

การวิเคราะห์และเปรียบเทียบการใช้ LEACH กับ Multi-hop LEACH ในโครงข่ายไร้สายบนภูมิประเทศสามมิติ

Investigating and comparing the use of LEACH and Multi-hop LEACH for wireless sensor networks on 3D Terrain

^{1#}เมษันท์ ธรรมวิชัย, ^{2*}เทียนสิริ เหลืองวิลัย, ^{3#}สุเมธ สุทธารักษ์, ^{4#}วรวุฒิ ประทุมชาติ
และ ^{5#}สง่า ศรีศุภปรีดา

^{1,3,4,5}ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

²ภาควิชาคณิตศาสตร์ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

^{1#}Mason Thammawichai, ^{2*}Thiansiri Luangwilai, ^{3#}Sumade Sutharuk,

^{4#}Vorawut Pratumshat and ^{5#}Sanga Srisuprapreeda

^{1,3,4,5}Electrical Engineering Department, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

²Mathematics Department, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

^{1#}Mason@rtaf.mi.th, ^{2*}Thiansiri.L@gmail.com, ^{3#}Sumade@rtaf.mi.th, ^{4#}Vorawut_p@rtaf.mi.th, ^{5#}Sanga@rtaf.mi.th

Received : January 18, 2023

Revised : May 4, 2023

Accepted : June 11, 2023

บทคัดย่อ

โครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายได้รับความสนใจจากนักวิจัยอย่างมากในปัจจุบัน เพราะถือว่าเป็นหนึ่งในกระบวนการที่แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นการสำรวจ การติดตาม การเฝ้าระวัง หรือ ด้านความปลอดภัยในพื้นที่ที่สนใจ ซึ่งแนวคิดนี้คือการใช้เซนเซอร์ไร้สายที่มีขนาดเล็กและถูก ไปกระจายตัวในพื้นที่ที่สนใจ จากนั้นส่งข้อมูลสำรวจและติดตามกลับมายังเสารับข้อมูล โดยหนึ่งในความต้องการหลักของแนวคิดนี้คือการทำให้โครงข่ายไร้สายนี้มีอายุขัยในการส่งข้อมูลยาวนานที่สุด และมีการครอบคลุมพื้นที่มากที่สุดโดยจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการวิเคราะห์และเปรียบเทียบพฤติกรรมและประสิทธิภาพของอัลกอริทึมในการจัดสรรเซนเซอร์ของโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายสองแบบ คือ อัลกอริทึมแบบ Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) และอัลกอริทึมแบบ Multi-hop Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (Multi-hop LEACH) เมื่อใช้กับภูมิประเทศที่มีลักษณะเป็นสามมิติ โดยดำเนินการเปรียบเทียบขีดความสามารถของจำนวนรอบในการส่งข้อมูล ในพื้นที่จำลองขนาด 256 x 256 ตารางเมตร และพื้นที่ที่มีความสูงระหว่าง 0 - 20 เมตร ด้วยจำนวนเซนเซอร์ 50 ตัว และมีเสารับข้อมูลด้วย อยู่บริเวณเนินสูงใกล้จุดศูนย์กลางของพื้นที่

คำสำคัญ: โครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย, อัลกอริทึม, LEACH, Multi-hop LEACH

Abstract

The wireless sensor network (WSN) has recently become more interesting to many researchers since it provides promising potential in many areas such as exploration, monitoring, surveillance and security. The idea is to deploy a large amount of small and cheap wireless sensors over an area. One crucial requirement of this method is to extend the network lifetime and coverage. This research investigates and compares the behaviour and performance of the Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) and the Multi-hop Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (Multi-hop LEACH) when applied to a 3D terrain. The number of transmission rounds is used for performance comparison in this study. The simulation is done on the generated terrain with a size of 256 x 256 square meters. The terrain height varies between 0 - 20 meters. There are 50 sensor nodes randomly located over the terrain with one sink node located on the highest peak near the center of the terrain.

Keywords: Wireless sensor network (WSN), Algorithm, LEACH, Multi-hop LEACH

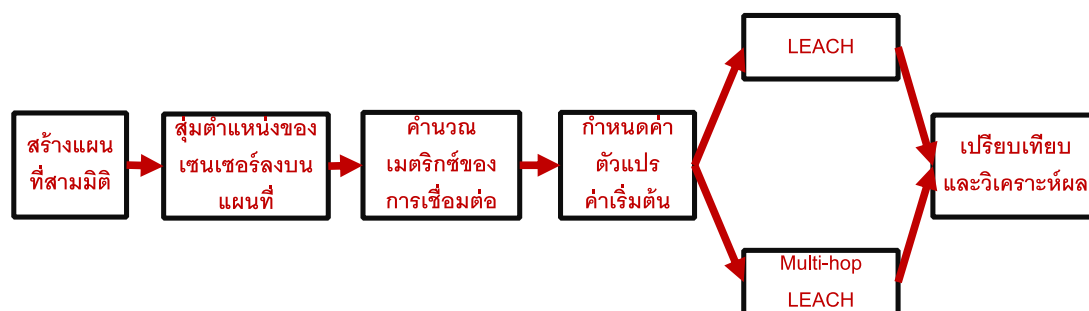
1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการใช้ระบบโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless Network Sensor (WSN)) เริ่มเป็นที่สนใจเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วเพราะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายไม่ว่าจะเป็นการตรวจจับสภาพสิ่งแวดล้อม ความชื้น ปริมาณฝน หรือข้อมูลชนิดต่าง ๆ ในพื้นที่ที่สนใจ [1] นอกจากนี้ในทางการรักษาความปลอดภัยและทางการทหาร ยังสามารถใช้ในการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมหรือการบุกรุกพื้นที่ได้อย่างดี โดยข้อสำคัญของระบบโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย คือ ตัวเซนเซอร์แต่ละตัวนั้น มีราคาถูก สามารถใช้จำนวนเซนเซอร์มากได้ และง่ายต่อการสร้าง ง่ายต่อการนำไปใช้ ทำให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้อย่างดี แต่เนื่องจากตรวจเซนเซอร์แต่ละตัวมีขนาดเล็ก ทำให้มีพลังงานที่บรรจุไว้ในตัวเซนเซอร์มีอย่างจำกัด ด้วยข้อจำกัดนี้ ทำให้อายุขัย (Network Lifetime) ของโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายนั้น มีอย่างจำกัด ดังนั้นจึงมีงานวิจัยมากมายที่พยายามจะยืดอายุขัยของระบบโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายออกไป เพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ตรวจจับและส่งข้อมูลในการตรวจจับกลับมายังสถานีได้ยาวนานที่สุด [1]

โดยได้มีงานวิจัยที่พยายามพัฒนาอัลกอริทึมในการเลือกตัวเซนเซอร์และเส้นทางของการส่งข้อมูล เพื่อให้อายุขัยของระบบโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายอยู่ได้นานที่สุด และครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด โดยใช้หลากหลายอัลกอริทึม [2] และหนึ่งในอัลกอริทึมที่ได้รับความนิยมอย่างสูง และมีประสิทธิภาพในการยืดอายุขัยของระบบโครงข่ายไร้สายได้อย่างมากคือ อัลกอริทึมแบบ Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) [3] เพราะจะมีการกระจายและสุ่มเลือกเซนเซอร์มาปฏิบัติหน้าที่ เพื่อรักษาสมดุลของระดับพลังงานของเซนเซอร์แต่ละตัว ทำให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้อย่างดี และยังประหยัดพลังงานอีกด้วย อีกทั้งอัลกอริทึมชนิดนี้ยังง่ายต่อการนำไปใช้จริง โดย Heinzelman et al. (2000) [4] ได้อธิบายขั้นตอนและกระบวนการใช้งานของอัลกอริทึมแบบ LEACH ได้อย่างละเอียด จากนั้น Al-Sodairi & Ouni (2018) [5] ได้พัฒนาต่อยอดอัลกอริทึมแบบ LEACH เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการครอบคลุมพื้นที่ให้ดียิ่งขึ้นและเพิ่มอายุขัยของโครงข่ายให้มากยิ่งขึ้น ซึ่งเรียกว่าอัลกอริทึมที่ปรับปรุงขึ้นใหม่นี้ว่า อัลกอริทึมแบบ “Multi-hop Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (Multi-hop LEACH)” โดยอัลกอริทึมนี้จะเพิ่มขีดความสามารถของเซนเซอร์ให้มีการรีเลย์ข้อมูลผ่านเซนเซอร์ตัวอื่นได้ดียิ่งขึ้น [5,6,7]

ทั้งนี้ จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ส่วนใหญ่จะเป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพและการทำงานของอัลกอริทึมทั้งสองชนิดนี้ในพื้นที่สามมิติ ไม่มีสิ่งกีดขวาง (Free Space) ซึ่งอาจจะไม่สะท้อนพฤติกรรมและข้อจำกัดของอัลกอริทึมทั้งสองเมื่อมีการนำไปใช้จริงในพื้นที่สามมิติ เพราะการนำไปใช้จริงของโครงข่ายไร้สายนั้น จำเป็นที่จะต้องเผชิญกับการบดบังการส่งสัญญาณของเซนเซอร์ด้วยภูมิประเทศ ทำให้ความสามารถในการส่งสัญญาณระหว่างเซนเซอร์นั้นถูกจำกัดลงอย่างมาก ดังนั้นจุดประสงค์ของงานวิจัยชิ้นนี้คือ การเปรียบเทียบพฤติกรรม ข้อจำกัด และประสิทธิภาพขั้นต้นของอัลกอริทึมแบบ LEACH และอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH บนพื้นที่สามมิติที่มีตัวแปรของการบดบังของภูมิประเทศเข้ามาด้วย เพื่อการพัฒนาต่อในอนาคตต่อไป

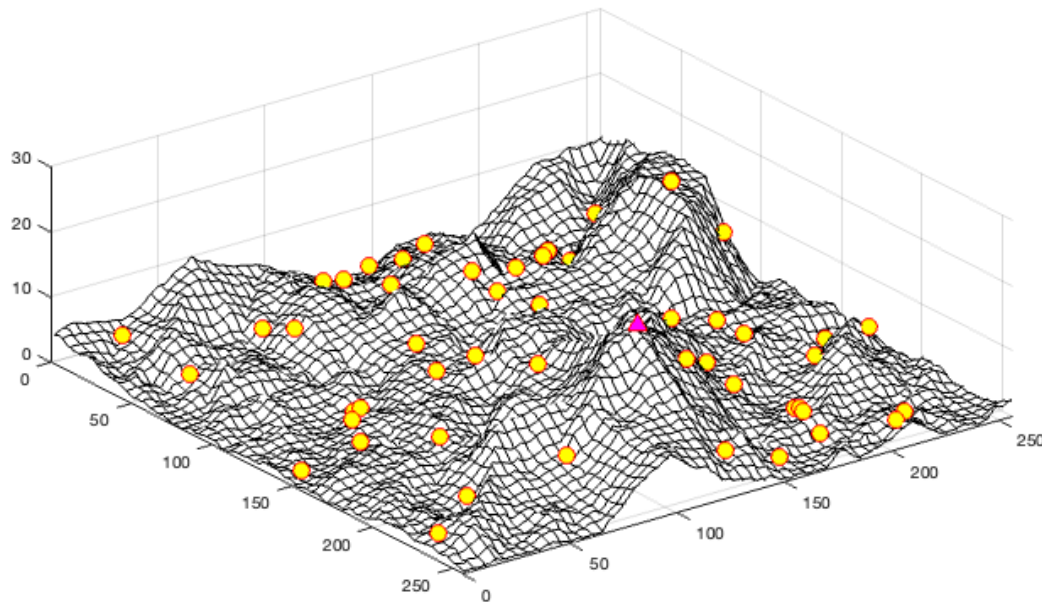
2. วิธีดำเนินการวิจัย



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแบบ LEACH และอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH บนแผนที่สามมิติ

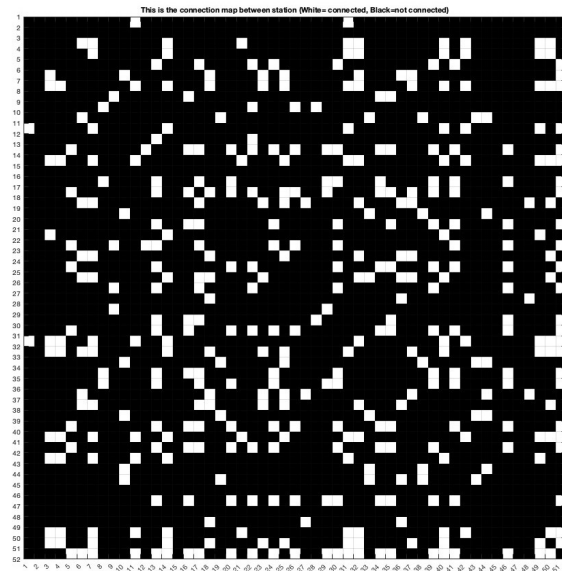
ในรูปที่ 1 แสดงขั้นตอนของการทดสอบประสิทธิภาพและพฤติกรรมของอัลกอริทึมทั้งสองในงานวิจัยชิ้นนี้ โดยขั้นตอนแรกคือ การสร้างภูมิประเทศสามมิติจำลองขึ้นมาในการวิเคราะห์เลือกภูมิประเทศนั้น หากแผนที่มีความกว้างเกินไป หรือภูมิประเทศมีความชันมากเกินไป จะทำให้โครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายนั้นไม่สามารถทำงานได้ และไม่สามารถดำเนินการเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมได้ ในทางตรงกันข้ามหากแผนที่แคบจนเกินไปหรือความชันน้อยจนเกินไป จะทำให้ไม่เห็นพฤติกรรมการบดบังด้วยภูมิประเทศได้ หลังจากที่ได้ดำเนินการทดสอบแบบจำลองด้วยภูมิประเทศหลายรูปแบบ ดังนั้นในการวิจัยชิ้นนี้จึงเลือกภูมิประเทศที่มีคุณลักษณะด้านต่าง ๆ อยู่ในระดับกลางเพื่อให้ตอบวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมทั้งสองได้ดี ดังนั้นจึงดำเนินการการสุ่มความสูงแต่ละจุดเป็นพื้นที่ขนาด 256 x 256 ตารางเมตร โดยแผนที่ที่สุ่มสร้างขึ้นมานี้มีความสูงสูงสุดอยู่ที่ 17.1 เมตร และจุดต่ำสุดอยู่ที่ 0 เมตร ความสูงเฉลี่ยของพื้นที่อยู่ที่ 4.65 เมตร จากนั้นขั้นตอนต่อไปคือการสุ่มตำแหน่งของเซนเซอร์จำนวน 50 เซนเซอร์ลงบนพื้นที่สามมิติที่สร้างขึ้นมาก่อนหน้าแล้ว โดยภูมิประเทศและตำแหน่งของเซนเซอร์ทั้ง 50 ตัวนี้ แสดงอยู่ในรูปที่ 2 และจะถูกบันทึกไว้เพื่อใช้ในการทดสอบของการ

ทำแบบจำลองทุก ๆ ครั้ง เพื่อให้ได้ผลการเปรียบเทียบที่ยุติธรรม โดยสถานีรับข้อมูลจะตั้งอยู่บนพื้นที่สูงของภูมิประเทศที่พิกัด (192,130,16.7271)



รูปที่ 2 แผนภาพภูมิประเทศจำลองแบบสามมิติและตำแหน่งของเซนเซอร์จำนวน 50 ตัวที่สุ่มวางลงบนแผนที่

ขั้นตอนต่อไปคือการคำนวณหาเมทริกซ์ของความสามารถในการเชื่อมต่อของเซนเซอร์ (Connection Matrix) ทั้งหมดรวมทั้งเสารับข้อมูลด้วย (Sink Node) ว่าเซนเซอร์แต่ละตัวสามารถส่งสัญญาณไปหาเซนเซอร์ตัวอื่นตัวใดได้บ้าง ซึ่งการที่เซนเซอร์จะสามารถส่งข้อมูลไปหาเซนเซอร์ตัวอื่นได้นั้นระยะห่างของทั้งสองตัวจะต้องไม่เกินค่าของระยะสื่อสาร (Communication Range) โดยในงานวิจัยชิ้นนี้กำหนดไว้ว่าระยะสื่อสารของเซนเซอร์แต่ละตัวจะไม่เกิน 110 เมตร และจะต้องไม่ถูกบดบังด้วยภูมิประเทศ โดยขั้นตอนการคำนวณหาการบดบังของภูมิประเทศนั้น ใช้อัลกอริทึมของเบรเซนแฮม (Bresenham Algorithm) เพื่อวิเคราะห์ว่าเส้นแนวสายตา (Line of Sight) จากเซนเซอร์ตัวหนึ่ง โดยอัลกอริทึมนี้จะดำเนินการลากเส้นเชื่อมระหว่างจุดสองจุดที่ต้องการเชื่อมต่อแล้วตรวจสอบว่าถูกภูมิประเทศบดบังหรือไม่ [8] ซึ่งเมทริกซ์ของความสามารถในการเชื่อมต่อของเซนเซอร์แต่ละตัวบนแผนที่สามมิติในรูปที่ 2 มีผลลัพธ์ที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3 โดยตัวเลขด้านซ้ายแสดงหมายเลขของเซนเซอร์แต่ละตัว ส่วนตัวเลขที่อยู่ในการแนวนอนคือหมายเลขของเซนเซอร์ที่รับ/ส่งสัญญาณ ถ้าสามารถส่งสัญญาณถึงกันได้จะมีค่าเป็นหนึ่ง (สีขาว) แต่ถ้าไม่สามารถส่งสัญญาณหากันได้จะมีค่าเป็นศูนย์ (สีดำ) โดยเสารับข้อมูลด้วย (Sink node) นั้นแสดงด้วยหมายเลขที่ 51 ส่วนค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้แสดงอยู่ในตารางที่ 1



รูปที่ 3 แผนภาพเมทริกซ์ของความสามารถในการเชื่อมต่อของเซนเซอร์และแผนที่ในรูปที่ 2

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่าตัวแปรต่าง

ตัวแปร	ค่าตัวแปร
จำนวนเซนเซอร์ (n)	50
จำนวนสถานีรับ (s)	1
ค่าอัตราส่วนจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้เชื่อมต่อ (K -connectivity)	0.5 – 0.9
ค่าพลังงานเริ่มต้นของแต่ละเซนเซอร์ (E_0)	1 J
ระยะส่งไกลสุด C_r	110 m
ค่าอัตราพลังงานในการตรวจจับ (E_S)	2.5 μ J/bit
ค่าอัตราพลังงานในการรับข้อมูล (E_R)	0.5 μ J/bit
ค่าพลังงานของวงจร (E_{elec})	5 μ J/bit
ค่าพลังงานขยายสัญญาณ (E_{fs})	100 pJ/bit/m ²
ความยาวข้อมูล (k)	128 bits

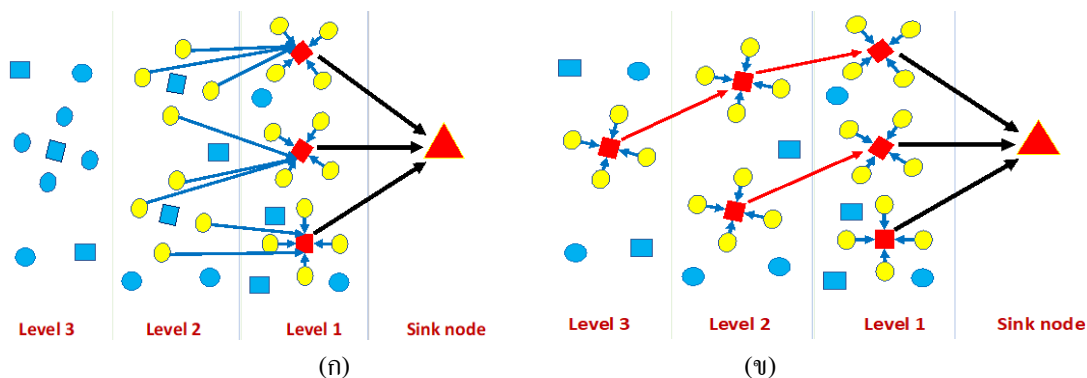
ขั้นตอนต่อไปนั้นจะเป็นการดำเนินการวิเคราะห์ว่าโครงข่ายไร้สายนั้น จะสามารถส่งข้อมูลได้ที่รอบและมีจำนวนอายุขัยของระบบโครงข่ายมากน้อยเพียงใด โดยอัลกอริทึมที่ใช้ในการเลือกเซนเซอร์ที่จะทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณแต่ละรอบนั้นจะใช้อัลกอริทึมแบบ LEACH และอัลกอริทึมแบบ Multi-Hop LEACH มาเป็นตัวกำหนดการทำงานในแต่ละรอบ โดยอัลกอริทึมทั้งสองนั้น มีความเหมือนกันคือ จะดำเนินการสุ่มเซนเซอร์มาทำหน้าที่ หัวหน้ากลุ่มโครงข่าย (Cluster Head Node) ในแต่ละรอบเพื่อรวบรวมข้อมูลจากเซนเซอร์ธรรมดา (Normal Node) จากนั้นจะส่งข้อมูลทั้งหมดไปยัง สถานีรับ (Sink Node) เพื่อเป็นการลดพลังงานของทั้งโครงข่ายส่วนข้อแตกต่างนั้นคือ อัลกอริทึมแบบ LEACH นั้น หัวหน้ากลุ่มโครงข่ายจะส่งข้อมูลต่อไปยังสถานีรับได้เท่านั้น ในขณะที่อัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH นั้น หากหัวหน้ากลุ่มโครงข่ายใด อยู่ไกลออกไปจากสถานีรับหรือถูกบดบังจากภูมิประเทศ ไม่สามารถเชื่อมต่อกับสถานีรับได้ หัวหน้ากลุ่มโครงข่ายจะสามารถรีเลย์ข้อมูลไปยังหัวหน้ากลุ่มโครงข่ายตัวอื่น ๆ ที่จะสามารถเชื่อมต่อเข้ากับโครงข่ายได้ จนสุดท้ายข้อมูลสามารถรีเลย์ไปจนถึงสถานีรับได้ในที่สุด

โดยอัลกอริทึมทั้งสองนั้น จะเริ่มต้นจากการกำหนดอัตราส่วนของเซนเซอร์ (P) ที่ทำหน้าที่เป็นหัวกลุ่มโครงข่าย (Cluster Head Node) แล้วส่งข้อมูลไปยังสถานีรับ (Sink Node) ซึ่งจากงานวิจัยในอดีตพบว่าค่าที่จะทำให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีนั้น ค่าอัตราส่วน P นี้ ควรมีค่า 0.05 - 0.1 (Heinzelman et al., 2000) โดย Heinzelman et al., (2000) ได้วิเคราะห์ค่าที่เหมาะสมสำหรับค่า P (อัตราส่วนการกำหนดหัวกลุ่มโครงข่าย (Cluster Head Node) โดยประมาณในแต่ละรอบของการสุ่ม อาจจะมากหรือน้อยกว่าค่านี้ ขึ้นอยู่กับการสุ่มจริง) โดยปกติการใช้โครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) แบบไม่มีสิ่งบดบัง ควรจะเป็นค่าประมาณ 0.05 - 0.1 เพื่อให้โครงข่ายมีอายุยาวนานที่สุด ในแต่งงานวิจัยชิ้นนี้ พื้นที่สามมิติได้ บดบังพื้นที่การเชื่อมต่อของโครงข่ายไปบางส่วน ทำให้มีเซนเซอร์ไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงต้องเพิ่มจำนวนหัวกลุ่มโครงข่ายเพิ่มมากยิ่งขึ้น และจากการทดสอบด้วยแบบจำลองภูมิประเทศ 10 แบบ ด้วยการวางจุดเซนเซอร์ต่างกันบน ภูมิประเทศ 10 แบบ และค่า (K -connectivity) เท่ากับ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 พบว่า $P = 0.5$ ให้จำนวนรอบของการส่ง ข้อมูลของระบบโครงข่ายได้มากที่สุดและโครงข่ายยังมีอายุยาวนานที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้จากกำหนดค่า P ไว้ที่ 0.5 เพื่อหาขีดความสามารถของอัลกอริทึมทั้งสอง

ขั้นตอนต่อไป ค่าอัตราส่วน P นี้จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสุ่มเลือกหัวกลุ่มโครงข่าย โดยใช้คำนวณค่าขอบเขต หัวกลุ่มโครงข่าย (Cluster Head Selection Threshold) ไว้ตามสมการที่ (1) ด้านล่าง

$$T(rnd) = \frac{P}{1 - P * (rnd * \text{mod}(\frac{1}{P}))} \quad (1)$$

โดย $T(rnd)$ ค่าขอบเขตที่จะใช้กำหนดในการเลือกหรือไม่เลือกเซนเซอร์แต่ละตัวในการสุ่มเลือกทำหน้าที่ หัวกลุ่มโครงข่าย (Cluster Head Node) และ rnd คือ รอบที่ของการคำนวณเพื่อหาเซนเซอร์ในการส่งสัญญาณ จากนั้นเซนเซอร์แต่ละตัวจะดำเนินการสุ่มตัวเลขระหว่างศูนย์ถึงหนึ่ง หากเซนเซอร์ตัวใดได้ค่าการสุ่มมากกว่าค่าขอบเขตหัวกลุ่มโครงข่าย จะถูกกำหนดให้เซนเซอร์ตัวนั้นทำหน้าที่เป็นหัวกลุ่มโครงข่ายในรอบนั้น ในทางตรงกันข้ามหากเซนเซอร์ตัวใดได้ค่าการสุ่ม น้อยกว่าค่าขอบเขตหัวกลุ่มโครงข่ายจะทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์เก็บข้อมูลธรรมดา



รูปที่ 4 แผนภาพจำลองการเลือกเซนเซอร์ในการทำหน้าที่รับ/ส่งข้อมูลด้วยอัลกอริทึมแบบ

(ก) LEACH และ (ข) Multi-hop LEACH

รูปที่ 4 แสดงแผนภาพจำลองของการเลือกเซนเซอร์ในการทำหน้าที่รับ/ส่งข้อมูลด้วยอัลกอริทึมแบบ LEACH ในรูปที่ 4(ก) และอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH ในรูปที่ 4(ข) ซึ่งในกระบวนการเลือกเซนเซอร์นั้นเริ่มต้นจากการตรวจสอบว่าหัวกลุ่มโครงข่าย (รูปสี่เหลี่ยมในรูปที่ 4) ตัวใดสามารถเชื่อมต่อกับเสารับข้อมูล (รูปสามเหลี่ยมสีแดงในรูปที่ 4) ได้หรือไม่

หากสามารถเชื่อมต่อได้ก็จะถูกเลือกให้ทำหน้าที่ในรอบนั้น (รูปสี่เหลี่ยมสีแดงในรูปที่ 4) ส่วนหัวกลุ่มโครงข่ายที่ไม่ถูกเลือกจะแสดงด้วยสี่เหลี่ยมสีฟ้าในรูปที่ 4 จากนั้นเซนเซอร์ธรรมดาหรือลูกข่ายจะเชื่อมต่อเข้ากับหัวกลุ่มโครงข่ายที่สามารถต่อเข้าเสารับข้อมูลได้ และถูกเลือกอยู่ก่อนแล้วในขั้นตอนก่อนหน้า (เฉพาะหัวกลุ่มโครงข่ายที่เป็นสี่เหลี่ยมสีแดงในรูปที่ 4) โดยจะเลือกหัวกลุ่มโครงข่ายตัวที่สามารถเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ธรรมดาตัวนั้นได้ และอยู่ในระยะที่ใกล้ที่สุด ถ้าเซนเซอร์ธรรมดาถูกเลือกทำงานจะแสดงเป็นรูปวงกลมสีเหลืองในรูปที่ 4 แต่ถ้าไม่ถูกเลือกให้ทำหน้าที่ในรอบนั้นจะแสดงด้วยวงกลมสีฟ้า

อัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH นั้นจะมีขีดความสามารถเพิ่มเติมจากอัลกอริทึมแบบ LEACH ที่อธิบายมาแล้วข้างต้นอีกหนึ่งอย่าง คือ หัวกลุ่มโครงข่ายที่ไม่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับเสารับข้อมูลได้ในขั้นตอนแรกและไม่ได้ถูกเลือกให้ทำหน้าที่ในตอนแรกจะพยายามเชื่อมเข้ากับหัวกลุ่มโครงข่ายตัวอื่นที่สามารถต่อเข้ากับโครงข่ายได้แล้วแทน ทำให้เพิ่มการถูกเลือกเพื่อส่งข้อมูลของหัวกลุ่มโครงข่ายมีเพิ่มมากยิ่งขึ้น และเพิ่มโอกาสให้เซนเซอร์ธรรมดาหาหัวกลุ่มโครงข่ายที่ตัวเองสามารถเชื่อมต่อได้ง่ายขึ้น ดังแสดงในภาพเปรียบเทียบในรูปที่ 4

ขั้นตอนต่อไปเป็นการตรวจสอบว่า จำนวนหัวกลุ่มโครงข่าย รวมกับเซนเซอร์ธรรมดาที่ถูกเลือกทั้งหมด มีจำนวนได้เท่ากับค่าอัตราส่วนจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้เชื่อมต่อ (K-connectivity) ที่กำหนดไว้ของรอบนั้น ๆ แล้วหรือไม่ ถ้าได้ตามจำนวนที่ต้องการก็จะดำเนินการคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ในรอบนั้น ๆ หากได้น้อยกว่าก็จะกระโดดไปสู่รอบการสุ่มต่อไปโดยไม่คำนวณการใช้พลังงานและถือว่ารอบการจัดสรรเซนเซอร์รอบนั้นใช้ไม่ได้ โดยสมการการใช้พลังงานที่เกี่ยวข้อง [9] ดังสมการที่ (2) ถึง สมการที่ (4) ต่อไปนี้

ค่าพลังงานที่ใช้ในการเก็บจับข้อมูลจากสิ่งแวดล้อมของเซนเซอร์หมายเลข i

$$E_S(i) = \epsilon_S k \quad (2)$$

ค่าพลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูลของเซนเซอร์หมายเลข i

$$E_T(i) = (E_{elec} + E_{fs}d_{ij}^2)(m + 1)k \quad (3)$$

ค่าพลังงานที่ใช้ในการรับข้อมูลของเซนเซอร์หมายเลข i

$$E_R(i) = \epsilon_R mk \quad (4)$$

โดยค่า m เป็นจำนวนลูกข่ายรวมทั้งหมดที่ส่งข้อมูลมายังเซนเซอร์หมายเลข i ในกรณีที่ เป็นเซนเซอร์หัวกลุ่มโครงข่าย โดยค่า m นี้จะมีค่าเท่ากับศูนย์ ถ้าเซนเซอร์หมายเลข i ทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์ธรรมดาในรอบนั้น และค่า k เป็นความยาวข้อมูล (bits)

3. ผลการวิจัย

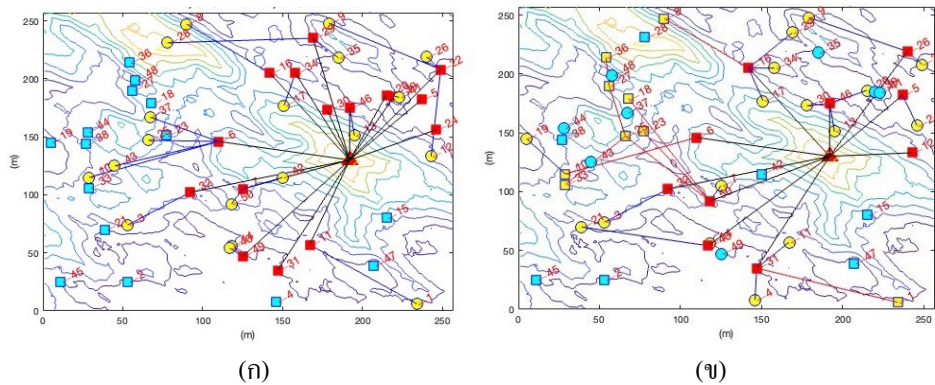
ในการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทั้งสองอัลกอริทึมนั้น จะดำเนินการเรียกใช้แบบจำลองของอัลกอริทึมแบบ LEACH และอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH สำหรับค่าอัตราส่วนจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้เชื่อมต่อ (K-connectivity) เท่ากับ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 โดยค่าอัตราส่วนจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้เชื่อมต่อนั้น คือจำนวนอัตราส่วนของเซนเซอร์ที่จะใช้ในการส่งข้อมูลในรอบนั้น ๆ ต่อจำนวนเซนเซอร์ทั้งหมดที่มี

ในรูปที่ 5 แสดงตัวอย่างของระบบโครงข่ายที่ดำเนินการตรวจจับข้อมูลด้วยอัลกอริทึมแบบ LEACH และอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH สำหรับค่าอัตราส่วนจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้เชื่อมต่อเท่ากับ 0.7 หมายความว่าต้องมีเซนเซอร์ที่ดำเนินการเก็บข้อมูลจากสิ่งแวดล้อมทั้งหมด 35 เซนเซอร์ จากเซนเซอร์ทั้งหมดที่มี 50 ตัว โดยในตัวอย่างนี้เป็นรอบการส่งที่ 200 ซึ่งการส่งข้อมูลกลับไปทีสถานี่รับข้อมูล (รูปสามเหลี่ยมสีแดง) ได้ผ่านการรวบรวมข้อมูลโดยหัวกลุ่มโครงข่าย (รูปสี่เหลี่ยม

สีแดงหรือสีเหลือง) โดยเซนเซอร์ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลอย่างเดียวกคือรูปวงกลมสีเหลือง ส่วนเซนเซอร์ที่ไม่ถูกเลือกจะแสดงด้วยรูปวงกลมสีฟ้าและหัวกลุ่มโครงข่ายที่ไม่ถูกเลือกจะถูกแสดงด้วยสีเหลี่ยมสีฟ้า ตามที่อธิบายมาแล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้

รูปที่ 5(ก) จะเป็นโครงข่ายของอัลกอริทึมแบบ LEACH ซึ่งหัวกลุ่มโครงข่ายจะไม่สามารถรับข้อมูลไปยังหัวกลุ่มโครงข่ายตัวอื่นได้ ส่วนในรูปที่ 5(ข) จะเป็นโครงข่ายของอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH ซึ่งในกรณีนี้ ถ้าหัวกลุ่มโครงข่ายตัวใด อยู่ไกลจากเสารับข้อมูล (Sink node) หรือว่าภูมิประเทศบังคับให้ไม่สามารถเชื่อมต่อกับเสารับข้อมูลได้ หัวกลุ่มโครงข่ายตัวนั้น จะสามารถส่งข้อมูลไปยังหัวกลุ่มโครงข่ายตัวอื่นที่สามารถรับข้อมูลไปยังเสารับข้อมูลได้แทน

จากการเรียกใช้อัลกอริทึมแบบ LEACH และอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH เพื่อดำเนินการเลือกในแต่ละรอบของการตรวจจับข้อมูลรอบๆ ในสิ่งแวดล้อมแล้วส่งกลับไปยังสถานีของเสารับข้อมูลนั้น จะใช้เซนเซอร์ตัวใดทำหน้าที่อะไรแล้วเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ตัวใด เพื่อให้ได้ค่าอัตราส่วนจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้เชื่อมต่อที่ต้องการของรอบการตรวจจับนั้น ๆ



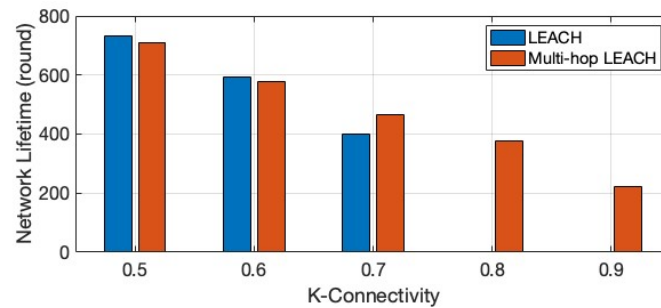
รูปที่ 5 แผนภาพแสดงโครงข่ายของเซนเซอร์ที่ถูกเลือกให้ส่งข้อมูลในรอบที่ 200 ด้วยอัลกอริทึมแบบ (ก) LEACH และแบบ (ข) Multi-hop LEACH

โดยรูปที่ 6 แสดงอายุขัยของโครงข่าย (Network Lifetime) ที่ได้จากการจัดสรรเซนเซอร์ทำงานด้วยอัลกอริทึมทั้งสอง โดยค่าอัตราส่วนจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้เชื่อมต่อ (K-connectivity) ที่ใช้เท่ากับ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 ซึ่งผลที่ได้จากอัลกอริทึมแบบ LEACH แสดงด้วยกราฟแท่งสีฟ้า และผลที่ได้จากอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH แสดงด้วยกราฟแท่งสีแดง จากการทดสอบพบว่า ถ้าค่าอัตราส่วนจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้เชื่อมต่อมีค่าน้อย (K-connectivity = 0.5 และ 0.6) และเซนเซอร์ที่อยู่ใกล้ๆ กับเสารับข้อมูลมีมากเพียงพอแล้ว อัลกอริทึมแบบ LEACH จะสามารถมีรอบของการส่งข้อมูลได้ 732 และ 594 รอบ ตามลำดับ ซึ่งได้มากกว่าอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH อยู่เล็กน้อย ซึ่งส่งได้ 711 และ 579 รอบ ตามลำดับ เพราะมีเซนเซอร์ในภูมิประเทศอยู่รอบๆ เสารับข้อมูล (Sink Node) มากเกินพอต่อการส่งสัญญาณตรวจจับกลับมา ส่วนอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH ก็สามารถหาจำนวนเซนเซอร์ได้เพียงพอ แต่การที่มีการรับข้อมูลผ่านหัวกลุ่มโครงข่ายแต่ละครั้งนั้น จะเสียพลังงานมากกว่าการส่งตรงครั้งเดียวไปยังเสารับข้อมูล ทำให้อายุขัยของโครงข่ายลดลงเล็กน้อย

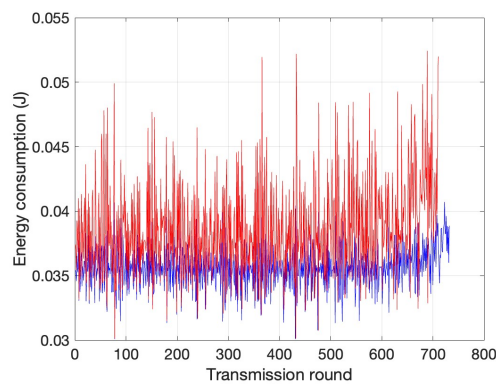
กรณีที่ค่าอัตราส่วนจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้เชื่อมต่อ (K-connectivity) เท่ากับ 0.7 นั้น หมายความว่าแต่ละรอบการตรวจจับและส่งข้อมูลต้องการเซนเซอร์มากถึง 70% คือ 35 เซนเซอร์ จากทั้งหมด 50 เซนเซอร์ ซึ่งการต้องการจำนวนเซนเซอร์ที่เยอะมากขึ้น ทำให้การหาเซนเซอร์เพื่อทำงานแต่ละรอบด้วยอัลกอริทึมแบบ LEACH มีความยากมากยิ่งขึ้น ทำให้ส่งได้เพียง 399 รอบ ในขณะที่อัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH จะสามารถทำรอบการส่งข้อมูลได้มากกว่า ซึ่งส่งได้ 467 รอบ

สุดท้าย ในกรณีที่ค่าอัตราส่วนจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้เชื่อมต่อมีค่าสูง (K-connectivity = 0.8 และ 0.9) ในกรณีนี้ จำเป็นต้องใช้เซนเซอร์ในการตรวจจับข้อมูลรวมกันมากถึง 40 และ 45 เซนเซอร์ จากทั้งหมด 50 เซนเซอร์ ตามลำดับ ซึ่งการใช้จำนวนเซนเซอร์มากขนาดนี้ ทำให้อัลกอริทึมแบบ LEACH ไม่สามารถหาจำนวนหัวกลุ่มโครงข่ายรวมกับเซนเซอร์ธรรมดาได้เพียงพอต่อข้อกำหนดของความต้องการการตรวจจับข้อมูลและส่งข้อมูล ทำให้ไม่สามารถทำงานได้

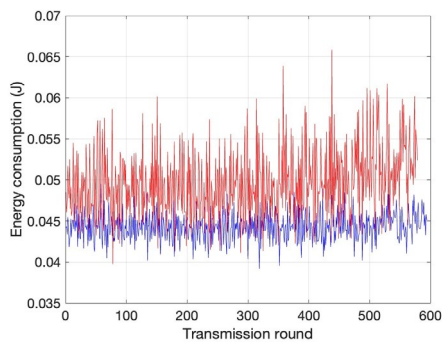
แต่อัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH ยังคงสามารถจัดสรรเซนเซอร์ในโครงข่ายได้เพียงพอต่อความต้องการและสามารถมีรอบการส่งข้อมูลได้ 375 และ 223 รอบ ตามลำดับ



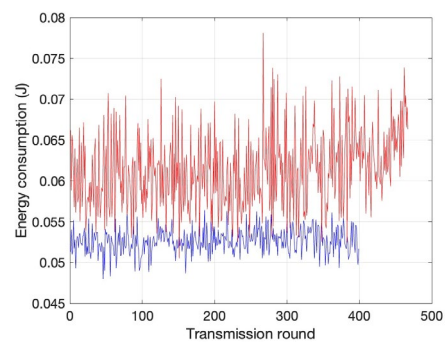
รูปที่ 6 แผนภาพเปรียบเทียบอายุขัยของโครงข่าย (Network Lifetime) จากการจัดสรรเซนเซอร์ด้วยอัลกอริทึมแบบ LEACH (สีน้ำเงิน) และอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH (สีแดง)



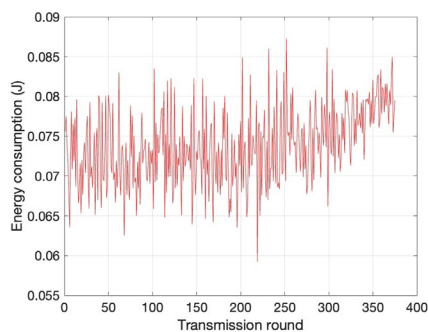
(ก)



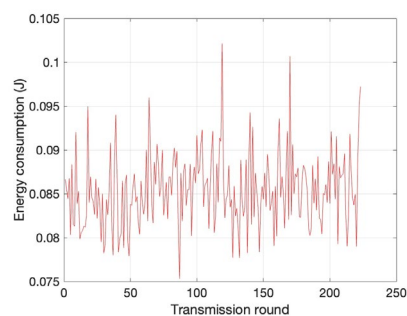
(ข)



(ค)



(ง)

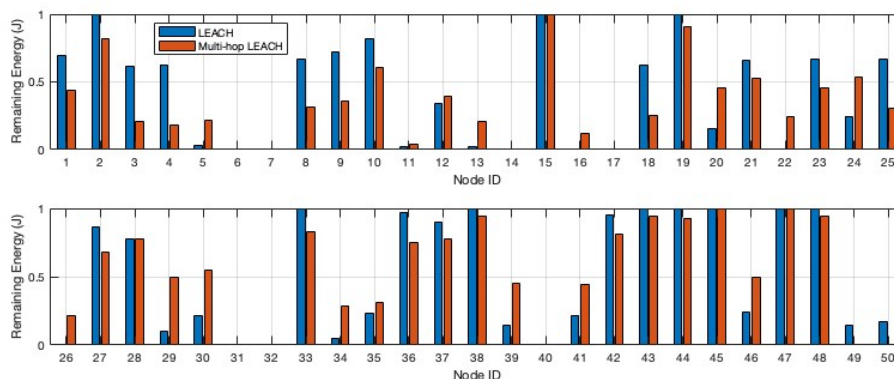


(จ)

รูปที่ 7 แผนภาพเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้รวมทั้งหมดต่อการส่งข้อมูลของอัลกอริทึมแบบ LEACH (เส้นกราฟสีน้ำเงิน)

และอัลกอริทึมแบบ Multi-Hop LEACH (เส้นกราฟสีแดง)

รูปที่ 7 แสดงค่าพลังงานที่ใช้รวมทั้งหมดของทั้งโครงข่ายของแต่ละรอบการตรวจจับแล้วส่งข้อมูลกลับไปยังเสารับข้อมูล โดยแกน x แสดงลำดับรอบที่ของการส่ง (Transmission round) และแกน Y แสดงค่าพลังงานรวมที่ใช้ทั้งโครงข่ายในรอบนั้น (Joule) โดยรูปที่ 7(ก), 7(ข), 7(ค), 7(ง) และ 7(จ) แสดงผลที่ได้จากกรณีของค่าอัตราส่วนจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้เชื่อมต่อเท่ากับ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 ตามลำดับ โดยในรูปที่ 7(ก), 7(ข) และ 7(ค) นั้น จะเห็นได้ว่าการจัดสรรเซนเซอร์ด้วยอัลกอริทึมแบบ LEACH นั้น จะใช้พลังงานต่อรอบน้อยกว่า การจัดสรรเซนเซอร์ด้วยอัลกอริทึมแบบ Multi-Hop LEACH โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 8 – 16 % แต่อย่างไรก็ตามในรูปที่ 7(ง) และ 7(จ) นั้น การจัดสรรเซนเซอร์ด้วยอัลกอริทึมแบบ LEACH จะไม่สามารถหาเซนเซอร์ได้เพียงพอทำให้ไม่สามารถตรวจจับและส่งข้อมูลได้ แต่การจัดสรรเซนเซอร์ด้วยอัลกอริทึมแบบ Multi-Hop LEACH นั้นยังคงสามารถทำได้ แต่เนื่องจากจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้มากขึ้น ทำให้จำเป็นต้องใช้พลังงานรวมเพิ่มมากกว่ากรณีในรูปที่ 7(ก), 7(ข) และ 7(ค) ด้วย



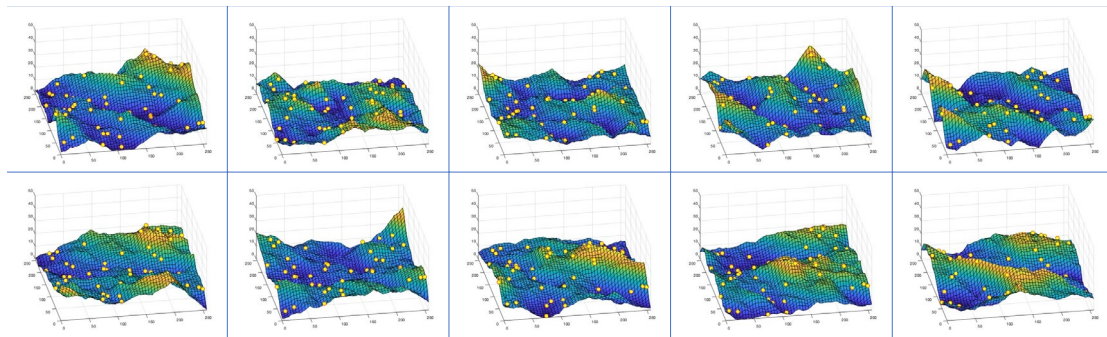
รูปที่ 8 แผนภาพแสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบค่าพลังงานคงเหลือของแต่ละเซนเซอร์หลังจากการส่งข้อมูลในรอบสุดท้ายของโครงข่ายในกรณีที่มี K-connectivity = 0.5 (กราฟแท่งสีน้ำเงิน - พลังงานของเซนเซอร์จากอัลกอริทึมแบบ LEACH หลังรอบการส่งที่ 732;

กราฟแท่งสีแดง - พลังงานของเซนเซอร์จากอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH หลังรอบการส่งที่ 711)

จากรูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานคงเหลือของแต่ละเซนเซอร์หลังจากการส่งข้อมูลในรอบสุดท้ายของอายุขัยของโครงข่าย ในกรณีที่ค่าอัตราส่วนจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้เชื่อมต่อเท่ากับ 0.5 พบว่า อัลกอริทึมแบบ LEACH จะมีเซนเซอร์หมายเลข 2, 15, 19, 33, 38, 44, 45, 47 และ 48 ที่มีค่าพลังงานเหลืออยู่เท่ากับค่าพลังงานเริ่มต้น นั่นหมายความว่าเซนเซอร์เหล่านั้นจะไม่ถูกเลือกใช้เลย ในทุก ๆ รอบของการทำงาน เพราะจะถูกภูมิประเทศบังจนไม่สามารถหาเซนเซอร์และ หัวกลุ่มโครงข่ายตัวอื่นที่เหมาะสมเพื่อเชื่อมต่อได้ โดยในกรณีนี้จะมีเซนเซอร์ที่ถูกใช้บ่อยจนหมดพลังงานอยู่ 10 ตัว ได้แก่ เซนเซอร์หมายเลข 6, 7, 14, 16, 17, 22, 26, 31, 32 และ 40 ในทางตรงกันข้าม ในกรณีของการจัดสรรเซนเซอร์ด้วยอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH จะมีเพียง 3 เซนเซอร์ที่ไม่สามารถเชื่อมต่อได้ คือ เซนเซอร์หมายเลข 15, 45 และ 47 โดยในกรณีนี้จะมีเซนเซอร์ที่หมดพลังงานอยู่ 9 ตัว คือ เซนเซอร์หมายเลข 6, 7, 14, 17, 31, 32, 40, 49 และ 50

ในขั้นตอนต่อไป เป็นการดำเนินการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของทั้งสองอัลกอริทึม เมื่อดำเนินการเปลี่ยนแปลงในภูมิประเทศเป็นรูปแบบอื่น ๆ โดยในกรณีนี้ได้ดำเนินการสุ่มสร้างภูมิประเทศขนาด 256 x 256 ตารางเมตร และมีความสูงอยู่ในช่วง 0 - 20 เมตร ขึ้นมาอีกจำนวน 10 ภูมิประเทศ ดังแสดงในรูปที่ 9 และในแต่ละภูมิประเทศนั้นจะดำเนินการสุ่มวางเซนเซอร์จำนวนทั้ง 50 เซนเซอร์ กระจายตัวลงบนแผนที่ อีกจำนวน 10 รูปแบบโดยสถานีรับข้อมูลจะถูกเลือกวางบนเนินสูงที่ใกล้จุด

กึ่งกลางของแผนที่มากที่สุด และในกระบวนการหาจำนวนรอบที่มากที่สุดที่สามารถส่งข้อมูลได้ของอัลกอริทึมแต่ละแบบนั้น จะดำเนินการเหมือนกรณีแรกเพื่ออธิบายไว้โดยละเอียดทุกประการ

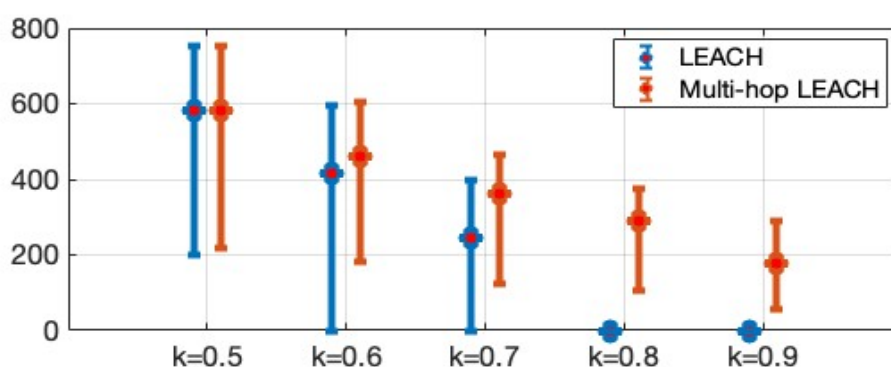


รูปที่ 9 ภูมิประเทศขนาด 256 x 256 ตารางเมตร และมีความสูงอยู่ในช่วง 0 - 20 เมตร
ที่สุ่มสร้างขึ้นจำนวน 10 แบบ เพื่อใช้ในการทดสอบ

การผลการดำเนินการด้วยแบบจำลองของภูมิประเทศทั้ง 10 แบบ และการสุ่มวางเซนเซอร์บนแต่ละภูมิประเทศอีก 10 แบบนั้น จะถูกนำมาทดสอบเพื่อหาจำนวนรอบการส่งที่ได้มากที่สุดของแต่ละอัลกอริทึม และแต่ละค่า K-connectivity ที่ต้องการ โดยผลที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 10 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

กรณีอัลกอริทึมแบบ LEACH มีขีดความสามารถในการส่งข้อมูลในแต่ละกรณีของค่า K-connectivity เท่ากับ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 ดังนี้ คือ มีค่าเฉลี่ยการส่งอยู่ที่ 580, 417, 224, 0 และ 0 รอบ ตามลำดับ โดยจำนวนรอบส่งน้อยสุดของแต่ละค่า K-connectivity อยู่ที่ 201, 0, 0, 0 และ 0 รอบ ตามลำดับ และสุดท้าย จำนวนรอบส่งมากที่สุดของแต่ละค่า K-connectivity อยู่ที่ 753, 594, 399, 0 และ 0 รอบ ตามลำดับ

ในกรณีอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH นั้น พบว่า มีขีดความสามารถในการส่งข้อมูลในแต่ละกรณีของค่า K-connectivity เท่ากับ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 ดังนี้ คือ มีค่าเฉลี่ยการส่งอยู่ที่ 584, 460, 363, 291 และ 178 รอบ ตามลำดับ โดยจำนวนรอบส่งน้อยสุดของแต่ละค่า K-connectivity อยู่ที่ 220, 182, 123, 106 และ 56 รอบ ตามลำดับ และสุดท้าย จำนวนรอบส่งมากที่สุดของแต่ละค่า K-connectivity อยู่ที่ 752, 603, 467, 375 และ 290 รอบตามลำดับ



รูปที่ 10 แผนภาพเปรียบเทียบอายุขัยของโครงข่าย (Network Lifetime) จากการจัดสรรเซนเซอร์ด้วยอัลกอริทึมแบบ LEACH (สีน้ำเงิน) และ อัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH (สีแดง) โดยวงกลมตรงกลางแสดงค่าเฉลี่ย

จากภาพรวมของการทดสอบในรูปที่ 10 พบว่า พฤติกรรมยังคงมีความเหมือนกันกับกรณีแรก กล่าวคือ ในกรณี K-connectivity เท่ากับ 0.5 และ 0.6 นั้น ทั้งสองอัลกอริทึมให้ค่าเฉลี่ยจำนวนรอบการส่งข้อมูลสูงสุดที่ใกล้เคียงกัน แต่มีข้อพิจารณาคือ ในกรณี K-connectivity เท่ากับ 0.6 และ 0.7 ถ้าหากการสุมกระจายตัวของเซนเซอร์บนแผนที่ไม่คั่น มีโอกาสที่จะมีสามารถเลือกเซนเซอร์ได้เพียงพอในการส่งข้อมูลได้ ในกรณีที่ K-connectivity เท่ากับ 0.8 และ 0.9 นั้น อัลกอริทึมแบบ LEACH ไม่มีขีดความสามารถเพียงพอต่อการจัดสรรเซนเซอร์เพื่อการส่งข้อมูล แต่อัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH ยังสามารถดำเนินการได้อยู่

4. วิเคราะห์ผลการวิจัย

จากผลการทดสอบพบว่า การจัดสรรเซนเซอร์ของโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายนั้น อัลกอริทึมแบบ LEACH และอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH ยังคงเป็นอัลกอริทึมที่มีความสามารถในการจัดสรรเซนเซอร์ เพื่อดำเนินการตรวจจับสิ่งแวดล้อมและส่งข้อมูลกลับไปยังสถานีภาครับได้ แม้ว่าภูมิประเทศจะเป็นสามมิติที่มีตัวแปรการบังคับเส้นทางการเชื่อมต่อระหว่างเซนเซอร์ด้วยภูมิประเทศเข้ามามีส่วน และทำให้เส้นทางหรือขีดความสามารถในการเชื่อมต่อของการเซนเซอร์แต่ละตัวลดน้อยลงไปมาก ข้อจำกัดในการเลือกเซนเซอร์ทำหน้าที่แต่ละรอบจึงเพิ่มมากยิ่งขึ้น หรือทำให้บางเซนเซอร์ไม่สามารถปฏิบัติงานได้เลยตลอดอายุขัยของโครงข่าย

กล่าวโดยสรุป ในการเลือกอัลกอริทึมเพื่อดำเนินการประยุกต์ใช้โครงข่ายไร้สายนั้น หากภูมิประเทศมีการบังคับน้อย จำนวนอัตราเซนเซอร์ที่ใช้ต่อรอบต่อเซนเซอร์ทั้งหมดต่ำ และพื้นที่ไม่ไกลมาก อัลกอริทึมแบบ LEACH ยังสามารถปฏิบัติงานได้ดี และไม่แตกต่างจากอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH มากนัก แต่หากภูมิประเทศมีการบังคับสัญญาณอยู่มาก จำนวนอัตราเซนเซอร์ที่ใช้ต่อรอบต่อเซนเซอร์ทั้งหมดสูง และพื้นที่กว้าง อัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH จะมีขีดความสามารถที่มากกว่า แต่ก็ต้องแลกมาด้วยค่าพลังงานที่ใช้ในแต่ละรอบที่สูงกว่า

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแบบ LEACH กับอัลกอริทึมแบบ Multi-Hop LEACH เมื่อมีการนำไปใช้ในการจัดสรรเซนเซอร์ในการตรวจจับและส่งข้อมูลกลับมายังสถานีภาครับบนแผนที่สามมิติ

โดยขั้นตอนแรกจะเป็นการวิเคราะห์เมทริกซ์ของการเชื่อมต่อว่าเซนเซอร์ตัวใดสามารถส่งข้อมูลไปหาเซนเซอร์ตัวใดได้บ้าง หรือถูกบังคับการส่งสัญญาณโดยภูมิประเทศหรือไม่ จากนั้นจึงนำข้อมูลเมทริกซ์ของการเชื่อมต่อมาใช้ในการประยุกต์กับอัลกอริทึมทั้งสองแบบ เพื่อใช้ในการจัดสรรเซนเซอร์ในการส่งข้อมูลแต่ละรอบ แล้วทดสอบว่าอายุขัยของโครงข่ายจะมากน้อยเพียงใดเป็นการประเมินว่าการจัดสรรนั้นมีประสิทธิภาพในการยืดอายุขัยของโครงข่าย ซึ่งเป็นความต้องการหลักข้อหนึ่งของโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย อีกทั้งยังเปรียบเทียบการใช้พลังงานในแต่ละรอบอีกด้วย

จากการเรียกใช้อัลกอริทึมทั้งสองแบบ พบว่า ถ้ามีเซนเซอร์จำนวนมากกว่าจำนวนที่ใช้จริง เช่น K-connectivity เท่ากับ 0.5 ทั้ง LEACH และ M-LEACH นั้น มีอายุขัยไม่ต่างกันมาก เพราะเซนเซอร์ที่เชื่อมต่อได้มีมากเกินไปจนใช้งานจริงในแต่ละรอบการส่งข้อมูลและมีเซนเซอร์สำรองอยู่มาก จึงสามารถส่งข้อมูลจนพลังงานหมด และได้รับการส่งที่มาก แม้ว่าจะมีเซนเซอร์บางตัวถูกภูมิประเทศบังคับ ไม่สามารถเชื่อมต่อได้เลยก็ตาม ในทางตรงกันข้าม หากจำนวนอัตราเซนเซอร์ที่ใช้ต่อรอบต่อเซนเซอร์ทั้งหมดสูง เช่น K-connectivity เท่ากับ 0.9 ในกรณีนี้ จำเป็นต้องใช้เซนเซอร์มากถึง 90% ของโครงข่ายในแต่ละรอบการส่ง ทำให้มีเซนเซอร์สำรองน้อย ในกรณีอัลกอริทึม LEACH พบว่า ถ้าหัวโครงข่ายส่งข้อมูล

ไปยังสถานีรับไม่ได้ จะสูญเสียหัวโครงข่ายนั้นไปเลย แต่ในอัลกอริทึม Multi-Hop LEACH หัวโครงข่ายจะพยายามเชื่อมกับหัวโครงข่ายอื่นแทน เพื่อรีเลย์ข้อมูลไปได้มากกว่า จึงได้รอบการส่งที่มากกว่า

งานวิจัยนี้ช่วยเพิ่มความรู้ความเข้าใจพฤติกรรมและข้อจำกัดของอัลกอริทึมแบบ LEACH กับอัลกอริทึมแบบ Multi-Hop LEACH เมื่อนำไปใช้จริงบนพื้นที่สามมิติ ซึ่งจะสามารถทำให้ผู้ใช้จริงสามารถวางแผนและวิเคราะห์เลือกอัลกอริทึมเพื่อให้เหมาะกับพื้นที่ สถานการณ์ และข้อจำกัดของแต่ละกรณีได้เหมาะสมต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Priyadarshi, R., Gupta, B., & Anurag, A. (2020). Deployment techniques in wireless sensor networks: a survey, classification, challenges, and future research issues. *The Journal of Supercomputing*. 76(9): 7333-7373.
- [2] Elhabyan, R., Shi, W., & St-Hilaire, M. (2019). Coverage protocols for wireless sensor networks: Review and future directions. *Journal of Communications and Networks*. 21(1): 45-60.
- [3] Kaur, P., & Kad, S. (2017). Energy-efficient routing protocols for wireless sensor network: a review. *International Journal of Scientific & Technology Research*. 6(12): 92.
- [4] Heinzelman, W.B., Chandrakasan, A.P., Balakrishnan, H.R., (2000). Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 10 pp. vol.2.
- [5] Al-Sodairi, S., & Ouni, R. (2018). Reliable and energy-efficient multi-hop LEACH-based clustering protocol for wireless sensor networks. *Sustainable computing: informatics and systems*, 20: 1-13.
- [6] Kalidoss, T., Kulothungan, K., Rajasekaran, L., Selvi, M., Ganapathy, S., Kannan, A., (2019). Energy-aware cluster and neuro-fuzzy based routing algorithm for wireless sensor networks in iot. *Comput. Networks*, 151: 211223.
- [7] Deepa, O.S., Suguna, J., 920200. An optimized QoS-based clustering with multipath routing protocol for wireless sensor networks. *J. King Saud Univ. Comput. Inf. Sci.* 32: 763-774.
- [8] Bresenham, J. E. (1965). Algorithm for computer control of a digital plotter, *IBM Systems Journal*. 4 (1): 25-30.
- [9] Liu, X., Zhu, R., Anjum, A., Wang, J., Zhang, H., Ma, M., 2020. Intelligent data fusion algorithm based on hybrid delay-aware adaptive clustering in wireless sensor networks. *Future Gener. Comput. Syst.* 104: 1-14.