การเลือกหัวหน้ากลุ่มสำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เพื่อเพิ่มคุณภาพการบริการ

Cluster Head Selection for Improving Quality of Service in Wireless Sensor Networks

ชาญฤทธิ์ ด่านรัชดากร (Chanrit Danratchadakorn)* ปิยะณัฐ พึ่งฮั้ว (Piyanut Pheunghua)*
และ โชติพัชร์ ภรณวลัย (Chotipat Pornavalai)*

บทคัดย่อ

โพรโทคอลแบบกลุ่มที่มีขนาดไม่เท่ากัน ที่มีการอ้างอิงถึงกันมากได้แก่ [1-2] เกณฑ์วิธีการเลือกหัวหน้ากลุ่มจะพิจารณาจากพลังงานคงเหลือ (Residual Energy) ของโหนด โดยไม่สนใจว่าโหนดนั้นมีความสำคัญในด้านพื้นที่การตรวจจับ (Sensing Area) มากน้อยเพียงใด หากโหนดนั้นๆ ได้หมดพลังงานไป

ความสำคัญในด้านพื้นที่การตรวจจับของโหนดคือ โหนดที่ไม่มีโหนดรอบข้างซึ่งมีระยะการตรวจจับทับซ้อนกัน (Overlap Sensing Area) หากโหนดนี้หมดพลังงานไปก็จะเท่ากับว่าเครือข่ายจะสูญเสียพื้นที่การตรวจจับ (Sensing Area) ทั้งหมดของโหนดนั้นๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโหนดดังกล่าวมีความสำคัญมาก ต่างจากโหนดที่อยู่ในพื้นที่การตรวจจับที่มีการทับซ้อนกันมาก หากโหนดดังกล่าวหมดพลังงานไปก็ยังมีโหนดรอบข้างที่สามารถทดแทนพื้นที่การตรวจจับที่เสียไปได้

ผู้วิจัยได้นำเสนอ ความหนาแน่นภายในพื้นที่การตรวจจับ (Density Sensing Area: DSA) ซึ่งเป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงจำนวนโหนดรอบข้างของโหนดใดๆ ว่ามีความหนาแน่นมากน้อยเพียงใดภายในพื้นที่การตรวจจับ ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกหัวหน้ากลุ่ม (Cluster Head: CH) ผลลัพธ์ที่ได้คือโหนดที่มีความสำคัญน้อยจะมีโอกาสเป็นหัวหน้ากลุ่มมากกว่าโหนดที่มีความสำคัญมาก

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการนำ DSA มาเป็นเกณฑ์ในการเลือกหัวหน้ากลุ่มสามารถแก้ไขปัญหาที่กล่าวไว้ข้างต้นสำหรับเครือข่ายที่มีขนาดของกลุ่มไม่เท่ากัน (Unequal Cluster) อีกทั้งช่วยลดพลังงานที่ใช้โดยรวมของเครือข่ายและยังเพิ่มการครอบคลุมของพื้นที่การตรวจจับ (Coverage Sensing Area) ให้ยาวนานขึ้นส่งผลให้คุณภาพการบริการ (Quality of Service: QoS) ดีขึ้นตามไปด้วย

คำสำคัญ: เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ความหนาแน่นภายในพื้นที่การตรวจจับ พื้นที่การตรวจจับ การเลือกหัวหน้ากลุ่ม คุณภาพการบริการ

Abstract

Unequal Cluster Protocol for Wireless Sensor Network has a many researches. A protocol that has been proposed and widely referred whose criteria for cluster head selection is mainly considered by Residual Energy of sensor nodes which is not considering in Coverage Sensing Area of network.

A node will be important if it has few adjacent nodes. Therefore, it dies or runs out of energy, network would lose a large amount of coverage area. So the node shouldn't supposed to be an important node. On the other hand, if the node is dead, adjacent node with overlapping sensing area can compensate for sensing area of dead node instead.

In this paper, we propose and evaluate a Density Sensing Area (DSA) for cluster head selection to improve the coverage sensing area of network. DSA is a variable which computed by each node whether how dense under its sensing radius is. A node with high DSA is not an important node.

* คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

It has higher probability to be a cluster head than a node with a lower DSA.

Simulation results show that cluster head selection with DSA decreases overall energy consumptions and extends coverage sensing area which can improve quality of service (QoS).

Keyword: Wireless Sensor Network, Sensing Radius, Cluster Head Selection, Density Sensing Area, Quality of Service.

1. บทนำ

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายประกอบไปด้วย เซ็นเซอร์โหนดจำนวนมากที่เก็บข้อมูลโดยรอบของตัวโหนดเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ในการเก็บข้อมูลประเภทนั้นๆ เช่นเครือข่ายที่ใช้ตรวจสอบยานพาหนะ การตรวจวัดความชื้นและอุณหภูมิภายในป่า การตรวจสอบผู้บุกรุกหรือใช้ในทางการแพทย์ เป็นต้น [3-4] แต่ละโหนดจะทำการส่งข้อมูลที่ตรวจสอบได้ส่งไปยังสถานีฐาน (Base Station) เพื่อนำไปใช้งานต่อไป

การแบ่งกลุ่มของโหนดเป็นอีกหนึ่งวิธีการที่ทำให้เครือข่ายใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สมาชิกภายในกลุ่มจะส่งข้อมูลไปให้หัวหน้ากลุ่ม จากนั้นหัวหน้ากลุ่มก็จะส่งต่อข้อมูลที่รวบรวมได้ไปยังสถานีฐาน อย่างไรก็ตาม โพรโทคอล UCR [1] ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหาคอขวดที่เกิดขึ้นกับหัวหน้ากลุ่มที่อยู่ใกล้กับสถานีฐาน หัวหน้ากลุ่มดังกล่าวจะต้องแบกรับภาระหนัก ทั้งในการรับข้อมูลจากโหนดสมาชิกในกลุ่ม และยังต้องส่งต่อข้อมูลของกลุ่มกลับไปยังสถานีฐานต่อไป การทำให้แต่ละกลุ่มภายในเครือข่ายมีขนาดไม่เท่ากัน โดยกลุ่มที่อยู่ใกล้สถานีฐานจะมีขนาดของกลุ่มที่เล็กเพื่อลดภาระของหัวหน้ากลุ่มในด้านของการสื่อสารภายในกลุ่ม (Intra-Cluster Communication) เพื่อที่จะมีพลังงานเหลือไว้รับภาระในส่วนของการสื่อสารระหว่างหัวหน้ากลุ่มไปยังสถานีฐาน (Inter-Cluster Communication) ที่อยู่ไกลออกไป

คุณภาพการบริการในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายคือการควบคุมกระบวนการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องของระบบเพื่อให้บริการที่มีคุณภาพ เช่น มีการรับประกันเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูล การสูญหายของข้อมูล ความถูกต้องของข้อมูล มีงานวิจัย เช่น [5-7] ได้กล่าวว่าการครอบคลุมของพื้นที่การตรวจจับเป็นตัวชี้วัดถึงคุณภาพการบริการเช่นกัน

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวคิดเพื่อแก้ไขปัญหาที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้และเพิ่มคุณภาพการบริการโดยรวมให้ดีขึ้น โดยปรับปรุงในส่วนของการเลือกหัวหน้ากลุ่ม พื้นที่ครอบคลุมมีอยู่ 2 ส่วนหลักคือ พื้นที่ในการติดต่อสื่อสาร (Communication Area) และพื้นที่การตรวจจับ (Sensing Area) [5] ซึ่งผู้วิจัยได้นำพื้นที่การตรวจจับมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของแนวคิดที่นำเสนอ ตัวชี้วัดที่ได้คิดขึ้นคือ ความหนาแน่นภายในพื้นที่การตรวจจับ (Density Sensing Area) ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกหัวหน้ากลุ่มแทนการเลือกจากพลังงานคงเหลือ โหนดที่มีความหนาแน่นในพื้นที่การตรวจจับสูงจะมีโหนดรอบข้างช่วยทดแทนพื้นที่การตรวจจับของตัวเองได้ ทำให้สามารถรับภาระหนักมากกว่าโหนดที่ไม่มีใครสามารถทดแทนพื้นที่ที่เสียไปได้เลย ส่งผลให้สามารถยืดระยะเวลาการครอบคลุมของพื้นที่การตรวจจับ (Coverage Sensing Area) ได้และสามารถทำให้ข้อมูลที่สถานีฐานได้รับมีการกระจายทั่วถึงมากกว่าการใช้พลังงานที่เหลืออยู่เป็นเกณฑ์ในการเลือกหัวหน้ากลุ่ม

ในหัวข้อต่อไปของงานวิจัยประกอบไปด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้ ส่วนที่ 2 อธิบายถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการศึกษาและนำมาพัฒนาต่อ ส่วนที่ 3 จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงานและสิ่งที่นำเสนอใหม่ในงานวิจัย โดยผลการทดลองและการวิเคราะห์ของสิ่งที่นำเสนอจะอยู่ในส่วนที่ 4 และในส่วนสุดท้ายจะกล่าวถึงข้อสรุปของงานวิจัยนี้

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โพรโทคอล LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) [8] เป็นโพรโทคอลในการติดต่อสื่อสารที่มีลักษณะการกระจาย (Distributed) และการส่งผ่านครั้งเดียว (Single Hop) มีกระบวนการทั้งหมด 2 ส่วนหลัก คือ กระบวนการเลือกหัวหน้ากลุ่ม และกระบวนการส่งข้อมูลวิธีการเลือกหัวหน้ากลุ่มของ LEACH ในแต่ละโหนดจะมีความน่าจะเป็นที่จะได้เป็นหัวหน้ากลุ่มด้วยโอกาสเท่าๆ กัน ซึ่งทำให้มีการกระจายภาระให้แต่ละโหนดอย่างสมดุลกัน อย่างไรก็ตามการที่ LEACH ใช้การติดต่อสื่อสารระหว่างหัวหน้ากลุ่มไปยังสถานีฐานแบบ Single Hop นั้นเป็นการทำให้แต่ละโหนดใช้พลังงานอย่างไม่มีประสิทธิภาพ เพราะหัวหน้ากลุ่มที่อยู่ไกลจากสถานีฐานจะใช้พลังงานสูง

กว่าโหนดที่อยู่ใกล้เป็นจำนวนมาก

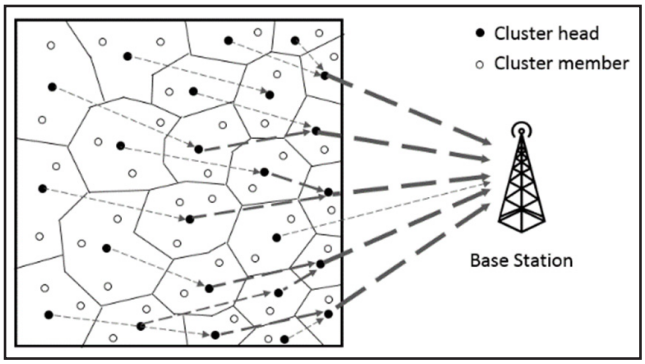
โพรโทคอล Distributed Self-Organization for Wireless Sensor Networks (DSBCA) [9] เป็นโพรโทคอลในการติดต่อสื่อสารที่มีการกำหนดขนาดของกลุ่ม (Cluster Size) โดยใช้ระยะห่างระหว่างโหนดกับสถานีฐานและความหนาแน่นโดยรอบเป็นตัวกำหนด กลุ่มที่มีความหนาแน่นของโหนด (Density) เท่ากันและมีระยะทางห่างจากสถานีฐานมากกว่าจะมีขนาดของกลุ่มที่ใหญ่กว่า ในขณะที่กลุ่มที่มีระยะทางห่างจากสถานีเท่ากัน กลุ่มของโหนดที่มีความหนาแน่นของโหนดมากกว่า จะมีขนาดของกลุ่มที่เล็กกว่า

โพรโทคอล UCR (An Unequal Cluster-based Routing Protocol) [1] เป็นโพรโทคอลในการติดต่อสื่อสารระหว่างหัวหน้ากลุ่มแบบ Multi-hop และมีการกำหนดให้แต่ละกลุ่มของโหนดมีขนาดไม่เท่ากัน กลุ่มที่อยู่ใกล้สถานีฐานจะมีขนาดที่เล็กกว่ากลุ่มที่อยู่ไกล เพื่อให้หัวหน้ากลุ่มที่อยู่ใกล้สถานีฐานลดภาระการติดต่อสื่อสารภายในกลุ่ม (Intra Communication) เพราะต้องรับภาระหนักจากการส่งต่อ (Forward) ข้อมูลของหัวหน้ากลุ่มที่อยู่ไกลออกไป ส่งผลให้เกิดความสมดุลในการใช้พลังงานระหว่างหัวหน้ากลุ่มภายในเครือข่าย

การทำงานของโพรโทคอล UCR จะถูกแบ่งการทำงานออกเป็นรอบเหมือน LEACH โดยที่แต่ละรอบจะแต่งตั้งหัวหน้ากลุ่มไม่เหมือนกัน เริ่มจากเครือข่ายจะสุ่มเลือกโหนดเพื่อเป็นหัวหน้ากลุ่มชั่วคราว (Tentative Cluster Head) ด้วยความน่าจะเป็น T ซึ่งกำหนดไว้ล่วงหน้าแล้วเพื่อไปแข่งขันเป็นหัวหน้ากลุ่มต่อไป

หลังจากนั้นแต่ละหัวหน้ากลุ่มชั่วคราวจะทำการคำนวณหารัศมีการแข่งขัน (Competition Range) จากสมการที่ (1)

$$R_i = \left(1 - c\frac{d_{\max} - d(s_i, BS)}{d_{\max} - d_{\min}}\right) R_0 \qquad (1)$$



ภาพที่ 1 *ภาพรวมโพรโทคอล UCR*

โดยที่ d_{max} และ d_{min} คือระยะทางระหว่างโหนดที่ใกล้ที่สุดและไกลที่สุดกับสถานีฐานตามลำดับ R_0 คือ รัศมีการแข่งขันที่เป็นไปได้มากที่สุดซึ่งต้องกำหนดค่าไว้ล่วงหน้า และอีกตัวแปรที่สำคัญในการคำนวณก็คือ ระยะห่างระหว่างโหนดนั้นๆ กับสถานีฐาน $d(s_i, BS)$ หากมีระยะที่ห่างกันมากจะทำให้ขนาดของรัศมีการแข่งขันมีขนาดใหญ่ขึ้นมากเท่านั้น เป็นผลทำให้เกิดกลุ่มของโหนดที่ขนาดไม่เท่าภายในเครือข่าย

โดยในแต่ละรัศมีการแข่งขันจะมีหัวหน้ากลุ่ม (Cluster Head) ได้เพียงโหนดเดียวเท่านั้น จากนั้นแต่ละหัวหน้ากลุ่มชั่วคราว จะนำโหนดที่อยู่ภายในรัศมีของ R_i มาเก็บไว้ในเซ็ตของตัวเองซึ่งหลังจากนี้ แต่ละหัวหน้ากลุ่มชั่วคราวจะต้องแข่งขันโดยการเปรียบเทียบพลังงานที่เหลืออยู่ (Residual Energy) กับทุกโหนดภายในเซ็ต หากโหนดนั้นๆ มีค่าพลังงานที่เหลืออยู่มากกว่าทุกโหนดในเซ็ต ก็จะได้เป็นหัวหน้ากลุ่มในรอบนั้นๆ หลังจากนั้นก็จะเริ่มสู่กระบวนการติดต่อสื่อสารภายในกลุ่ม (Intra-Cluster Communication) ซึ่งมีขั้นตอนเหมือนกับโพรโทคอล LEACH [8]

ในส่วนของการติดต่อสื่อสารระหว่างหัวหน้ากลุ่ม (Inter-Cluster Communication) เพื่อส่งต่อข้อมูลไปยังสถานีฐาน ดังภาพที่ 1 หัวหน้ากลุ่มแต่ละตัวจะเลือกโหนดถัดไป (Next Hop) ที่มีระยะห่างกับสถานีฐานโดยรวมที่สั้นที่สุด (Greedy Forwarding Algorithm) ซึ่งจะช่วยลดค่าพลังงานที่ใช้ได้มากกว่าแบบ Single Hop

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะศึกษาหากระบวนการในการเลือกหัวหน้ากลุ่มเพื่อตอบโจทย์ของปัญหาในเรื่องพื้นที่ครอบคลุมและการให้ภาระงานแก่หัวหน้ากลุ่มอย่างมีประสิทธิภาพดังที่กล่าวไว้ในบทก่อนหน้านี้

3. แนวคิดและการดำเนินงาน

3.1 โมเดลจำลองการใช้พลังงาน (Energy Model)

โมเดลจำลองการใช้พลังงานมีอยู่ 2 โมเดลหลักคือ free space model (d^2 power loss) และ two-ray ground propagation model (d^4 power loss) [10] พลังงานที่ใช้ในการส่งแพ็คเก็ตจำนวน l bit จากเครื่องส่งสัญญาณ (Transmitter) ไปยังตัวรับสัญญาณ (Receiver) ด้วยระยะทาง d จากสมการที่ (2)

$$E_{Tx}(l,d) = lE_{elec} + l\varepsilon d^{\alpha} \begin{cases} lE_{elec} + l\varepsilon_{mp} d^4, d > d_0 \\ lE_{elec} + l\varepsilon_{fs} d^2, d < d_0 \end{cases} \qquad (2)$$

E_{elec} ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น การทำ digital coding และ modulation ในขณะที่ $\varepsilon_{fs} d^2$ และ $\varepsilon_{mp} d^4$ ขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างเครื่องส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณ ในการคำนวณพลังงานที่ใช้ในการรับข้อมูลสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$E_{Rx}(l) = lE_{elec} \quad (3)$$

3.2 ความหนาแน่นในพื้นที่การตรวจจับ (Density Sensing Area: DSA)

ผู้วิจัยนำเสนอตัวชี้วัดที่เรียกว่า DSA เป็นค่าตัวเลขที่บอกถึงปริมาณของโหนดที่มีชีวิตอยู่และอยู่ภายในรัศมีการตรวจจับ (Sensing Area) ของตัวเอง โหนดใดที่มีค่า DSA น้อย แสดงว่าโหนดนั้นมีความสำคัญมาก กล่าวคือหากโหนดดังกล่าวหมดพลังงานไปจะมีจำนวนโหนดรอบข้างซึ่งสามารถทดแทนพื้นที่การตรวจจับที่เสียไปน้อยลงตามไปด้วย หากโหนดใดมีค่า DSA สูง แสดงว่าถ้าโหนดนั้นๆ หมดพลังงานไป ก็ยังมีโหนดรอบข้างที่ยังมีพื้นที่การตรวจจับทดแทนพื้นที่ที่เสียไปได้ และหากโหนดใดมีค่า DSA เท่ากับศูนย์ แสดงว่าหากโหนดนั้นๆ หมดพลังงานไป ก็จะไม่มีโหนดรอบข้างใดๆ เลยที่สามารถทดแทนพื้นที่การตรวจจับที่สูญเสียไปได้

ในการคำนวณหาค่า DSA แต่ละครั้งจะมีการคำนวณเป็นระยะ เนื่องจากค่า DSA ไม่มีการเปลี่ยนแปลงบ่อยค่า DSA จะเปลี่ยนแปลงก็ต่อเมื่อมีโหนดได้หมดพลังงานไปซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่ไม่ได้เกิดขึ้นทุกรอบการทำงาน อีกทั้งหากต้องคำนวณค่า DSA ทุกรอบ จะเป็นการสูญเสียพลังงานมากเกินความจำเป็น

ขั้นตอนเริ่มจากโหนดจะทำการบรอดแคสต์แพ็คเก็ต DSA_REQUEST ออกไปภายในรัศมีการตรวจจับของตัวเอง ซึ่งภายในข้อความจะมี ID ของผู้ส่งแนบไปด้วย (บรรทัด 2-6 ในภาพที่ 2) จากนั้นโหนดที่ได้รับข้อความ DSA_REQUEST ผู้รับจะตรวจสอบว่ามี ID ของผู้ส่งอยู่ใน DSA Table ของตัวเองหรือไม่ หากมีอยู่แล้วก็จะไม่ตอบกลับ แต่หากตรวจสอบแล้วพบว่าไม่มี ID ของผู้ส่งก็จะทำการเพิ่ม ID ของผู้ส่งใส่ลงไปใน DSA Table ของตัวเอง และทำการตอบกลับด้วยแพ็คเก็ต DSA_REPLY ไปยังต้นทาง ซึ่งภายในข้อความจะมี ID ของผู้ตอบอยู่ (บรรทัด 8-14) โหนดใดที่ได้รับข้อความ DSA_REPLY ก็จะทำการเพิ่ม ID ที่แนบมาในข้อความใส่ลงไปใน DSA Table ของตัวเอง (บรรทัด 15-16) อย่างไรก็ตามหากโหนดใดเคยคำนวณค่า DSA แล้วได้ผลลัพธ์เท่ากับ 0 ก็จะไม่ทำการคำนวณอีกในรอบต่อๆ ไป อีกทั้งการคำนวณหาค่า DSA ของทุกโหนดจะเกิดขึ้นในรอบแรกและทุกๆ RoundReDSA รอบ (บรรทัดที่ 1)

ดังตัวอย่างในภาพที่ 3 เมื่อคำนวณค่า DSA เสร็จแล้ว โหนด A, B, C และ D จะมีค่าดังกล่าวเท่ากับ 4, 2, 1 และ 0 ตามลำดับ

3.3 กระบวนการเลือกหัวหน้ากลุ่ม (Cluster Head Selection Process)

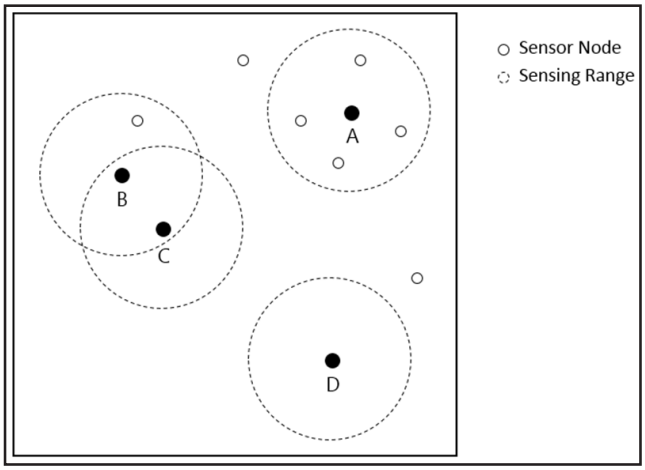
ในแต่ละรอบการทำงานหลังจากที่เครือข่ายจบขั้นตอนการสุ่มเลือกหัวหน้ากลุ่มจำลอง (Tentative Cluster Head) (บรรทัดที่ 1-4 ในภาพที่ 4)

```
DSA Compute algorithm for node S_i
1: if ROUND = 1 OR (Round MODRoundReDSA = 0)
2:     if nodeHasEverComputedDSA AND count(S_i.DSA)
       = 0 then
3:         DO NOTHING
4:     else
5:   broadcast a DSA_REQUEST (Nodes_i.ID)
6:     end if
7: end if
8: on receiving a DSA_REQUEST from node S_j
9:     if S_j ∈ S_i.S_DSA
10: DO NOTHING
11:     else
12: Reply DSA_REPLY (S_i.ID) to node S_j
13: add S_j to S_i.S_DSA
14:     end if
15: on receiving a DSA_REPLY from node S_j
16: add S_j to S_i.S_DSA
```

ภาพที่ 2 *อัลกอริทึมการคำนวณหาค่า DSA*

แต่ละหัวหน้ากลุ่มชั่วคราวจะทำการบรอดแคสต์ข้อความ COMPETE_HEAD_MSG ออกไปภายในรัศมีการแข่งขันซึ่งภายในข้อความประกอบไปด้วยเลขประจำตัวของผู้ส่ง (ID) รัศมีการแข่งขันของผู้ส่ง (Competition Range) ค่าพลังงาน

ที่เหลืออยู่ของผู้ส่ง (RE) และความหนาแน่นในพื้นที่การตรวจจับของผู้ส่ง (DSA) (บรรทัดที่ 5-7) เมื่อหัวหน้ากลุ่มชั่วคราวใดๆ ได้รับข้อความจะทำการบันทึกข้อมูลของผู้ส่งลงในเซ็ตของโหนดที่อยู่ติดกัน (Adjacent Node Set) (บรรทัดที่ 8-11)



ภาพที่ 3 *ตัวอย่างผลลัพธ์หลังจากการคำนวณ DSA*

หลังจากแต่ละหัวหน้ากลุ่มชั่วคราวทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ใช้ในการแข่งขันการเป็นหัวหน้ากลุ่มเสร็จ แต่ละหัวหน้ากลุ่มชั่วคราวจะทำการเปรียบเทียบค่า DSA กับทุกโหนดภายในเซ็ตของตัวเอง หากโหนดดังกล่าวมีค่า DSA มากที่สุดจะสรุปได้ว่า โหนดดังกล่าวชนะการแข่งขันและได้รับการแต่งตั้งเป็นหัวหน้ากลุ่มทันที

กรณีที่โหนดที่ทำการเปรียบเทียบพบว่าค่า DSA มีค่าเท่ากับทุกโหนดภายในเซ็ตจะเปลี่ยนไปดูค่าพลังงานคงเหลือแทนว่าตัวเองสูงกว่าโหนดในเซ็ตหรือไม่ หากสูงกว่าก็จะชนะการแข่งขัน เช่นเดียวกันหากค่าพลังงานคงเหลือทุกโหนดเท่ากัน โหนดที่มี ID น้อยที่สุด จะเป็นผู้ชนะการแข่งขันแทนโหนดใดก็ตามที่ชนะการแข่งขัน จะบรอดแคสต์ FINAL_HEAD_MSG ออกไปในระยะ R_0 เพื่อประกาศให้หัวหน้ากลุ่มชั่วคราวรอบข้างที่มีโหนดผู้ชนะอยู่ในเซ็ตทราบและทำการยอมแพ้ (บรรทัดที่ 12-15) โหนดใดก็ตามที่ได้รับข้อความ FINAL_HEAD_MSG จะยอมแพ้การเลือกตั้งในทันทีและจะทำการประกาศ QUIT_ELECTION_MSG ออกไป (บรรทัดที่ 16-19) ให้โหนดรอบข้างลบโหนดที่ยอมแพ้ออกไปจากเซ็ต (บรรทัดที่ 20-23) ในขั้นตอนหลังจากนี้ทั้งในส่วนของการเข้าร่วมกลุ่ม (Join Cluster Process) และการสื่อสารภายในเครือข่าย (Data Communication Process) จะคงกระบวนการเหมือนกับ UCR

Cluster head competitive algorithm for node s_i

1: $\mu \leftarrow RAND(0, 1)$
2: **if** $\mu < T$ **then**
3: $beTentativeHead \leftarrow TRUE$
4: **end if**
5: **if** $beTentativeHead = TRUE$ **then**
6: broadcast a COMPETE_HEAD_MSG(s_i. ID, R_i, s_i. RE, S_i. DSA)
7: **end if**
8: on receiving a COMPETE_HEAD_MSG from node s_j
9: **if** $d(s_i, s_j) < max(R_i, R_j)$ **then**
10: add $sj$to s_i. S_{CH}
11: **end if**
12: **while** the time slot for CH Competing has not expire **do**
13: **if** $s_i.DSA > s_j.DSA$, $\forall s_j \in s_i.S_{CH}$ **then**
14: broadcast a FINAL_HEAD_MSG($s_i.ID$) and then EXIT
15: **end if**
16: on receiving a FINAL¬_HEAD_MSG from node s_j
17: **if** $s_j \in s_i.S_{CH}$ **then**
18: broadcast a QUIT¬_ELECTION_MSG($s_i.ID$) and then EXIT
19: **end if**
20: on receiving a QUIT_ELECTION_MSG from node s_j
21: **if** $s_j \in s_i.S_{CH}$ **then**
22: remove s_j from s_i. S_{CH}
23: **end if**
24: **end while**

ภาพที่ 4 *อัลกอริทึมการเลือกหัวหน้ากลุ่ม*

4. การทดลองและการประเมินผล

4.1 ข้อตกลงเบื้องต้นในการทดลอง

1. เซ็นเซอร์ถูกโปรยลงบนพื้นที่ด้วยวิธีการสุ่ม

2. เซ็นเซอร์สามารถปรับเพิ่ม-ลดพลังงานในการส่งได้อย่างอิสระ ขึ้นอยู่กับระยะทางที่ต้องการ

3. ความสามารถของเซ็นเซอร์ในการตรวจจับข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบวงกลม (Omni-directional) ด้วยรัศมีเท่ากันทุกโหนด

4. แต่ละเซ็นเซอร์จะมีเลขประจำตัว (ID) เป็นของตัวเอง

5. เซ็นเซอร์ที่มีพลังงานคงเหลือน้อยกว่า 10% ของพลังงานเริ่มต้น ถือว่าโหนดนั้นไม่สามารถทำงานต่อไปได้อีก (Dead Node)

4.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ผู้วิจัยทำการสร้างแบบจำลองเพื่อทดสอบกระบวนการทำงานที่ได้เสนอผ่านโปรแกรม MATLAB เพื่อใช้ในการคำนวณค่าพลังงาน พื้นที่การตรวจจับเปรียบเทียบวิธีการเลือกหัวหน้ากลุ่มของเรากับโพรโทคอล UCR [1] ในการทดลองมีการกำหนดตัวแปรและค่าคงที่ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 *ค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบ*

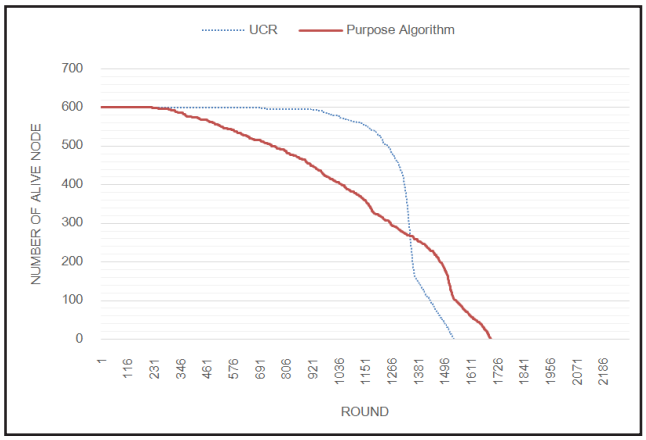
Parameter	Value
Network size	400 x 200 m
Position of Base Station	(500,100) m
Number of sensor nodes	600
Initial node energy	1 J
E_{elec}	50 nJ/bit
ε_{fs}	10 pJ/bit/m^2
ε_{mp}	0.0013 pJ/bit/m^2
d_0	87 m
E_{DA}	5 nJ/bit/signal
Data Packet Size	4096 bits
Overhead Packet Size	128 bits
Radius of sensor node	10 m
Threshold	0.2
R_0	80 m
c	0.3
TD_MAX	200 m
k	2

ค่า Threshold คือความน่าจะเป็นที่โหนดจะได้เป็นหัวหน้ากลุ่มชั่วคราว (Tentative Cluster Head) R_0 คือ รัศมีการแข่งขันที่เป็นไปได้มากที่สุดและ c คือตัวแปรคงที่ซึ่งใช้ในสมการที่ 1 *TD_MAX* เป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงระยะห่างและค่าคงที่ k ซึ่งทั้งสองตัวแปรนี้ถูกใช้ในช่วงกระบวนการติดต่อสื่อสารระหว่างหัวหน้ากลุ่มไปยังสถานีฐาน (Inter-Cluster Communication) นอกจากนี้ในกระบวนการหาค่า DSA ที่ผู้วิจัยนำเสนอ ได้กำหนดจำนวนรอบให้มีการคำนวณในทุกๆ 10 รอบ (*RoundToReComputeDSA* = 10)

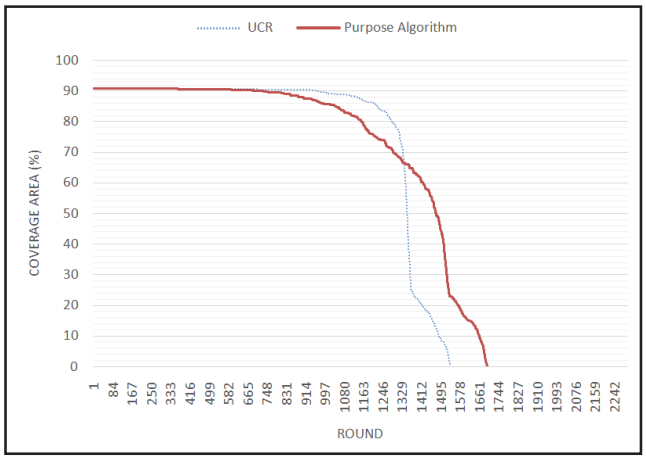
4.3 ผลการทดลอง

4.3.1 ด้านการครอบคลุมของพื้นที่การตรวจจับ (Coverage Sensing Area)

ภายหลังจากการทดลอง สังเกตจากภาพที่ 5 พบว่ากระบวนการเลือกหัวหน้ากลุ่มที่ผู้วิจัยได้นำเสนอทำให้มีโหนดส่วนหนึ่งพลังงานหมดลงไปอย่างรวดเร็วกว่าโพรโทคอล UCR อย่างไรก็ตามโหนดที่หมดพลังงานลงไปก่อนนั้นล้วนแล้วแต่เป็นโหนดที่มีความสำคัญน้อยในด้านพื้นที่ของการตรวจจับ ซึ่งสามารถดูได้จากภาพที่ 6 จะเห็นได้ว่าพื้นที่การตรวจจับลดลงเพียงเล็กน้อย และเมื่อผ่านไประยะเวลาหนึ่ง จะสังเกตได้ว่า พื้นที่การตรวจจับของแนวทางที่นำเสนอมีการครอบคลุมที่สูงกว่า UCR อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งแสดงถึงคุณภาพของการบริการโดยเฉลี่ยที่สูงกว่า ดังตัวอย่างรอบที่ 1387 เห็นได้ว่าโพรโตคอล UCR มีพื้นที่การครอบคลุมอยู่ที่ 20% แต่พื้นที่การครอบคลุมของแนวทางที่นำเสนอยังมีอยู่ถึง 60% หรือกล่าวได้อีกนัยว่า ข้อมูลที่สถานีฐานได้รับมีความครอบคลุม หลากหลาย และมีประสิทธิภาพมากกว่า



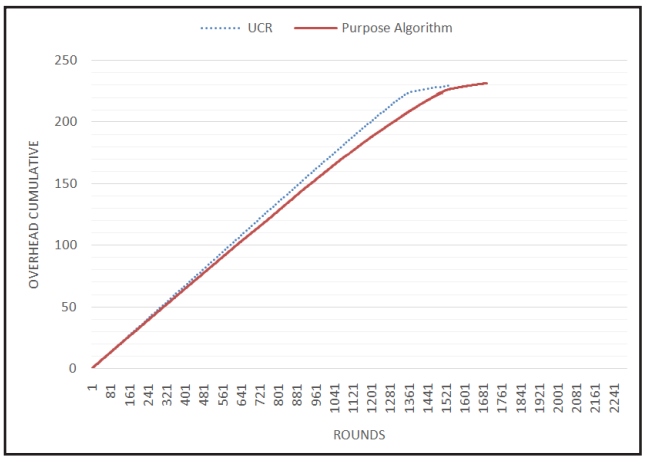
ภาพที่ 5 *จำนวนโหนดที่ยังมีพลังงานในแต่ละรอบ*



ภาพที่ 6 *อัตราส่วนการครอบคลุมของพื้นที่การตรวจจับในแต่ละรอบ*

4.3.2 ด้านค่าพลังงานที่ใช้ควบคุมการทำงาน (Overhead Energy)

ถึงแม้ว่ากระบวนการในการเลือกหัวหน้ากลุ่มที่นำเสนอจะเพิ่มกระบวนการหาค่า DSA ขึ้น แต่ในการทดลองไม่ได้ให้เครือข่ายคำนวณทุกรอบ ทำให้กระบวนการหาค่า DSA ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าพลังงานที่ใช้ควบคุมโดยรวมมากนัก อีกทั้งการที่มีโหนดความสำคัญน้อยพลังงานหมดลงอย่างรวดเร็ว ก็ทำให้สามารถลดค่าพลังงานนี้ภายในเครือข่ายมากขึ้นอีก สังเกตได้จากภาพที่ 7 ในช่วงแรกทั้งสองแบบมีค่าพลังงานที่ใช้ควบคุมการทำงานสะสมเท่าๆ กัน แต่เมื่อผ่านไประยะหนึ่งจะสังเกตได้ว่ากระบวนการที่ผู้วิจัยได้นำเสนอ มีการใช้พลังงานน้อยกว่าในระดับหนึ่ง

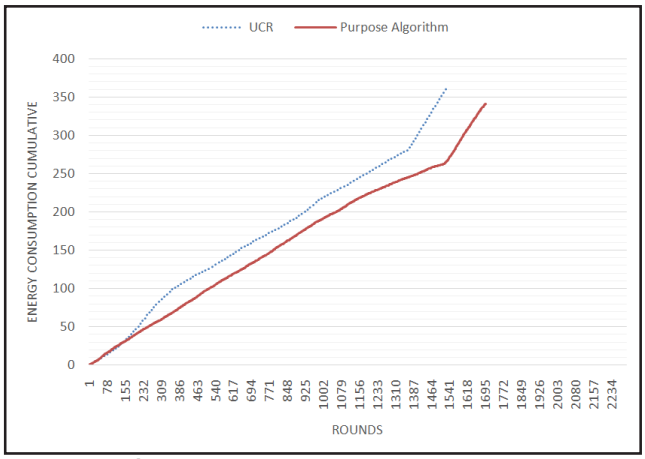


ภาพที่ 7 *พลังงานที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครือข่าย*

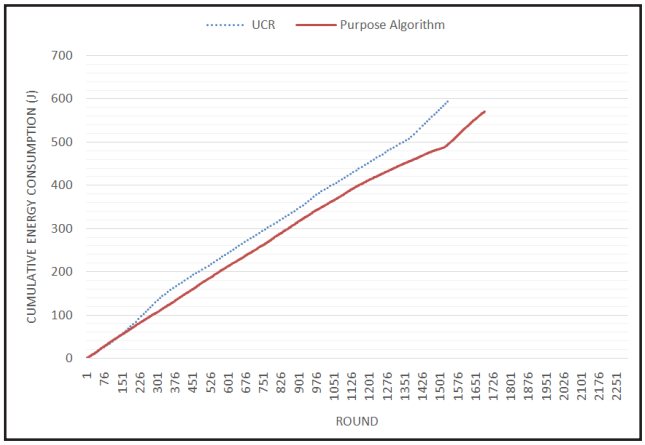
4.3.3 ด้านค่าพลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูลที่ตรวจจับได้ (Sensing Data Communication Energy Consumption)

ข้อมูลที่ตรวจจับได้เกิดจากการที่แต่ละโหนดทำการตรวจสอบสภาพแวดล้อมและเก็บข้อมูลได้ โดยนำข้อมูลนั้นส่งไปให้หัวหน้ากลุ่มรวบรวม และหัวหน้ากลุ่มจะส่งต่อข้อมูลดังกล่าวไปยังปลายทางต่อไป

การที่หัวหน้ากลุ่มส่วนใหญ่จะมีค่า DSA สูง หมายความว่าหัวหน้ากลุ่มจะมีตำแหน่งอยู่ในพื้นที่ที่มีโหนดหนาแน่น ทำให้การติดต่อสื่อสารภายในกลุ่ม (ระหว่างหัวหน้ากลุ่มกับสมาชิก) มีระยะทางโดยเฉลี่ยน้อยกว่าโพรโทคอล UCR ทำให้การบริโภคพลังงานของการติดต่อสื่อสารภายในกลุ่มน้อยตามไปด้วย ส่งผลให้พลังงานที่ถูกใช้ในการส่งข้อมูลโดยรวมของเครือข่ายของกระบวนการที่นำเสนอน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 *พลังงานที่ถูกใช้ไปสะสมของเครือข่าย*



ภาพที่ 9 *พลังงานที่ถูกใช้ไปสะสมของเครือข่าย*

4.3.4 ด้านพลังงานที่ใช้ติดต่อสื่อสารโดยรวม (Overall Energy Consumption for Communication)

จากการสังเกตค่าพลังงานในหัวข้อที่ 4.3.2 และ 4.3.3 ทำให้พลังงานที่ใช้ติดต่อสื่อสารโดยรวมของเครือข่ายสำหรับกระบวนการที่นำเสนอ มีการใช้น้อยกว่าโพรโทคอล UCR ดังรูปที่ 9

5. สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้นำเสนอกระบวนการเลือกหัวหน้ากลุ่มเพื่อใช้กับโพรโทคอลที่มีการแบ่งกลุ่มลักษณะไม่เท่ากัน กระบวนการดังกล่าวเปลี่ยนแปลงเกณฑ์วิธีในการเลือกหัวหน้ากลุ่มโดยดูจากความหนาแน่นภายในรัศมีการตรวจจับโดยรอบ ทำให้ไม่ต้องรักษาพลังงานของโหนดที่มีพื้นที่การตรวจจับทับซ้อนกับโหนดอื่น เนื่องจากหากโหนดดังกล่าวหมดพลังงานลงไปก็ยังมีโหนดอื่นทดแทน และมุ่งเน้นรักษาพลังงานของโหนดที่สำคัญสูงนั่นคือโหนดที่มี

ความหนาแน่นน้อย เพื่อทำให้ข้อมูลที่สถานีฐานได้รับมาจากหลายส่วนของเครือข่าย มิใช่ข้อมูลที่มาจากบริเวณเดียวกันจากสิ่งที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ทำให้กระบวนการนี้ช่วยเพิ่มคุณภาพการบริการ (QoS)

ในอนาคต ผู้วิจัยวางแผนที่จะเพิ่มกระบวนการที่จะทำให้การครอบคลุมของพื้นที่การตรวจจับมีมากและยาวนานขึ้นและลดพลังงานในการติดต่อสื่อสารให้น้อยลงอีก อีกทั้งจะหาแนวคิดและมุมมองในด้านต่าง ๆ ที่ช่วยเพิ่มคุณภาพการบริการของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

[1] G. Chen, C. Li, M. Ye and J. Wu. "An Unequal Cluster-based Routing Protocol in Wireless Sensor Networks." *Wireless Networks*, Vol. 15, Issue 2, pp. 193-207, February 2009.

[2] Nurhayati, S. H. Choi, K. O. Lee and L. W. Rim. "A Weight-Based Unequal Clustering Routing Protocol in Wireless Sensor Network." *In Proceedings of Information and Communication Technology for the Muslim World (ICT4M),* pp. D7-D12, December 2010.

[3] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci. "Wireless Sensor Networks: A survey." *Elsevier Science Computer Network,* Vol. 38, pp. 393-422, 2002.

[4] G. Fan, R. Wang, H. Huang, L. Sun and C. Sha. "Coverage-guaranteed Sensor Node Deployment Strategies for Wireless Sensor Networks." *Sensors,* Vol. 10, pp. 2064-2087, March 2010.

[5] H.R.Karkvandi, EfraimPecht and Yadid-Pecht. "Effective Lifetime-Aware Routing in Wireless Sensor Networks." *IEEE Sensors Journal,* Vol. 11, No. 12, December 2011.

[6] P.J. Wan and C. W. Yi. "Coverage by randomly deployed Wireless Sensor Networks." *IEEE Transactions on Information Theory,* Vol. 52, pp. 2658-2669, 2006.

[7] S. Meguerdichian, F. Koushanfar, M.Potkonjak and M. B. Srivastava. "Coverage problems in Wireless Ad-hoc Sensor Networks." *In Proceedings of 20th Annual Joint Conference IEEE Computer and Communications (INFOCOM 2001),* Anchorage, AK, Vol.3, pp. 1380-1387, April 22-26, 2001.

[8] W.B.Heinzelman. *Application-Specific Protocol Architectures for Wireless Networks.* Ph.D. Thesis of Massachusetts Institute of Technology, May 2000.

[9] Y. Liao, H. Qi and W. Li. "Load-Balanced Clustering Algorithm with Distributed Self-Organization for Wireless Sensor Networks." *IEEE Sensors Journal,* Vol. 13, No. 5, May 2013.

[10] W.B. Heinzelman, A.P. Chandrakasan and H. Balakrishnan. "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks." *IEEE Transaction on Wireless Communications,* Vol. 1, Issue 4, pp.660-670, October 2002.