเป็นจากการส่งข้อมูลระยะไกลที่เป็นอัตรายกกำลัง การส่งข้อมูลระยะใกล้จึงถูกนำมาใช้เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว ให้ CHs ที่อยู่ห่าง sink ทำการส่งข้อมูลมาให้ CHs ที่อยู่ใกล้ sink กว่าตัวเองเพื่อตัดปัญหาการส่งข้อมูลระยะไกล แล้วให้ CHs ที่รับข้อมูลมาส่งต่อข้อมูลไปข้างหน้าให้กับ CHs หรือ sink หากอยู่ใกล้จนสามารถส่งได้ในระยะใกล้ รูปแบบการส่งข้อมูลแบบทอดๆเช่นนี้ทำให้เซ็นเซอร์ที่อยู่ห่างไกล sink ลดการใช้พลังงานลงไปได้มาก แต่ภาระมาตกอยู่กับเซ็นเซอร์ที่อยู่ใกล้ sink ยิ่งอยู่ใกล้ sink ยิ่งมีข้อมูลที่จะต้องทำการรับส่งต่อให้จำนวนมากตามจำนวน CHs ที่อยู่ข้างหลังตัวเอง เมื่อให้ sink คือข้างหน้า พื้นที่ใกล้ sink ที่มีปริมาณการส่งข้อมูลที่สูง มีชื่อเรียกว่า Hot-spot เซ็นเซอร์ที่อยู่ใกล้ sink พลังงานจะหมดก่อนตัวอื่นในระบบ และทำให้ CHs ที่อยู่ห่างสถานีฐานไม่มี CH ที่รับหน้าที่ส่งต่อข้อมูลให้ อาจจะทำให้ข้อมูลไม่ไปถึง sink หรือ CHs จะต้องทำการส่งข้อมูลระยะไกลไปยัง sink เหมือนกับไม่ได้ใช้กระบวนการส่งข้อมูลเป็นทอดๆ ผู้วิจัยเห็นว่าเซ็นเซอร์ที่อยู่ใกล้ sink ควรจะต้องมีพลังงานเริ่มต้นที่สูงเพื่อรองรับ Hot-spot ที่เกิดขึ้นในระบบ WSN

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยนำเสนอกระบวนการคำนวณพลังงานเริ่มต้นที่ไม่เท่าเทียมกันในระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Unequal Initial Energy Assignment in WSN, UIEA) เพื่อคำนวณหาพลังงานเริ่มต้นที่เหมาะสมกับเซ็นเซอร์โหนดในพื้นที่ให้บริการ โดยแบ่งระดับการใช้พลังงานด้วยการแบ่งพื้นที่บริการออกเป็นพื้นที่ให้บริการย่อย (Regions) ที่มีขนาดเท่ากัน เพื่อให้สามารถจัดการการใช้พลังงานได้ง่ายขึ้นและให้สามารถกำหนดระยะห่างระหว่างช่วงของ CHs ที่เหมาะสมในการส่งข้อมูลเป็นทอดๆข้าม region ไปข้างหน้าของ CH การคำนวณพลังงานเริ่มต้นนี้มีจุดประสงค์ให้ระบบมีระยะเวลาการให้บริการยาวนานที่สุดโดยที่เซ็นเซอร์ทั้งระบบควรจะใช้พลังงานจดหมดในเวลาที่ใกล้เคียงกันที่สุด โดยที่ประสิทธิภาพของ UIEA นั้นเปรียบเทียบกับกระบวนการที่ผู้วิจัยได้นำมาใช้เป็นพื้นฐานงานวิจัยนี้ EC Solution เป็นกระบวนการคำนวณ cluster size ให้กับเซ็นเซอร์ในแต่ละ regions ที่ไม่เท่ากัน โดยที่มีจุดประสงค์เหมือนกับ UIEA แต่ EC นั้นไม่สามารถกำหนด cluster size ได้เนื่องจากถูกใช้เป็นตัวควบคุมการใช้พลังงาน แต่มีพลังงานเริ่มต้นเท่ากันทั้งระบบไม่เหมือน UIEA ที่ผู้วิจัยได้นำเสนอ ประสิทธิภาพของ UIEA จากการจำลองระบบแสดงถึงการใช้ขนาดของกลุ่มของ UIEA ที่มีขนาดเล็กกว่า EC โดยที่สามารถทำงานได้ระยะเวลายาวนานใกล้เคียงกัน กล่าวอีกแง่คือเมื่อใช้งาน cluster size ที่ทำให้ UIEA มีประสิทธิภาพสูงสุดแล้วนั้น สามารถทำงานได้ยาวนานกว่า EC UIEA นั้นสามารถลด cluster size ลงได้ 5-22% เมื่อเทียบกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EC ที่ระยะเวลาการทำงานระบบที่ใกล้เคียงกัน วัดจากเซ็นเซอร์ตัวแรกในระบบที่พลังงานหมดลง

ส่วนที่เหลือของบทความนี้ประกอบด้วยงานวิจัยที่เกี่ยวของในบทที่สอง แบบจำลองและรูปแบบการทำงานของระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ใช้งานในงานวิจัยนี้แบบสรุปในบทที่สาม วิธีการที่นำเสนอ UIEA แบบสรุปในบทที่สี่ ผลการจำลองระบบในบทที่ห้า และบทที่หกเป็นสรุปของงานวิจัยนี้

## 2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัญหาที่กล่าวมาเบื้องต้นในบทที่หนึ่งนั้น ได้มีนักวิจัยท่านอื่นได้นำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาต่างๆไว้แล้ว Lian และคณะได้นำเสนอวิธีการวางเซ็นเซอร์เพิ่งลงไปบนพื้นที่ใกล้ BS เพื่อรองรับการใช้พลังงานที่สูงในพื้นที่ที่เป็น Hot-spot [1] Oyman และคณะนำเสนอวิธีการวาง sinks หลายตัวภายในพื้นที่ให้บริการเพื่อลดการใช้พลังงานที่ฟุ่มเฟือยและลดจำนวนข้อมูลที่ถูกส่งเข้ามายังพื้นที่ hotspot ของระบบ [2] Gandham และคณะเสนอให้ใช้ sinks หลายตัววางรอบๆพื้นที่บริการเป็นวงกลมและเคลื่อนที่ไปรอบๆข้างนอกเพื่อลดระดับความแตกต่างของการใช้พลังงานของเซ็นเซอร์ในระบบ [3] Wang และคณะเสนอให้วาง sinks ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ลงบน network field และเคลื่อนที่เข้าไปใน network field เพื่อเก็บข้อมูล [4] วิธีการต่างๆที่กล่าวมานั้นจำเป็นต้องเพิ่มอุปกรณ์การทำงานในระบบเช่นเพิ่ม sink หรือ เพิ่มเซ็นเซอร์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้

EECS [5] นำเสนอว่าให้ใช้ cluster size ที่ไม่เท่ากันโดยที่ clusters ที่ห่างจาก sink จะมีขนาดเล็กกว่า clusters ที่อยู่ใกล้ sink CHs ทำการสรุปข้อมูลและส่งข้อมูลมายัง sink โดยตรงเป็นโดยไม่ผ่าน CHs ตัวอื่น (single-hop) UCR [6] นำเสนอวิธีการใช้ cluster size ที่ไม่เท่ากันโดยที่ clusters ที่อยู่ใกล้ BS มีขนาดเล็กกว่า clusters ที่อยู่ห่างออกไปจาก BS โดยที่ UCR นั้นทำงานไม่เหมือนกัน EECS เพราะ UCR ทำการส่งข้อมูลมายัง BS โดยใช้วิธีการส่งต่อข้อมูลเป็นทอดๆ (multi-hops)

EC [7] นำเสนอวิธีการแบ่ง network field ออกเป็น regions ที่มีขนาดเล็กลงมา และมีวิธีการคล้ายกับ UCR โดยที่ cluster size ของ clusters ที่อยู่ใกล้ BS (inner regions) จะมีขนาดเล็กกว่า clusters ที่อยู่ไกล BS (outer regions) ในการที่รักษาการใช้พลังงานภายใน cluster CHs ในทุกๆ region จะติดต่อกับ CHs ภายนอกที่อยู่ region ที่ติดกันเท่านั้น

ทั้งกระบวนการ UCR และ EC ไม่ต้องการอุปกรณ์พิเศษเพิ่มเติมในระบบอย่างในงานอื่นๆที่ถูกนำเสนอมา แต่ข้อมูลที่ส่งออกมาจากแต่ละ clusters นั้นมาจากการสรุปข้อมูลของ CH ที่มี cluster size ไม่เท่ากัน การสรุปรวมข้อมูลจาก clusters ที่มีขนาดเล็กจะทำให้ข้อมูลสรุปนั้นมีความเที่ยงตรงต่อความเป็นจริงมากกว่า clusters ที่มีขนาดใหญ่ ในบางระบบที่ต้องการ cluster size ที่เท่ากันสามารถควบคุมได้และมีความน่าเชื่อถือ วิธีการที่ใช้ cluster size ที่ไม่เท่ากันอาจจะไม่สามารถตอบสนองความต้องการนี้ได้ ทั้งใน UCR และ EC cluster size ของแต่ละ cluster จะถูกควบคุมและกำหนดโดยค่าความหนาแน่นของเซ็นเซอร์ในระบบเครือข่ายหรือในพื้นที่ย่อยที่ถูกแบ่งออกมาจากระบบ วิธีการที่จะทำให้ cluster size มีขนาดเล็กลงบนกระบวนการทั้งสอง คือต้องเพิ่มความหนาแน่นของเซ็นเซอร์ให้กับระบบเครือข่าย ซึ่งนำไปสู่ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น และการจำลองของกระบวนการนั้นแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มเซ็นเซอร์ลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบนั้นสามารถเพิ่มระยะเวลาการทำงานของระบบได้เพียงเล็กน้อย และการเพิ่มเซ็นเซอร์ลงไปในระบบจำนวนมากไม่ทำให้ระยะเวลาการทำงานเพิ่มจากเดิมแต่อย่างใด

ผู้วิจัยมีข้อเสนอว่า cluster size ในระบบ WSNs ควรจะต้องปรับเปลี่ยนค่าได้ โดยขึ้นกับความต้องการของการทำงานต่างๆบนพื้นที่ให้บริการ โดยที่วิธีการที่นำเสนอ UIEA สามารถคำนวณ ค่าเฉลี่ยของพลังงานเริ่มต้นของเซ็นเซอร์ในแต่ละ region เพื่อให้สามารถทำงานในระบบได้ตามจำนวนรอบการทำงานที่ต้องการ และการเพิ่มพลังงานให้กับเซ็นเซอร์โดยตรงนั้นง่ายกว่าจัดหาอุปกรณ์พิเศษอื่นๆที่มีค่าใช้จ่ายสูงกว่า

## 3. แบบจำลองระบบเครือข่าย

ผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลองการใช้พลังงานในระบบเซ็นเซอร์ไร้สายในแบบที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในการจำลองระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย [7] เมื่อมีการส่งข้อมูลใดๆออกไปจากตัวเซ็นเซอร์ที่ใช้เสาส่งสัญญาณแบบรอบทิศทาง (Omni-Directional) เซ็นเซอร์จะต้องส่งพลังงานให้กับเสาส่งสัญญาณตามโมเดลการใช้พลังงานตามสมการที่ (1) นี้ โดยที่จะใช้พลังงานในอัตราที่วิกฤตของระยะทางที่เซ็นเซอร์จะต้องส่งออกไป โดยที่ให้ข้อมูลที่ส่งออกไปสามารถรับได้โดยที่มีความผิดพลาดของข้อมูลอยู่ในจุดที่ยอมรับได้ และหากจะต้องส่งระยะทางไกลมากเกินกว่าขีดจำกัดของระยะสั้น จะต้องไปใช้โมเดลจำลองการใช้พลังงานอีกชุดหนึ่งที่เป็นอัตรายกกำลังสี่ของระยะทาง

$$E_{TX}(d,l) = \begin{cases} l(\varepsilon_{fs} d^2 + e_t); & d \le d_0 \\ l(\varepsilon_{mp} d^4 + e_t); & d > d_0 \end{cases} \qquad (1)$$

การรับข้อมูลจะใช้โมโดลการใช้พลังงานตามสมการ (2) โดยที่การใช้พลังงานจะขึ้นกับปริมาณข้อมูลที่รับมา

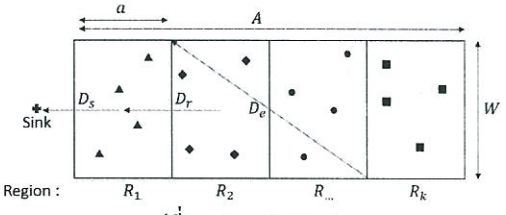
$$E_{RX}(l) = le_r \qquad (2)$$

การสรุปข้อมูลของ CH จะใช้พลังงานตามโมเดลพลังงานตามสมการ (3) โดยที่จะเสียพลังงานตามปริมาณข้อมูลที่ทำการสรุปที่ได้รับมาจาก CMs

$$E_{PROC} = l\varepsilon_{agg} \qquad (3)$$

การจำลองระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ผู้วิจัยได้ใช้ต้นแบบมาจากงานวิจัย EC Solution โดยที่ระบบเครือข่ายจะประกอบด้วยพื้นที่ให้บริการเป็นลักษณะสี่เหลี่ยม และแบ่งออกเป็นพื้นที่ให้บริการย่อย เป็นสี่เหลี่ยมขนาดเล็กต่อกันเป็นแนวยาว Sink จะมีเพียงตัวเดียวทำหน้าที่คอยรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ในระบบ ใช้พลังงานจากระบบสาธารณูปโภคพื้นฐาน ติดตั้งแบบไม่เคลื่อนที่อยู่นอกพื้นที่ให้บริการ ขนาดของ network field กำหนดด้วยความกว้าง $W$ และความยาว $A$ แต่ละ region ที่มีขนาดเท่ากันมีความกว้าง $W$ เท่ากับ network field และความยาว $a$ โดยที่กำหนดจำนวน regions ขึ้นในระบบจำนวน $k$ regions อาจจะกล่าวได้ว่า $A = ak$ การเรียกลำดับ region เริ่มต้นด้วย region ที่หนึ่ง $R_1$ ที่อยู่ติดกับ sink และเรียงลำดับเป็น $R_2, R_3, R_{...}, R_k$ โดยที่ $R_k$ คือ region สุดท้ายที่ห่างจาก sink ที่สุดในระบบ ระยะห่างเฉลี่ยที่เซ็นเซอร์สองตัวใดๆที่อยู่คนละ region ที่ติดกันถูกนิยามด้วย $D_r$ และเส้นทแยงมุมของสอง region ที่ติดกัน $D_c$ เพื่อใช้ในการค้นหาเส้นทางในการส่งข้อมูลข้าม region และ $D_s$ คือระยะห่างเฉลี่ยของเซ็นเซอร์ใดๆที่ region แรกที่ห่างจาก sink ค่าตัวแปรดังกล่าวจะถูกกำหนดขึ้นพร้อมๆกับขนาดของ network field เพื่อใช้ในการคำนวณต่างๆ เซ็นเซอร์โหนดจะถูกวางลงใน network อย่างสุ่มแบบเท่าเทียมกัน กล่าวคือทุกส่วนของพื้นที่ให้บริการนั้นมีโอกาสที่เซ็นเซอร์จะไปติดตั้งอยู่ที่นั่น และเมื่อติดตั้งเซ็นเซอร์ลงไปแล้ว เซ็นเซอร์ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ตลอดการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 1.** Network Topology

การทำงานของ WSN นั้นถูกกำหนดเป็นรอบการทำงาน จากพื้นฐานของ EC Protocol การทำงานประกอบด้วย การสร้างกลุ่ม (Clustering) การส่งข้อมูลภายใน region (Intra region) การสรุปข้อมูล (Data Aggregation) การค้นหาเส้นทางการส่งข้อมูลข้าม region ของ CHs (Routing) และสุดท้ายคือการส่งข้อมูลข้าม region (Inter region) 5 ส่วนการทำงานนี้ เมื่อทำงานครบแล้วนับเป็นหนึ่งรอบการเก็บข้อมูล (Data Collection Round, DCR) WSN จะทำงานเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนการพลังงานของเซ็นเซอร์จะหมด การที่มีเซ็นเซอร์ที่พลังงานหมดลงไป จะทำให้ความเสถียรของระบบลดลงจนนำไปสู่ความไม่เสถียรของระบบ เช่น ความหนาแน่นของเซ็นเซอร์ในพื้นที่ไม่เท่ากันทำให้ไม่สามารถรักษาสมดุลการใช้พลังงานของเซ็นเซอร์ได้เนื่องจากไม่มีเซ็นเซอร์ที่อยู่ใกล้เคียงทำการผลัดเปลี่ยนหน้าที่ CH ที่มีการใช้พลังงานสูงเซ็นเซอร์ที่เหลืออยู่จึงต้องทำหน้าที่ CH บ่อยครั้งขึ้นจนพลังงานหมดตามเซ็นเซอร์ที่อยู่ใกล้ๆ รอบที่มีเซ็นเซอร์ตัวแรกพลังงานหมดถูกเรียกว่า Stable Operation Period (SOP)

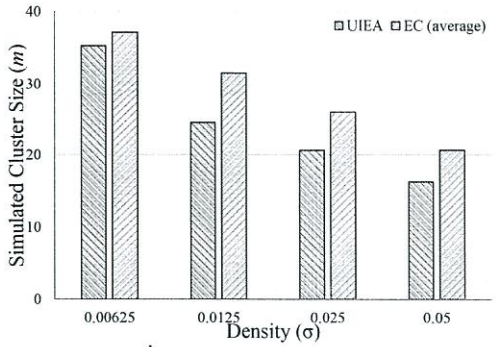
## 4. การคำนวณพลังงานเริ่มต้นที่ไม่เท่าเทียม

อุดมคติของระบบ WSN คือการที่ทำให้เซ็นเซอร์สามารถทำงานได้ยาวนานที่สุดจนพลังงานหมดลง และให้เซ็นเซอร์ทุกตัวในระบบพลังงานหมดพร้อมกัน เป็นสิ่งบ่งชี้สำคัญว่ากระบวนการที่นำมาใช้งานนั้น มีการรักษาสมดุลพลังงานให้เท่าเทียบกันในระบบหรือไม่ ใน UIEA ไม่ได้ต้องการให้เซ็นเซอร์ในแต่ละ region มีการใช้พลังงานที่เท่ากันในแต่ละรอบ หากแต่ให้เตรียมพลังงานให้พลังเซ็นเซอร์ที่ต้องใช้พลังงานมากให้ทำงานได้ยาวนานเท่าเทียมกับเซ็นเซอร์ที่ใช้พลังงานน้อย อย่างเช่น เซ็นเซอร์ที่อยู่ห่าง sink มากที่สุด การคำนวณการใช้พลังงานนั้นวิเคราะห์มาจากการทำงานในแต่ละส่วนของ WSN เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เที่ยงตรงมากพอที่จะสามารถใช้งานในแบบจำลองได้ กระบวนการของ UIEA เลือกคำนวณได้สองทางคือ กำหนดรอบการทำงาน (SOP) ที่ต้องการเพื่อคำนวณพลังงานทั้งหมดที่ต้องใช้ และ กำหนดพลังงานทั้งหมดในระบบที่มีเพื่อคำนวณรอบการทำงานที่สามารถทำได้ของทั้งระบบเพื่อนำไปใช้คำนวณพลังงานทั้งหมดที่ต้องใช้ในแต่ละ region อีกทอดหนึ่ง เมื่อคำนวณได้พลังงานเริ่มต้นรวมใน region แล้วให้ทำการกำหนดค่าพลังงานเริ่มต้นให้กับเซ็นเซอร์ทั้งหมดใน region นั้น โดยที่ให้พลังงานรวมระบบเท่ากับที่คำนวณไว้ แล้วจึงเริ่มระบบ WSN ได้

## 5. การจำลองระบบด้วยโปรแกรม

ผู้วิจัยได้เขียนระบบจำลองขึ้นด้วยภาษาโปรแกรม Python เขียนจำลองกระบวนการ UIEA และ EC เปรียบเทียบกัน โดยให้การตั้งค่าต่างๆมีค่าที่เหมือนกัน ยกเว้นค่าที่สองกระบวนการนี้ใช้ไม่เหมือนกัน UIEA จะใช้พลังงานเริ่มต้นที่ไม่เท่ากัน และกำหนด cluster size ขนาดต่างๆตั้งแต่ 10 ถึง 80 เมตร เพื่อดูแนวโน้มประสิทธิภาพของ UIEA และ EC ที่ไม่สามารถกำหนด cluster size ได้ ผู้วิจัยได้ทำการจำลอง EC ที่ค่าความหนาแน่นของเซ็นเซอร์ค่าต่างๆ ตั้งแต่ 0.00625 ถึง 0.05 อัตราทวีคูณ เพื่อดูประสิทธิภาพของ EC เปรียบเทียบกับ UIEA โดยที่ UIEA ก็ทำการจำลองที่ค่าความหนาแน่นดังกล่าวด้วยเช่นกัน และเพื่อให้สามารถใช้เปรียบเทียบได้ UIEA และ EC จำลองโดยใช้พลังงานรวมทั้งระบบที่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.** Simulation UIEA vs. EC

ผลการทดลองแบบสรุป ผู้วิจัยได้ทำการจำลองด้วยวิธีการข้างต้น กระบวนการ EC คำนวณ cluster size ด้วยวิธีการของ EC เอง และจำลองการทำงานด้วยค่า cluster size ที่ EC คำนวณมาได้ โดยที่ในแต่ละค่าความหนาแน่นของเซ็นเซอร์นั้น EC จะได้คำตอบของ cluster size มาเป็นชุดคำตอบ เป็นค่า cluster สำหรับ region แต่ละแห่ง ส่วน UIEA ผู้วิจัยได้ทำการจำลองด้วย cluster size ค่าต่างๆ และหาค่าที่ UIEA สามารถทำงานได้ SOP ที่ใกล้เคียง EC ที่สุด แล้วบันทึกค่า cluster size ที่เกิดขึ้นจริงในระบบจำลอง คำนวณจากค่าเฉลี่ย cluster size ในแต่ละ region โดยที่คำนวณมาจากค่าเฉลี่ยระยะห่างระหว่าง CMs กับ CH ในแต่ละ clusters ผลการทดลองที่ SOP ใกล้เคียงกันระหว่าง EC และ UIEA UIEA สามารถทำงานได้ที่ cluster size ที่เล็กกว่าในค่าความหนาแน่น 0.0125, 0.025, 0.05 โดยที่ UIEA สามารถใช้ cluster size ที่เล็กกว่า EC ได้ประมาณ 20% ส่วนค่าความหน่าแน่นที่ 0.00625 นั้น UIEA แสดงประสิทธิภาพได้ไม่ดีนัก ซึ่ง EC ก็เป็นลักษณะเดียวกันเนื่องจากจำนวนเซ็นเซอร์ในระบบมีจำนวนน้อยมาก ทำให้รักษาสมดุลการใช้พลังงานทำได้ยาก

## 6. สรุป

กระบวนการ UIEA นั้นแสดงประสิทธิภาพให้เห็นว่าการใช้ค่าพลังงานเริ่มต้นของเซ็นเซอร์เป็นตัวแปรในการควบคุมสมดุลพลังงานของระบบ มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการใช้ขนาดของกลุ่มเป็นตัวบังคับการใช้พลังงานในแต่ละรอบให้เท่ากัน โดยที่ UIEA สามารถลดขนาดของกลุ่มได้ประมาณ 20% ที่ค่าความหนาแน่น 0.0125 0.025 0.05 ตามลำดับ และ ประมาณ 5% ที่ 0.00625 ทั้งนี้ UIEA ยังมีข้อได้เปรียบอื่นอีกอาทิความสามารถในการกำหนดขนาดกลุ่มได้อิสระ และยังใช้ขนาดกลุ่มที่เท่ากันตลอดทั้งระบบได้ ทำให้สามารถตอบสนองความต้องการต่อการใช้งานบางอย่างที่กระบวนการใช้ขนาดกลุ่มไม่เท่ากันไม่สามารถทำได้

## เอกสารอ้างอิง

[1] J. Lian, K. Naik, and G.B. Agnew, “Data Capacity Improvement of Wireless Sensor Networks Using Non-Uniform Sensor Distribution,” Int’l J. Distributed Sensor Networks, vol. 2, no. 2, pp. 121-145, Apr.-June 2006.

[2] E.I. Oyman and C. Ersoy, "Multiple sink network design problem in large scale wireless sensor networks", In Proceedings of the International Conference on Communications, June 2004.

[3] Shashidhar Rao Gandham, Milind Dawande, Ravi Prakash and S. Venkatesan, "Energy Efficient Schemes for Wireless Sensor Networks with Multiple Mobile Base Stations", GLOBECON 2003, 377-381.

[4] Z.M. Wang, S. Basagni, E. Melachrinoudis and C. Petrioli, "Exploiting sink mobility for maximizing sensor networks lifetime", In Proceedings of the 38th Hawaii International Conference on System Sciences, January 2005.

[5] M. Ye; C. Li; G. Chen; J. Wu, "EECS: an energy efficient clustering scheme in wireless sensor networks," Performance, Computing, and Communications Conference, 2005. IPCCC 2005.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24th IEEE International , vol., no., pp.535,540, 7-9 April 2005

[6] G. Chen, C. Li, M. Ye, J. Wu. "An unequal cluster-based routing strategy in wireless sensor networks," Wireless Networks. 2009, 15, 193–207.

[7] D. Wei, Y. Jin, S. Vural, K. Moessner, R. Tafazolli, "An Energy-Efficient Clustering Solution for Wireless Sensor Networks," Wireless Communications, IEEE Transactions on, Vol.10, No.11, pp.3973-3983, November 2011



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การเริ่มต้นระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ด้วยพลังงานเริ่มต้นที่ไม่เท่าเทียมกัน

**พิชาธร เอกอุ่น**

*คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ*

*Emails: kinisanken@hotmail.com*

## บทคัดย่อ

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่มีสถานีฐานติดตั้งอยู่กับที่นอกพื้นที่ให้บริการ เซ็นเซอร์โหนดที่ทำการเก็บข้อมูลและส่งข้อมูลมายังสถานีฐานจะต้องส่งข้อมูลที่ระยะไกลมาก ที่ให้โหนดที่อยู่ห่างจากฐานมากพลังงานหมดลงอย่างรวดเร็ว การสร้างกลุ่มของเซ็นเซอร์โหนดเพื่อบริหารจัดการพลังงานโหนดที่อยู่ใกล้กัน สามารถลดการใช้พลังงานไปได้มาก แต่หัวหน้ากลุ่มนั้นใช้พลังงานที่สูงมากกว่าสมาชิกทั่วไปรวมการส่งข้อมูลไปยังสถานีฐาน หน้าที่หัวหน้ากลุ่มจึงมีการผลัดเปลี่ยนกันเพื่อรักษาสมดุลการใช้พลังงาน และใช้การส่งข้อมูลเป็นทอดๆระยะสั้นเพื่อลดการใช้พลังงานการส่งข้อมูลระยะไกล โดยให้หัวหน้ากลุ่มรับส่งข้อมูลต่อกันไปถึงสถานีฐานเป็นช่วงระยะทางสั้นๆ โดยมีการแบ่งพื้นที่ให้บริการออกเป็นพื้นที่ย่อยเป็นลำดับต่อเนื่องกันห่างจากสถานีฐาน แต่โหนดที่ยิ่งใกล้สถานีฐานยิ่งมีการใช้พลังงานที่สูงเนื่องจากการรับส่งต่อข้อมูลจากหัวหน้ากลุ่มที่ห่างออกไปจากสถานีฐาน งานวิจัยชิ้นนี้ผู้วิจัยได้เสนอวิธีการคำนวณพลังงานเริ่มต้นให้กับเซ็นเซอร์โหนดที่ไม่เท่ากัน โดยที่โหนดที่อยู่ใกล้สถานีฐานควรจะต้องมีพลังงานเริ่มต้นที่มากกว่าเพื่อรองรับการใช้พลังงานในการรับส่งข้อมูล โดยคำนวณจากการวิเคราะห์การใช้พลังงานของระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในแต่ละขั้นตอน เพื่อให้ระบบเครือข่ายสามารถทำงานได้ยาวนานตามต้องการและมีระยะการทำงานที่เท่าเทียมกันในทุกๆพื้นที่ให้บริการย่อย

**คำสำคัญ** – WSNs; Clustering; Initial Energy;

## 1. บทนำ

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network, WSN) ถูกเรียกมาจากการที่มีอุปกรณ์เซ็นเซอร์ไร้สาย (Sensor Device, Node) ที่มีความสามารถตรวจจับข้อมูลแวดล้อมบางอย่างตามที่ต้องการของผู้วางระบบ จำนวนมากตั้งแต่สิบถึงพันตัว ทำงานร่วมกันเป็นระบบเพื่อจุดมุ่งหมายคือส่งข้อมูลมายังสถานีฐาน (Base Station, BS, Sink) ลำพังด้วยตัวเซ็นเซอร์นั้นเป็นอุปกรณ์ที่มีพลังงานจำกัดเมื่อถูกวางลงพื้นที่ให้บริการ (Network Field) เซ็นเซอร์โหนดที่อยู่ไกลจาก sink มากจะสูญเสียพลังงานจำนวนมากในการส่งข้อมูลระยะไกลที่เป็นอัตรายกกำลังเพื่อขยายสัญญาณให้ไปได้ไกลมากพอที่จะถึง sink ได้ แนวคิดการสร้างกลุ่ม (Cluster) จึงมีขึ้นเพื่อให้เซ็นเซอร์ที่อยู่ใกล้เคียงกันทำการรวมข้อมูลเป็นชิ้นเดียวก่อนส่งไปยัง sink เนื่องจากว่าเซ็นเซอร์ที่อยู่ใกล้กัน ข้อมูลแวดล้อมของเซ็นเซอร์ที่อยู่ใกล้กันนั้น มีความแตกต่างน้อยในจุดที่ยอมรับได้ ขึ้นกับความต้องการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งาน จึงให้เซ็นเซอร์ทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม โดยที่มีหัวหน้ากลุ่ม (Cluster Head, CH) หนึ่งตัวต่อกลุ่ม และมีสมาชิกกลุ่ม (Cluster Member, CM) ได้หลายตัวขึ้นกับรัศมีการครอบครองของกลุ่ม (Cluster size) ให้ CH ทำการจัดการตารางเวลา (Time slot) ภายใน cluster เพื่อให้ CMs ส่งข้อมูลมาให้ CH โดยที่ไม่มีข้อมูลชนกัน เมื่อ CH ได้รับข้อมูลมาครบแล้ว จะต้องทำการสรุปข้อมูลเพื่อลดปริมาณข้อมูลที่จะต้องส่งออกไปจาก CH เอง โดยปกติแล้วข้อมูลที่ CH ทำการสรุปนั้นจะมีความแตกต่างกันไม่มากเนื่องจากเซ็นเซอร์กลุ่มนั้นๆอยู่ใกล้เคียงกัน เมื่อ CH สรุปข้อมูลเสร็จจึงทำการส่งข้อมูลไปยัง sink เพื่อประมวลผลต่อไป การสร้างกลุ่มเช่นนี้ CHs จะใช้พลังงานจำนวนมากในการรับข้อมูลจาก CMs และสรุปข้อมูลรวมถึงส่งข้อมูลระยะไกลที่ต้องทำอยู่แล้ว หน้าที่หัวหน้ากลุ่มจึงควรต้องผลัดเปลี่ยนกันในแต่ละเซ็นเซอร์เพื่อให้การใช้พลังงานมีความสมดุลตลอดทั้งพื้นที่ให้บริการ อย่างไรก็ตาม เซ็นเซอร์ที่อยู่ห่างจาก sink ยังมีการใช้พลังงานที่สูงอยู่จากการส่งข้อมูลระยะไกล เพื่อลดการใช้พลังงานเกินความจำเป็นจากการส่งข้อมูลระยะไกลที่เป็นอัตรายกกำลัง การส่งข้อมูลระยะใกล้จึงถูกนำมาใช้เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว ให้ CHs ที่อยู่ห่าง sink ทำการส่งข้อมูลมาให้ CHs ที่อยู่ใกล้ sink กว่าตัวเองเพื่อตัดปัญหาการส่งข้อมูลระยะไกล แล้วให้ CHs ที่รับข้อมูลมาส่งต่อข้อมูลไปข้างหน้าให้กับ CHs หรือ sink หากอยู่ใกล้จนสามารถส่งได้ในระยะใกล้ รูปแบบการส่งข้อมูลแบบทอดๆเช่นนี้ทำให้เซ็นเซอร์ที่อยู่ห่างไกล sink ลดการใช้พลังงานลงไปได้มาก แต่ภาระมาตกอยู่กับเซ็นเซอร์ที่อยู่ใกล้ sink ยิ่งอยู่ใกล้ sink ยิ่งมีข้อมูลที่จะต้องทำการรับส่งต่อให้จำนวนมากตามจำนวน CHs ที่อยู่ข้างหลังตัวเอง เมื่อให้ sink คือข้างหน้า พื้นที่ใกล้ sink ที่มีปริมาณการส่งข้อมูลที่สูง มีชื่อเรียกว่า Hot-spot เซ็นเซอร์ที่อยู่ใกล้ sink พลังงานจะหมดก่อนตัวอื่นในระบบ และทำให้ CHs ที่อยู่ห่างสถานีฐานไม่มี CH ที่รับหน้าที่ส่งต่อข้อมูลให้ อาจจะทำให้ข้อมูลไม่ไปถึง sink หรือ CHs จะต้องทำการส่งข้อมูลระยะไกลไปยัง sink เหมือนกับไม่ได้ใช้กระบวนการส่งข้อมูลเป็นทอดๆ ผู้วิจัยเห็นว่าเซ็นเซอร์ที่อยู่ใกล้ sink ควรจะต้องมีพลังงานเริ่มต้นที่สูงเพื่อรองรับ Hot-spot ที่เกิดขึ้นในระบบ WSN

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยนำเสนอกระบวนการคำนวณพลังงานเริ่มต้นที่ไม่เท่าเทียมกันในระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Unequal Initial Energy Assignment in WSN, UIEA) เพื่อคำนวณหาพลังงานเริ่มต้นที่เหมาะสมกับเซ็นเซอร์โหนดในพื้นที่ให้บริการ โดยแบ่งระดับการใช้พลังงานด้วยการแบ่งพื้นที่บริการออกเป็นพื้นที่ให้บริการย่อย (Regions) ที่มีขนาดเท่ากัน เพื่อให้สามารถจัดการการใช้พลังงานได้ง่ายขึ้นและให้สามารถกำหนดระยะห่างระหว่างช่วงของ CHs ที่เหมาะสมในการส่งข้อมูลเป็นทอดๆข้าม region ไปข้างหน้าของ CH การคำนวณพลังงานเริ่มต้นนี้มีจุดประสงค์ให้ระบบมีระยะเวลาการให้บริการยาวนานที่สุดโดยที่เซ็นเซอร์ทั้งระบบควรจะใช้พลังงานจดหมดในเวลาที่ใกล้เคียงกันที่สุด โดยที่ประสิทธิภาพของ UIEA นั้นเปรียบเทียบกับกระบวนการที่ผู้วิจัยได้นำมาใช้เป็นพื้นฐานงานวิจัยนี้ EC Solution เป็นกระบวนการคำนวณ cluster size ให้กับเซ็นเซอร์ในแต่ละ regions ที่ไม่เท่ากัน โดยที่มีจุดประสงค์เหมือนกับ UIEA แต่ EC นั้นไม่สามารถกำหนด cluster size ได้เนื่องจากถูกใช้เป็นตัวควบคุมการใช้พลังงาน แต่มีพลังงานเริ่มต้นเท่ากันทั้งระบบไม่เหมือน UIEA ที่ผู้วิจัยได้นำเสนอ ประสิทธิภาพของ UIEA จากการจำลองระบบแสดงถึงการใช้ขนาดของกลุ่มของ UIEA ที่มีขนาดเล็กกว่า EC โดยที่สามารถทำงานได้ระยะเวลายาวนานใกล้เคียงกัน กล่าวอีกแง่คือเมื่อใช้งาน cluster size ที่ทำให้ UIEA มีประสิทธิภาพสูงสุดแล้วนั้น สามารถทำงานได้ยาวนานกว่า EC UIEA นั้นสามารถลด cluster size ลงได้ 5-22% เมื่อเทียบกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EC ที่ระยะเวลาการทำงานระบบที่ใกล้เคียงกัน วัดจากเซ็นเซอร์ตัวแรกในระบบที่พลังงานหมดลง

ส่วนที่เหลือของบทความนี้ประกอบด้วยงานวิจัยที่เกี่ยวของในบทที่สอง แบบจำลองและรูปแบบการทำงานของระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ใช้งานในงานวิจัยนี้แบบสรุปในบทที่สาม วิธีการที่นำเสนอ UIEA แบบสรุปในบทที่สี่ ผลการจำลองระบบในบทที่ห้า และบทที่หกเป็นสรุปของงานวิจัยนี้

## 2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัญหาที่กล่าวมาเบื้องต้นในบทที่หนึ่งนั้น ได้มีนักวิจัยท่านอื่นได้นำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาต่างๆไว้แล้ว Lian และคณะได้นำเสนอวิธีการวางเซ็นเซอร์เพิ่งลงไปบนพื้นที่ใกล้ BS เพื่อรองรับการใช้พลังงานที่สูงในพื้นที่ที่เป็น Hot-spot [1] Oyman และคณะนำเสนอวิธีการวาง sinks หลายตัวภายในพื้นที่ให้บริการเพื่อลดการใช้พลังงานที่ฟุ่มเฟือยและลดจำนวนข้อมูลที่ถูกส่งเข้ามายังพื้นที่ hotspot ของระบบ [2] Gandham และคณะเสนอให้ใช้ sinks หลายตัววางรอบๆพื้นที่บริการเป็นวงกลมและเคลื่อนที่ไปรอบๆข้างนอกเพื่อลดระดับความแตกต่างของการใช้พลังงานของเซ็นเซอร์ในระบบ [3] Wang และคณะเสนอให้วาง sinks ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ลงบน network field และเคลื่อนที่เข้าไปใน network field เพื่อเก็บข้อมูล [4] วิธีการต่างๆที่กล่าวมานั้นจำเป็นต้องเพิ่มอุปกรณ์การทำงานในระบบเช่นเพิ่ม sink หรือ เพิ่มเซ็นเซอร์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้

EECS [5] นำเสนอว่าให้ใช้ cluster size ที่ไม่เท่ากัน โดยที่ clusters ที่ห่างจาก sink จะมีขนาดเล็กกว่า clusters ที่อยู่ใกล้ sink CHs ทำการสรุปข้อมูลและส่งข้อมูลมายัง sink โดยตรงเป็นโดยไม่ผ่าน CHs ตัวอื่น (single-hop) UCR [6] นำเสนอวิธีการใช้ cluster size ที่ไม่เท่ากันโดยที่ clusters ที่อยู่ใกล้ BS มีขนาดเล็กกว่า clusters ที่อยู่ห่างออกไปจาก BS โดยที่ UCR นั้นทำงานไม่เหมือนกัน EECS เพราะ UCR ทำการส่งข้อมูลมายัง BS โดยใช้วิธีการส่งต่อข้อมูลเป็นทอดๆ (multi-hops)

EC [7] นำเสนอวิธีการแบ่ง network field ออกเป็น regions ที่มีขนาดเล็กลงมา และมีวิธีการคล้ายกับ UCR โดยที่ cluster size ของ clusters ที่อยู่ใกล้ BS (inner regions) จะมีขนาดเล็กกว่า clusters ที่อยู่ไกล BS (outer regions) ในการที่รักษาการใช้พลังงานภายใน cluster CHs ในทุกๆ region จะติดต่อกับ CHs ภายนอกที่อยู่ region ที่ติดกันเท่านั้น

ทั้งกระบวนการ UCR และ EC ไม่ต้องการอุปกรณ์พิเศษเพิ่มเติมในระบบอย่างในงานอื่นๆที่ถูกนำเสนอมา แต่ข้อมูลที่ส่งออกมาจากแต่ละ clusters นั้นมาจากการสรุปข้อมูลของ CH ที่มี cluster size ไม่เท่ากัน การสรุปรวมข้อมูลจาก clusters ที่มีขนาดเล็กจะทำให้ข้อมูลสรุปนั้นมีความเที่ยงตรงต่อความเป็นจริงมากกว่า clusters ที่มีขนาดใหญ่ ในบางระบบที่ต้องการ cluster size ที่เท่ากันสามารถควบคุมได้และมีความน่าเชื่อถือ วิธีการที่ใช้ cluster size ที่ไม่เท่ากันอาจจะไม่สามารถตอบสนองความต้องการนี้ได้ ทั้งใน UCR และ EC cluster size ของแต่ละ cluster จะถูกควบคุมและกำหนดโดยค่าความหนาแน่นของเซ็นเซอร์ในระบบเครือข่ายหรือในพื้นที่ย่อยที่ถูกแบ่งออกมาจากระบบ วิธีการที่จะทำให้ cluster size มีขนาดเล็กลงบนกระบวนการทั้งสอง คือต้องเพิ่มความหนาแน่นของเซ็นเซอร์ให้กับระบบเครือข่าย ซึ่งนำไปสู่ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น และการจำลองของกระบวนการนั้นแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มเซ็นเซอร์ลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบนั้นสามารถเพิ่มระยะเวลาการทำงานของระบบได้เพียงเล็กน้อย และการเพิ่มเซ็นเซอร์ลงไปในระบบจำนวนมากไม่ทำให้ระยะเวลาการทำงานเพิ่มจากเดิมแต่อย่างใด

ผู้วิจัยมีข้อเสนอว่า cluster size ในระบบ WSNs ควรจะต้องปรับเปลี่ยนค่าได้ โดยขึ้นกับความต้องการของการทำงานต่างๆบนพื้นที่ให้บริการ โดยที่วิธีการที่นำเสนอ UIEA สามารถคำนวณ ค่าเฉลี่ยของพลังงานเริ่มต้นของเซ็นเซอร์ในแต่ละ region เพื่อให้สามารถทำงานในระบบได้ตามจำนวนรอบการทำงานที่ต้องการ และการเพิ่มพลังงานให้กับเซ็นเซอร์โดยตรงนั้นง่ายกว่าจัดหาอุปกรณ์พิเศษอื่นๆที่มีค่าใช้จ่ายสูงกว่า

## 3. แบบจำลองระบบเครือข่าย

ผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลองการใช้พลังงานในระบบเซ็นเซอร์ไร้สายในแบบที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในการจำลองระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย [7] เมื่อมีการส่งข้อมูลใดๆออกไปจากตัวเซ็นเซอร์ที่ใช้เสาส่งสัญญาณแบบรอบทิศทาง (Omni-Directional) เซ็นเซอร์จะต้องส่งพลังงานให้กับเสาส่งสัญญาณตามโมเดลการใช้พลังงานตามสมการที่ (1) นี้ โดยที่จะใช้พลังงานในอัตราทวีคูณของระยะทางที่เซ็นเซอร์จะต้องส่งออกไป โดยที่ให้ข้อมูลที่ส่งออกไปสามารถรับได้โดยที่มีความผิดพลาดของข้อมูลอยู่ในจุดที่ยอมรับได้ และหากจะต้องส่งระยะทางไกลมากเกินกว่าขีดจำกัดของระยะสั้น จะต้องไปใช้โมเดลจำลองการใช้พลังงานอีกชุดหนึ่งที่เป็นอัตรายกกำลังสี่ของระยะทาง

$$E_{TX}(d,l) = \begin{cases} l(\varepsilon_{fs} d^2 + e_t); & d \le d_0 \\ l(\varepsilon_{mp} d^4 + e_t); & d > d_0 \end{cases} \qquad (1)$$

การรับข้อมูลจะใช้โมโดลการใช้พลังงานตามสมการ (2) โดยที่การใช้พลังงานจะขึ้นกับปริมาณข้อมูลที่รับมา

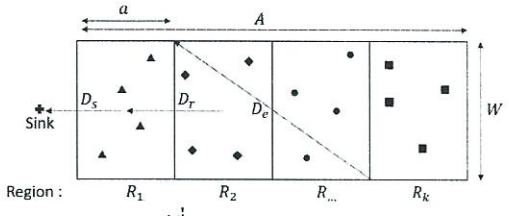
$$E_{RX}(l) = le_r \qquad (2)$$

การสรุปข้อมูลของ CH จะใช้พลังงานตามโมเดลพลังงานตามสมการ (3) โดยที่จะเสียพลังงานตามปริมาณข้อมูลที่ทำการสรุปที่ได้รับมาจาก CMs

$$E_{PROC} = l\varepsilon_{agg} \qquad (3)$$

การจำลองระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ผู้วิจัยได้ใช้ต้นแบบมาจากงานวิจัย EC Solution โดยที่ระบบเครือข่ายจะประกอบด้วยพื้นที่ให้บริการเป็นลักษณะสี่เหลี่ยม และแบ่งออกเป็นพื้นที่ให้บริการย่อย เป็นสี่เหลี่ยมขนาดเล็กต่อกันเป็นแนวยาว Sink จะมีเพียงตัวเดียวทำหน้าที่คอยรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ในระบบ ใช้พลังงานจากระบบสาธารณูปโภคพื้นฐาน ติดตั้งแบบไม่เคลื่อนที่อยู่นอกพื้นที่ให้บริการ ขนาดของ network field กำหนดด้วยความกว้าง $W$ และความยาว $A$ แต่ละ region ที่มีขนาดเท่ากันมีความกว้าง $W$ เท่ากับ network field และความยาว $a$ โดยที่กำหนดจำนวน regions ขึ้นในระบบจำนวน $k$ regions อาจจะกล่าวได้ว่า $A = ak$ การเรียกลำดับ region เริ่มต้นด้วย region ที่หนึ่ง $R_1$ ที่อยู่ติดกับ sink และเรียงลำดับเป็น $R_2, R_3, R_{...}, R_k$ โดยที่ $R_k$ คือ region สุดท้ายที่ห่างจาก sink ที่สุดในระบบ ระยะห่างเฉลี่ยที่เซ็นเซอร์สองตัวใดๆที่อยู่คนละ region ที่ติดกันถูกนิยามด้วย $D_r$ และเส้นทแยงมุมของสอง region ที่ติดกัน $D_c$ เพื่อใช้ในการค้นหาเส้นทางในการส่งข้อมูลข้าม region และ $D_x$ คือระยะห่างเฉลี่ยของเซ็นเซอร์ใดๆที่ region แรกที่ห่างจาก sink ค่าตัวแปรดังกล่าวจะถูกกำหนดขึ้นพร้อมๆกับขนาดของ network field เพื่อใช้ในการคำนวณต่างๆ เซ็นเซอร์โหนดจะถูกวางลงใน network อย่างสุ่มแบบเท่าเทียมกัน กล่าวคือทุกส่วนของพื้นที่ให้บริการนั้นมีโอกาสที่เซ็นเซอร์จะไปติดตั้งอยู่ที่นั่น และเมื่อติดตั้งเซ็นเซอร์ลงไปแล้ว เซ็นเซอร์ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ตลอดการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 1.** Network Topology

การทำงานของ WSN นั้นถูกกำหนดเป็นรอบการทำงาน จากพื้นฐานของ EC Protocol การทำงานประกอบด้วย การสร้างกลุ่ม (Clustering) การส่งข้อมูลภายใน region (Intra region) การสรุปข้อมูล (Data Aggregation) การค้นหาเส้นทางการส่งข้อมูลข้าม region ของ CHs (Routing) และสุดท้ายคือการส่งข้อมูลข้าม region (Inter region) 5 ส่วนการทำงานนี้ เมื่อทำงานครบแล้วนับเป็นหนึ่งรอบการเก็บข้อมูล (Data Collection Round, DCR) WSN จะทำงานเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนการพลังงานของเซ็นเซอร์จะหมด การที่มีเซ็นเซอร์ที่พลังงานหมดลงไป จะทำให้ความเสถียรของระบบลดลงจนนำไปสู่ความไม่เสถียรของระบบ เช่น ความหนาแน่นของเซ็นเซอร์ในพื้นที่ไม่เท่ากันทำให้ไม่สามารถรักษาสมดุลการใช้พลังงานของเซ็นเซอร์ได้เนื่องจากไม่มีเซ็นเซอร์ที่อยู่ใกล้เคียงทำการผลัดเปลี่ยนหน้าที่ CH ที่มีการใช้พลังงานสูงเซ็นเซอร์ที่เหลืออยู่จึงต้องทำหน้าที่ CH บ่อยครั้งขึ้นจนพลังงานหมดตามเซ็นเซอร์ที่อยู่ใกล้ๆ รอบที่มีเซ็นเซอร์ตัวแรกพลังงานหมดถูกเรียกว่า Stable Operation Period (SOP)

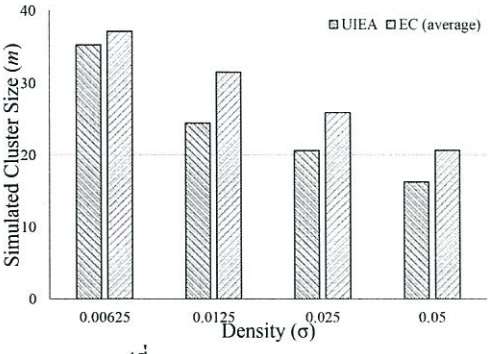
## 4. การคำนวณพลังงานเริ่มต้นที่ไม่เท่าเทียม

อุดมคติของระบบ WSN คือการที่ทำให้เซ็นเซอร์สามารถทำงานได้ยาวนานที่สุดจนพลังงานหมดลง และให้เซ็นเซอร์ทุกตัวในระบบพลังงานหมดพร้อมกัน เป็นสิ่งบ่งชี้สำคัญว่ากระบวนการที่นำมาใช้งานนั้น มีการรักษาสมดุลพลังงานให้เท่าเทียบกันในระบบหรือไม่ ใน UIEA ไม่ได้ต้องการให้เซ็นเซอร์ในแต่ละ region มีการใช้พลังงานที่เท่ากันในแต่ละรอบ หากแต่ให้เตรียมพลังงานให้พลังเซ็นเซอร์ที่ต้องใช้พลังงานมากให้ทำงานได้ยาวนานเท่าเทียมกับเซ็นเซอร์ที่ใช้พลังงานน้อย อย่างเช่น เซ็นเซอร์ที่อยู่ห่าง sink มากที่สุด การคำนวณการใช้พลังงานนั้นวิเคราะห์มาจากการทำงานในแต่ละส่วนของ WSN เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เที่ยงตรงมากพอที่จะสามารถใช้งานในแบบจำลองได้ กระบวนการของ UIEA เลือกคำนวณได้สองทางคือ กำหนดรอบการทำงาน (SOP) ที่ต้องการเพื่อคำนวณพลังงานทั้งหมดที่ต้องใช้ และ กำหนดพลังงานทั้งหมดในระบบที่มีเพื่อคำนวณรอบการทำงานที่สามารถทำได้ของทั้งระบบเพื่อนำไปใช้คำนวณพลังงานทั้งหมดที่ต้องใช้ในแต่ละ region อีกทอดหนึ่ง เมื่อคำนวณได้พลังงานเริ่มต้นรวมใน region แล้วให้ทำการกำหนดค่าพลังงานเริ่มต้นให้กับเซ็นเซอร์ทั้งหมดใน region นั้น โดยที่ให้พลังงานรวมระบบเท่ากับที่คำนวณไว้ แล้วจึงเริ่มระบบ WSN ได้

## 5. การจำลองระบบด้วยโปรแกรม

ผู้วิจัยได้เขียนระบบจำลองขึ้นด้วยภาษาโปรแกรม Python เขียนจำลองกระบวนการ UIEA และ EC เปรียบเทียบกันโดยให้การตั้งค่าต่างๆมีค่าที่เหมือนกันยกเว้นค่าที่สองกระบวนการนี้ใช้ไม่เหมือนกัน UIEA จะใช้พลังงานเริ่มต้นที่ไม่เท่ากัน และกำหนด cluster size ขนาดต่างๆตั้งแต่ 10 ถึง 80 เมตร เพื่อดูแนวโน้มประสิทธิภาพของ UIEA และ EC ที่ไม่สามารถกำหนด cluster size ได้ ผู้วิจัยได้ทำการจำลอง EC ที่ค่าความหนาแน่นของเซ็นเซอร์ค่าต่างๆ ตั้งแต่ 0.00625 ถึง 0.05 อัตราทวีคูณ เพื่อดูประสิทธิภาพของ EC เปรียบเทียบกับ UIEA โดยที่ UIEA ก็ทำการจำลองที่ค่าความหนาแน่นดังกล่าวด้วยเช่นกัน และเพื่อให้สามารถใช้เปรียบเทียบได้ UIEA และ EC จำลองโดยใช้พลังงานรวมทั้งระบบที่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.** Simulation UIEA vs. EC

ผลการทดลองแบบสรุป ผู้วิจัยได้ทำการจำลองด้วยวิธีการข้างต้น กระบวนการ EC คำนวณ cluster size ด้วยวิธีการของ EC เอง และจำลองการทำงานด้วยค่า cluster size ที่ EC คำนวณมาได้ โดยที่ในแต่ละค่าความหนาแน่นของเซ็นเซอร์นั้น EC จะได้คำตอบของ cluster size มาเป็นชุดคำตอบ เป็นค่า cluster สำหรับ region แต่ละแห่ง ส่วน UIEA ผู้วิจัยได้ทำการจำลองด้วย cluster size ค่าต่างๆ และหาค่าที่ UIEA สามารถทำงานได้ SOP ที่ใกล้เคียง EC ที่สุด แล้วบันทึกค่า cluster size ที่เกิดขึ้นจริงในระบบจำลอง คำนวณจากค่าเฉลี่ย cluster size ในแต่ละ region โดยที่คำนวณมาจากค่าเฉลี่ยระยะห่างระหว่าง CMs กับ CH ในแต่ละ clusters ผลการทดลองที่ SOP ใกล้เคียงกันระหว่าง EC และ UIEA UIEA สามารถทำงานได้ที่ cluster size ที่เล็กกว่าในค่าความหนาแน่น 0.0125, 0.025, 0.05 โดยที่ UIEA สามารถใช้ cluster size ที่เล็กกว่า EC ได้ประมาณ 20% ส่วนค่าความหน่าแน่นที่ 0.00625 นั้น UIEA แสดงประสิทธิภาพได้ไม่ดีนัก ซึ่ง EC ก็เป็นลักษณะเดียวกันเนื่องจากจำนวนเซ็นเซอร์ในระบบมีจำนวนน้อยมาก ทำให้รักษาสมดุลการใช้พลังงานทำได้ยาก

## 6. สรุป

กระบวนการ UIEA นั้นแสดงประสิทธิภาพให้เห็นว่าการใช้ค่าพลังงานเริ่มต้นของเซ็นเซอร์เป็นตัวแปรในการควบคุมสมดุลพลังงานของระบบ มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการใช้ขนาดของกลุ่มเป็นตัวบังคับการใช้พลังงานในแต่ละรอบให้เท่ากัน โดยที่ UIEA สามารถลดขนาดของกลุ่มได้ประมาณ 20% ที่ค่าความหนาแน่น 0.0125 0.025 0.05 ตามลำดับ และ ประมาณ 5% ที่ 0.00625 ทั้งนี้ UIEA ยังมีข้อได้เปรียบอื่นอีกอาทิความสามารถในการกำหนดขนาดกลุ่มได้อิสระ และยังใช้ขนาดกลุ่มที่เท่ากันตลอดทั้งระบบได้ ทำให้สามารถตอบสนองความต้องการต่อการใช้งานบางอย่างที่กระบวนการใช้ขนาดกลุ่มไม่เท่ากันไม่สามารถทำได้

## เอกสารอ้างอิง

[1] J. Lian, K. Naik, and G.B. Agnew, "Data Capacity Improvement of Wireless Sensor Networks Using Non-Uniform Sensor Distribution," Int'l J. Distributed Sensor Networks, vol. 2, no. 2, pp. 121-145, Apr.-June 2006.

[2] E.I. Oyman and C. Ersoy, "Multiple sink network design problem in large scale wireless sensor networks", In Proceedings of the International Conference on Communications, June 2004.

[3] Shashidhar Rao Gandham, Milind Dawande, Ravi Prakash and S. Venkatesan, "Energy Efficient Schemes for Wireless Sensor Networks with Multiple Mobile Base Stations", GLOBECON 2003, 377-381.

[4] Z.M. Wang, S. Basagni, E. Melachrinoudis and C. Petrioli, "Exploiting sink mobility for maximizing sensor networks lifetime", In Proceedings of the 38th Hawaii International Conference on System Sciences, January 2005.

[5] M. Ye; C. Li; G. Chen; J. Wu, "EECS: an energy efficient clustering scheme in wireless sensor networks," Performance, Computing, and Communications Conference, 2005. IPCCC 2005.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24th IEEE International , vol., no., pp.535,540, 7-9 April 2005

[6] G. Chen, C. Li, M. Ye, J. Wu. "An unequal cluster-based routing strategy in wireless sensor networks," Wireless Networks. 2009, 15, 193–207.

[7] D. Wei, Y. Jin, S. Vural, K. Moessner, R. Tafazolli, "An Energy-Efficient Clustering Solution for Wireless Sensor Networks," Wireless Communications, IEEE Transactions on, Vol.10, No.11, pp.3973-3983, November 2011



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้