ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า	วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง วิธีการหาตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ Access Point และ Optical Network Unit ของระบบสื่อสารแบบ Fiber-Wireless สำหรับระบบ Advanced Metering Infrastructure ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้ขั้นตอนวิธี K-Means แบบมีเงื่อนไขกำหนด

A Method to Determine Installation Locations of Access Point and Optical Network Unit in Fiber-Wireless Communication Systems for Provincial Electricity Authority's Advanced Metering Infrastructure by Using a Constrained K-Means Algorithm

นามผู้วิจัย นายอธิศ คูประเสริฐ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วชิระ จงบุรี, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รองศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์, วศ.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

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

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

วิธีการหาตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ Access Point และ Optical Network Unit ของระบบสื่อสารแบบ Fiber-Wireless สำหรับระบบ Advanced Metering Infrastructure ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้ขั้นตอนวิธี K-Means แบบมีเงื่อนไขกำหนด

A Method to Determine Installation Locations of Access Point and Optical Network Unit in Fiber-Wireless Communication Systems for Provincial Electricity Authority's Advanced Metering Infrastructure by Using a Constrained K-Means Algorithm

โดย

นายอธิศ คูประเสริฐ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อธิศ คูประเสริฐ 2555: วิธีการหาตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ Access Point และ Optical Network Unit ของระบบสื่อสารแบบ Fiber-Wireless สำหรับระบบ Advanced Metering Infrastructure ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้ขั้นตอนวิธี K-Means แบบมีเงื่อนไขกำหนด ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วชิระ จงบุรี, Ph.D. 49 หน้า

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการออกแบบระบบสื่อสารเพื่อรองรับระบบ Advance Metering Infrastructure (AMI) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งของระบบสมาร์ทกริด โดยใช้เทคโนโลยี Fiber-Wireless ระบบนี้ประกอบด้วย สองระบบย่อย ได้แก่ ระบบ Ethernet Passive Optical Network (EPON) และระบบ WiFi วิธีการที่นำเสนอมีความสามารถในการหาจำนวนและตำแหน่งที่เหมาะสมของอุปกรณ์ Access Point (AP) และอุปกรณ์ Optical Network Unit (ONU) เพื่อให้ครอบคลุมมิเตอร์ผู้ใช้งานในพื้นที่ที่กำหนด โดยใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบดัดแปลงมาช่วยในการออกแบบ การหาจำนวนและตำแหน่งของอุปกรณ์ AP ถูกกำหนดโดยระยะทางที่อุปกรณ์ AP สามารถครอบคลุมถึง และจำนวนมิเตอร์ที่อุปกรณ์ AP แต่ละตัวสามารถรองรับได้ ส่วนการหาจำนวนและตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU ถูกกำหนดโดยจำนวนมิเตอร์ที่อุปกรณ์ ONU แต่ละตัวสามารถรองรับได้ โดยที่ตำแหน่งของอุปกรณ์ AP และONU ต้องอยู่ในบนกริดที่สามารถติดตั้งอุปกรณ์ AP และ ONU ได้ ผลจากการทำจำลองโดยใช้วิธีการออกแบบนี้ แสดงจำนวนและตำแหน่งที่ติดตั้งของอุปกรณ์ AP และ ONU ที่ประกันได้ว่าตรงตามข้อกำหนด

_____ _____ ___/___/___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Atit Kuprasert 2012: A Method to Determine Installation Locations of Access Point and Optical Network Unit in Fiber-Wireless Communication Systems for Provincial Electricity Authority's Advanced Metering Infrastructure by Using a Constrained K-Means Algorithm. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Wachira Chongburee, Ph.D. 49 pages.

This paper proposes a communication system design method for Fiber-Wireless technology (Fi-Wi), which is to be used in Advance Metering Infrastructure (AMI), a part of the smart grid. The system consists of two major subsystems: Ethernet Passive Optical Network (EPON) and WiFi. The proposed method is capable to determine the number and positions of access points (AP) and Optical Network Units (ONU) to cover AMI meters that are installed in a certain area by using a modified K-means algorithm. The modified algorithm takes into account the maximum range of Wi-Fi link, and the maximum number of meters that each AP can support. For ONU, the constraint is only on the number of meters that each ONU can support. Another constraint is that the AP and ONU devices must be placed on the grid. By using this method, the simulation results show that the number and the location of AP and ONU satify the constraints.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์วชิระ จงบุรี ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยเหลือวางแผนงานวิจัย ให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่อง กราบขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบวิชาความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ให้ทุนการศึกษา และสนับสนุนการศึกษาในครั้งนี้ และกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ของข้าพเจ้าที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจมาตลอด

หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อบกพร่องประการใด ข้าพเจ้ายินดีรับข้อเสนอแนะ และขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

อธิศ คูประเสริฐ

ตุลาคม 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	11
อุปกรณ์	11
วิธีการ	11
ผลและวิจารณ์	20
ผล	20
วิจารณ์	43
สรุปและข้อเสนอแนะ	45
สรุป	45
ข้อเสนอแนะ	46
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	47
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	49

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 แสดงผลการจำลองเปรียบเทียบ ระหว่างวิธีการใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด กับวิธีการกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง โดยกำหนดตำแหน่งมิเตอร์สุ่มแบบยูนิฟอร์ม จำนวน 20 ครั้ง 23

2 สรุปผลการจำลองโดยใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบยูนิฟอร์ม จำนวน 20 ครั้ง 24

3 สรุปผลการจำลองโดยใช้วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบยูนิฟอร์ม จำนวน 20 ครั้ง 24

4 แสดงผลการจำลองเปรียบเทียบ ระหว่างวิธีการใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด กับวิธีการกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง โดยกำหนดตำแหน่งมิเตอร์สุ่มแบบยูนิฟอร์ม จำนวน 20 ครั้ง 27

5 สรุปผลการจำลองโดยใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบยูนิฟอร์ม จำนวน 20 ครั้ง 28

6 สรุปผลการจำลองโดยใช้วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบยูนิฟอร์ม จำนวน 20 ครั้ง 29

7 แสดงผลการจำลองเปรียบเทียบ ระหว่างวิธีการใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด กับวิธีการกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง โดยกำหนดตำแหน่งมิเตอร์สุ่มแบบหนาแน่นบริเวณพื้นที่กึ่งกลาง จำนวน 20 ครั้ง 31

8 สรุปผลการจำลองโดยใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบหนาแน่นบริเวณพื้นที่กึ่งกลาง จำนวน 20 ครั้ง 33

9 สรุปผลการจำลองโดยใช้วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบหนาแน่นบริเวณพื้นที่กึ่งกลาง จำนวน 20 ครั้ง 33

10 แสดงผลการจำลองเปรียบเทียบ ระหว่างวิธีการใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด กับวิธีการกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง โดยกำหนดตำแหน่งมิเตอร์สุ่มแบบหนาแน่นบริเวณพื้นที่กึ่งกลาง จำนวน 20 ครั้ง 36

11 สรุปผลการจำลองโดยใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบหนาแน่นบริเวณพื้นที่กึ่งกลาง จำนวน 20 ครั้ง 37

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

12 สรุปผลการจำลองโดยใช้วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบหนาแน่นบริเวณพื้นที่กึ่งกลาง จำนวน 20 ครั้ง 38

13 ผลการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลทางเทคนิคจริง ของอุปกรณ์ AP 42

14 ผลการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลทางเทคนิคจริง ของอุปกรณ์ ONU 42

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะการเชื่อมต่อโครงข่าย Last Mile ที่ใช้กับระบบ AMI	2
2	โครงข่าย Last Mile แนวทางที่ 1 PON to Meter	6
3	โครงข่าย Last Mile แนวทางที่ 2 PON to Concentrator	6
4	โครงข่าย Last Mile แนวทางที่ 3 Wireless to Concentrator	7
5	โครงข่าย Last Mile แนวทางที่ 4 GPRS/3G to Concentrator	7
6	ลักษณะเครือข่ายสื่อสารที่รองรับระบบ AMI	12
7	แผนผังของอัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขจำกัด สำหรับ AP	16
8	แผนผังของอัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขจำกัด สำหรับ ONU	18
9	แสดงตัวอย่างตำแหน่งของอุปกรณ์ AP และกลุ่มของมิเตอร์ที่อยู่ในพื้นที่ครอบคลุม จากการกำหนดตำแหน่งมิเตอร์สุ่มแบบยูนิฟอร์ม ที่ได้จากการจำลองเปรียบเทียบ (ก) อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด และ (ข) วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง	22
10	แสดงสรุปผลการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลแบบสังเคราะห์ของอุปกรณ์ AP ระหว่างอัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด กับวิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง ที่ได้จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบยูนิฟอร์ม จำนวน 20 ครั้ง	25
11	แสดงตัวอย่างตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU และกลุ่มของ AP ที่อยู่ในพื้นที่ครอบคลุม จากการกำหนดตำแหน่งมิเตอร์สุ่มแบบยูนิฟอร์ม ที่ได้จากการจำลองเปรียบเทียบ (ก) อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด และ (ข) วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง	26
12	แสดงสรุปผลการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลแบบสังเคราะห์ของอุปกรณ์ ONU ระหว่างอัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด กับวิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง ที่ได้จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบหนาแน่นบริเวณพื้นที่กึ่งกลาง จำนวน 20 ครั้ง	29

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
13	แสดงตัวอย่างตำแหน่งของอุปกรณ์ AP และกลุ่มของมิเตอร์ที่อยู่ในพื้นที่ครอบคลุมจากการกำหนดตำแหน่งมิเตอร์สุ่มแบบหนาแน่นบริเวณพื้นที่กึ่งกลาง ที่ได้จากการจำลองเปรียบเทียบ (ก) อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด และ (ข) วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง	31
14	แสดงสรุปผลการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลแบบสังเคราะห์ของอุปกรณ์ AP ระหว่างอัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด กับวิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง ที่ได้จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบหนาแน่นบริเวณพื้นที่กึ่งกลาง จำนวน 20 ครั้ง	34
15	แสดงตัวอย่างตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU และกลุ่มของ AP ที่อยู่ในพื้นที่ครอบคลุมจากการกำหนดตำแหน่งมิเตอร์สุ่มแบบหนาแน่นบริเวณพื้นที่กึ่งกลาง ที่ได้จากการจำลองเปรียบเทียบ (ก) อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด และ (ข) วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง	35
16	แสดงสรุปผลการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลแบบสังเคราะห์ของอุปกรณ์ ONU ระหว่างอัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด กับวิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง ที่ได้จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบหนาแน่นบริเวณพื้นที่กึ่งกลาง จำนวน 20 ครั้ง	38
17	แสดงบริเวณที่ใช้จำลองในจังหวัดภูเก็ต ขนาดพื้นที่ 350x400 ตารางเมตร มิเตอร์ 233 ตัว	39
18	แสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ AP และกลุ่มของมิเตอร์ที่อยู่ในพื้นที่ครอบคลุม จากการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลทางเทคนิคจริงของอุปกรณ์ AP (ก) อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด และ (ข) วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง	40
19	แสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU และกลุ่มของอุปกรณ์ AP ที่อยู่ในพื้นที่ครอบคลุมจากการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลทางเทคนิคจริงของอุปกรณ์ ONU (ก) อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด และ (ข) วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง	41

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AMI	=	Advanced Metering Infrastructure
Fi-Wi	=	Fiber-Wireless
DCU	=	Data Concentrator Unit
PLC	=	Power Line Communication
EPON	=	Ethernet Passive Optical Network
PON	=	Passive Optical Network
GPRS	=	General Packet Radio Service
EDGE	=	Enhanced Data rates for GSM Evolution
HSPA	=	High Speed Packet Access
CDMA	=	Code division multiple access
WOBAN	=	Hybrid Wireless-Optical Broadband Access Network
ONU	=	Optical Netwokrk Unit
OLT	=	Optical Line Terminal
AP	=	Access Point
GIS	=	Geographic Information System

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการหาตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ Access Point และ Optical Network Unit ของระบบสื่อสารแบบ Fiber-Wireless สำหรับระบบ Advanced Metering Infrastructure ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้ขั้นตอนวิธี K-Means แบบมีเงื่อนไขกำหนด

A Method to Determine Installation Locations of Access Point and Optical Network Unit in Fiber-Wireless Communication Systems for Provincial Electricity Authority's Advanced Metering Infrastructure by Using a Constrained K-Means Algorithm

คำนำ

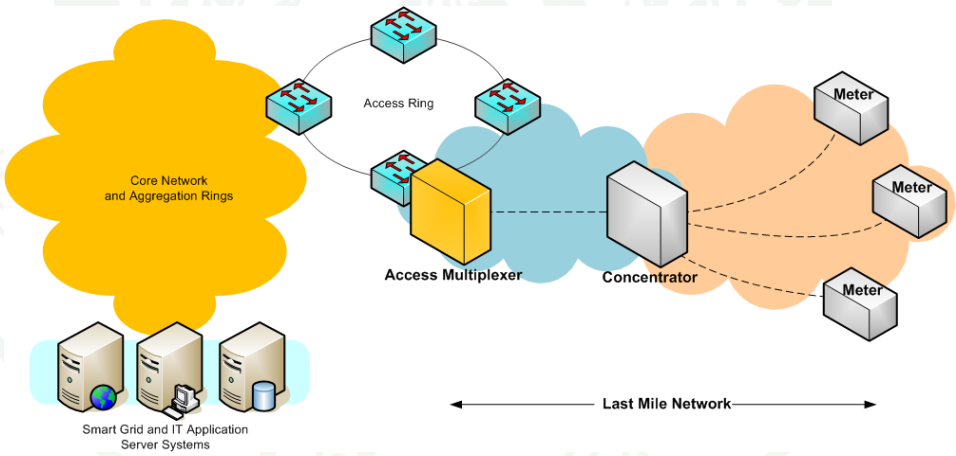
การใช้พลังงานไฟฟ้าในปัจจุบันมีแนวโน้มความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น จึงมีความต้องการในด้านประสิทธิภาพ ความเชื่อถือได้ และความมั่นคงปลอดภัย ทั้งในด้านระบบการผลิต ระบบการส่งจ่าย และระบบจำหน่าย รวมทั้งในภาวะปัจจุบันหน่วยงานที่ให้บริการด้านพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย ต้องประสบกับปัญหาต้นทุนเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น ตลอดจนกฎเกณฑ์และการผลักดันทางด้านพลังงานสะอาดเพื่อลดการทำลายบรรยากาศของโลก ทำให้หน่วยงานที่ให้บริการด้านพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย คือ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) มีการพิจารณาวางแผนดำเนินการด้านสมาร์ทกริด เพื่อรองรับการใช้พลังงานไฟฟ้าในอนาคต สร้างความเชื่อมั่นในคุณภาพของพลังงานไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

องค์ประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งของสมาร์ทกริด คือ ระบบ Advanced metering infrastructure (AMI) ซึ่งประกอบด้วยมิเตอร์ AMI โครงข่ายระบบสื่อสาร และระบบบริหารจัดการข้อมูลมิเตอร์ ระบบ AMI มีหน้าที่สำคัญในการวัดค่า รวบรวม และวิเคราะห์การใช้กระแสไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ โดยโครงข่ายสื่อสารของระบบ AMI ทำหน้าที่ในการรับ/ส่งข้อมูลระหว่างมิเตอร์ AMI กับศูนย์บริหารจัดการข้อมูลมิเตอร์ โครงข่ายสื่อสารที่นำมาใช้กับระบบ AMI จึงควรมีความปลอดภัยสูง เพื่อป้องกันการรั่วไหลของข้อมูล มีความเชื่อถือได้ของระบบ เพื่อให้ระบบสามารถ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ติดต่อกันได้ตลอดเวลา สามารถบริหารจัดการได้ง่าย และมีความสามารถในการรองรับการรับ/ส่งข้อมูลที่เพิ่มขึ้นในอนาคต

ดังนั้น เทคโนโลยีโครงข่ายสื่อสารที่นำมาใช้กับระบบ AMI จึงมีบทบาทสำคัญในการรองรับระบบสมาร์ทกริดที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดย กฟภ. ได้ว่าจ้างที่ปรึกษาจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จัดทำแผนที่นำทางและศึกษาความเหมาะสมโครงการ PEA Smart Grids และ AMI ที่ปรึกษาจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้ศึกษาแนวทางการวางแผน และออกแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์หรือผู้ใช้ปลายทางเข้ามายังสถานีไฟฟ้าหรือสำนักงานไฟฟ้า เพื่อการบริหารจัดการข้อมูลที่เกี่ยวกับงาน AMI โดยใช้โครงข่าย Last Mile เชื่อมต่ออุปกรณ์มิเตอร์ AMI ที่กระจายอยู่ ณ สถานที่ใช้ไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์ Concentrator ที่ทำหน้าที่ในการเก็บรวบรวมข้อมูลและส่งเข้ามายังโครงข่ายหลัก เพื่อติดต่อกับระบบ Smart Grid and IT Application Server Systems โดยการเชื่อมต่อดังกล่าวนี้ประกอบไปด้วยสองส่วนด้วยกัน ได้แก่ การเชื่อมต่อจากมิเตอร์ AMI มายังอุปกรณ์ Concentrator และการเชื่อมต่อจากอุปกรณ์ Concentrator มายังโครงข่าย Aggregation Networks ตามภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะการเชื่อมต่อโครงข่าย Last Mile ที่ใช้กับระบบ AMI

ที่มา: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2553)

กฟภ. ได้ดำเนินงานวิจัยพัฒนาอุปกรณ์ Data Concentrator Unit (DCU) ต้นแบบสำหรับระบบ AMI โดยออกแบบให้อุปกรณ์ DCU สามารถรองรับการใช้งานระบบสื่อสาร Zigbee และ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

PLC ได้ รวมทั้งทำหน้าที่เป็นจุดรวบรวมข้อมูลจากมิเตอร์ AMI เพื่อส่งต่อไปยังระบบส่วนกลาง และรับคำสั่งควบคุมจากระบบส่วนกลางไปยังมิเตอร์ AMI

เมื่อพิจารณาเทคโนโลยีระบบสื่อสารที่ กฟภ. นำมาใช้กับระบบ AMI คือ Zigbee และ PLC ที่มีอัตราการรับ/ส่งข้อมูลอยู่ที่ประมาณ 250 Kpbs และ 300 Kpbs ตามลำดับ หากพิจารณาถึงแนวโน้มการให้บริการด้านพลังงานไฟฟ้าในอนาคต ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถบริหารจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าได้เองในทุกที่และทุกเวลา และจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการบริหารจัดการที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตลอดเวลา ดังนั้น เทคโนโลยีระบบสื่อสาร Zigbee และ PLC จึงอาจไม่เพียงพอที่จะรองรับการใช้งานดังกล่าว

การออกแบบโครงข่ายสื่อสารเพื่อรองรับระบบ AMI โดยใช้เทคโนโลยี Fiber-Wireless ที่มีการนำเทคโนโลยีระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง และเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สาย มาออกแบบให้อยู่ในโครงข่ายเดียวกัน ทำให้ระบบสื่อสารที่ได้มีอัตราการรับ/ส่งข้อมูลสูง และเข้าถึงได้ในทุกที่ ทุกเวลา จึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้งานมากกว่า รวมทั้งการรับ/ส่งข้อมูลโดยตรงไม่ผ่านอุปกรณ์ DCU ทำให้ลดขั้นตอนในการบริหารจัดการระบบ AMI และการดูแลรักษาอุปกรณ์ DCU และในปัจจุบัน กฟภ. มีการติดตั้งใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงครอบคลุมพื้นที่ของผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นบริเวณกว้าง จึงสามารถนำเส้นใยแก้วนำแสงดังกล่าวมาใช้ในการออกแบบร่วมกับเทคโนโลยี Fiber-Wireless ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการออกแบบติดตั้งเส้นใยแก้วนำแสงสำหรับระบบ EPON ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาออกแบบโครงข่ายระบบสื่อสารที่ใช้รองรับระบบ AMI สำหรับวางแผนดำเนินการด้านสมาร์ทกริดของ กฟภ. โดยใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสาร Fiber-Wireless ที่นำโครงข่ายระบบสื่อสารเคเบิลใยแก้วนำแสงของ กฟภ. มาใช้ในการออกแบบร่วมกับเทคโนโลยี EPON และเทคโนโลยี Wi-Fi เพื่อให้ กฟภ. พิจารณาใช้เป็นทางเลือก สำหรับการใช้งานเป็นโครงข่ายระบบสื่อสาร AMI

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้ออกแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์หรือผู้ใช้ปลายทางเข้ามายังสถานีไฟฟ้าหรือสำนักงานไฟฟ้า เพื่อการบริหารจัดการข้อมูลที่เกี่ยวกับงาน AMI โดยใช้เทคโนโลยีโครงข่าย Last Mile ที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ Meter ที่กระจายอยู่ ณ สถานที่ใช้ไฟเข้ามายังโครงข่ายหลักเพื่อติดต่อกับระบบ Smart Grid and IT Application Server Systems การเชื่อมต่อดังกล่าวประกอบด้วยสองส่วน คือ การเชื่อมต่อจาก Meter มายังอุปกรณ์ Concentrator และการเชื่อมต่อจากอุปกรณ์ Concentrator มายังโครงข่าย Aggregation Networks โดยแบ่งการออกแบบโครงข่าย Last Mile เพื่อรองรับระบบ Smart Grid เป็น 4 แนวทาง ดังนี้

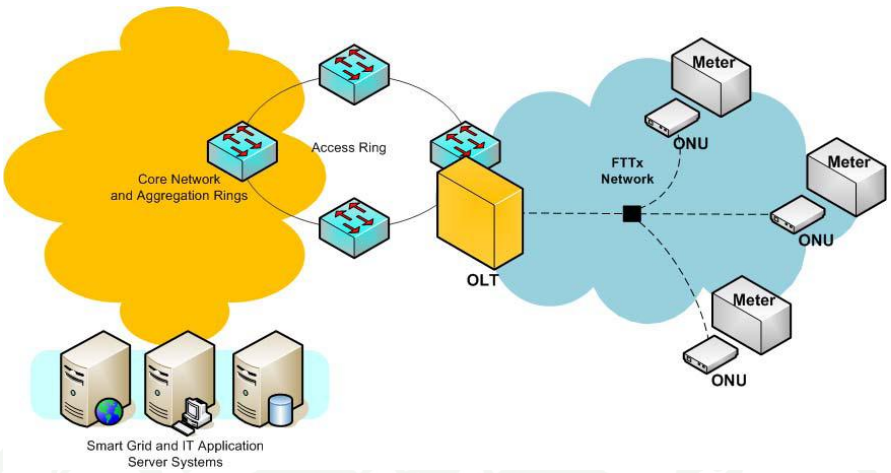
แนวทางที่ 1 PON to Meter เป็นการสร้างโครงข่าย PON จากสถานีไฟฟ้าไปจนถึงอุปกรณ์ปลายทางหรือมิเตอร์ โดยมีการติดตั้งเส้นใยแก้วนำแสง และอุปกรณ์แยกสัญญาณแสงระหว่างทาง ตามภาพที่ 2

แนวทางที่ 2 PON to Concentrator เป็นการสร้างโครงข่าย PON ที่มีการติดตั้งเส้นใยแก้วนำแสง และอุปกรณ์แยกสัญญาณแสงระหว่างทาง จากสถานีไฟฟ้าไปจนถึงตำแหน่งที่ตั้งของอุปกรณ์ Concentrator โดยมีระยะทางไม่เกิน 20 กิโลเมตร ส่วนโครงข่ายจากอุปกรณ์ Concentrator ไปยังอุปกรณ์มิเตอร์ เลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับในแต่ละพื้นที่ เช่น PLC, Zigbee หรือ WiFi ตามภาพที่ 3

แนวทางที่ 3 WiMAX to Concentrator เป็นการใช้เทคโนโลยี WiMAX ในการเชื่อมต่อการสื่อสารจากสถานีไฟฟ้าไปจนถึงตำแหน่งที่ตั้งของอุปกรณ์ Concentrator ในลักษณะ Point-to-Mulitpoint ส่วนโครงข่ายจากอุปกรณ์ Concentrator ไปยังอุปกรณ์มิเตอร์ เลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับในแต่ละพื้นที่ เช่น PLC, Zigbee หรือ WiFi ตามภาพที่ 4

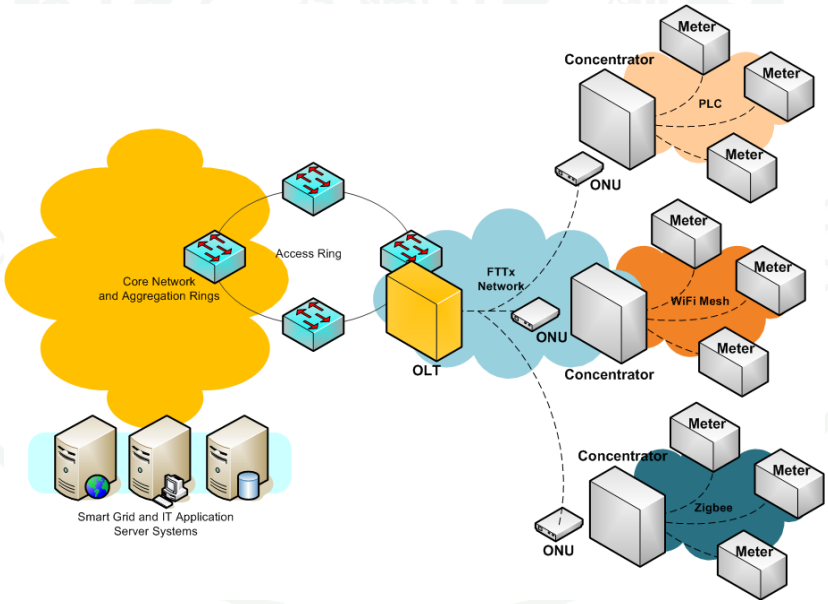
แนวทางที่ 4 GPRS/EDGE/HSPA to Concentrator เป็นการเช่าวงจรของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่รองรับเทคโนโลยี Data ผ่าน GPRS, 3G หรือ CDMA โดยมีการติดตั้ง Modem ของแต่ละเทคโนโลยีที่ Concentrator และใช้โครงข่ายเสมือน (Virtual Private Network) ผ่านโครงข่ายของผู้ให้บริการ เชื่อมต่อไปยังระบบ Applications ต่างๆ ที่สำนักงานใหญ่หรือสถานที่ที่ทำการติดตั้ง Applications ดังกล่าว ตามภาพที่ 5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 2 โครงข่าย Last Mile แนวทางที่ 1 PON to Meter

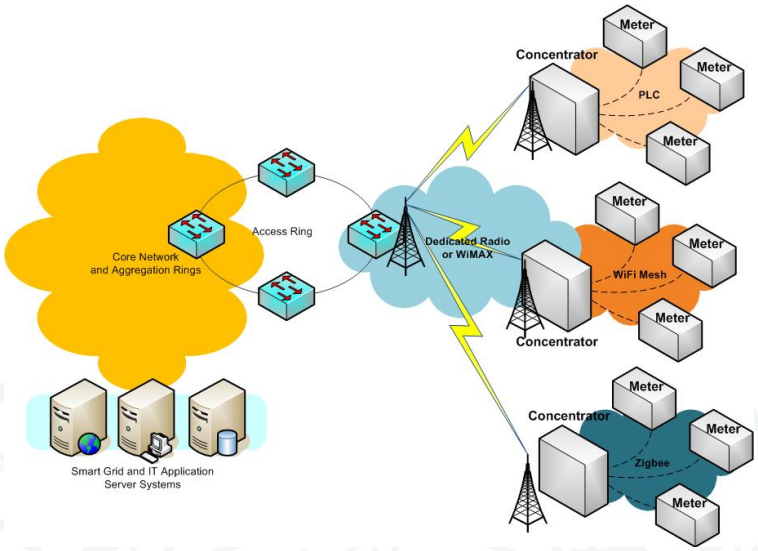
ที่มา: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2553)



ภาพที่ 3 โครงข่าย Last Mile แนวทางที่ 2 PON to Concentrator

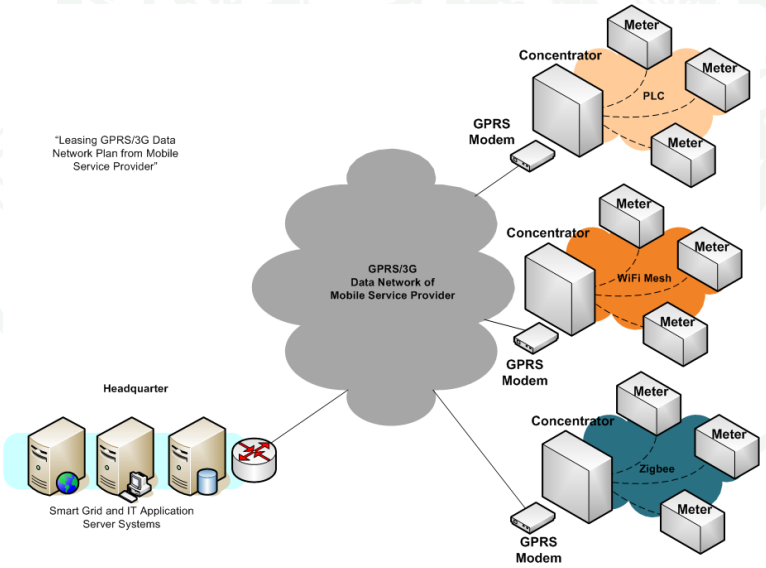
ที่มา: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2553)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 4 โครงข่าย Last Mile แนวทางที่ 3 Wireless to Concentrator

ที่มา: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2553)



ภาพที่ 5 โครงข่าย Last Mile แนวทางที่ 4 GPRS/3G to Concentrator

ที่มา: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2553)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อพิจารณาแนวทางต่างๆ ที่ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้เสนอ พบว่า แนวทางที่ 1 เป็นการติดตั้งเส้นใยแก้วนำแสงไปยังมิเตอร์ผู้ใช้ไฟฟ้า ปัจจุบัน กฟภ. มีผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นจำนวนมากทำให้ต้องใช้เงินลงทุนสูง จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน แนวทางที่ 3 การใช้เทคโนโลยี WiMAX เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ความถี่วิทยุที่ต้องได้รับอนุญาตจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งการขออนุญาตดังกล่าวมีความยุ่งยากซับซ้อนและใช้ระยะเวลานาน จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน แนวทางที่ 4 เป็นการเช่าวงจรของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเช่าใช้บริการ และต้องพิจารณาถึงความปลอดภัยของข้อมูล จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน

แนวทางที่ 2 เป็นการออกแบบโดยติดตั้งเส้นใยแก้วนำแสงไปยังอุปกรณ์ Concentrator และเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ เช่น PLC, Zigbee หรือ WiFi ซึ่งปัจจุบัน กฟภ. มีการติดตั้งใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงครอบคลุมพื้นที่ของผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นบริเวณกว้าง จึงทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการออกแบบติดตั้งเส้นใยแก้วนำแสงได้ และมีการลงทุนที่น้อยกว่าแนวทางที่ 1 เนื่อง จากไม่ต้องติดตั้งเส้นใยแก้วนำแสงไปยังมิเตอร์ผู้ใช้บริการ ดังนั้นแนวทางที่ 2 จึงมีความเหมาะสมมากกว่าแนวทางอื่น ในส่วนของการเลือกใช้เทคโนโลยี เนื่องจากเทคโนโลยี Zigbee และ PLC มีอัตราการรับ/ส่งข้อมูลอยู่ที่ประมาณ 250 Kpbs และ 300 Kpbs ตามลำดับ หากพิจารณาถึงแนวโน้มการให้บริการด้านพลังงานไฟฟ้าในอนาคต และการนำข้อมูลการใช้ไฟฟ้ามาใช้ในการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้า ที่มีแนวโน้มความต้องการข้อมูลเพิ่มมากขึ้นตลอดเวลา ดังนั้นเทคโนโลยีระบบสื่อสาร Zigbee และ PLC ที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำ จึงอาจไม่เพียงพอที่จะรองรับการใช้งานดังกล่าว การเลือกใช้เทคโนโลยี WiFi ที่มีอัตราการรับ/ส่งข้อมูลสูง เข้าถึงได้ในทุกที่ ทุกเวลา จึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้งานมากกว่า และเมื่อพิจารณาการรับ/ส่งข้อมูลโดยตรงไม่ผ่านอุปกรณ์ DCU ทำให้ลดขั้นตอนในการบริหารจัดการระบบ AMI และการดูแลรักษาอุปกรณ์ DCU ได้อีกด้วย

ตัวอย่างการออกแบบโครงข่ายสื่อสารที่ใช้เทคโนโลยีเส้นใยแก้วนำแสง ร่วมกับเทคโนโลยีเครือข่ายสื่อสารไร้สาย โดย Tsagklas and Pavlidou (2011) ศึกษาความเหมาะสมของโครงข่ายสื่อสาร Fiber-Wireless ที่เป็นการนำเอาเทคโนโลยีเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งรองรับการสื่อสารข้อมูลในระดับ Gbps และเทคโนโลยี WiFi ซึ่งเข้าถึงผู้ใช้งานในพื้นที่ต่างๆ และมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำมาออกแบบให้รวมอยู่ในโครงข่ายเดียวกัน ในการออกแบบได้แบ่งโครงสร้างออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการเชื่อมต่อจากโครงข่ายผู้ให้บริการ โดยใช้เทคโนโลยี EPON ส่วนที่สองเป็นการเชื่อมต่อไปยังผู้ใช้บริการ โดยใช้เทคโนโลยี WiFi ภายใต้แนวคิด Hybrid Wireless-Optical Broadband-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Access Network (WOBAN) อุปกรณ์ OLT ติดตั้งอยู่ในส่วนของผู้ให้บริการเพื่อรองรับอุปกรณ์ ONU ที่ติดตั้งกระจายเป็นบริเวณกว้าง อุปกรณ์ ONU แต่ละตัวเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ WiFi AP ซึ่งเป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงและโครงข่ายไร้สาย อุปกรณ์ AP แต่ละตัวติดตั้งแบบกระจายตัวเพื่อครอบคลุมพื้นที่การให้บริการ ประสิทธิภาพของโครงข่ายสื่อสารนี้ ขึ้นอยู่กับการออกแบบการวางตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ AP และอุปกรณ์ ONU ให้สามารถครอบคลุมพื้นที่การให้บริการทั้งหมดได้อย่างเหมาะสม

Sarkar *et al.* (2006); Sarkar *et al.* (2008) ได้ออกแบบการติดตั้งเครือข่าย WOBAN โดยกำหนดจุดติดตั้งที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ ONU ให้มีระยะทางเฉลี่ยห่างจากผู้ใช้บริการน้อยที่สุด โดยใช้วิธี Greedy algorithm (ออกแบบพื้นที่ในแนวระนาบแกน X/Y) แบ่งพื้นที่ผู้ใช้บริการออกเป็นส่วนๆ ไม่ให้ทับซ้อนกัน และวางตำแหน่งอุปกรณ์ ONU ให้อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางในแต่ละพื้นที่ที่ถูกแบ่งแล้ว จากนั้นคำนวณหาระยะห่างจากผู้ใช้บริการทุกรายไปยังอุปกรณ์ ONU แต่ละตัว และจัดกลุ่มผู้ใช้บริการแต่ละรายเข้ากับอุปกรณ์ ONU ตัวที่อยู่ใกล้ที่สุด การกำหนดตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ ONU โดยนำตำแหน่งของผู้ใช้บริการที่ถูกจัดกลุ่มไว้แล้วมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยในแนวแกน X และแกน Y จะได้ตำแหน่งติดตั้งของอุปกรณ์ ONU แต่ละตัว ซึ่งเมื่อทดลองกับวิธีการหาจุดติดตั้งแบบอื่นๆ เช่น การกำหนดจุดติดตั้งแบบสุ่ม หรือการกำหนดจุดติดตั้งแบบแบ่งพื้นที่แล้ววางที่ตำแหน่งกึ่งกลาง พบว่าวิธี Greedy algorithm มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนเครือข่ายที่น้อยกว่าวิธีแบบอื่นๆ และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Simulated Annealing จากการทดลองพบว่าการใช้วิธี Simulated Annealing มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนเครือข่ายที่ถูกกว่าประมาณ 5% เมื่อเทียบกับวิธี Greedy algorithm แต่เมื่อเปรียบในเรื่องของวิธีการพบว่าวิธี Greedy algorithm มีวิธีการที่ซับซ้อนน้อยกว่ามาก

Kouhbor *et al.* (2005a); Kouhbor *et al.* (2005b) ได้ออกแบบวิธีการหาตำแหน่งที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์ Access Points (APs) ในการใช้งานเครือข่ายไร้สาย (WLAN) โดยใช้การหาค่า Path Loss ที่เป็นรูปแบบการหาค่าการสูญเสียของสัญญาณ ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ ทำให้ทราบถึงพื้นที่ครอบคลุมผู้ใช้งานของอุปกรณ์ APs เพื่อหาตำแหน่งที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์ APs ที่เหมาะสม โดยกำหนดค่า Path Loss สูงสุดให้กับระบบคำนวณจากค่าพลังงานที่กำหนดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งและค่าการรับพลังงานที่กำหนดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับ จากนั้นคำนวณค่า Path Loss ของตำแหน่งผู้ใช้งานแต่ละรายไปยังอุปกรณ์ AP และเปรียบเทียบกับค่า Path Loss สูงสุด หากมีค่าน้อยกว่าค่า Path Loss สูงสุด แสดงว่าตำแหน่งของผู้ใช้งานนั้นสามารถสื่อสารกับอุปกรณ์ AP ได้ และใช้วิธี Discrete Gradient method ในการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำนวณหาจำนวน และตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์ APs ผลจากการทดสอบพบว่าวิธีการนี้สามารถใช้หาตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์ APs ที่มีพื้นที่ครอบคลุมผู้ใช้งานเป็นบริเวณกว้างได้เป็นอย่างดี และสามารถจำกัดจำนวนของผู้ใช้งานต่ออุปกรณ์ AP ได้

ปัจจุบันมีงานวิจัยที่ค้นคว้าวิธีการหาจำนวน และตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ AP ที่เหมาะสม โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ และเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพ เช่น การใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์แบบไม่ต่อเนื่อง โดย Kamenetsky and Unbehaun (2002) ทำการแบ่งพื้นที่ที่ใช้ออกแบบเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยม จากนั้นใช้อัลกอริทึมฮิวริสทิค (Heuristic) ทำการหาตำแหน่งติดตั้งของอุปกรณ์ AP โดยกำหนดให้อุปกรณ์ AP วางอยู่บนจุดกึ่งกลางของพื้นที่สี่เหลี่ยมที่ถูกแบ่งเท่านั้น ทำให้มีข้อจำกัดของตำแหน่งที่ใช้ติดตั้งอุปกรณ์ AP และการกำหนดขนาดของพื้นที่สี่เหลี่ยมที่ถูกแบ่ง งานวิจัย Kouhbor *et al.* (2005a); Kouhbor *et al.* (2005b) ใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์แบบต่อเนื่องโดยใช้อัลกอริทึมการหาความชันแบบไม่ต่อเนื่อง ในการหาตำแหน่งติดตั้งของอุปกรณ์ AP โดยทำให้ค่าเฉลี่ยของค่าการสูญเสียในเส้นทางที่ออกแบบมีค่าน้อยที่สุด และทำให้ค่าการสูญเสียในเส้นทางของอุปกรณ์รับสัญญาณมีค่าสูงสุด ทำให้ไม่มีข้อจำกัดของตำแหน่งที่ใช้ติดตั้ง แต่อัลกอริทึมที่ใช้มีความซับซ้อน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2. ซอฟต์แวร์
   - โปรแกรม Matlab Compatible
   - โปรแกรม Microsoft Office
   - โปรแกรม Microsoft Excel
   - โปรแกรม Microsoft Visio

วิธีการ

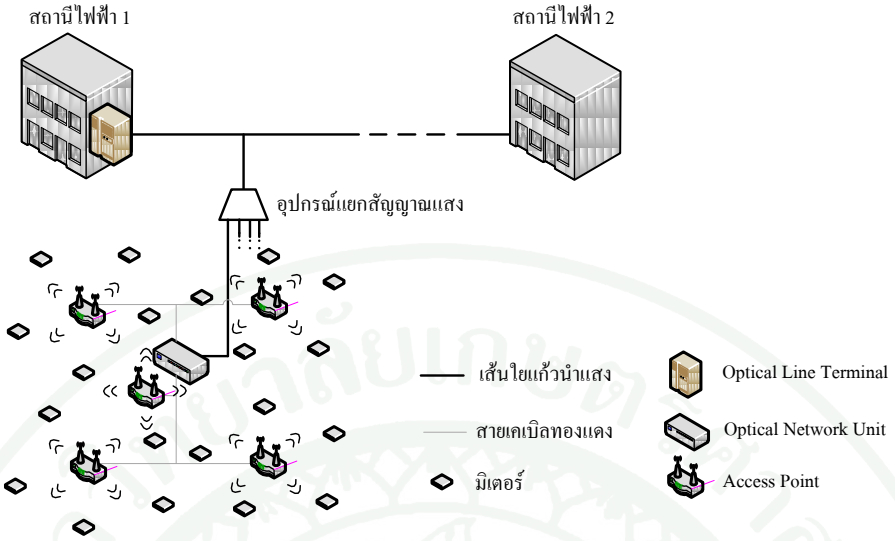
งานวิจัยนี้ทำการออกแบบเครือข่ายสื่อสารสำหรับรองรับระบบ AMI โดยใช้เทคโนโลยี Fiber-Wireless ที่ประกอบด้วยเทคโนโลยี

1. เส้นใยแก้วนำแสง (Ethernet Passive Optical Network - EPON) ที่มีโครงสร้างประกอบด้วย อุปกรณ์ Optical Line Terminal (OLT), อุปกรณ์ Optical Network Unit (ONU) และอุปกรณ์แยกสัญญาณแสง

2. การสื่อสารไร้สาย Wi-Fi ที่ใช้อุปกรณ์ Access Point (AP) เป็นตัวกระจายสัญญาณ

โดยแบ่งโครงสร้างเครือข่ายสื่อสารระบบ AMI ที่ออกแบบ เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นการเชื่อมต่อระหว่างมิเตอร์ไปยังอุปกรณ์ AP โดยใช้เทคโนโลยี EPON ส่วนที่ 2 เป็นการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ AP ไปยังอุปกรณ์ ONU โดยใช้สายเคเบิลทองแดง และส่วนที่ 3 เป็นการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ ONU ไปยังอุปกรณ์ OLT ผ่านโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงของ กฟภ. โดยใช้เทคโนโลยี EPON มีรูปแบบการเชื่อมต่อตามภาพที่ 6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 6 ลักษณะเครือข่ายสื่อสารที่รองรับระบบ AMI

อย่างไรก็ตามในการออกแบบเครือข่ายสื่อสารสำหรับระบบ AMI มีข้อจำกัดสามประการ ได้แก่

1. จำนวนมิเตอร์ที่อุปกรณ์ AP และอุปกรณ์ ONU สามรถรองรับได้ถูกจำกัดเอาไว้ เพื่อประกันอัตราการรับ/ส่งข้อมูลระหว่างมิเตอร์กับศูนย์บริหารจัดการข้อมูลมิเตอร์

2. ระยะทางระหว่างจากมิเตอร์ถึง AP ยังถูกจำกัดอีกด้วย ทั้งนี้ เพื่อประกันความผิดพลาดในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์

3. ตำแหน่งของอุปกรณ์ AP และอุปกรณ์ ONU ต้องติดตั้งอยู่บนเส้นทางที่มีเสาไฟฟ้า

ขอบเขตของงานวิจัยนี้เป็นการนำเอาอัลกอริทึ่ม K-Means ที่ใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์แบบต่อเนื่อง มาดัดแปลง เพื่อใช้ในการคำนวณหาจำนวนและตำแหน่งที่ใช้ติดตั้งอุปกรณ์ AP และอุปกรณ์ ONU

ขั้นตอนในการออกแบบงานวิจัย โดยทำการศึกษา ดัดแปลงอัลกอริทึ่ม K-means และออกแบบขั้นตอนการดำเนินการ จากนั้น กำหนดเงื่อนไข ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ และ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทำการจำลองเปรียบเทียบโดยใช้อัลกอริทึ่ม K-means ที่ดัดแปลงกับข้อมูลแบบสังเคราะห์ และจำลองกับข้อมูลทางเทคนิคจริง โดยมีรายละเอียดขั้นตอน ดังนี้

1. อัลกอริทึ่ม K-Means แบบมีเงื่อนไข

ในส่วนนี้เป็นการทบทวนอัลกอริทึ่ม K-Means และนำเสนอการดัดแปลงเพื่อให้สอดคล้องกับภาวะแวดล้อมของการติดตั้งมิเตอร์ของ กฟภ.

1.1 อัลกอริทึ่ม K-Means แบบพื้นฐาน

อัลกอริทึ่ม K-menas เป็นวิธีการในการจัดกลุ่มของข้อมูล เพื่อให้สมาชิกภายในกลุ่มมีระยะทางใกล้กับจุดศูนย์กลางของกลุ่มตัวเอง มากกว่าจุดศูนย์กลางของกลุ่มอื่นๆ กำหนดจำนวนกลุ่มข้อมูลให้เท่ากับ K กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มข้อมูล k มีจุดศูนย์กลาง C_k (เมื่อ $k = 1,...,K$) ข้อมูล P จะอยู่ในกลุ่มที่มีจุดศูนย์กลาง C_k เมื่อระยะทางจากจุด P ไปยังจุดศูนย์กลาง C_k มีค่าน้อยกว่าระยะทางจากจุด P ไปยังจุดศูนย์กลางตัวอื่นๆ C_j (เมื่อ $j = 1,...,K$,และ $j \neq k$) ตามสมการที่ (1)

$$P \in Area\ k\ If\ d(P, C_k) \leqslant d(P, C_j),\ k \neq j \tag{1}$$

จากนั้น ทำการหาจุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่มใหม่ $C_k^{'}$ ในกรณีที่ข้อมูลเป็นตำแหน่งที่แสดงโดยอะเรย์ 2 มิติ (x_i, y_i) สามารถทำได้โดยการคำนวณระยะห่างเฉลี่ยของจุดข้อมูลภายในกลุ่มนั้น ตามสมการที่ (2)

$$C_k^{'} = (X_k^{'}, Y_k^{'}) = \left(\frac{\sum_{i=1}^{m_k} x_i}{m_k}, \frac{\sum_{i=1}^{m_k} y_i}{m_k} \right) \tag{2}$$

โดย m_k คือ จำนวนสมาชิกของกลุ่มข้อมูลที่ k และ x_i, y_i คือ ตำแหน่งจุดข้อมูลภายในกลุ่มข้อมูล เมื่อได้จุดศูนย์กลางใหม่ อัลกอริทึ่ม K-Means จะทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระยะทางของจุดข้อมูล เพื่อทำการจัดกลุ่มของข้อมูลใหม่ และหาตำแหน่งของจุดศูนย์กลาง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ของแต่ละกลุ่ม โดยทำขั้นตอนดังกล่าวซ้ำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งสมาชิกในแต่ละกลุ่มข้อมูลไม่มีการเปลี่ยนแปลง

1.2 อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขจำกัด (Constrained K-means)

อัลกอริทึ่มที่ดัดแปลงนี้ เพิ่มระยะทางจาก P ถึง C_k สูงสุด หรือ d_{max} มากำหนดการเป็นเงื่อนไขการเป็นสมาชิกของข้อมูล P ในกลุ่ม C_k และเพิ่มข้อจำกัดจำนวนสมาชิกมากสุด N_{APmax} ใน C_k เพื่อให้สอดคล้องกับการนำอัลกอริทึ่มนี้ไปใช้งานกับการติดตั้ง การเชื่อมต่อ Wifi ระหว่างมิเตอร์กับ AP ในระบบ AMI ของ กฟภ. และใช้การหาค่าการสูญเสียในเส้นทางสูงสุดที่อุปกรณ์รับสัญญาณสามารถรับสัญญาณได้ (PL_{max}) ในการกำหนดระยะทางสูงสุดที่ใช้ในการรับ/ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ AP กับมิเตอร์ โดยระยะทางที่อยู่ในพื้นที่ครอบคลุมของอุปกรณ์ AP สามารถหาได้ตามสมการที่ (3)

$$PL(dB) \leqslant PL_{max}(dB) \tag{3}$$

จากนั้น ใช้รูปแบบอัลกอริทึ่ม K-Means ทำการจัดกลุ่มของอุปกรณ์ AP กับมิเตอร์ และคำนวณหาตำแหน่งติดตั้งของอุปกรณ์ AP ที่เหมาะสม โดยทำการตรวจสอบตำแหน่งของอุปกรณ์ AP ที่ได้จากอัลกอริทึ่ม และย้ายตำแหน่งไปยังเส้นตรงที่อยู่ใกล้ที่สุด และหากมีมิเตอร์ที่อยู่นอกพื้นที่ครอบคลุมของอุปกรณ์ AP หรือมีอุปกรณ์ AP ที่รองรับมิเตอร์เกินจำนวนที่กำหนด อัลกอริทึ่มจะทำการเพิ่มจำนวนอุปกรณ์ AP ครั้งละ 1 ตัว และเริ่มต้นการคำนวณใหม่

เมื่อได้ตำแหน่ง และกลุ่มของอุปกรณ์ AP กับมิเตอร์ ทำการหาตำแหน่งติดตั้งของอุปกรณ์ ONU โดยใช้รูปแบบอัลกอริทึ่ม K-Means ทำการจัดกลุ่มของอุปกรณ์ ONU กับอุปกรณ์ AP และคำนวณหาตำแหน่งติดตั้งของอุปกรณ์ ONU ที่เหมาะสม โดยกำหนดเงื่อนไขที่ใช้ในอัลกอริทึ่ม ได้แก่

1. ตำแหน่งของอุปกรณ์ AP และอุปกรณ์ ONU ต้องอยู่บนกริด (เส้นตรง)

2. ระยะทางการรับ/ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ AP กับมิเตอร์ ต้องไม่เกินระยะทางที่อยู่ในพื้นที่ครอบคลุมของอุปกรณ์ AP

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. จำนวนมิเตอร์ที่อุปกรณ์ AP แต่ละตัวสามารถรองรับได้ ต้องไม่เกินจำนวนที่กำหนด

4. จำนวนมิเตอร์ที่อุปกรณ์ ONU แต่ละตัวสามารถรองรับได้ ต้องไม่เกินจำนวนที่กำหนด

1.3 การหาระยะทางที่ใช้ใน K-means สำหรับกรณีของการติดตั้งมิเตอร์ในระบบ AMI

ในอัลกอริทึ่มที่ดัดแปลงนั้น ระยะทางสูงสุดเป็นหนึ่งในข้อจำกัดที่เพิ่มขึ้นจากอัลกอริทึ่ม K-means แบบพื้นฐาน ในกรณีการติดตั้งมิเตอร์ Wifi การหาระยะทางสำหรับ K-menas ถูกกำหนดโดยความแรงของสัญญาณรับขั้นต่ำ $P_{r,th}$ ซึ่งมีค่าเท่ากับกำลังที่ส่ง P_t ในหน่วย dBm ลบด้วยการสูญเสียในเส้นทาง (path loss) สูงสุด PL_{max} ในหน่วย dB ตามสมการที่ (4) และค่าการสูญเสียในเส้นทางที่ระยะทาง d, $PL(d)$ ในหน่วย dB [7] เป็นไปตามสมการที่ (5)

$$PL_{max}(dB) = P_t - P_{r,th} \tag{4}$$

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n\log(\frac{d}{d_0}) \tag{5}$$

โดยที่ $PL(d_0)$ คือ ค่าการสูญเสียในเส้นทางที่ระยะทางอ้างอิง d_0 และ n คือ ค่าเลขชี้กำลังของการสูญเสียในเส้นทาง ดังนั้นเมื่อทราบกำลังส่ง P_t กำลังรับต่ำสุด $P_{r,th}$ และ n แล้ว ก็สามารถกำหนดระยะทางมากสุด d_{max} ที่มิเตอร์สามารถติดต่อกับ AP ได้

2. ขั้นตอนการออกแบบโดยใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขจำกัด

กำหนดเงื่อนไขที่ใช้หาจำนวน และตำแหน่งติดตั้งของอุปกรณ์ AP และอุปกรณ์ ONU ในขั้นตอนการออกแบบ โดยกำหนดตามเงื่อนไขที่ใช้ในอัลกอริทึ่มข้อ 1.2

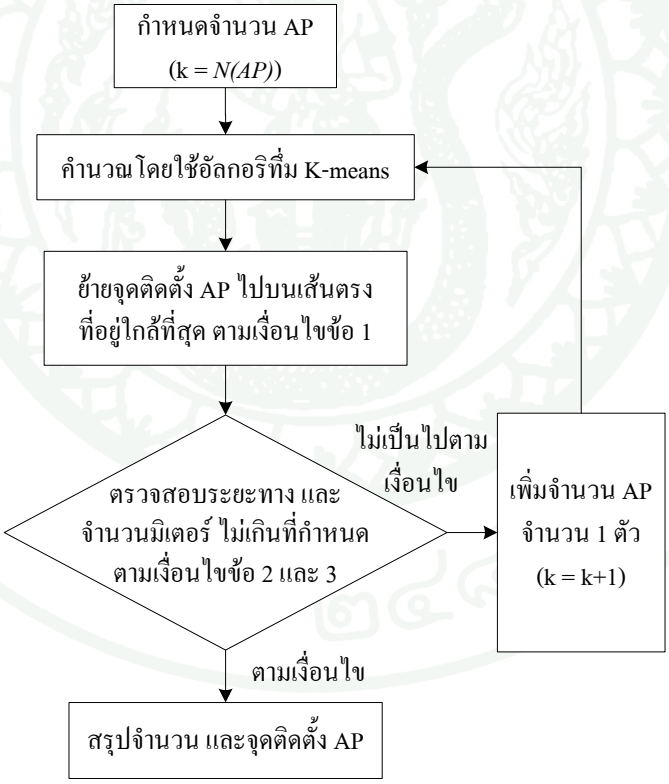
การหาจำนวน และตำแหน่งติดตั้งของอุปกรณ์ AP โดยกำหนดจำนวนอุปกรณ์ AP เริ่มต้น (k) ที่ใช้ในการคำนวณ หาจากจำนวนอุปกรณ์ AP ที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการออกแบบ ตามสมการที่ (6)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$N(AP) = \frac{N_{meter}}{N_{APmax}} \quad (6)$$

กำหนด N_{meter} คือ จำนวนมิเตอร์ทั้งหมด และ N_{APmax} คือ จำนวนมิเตอร์ที่อุปกรณ์ AP แต่ละตัวสามารถรองรับได้สูงสุด

จากนั้น ทำการหาจำนวน และตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ AP โดยใช้ K-means แบบพื้นฐาน หลังจากนั้นให้ย้าย AP จากจุดศูนย์กลางของคลัสเตอร์ไปยังจุดที่อยู่บนเส้นตรงที่ใกล้ที่สุด ตรวจสอบว่าระยะทางเกินกำหนดหรือไม่ และตรวจสอบจำนวนมิเตอร์ว่าเกินกว่าข้อกำหนดหรือไม่ ถ้ายังไม่ได้ ให้เพิ่มจำนวน AP ขึ้นครั้งละ 1 ตัว แล้วกลับไปทำ K-means โดยสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นของ AP ทั้งหมดใหม่ ภาพที่ 7 แผนผังสรุปขั้นตอนการทำงานสำหรับ AP



ภาพที่ 7 แผนผังของอัลกอริทึม K-means แบบมีเงื่อนไขจำกัด สำหรับ AP

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

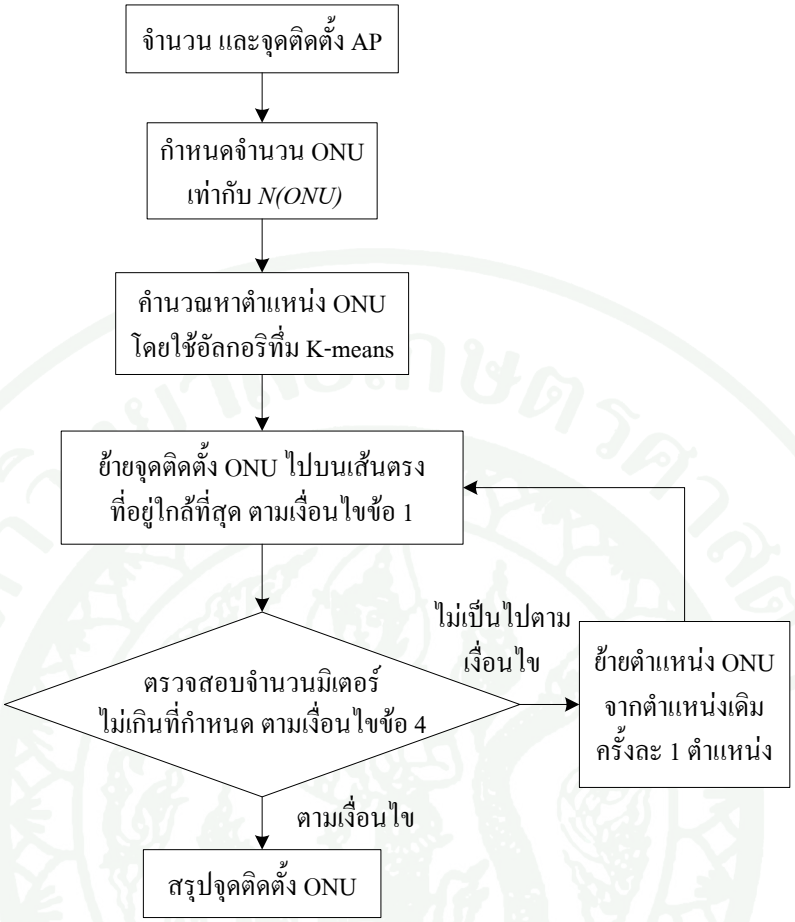
เมื่อได้จำนวนและตำแหน่งของอุปกรณ์ AP แล้ว ทำการหาจำนวนของอุปกรณ์ ONU โดยคำนวณหาจากเงื่อนไขจำนวนมิเตอร์สูงสุดที่อุปกรณ์ ONU รองรับได้ เพื่อจำกัดจำนวนอุปกรณ์ ONU ที่ใช้ให้น้อยที่สุด เนื่องจาก หากกำหนดจำนวนอุปกรณ์ ONU จากเงื่อนไขจำนวนอุปกรณ์ AP สูงสุดที่อุปกรณ์ ONU รองรับได้ จะไม่สามารถจำกัดจำนวนของอุปกรณ์ ONU ให้น้อยที่สุดได้ การคำนวณหาจำนวนอุปกรณ์ ONU ที่ใช้ในการออกแบบ ตามสมการที่ (7)

$$N(ONU) = \frac{N_{meter}}{N_{ONUmax}} \tag{7}$$

โดยที่ N_{ONUmax} คือ จำนวนมิเตอร์ที่อุปกรณ์ ONU แต่ละตัวสามารถรองรับได้สูงสุด

จากนั้น ทำการหาตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ ONU โดยใช้ K-means แบบพื้นฐาน หลังจากนั้นให้ย้าย ONU จากจุดศูนย์กลางของคลัสเตอร์ไปยังเส้นตรงที่ใกล้ที่สุด ตรวจสอบจำนวนมิเตอร์ว่าเกินกว่าข้อกำหนดหรือไม่ ถ้าเกินข้อกำหนด ให้ย้ายตำแหน่งของ ONU โดยย้ายตำแหน่ง ONU ตัวที่ครอบคลุมมิเตอร์มากที่สุดออกจากจุดศูนย์กลาง และย้ายตำแหน่ง ONU ตัวที่ครอบคลุมมิเตอร์น้อยที่สุดเข้าสู่จุดศูนย์กลาง จากตำแหน่งเดิมครั้งละ 1 ตำแหน่ง จากนั้น ย้ายตำแหน่ง ONU ไปยังเส้นตรงที่ใกล้ที่สุด แล้วตรวจสอบจำนวนมิเตอร์ว่าเกินกว่าข้อกำหนดหรือไม่ ภาพที่ 8 แผนผังสรุปขั้นตอนการทำงานสำหรับ ONU

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 8 แผนผังของอัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขจำกัด สำหรับ ONU

3. พารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับระยะทาง กับการกำหนดค่าที่ใช้ในการจำลอง

ระยะทางสูงสุดที่มิเตอร์สามารถติดต่อกับ AP ประเมินได้ดังนี้

1. อุปกรณ์ AP ที่ใช้อ้างอิง เป็น AP ยี่ห้อ CISCO รุ่น Cisco Aironet 1550 มาตรฐาน IEEE 802.11g มีค่ากำลังที่ใช้ในการส่งสูงสุด (P_t) เท่ากับ 28 dBm, ค่ากำลังน้อยที่สุดที่สามารถรับได้ ($P_{r,th}$) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง -94 dBm ถึง -78 dBm และมีอัตราการรับ/ส่งข้อมูลระหว่าง 6 Mb/s ถึง 54 Mb/s

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. ค่าการสูญเสียในเส้นทางที่ระยะทางอ้างอิง ($PL(d_0)$) ซึ่งคำนวณจาก Friis Equation ที่ความถี่พาห์ 2.4 GHz (ความยาวคลื่นเท่ากับ 0.125 m) และระยะทางอ้างอิง d_0 เท่ากับ 1 เมตร มีค่าเท่ากับ $20\log(4\pi/0.125) = 40.04$ dB

3. ค่าเลขชี้กำลังของการสูญเสียในเส้นทาง n เท่ากับ 4 เนื่องจากพื้นที่จำลองเป็นพื้นที่เป็นชุมชน

ในบทความนี้ใช้ชุดคำสั่งของ MATLAB Compatible ในการจำลองการทดลอง โดยกำหนดค่ากำลังที่ใช้ในการส่ง (P_t) เท่ากับ 28 dBm และค่ากำลังน้อยที่สุดที่สามารถรับได้ ($P_{r,th}$) เท่ากับ -80 dBm ดังนั้น ระยะทางสูงสุดที่มิเตอร์สามารถติดต่อกับอุปกรณ์ AP ได้ เมื่อคำนวณตามสมการที่ (4) และ (5) เท่ากับ 50 เมตร และอุปกรณ์ AP มีอัตราการรับส่งข้อมูลประมาณ 48 Mb/s กำหนดให้อุปกรณ์ AP 1 ตัว สามารถรองรับมิเตอร์ได้ไม่เกินจำนวน 20 ตัว โดยมิเตอร์จำนวน 1 ตัว มีอัตราการรับ/ส่งข้อมูลที่ 2.4 Mb/s เพื่อรองรับการให้บริการด้านพลังงานไฟฟ้าในอนาคต และกำหนดให้อุปกรณ์ ONU จำนวน 1 ตัว สามารถรองรับมิเตอร์ได้ไม่เกิน 85 ตัว โดยอุปกรณ์ ONU จำนวน 1 ตัว รองรับอัตราการรับ/ส่งข้อมูลมิเตอร์ที่ 204 Mb/s และแบนด์วิดท์ของอุปกรณ์ ONU ที่เหลือประมาณ 1.04 Gb ถูกเก็บไว้เพื่อให้บริการด้านสื่อสารโทรคมนาคมในอนาคต

4. สถานที่ทำการทดลองและระยะเวลาในการทดลอง

การออกแบบและการทดลองงานวิจัยนี้ได้ทำที่ ห้องปฏิบัติการ ชั้น 5 ห้อง 505/5 อาคาร 60 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยใช้เวลาในการวิจัย ออกแบบ และทดลองผล รวมกันทั้งสิ้น 12 เดือน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

ผล

ดำเนินการทดสอบอัลกอลิทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด โดยจำลองกับข้อมูล 2 แบบ ได้แก่ ข้อมูลแบบสังเคราะห์ และข้อมูลทางเทคนิคจริง

การจำลองกับข้อมูลแบบสังเคราะห์

โดยมีประเด็นที่ใช้จำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลแบบสังเคราะห์ ได้แก่

1. กรณีอุปกรณ์ AP

1.1 ใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด โดยผลที่ได้ต้องไม่มีมิเตอร์อยู่นอกพื้นที่ครอบคลุมของ AP และไม่มี AP ที่มีสมาชิกมิเตอร์เกิน 20 ตัว

1.2 ใช้วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง โดยมีเงื่อนไข คือ ใช้จำนวนอุปกรณ์ AP เท่ากับข้อ 1, อุปกรณ์ AP แต่ละตัวมีระยะห่างเท่ากัน และจัดกลุ่มมิเตอร์กับ AP โดยใช้ระยะทางที่ใกล้กับ AP ที่สุด

1.3 เปรียบเทียบผลจากการจำลอง ในข้อ 1 และ 2

2. กรณีอุปกรณ์ ONU

2.1 ใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด โดยผลที่ได้ต้องไม่มี ONU ที่มีสมาชิกมิเตอร์เกิน 85 ตัว (จากการคำนวณใช้อุปกรณ์ ONU จำนวน 3 ตัว)

2.2 ใช้วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง โดยมีเงื่อนไข คือ ใช้จำนวน และตำแหน่งของ AP เหมือนกับข้อ 1, ใช้จำนวนอุปกรณ์ ONU เท่ากับข้อ 1, อุปกรณ์ ONU แต่ละตัวมีระยะห่างเท่ากัน และจัดกลุ่ม AP กับ ONU โดยใช้ระยะทางที่ใกล้กับ ONU ที่สุด

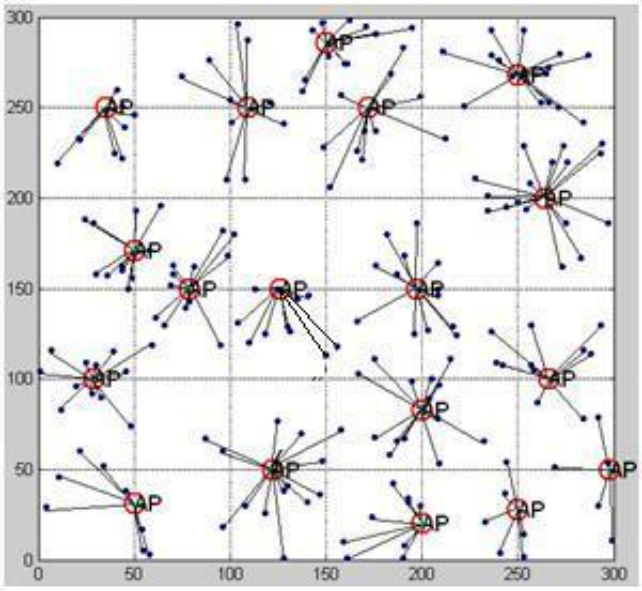
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3 เปรียบเทียบผลจากการจำลอง ในข้อ 1 และ 2

กำหนดพื้นที่ที่ใช้จำลองขนาด 300×300 ตารางเมตร มีมิเตอร์จำนวน 200 ตัว และเส้นตรงทุกๆ 50 เมตร โดยกำหนดตำแหน่งมิเตอร์ที่ใช้จำลองกับข้อมูลแบบสังเคราะห์เป็น 2 กรณี ได้แก่

1. ตำแหน่งมิเตอร์สุ่มแบบยูนิฟอร์ม โดยการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์ จำนวน 20 ครั้ง มีผลการจำลอง ดังนี้

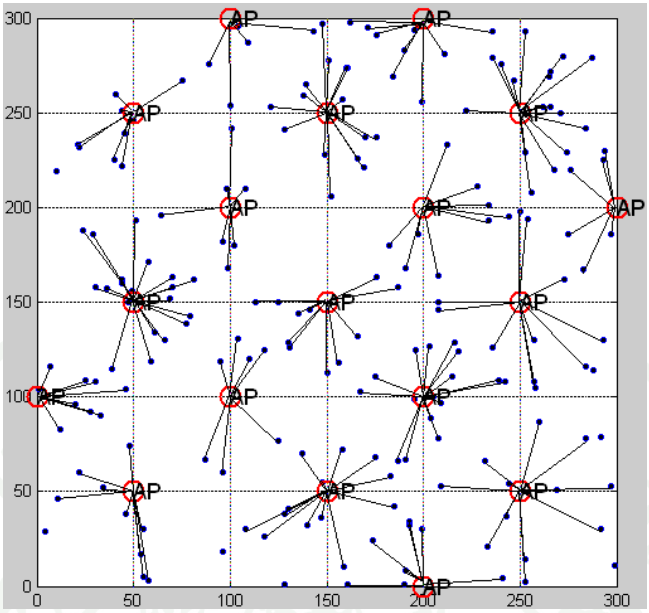
1.1 ผลการจำลองเปรียบเทียบของอุปกรณ์ AP โดยมีภาพตัวอย่างการจำลองเปรียบเทียบโดยใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด และใช้วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง ตามภาพที่ 9



(ก)

ภาพที่ 9 แสดงตัวอย่างตำแหน่งของอุปกรณ์ AP และกลุ่มของมิเตอร์ที่อยู่ในพื้นที่ครอบคลุม จากการกำหนดตำแหน่งมิเตอร์สุ่มแบบยูนิฟอร์ม ที่ได้จากการจำลองเปรียบเทียบ (ก) อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด และ (ข) วิธีกำหนดตำแหน่งอุปกรณ์ AP เอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



(ข)

ภาพที่ 9 (ต่อ)

ผลการจำลองเปรียบเทียบของอุปกรณ์ AP แสดงตามตารางที่ 1 สรุปผลการจำลองโดยใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด แสดงตามตารางที่ 2 และสรุปผลการจำลองโดยใช้วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง แสดงตามตารางที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 แสดงผลการจำลองเปรียบเทียบ ระหว่างวิธีการใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด กับวิธีการกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง โดยกำหนดตำแหน่งมิเตอร์สุ่มแบบยูนิฟอร์ม จำนวน 20 ครั้ง

ครั้งที่	วิธีการที่ใช้					
	วิธีที่ 1 อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด			วิธีที่ 2 กำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง		
	จำนวน AP ที่ได้	จำนวนมิเตอร์ที่อยู่นอกพื้นที่ครอบคลุม AP	จำนวน AP ที่มีมิเตอร์เกิน 20 ตัว	จำนวนAP (เท่ากับวิธีที่ 1)	จำนวนมิเตอร์ที่อยู่นอกพื้นที่ครอบคลุม AP	จำนวน AP ที่มีมิเตอร์เกิน 20 ตัว
1	18	0	0	18	7	0
2	18	0	0	18	9	0
3	20	0	0	20	8	0
4	19	0	0	19	12	0
5	19	0	0	19	7	1
6	21	0	0	21	5	0
7	21	0	0	21	7	0
8	19	0	0	19	10	0
9	18	0	0	18	13	0
10	19	0	0	19	11	0
11	18	0	0	18	8	0
12	20	0	0	20	7	0
13	21	0	0	21	9	0
14	18	0	0	18	12	0
15	20	0	0	20	7	0
16	20	0	0	20	6	1
17	20	0	0	20	3	0
18	19	0	0	19	6	1
19	20	0	0	20	5	0
20	19	0	0	19	7	0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 สรุปผลการจำลองโดยใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบยูนิฟอร์ม จำนวน 20 ครั้ง

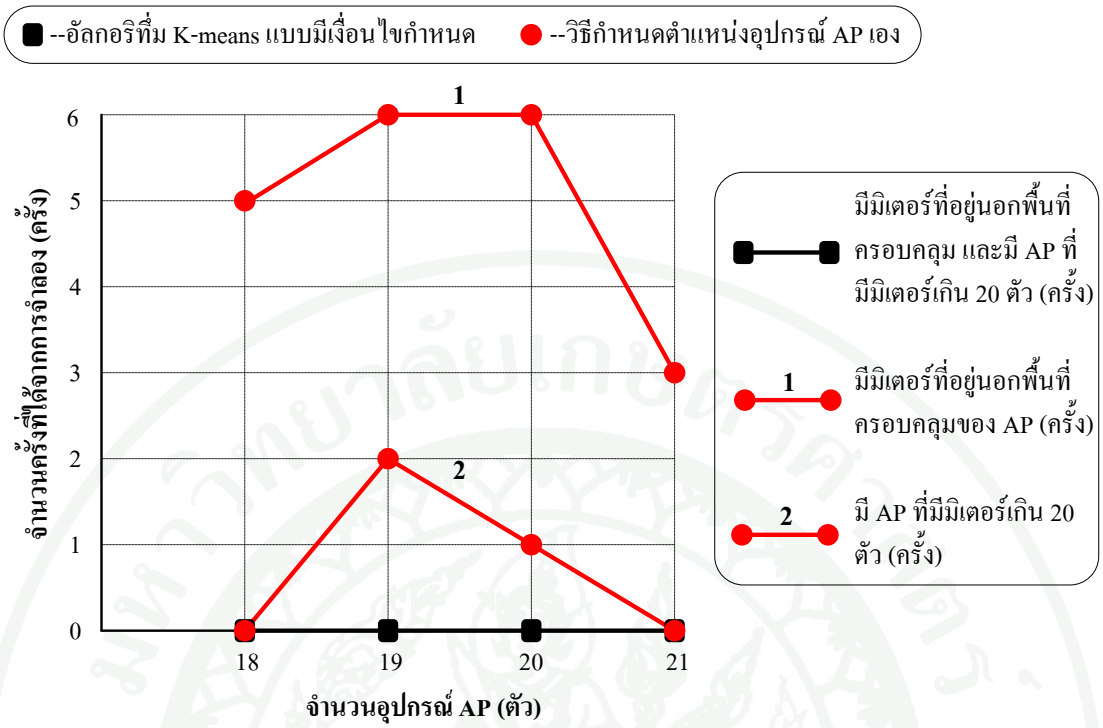
จำนวน AP ที่ได้	จำนวนครั้งที่เกิดจากการจำลอง 20 ครั้ง	จำนวนครั้งที่มีมิเตอร์อยู่นอกพื้นที่ครอบคลุมของ AP	จำนวนครั้งที่ AP มีมิเตอร์เกิน 20 ตัว
18	5	0	0
19	6	0	0
20	6	0	0
21	3	0	0

ตารางที่ 3 สรุปผลการจำลองโดยใช้วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบยูนิฟอร์ม จำนวน 20 ครั้ง

จำนวน AP ที่ได้	จำนวนครั้งที่เกิดจากการจำลอง 20 ครั้ง	จำนวนครั้งที่มีมิเตอร์อยู่นอกพื้นที่ครอบคลุมของ AP	จำนวนครั้งที่ AP มีมิเตอร์เกิน 20 ตัว
18	5	5	0
19	6	6	2
20	6	6	1
21	3	3	0

สรุปผลการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลแบบสังเคราะห์ของอุปกรณ์ AP ระหว่างอัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด กับวิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง แสดงตามภาพที่ 10

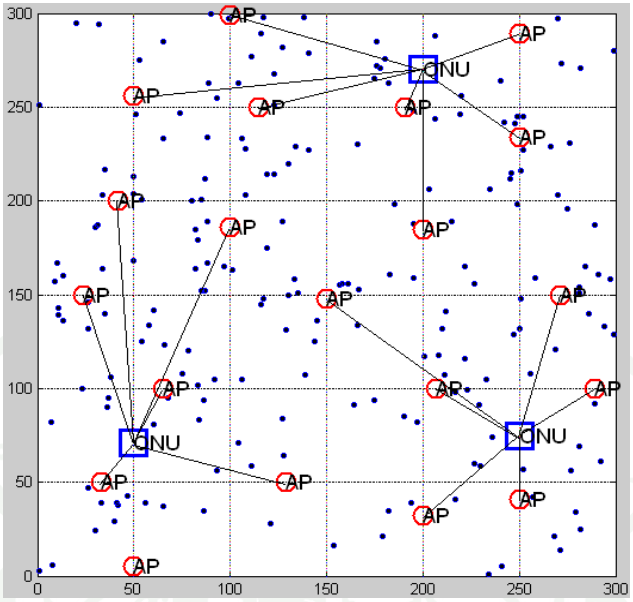
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



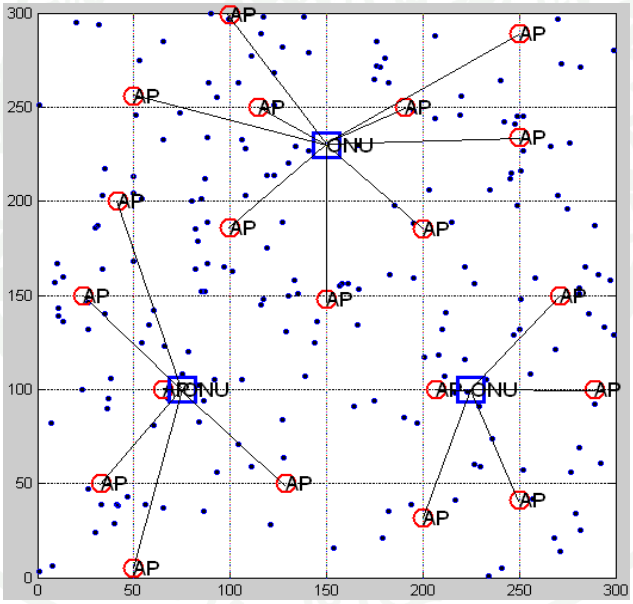
ภาพที่ 10 แสดงสรุปผลการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลแบบสังเคราะห์ของอุปกรณ์ AP ระหว่างอัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด กับวิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง ที่ได้จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบยูนิฟอร์ม จำนวน 20 ครั้ง

1.2 ผลการจำลองเปรียบเทียบของอุปกรณ์ ONU โดยมีจำนวน ONU ที่ได้จากการคำนวณจำนวน 3 ตัว ภาพตัวอย่างการจำลองเปรียบเทียบ โดยใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด และใช้วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง ตามภาพที่ 11

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



(ก)



(ข)

ภาพที่ 11 แสดงตัวอย่างตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU และกลุ่มของ AP ที่อยู่ในพื้นที่ครอบคลุม จากการกำหนดตำแหน่งมิเตอร์สุ่มแบบยูนิฟอร์ม ที่ได้จากการจำลองเปรียบเทียบ (ก) อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด และ (ข) วิธีกำหนดตำแหน่งอุปกรณ์ ONU เอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลการจำลองเปรียบเทียบของอุปกรณ์ ONU แสดงตามตารางที่ 4 สรุปผลการจำลองโดยใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด แสดงตามตารางที่ 5 และสรุปผลการจำลองโดยใช้วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง แสดงตามตารางที่ 6

ตารางที่ 4 แสดงผลการจำลองเปรียบเทียบ ระหว่างวิธีการใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด กับวิธีการกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง โดยกำหนดตำแหน่งมิเตอร์สุ่มแบบยูนิฟอร์ม จำนวน 20 ครั้ง

ครั้งที่	วิธีการที่ใช้			
	วิธีที่ 1 อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด		วิธีที่ 2 กำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง	
	จำนวน AP ที่ได้	จำนวนมิเตอร์ต่อ ONU ที่ได้ (ONU ตัวที่ [1 2 3])	จำนวนAP (เท่ากับวิธีที่ 1)	จำนวนมิเตอร์ต่อ ONU ที่ได้ (ONU ตัวที่ [1 2 3])
1	19	[54 84 62]	19	[46 57 97]
2	18	[73 77 50]	18	[60 67 73]
3	20	[62 72 66]	20	[55 48 97]
4	20	[48 75 77]	20	[62 70 68]
5	20	[82 70 48]	20	[68 50 82]
6	21	[66 68 66]	21	[61 48 91]
7	19	[67 75 58]	19	[64 61 75]
8	19	[67 68 65]	19	[34 82 84]
9	19	[72 71 57]	19	[57 71 72]
10	20	[55 85 60]	20	[55 73 72]
11	20	[68 53 79]	20	[46 73 81]
12	19	[53 78 69]	19	[69 57 74]
13	21	[81 52 67]	21	[56 52 92]
14	18	[63 76 61]	18	[45 82 73]
15	21	[77 61 62]	21	[69 83 48]
16	20	[68 49 83]	20	[56 71 73]

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ครั้งที่	วิธีการที่ใช้			
	วิธีที่ 1 อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด		วิธีที่ 2 กำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง	
	จำนวน AP ที่ได้	จำนวนมิเตอร์ต่อ ONU ที่ได้ (ONU ตัวที่ [1 2 3])	จำนวนAP (เท่ากับวิธีที่ 1)	จำนวนมิเตอร์ต่อ ONU ที่ได้ (ONU ตัวที่ [1 2 3])
17	20	[78 55 67]	20	[67 78 55]
18	20	[59 83 58]	20	[61 75 64]
19	18	[68 49 83]	18	[59 48 93]
20	18	[85 71 44]	18	[70 75 55]

ตารางที่ 5 สรุปผลการจำลองโดยใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบยูนิฟอร์ม จำนวน 20 ครั้ง

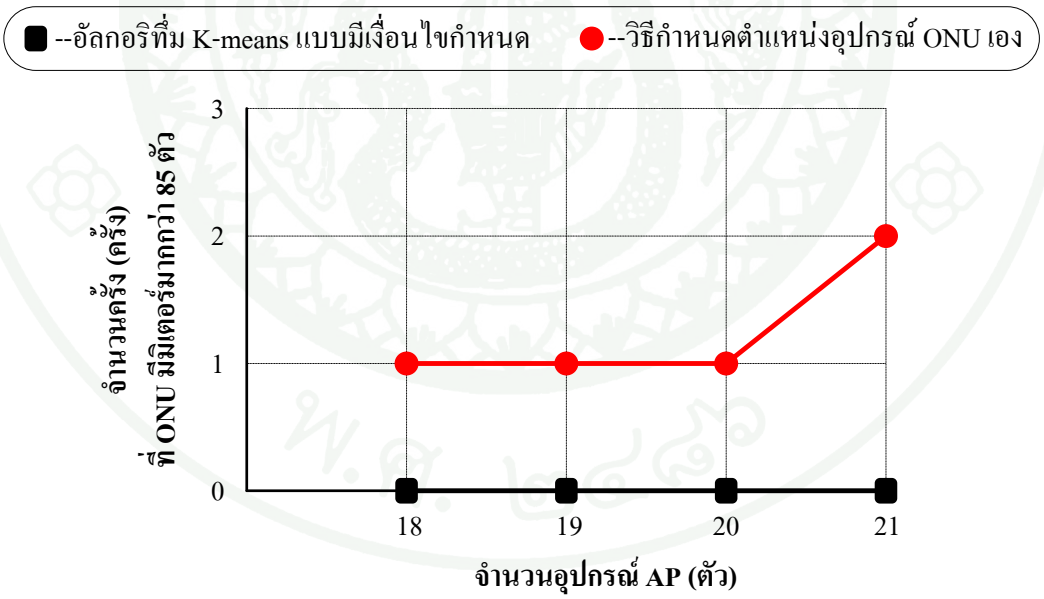
จำนวน AP ที่ได้	จำนวนครั้งที่เกิดจากการจำลอง 20 ครั้ง	จำนวนครั้งที่ ONU มีมิเตอร์เกิน 85 ตัว
18	4	0
19	5	0
20	8	0
21	3	0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 สรุปผลการจำลองโดยใช้วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบยูนิฟอร์ม จำนวน 20 ครั้ง

จำนวน AP ที่ได้	จำนวนครั้งที่เกิดจากการจำลอง 20 ครั้ง	จำนวนครั้งที่ ONU มีมิเตอร์เกิน 85 ตัว
18	4	1
19	5	1
20	8	1
21	3	2

สรุปผลการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลแบบสังเคราะห์ของอุปกรณ์ ONU ระหว่างอัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด กับวิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง แสดงตามภาพที่ 12



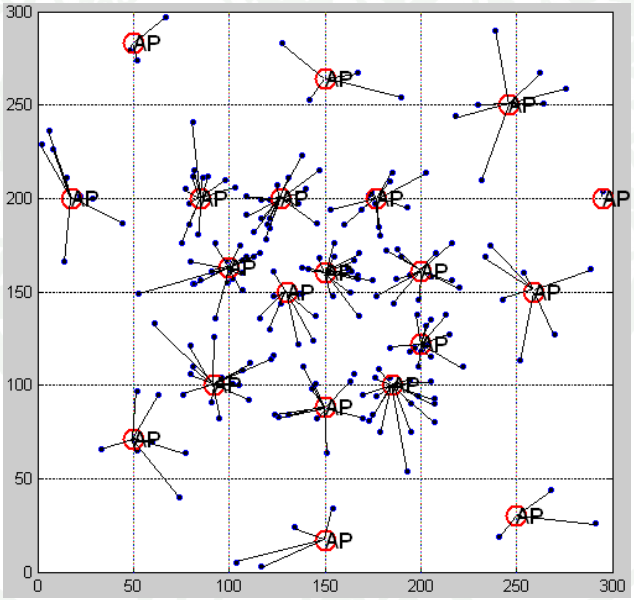
ภาพที่ 12 แสดงสรุปผลการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลแบบสังเคราะห์ของอุปกรณ์ ONU ระหว่างอัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด กับวิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง ที่ได้จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบยูนิฟอร์ม จำนวน 20 ครั้ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. ตำแหน่งมิเตอร์สุ่มแบบหนาแน่นบริเวณพื้นที่กึ่งกลาง (Center Weighed) ขนาดพื้นที่ 150×150 ตารางเมตร จำนวน 120 ตัว และกระจายตัวทั่วพื้นที่จำนวน 80 ตัว โดยการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์ จำนวน 20 ครั้ง มีผลการจำลอง ดังนี้

2.1 ผลการจำลองเปรียบเทียบของอุปกรณ์ AP โดยมีภาพตัวอย่างการจำลองเปรียบเทียบโดยใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด และใช้วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง ตามภาพที่ 13

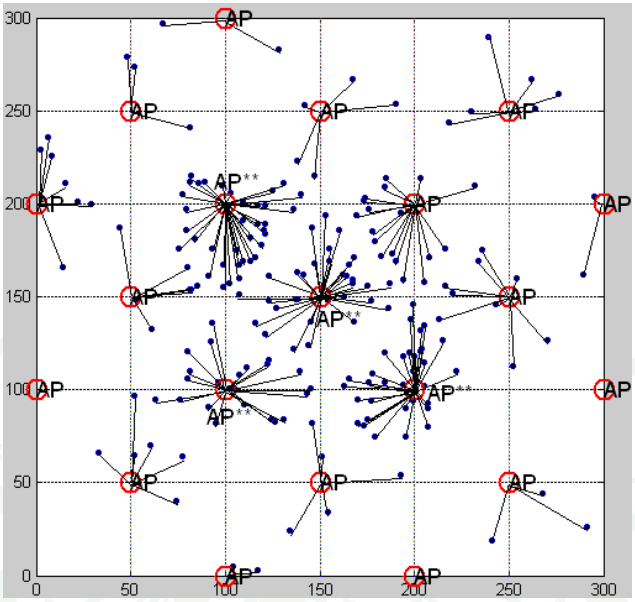
ผลการจำลองเปรียบเทียบของอุปกรณ์ AP แสดงตามตารางที่ 7 สรุปผลการจำลองโดยใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด แสดงตามตารางที่ 8 และสรุปผลการจำลองโดยใช้วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง แสดงตามตารางที่ 9



(ก)

ภาพที่ 13 แสดงตัวอย่างตำแหน่งของอุปกรณ์ AP และกลุ่มของมิเตอร์ที่อยู่ในพื้นที่ครอบคลุมจากการกำหนดตำแหน่งมิเตอร์สุ่มแบบหนาแน่นบริเวณพื้นที่กึ่งกลาง ที่ได้จากการจำลองเปรียบเทียบ (ก) อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด และ (ข) วิธีกำหนดตำแหน่งอุปกรณ์ AP เอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



(ข)

ภาพที่ 13 (ต่อ)

ตารางที่ 7 แสดงผลการจำลองเปรียบเทียบ ระหว่างวิธีการใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด กับวิธีการกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง โดยกำหนดตำแหน่งมิเตอร์สุ่มแบบหนาแน่นบริเวณพื้นที่กึ่งกลาง จำนวน 20 ครั้ง

ครั้งที่	วิธีการที่ใช้					
	วิธีที่ 1 อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด			วิธีที่ 2 กำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง		
	จำนวน AP ที่ได้	จำนวนมิเตอร์ที่อยู่นอกพื้นที่ครอบคลุม AP	จำนวน AP ที่มีมิเตอร์เกิน 20 ตัว	จำนวนAP (เท่ากับแบบที่ 1)	จำนวนมิเตอร์ที่อยู่นอกพื้นที่ครอบคลุม AP	จำนวน AP ที่มีมิเตอร์เกิน 20 ตัว
1	20	0	0	20	0	4
2	22	0	0	22	1	4
3	20	0	0	20	2	5
4	19	0	0	19	2	4
5	22	0	0	22	2	3
6	21	0	0	21	1	4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ครั้งที่	วิธีการที่ใช้					
	วิธีที่ 1 อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด			วิธีที่ 2 กำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง		
	จำนวน AP ที่ได้	จำนวนมิเตอร์ที่อยู่นอกพื้นที่ครอบคลุม AP	จำนวน AP ที่มีมิเตอร์เกิน 20 ตัว	จำนวนAP (เท่ากับแบบที่ 1)	จำนวนมิเตอร์ที่อยู่นอกพื้นที่ครอบคลุม AP	จำนวน AP ที่มีมิเตอร์เกิน 20 ตัว
7	21	0	0	21	1	5
8	19	0	0	19	2	4
9	21	0	0	21	4	3
10	20	0	0	20	3	4
11	22	0	0	22	5	2
12	22	0	0	22	1	3
13	21	0	0	21	0	4
14	21	0	0	21	2	5
15	19	0	0	19	2	4
16	22	0	0	22	1	4
17	20	0	0	20	3	4
18	22	0	0	22	3	5
19	21	0	0	21	4	5
20	21	0	0	21	2	4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 สรุปผลการจำลองโดยใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบหนาแน่นบริเวณพื้นที่กึ่งกลาง จำนวน 20 ครั้ง

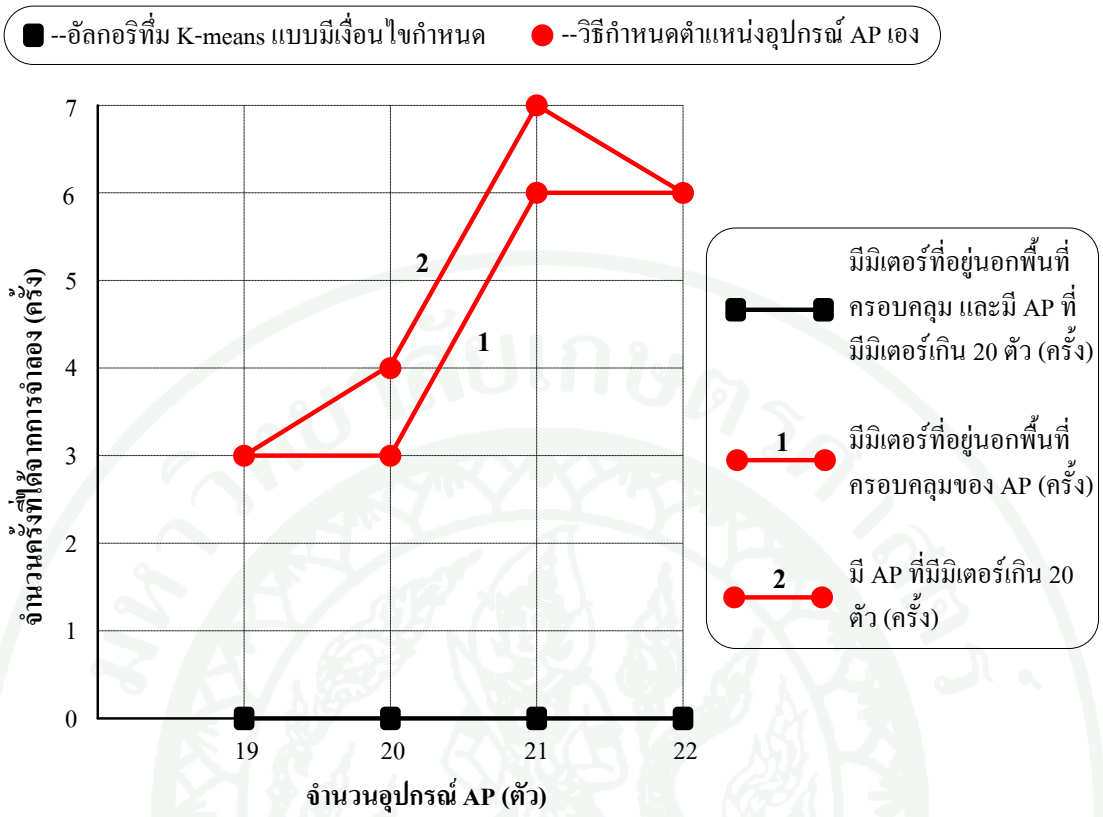
จำนวน AP ที่ได้	จำนวนครั้ง	จำนวนมิเตอร์ที่อยู่นอกพื้นที่ครอบคลุม ของ AP	จำนวน AP ที่มีมิเตอร์มากกว่า 20 ตัว
19	3	0	0
20	4	0	0
21	7	0	0
22	6	0	0

ตารางที่ 9 สรุปผลการจำลองโดยใช้วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบหนาแน่นบริเวณพื้นที่กึ่งกลาง จำนวน 20 ครั้ง

จำนวน AP ที่ได้	จำนวนครั้งที่เกิดจากการจำลอง 20 ครั้ง	จำนวนครั้งที่มีมิเตอร์อยู่นอกพื้นที่ครอบคลุมของ AP	จำนวนครั้งที่ AP มีมิเตอร์เกิน 20 ตัว
19	3	3	3
20	4	3	4
21	7	6	7
22	6	6	6

สรุปผลการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลแบบสังเคราะห์ของอุปกรณ์ AP ระหว่างอัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด กับวิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง แสดงตามภาพที่ 14

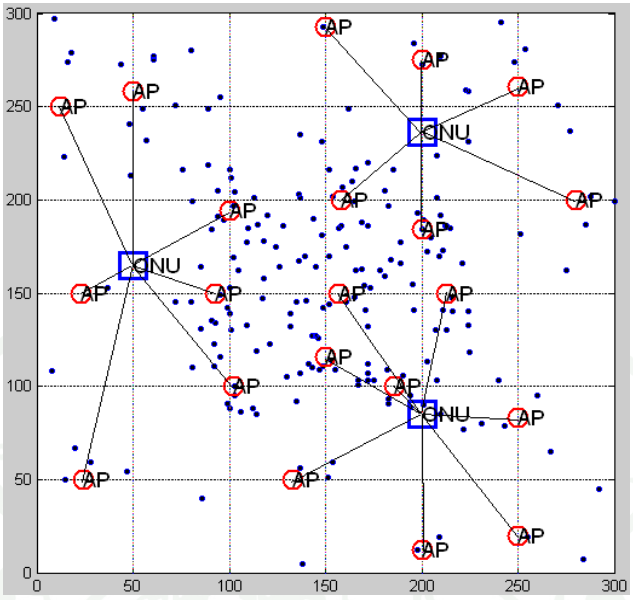
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



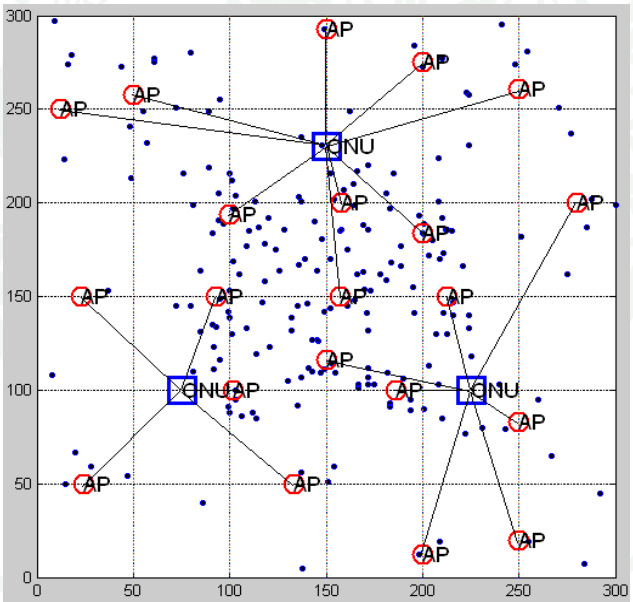
ภาพที่ 14 แสดงสรุปผลการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลแบบสังเคราะห์ของอุปกรณ์ AP ระหว่างอัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด กับวิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง ที่ได้จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบหนาแน่นบริเวณพื้นที่กึ่งกลาง จำนวน 20 ครั้ง

2.2 ผลการจำลองเปรียบเทียบของอุปกรณ์ ONU โดยมีจำนวน ONU ที่ได้จากการคำนวณจำนวน 3 ตัว ภาพตัวอย่างการจำลองเปรียบเทียบ โดยใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด และใช้วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง ตามภาพที่ 15

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



(ก)



(ข)

ภาพที่ 15 แสดงตัวอย่างตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU และกลุ่มของ AP ที่อยู่ในพื้นที่ครอบคลุม จากการกำหนดตำแหน่งมิเตอร์สุ่มแบบหนาแน่นบริเวณพื้นที่กึ่งกลาง ที่ได้จากการจำลองเปรียบเทียบ (ก) อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด และ (ข) วิธีกำหนดตำแหน่งอุปกรณ์ ONU เอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลการจำลองเปรียบเทียบของอุปกรณ์ ONU แสดงตามตารางที่ 10 สรุปผลการจำลองโดยใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด แสดงตามตารางที่ 11 และสรุปผลการจำลองโดยใช้วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง แสดงตามตารางที่ 12

ตารางที่ 10 แสดงผลการจำลองเปรียบเทียบ ระหว่างวิธีการใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด กับวิธีการกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง โดยกำหนดตำแหน่งมิเตอร์สุ่มแบบหนาแน่นบริเวณพื้นที่กึ่งกลาง จำนวน 20 ครั้ง

ครั้งที่	วิธีการที่ใช้			
	วิธีที่ 1 อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด		วิธีที่ 2 กำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง	
	จำนวน AP ที่ได้	จำนวนมิเตอร์ต่อ ONU ที่ได้ (ONU ตัวที่ [1 2 3])	จำนวนAP (เท่ากับวิธีที่ 1)	จำนวนมิเตอร์ต่อ ONU ที่ได้ (ONU ตัวที่ [1 2 3])
1	22	[78 50 72]	22	[42 72 86]
2	22	[77 56 67]	22	[47 78 75]
3	19	[60 66 74]	19	[57 70 73]
4	22	[45 81 74]	22	[63 77 60]
5	21	[67 60 73]	21	[50 80 70]
6	21	[80 67 53]	21	[72 63 65]
7	19	[45 76 79]	19	[49 82 69]
8	21	[62 73 65]	21	[65 51 84]
9	20	[65 64 71]	20	[67 54 79]
10	22	[67 63 70]	22	[63 66 71]
11	22	[77 42 81]	22	[39 89 72]
12	21	[61 75 64]	21	[55 80 65]
13	21	[68 77 55]	21	[39 57 104]
14	20	[45 77 78]	20	[40 73 87]
15	19	[60 66 74]	19	[57 70 73]
16	22	[45 81 74]	22	[63 77 60]

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ครั้งที่	วิธีการที่ใช้			
	วิธีที่ 1 อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด		วิธีที่ 2 กำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง	
	จำนวน AP ที่ได้	จำนวนมิเตอร์ต่อ ONU ที่ได้ (ONU ตัวที่ [1 2 3])	จำนวนAP (เท่ากับวิธีที่ 1)	จำนวนมิเตอร์ต่อ ONU ที่ได้ (ONU ตัวที่ [1 2 3])
17	21	[60 67 73]	21	[50 80 70]
18	19	[45 76 79]	19	[49 82 69]
19	21	[62 73 65]	21	[65 51 84]
20	20	[65 64 71]	20	[67 54 79]

ตารางที่ 11 สรุปผลการจำลองโดยใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบหนาแน่นบริเวณพื้นที่กึ่งกลาง จำนวน 20 ครั้ง

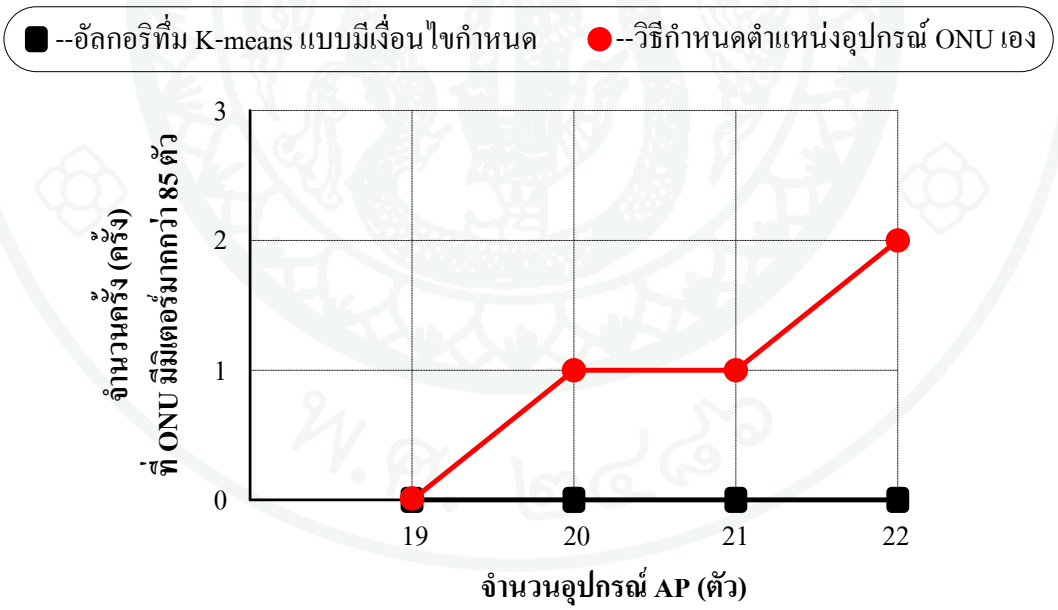
จำนวน AP ที่ได้	จำนวนครั้งที่เกิดจากการจำลอง 20 ครั้ง	จำนวนครั้งที่ ONU มีมิเตอร์เกิน 85 ตัว
19	4	0
20	3	0
21	7	0
22	6	0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 สรุปผลการจำลองโดยใช้วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบหนาแน่นบริเวณพื้นที่กึ่งกลาง จำนวน 20 ครั้ง

จำนวน AP ที่ได้	จำนวนครั้งที่เกิดจากการจำลอง 20 ครั้ง	จำนวนครั้งที่ ONU มีมิเตอร์เกิน 85 ตัว
19	4	0
20	3	1
21	7	1
22	6	2

สรุปผลการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลแบบสังเคราะห์ของอุปกรณ์ ONU ระหว่างอัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด กับวิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง แสดงตามภาพที่ 16



ภาพที่ 16 แสดงสรุปผลการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลแบบสังเคราะห์ของอุปกรณ์ ONU ระหว่างอัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด กับวิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง ที่ได้จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบหนาแน่นบริเวณพื้นที่กึ่งกลาง จำนวน 20 ครั้ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การจำลองกับข้อมูลทางเทคนิคจริง

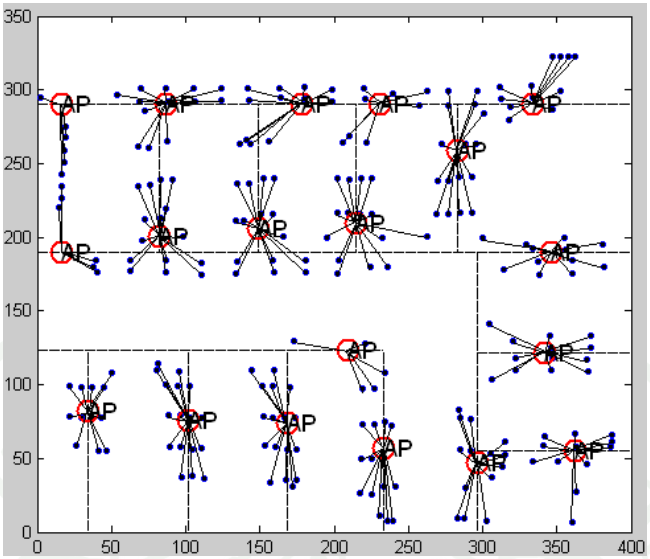
โดยใช้ข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ของ กฟภ. ที่มีพิกัดตำแหน่งของมิเตอร์ที่ติดตั้งใช้งานจริง กำหนดบริเวณที่ใช้ในการจำลองอยู่ในพื้นที่จังหวัดภูเก็ต ขนาด 350×400 ตารางเมตร มีมิเตอร์จำนวน 233 ตัว ตามภาพที่ 17

ภาพที่ 17 แสดงบริเวณที่ใช้จำลองในจังหวัดภูเก็ต ขนาดพื้นที่ 350x400 ตารางเมตร มิเตอร์ 233 ตัว

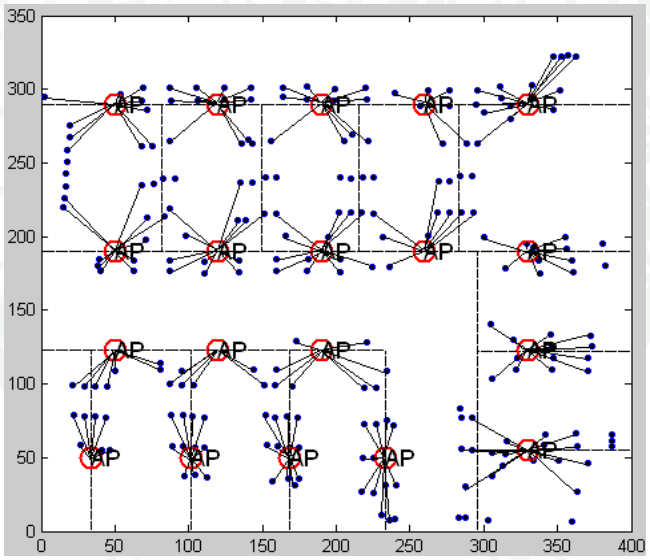
ผลการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลทางเทคนิคจริงของอุปกรณ์ AP โดยมีภาพการจำลองเปรียบเทียบโดยใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด และใช้วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง ตามภาพที่ 18 และผลการจำลองเปรียบเทียบของอุปกรณ์ AP แสดงตามตารางที่ 13

ผลการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลทางเทคนิคจริงของอุปกรณ์ ONU โดยมีภาพการจำลองเปรียบเทียบโดยใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด และใช้วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง ตามภาพที่ 19 และผลการจำลองเปรียบเทียบของอุปกรณ์ ONU แสดงตามตารางที่ 14

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



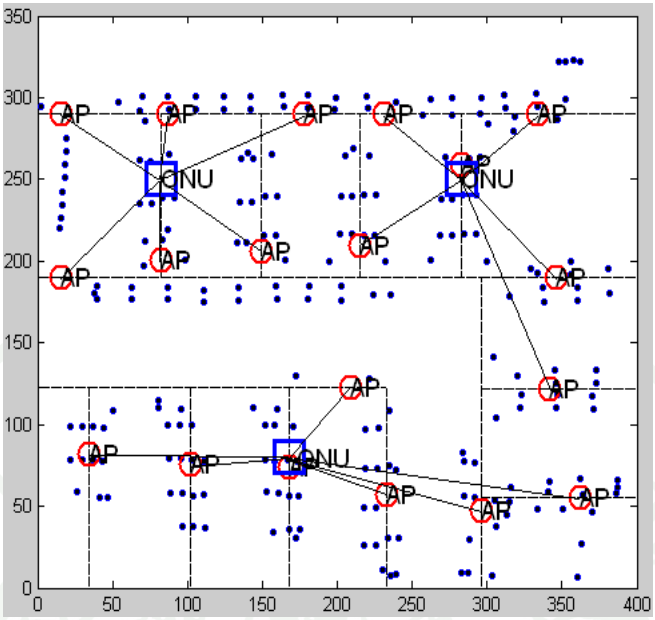
(ก)



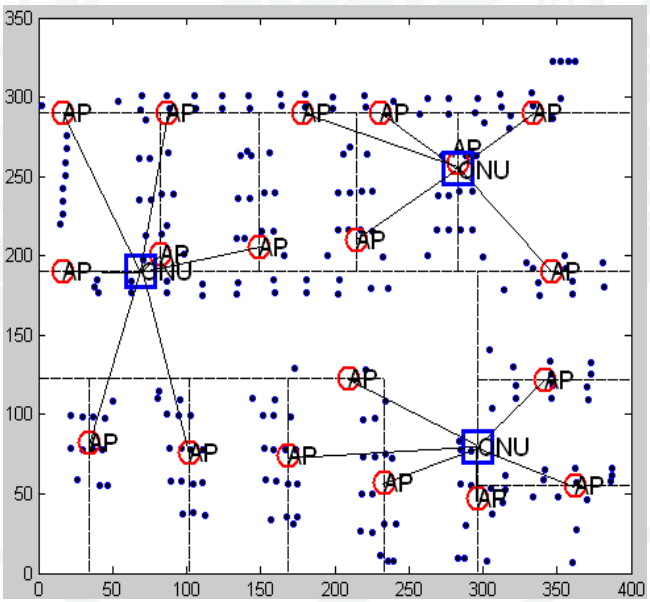
(ข)

ภาพที่ 18 แสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ AP และกลุ่มของมิเตอร์ที่อยู่ในพื้นที่ครอบคลุม จากการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลทางเทคนิคจริงของอุปกรณ์ AP (ก) อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด และ (ข) วิธีกำหนดตำแหน่งอุปกรณ์ AP เอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



(ก)



(ข)

ภาพที่ 19 แสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU และกลุ่มของอุปกรณ์ AP ที่อยู่ในพื้นที่ครอบคลุม จากการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลทางเทคนิคจริงของอุปกรณ์ ONU (ก) อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด และ (ข) วิธีกำหนดตำแหน่งอุปกรณ์ ONU เอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 13 ผลการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลทางเทคนิคจริง ของอุปกรณ์ AP

วิธีการ	ผลการทดลอง	
	จำนวนมิเตอร์ที่อยู่นอกพื้นที่ครอบคลุมของ AP (ตัว)	จำนวน AP ที่มีสมาชิกมิเตอร์เกิน 20 ตัว (ตัว)
อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนดกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง	0	0
	27	0

ตารางที่ 14 ผลการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลทางเทคนิคจริง ของอุปกรณ์ ONU

วิธีการ	ผลการทดลอง
	จำนวน ONU ที่มีสมาชิกมิเตอร์เกิน 85 ตัว (ตัว)
อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนดกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ ONU เอง	0
	1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิจารณ์

1. ผลการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลแบบสังเคราะห์ แบ่งผลการจำลองตามการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์ ดังนี้

1.1 การสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบยูนิฟอร์ม จำนวน 20 ครั้ง โดยใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด พบว่า ไม่มีมิเตอร์อยู่นอกพื้นที่ครอบคลุมของ AP, ไม่มี AP ที่มีสมาชิกมิเตอร์เกิน 20 ตัว, ไม่มี ONU ที่มีสมาชิกมิเตอร์เกิน 85 ตัว และอุปกรณ์ AP และ ONU ทุกตัว อยู่บนเส้นตรง (กริด)

1.2 การสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบยูนิฟอร์ม จำนวน 20 ครั้ง โดยใช้วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง พบว่า มีมิเตอร์อยู่นอกพื้นที่ครอบคลุมของ AP จำนวน 20 ครั้ง, มี AP ที่มีสมาชิกมิเตอร์เกิน 20 ตัว จำนวน 3 ครั้ง, มี ONU ที่มีสมาชิกมิเตอร์เกิน 85 ตัว จำนวน 5 ครั้ง และอุปกรณ์ AP และ ONU ทุกตัว อยู่บนเส้นตรง (กริด)

1.3 การสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบไม่กระจายตัว จำนวน 20 ครั้ง โดยใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด พบว่า ไม่มีมิเตอร์อยู่นอกพื้นที่ครอบคลุมของ AP, ไม่มี AP ที่มีสมาชิกมิเตอร์เกิน 20 ตัว, ไม่มี ONU ที่มีสมาชิกมิเตอร์เกิน 85 ตัว และอุปกรณ์ AP และ ONU ทุกตัว อยู่บนเส้นตรง (กริด)

1.4 การสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบไม่กระจายตัว จำนวน 20 ครั้ง โดยใช้วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง พบว่า มีมิเตอร์อยู่นอกพื้นที่ครอบคลุมของ AP จำนวน 18 ครั้ง, มี AP ที่มีสมาชิกมิเตอร์เกิน 20 ตัว จำนวน 20 ครั้ง, มี ONU ที่มีสมาชิกมิเตอร์เกิน 85 ตัว จำนวน 4 ครั้ง และอุปกรณ์ AP และ ONU ทุกตัว อยู่บนเส้นตรง (กริด)

2. ผลการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลทางเทคนิคจริง

2.1 โดยใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด พบว่า ไม่มีมิเตอร์อยู่นอกพื้นที่ครอบคลุมของ AP, ไม่มี AP ที่มีสมาชิกมิเตอร์เกิน 20 ตัว, ไม่มี ONU ที่มีสมาชิกมิเตอร์เกิน 85 ตัว และอุปกรณ์ AP และ ONU ทุกตัว อยู่บนเส้นตรง (กริด)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 โดยใช้วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP เอง พบว่า มีมิเตอร์อยู่นอกพื้นที่ครอบคลุมของ AP จำนวน 27 ตัว, ไม่มี AP ที่มีสมาชิกมิเตอร์เกิน 20 ตัว, มี ONU ที่มีสมาชิกมิเตอร์เกิน 85 ตัว จำนวน 1 ตัว และอุปกรณ์ AP และ ONU ทุกตัว อยู่บนเส้นตรง (กริด)

งานวิจัยนี้ใช้วิธีกำหนดการแพร่กระจายคลื่นในลักษณะ มีค่าการสูญเสียในเส้นทางเท่ากันทุกทิศทาง และวัตถุที่อยู่ในแนวการเดินทางของคลื่น ไม่มีผลต่อการแพร่กระจายของคลื่น ทำให้มีข้อจำกัดในการออกแบบใช้งานในพื้นที่จริง โดยตำแหน่งของอุปกรณ์ AP ที่ได้จากอัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด อาจไม่สามารถครอบคลุมตำแหน่งมิเตอร์ตามที่ออกแบบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้ นำเสนอการออกแบบระบบสื่อสารเพื่อรองรับระบบ AMI โดยใช้เทคโนโลยี Fiber-Wireless ที่ประกอบด้วยเทคโนโลยี Ethernet Passive Optical Network (EPON) และ Wi-Fi โดยมีขอบเขตของงานวิจัย คือ การออกแบบการหาจำนวน และตำแหน่งที่ใช้ติดตั้งของอุปกรณ์ AP และอุปกรณ์ ONU โดยใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด ที่มีเงื่อนไขในอัลกอริทึ่ม 3 ข้อ คือ

1. ระยะทางระหว่างอุปกรณ์ AP กับมิเตอร์ ต้องไม่เกินระยะทางที่กำหนด

2. จำนวนมิเตอร์ที่อุปกรณ์ AP และ ONU แต่ละตัวสามารถรองรับได้ ต้องไม่เกินจำนวนที่กำหนด

3. ตำแหน่งของอุปกรณ์ AP และ ONU ต้องอยู่บนเส้นตรง (กริด)

สรุปผลการออกแบบระบบสื่อสารเพื่อรองรับระบบ AMI โดยจำลองกับข้อมูล 2 แบบ พบว่า

1. ผลจากการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลแบบสังเคราะห์ พบว่า อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด สามารถนำมาใช้ในการออกแบบกับข้อมูลแบบสังเคราะห์ที่มีตำแหน่งมิเตอร์สุ่มแบบยูนิฟอร์ม และสุ่มแบบไม่กระจายตัว ได้ทั้ง 2 กรณี โดยผลการจำลองเป็นไปตามที่กำหนดในเงื่อนไขที่ใช้ในอัลกอริทึ่มทั้ง 3 ข้อ และมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP/ONU เอง

2. ผลการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลทางเทคนิคจริง โดยใช้ข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ของ กฟภ. ที่มีพิกัดตำแหน่งของมิเตอร์ที่ติดตั้งใช้งานจริง พบว่า อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด สามารถนำมาใช้ในการออกแบบกับข้อมูลทางเทคนิคจริงได้ โดยผล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การจำลองเป็นไปตามที่กำหนดในเงื่อนไขที่ใช้ในอัลกอริทึ่มทั้ง 3 ข้อ และมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้วิธีกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ AP/ONU เอง

ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด ของอุปกรณ์ AP กับการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์ทั้ง 2 แบบ พบว่า การใช้อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนด กับการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบยูนิฟอร์มให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า ให้กับการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบไม่กระจายตัว เนื่องจากจำนวนอุปกรณ์ AP เฉลี่ยที่ได้จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบยูนิฟอร์ม น้อยกว่าจำนวนอุปกรณ์ AP เฉลี่ยที่ได้จากการสุ่มตำแหน่งมิเตอร์แบบไม่กระจายตัว

ข้อเสนอแนะ

อัลกอริทึ่ม K-means แบบมีเงื่อนไขกำหนดที่ออกแบบนี้ สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ ดังนี้

1. ระยะทางการรับ/ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ AP กับมิเตอร์ โดยการปรับค่ากำลังที่ใช้ในการส่ง กับค่ากำลังน้อยที่สุดที่สามารถรับได้ของอุปกรณ์ AP ที่ใช้ในการจำลอง

2 จำนวนมิเตอร์ที่อุปกรณ์ AP/ONU แต่ละตัวสามารถรองรับได้ เพื่อความเหมาะสมเมื่อนำมาใช้ในการออกแบบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2553. **รายงานประจำปี 2553**. แหล่งที่มา: http://www.pea.co.th/annualreport/2010/pea.pdf, 6 สิงหาคม 2553.

Kamenetsky, M. and M. Unbehaun. 2002. Coverage Planning for Outdoor Wireless LAN Systems, pp. 49-1 – 49-6. *In* **Procedding of IEEE International Zurich Seminar on Broadband Communications 2002.**

Kouhbor, S., J. Ugon, A. Kruger and A. Rubinov. 2005a. Optimal Placement of Access Point in WLAN Base on a New Algorithm, pp. 592-598. *In* **Procedding of International Conference on Mobile Business 2005.**

Kouhbor, S., J. Ugon, A. Kruger, A. Rubinov and P. Branch. 2005b. A New Algorithm for the Placement of WLAN Access Points Based on Nonsmooth Optimization Technique, pp. 352-357. *In* **Procedding of International Conference on Advanced Communication Technology 2005**.

Rappaport, T.S. 2002. **Wireless Communications: Principles and Practice**. Prentice Publishers, New Jersey.

Sarkar, S., B. Mukherjee and S. Dixit. 2006. Towards Global Optimization of Multiple ONU Placement in Hybrid Optical-Wireless Broadband Access Networks, pp. 65-67. *In* **Procedding of International Conference on Optical Internet and Next Generation Network 2006.**

Sarkar, S., Hong-Hsu Yen, S. Dixit and B. Mukherjee. 2008. Hybrid wireless-optical broadband access network (WOBAN): network planning and setup. **IEEE Journal on selected areas in communications** 26: 12–21

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Tsagklas, T. and F. Pavlidou. 2011. A Survey on Radio-and-Fiber FiWi Network Architecture. **Journal of Selected Areas in Telecommunications** 47: 18-24.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายอธิศ คูประเสริฐ
เกิดวันที่	6 มิถุนายน 2523
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้าโทรคมนาคม) สถาบันพระจอมเกล้าฯ เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ตำแหน่งปัจจุบัน	นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนการศึกษาจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์