# ใบรับรองวิทยานิพนธ์

## บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

**ปริญญา**

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ | วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

**สาขา** | **ภาควิชา**

**เรื่อง** กลไกการประสานงานสำหรับการเลือกแอคเตอร์หลายตัวบนเครือข่ายเซ็นเซอร์และแอคเตอร์ไร้สาย

Coordination Mechanism for Multi-Actor Selection in Wireless Sensor and Actor Networks

**นามผู้วิจัย** นายธีระชัย ราชมณี

**ได้พิจารณาเห็นชอบโดย**

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก**

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยพร ใจแก้ว, Ph.D. )

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม**

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิตร์ทัศน์ ฝักเจริญผล, Ph.D. )

**หัวหน้าภาควิชา**

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภุชงค์ อุทโยภาศ, Ph.D. )

**บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว**

( รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr. )

**คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย**

**วันที่** ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

# กลไกการประสานงานสำหรับการเลือกแอคเตอร์หลายตัว บนเครือข่ายเซ็นเซอร์และแอคเตอร์ไร้สาย

# Coordination Mechanism for Multi-Actor Selection in Wireless Sensor and Actor Networks


โดย

นายธีระชัย ราชมณี


เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)
พ.ศ. 2555


ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ธีระชัย ราชมณี 2555: กลไกการประสานงานสำหรับการเลือกแอคเตอร์หลายตัวบนเครือข่ายเซ็นเซอร์และแอคเตอร์ไร้สาย ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยพร ใจแก้ว, Ph.D. 54 หน้า

การเลือกแอคเตอร์เพื่อใช้ในการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมโดยไม่คำนึงถึงเกณฑ์เวลานั้นส่งผลกระทบอย่างมากต่อการใช้พลังงาน การเลือกใช้กลุ่มของแอคเตอร์ที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้สภาพแวดล้อมกลับสู่ปกติได้แต่สิ้นเปลืองพลังงานเกินความจำเป็น และ/หรือไม่สามารถทำให้สภาพแวดล้อมกลับสู่ปกติได้ในเวลาที่กำหนด งานวิจัยนี้ได้นำเสนอกระบวนการเลือกเซ็ตของแอคเตอร์แบบฮิวริสติกเพื่อปรับสภาพแวดล้อมสู่ปกติในเวลาที่กำหนดและใช้พลังงานน้อยที่สุด โดยกำหนดให้ชนิดของแอคเตอร์แทนด้วยเครื่องปรับอากาศและอุปกรณ์เซนเซอร์ไร้สายทำงานเป็นตัวรับรู้อุณหภูมิ ณ จุดที่ต้องการ

จากผลการทดลองพบว่าด้วยวิธีการที่นำเสนอ กลุ่มของแอคเตอร์ที่ถูกเลือกภายใต้เกณฑ์เวลาที่กำหนดนั้นใช้พลังงานน้อยกว่าการควบคุมให้แอคเตอร์ทุกตัวเปิดปิดพร้อมกัน และใช้พลังงานใกล้เคียงกับอัลกอริทึมแบบบรูทฟอร์ซ (Brute-force) โดยใช้เวลาในคำนวณหาผลลัพธ์น้อยกว่าอัลกอริทึมแบบบรูทฟอร์ซมาก

/ /

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Teerachai Rachmanee 2012: Coordination Mechanism for Multi-Actor Selection in Wireless Sensor and Actor Networks. Master of Engineering (Computer Engineering), Major Field: Computer Engineering, Department of Computer Engineering.
Thesis Advisor: Assistant Professor Chaiporn Jaikaeo, Ph.D. 54 pages.

Selecting actors for environmental control without taking time-constraints into consideration can have a great impact on energy consumption. Inappropriate selection of actors, though capable of bringing the environment back to desired conditions, may cause unnecessary amount of energy and/or fail to satisfy the time-constraints. This research presents a heuristic-based actor selection algorithm which aims to minimize overall energy consumption while satisfying the time-constraints. Actors are represented by multiple air conditioners and wireless sensor nodes are employed for temperature probing at desired locations.

The results show that the set of actors selected by the proposed method time constraints consume less energy than when all actors are to be turned on and off altogether, and not much more than the inefficient brute-force method. In addition, the proposed method yields much less processing time compared to the brute-force method.

___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

# กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยพร ใจแก้ว ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิตร์ทัศน์ ฝักเจริญผล รองศาสตราจารย์ ดร. อนันต์ ผลเพิ่ม ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน ค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และกราบขอบพระคุณผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้ความกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิศวกรรมคอมพิวเตอร์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำ

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้ ขอมอบแต่คุณพ่อ คุณแม่ ผู้อบรมและให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง

ธีระชัย ราชมณี

กันยายน 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

# สารบัญ

หน้า


| | |
|---|---|
| สารบัญ | (1) |
| สารบัญตาราง | (2) |
| สารบัญภาพ | (3) |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ | (5) |
| คำนำ | 1 |
| วัตถุประสงค์ | 5 |
| การตรวจเอกสาร | 6 |
| อุปกรณ์และวิธีการ | 9 |
| อุปกรณ์ | 9 |
| วิธีการ | 9 |
| ผลและวิจารณ์ | 29 |
| สรุปและข้อเสนอแนะ | 34 |
| สรุป | 34 |
| ข้อเสนอแนะ | 34 |
| เอกสารและสิ่งอ้างอิง | 35 |
| ภาคผนวก | 37 |
| ภาคผนวก ก สมการคณิตศาสตร์กับกรณีศึกษาสภาพแวดล้อมอุณหภูมิ | 38 |
| ภาคผนวก ข การปรับสมการคณิตศาสตร์ตามสภาพการใช้งาน | 46 |
| ภาคผนวก ค การใช้พลังงานไฟฟ้า | 51 |
| ประวัติการศึกษาและการทำงาน | 54 |


ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | เปรียบเทียบงานวิจัยในการเลือกโหนดแอคเตอร์ | 8 |
| 2 | ค่าส่วนกลับระยะทางระหว่างตำแหน่งของโหนดเซ็นเซอร์และโหนดแอคเตอร์ | 18 |
| 3 | เปรียบเทียบหาเซตแอคเตอร์ภายใต้เกณฑ์เวลาที่กำหนดและใช้พลังงานน้อยที่สุด | 20 |
| 4 | เงื่อนไขการประมวลผลเพื่อเลือกแอคเตอร์ตามประเภทของอัลกอริทึม | 27 |

**ตารางผนวกที่**

| | | |
|---|---|---|
| ข1 | ผลการวัดอุณหภูมิที่ห้องพักอาศัย | 48 |


ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | สถานการณ์การป้องกันไฟป่าแสดงการทำงานระหว่างโหนดแอคเตอร์กับแอคเตอร์ | 2 |
| 2 | อาคารประหยัดพลังงาน | 4 |
| 3 | ระบบบ้านอัจฉริยะ | 4 |
| 4 | รูปแบบการเลือกโหนดแอคเตอร์บนเครือข่ายเซ็นเซอร์และแอคเตอร์ไร้สาย | 6 |
| 5 | กรอบการทำงานของระบบ | 10 |
| 6 | ห้องเรียนคณะรัฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง | 12 |
| 7 | อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (Thermostat) | 13 |
| 8 | ผลกระทบของช่วงเวลาการทำงานของเครื่องปรับอากาศ | 14 |
| 9 | ตัวอย่างสภาพแวดล้อมมีแอคเตอร์จำนวน 12 ตัว และเซ็นเซอร์ 2 ตัว | 18 |
| 10 | (ก) การส่งข้อมูลแลกเปลี่ยนกันระหว่างโหนดเซ็นเซอร์กับโหนดแอคเตอร์ศูนย์กลาง (ข) การส่งข้อมูลแลกเปลี่ยนกันระหว่างโหนดแอคเตอร์ | 25 |
| 11 | (ก) การสุ่มตำแหน่งโหนดแอคเตอร์แบบอิสระ และ (ข) การสุ่มตำแหน่งโหนดเซ็นเซอร์แบบกำหนดพื้นที่ | 26 |
| 12 | เปรียบเทียบพลังงานที่ถูกใช้ไปกับอัลกอริทึมซีมาสโดยสุ่มตำแหน่งโหนดเซ็นเซอร์แบบอิสระ | 30 |
| 13 | เปรียบเทียบพลังงานที่ถูกใช้ไปกับอัลกอริทึมซีมาสโดยสุ่มตำแหน่งโหนดเซ็นเซอร์แบบกำหนดพื้นที่ | 30 |
| 14 | เปรียบเทียบผลต่างของพลังงานที่ถูกใช้ไประหว่างอัลกอริทึมซีมาสและอัลกอริทึมบรูทฟอร์ซของทั้งสองเหตุการณ์ | 31 |
| 15 | เปรียบเทียบจำนวนการส่งข้อมูลโดยใช้อัลกอริทึมซีมาสโดยสุ่มตำแหน่งโหนดเซ็นเซอร์แบบอิสระ | 32 |
| 16 | เปรียบเทียบจำนวนการส่งข้อมูลโดยใช้อัลกอริทึมซีมาสโดยสุ่มตำแหน่งโหนดเซ็นเซอร์แบบกำหนดพื้นที่ | 32 |
| 17 | เปรียบเวลาในการประมวลผลเพื่อเลือกเซตแอคเตอร์ | 33 |


ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

# สารบัญภาพ (ต่อ)

**ภาพผนวกที่** **หน้า**


| | | |
|---|---|---|
| ก1 | ปัจจัยที่มีผลต่อจุดพิจารณา $T_x$ ประกอบด้วยปัจจัยที่ควบคุมได้ ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ระยะห่างโหนดเซ็นเซอร์และแอคเตอร์ และจำนวนโหนดเซ็นเซอร์และโหนดแอคเตอร์ | 40 |
| ก2 | กราฟเส้นแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายใต้อิทธิพลของ ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้และควบคุมได้ | 42 |
| ก3 | ตัวอย่างสภาพแวดล้อมมีแอคเตอร์จำนวน 12 ตัว และเซ็นเซอร์ 2 ตัว | 43 |
| ก4 | ตัวอย่างการพิจารณาเซตคำตอบของสับเซตทั้งหมดของแอคเตอร์ ภายในเวลา 1 ชั่วโมง | 44 |
| ก5 | ตัวอย่างพฤติกรรมอุณหภูมิเซ็นเซอร์มีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา | 45 |
| ข1 | สภาพแวดล้อมภายในห้องพักอาศัย | 47 |
| ข2 | แสดงอุณหภูมิห้องเปรียบเทียบกับสมการทางคณิตศาสตร์ปกติ และการปรับค่าในสมการคณิตศาสตร์ | 50 |


ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

# คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

| | | |
|---|---|---|
| WSANs | = | Wireless Sensor and Actor Networks |
| CMAS | = | Coordination Multi-Actor Selection Algorithm |
| BF | = | Brute-force Algorithm |
| All-Actor | = | All-Actor Algorithm |

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

# กลไกการประสานงานสำหรับการเลือกแอคเตอร์หลายตัวบนเครือข่ายเซ็นเซอร์และแอคเตอร์ไร้สาย

# Coordination Mechanism for Multi-Actor Selection in Wireless Sensor and Actor Networks

## คำนำ

ปัจจุบันเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network: WSN) ได้ถูกนำเอามาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย โดยประยุกต์ใช้กับงานเช่น การทหาร การเฝ้าระวังและสังเกตการณ์ การขนส่งและการจราจร หรืองานทางการแพทย์ ลักษณะเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายนี้ประกอบไปด้วยโหนดเซ็นเซอร์ขนาดเล็กจำนวนมากทำหน้าที่ตรวจจับและสังเกตการณ์ในส่วนที่สนใจ ซึ่งโหนดเซ็นเซอร์เหล่านี้จะเก็บรวบรวมข้อมูลมาวิเคราะห์จากโหนดต้นทางไปยังเครื่องปลายทางทั้งจากในระยะใกล้หรือไกล (Akyildiz, 2002; Martinez and Woo, 2004)

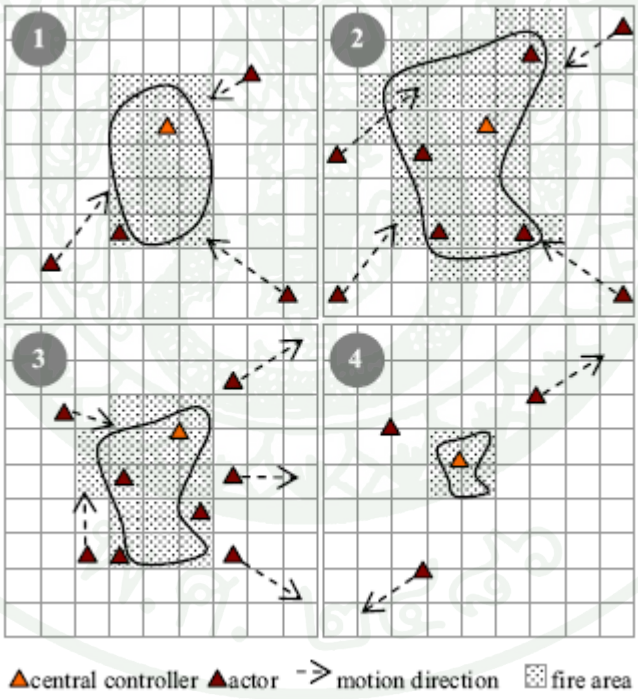
ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอมุมมองของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ทำการส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์เพื่อใช้ในการตอบสนองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นต่อสภาพแวดล้อมเรียกโดยทั่วไปว่าอุปกรณ์แอคเตอร์ (Actor) ตัวอย่าง เช่น สปริงเกอร์ พัดลม เครื่องปรับอากาศ หรือหลอดไฟ เป็นต้น และเรียกเครือข่ายลักษณะนี้ว่า “Wireless Sensor and Actor Networks: WSANs” โดยพื้นฐานแอคเตอร์สามารถรับข้อมูลและแสดงพฤติกรรมเพื่อตอบสนองสภาพแวดล้อมตามชนิดของอุปกรณ์ ซึ่งแอคเตอร์จะสามารถตอบสนองต่อเหตุการณ์เมื่อได้รับข้อมูล โดยปกติแอคเตอร์เองก็สามารถทำการรับข้อมูลและประมวลผลเพื่อใช้ตอบสนองเหตุการณ์ได้ หากแต่เมื่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นมีบริเวณกว้าง โหนดแอคเตอร์มีจำนวนมาก พื้นที่ครอบคลุมการทำงานซึ่งกันและกัน การทำงานในลักษณะเดี่ยวที่ไม่มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันย่อมทำให้เกิดการซ้ำซ้อนของการทำงานโดยไม่เกิดประโยชน์และส่งผลให้เกิดความล่าช้า สิ่งเหล่านี้เป็นเรื่องที่ท้าท้ายมากในงานวิจัยที่เกี่ยวของกับการทำงานร่วมกันระหว่างเซ็นเซอร์และแอคเตอร์ (Estrin, 1999 and Akyildiz *et al*., 2004)

การเลือกโหนดแอคเตอร์ให้มีความเหมาะสมกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นบนสภาพแวดล้อมนั้นเป็นสิ่งที่สำคัญ โหนดเซ็นเซอร์อาจเลือกเพียงแอคเตอร์เพียงตัวเดียวมาทำการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อม ซึ่งในความเป็นจริงแอคเตอร์เพียงตัวเดียวอาจไม่ดีพอที่จะจัดการกับเหตุการณ์ที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เกิดขึ้น หรือแม้กระทั่งเซ็นเซอร์ทำการเลือกโหนดแอคเตอร์หลายตัวเพื่อตอบสนองต่อเหตุการณ์ยังไม่ดีพอ จึงควรต้องมีการวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจเลือกโหนดแอคเตอร์อย่างมีประสิทธิภาพ

การทำงานของแอคเตอร์ถูกจำแนกออกเป็นสองกลุ่มหลักคือ ตอบสนองเมื่อได้รับข้อมูลทันที และการตัดสินใจก่อนการตอบสนองเหตุการณ์ (Yuan *et al*., 2006) ยกตัวอย่างเช่นจากภาพที่ 1(1) เมื่อโหนดแอคเตอร์ได้รับข้อมูลจากโหนดเซ็นเซอร์จะทำการตัดสินใจทันที ขณะเดียวกันนั้นจะทำการกระจายข้อมูลไปยังโหนดแอคเตอร์ข้างเคียง เมื่อโหนดแอคเตอร์ข้างเคียงได้รับข้อมูลจะทำการตัดสินใจว่าจะเข้าร่วมในการตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นหรือไม่ จากภาพที่ 1(2) พบว่าเหตุการณ์ไฟไหม้มีการขยายตัวทำให้โหนดแอคเตอร์ข้างเคียงพิจารณาเข้าร่วมในการตอบสนองเหตุการณ์ และจากภาพที่ 1(3), 1(4) พบว่าเมื่อเหตุการณ์เบาบางลงโหนดแอดเตอร์บางส่วนจะเริ่มหยุดการตอบสนองต่อเหตุการณ์ (Yuan *et al*., 2006)




**ภาพที่ 1** สถานการณ์การป้องกันไฟป่าแสดงการทำงานระหว่างโหนดแอคเตอร์กับแอคเตอร์

**ที่มา**: Yuan *et al.* (2006)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

งานวิจัยที่นำเสนอนี้ได้คำนึงถึงเกณฑ์เวลาในการตอบสนองต่อเหตุการณ์ เพื่อเลือกโหนดแอคเตอร์ที่เหมาะสมในการตอบสนองต่อเหตุการณ์และพลังงานที่สูญเสียไป ซึ่งเราต้องการเลือกแอคเตอร์ให้มีความสอดคล้องกับเวลาที่กำหนดและปริมาณการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า ยกตัวอย่าง เช่น การควบคุมความเข้มแสงจากภาพที่ 2 บ้านอัจฉริยะมีการกำหนดค่าความเข้มแสง เมื่อมีคนอยู่ภายในบ้าน เซ็นเซอร์ต้องทำการส่งข้อมูลไปยังแอคเตอร์ (ม่านและหลอดไฟ) เพื่อทำการปรับความเข้มแสงให้เหมาะสม ปัญหาคือระบบจะสามารถเลือกม่านและหลอดไฟแต่ละตัวให้มีแสงสว่างเหมาะสมได้อย่างไร หากเรามองในแง่ของความรวดเร็วเราอาจจะทำการเปิดหลอดไฟทุกตัวเพื่อให้ได้ความสว่างที่รวดเร็ว หากแต่ถ้าเรามองในแง่มุมของการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพแล้ว เราสามารถทำการเปิดม่านเพื่อรับพลังงานแสงภายนอกมาควบคู่กับการเปิดหลอดไฟเพื่อตอบสนองต่อเหตุการณ์ และดังภาพที่ 3 อาคารประหยัดพลังงานเป็นอาคารที่เน้นในเรื่องการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดโดยพิจารณาอุณหภูมิและความสว่างของแสงภายนอกตัวอาคารเพื่อปรับใช้ให้เหมาะสมกับสภาพและความต้องการของผู้ที่อยู่ภายในอาคาร ดังนั้นการเลือกแอคเตอร์โดยพิจารณาถึงเกณฑ์เวลาในการตอบสนองต่อเหตุการณ์และคำนึงถึงการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่ามากที่สุดเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเลือกโหนดแอคเตอร์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้เน้นไปในแนวทางที่ทำการตัดสินใจก่อนการตอบสนองเหตุการณ์กล่าวคือจะมีโหนดแอคเตอร์ศูนย์กลาง/อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ เพื่อใช้ในการประมวลผลเพื่อเลือกโหนดแอคเตอร์ โดยในแง่การประมวลจะถูกแบ่งออกเป็นสองลักษณะคือ การประมวลผลแบบศูนย์กลางและการประมวลผลแบบกระจายงานไปยังแอคเตอร์ตัวอื่น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**ภาพที่ 2** ระบบบ้านอัจฉริยะ

**ที่มา**: บริษัท ไอ โอเค (ประเทศไทย) จำกัด (2550)

**ภาพที่ 3** ตึกประหยัดพลังงาน

**ที่มา**: บริษัท BECKHOFF (2012)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

# วัตถุประสงค์

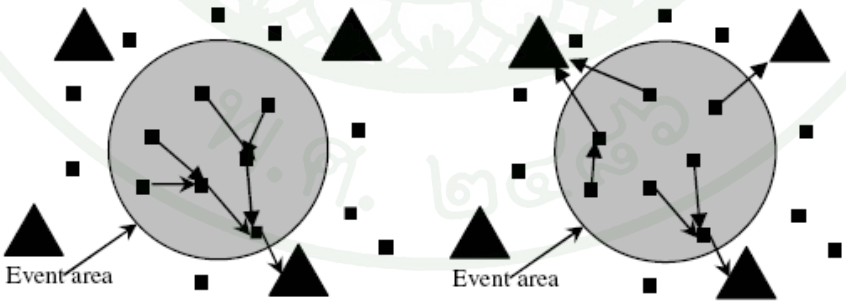
ศึกษาและพัฒนากระบวนการเลือกแอคเตอร์บนเครือข่ายเซ็นเซอร์และแอคเตอร์ไร้สายได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมกับเกณฑ์เวลาที่กำหนด โดยการใช้พลังงานรวมของแอคเตอร์น้อยที่สุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

## การตรวจเอกสาร

ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายนี้โหนดเซ็นเซอร์เป็นส่วนประกอบหนึ่งที่ถูกใช้ในการรับรู้ข้อมูลจากสภาวะแวดล้อม โดยโหนดเซ็นเซอร์แต่ละตัวเมื่อได้รับข้อมูลจะทำการส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางเพื่อประมวลผล ซึ่งโหนดเซ็นเซอร์เหล่านี้ล้วนแล้วแต่มีพลังงานที่จำกัด ในเครือข่ายเซ็นเซอร์และแอคเตอร์ไร้สายได้มีโหนดขนาดเล็กเป็นที่รู้จักกันดีในชื่อแอคเตอร์ โหนดแอคเตอร์นี้จะเป็นส่วนประกอบหนึ่งที่เป็นตัวกระทำต่อสภาวะแวดล้อมโดยจะรับข้อมูลจากการเก็บรวมรวบข้อมูลของโหนดเซ็นเซอร์แล้ววิเคราะห์ข้อมูลเพื่อแสดงพฤติกรรมออกไปยังเหตุการณ์นั้นๆ ประโยชน์ของเครือข่ายเซ็นเซอร์และแอคเตอร์ไร้สายมีมากมายยกตัวอย่างเช่น ทางการทหาร การควบคุมระบบอาคารที่อยู่อาศัย การตรวจสอบธรรมชาติ เป็นต้น (Akyildiz *et al*., 2004)

เราสามารถแบ่งรูปแบบของการเลือกโหนดแอคเตอร์ได้อยู่สองแบบหลักคือ การเลือกแอดเตอร์เดียว (Single-Actor) และการเลือกแอคเตอร์หลายตัว (Multi-Actor) ในกรณีของการเลือกแอคเตอร์เดียว จะทำการส่งข้อมูลจากโหนดเซ็นเซอร์ไปยังโหนดแอคเตอร์เพียงตัวเดียวเท่านั้น ซึ่งแอคเตอร์นั้นจะต้องมีประสิทธิภาพพอที่จะแสดงออกถึงพฤติกรรมต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ทันที และหากแอคเตอร์ตัวนั้นไม่มีประสิทธิภาพพอก็จะทำการประกาศข้อมูลไปยังแอคเตอร์ข้างเคียงเพื่อร่วมกันกระทำต่อเหตุการณ์ หลังจากโหนดแอคเตอร์ข้างเคียงที่ได้รับข้อมูลจะตอบกลับไปยังโหนดแอคเตอร์ตัวที่ประกาศเพื่อตอบสนองเหตุการณ์แทนต่อไป




(ก) (ข)

**ภาพที่ 4** (ก) รูปแบบการเลือกแอคเตอร์เดียว และ (ข) รูปแบบการเลือกแอคเตอร์หลายตัว

**ที่มา**: Xu (2006)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในกรณีที่รูปแบบการเลือกแอคเตอร์หลายตัวนั้น โหนดเซ็นเซอร์จะมีความอิสระต่อการเลือกโหนดแอคเตอร์ โดยเมื่อเกิดเหตุการณ์ โหนดเซ็นเซอร์ที่รับข้อมูลเหตุการณ์นั้นจะทำการส่งข้อมูลไปยังโหนดแอคเตอร์หลายตัวเพื่อแสดงพฤติกรรมต่อสภาวะแวดล้อมให้กลับสู่สภาพปกติ ดังนั้นการทำงานในลักษณะนี้ แอคเตอร์กับแอคเตอร์จำเป็นต้องทำงานร่วมกัน เพราะเมื่อได้รับข้อมูลที่เหมือนๆ กันโหนดแอคเตอร์เหล่านั้นจะต้องหลีกเลี่ยงการทำงานเหมือนๆ กันโดยไม่จำเป็น การเลือกโหนดแอคเตอร์ที่เหมาะสมเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานเป็นอย่างมาก

การทำงานร่วมกันระหว่างโหนดแอคเตอร์ด้วยกันเองเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์และแอคเตอร์ไร้สาย โดยรูปแบบการวิเคราะห์ประมวลผลเพื่อเลือกโหนดแอคเตอร์ในการตอบสนองต่อเหตุการณ์สามารถแบ่งออกได้เป็นสองลักษณะคือ การประมวลผลแบบศูนย์กลาง (Centralized) หรือการประมวลผลแบบกระจาย (Distributed) มีลักษณะการทำงานดังนี้

1. การประมวลแบบศูนย์กลาง คือ ลักษณะการทำงานที่มีการกำหนดให้โหนดแอคเตอร์/อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพเพียงตัวเดียวในการวิเคราะห์เพื่อเลือกโหนดแอคเตอร์ที่สามารถตอบสนองต่อเหตุการณ์ได้เหมาะสมกับการทำงานบนสภาพแวดล้อมนั้นๆ เช่น พิจารณาเลือกโหนดแอคเตอร์จากระดับพลังงานที่เหมาะสมกับปริมาณเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น โดยคำนึงถึงการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (Barbar´an *et al*., 2007)

2. การประมวลแบบกระจาย คือ ลักษณะการทำงานที่มีการกำหนดให้โหนดแอคเตอร์แต่ละตัวสามารถพิจารณาการตอบสนองต่อเหตุการณ์ได้เอง โดยโหนดแอคเตอร์แต่ละตัวสามารถส่งข้อมูลระหว่างโหนดแอคเตอร์กับโหนดแอคเตอร์ เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลการตอบสนองต่อเหตุการณ์ ดังเช่นกรณีที่โหนดแอคเตอร์หลายตัวตอบสนองบนพื้นที่เดียวกัน ทำให้เกิดการซ้ำซ้อนของการทำงาน ซึ่งในความเป็นจริงโหนดแอคเตอร์เพียงไม่กี่ตัวก็สามารถควบคุมกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ การพิจารณาการตอบสนองต่อเหตุการณ์อาจพิจารณาจากพลังงานคงเหลือของโหนดแอคเตอร์ที่มีปริมาณมากก่อนการตอบสนองเพื่อยืดอายุการทำงาน (Melodia *et al*., 2005) หรือแม้กระทั้งการแบ่งตารางเพื่อกำหนดขอบเขตพื้นที่การรับผิดชอบเพื่อไม่ให้เกิดการซ้ำซ้อนของการทำงาน (Yuan *et al*., 2006)

อย่างไรก็ตามการเลือกโหนดแอคเตอร์ทั้งสองลักษณะนี้จะไม่มีประสิทธิภาพ หากข้อมูลที่ได้รับมาจากโหนดเซ็นเซอร์ไม่ถูกต้อง หรือวิธีการประมวลผลเพื่อตอบสนองต่อเหตุการณ์ไม่มีประสิทธิภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากตารางที่ 1 พบว่างานวิจัยที่ผ่านมาได้มีวิธีการเลือกโหนดแอคเตอร์ให้มีความเหมาะสมกับการตอบสนองเหตุการณ์ในเรื่องการใช้พลังงานเป็นหลัก หากแต่การพิจารณาในเรื่องของการใช้พลังงานอย่างเดียวอาจจะยังไม่เหมาะสมกับเวลาในการตอบสนองต่อเหตุการณ์

**ตารางที่ 1** เปรียบเทียบงานวิจัยในการเลือกโหนดแอคเตอร์

| **งานวิจัย** | **ลักษณะที่ปรากฏ** | | |
|---|---|---|---|
| | **เป้าหมายของวิธีการ** | **การทำงาน** | **การเลือก** |
| Barbar´an *et al.* 2007 | พิจารณาการเลือกแอคเตอร์จากระดับพลังงานตาม QoS Component | Centralized | Multi-Actor |
| Melodia *et al.* 2005 | แก้ปัญหาการทับซ้อนของแอคเตอร์โดยพิจารณาจากอายุการใช้งานแอคเตอร์ | Decentralized | Multi-Actor |
| Yuan *et al.* 2006 | แก้ปัญหาการทับซ้อนใช้ตารางเพื่อแบ่งขอบเขตการทำงานของแอคเตอร์ | Decentralized | Multi-Actor |
| Xu *et al.* 2006 | เลือกแอคเตอร์เดียวโดยการคำนึงถึงการใช้พลังงานเซ็นเซอร์ทั้งหมด และความล่าช้าของข้อมูล | Centralized | Single-Actor |
| **งานวิจัยนี้** | **เลือกแอคเตอร์บนเครือข่ายเซ็นเซอร์และแอคเตอร์ไร้สายได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมกับเกณฑ์เวลาที่กำหนด โดยใช้พลังงานน้อยที่สุด** | **Centralized** | **Multi-Actor** |

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

# อุปกรณ์และวิธีการ

## อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพในการคำนวณสูง

    1.1 หน่วยประมวลผล Intel(R), Core(TM) 2 Quad, Q6600, 2.40 GHz

    1.2 หน่วยความจำ 2 GB

2. ระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux)

## วิธีการ

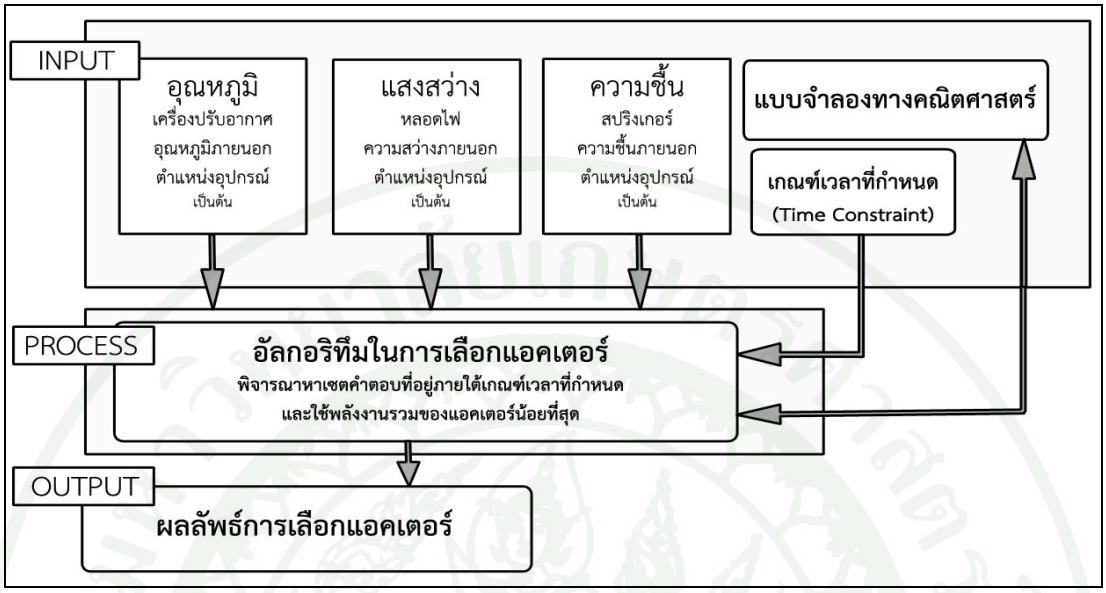
เริ่มต้นจากการวิเคราะห์ปัญหา จำลองรูปแบบปัญหา นำเสนอวิธีการแก้ไข และทดสอบสิ่งที่ได้นำเสนอในตอนท้าย

### 1. นิยามปัญหา

ในสภาพแวดล้อมของเครือข่ายที่มีจำนวนเซ็นเซอร์และแอคเตอร์หลายตัวนั้น เมื่อเกิดสภาพแวดล้อมที่ผิดปกติขึ้น หากไม่มีการพิจารณาถึงการทำงานของแอคเตอร์เพื่อตอบสนองต่อเหตุการณ์ให้เข้าสู่สภาพปกติได้อย่างเหมาะสมแล้ว จะส่งผลโดยตรงกับการใช้พลังงานรวมของทั้งระบบ ยกตัวอย่างเช่น การใช้แอคเตอร์จำนวนน้อยกับพื้นที่ขนาดใหญ่ ลักษณะการทำงานทั่วไปอาจสามารถทำให้สภาพแวดล้อมกลับสู่สภาวะปกติได้ แต่ใช้เวลาในการตอบสนองนาน การใช้พลังงานย่อมมากขึ้นตามไปด้วย หรือแม้กระทั่งการใช้จำนวนแอคเตอร์มากเกินความจำเป็นก็มีผลทำให้เกิดการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลืองได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการเลือกโหนดแอคเตอร์โดยคำนึงถึงเกณฑ์เวลา และการใช้พลังงานรวมของแอคเตอร์น้อยที่สุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยมีกรอบการทำงานดังภาพที่ 5




**ภาพที่ 5** กรอบการทำงานของระบบ

ภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันลักษณะการทำงานของระบบเริ่มต้นจากการรับข้อมูลอินพุทจากสภาพแวดล้อม โดยมีรูปแบบของข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ดังนี้

**ปัจจัยที่ควบคุมได้** หมายถึงการตอบสนองของโหนดแอคเตอร์ที่กระทำต่อโหนดเซ็นเซอร์หรือจุดที่เราพิจารณา ยกตัวอย่างเช่น

1. สภาพแวดล้อมอุณหภูมิ หมายถึงปริมาณความเย็นจากระบบทำความเย็นที่กระทำต่อจุดของเซ็นเซอร์

2. สภาพแวดล้อมแสงสว่าง หมายถึงปริมาณความสว่างจากแหล่งกำเนิดแสงที่กระทำต่อจุดของเซ็นเซอร์

3. สภาพแวดล้อมความชื้น หมายถึงปริมาณอัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำในอากาศกับปริมาตรของอากาศภายในระบบ ณ อุณหภูมิเดียวกัน ที่เซ็นเซอร์ตรวจวัดได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้** หมายถึงสิ่งที่เข้ามากระทำต่อโหนดเซ็นเซอร์หรือจุดที่เราพิจารณา ยกตัวอย่างเช่น

1. สภาพแวดล้อมอุณหภูมิ หมายถึงปริมาณความร้อนจากภายนอกเข้ามาภายใน ซึ่งปกติปริมาณความร้อนสามารถแผ่เข้ามาจากหลายที่ได้แก่ ฝ้า เพดาน ผนัง กระจก ซึ่งเราสามารถพิจารณาเป็นจุดศูนย์กลางของพื้นที่เพื่อพิจารณาตามสมมติฐาน

2. สภาพแวดล้อมแสงสว่าง หมายถึงปริมาณความสว่างภายนอกที่เข้ามาภายในระบบ ยกตัวอย่างเช่น ปริมาณแสงสว่างที่ทะลุผ่านประตู หน้าต่าง ที่เป็นกระจกใส

3. สภาพแวดล้อมความชื้น หมายถึงปริมาณมวลของไอน้ำภายนอกระบบที่ถ่ายเทเข้ามาภายในระบบ

**ระยะห่างโหนดเซ็นเซอร์และแอคเตอร์** หมายถึงระยะทางความห่างระหว่างโหนดเซ็นเซอร์และแอคเตอร์แต่ละตัว ซึ่งระยะทางจะส่งผลต่อแต่ละสภาพแวดล้อมดังนี้

1. สภาพแวดล้อมที่เป็นอุณหภูมิ ส่งผลถึงปริมาณอุณหภูมิและเวลาในการตอบสนองต่อระบบทำความเย็น เช่น โหนดเซ็นเซอร์บริเวณที่อยู่ใกล้เครื่องปรับอากาศจะรับรู้ถึงอุณหภูมิที่ลดต่ำลงได้มากกว่าและรวดเร็วกว่าบริเวณที่โหนดเซ็นเซอร์อยู่บริเวณที่ไกลกว่า

2. สภาพแวดล้อมที่เป็นแสงสว่าง ส่งผลถึงปริมาณแสงสว่าง เช่น โหนดเซ็นเซอร์ที่อยู่บริเวณใกล้กับหลอดไฟจะรับรู้ถึงปริมาณแสงที่ส่องตรงมาได้มากกว่าโหนดเซ็นเซอร์ที่อยู่ไกลกว่า

3. สภาพแวดล้อมที่เป็นความชื้น ส่งผลถึงปริมาณความชื้นและเวลาในการทำให้ความหนาแน่นของไอน้ำลดน้อยลง เช่น โหนดเซ็นเซอร์บริเวณใกล้เครื่องดูดความชื้นจะรับรู้ถึงความชื้นที่ลดลงได้มากกว่าและรวดเร็วกว่าบริเวณที่โหนดเซ็นเซอร์อยู่บริเวณที่ไกลกว่า

**จำนวนโหนดเซ็นเซอร์และโหนดแอคเตอร์** หมายถึงจำนวนโหนดเซ็นเซอร์และโหนดแอคเตอร์ภายในสภาพแวดล้อมเดียวกัน หากมีมากการกระทำต่อสภาพแวดล้อมและการรับรู้ข้อมูลก็มีมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามหากมีจำนวนโหนดเซ็นเซอร์และโหนดแอคเตอร์จำนวนน้อยการรับรู้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อมูลเพื่อบอกให้โหนดแอคเตอร์กระทำต่อสภาพแวดล้อมก็ยิ่งน้อยลง การตอบสนองเพื่อให้สภาพแวดล้อมกลับเข้าสู่สภาพปกติก็ช้าลงตามไปด้วย

ปัจจัยทั้งหมดที่กล่าวมาสามารถกำหนดในรูปแบบสมการคณิตศาสตร์เบื้องต้นเพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ร่วมกับอัลกอริทึมที่นำเสนอ

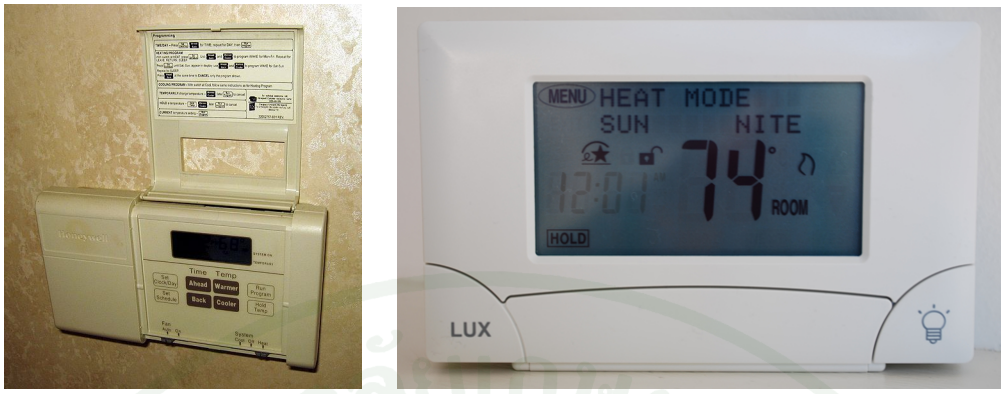
งานวิจัยนี้มีแนวความคิดในการจำลองสภาพแวดล้อมในการทดสอบคล้ายคลึงกับการใช้งานปัจจุบัน ยกตัวอย่างในเรื่องสภาพแวดล้อมที่เป็นอุณหภูมิ ซึ่งมีการใช้งานเครื่องปรับอากาศหลายตัวดังเช่นภาพที่ 6 เป็นห้องเรียนคณะรัฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ซึ่งมีจำนวนเครื่องปรับอากาศ 10 เครื่อง ซึ่งภายในห้องเรียนมีการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติโดยมีกรรมวิธีดังนี้

**ภาพที่ 6** ห้องเรียนคณะรัฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

**กรรมวิธีของการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ**

การควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติประกอบด้วย โหนดแอคเตอร์ (เครื่องปรับอากาศ) ตัวควบคุมและเซ็นเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิพื้นที่ในห้อง ในงานวิจัยนี้จะขอกล่าวถึงระบบควบคุมอุณหภูมิที่อยู่ในสภาวะสมดุลก็ต่อเมื่อเซ็นเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิที่เราพิจารณามีอุณหภูมิสูงหรือต่ำภายใต้อุณหภูมิที่เราต้องการควบคุม ยกตัวอย่างเช่น ลักษณะการทำงานของเครื่องปรับอากาศตามที่พักอาศัยทั่วไป ลักษณะการทำงานของเครื่องปรับอากาศจะมีอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (Thermostat) ดังภาพที่ 7 โดยตัวอุปกรณ์ควบคุมดังกล่าวนี้จะทำหน้าที่รักษาอุณหภูมิให้คงตามอุณหภูมิที่เราต้องการ (Set point)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์




**ภาพที่ 7** อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (Thermostat)

**ที่มา**: Dennis (2009)

เมื่อเรากำหนดอุณหภูมิโดยตั้งไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิดังกล่าวนี้จะทำการรักษาระดับให้มีค่า +/- 1 ถึง 2 องศาเซลเซียส ซึ่งก็แล้วแต่อุปกรณ์แต่ละชนิดว่าต้องการให้คงสถานะอุณหภูมิอยู่ที่เท่าไร ซึ่งสิ่งเหล่านี้มีผลต่อการทำงานและการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ ยกตัวอย่างเช่น ผลกระทบในช่วงเวลาการทำงานของเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง จากภาพที่ 8 เมื่อเราทำการกำหนดให้มีค่า +/- 0.25 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาการทำงานของเครื่องปรับอากาศ (Cycle time) จะมีค่ามากกว่าการกำหนดค่า +/- 1 องศาเซลเซียส ผลลัพธ์ที่เห็นได้ชัดคือ การใช้พลังงานเพื่อให้อุณหภูมิรักษาสมดุลนั้นใช้เวลามากกว่าการกำหนดช่วงเวลาการทำงานของเครื่องปรับอากาศให้มีรอบการทำงานน้อย แต่สิ่งที่ตามมาของการกำหนดช่วงเวลาการทำงานน้อยนั้นจะทำให้ใช้เวลานานกว่าจะเข้าถึงอุณหภูมิที่เราต้องการ (Set point)

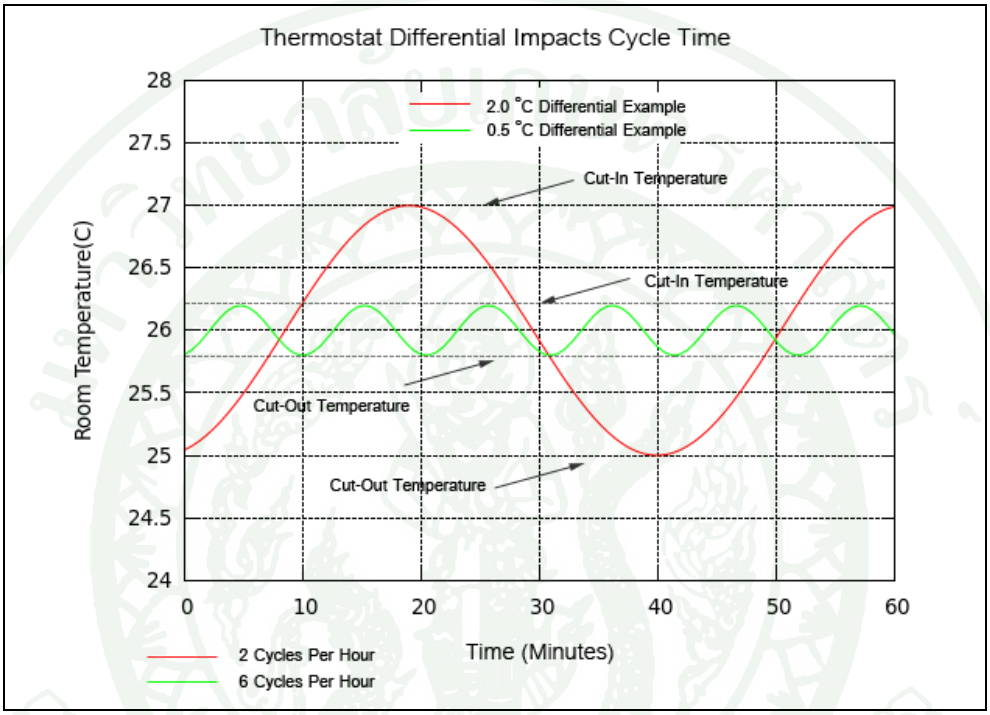
งานวิจัยที่นำเสนอกล่าวถึงเกณฑ์เวลา (Time constraint) โดยเกณฑ์เวลาที่กำหนดนี้หมายถึงช่วงเวลาที่ระบบเข้าถึงอุณหภูมิที่เราต้องการ ซึ่งมีความสอดคล้องกันกับรอบการทำงานของเครื่องปรับอากาศ (Cycle time) ดังนี้

1. การกำหนดเกณฑ์เวลาน้อยจะส่งผลให้ระบบอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ต้องการเร็ว ทำให้รอบการทำงานของเครื่องปรับอากาศเพิ่มมากกว่าการกำหนดเกณฑ์เวลามาก

2. การกำหนดเกณฑ์เวลามากจะส่งผลให้ระบบอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ต้องการช้า ทำให้รอบการทำงานของเครื่องปรับอากาศน้อยกว่าการกำหนดเกณฑ์เวลาน้อย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดังนั้นเราสามารถกล่าวได้ว่าการกำหนดเกณฑ์เวลามีผลต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศ และส่งผลกระทบโดยตรงกับการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งยังมี ปัจจัยที่ควบคุมได้ ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ระยะห่างโหนดเซ็นเซอร์และแอคเตอร์ และจำนวนโหนดเซ็นเซอร์และโหนดแอคเตอร์ มีผลกระทบต่อเกณฑ์เวลาและการใช้พลังงานด้วย




**ภาพที่ 8** ผลกระทบของช่วงเวลาการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

**ที่มา**: บริษัท Refrigeration Service Engineers Society (2009)

หัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงแบบจำลองสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีความสัมพันธ์กับเวลาการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมอุณหภูมิ แสงสว่าง ความชื้น ซึ่งเราสามารถนำเอาสมการเชิงอนุพันธ์มาใช้หาค่าตัวแปรที่เราสนใจได้ ทั้งหมดนี้เป็นสมมติฐานลักษณะการทำงานเพื่อให้สอดคล้องกับระบบสภาพแวดล้อมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ต่อไปจะเป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลตามแบบจำลองตามเหตุการณ์ต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**2. แบบจำลองปัญหาในรูปแบบคณิตศาสตร์**

ปัจจัยทั้งหมดสามารถพิจารณาในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีความสัมพันธ์กับเวลา การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมอุณหภูมิ แสงสว่าง ความชื้น โดยสมการทางคณิตศาสตร์มีตัวแปรที่แสดงถึงความสัมพันธ์กันดังนี้

1. ตัวแปร i แทนด้วย ปัจจัยที่ควบคุมได้
2. ตัวแปร j แทนด้วย ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้
3. ตัวแปร x แทนด้วย โหนดเซ็นเซอร์ที่พิจารณา
4. ตัวแปร q แทนด้วย จำนวนปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้
5. ตัวแปร n แทนด้วย จำนวนปัจจัยที่ควบคุมได้
6. ตัวแปร m แทนด้วย จำนวนเซ็นเซอร์
7. $T_i$ แทนค่าของสภาพแวดล้อม ณ ตำแหน่งที่ควบคุมได้ โดย $1 \le i \le n$
8. $T_j$ แทนค่าของสภาพแวดล้อม ณ ตำแหน่งที่ควบคุมไม่ได้ โดย $1 \le j \le q$
9. $T_x$ แทนค่าของสภาพแวดล้อม ณ เซนเซอร์ที่พิจารณา $1 \le x \le m$
10. $C_{(i,x)}$,$C_{(j,x)}$ แทนค่าส่วนกลับของระยะห่างระหว่างโหนดเซ็นเซอร์กับปัจจัยที่ควบคุมได้/ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้

จากปัจจัยทั้งหมดสามารถนำเอาสมการเชิงอนุพันธ์มาใช้หาค่าตัวแปรที่เราสนใจกับแบบจำลองที่ยกตัวอย่างขึ้น โดยแบบจำลองเป็นแบบจำลองอย่างง่ายเพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาเท่านั้น ไม่ได้มีจุดประสงค์ในเรื่องความแม่นยำ ในที่นี้เราต้องการทราบการเปลี่ยนแปลงของโหนด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เซ็นเซอร์ที่พิจารณา ($T_x$) เทียบกับเวลา ซึ่งจะเท่ากับค่าคงที่ $C_{(i,x)}$,$C_{(j,x)}$ คูณกับผลต่างระหว่างปัจจัยที่ควบคุมได้/ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้กระทำกับจุดที่พิจารณาสามารถเขียนตัวอย่างสมการดังนี้

$$\frac{d}{dt}T_x = \sum_{i=1}^{n} C_{(i,x)} \cdot (T_i - T_x) + \sum_{j=1}^{q} C_{(j,x)} \cdot (T_j - T_x)$$

งานวิจัยนี้นำเสนอสมการคณิตศาสตร์กับกรณีศึกษาของอุณหภูมิตาม ภาคผนวก ก ที่ยกตัวอย่างลักษณะการทำงานและความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปร

จากสมการคณิตศาสตร์เบื้องต้นเราสามารถทำการหาค่าเวลาของแต่ละเซตแอคเตอร์คำตอบจากนั้นหาค่าพลังงานน้อยที่สุดจากจำนวนเซตแอคเตอร์ที่ถูกเลือกใช้งานตามสภาพแวดล้อม การพิจารณาคำตอบเพื่อทำการเลือกเซตของแอคเตอร์นั้นเราสามารถเขียนปัญหาออฟติไมเซชั่นได้ดังนี้

กำหนดให้

A คือ เซตของแอคเตอร์ แทนด้วย A = {$a_1$, $a_2$, $a_3$,..,$a_n$}

S คือ เซตของเซ็นเซอร์ แทนด้วย S = {$s_1$, $s_2$, $s_3$,...,$s_m$}

x คือ ค่าสภาพแวดล้อมตั้งต้น

y คือ ค่าสภาพแวดล้อมเป้าหมาย

Power($a$) คือ ฟังก์ชั่นหาค่ากำลังไฟฟ้า ฟังชั่นนี้รับค่าของแอคเตอร์ ($a$)

time_to_change($A'$, $s$, $x$, $y$) คือ ฟังก์ชั่นพิจารณาหาค่าเวลาที่แอคเตอร์ทำงานจากสภาพแวดล้อมตั้งต้นไปจนถึงถึงสภาพแวดล้อมเป้าหมาย ฟังชั่นนี้รับเซตของแอคเตอร์ ($A'$) ค่าสภาพแวดล้อมตั้งต้น ($x$) ค่าเซ็นเซอร์ ($s$) และค่าสภาพแวดล้อมเป้าหมาย ($y$)

$$Find : A' \subseteq A$$

$$Minimize :$$

$$\sum_{a \in A'} Power(a)$$

$$Subject\ to :$$

$$time_to_change(A', s, x, y) \leq TIME_CONSTRAINT, \forall s \subseteq S$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากปัญหาออฟติไมเซชั่นนี้พบว่าการพิจารณาคำตอบของการเลือกใช้แอคเตอร์ในแต่ละช่วงเวลานั้นใช้เวลาในการคำนวณนาน เนื่องจากต้องทำการพิจารณาเซตคำตอบของสับเซตทั้งหมดของแอคเตอร์ในทุกครั้ง ดังนั้นเมื่อ n แทนด้วยจำนวนแอคเตอร์ ส่งผลทำให้เมื่อมีจำนวณแอคเตอร์เพิ่มมากขึ้นจำนวนในการพิจารณาหาคำตอบในการเลือกแอคเตอร์ก็เพิ่มมากขึ้นในลักษณะเอ็กโปเนียนเชียล ดังนั้นเราจึงใช้วิธีการค้นหาคำตอบในลักษณะฮิวริสติกแบบกรีดี (Greedy) โดยนำเสนออัลกอริทึมซีมาสดังต่อไปนี้

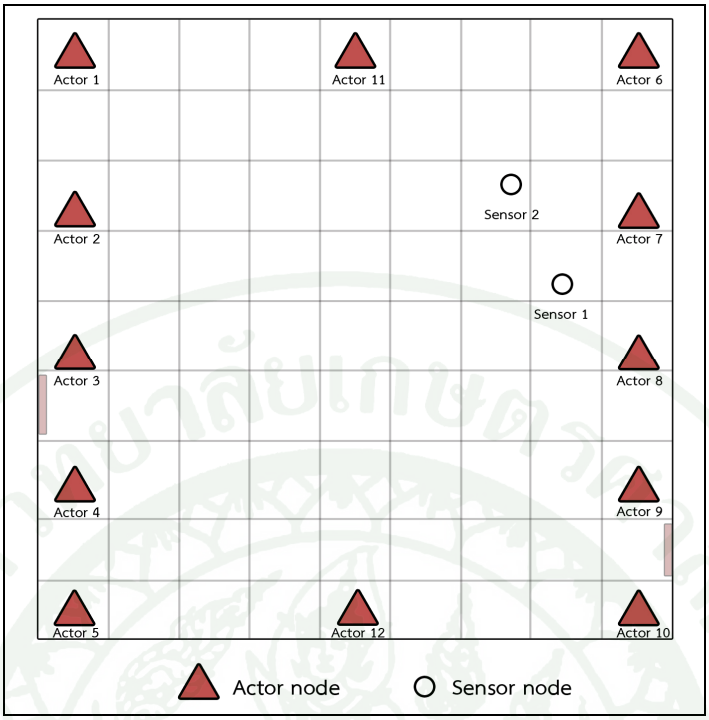
### 3. อัลกอริทึมซีมาส (Coordination Multi-Actor Selection Algorithm: CMAS Algorithm)

สภาพแวดล้อมที่มีจำนวนโหนดแอคเตอร์มีจำนวนมาก และการพิจารณาวิเคราะห์เพื่อเลือกแอคเตอร์ให้สภาพแวดล้อมอยู่ในความต้องการอยู่ตลอดเวลา ทำให้การคำนวณเพื่อเลือกแอคเตอร์ให้เหมาะสมภายใต้เกณฑ์เวลาที่กำหนดและใช้พลังงานรวมของแอคเตอร์น้อยที่สุดนั้นใช้เวลานาน

วิธีการค้นหาคำตอบในลักษณะฮิวริสติกแบบกรีดี (Greedy) นั้นพิจารณาจากหลักการพื้นฐานทางคณิตศาตร์และอิทธิพลต่อการตอบสนองกับสิ่งที่พิจารณาอย่างเช่น การถูกกระทำของเซ็นเซอร์ที่อยู่ใกล้แอคเตอร์ย่อมได้รับการตอบสนองเร็วกว่ากลุ่มแอคเตอร์ที่อยู่ไกล

ตัวอย่างสภาพแวดล้อมตามภาพที่ 9 มีจำนวนแอคเตอร์ 12 ตัว จำนวนเซ็นเซอร์ 2 ตัว สามารถกล่าวได้เบื้องต้นว่า Actor 6 Actor 7 Actor 8 Actor 9 และ Actor 11 มีอิทธิผลในการตอบสนองได้ดีกว่าแอคเตอร์ที่เหลือ ซึ่งสอดคล้องกับค่า $C_{(i,x)}$ ตามตารางที่ 2 ที่ทำการพิจารณาส่วนกลับระยะทางระหว่างตำแหน่งของโหนดเซ็นเซอร์และโหนดแอคเตอร์ ซึ่งพบว่า Actor 6 Actor 7 Actor 8 Actor 9 และ Actor 11 มีค่า $C_{(i,x)}$ ที่สูงมากกว่าแอคเตอร์ที่เหลือ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์




**ภาพที่ 9** ตัวอย่างสภาพแวดล้อมมีแอคเตอร์จำนวน 12 ตัว และเซ็นเซอร์ 2 ตัว

**ตารางที่ 2** ค่าส่วนกลับระยะทางระหว่างตำแหน่งของโหนดเซ็นเซอร์และโหนดแอคเตอร์

| **Actors** | **Sensor 1 ($C_{(i,1)}$)** | **Actors** | **Sensor 2 ($C_{(i,2)}$)** |
|---|---|---|---|
| Actor 8 | 0.928476691 | Actor 7 | 0.980581 |
| Actor 7 | 0.928476691 | Actor 6 | 0.50262 |
| Actor 6 | 0.339297053 | Actor 8 | 0.413803 |
| Actor 9 | 0.3304093 | Actor 11 | 0.32954 |
| Actor 11 | 0.234814254 | Actor 9 | 0.231621 |
| Actor 10 | 0.199363056 | Actor 2 | 0.172311 |
| Actor 12 | 0.169980538 | Actor 1 | 0.165299 |
| Actor 3 | 0.15437688 | Actor 3 | 0.161206 |
| Actor 2 | 0.15437688 | Actor 10 | 0.159232 |
| Actor 1 | 0.14215334 | Actor 12 | 0.149587 |
| Actor 4 | 0.141477959 | Actor 4 | 0.139645 |
| Actor 5 | 0.123128808 | Actor 5 | 0.117786 |

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากตารางที่ 2 พบว่าเมื่อตำแหน่งของเซ็นเซอร์ใกล้กับแอคเตอร์มากเท่าไรค่า $C_{(i,x)}$ ก็ยิ่งมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นเมื่อเรียงลำดับจากค่า $C_{(i,x)}$ มากไปหาน้อย เราจะได้ลำดับความสำคัญของค่าการกระทำระหว่างเซ็นเซอร์กับแอคเตอร์ด้วยเช่นกัน และเมื่อจัดกลุ่มเรียงตามความสำคัญของค่า $C_{(i,x)}$ การเรียงและจัดกลุ่มแอคเตอร์ตามค่า $C_{(i,x)}$ ย่อมมีอิทธิผลต่อการกระทำกับเซ็นเซอร์ต่อจุดเรียงตามลำดับจากมากไปน้อย

อัลกอริทึมซีมาสใช้ค่าอิทธิผลในการตอบสนองดังกล่าวเป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มที่สำคัญในการพิจารณาเซตแอคเตอร์ขั้นตอนการเลือกเซตแอคเตอร์มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

**ขั้นตอนที่ 1** รับข้อมูลอินพุทได้แก่ เซตของโหนดเซ็นเซอร์โดยมีข้อมูลพิกัด (sensorList) เซตของโหนดแอคเตอร์โดยมีข้อมูลพิกัด (actorList) เซตของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้โดยมีข้อมูลตำแหน่งของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้แต่ละจุด (nonControlFactors) ค่าการตอบสนองของโหนดแอคเตอร์ (actorValue) ค่าการตอบสนองจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (nonControlValue) และเกณฑ์เวลาที่กำหนด (timeConstraints)

**ขั้นตอนที่ 2** หาค่าระยะห่างระหว่างโหนดเซ็นเซอร์ตัวแรกกับโหนดแอคเตอร์ทั้งหมดจากข้อมูลพิกัดโดยเรียงลำดับระยะทางจากน้อยไปมาก (actorSequence)

**ขั้นตอนที่ 3** เลือกเซตแอคเตอร์ภายใต้เกณฑ์เวลาที่กำหนดและใช้พลังงานน้อยที่สุดจากฟังก์ชั่น selectActorsByFactors() โดยภายในประกอบด้วยฟังก์ชันหาเวลาที่ในการตอบสนองของเซตแอคเตอร์ findTimeByFactors() โดยใช้สมการที่ 2 ภาคผนวก ก และฟังก์ชั่นการหาค่าพลังงานน้อยที่สุด isMiniEnergy() ตามตารางที่ 3 เปรียบเทียบหาเซตแอคเตอร์ภายใต้เกณฑ์เวลา 1 นาที และใช้พลังงานน้อยที่สุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**ตารางที่ 3** เปรียบเทียบหาเซตแอคเตอร์ภายใต้เกณฑ์เวลาที่กำหนดและใช้พลังงานน้อยที่สุด

| Actors | Time (minutes) | Power (KJ) |
|---|---|---|
| Actor 7 | 2.643 | 0.317 |
| Actor 7 Actor 8 | 0.750 | 0.180 |
| Actor 7 Actor 8 Actor 6 | 0.606 | 0.218 |
| Actor 7 Actor 8 Actor 6 Actor 9 | 0.511 | 0.245 |
| Actor 7 Actor 8 Actor 6 Actor 9 Actor 11 | 0.460 | 0.276 |
| Actor 7 Actor 8 Actor 6 Actor 9 Actor 11 Actor 10 | 0.425 | 0.306 |
| Actor 7 Actor 8 Actor 6 Actor 9 Actor 11 Actor 10 Actor 12 | 0.398 | 0.334 |
| Actor 7 Actor 8 Actor 6 Actor 9 Actor 11 Actor 10 Actor 12 Actor 3 | 0.377 | 0.362 |
| Actor 7 Actor 8 Actor 6 Actor 9 Actor 11 Actor 10 Actor 12 Actor 3 Actor 2 | 0.358 | 0.386 |
| Actor 7 Actor 8 Actor 6 Actor 9 Actor 11 Actor 10 Actor 12 Actor 3 Actor 2 Actor 1 | 0.342 | 0.410 |
| Actor 7 Actor 8 Actor 6 Actor 9 Actor 11 Actor 10 Actor 12 Actor 3 Actor 2 Actor 1 Actor 4 | 0.327 | 0.432 |
| Actor 7 Actor 8 Actor 6 Actor 9 Actor 11 Actor 10 Actor 12 Actor 3 Actor 2 Actor 1 Actor 4 Actor 5 | 0.316 | 0.455 |

**หมายเหตุ** วิธีการคำนวณพลังงานใช้สูตรตามภาคผนวก ข

**ขั้นตอนที่ 4** จะได้เซตของแอคเตอร์ในแต่ละชุดของโหนดเซ็นเซอร์ (actorResult) ทำการหาเซตคำตอบจากโหนดเซ็นเซอร์ตัวถัดไปตามขั้นตอนที่สองจนครบตามจำนวนโหนดเซ็นเซอร์ โดยแต่ละรอบนำเซตคำตอบที่ได้ยูเนียนกัน สุดท้ายจะเหลือเพียงเซตคำตอบเดียวเพื่อนำไปใช้งาน เราสามารถอธิบายในลักษณะรหัสเทียม CMAS Algorithm ดังนี้

INPUT : sensorList, actorList, actorValue, nonControlFactors, nonControlValue, timeConstrains

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

OUTPUT: actorResult

1. actorResult <— { an empty set }

2. FOR EACH sensor IN sensorList

3. actorSequence <— sortSensorDistanceOfActorList(sensor, actorList)

4. actorResult <— actorResult U selectActorsByFactors(actorSequence, actorValue, nonControlFactors, nonControlValue, timeConstrains)

5. END-FOR

1. Fuction selectActorsByFactors(actorSequence, actorValue, nonControlFactors, nonControlValue, timeConstrains)
2. BEGIN
3. $A_{act}$ = { an empty set }
4. responseTime <— 0
5. FOR EACH actorSet IN actorSequence
6. responseTime <— findTimeByFactors (actorSet, actorValue,
7. nonControlFactors, nonControlValue)
8. IF responseTime <= timeConstrains
9. IF isMiniEnergy(actorSequence[0, count], responseTime)
10. $A_{act}$ <— actorSet
11. END-FOR
12. return $A_{act}$
13. END

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากรหัสเทียมจะพบว่าอัลกอริทึมซีมาสพิจารณาเซตคำตอบตามขนาดข้อมูลเซตที่ทำการเรียงลำดับระยะทางจากน้อยไปมาก ซึ่งข้อมูลของเซตดังกล่าวมีขนาดเท่ากับจำนวนของแอคเตอร์ทั้งหมด

การพิจารณาเวลาที่ใช้ประมวลผลรวมสามารถพิจารณาได้ในแต่ละฟังก์ชั่นดังนี้

1. sortSensorDistanceOfActorList() กำหนดให้ n แทนด้วยจำนวนแอคเตอร์ พิจารณาเวลาเรียงลำดับใช้ประมวลผลเทียบเท่ากับ *O (n log n)*

2. selectActorsByFactors() กำหนดให้ n แทนด้วยจำนวนแอคเตอร์ พิจารณาเวลาประมวลผลจะเทียบเท่ากับ *O (n)*

จากนั้นทำการวนลูปพิจารณาแต่ละเซ็นเซอร์ตามจำนวน m ตัว การพิจารณาเวลาประมวลผลรวมทั้งหมดจะเทียบเท่ากับ *O (m*n log n)*

การพิจารณาหาความน่าจะเป็นของเซตแอคเตอร์ทุกตัวในแต่ละเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนั้นสามารถวิเคราะห์ได้กับอัลกอริทึมบรูทฟอร์ซ (BF) ซึ่งมีความแตกต่างกับการประมวลผลของ CMAS อย่างมากเพราะ BF ต้องใช้เวลาในการพิจารณาประมวลผลเพื่อเลือกแอคเตอร์ในทุกกรณีจึงทำให้ใช้เวลานาน ขอยกตัวอย่างการทำงานแบบง่ายของอัลกอริทึมบรูทฟอร์ซ (BF) ในรูปแบบรหัสเทียมดังนี้

INPUT : sensorList, actorList, actorValue, nonControlFactors, nonControlValue, timeConstrains, duringTime

OUTPUT: actorResult

1. actorResultList <— { an empty list }

2. actorResult <—{ an empty list}

3. eventTime <— 0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
4.  allActorSet <— powerSetOfActorList(sensorList, actorList)

5.  FOR EACH  actorSet IN allActorSet

6.  actorResultListInit <—  selectActorsInTimeConstraint(sensorList, allActorSet,
                                actorSet, eventTime)

7.  actorResult <— isMiniEnergy(actorResultListInit)

8.   END-FOR
```

```
1.  Fuction selectActorsInTimeConstraint( sensorList,  allActorSet,
    actorSet, eventTime)
2.  BEGIN
3.  actorResult = { an empty List }
4.  responseTime <— findTimeByFactors (sensorList, actorSet, actorValue,
                        nonControlFactors, nonControlValue)
5.  IF  responseTime  <=  timeConstraints
6.  eventTime = eventTime + responseTime
7.  IF  eventTime  <=  duringTime
8.  FOR EACH actorSet IN allActorSet
9.  actorResultList <— selectActorsInTimeConstraint(sensorList,
                        allActorSet, actorSet, eventTime)
10. END-FOR
11. ELSE
12. actorResultOfRecursion <—  isMiniEnergy(actorResultList)
                                return actorResultOfRecursion
13.  ELSE
14. actorResult <- { an empty list }
15. return actorResult
16. END
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

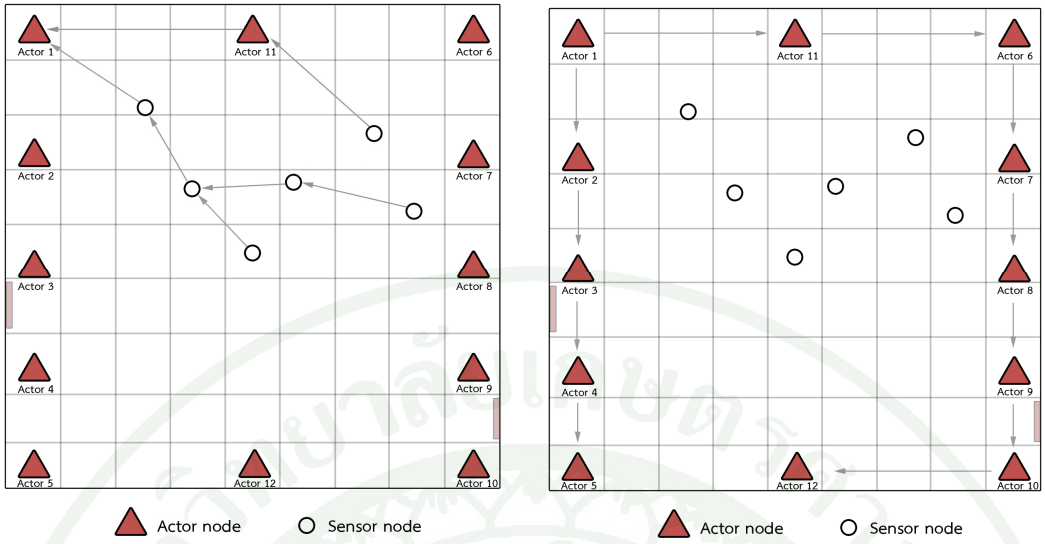
จากรหัสเทียมพบว่าอัลกอริทึมบรูทฟอร์ซใช้เวลาไปกับการพิจารณาเซตของแอคเตอร์ทุกตัวที่จำนวนเท่ากับเพาเวอร์เซตของแอคเตอร์มีจำนวนคำตอบทั้งหมด $2^n$ เซต ในแต่ละเซตทำการเรียกฟังก์ชั่น selectActorsInTimeConstraint() เพื่อพิจารณาเวลาภายใต้เกณฑ์เวลาที่กำหนดซึ่งจะพิจารณากับเซ็นเซอร์ m จำนวน ซึ่งฟังก์ชั่นนี้จะทำการเรียกตัวเองซ้ำจนกว่าระบบจะเสร็จสิ้น (duringTime) โดยประมวลผลการทำงาน k ครั้ง แล้วทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานที่น้อยที่สุดในจากฟังก์ชั่น isMiniEnergy() ดังนั้นการพิจารณาเวลาในการประมวลผลจะเทียบเท่ากับ $O(m * 2^{n*k})$

**การค้นหาเส้นทางแบบสเตติก (Static Route)**

งานวิจัยที่นำเสนอนี้ทดลองบนพื้นที่ขนาดเล็ก และจำนวนโหนดเซ็นเซอร์และแอคเตอร์มีจำนวนไม่มากจึงขอเสนอลักษณะการค้นหาเส้นทางแบบสเตติก ซึ่งเป็นวิธีในการค้นหาเส้นทางในแต่ละส่วนตามเส้นทางที่ได้ทำการกำหนดไว้ล่วงหน้า

ลักษณะการส่งข้อมูลโหนดเซ็นเซอร์เมื่อได้รับข้อมูลจากสภาพแวดล้อมจะทำการส่งข้อมูลเมื่ออุณหภูมิต่ำมากกว่าช่วงอุณหภูมิต่ำสุด และสูงมากกว่าช่วงอุณหภูมิสูงสุด ไปยังโหนดแอคเตอร์ศูนย์กลาง จากภาพที่ 10 เมื่อโหนดเซ็นเซอร์ได้รับข้อมูลอุณหภูมิที่ต่ำลงกว่า 25 องศาเซลเซียส หรืออุณหภูมิสูงกว่า 27 องศาเซลเซียส จะทำการส่งข้อมูลในลักษณะมัลติฮอบ ไปยังโหนดแอคเตอร์ศูนย์กลาง (Actor1) โดยโหนดแอคเตอร์ศูนย์กลางจะทำการประมวลผลวิเคราะห์ว่าควรจะให้โหนดแอคเตอร์แต่ละตัวทำงานอย่างไรดังภาพที่ 10 (ก) และจากนั้นจะทำการส่งข้อมูลกลับไปยังโหนดแอคเตอร์แต่ละตัวอีกทีในลักษณะมัลติฮอบโดยเส้นทางการรับ-ส่งข้อมูลนั้นได้ทำการสร้างตารางหาเส้นทางไว้ก่อนดังนั้นการรับส่งข้อมูลจะใช้เส้นทางเดียวกันตลอดจนกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงตารางหาเส้นทางใหม่ดังภาพที่ 10 (ข)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์




**ภาพที่ 10** (ก) การส่งข้อมูลแลกเปลี่ยนกันระหว่างโหนดเซ็นเซอร์กับโหนดแอคเตอร์ศูนย์กลาง
(ข) การส่งข้อมูลแลกเปลี่ยนกันระหว่างโหนดแอคเตอร์

## 4. วิธีการทดลอง ชุดคำสั่ง และวิธีประเมินผล

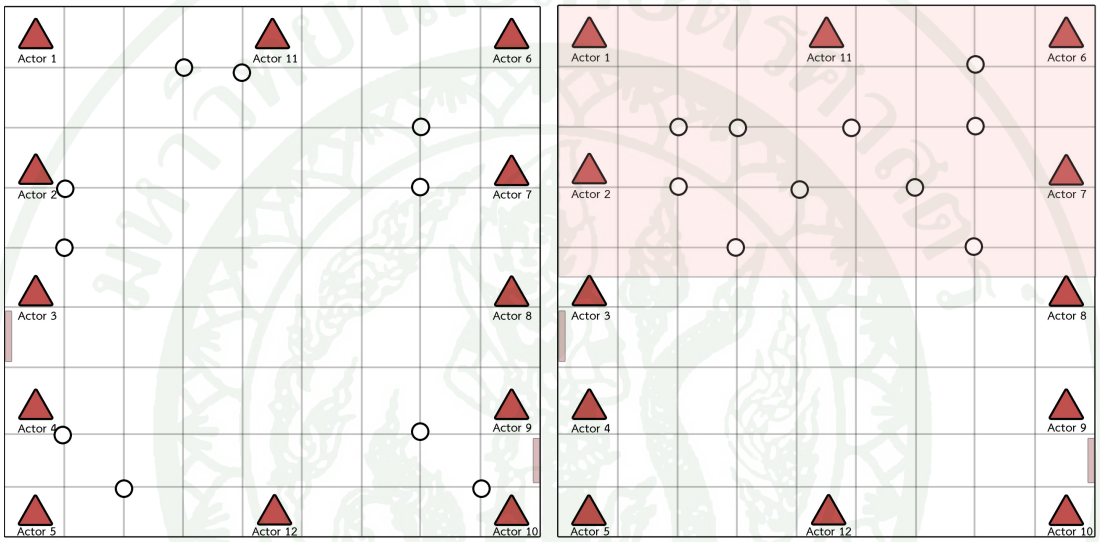
### 4.1 การทดลอง

งานวิจัยนี้ทดลองบนซิมูเลชั่น พัฒนาโปรแกรมโดยใช้ภาษาจาวา ทำการออกแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์และแอคเตอร์ไร้สายให้มีลักษณะการกระจายตัวของโหนดเซ็นเซอร์และแอคเตอร์ การจำลองแบ่งออกเป็นสองเหตุการณ์คือ สุ่มตำแหน่งโหนดเซ็นเซอร์แบบอิสระดังภาพที่ 11 (ก) และสุ่มตำแหน่งโหนดเซ็นเซอร์แบบกำหนดพื้นที่ดังภาพที่ 11 (ข) ลักษณะการวางโหนดเซ็นเซอร์ออกแบบในลักษณะตารางห่างกัน 2 เมตร กำหนดให้โหนดทุกโหนดรู้พิกัดของตัวเองเพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวณระยะทาง

โดยสภาพแวดล้อมประกอบด้วยโหนดแอคเตอร์จำนวน 12 ตัว อุปกรณ์รับรู้อุณหภูมิไร้สายจำนวน 10 ตัว แหล่งอุณหภูมิความร้อน 2 จุด ขนาดห้องเท่ากับ 35 x 42 ตารางเมตร เทียบเท่ากับขนาดห้องเรียนขนาดกลาง ระยะห่างระหว่างโหนดเซ็นเซอร์กับแอคเตอร์คำนวณจากพิกัดการสุ่มตำแหน่งโหนดเซ็นเซอร์กับตำแหน่งพิกัดโหนดแอคเตอร์ กำหนดให้เกณฑ์เวลามีค่าเท่ากับ 60 วินาที อุณหภูมิห้องเริ่มต้นที่ 35 องศาเซลเซียส และโหนดแอคเตอร์ทำงานที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กำหนดให้ระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติรักษาอุณหภูมิไว้ที่ 26 องศาเซลเซียส เมื่อโหนดเซ็นเซอร์ทุกตัวรับรู้ถึงอุณหภูมิที่ต่ำลงกว่า 25 องศาเซลเซียส ระบบทำความเย็นจะหยุด การทำงานจนกว่าอุณหภูมิสูงมากกว่าอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ระบบทำความเย็นจะเริ่มทำงานอีกครั้ง โดยโหนดเซ็นเซอร์ถูกติดตั้งให้มีความถี่ในส่งข้อมูลไปยังโหนดแอคเตอร์ศูนย์กลาง 1 ครั้งเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงกว่า 25 องศา หรือสูงกว่า 27 องศาเซลเซียส ในส่วนการพัฒนาซิมูเลชั่นจำลองอยู่บนเครือข่ายขนาดเล็กที่ไม่มีผลกระทบต่อการสูญหายของข้อมูล (Data Loss)




**ภาพที่ 11** (ก) การสุ่มตำแหน่งโหนดแอคเตอร์แบบอิสระ
(ข) การสุ่มตำแหน่งโหนดเซ็นเซอร์แบบกำหนดพื้นที่

กระบวนงานเริ่มต้นจากโหนดเซ็นเซอร์รับข้อมูลจากสภาพแวดล้อม และส่งข้อมูลไปยังโหนดแอคเตอร์ศูนย์กลางเพื่อใช้ในการคำนวณ ลักษณะการส่งข้อมูลสำหรับโหนดเซ็นเซอร์และแอคเตอร์จะเป็นการค้นหาเส้นทางแบบสเตติก โดยกำหนดให้การส่งผ่านข้อมูลเป็นลักษณะมัลติฮอป โหนดเซ็นเซอร์ข้างเคียงสามารถส่งข้อมูลระหว่างกันได้ เนื่องจากการทดลองนี้จำลองให้โหนดเซ็นเซอร์ไม่มีการเคลื่อนที่และมีพลังงานเพียงพอตลอดการทำงาน เมื่อโหนดแอคเตอร์ศูนย์กลางได้รับข้อมูลจะทำการวิเคราะห์ข้อมูล

การประมวลผลทุกครั้งจะได้กลุ่มของแอคเตอร์ที่ทำงานอยู่ภายใต้เกณฑ์เวลาที่กำหนด คือ 60 วินาทีและใช้พลังงานน้อยที่สุด การเปรียบเทียบจะใช้ผลจากการเลือกกลุ่มแอคเตอร์จากอัลกอริทึมซีมาส (CMAS) อัลกอริทึมบรูทฟอร์ซ (BF) และการเปิดการใช้งานแอคเตอร์ทุกตัว (All-Actor) การทดลองทำการเพิ่มโหนดเซ็นเซอร์ขึ้นเรื่อยๆ จนถึง 10 ตัว โดยในแต่ละตัวมีการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทำซ้ำ 30 ครั้ง โดยการทดลองใช้เวลาทดลองภายใน 1 ชั่วโมง กำหนดให้โหนดแอคเตอร์ใช้กำลังไฟฟ้า 2,000 วัตต์ต่อเครื่อง จากนั้นเก็บข้อมูลการรับส่งข้อมูลของโหนดเซ็นเซอร์ และพลังงานที่โหนดแอคเตอร์ใช้ตอบสนองต่อพื้นที่นำมาวิเคราะห์ผล

การเพิ่มความสามารถให้กับระบบควบคุมอัตโนมัตินั้นเราสามารถทำได้โดยการเพิ่มความถี่ในการประมวลผลเพื่อเลือกแอคเตอร์ให้เหมาะสมในแต่ละช่วงเวลา แต่เนื่องจาก BF ใช้เวลาในการประมวลผลนานเราจึงกำหนดเงื่อนไขการประมวลผลเพื่อเลือกแอคเตอร์แต่ละอัลกอริทึมตามตารางที่ 4 โดยมีพฤติกรรมการทำงาน ดังนี้

1. BF เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระบบจะทำการประมวลผลเพื่อเลือกแอคเตอร์ และเมื่อเซ็นเซอร์ทุกตัวมีอุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส เครื่องปรับอากาศทุกตัวหยุดการทำงาน และเมื่ออุณหภูมิของเซ็นเซอร์ตัวใดตัวหนึ่งมีอุณหภูมิมากกว่า 27 องศาเซลเซียส ระบบจะทำการประมวลผลเพื่อเลือกแอคเตอร์อีกครั้ง

2. All-Actor เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระบบจะทำการประมวลผลโดยเลือกแอคเตอร์ทุกตัว และเมื่อเซ็นเซอร์ทุกตัวมีอุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส เครื่องปรับอากาศทุกตัวหยุดการทำงาน และเมื่ออุณหภูมิของเซ็นเซอร์ตัวใดตัวหนึ่งมีอุณหภูมิมากกว่า 27 องศาเซลเซียส ระบบจะทำการประมวลผลโดยเลือกแอคเตอร์ทุกตัวอีกครั้ง

3. CMAS เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระบบจะทำการประมวลผลเพื่อเลือกแอคเตอร์ และเมื่อเซ็นเซอร์แต่ละตัวมีอุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียสระบบจะทำการประมวลผลเพื่อเลือกแอคเตอร์อีกครั้งจนกระทั่งเซ็นเซอร์ทุกตัวมีอุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส เครื่องปรับอากาศทุกตัวหยุดการทำงาน และเมื่ออุณหภูมิของเซ็นเซอร์ตัวใดตัวหนึ่งมีอุณหภูมิมากกว่า 27 องศาเซลเซียส ระบบจะทำการประมวลผลเพื่อเลือกแอคเตอร์อีกครั้ง

**ตารางที่ 4** เงื่อนไขการประมวลผลเพื่อเลือกแอคเตอร์ตามประเภทของอัลกอริทึม

| อัลกอริทึม | เงื่อนไขแรก | เงื่อนไขที่สอง | เงื่อนไขที่สาม |
|---|---|---|---|
| BF | อุณหภูมิ = 35 | อุณหภูมิ > 27 | - |
| All-Actor | อุณหภูมิ = 35 | อุณหภูมิ > 27 | - |
| CMAS | อุณหภูมิ = 35 | อุณหภูมิ < 25 | อุณหภูมิ > 27 |

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.2 ชุดคำสั่ง

ในการทดสอบขั้นตอนวิธีที่นำเสนอกระทำผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองที่พัฒนาขึ้นจากภาษาจาวาทั้งหมด โดยจะทำการนำข้อมูลจากการสุ่มตำแหน่งของโหนดเซ็นเซอร์ในแต่ละครั้งกับชุดคำสั่งที่ทำงานโดยใช้อัลกอริทึมดังนี้ CMAS BF และ All-Actor

4.3 การประเมินผล

ตัววัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมนี้คือ การใช้พลังงานรวมของแอคเตอร์น้อยที่สุดในแต่ละอัลกอริทึม โดยในการประเมินผลจะทำการเปรียบเทียบกับ CMAS BF และ All-Actor โดยสุ่มตำแหน่งและเพิ่มจำนวณเซ็นเซอร์ขึ้นไปเรื่อยๆ จนถึง 10 ตัว โดยในแต่ละตัวทำการสุ่มเก็บข้อมูล 30 ครั้ง จากนั้นทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของพลังงานภายในเวลา 1 ชั่วโมง โดยผลการทดลองจะนำเสนอในรูปกราฟการเปรียบเทียบการใช้พลังงานรวมของแอคเตอร์และจำนวนเมสเสจที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลโดยใช้ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

# ผลและวิจารณ์

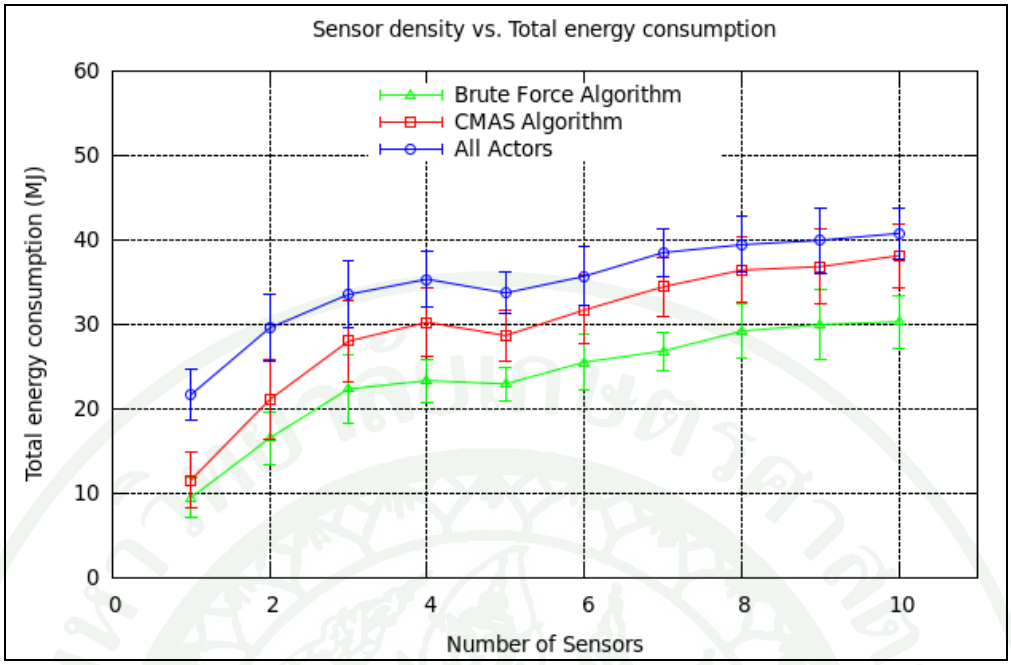
ผลการทดลองทั้งหมดนำเสนอในรูปกราฟโดยใช้ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จากภาพที่ 12 และ 13 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานโดยใช้อัลกอริทึม CMAS BF และ All-Actor

ผลการทดลองลักษณะการสุ่มตำแหน่งแบบอิสระพบว่าการใช้พลังงานของ CMAS อยู่ระหว่าง BF และ All-Actor และจำนวนเซ็นเซอร์ที่เพิ่มมากขึ้นทำให้การใช้พลังงานมากขึ้น ดังภาพที่ 12 โดยแนวโน้มของกราฟในการใช้พลังงานแต่ละอัลกอริทึมมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนของเซ็นเซอร์ที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการกระจายตัวของเซ็นเซอร์แบบอิสระมีความต้องการให้อุณหภูมิอยู่ในช่วงที่กำหนด การใช้งานแอคเตอร์ในการตอบสนองมีจำนวนเพิ่มขึ้น

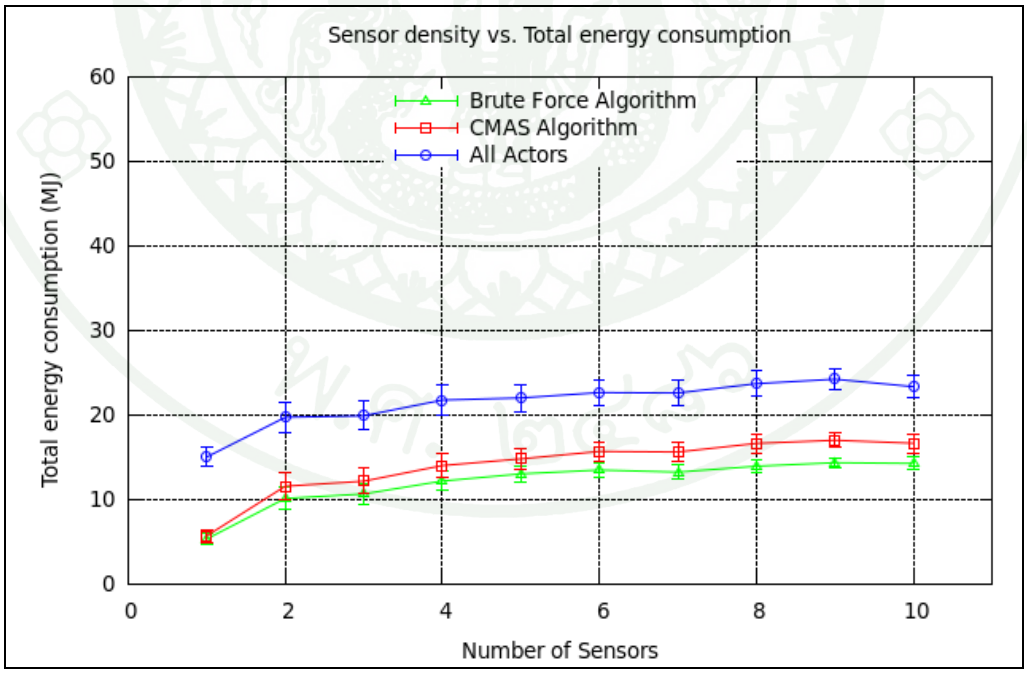
ผลการทดลองลักษณะการสุ่มตำแหน่งแบบกำหนดพื้นที่พบว่าการใช้พลังงานของ CMAS มีค่าใกล้เคียงกับ BF โดยมีค่าระหว่าง BF และ All-Actor ดังภาพที่ 13 โดยแนวโน้มของกราฟในการใช้พลังงานแต่ละอัลกอริทึมมีค่าเพิ่มขึ้นไม่มากหลังจากจำนวนเซ็นเซอร์มีค่ามากกว่าสี่ตัว เนื่องจากการกระจายตัวของเซ็นเซอร์ถูกกำหนดด้วยพื้นที่เฉพาะบริเวณเท่านั้น การใช้พลังงานในการตอบสนองมีจำนวนน้อยกว่าการสุ่มตำแหน่งเซ็นเซอร์แบบอิสระ ซึ่งจากภาพที่ 14 แสดงให้เห็นถึงผลต่างของพลังงานระหว่าง BF กับ CMAS มีความใกล้เคียงกันในลักษณะการสุ่มตำแหน่งแบบกำหนดพื้นที่

จากผลการทดลองทั้งสองเหตุการณ์ CMAS ใช้พลังงานมากกว่า BF ทุกจำนวนโหนดเซ็นเซอร์ที่เพิ่มขึ้น จากผลลัพธ์ที่ได้เป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุง CMAS เพื่อให้ผลลัพธ์มีค่าใกล้เคียงกับ BF และใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

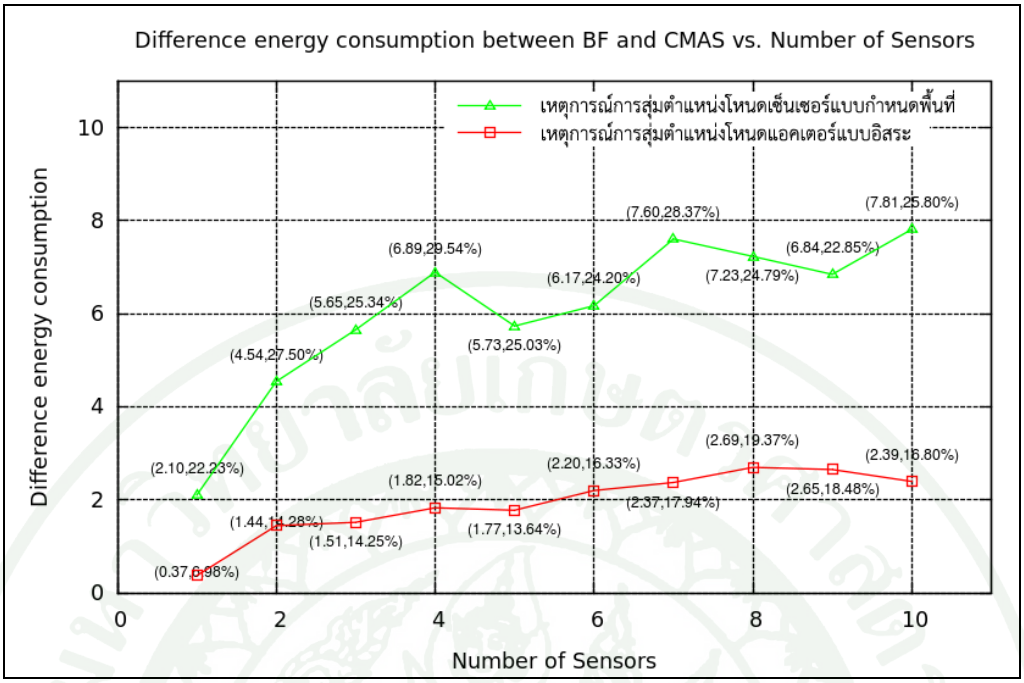



**ภาพที่ 12** เปรียบเทียบพลังงานที่ถูกใช้ไปกับอัลกอริทึมซีมาสโดยสุ่มตำแหน่งโหนดเซ็นเซอร์แบบอิสระ




**ภาพที่ 13** เปรียบเทียบพลังงานที่ถูกใช้ไปกับอัลกอริทึมซีมาสโดยสุ่มตำแหน่งโหนดเซ็นเซอร์แบบกำหนดพื้นที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

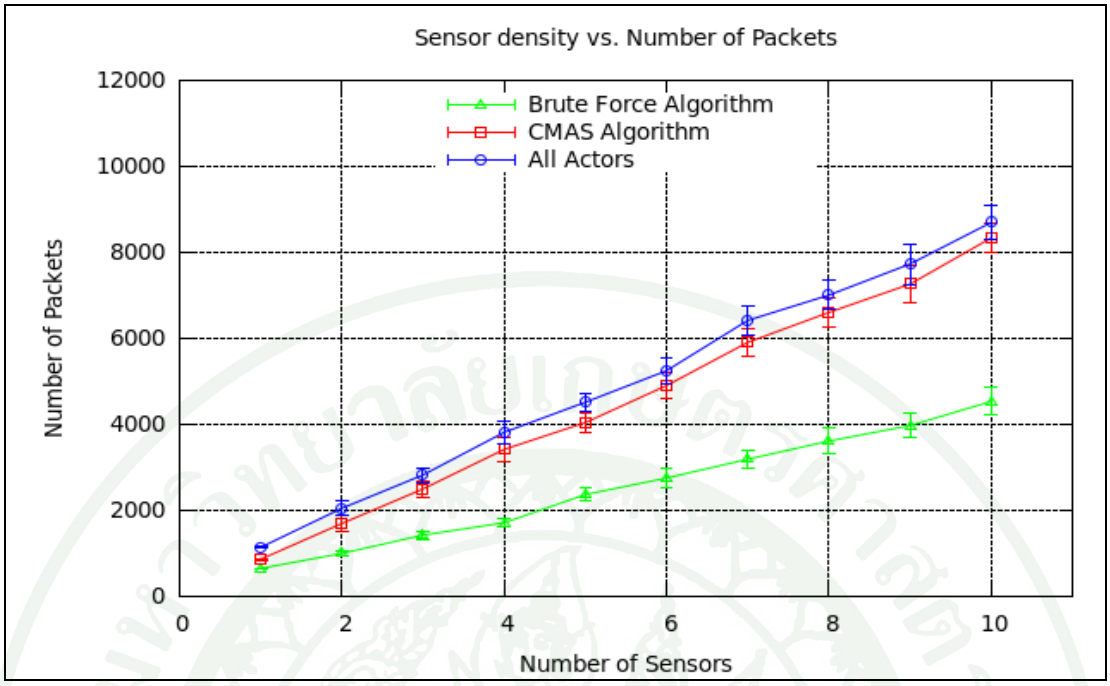



**ภาพที่ 14** เปรียบเทียบผลต่างของพลังงานที่ถูกใช้ไประหว่างอัลกอริทึมซีมาสและอัลกอริทึมบรูทฟอร์ซของทั้งสองเหตุการณ์

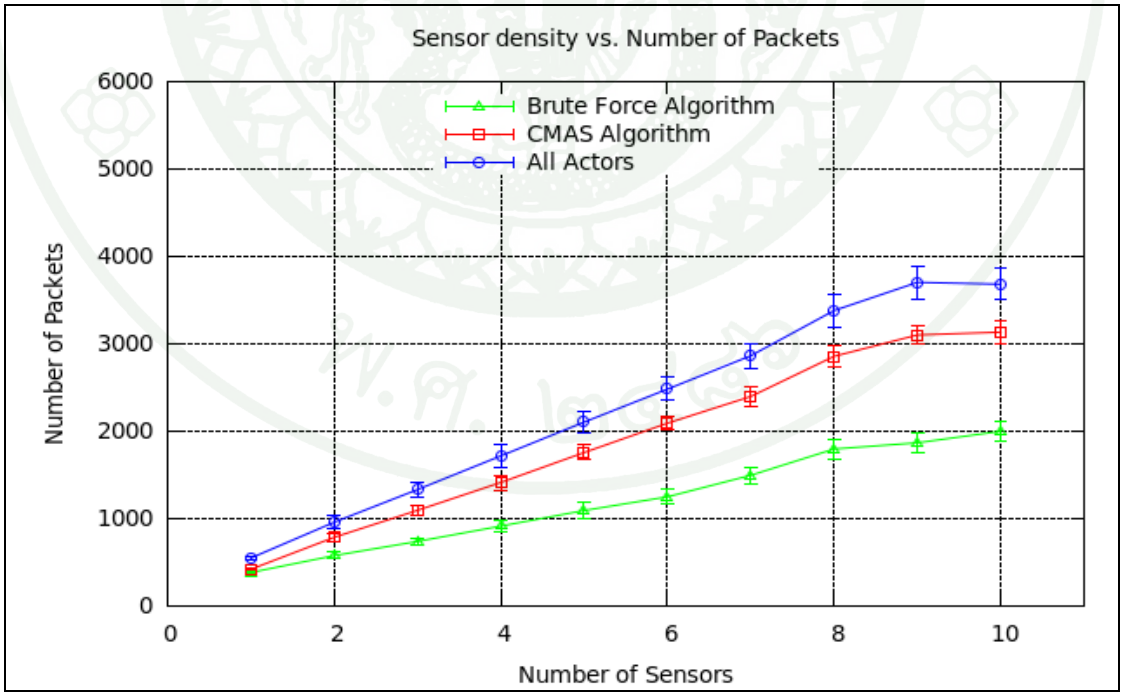
จากภาพที่ 15 และ 16 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนเมสเสจที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างโหนดเซ็นเซอร์กับเซ็นเซอร์โดยใช้อัลกอริทึม CMAS BF และ All-Actor

ผลการทดลองลักษณะการสุ่มตำแหน่งแบบอิสระและการสุ่มตำแหน่งแบบกำหนดพื้นที่ พบว่าจำนวนเซ็นเซอร์ตั้งแต่ 1 – 10 ตัว จำนวนเมสเสจที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลของ CMAS อยู่ระหว่าง BF และ All-Actor จำนวนเซ็นเซอร์ที่เพิ่มมากขึ้นทำให้จำนวนเมสเสจที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลเพิ่มขึ้น การทำงานของ All-Actor ทั้งสองเหตุการณ์มีจำนวนเมสเสจที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลจำนวนมาก เนื่องจากการเปิดใช้งานแอคเตอร์ทุกตัวจะทำให้ถึงจุด Satisfied Point เร็ว ความถี่ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีจำนวนมาก การส่งข้อมูลของเซ็นเซอร์บ่อยครั้งกว่ากลุ่มแอคเตอร์ที่ทำงานภายใต้เกณฑ์เวลาที่กำหนด แนวโน้มของกราฟ CMAS มีค่าสูงเมื่อเทียบกับ BF เนื่องจากลักษณะการพิจารณาเพื่อเลือกแอคเตอร์ในการตอบสนองมากกว่า BF ตามตาราง 4 และลักษณะของกราฟทั้งสามเส้นมีจำนวนการรับ-ส่งข้อมูลเพิ่มสูงขึ้นเมื่อจำนวนเซ็นเซอร์เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้การแลกเปลี่ยนข้อมูลทั้งแอคเตอร์และเซ็นเซอร์มีจำนวนมากขึ้นดังภาพที่ 15 และ 16

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



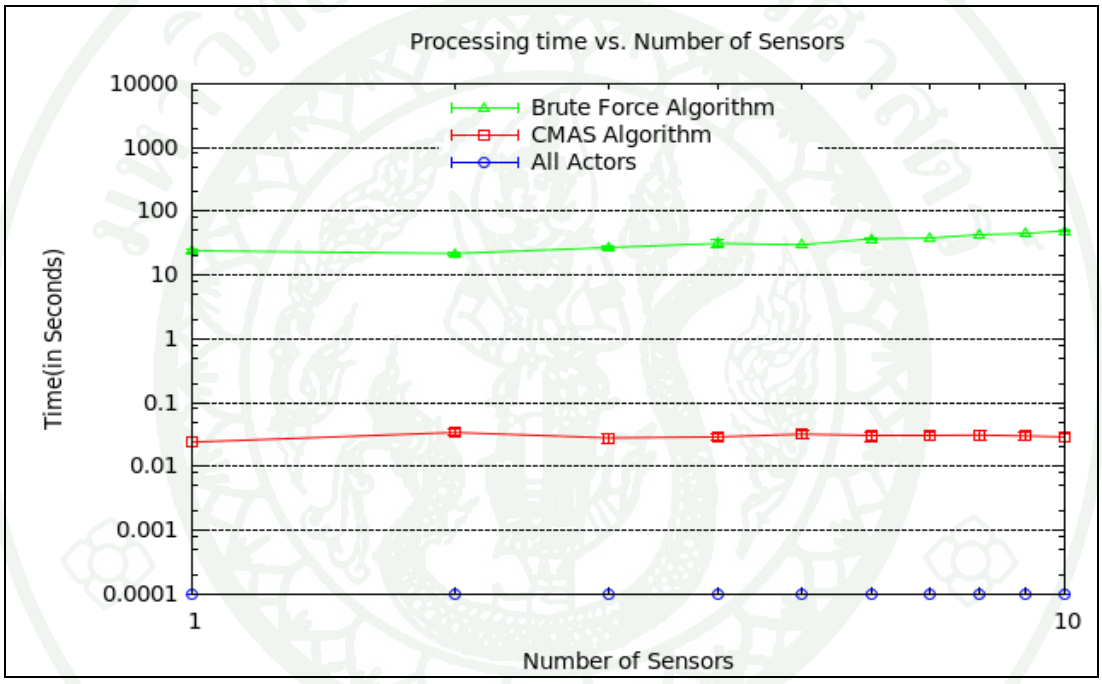

**ภาพที่ 15** เปรียบเทียบจำนวนการส่งข้อมูลโดยใช้อัลกอริทึมซีมาสโดยสุ่มตำแหน่งโหนดเซ็นเซอร์แบบอิสระ




**ภาพที่ 16** เปรียบเทียบจำนวนการส่งข้อมูลโดยใช้อัลกอริทึมซีมาสโดยสุ่มตำแหน่งโหนดเซ็นเซอร์แบบกำหนดพื้นที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดลองแสดงให้เห็นว่า CMAS ทำงานได้ใกล้เคียงกับ BF แต่เมื่อพิจารณาในเรื่องเวลาที่ใช้ การทำงานของ CMAS มีการทำงานเร็วมากกว่าการทำงานของ BF เนื่องจากการวิเคราะห์ของ BF ต้องพิจารณาทุกกรณีในแต่ละเหตุการณ์ โดยอัลกอริทึม BF มีรันนิ่งไทม์เท่ากับ $O\ (m * 2^{n*k})$ ซึ่งไม่ดีเท่ากับ CMAS ที่มีรันนิ่งไทม์เท่ากับ $O\ (m*n\ log\ n)$ และจากตารางที่ 5 เมื่อทำการรันผลลัพธ์ในรอบการพิจารณาเพื่อเลือกแอคเตอร์ พบว่าเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจริง BF ใช้เวลาในการประมวลผลค่อนข้างนานซึ่งไม่เหมาะสมกับการใช้งาน ดังภาพที่ 17 พบว่าเวลาในการประมวลผลของ BF ใช้เวลานานมากกว่า CMAS




**ภาพที่ 17** เปรียบเวลาในการประมวลผลเพื่อเลือกเซตแอคเตอร์

ลักษณะการทำงานของ BF ในทางปฏิบัติจริง การพิจารณาช่วงเวลาในการทำงานของระบบตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงเสร็จสิ้นการทำงานจะใช้เวลาในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ค่อนข้างนาน ไม่ว่าเป็นอุณหภูมิ แสงสว่าง หรือความชื้น การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมต่างๆ มากมาย เช่น การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของเซ็นเซอร์ อุณหภูมิภายนอกที่เข้ามากระทำต่อเซ็นเซอร์ เป็นต้น การทำงานของ BF ในทางปฏิบัติจริงไม่เหมาะสมกับการทำงานที่สภาพแวดล้อมมีความแปรปรวนมากๆ เนื่องจากจะต้องคำนวณบ่อยแต่ละครั้งใช้เวลานาน จำนวนการส่งข้อมูลมากตามไปด้วย ดังนั้นการทำงานที่มีแอคเตอร์จำนวนน้อยลักษณะการพิจารณาโดยใช้ BF ก็ยังเป็นทางเลือกที่เหมาะสมมากกว่า CMAS

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

# สรุปและข้อเสนอแนะ

## สรุป

การนำเอาเกณฑ์เวลามาใช้พิจารณาเลือกกลุ่มของแอคเตอร์นั้น ส่งผลทำให้การใช้พลังงานน้อยลงกว่าการการเปิดใช้งานแอคเตอร์ทุกตัว จากผลการทดลองเห็นได้ชัดเจนว่า CMAS ช่วยในเรื่องพลังงานที่น้อยกว่าการเปิดใช้งานแอคเตอร์ทุกตัว เป็นผลทำให้จำนวนการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างโหนดเซ็นเซอร์และแอคเตอร์ลดลงตามไปด้วย และสำหรับการวางตำแหน่งของโหนดเซ็นเซอร์นั้นก็มีผลต่อเรื่องของการใช้พลังงานงานด้วยเช่นกัน เนื่องจากการวางตำแหน่งแบบกระจายครอบคลุมโหนดแอคเตอร์ทุกตัวนั้น ส่งผลต่อความต้องการโหนดแอคเตอร์มาใช้ในการตอบสนองทำให้การใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

งานวิจัยนี้เป็นจุดเริ่มต้นในการนำเอาสภาพแวดล้อม ตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงาน มาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งพบว่าการกำหนดเกณฑ์เวลาเป็นตัวแปรที่ส่งผลกับการใช้พลังงานของระบบ

## ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลจากการตั้งสมมติฐาน การออกแบบสมการคณิตศาสตร์พื้นฐาน การออกแบบปัจจัยทั้งหมด ซึ่งหากนำเอากรอบการทำงานของงานวิจัยนี้ไปทำในสภาพแวดล้อมจริง ผลลัพธ์ที่ได้อาจไม่สอดคล้องกับการทำงานบนสภาพแวดล้อมที่เป็นของจริง หากแต่เป็นจุดเริ่มต้นที่ดีในการปรับปรุงงานวิจัยนี้ต่อไป

เรื่องการถ่ายเทปริมาณความร้อนจากภายนอกเข้ามายังภายในระบบยังต้องมีการปรับปรุงและศึกษาปัจจัยต่างๆ มากกว่านี้ เนื่องจากลักษณะของการถ่ายเทความร้อนมีการกระจายเข้ามาจากทุกทิศทาง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

# เอกสารและสิ่งอ้างอิง

บริษัท ไอโอเค (ประเทศไทย) จำกัด. 2550. **ระบบบ้านอัจฉริยะ.** แหล่งที่มา: http://www.iok-thailand.com, October 1, 2012.

บริษัท BECKHOFF. 2012. **ตึกประหยัดพลังงาน.** แหล่งที่มา: http://www.beckhoff.com/building/, October 1, 2012.

บริษัท Refrigeration Service Engineers Society. 2009**. ผลกระทบของช่วงเวลาการทำงานของเครื่องปรับอากาศ**. แหล่งที่มา: http://www.rses.org/rsesjournal/ Balancingcomfortandtechnologywithresidentialthermostats.aspx, October 1, 2012.

Akyildiz, I.F. and I.H. Kasimoglu. 2004. Wireless Sensor and Actor Networks: Research Challenges. **Ad Hoc Networks Journal** 2(4): 351–367.

_____, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci. 2002. Wireless Sensor Networks: A Survey. **Computer Networks Journal** 38(4): 393–422.

Barbaran, J., M. Diaz, I. Esteve, D. Garrido, L. Llopis and B. Rubio. 2007. A Real-Time Component-Oriented Middleware for Wireless Sensor and Actor Networks, pp 3-10. *In* **Proceedings of the First International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems.** 10-12 April 2007. Vienna, Austria.

Dennis, M. 2009. **Thermostat**. Available Source: en.wikipedia.org/wiki/Thermostat, October 1, 2012.

Estrin, D., R. Govindan, J. Heidemann and S. Kumar. 1999. Next century challenges: scalable coordination in sensor networks, pp. 263–270. *In* **Proceedings of the Fifth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking.** 15-19 August 1999. Seattle, Washington, USA.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Martinez, K., JK. Hart and R. Ong. 2004. Environmental Sensor Networks. **IEEE Computer Journal** 37(8): 50-56.

Melodia, T., D. Pompili, V.C. Gungor and F. Akyildiz. 2005. A Distributed Coordination Framework for Wireless Sensor and Actor Networks, pp 99-110. *In* **Proceedings of the 6th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing.** 25-28 May 2005. Urbana-Champaign, Illinois, USA.

Woo, A., S. Madden and R. Govindan. 2004. Networking Support for Query Processing in Sensor Networks. **Communications of the ACM** 47(6): 47–52.

Xu, Z.Y., Z. GuangSheng, D. WenHua and F. Qi. 2006. A hop-bounded Single-actor Selection Algorithm for Wireless Sensor and Actor Networks, pp 1067-1072. *In* **Proceedings of the 2006 international conference on Wireless communications and mobile computing**. 3-6 July 2006. Vancouver, British Columbia, Canada.

Yuan, H., H. Ma and H. Liao. 2006. Coordination Mechanism in Wireless Sensor and Actor Networks, pp 627-634. *In* **Proceeding of the First International Multi-Symposiums on Computer and Computational Sciences (IMSCCS'06).** 20-24 June 2006. Zhejiang University, Hangzhou, China.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

# ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**ภาคผนวก ก**

สมการคณิตศาสตร์กับกรณีศึกษาสภาพแวดล้อมอุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

งานวิจัยที่นำเสนอนี้ขอยกกรณีศึกษาในเรื่องของอุณหภูมิ โดยมีตัวอย่างปัจจัยและกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ตามภาพที่ ก1 ดังนี้

1. ปัจจัยที่ควบคุมได้ แทนด้วยเครื่องปรับอากาศทำความเย็นที่ 25 องศาเซลเซียส ($T_{i1}$, $T_{i2}$) กระทำต่อโหนดเซ็นเซอร์ที่พิจารณา ($T_x$)

2. ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ แทนด้วยอุณหภูมิความร้อนที่แผ่เข้ามาโดยมีอุณหภูมิความร้อนที่ 35 องศาเซลเซียส ($T_{j1}$) กระทำต่อโหนดเซ็นเซอร์ที่พิจารณา ($T_x$)

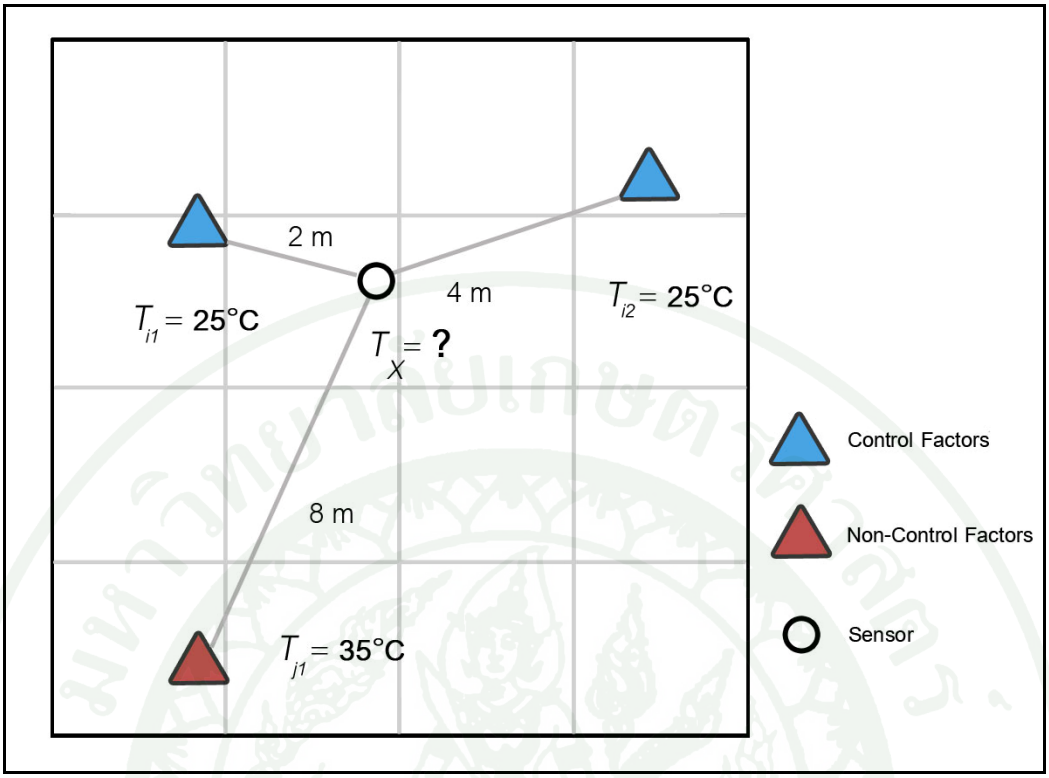
3. ระยะห่างโหนดเซ็นเซอร์และแอคเตอร์ แทนด้วยระยะทาง 2 เมตร 4 เมตร และ 8 เมตร ตามลำดับ ($C_{(i1,x)}$, $C_{(i2,x),}C_{(j1,x)}$ แทนค่าส่วนกลับของระยะห่างระหว่างโหนดเซ็นเซอร์กับปัจจัยที่ควบคุมได้/ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ตามลำดับ)

4. จำนวนปัจจัยที่ควบคุมได้ 2 (n = 2)

5. จำนวนปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ 1 (q = 1)

6. จำนวนโหนดเซ็นเซอร์ 1 ตัว (m = 1)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์




**ภาพผนวกที่ ก1** ปัจจัยที่มีผลต่อจุดพิจารณา $T_x$ ประกอบด้วยปัจจัยที่ควบคุมได้ ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ระยะห่างโหนดเซ็นเซอร์และแอคเตอร์ และจำนวนโหนดเซ็นเซอร์และโหนดแอคเตอร์

จากปัจจัยทั้งหมดสามารถนำเอาสมการเชิงอนุพันธ์มาใช้หาค่าตัวแปรที่เราสนใจกับแบบจำลองที่ยกตัวอย่างขึ้น โดยแบบจำลองเป็นแบบจำลองอย่างง่ายเพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาเท่านั้น ไม่ได้มีจุดประสงค์ในเรื่องความแม่นยำ ในที่นี้เราต้องการทราบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ณ จุดที่เราพิจารณา $T_x$ เทียบกับเวลา ซึ่งจะเท่ากับค่าคงที่ $C_{(i,x)}$, $C_{(j,x)}$ คูณกับผลต่างระหว่างปัจจัยที่กระทำกับจุดที่พิจารณาสามารถเขียนตัวอย่างสมการดังนี้

$$\frac{d}{dt}T_x = \sum_{i=1}^{n} C_{(i,x)} \cdot (T_i - T_x) + \sum_{j=1}^{q} C_{(j,x)} \cdot (T_j - T_x) \qquad (1)$$

จากสมการ (1) จะได้คำตอบของสมการที่เป็นสมการทั่วไปดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$T_x(t) = e^{t\cdot(-CT)} \cdot \left( \frac{(e^{t\cdot(C)} \cdot (CT)) + (T_x(0) \cdot C) - (CT)}{C} \right) \quad (2)$$

โดยที่ C, CT มีค่าเท่ากับ

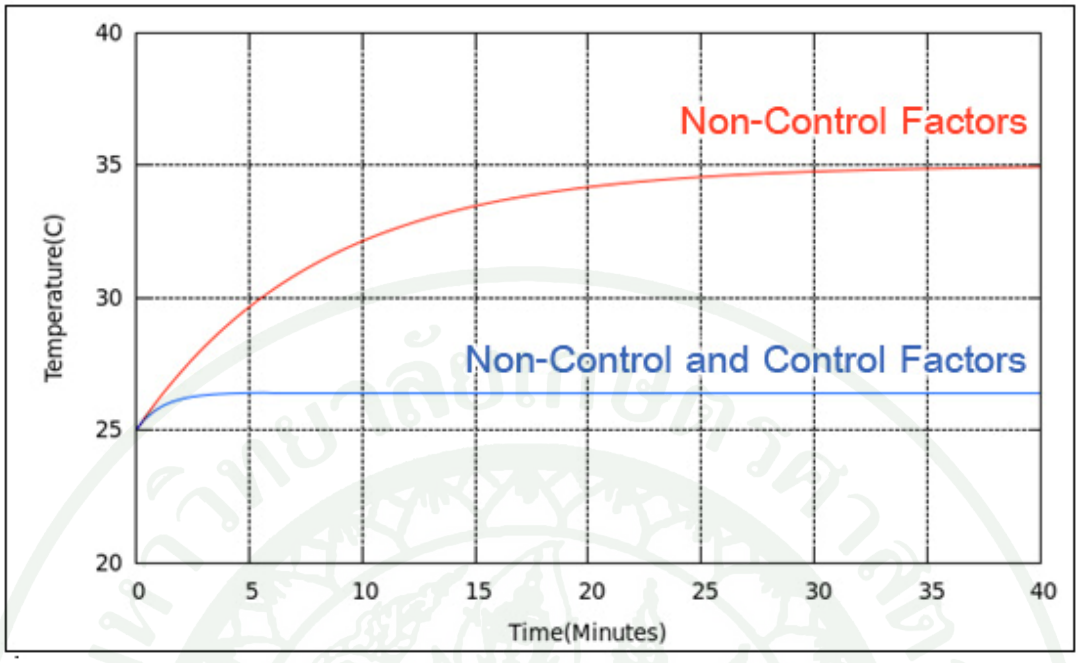
$$C = \sum_{i=1}^{n} C_{(i,x)} + \sum_{j=1}^{q} C_{(j,x)} ,$$

$$CT = \sum_{i=1}^{n} (C_{(i,x)} \cdot T_i) + \sum_{j=1}^{q} (C_{(j,x)} \cdot T_j)$$

จากภาพผนวกที่ ก2 กราฟเส้นบนพบว่าเมื่อเวลา $t = 0$ อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 25 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ($T_{jl}$) มากระทำต่อโหนดเซ็นเซอร์เพียงอย่างเดียวโดยไม่มีปัจจัยที่ควบคุมได้ ($T_{il}$, $T_{i2}$) พบว่าอุณหภูมิของโหนดเซ็นเซอร์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงระดับที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอก 35 องศาเซลเซียส

จากภาพผนวกที่ ก2 กราฟเส้นล่างพบว่าเมื่อเวลา $t = 0$ อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 25 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ($T_{jl}$) และปัจจัยที่ควบคุมได้ ($T_{il}$, $T_{i2}$) กระทำต่อจุด $T_x$ อุณหภูมิค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงเวลาที่ $t = 4.5$ นาที อุณหภูมิคงที่เท่ากับ 26.4 องศาเซลเซียส เห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อมีปัจจัยที่ควบคุมได้ ($T_{il}$, $T_{i2}$) เข้ามากระทำที่จุด $T_x$ อุณหภูมิต่ำลงกว่าที่ไม่มีปัจจัยที่ควบคุมได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์




**ภาพผนวกที่ ก2** กราฟเส้นแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายใต้อิทธิพลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้และควบคุมได้

จากกราฟทั้งสองเส้นทำให้เราทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเทียบเวลา โดยสมการนี้สามารถอธิบายถึงปัจจัยต่างๆ ที่กระทำต่อจุดพิจารณา $T_x$ ตามเวลาที่เพิ่มขึ้นได้ ซึ่งเราจะนำเอาสมการนี้ไปประยุกต์เข้ากับอัลกอริทึมที่นำเสนอในลักษณะฮิวริสติก

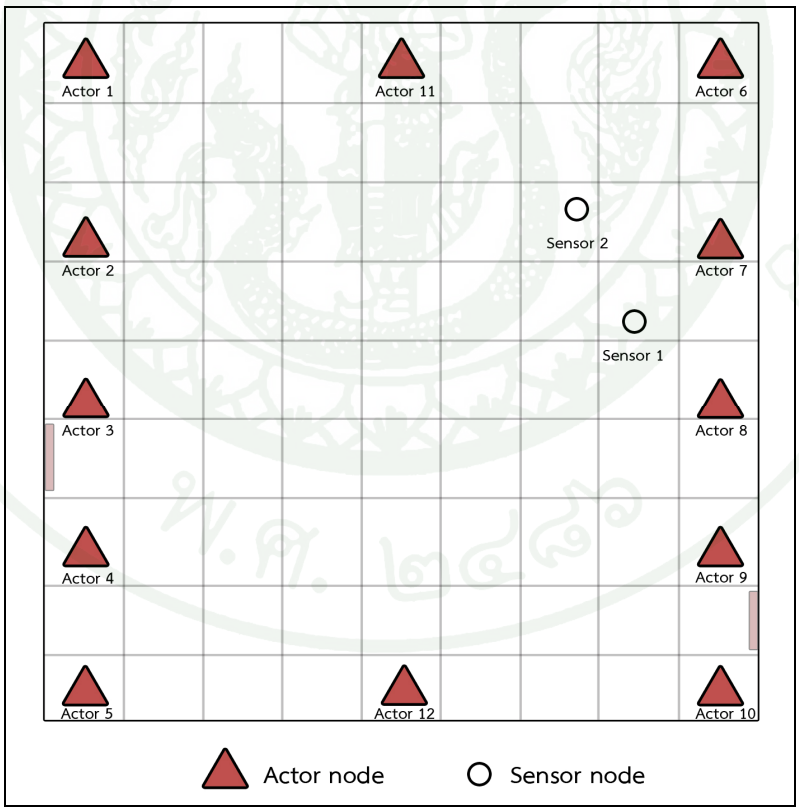
จากสมการที่ (2) เป็นสมการที่ยังไม่ได้มีการปรับให้สอดคล้องกับการใช้งานจริง เนื่องจากการทำงานจริงมีปัจจัยต่างๆ มากมายที่ทำให้เกิดความแปรปรวนเช่น ชนิดของตัวอุปกรณ์เครื่องปรับอากาศ อุณหภูมิภายนอกที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เป็นต้น โดยงานวิจัยที่นำเสนอนี้จึงขอแสดงตัวอย่างโดยเก็บข้อมูลจากสภาพอากาศจริง จากนั้นทำการปรับรูปแบบของสมการให้สอดคล้องกับการใช้งานโดยทำการกำหนดค่าต่างๆ ตามภาคผนวก ข

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**ตัวอย่างสภาพแวดล้อมจำลองที่มีจำนวนแอคเตอร์หลายตัว**

สภาพแวดล้อมของอุณหภูมิ แสงสว่าง ความชื้น ที่มีจำนวนแอคเตอร์หลายตัว การเลือกแอคเตอร์ที่เหมาะสมกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนั้นต้องพิจารณาความน่าจะเป็นในการเปิด/ปิด แอคเตอร์ทั้งหมดที่จะเป็นไปได้ เพื่อให้ได้เซตของแอคเตอร์ที่อยู่ภายใต้เกณฑ์เวลาที่กำหนดและใช้พลังงานรวมของแอคเตอร์น้อยที่สุด จากภาพที่ ก3 ยกตัวอย่างสภาพแวดล้อมของอุณหภูมิที่มีจำนวนแอคเตอร์ทั้งหมด 12 ตัว จำนวนเซ็นเซอร์ 2 ตัว และเกณฑ์เวลาที่กำหนด 60 วินาที ดังนี้

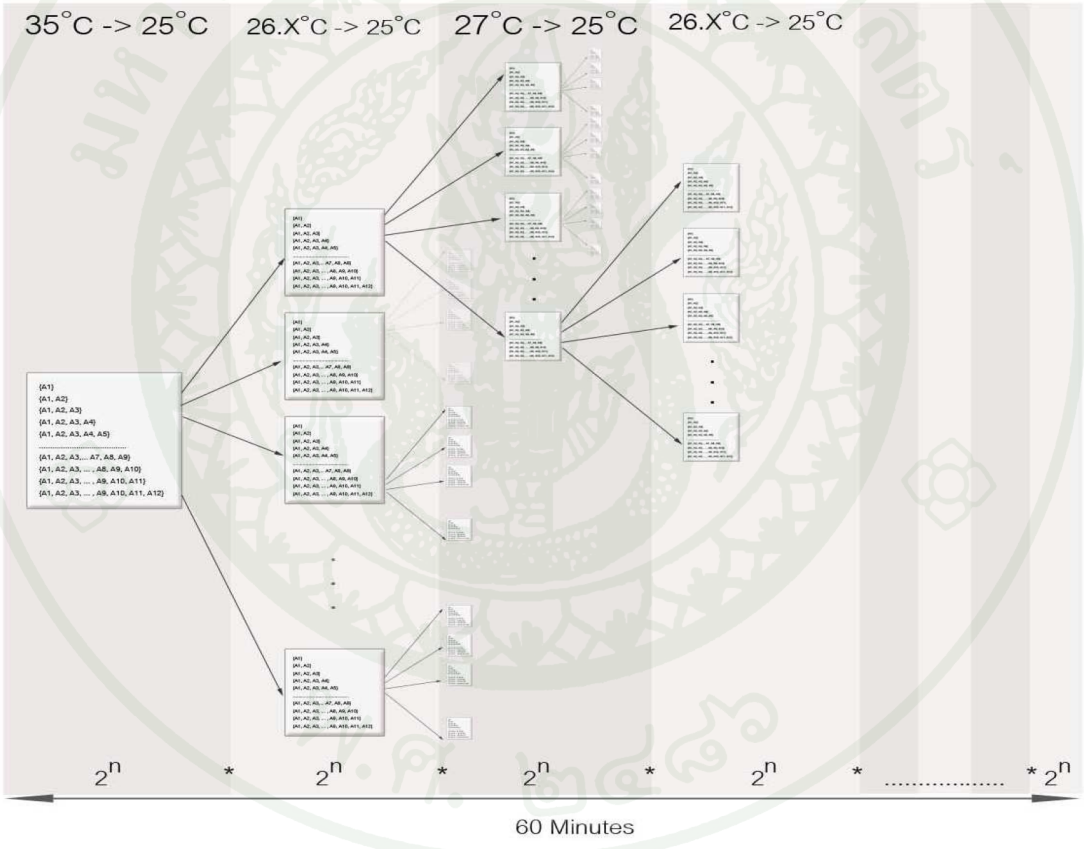
เมื่อระบบรับข้อมูลจากสภาพแวดล้อมที่เป็นอินพุทของระบบคือ ปัจจัยที่ควบคุมได้ ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ระยะห่างโหนดเซ็นเซอร์และแอคเตอร์ และจำนวนโหนดเซ็นเซอร์และแอคเตอร์ ระบบทำการเลือกเซตของแอคเตอร์ที่อยู่ภายใต้เกณฑ์เวลาที่กำหนดไว้ และเป็นเซตที่ใช้พลังงานรวมของแอคเตอร์น้อยที่สุด




**ภาพผนวกที่ ก3** ตัวอย่างสภาพแวดล้อมมีแอคเตอร์จำนวน 12 ตัว และเซ็นเซอร์ 2 ตัว

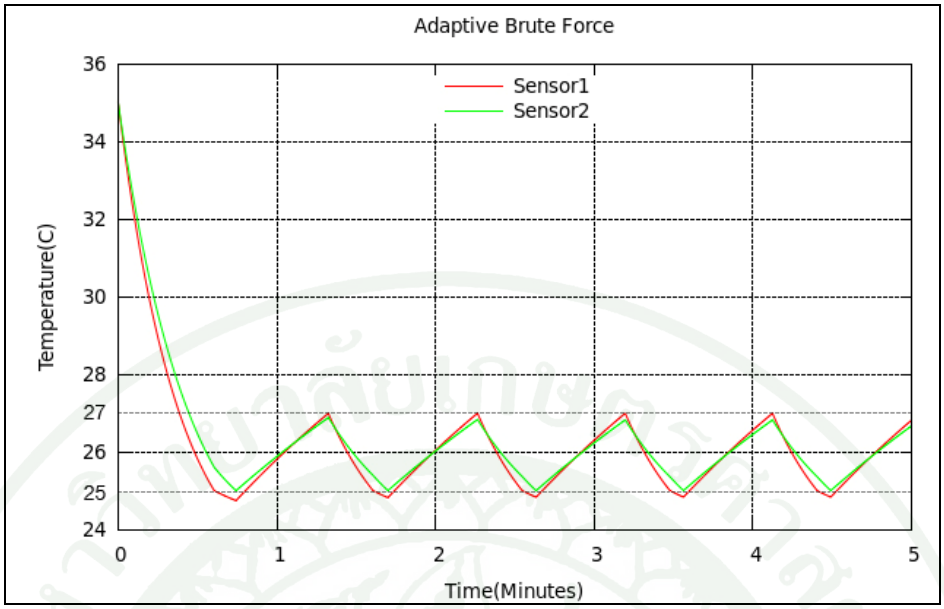
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทำงานของระบบจำลองที่มีจำนวนแอคเตอร์หลายตัว จะมีการพิจารณาเพื่อเลือกแอคเตอร์ให้รักษาอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่กำหนด การพิจารณาเพื่อเลือกเซตของแอคเตอร์นั้นจะพิจารณาเมื่ออุณหภูมิต่ำมากกว่าช่วงอุณหภูมิต่ำสุด และสูงมากกว่าช่วงอุณหภูมิสูงสุด โดยในแต่ละครั้ง โหนดแอคเตอร์ศูนย์กลางจะทำการพิจารณาเซตของสับเซตทั้งหมดของแอคเตอร์ ที่มีจำนวนเท่ากับเพาเวอร์เซตของแอคเตอร์ซึ่งมีจำนวนคำตอบทั้งหมด $2^n$ เซต การพิจารณาความน่าจะเป็นในการเลือกเซตทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้นระบบจนถึงสิ้นสุดระบบ การทำงานในลักษณะนี้เราจะเรียกว่าเป็นการทำงานที่ต้องพิจารณาทุกกรณี (Adaptive Brute Force) ดังภาพที่ ก4 และพฤติกรรมอุณหภูมิเซ็นเซอร์มีการเปลี่ยนแปลงดังภาพผนวกที่ ก5




**ภาพผนวกที่ ก4** ตัวอย่างการพิจารณาเซตคำตอบของสับเซตทั้งหมดของแอคเตอร์ภายในเวลา 1 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์




**ภาพผนวกที่ ก5** ตัวอย่างพฤติกรรมอุณหภูมิเซ็นเซอร์มีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

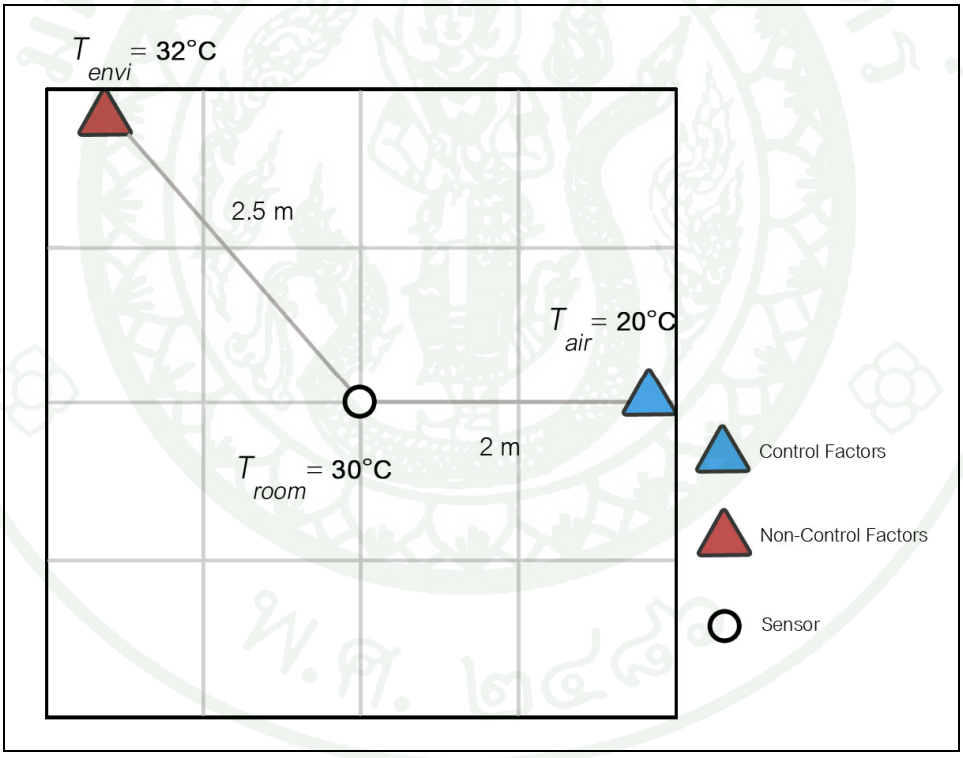
**ภาคผนวก ข**

การปรับสมการคณิตศาสตร์ตามสภาพการใช้งาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เนื่องจากสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นเป็นเพียงสมการพื้นฐาน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากสมการอาจไม่สอดคล้องกับผลลัพธ์ของเหตุการณ์จริง ดังนั้นจึงต้องมีการเพิ่มหรือลดค่าบางอย่างเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้จากสมการสอดคล้องกันมากขึ้น

การกำหนดสภาพแวดล้อมแบบพื้นฐานของห้องพักอาศัยเป็นตัวอย่างที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์เพื่อเพิ่มหรือลดค่าบางอย่างจากสมการ ซึ่งมีสภาพแวดล้อมมีขนาดห้อง 4 x 4 ตารางเมตร เครื่องปรับอากาศทำอุณหภูมิอยู่ที่ 20 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายนอกมีค่าเท่ากับ 32 องศาเซลเซียส อุณหภูมิห้องมีค่าเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส โดยมีความต้องการให้อุณหภูมิห้องเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ ข1 จากนั้นทำการเก็บผลการวัดค่าอุณหภูมิทุกๆ 30 วินาที เป็นเวลา 10 นาที




**ภาพผนวกที่ ข1** สภาพแวดล้อมภายในห้องพักอาศัย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**ตารางผนวกที่ ข1** ผลการวัดอุณหภูมิที่ห้องพักอาศัย

| เวลา (วินาที) | อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) |
|---|---|
| 0 | 30 |
| 30 | 29.7 |
| 60 | 28.7 |
| 90 | 28.2 |
| 120 | 27.8 |
| 150 | 27.2 |
| 180 | 26.7 |
| 210 | 26.4 |
| 240 | 25.7 |
| 270 | 25.4 |
| 300 | 25.2 |
| 330 | 25.2 |
| 360 | 25.2 |
| 390 | 25.2 |
| 420 | 25.1 |
| 450 | 25.0 |
| 480 | 25.0 |
| 510 | 25.0 |
| 540 | 25.0 |
| 570 | 24.8 |
| 600 | 24.8 |

จากข้อมูลตามตารางผนวกที่ ข1 นำมาสร้างเป็นกราฟจุดสีเขียวดังภาพที่ ข2 จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับสมการทางคณิตศาสตร์เส้นสีแดง พบว่าสมการไม่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง และอุณหภูมิไม่ได้ 25 องศาเซลเซียสตามที่ต้องการ ดังนั้นเราจึงต้องทำการทดลองปรับสมการโดยกำหนดตัวแปร $p_x$ เข้าไปที่สมการที่ 3 จากนั้นทำการเพิ่มค่า $p_x$ เพื่อให้สมการถึงจุดที่เราต้องการได้ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$T_x(t) = e^{t\cdot(-CT)} \cdot \left( \frac{(e^{t\cdot(CP)} \cdot (CT)) + (T_x(0) \cdot C) - (CT)}{C} \right) \quad (3)$$

โดยที่ C, CT, CP มีค่าเท่ากับ

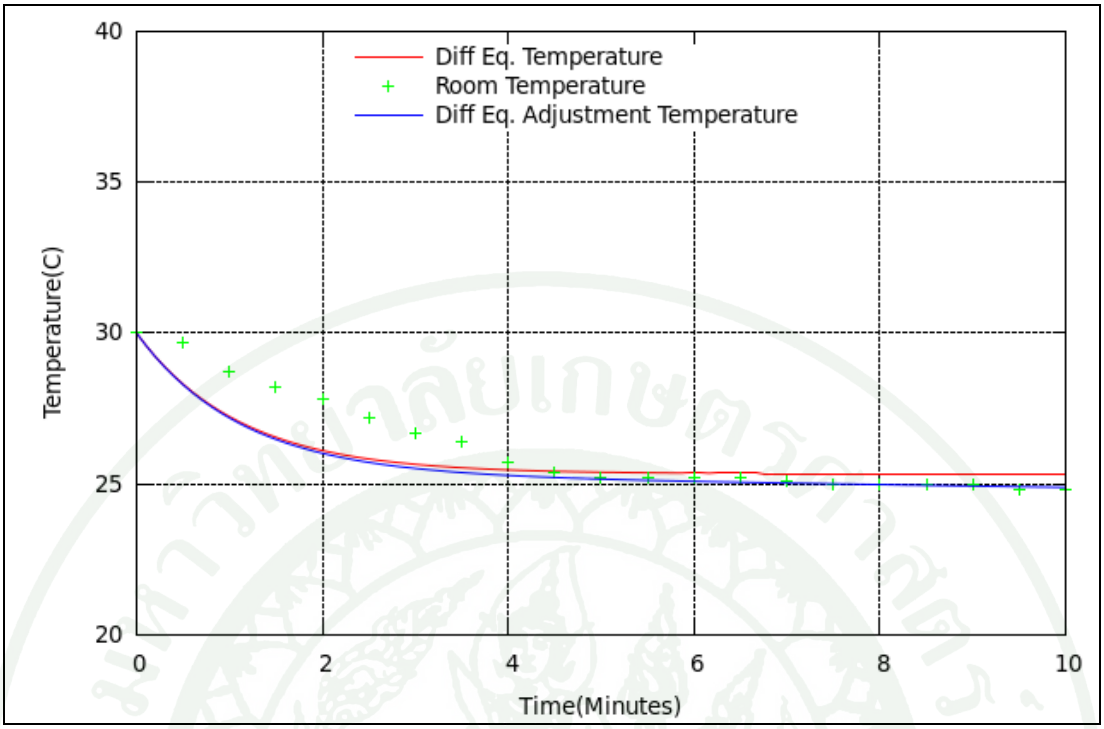
$$C = \sum_{i=1}^{n} C_{(i,x)} + \sum_{j=1}^{q} C_{(j,x)},$$

$$CT = \sum_{i=1}^{n} (C_{(i,x)} \cdot T_i) + \sum_{j=1}^{q} (C_{(j,x)} \cdot T_j),$$

$$CP = \sum_{i=1}^{n} (C_{(i,x)} + p_x) + \sum_{j=1}^{q} (C_{(j,x)} + p_x)$$

โดยเมื่อทำการเพิ่มค่า $p_x$ จนได้ค่าที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในห้องจากสมการทำการเพิ่มค่า $p_x$ = -0.0018 จะทำให้ค่าที่ได้จากสมการถึงอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสที่เวลา 7.5 นาที ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับการวัดอุณหภูมิของห้องพักอาศัย ตามตารางที่ ข1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์




**ภาพผนวกที่ ข2** แสดงอุณหภูมิห้องเปรียบเทียบกับสมการทางคณิตศาสตร์ปกติ และการปรับค่าในสมการคณิตศาสตร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**ภาคผนวก ค**

การใช้พลังงานไฟฟ้า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

## การใช้พลังงานไฟฟ้า

### กำลังไฟฟ้า (Electric Power)

โดยทั่วไปเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิดจะมีตัวเลขกำกับค่าเกี่ยวกับกำลังไฟฟ้า และความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดนั้นๆ เช่น หม้อหุงข้าว ขนาด "220 V 800 W" 200 V หมายถึง หม้อหุงข้าวใบนี้ใช้กับไฟที่มีความต่างศักย์ 220 โวลต์ ส่วน 800 W หมายถึง ค่าพลังงานที่หม้อหุงข้าวนี้ใช้ใน เวลา 1 วินาที หรือ เรียกว่ากำลังไฟฟ้า

งานวิจัยที่นำเสนอนี้ยกตัวอย่างเครื่องปรับอากาศที่ใช้กำลังไฟฟ้า 2,000 วัตต์ ซึ่งหมายถึง เครื่องปรับอากาศนี้จะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 2,000 จูล ต่อวินาที หรือวัตต์

กำลังไฟฟ้า จะมีค่าขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ไหลผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยกำลังไฟฟ้ามีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างความต่างศักย์กับกระแสไฟฟ้า เขียนสมการได้ดังนี้

$$P = V * I$$

เมื่อกำหนดให้ P แทน กำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็น วัตต์
V แทน ความต่างศักย์ที่ต่อกับเครื่องใช้ไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์
I แทนกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้ามีหน่วยเป็นแอมแปร์

พลังงานไฟฟ้า(จูล) = กำลังไฟฟ้า(วัตต์) * เวลา (วินาที)

เมื่อกำหนดให้ P แทน กำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็น วัตต์
W แทน พลังงานไฟฟ้า มีหน่วยเป็นจูล
t แทน เวลา มีหน่วยเป็น วินาที

หรือ $W = P * t$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดังนั้นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูงๆ ถ้าใช้เป็นเวลานานจะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามาก ซึ่งในการคิดค่าพลังงานไฟฟ้าจะคิดเป็นหน่วยที่ใหญ่กว่าจูล คือกิโลวัตต์ และคิดเวลาเวลาเป็นชั่วโมง ดังนั้น หน่วยของพลังงานไฟฟ้าจึงเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือ หน่วย หรือยูนิต ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

พลังงานไฟฟ้า(หน่วย) = กำลังไฟฟ้า(กิโลวัตต์) X เวลา (ชั่วโมง)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

# ประวัติการศึกษาและการทำงาน

| | |
|---|---|
| **ชื่อ –นามสกุล** | ธีระชัย ราชมณี |
| **วัน เดือน ปี ที่เกิด** | 8 กันยายน 2526 |
| **สถานที่เกิด** | อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ |
| **ประวัติการศึกษา** | วศ.บ. (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)<br>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี |
| **ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน** | วิศวกรระดับ 4 |
| **สถานที่ทำงานปัจจุบัน** | การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ<br>จังหวัดนครราชสีมา |

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์