การจัดวางหลอดแอลอีดีที่เหมาะสมสำหรับการสื่อสารในระบบไลไฟ

นายปารเมศ รักษ์บางแหลม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมและคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2564

OPTIMAL ARRANGEMENT OF LED LAMPS FOR LI-FI COMMUNICATIONS

PARAMED RAKBANGLAM

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Engineering in Telecommunication and Computer Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2021

การจัดวางหลอดแอลอีดีที่เหมาะสมสำหรับการสื่อสารในระบบไลไฟ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีอนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ. ดร. ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์)
ประธานกรรมการ

(รศ. ดร. พีระพงษ์ อุฑารสกุล)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร. อภิญญา ดีค่ายคำ)
กรรมการ

(รศ. ดร. ฉัตรชัย โชติษฐยางกูร)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ
และประกันคุณภาพ

(รศ. ดร. พรศิริ จงกล)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปารเมศ รักษ์บางแหลม : การจัดวางหลอดแอลอีดีที่เหมาะสมสำหรับการสื่อสารในระบบไลไฟ
(OPTIMAL ARRANGEMENT OF LED LAMPS FOR LI-FI COMMUNICATIONS)
อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล,80 หน้า

คำสำคัญ : การจัดวางหลอดแอลอีดีที่เหมาะสม / ไลไฟ / ความสว่าง / SNR / พื้นที่ครอบคลุม

VLC (Visible Light Communication) เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารรูปแบบหนึ่งที่ใช้แสงเป็นตัวกลางในการส่งข้อมูล เทคโนโลยีนี้ถูกนำมาใช้เพื่อแก้ไขข้อจำกัดของการสื่อสารแบบใช้คลื่นวิทยุที่เราใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งมีข้อจำกัดมากมายไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของความเร็วในการรับการส่งข้อมูล การรบกวนกันของสัญญาณ รวมไปถึงปัญหาการดักจับสัญญาณที่ถือเป็นภัยต่อองค์กรเป็นอย่างมาก จึงทำให้ต้องมีการนำระบบการสื่อสารด้วยแสงมาใช้ในการแก้ปัญหาเหล่านี้ เทคโนโลยี Li-Fi (Light Fidelity) ก็เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ถูกพัฒนาต่อจาก VLC โดยจุดเด่นของ Li-Fi คือทำให้ผู้ใช้สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้เหมือนกับระบบ Wi-Fi (Wireless Fidelity) ถ้าจะให้สรุปง่ายต่อความเข้าใจเทคโนโลยี Li-Fi คือนำ VLC มารวมกับ Wi-Fi นั้นเอง นอกจากนี้ Li-Fi ยังมีความเร็วในการส่งข้อมูลที่มากกว่า Wi-Fi อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามเทคโนโลยี Li-Fi ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่อย่างเช่นการใช้งานตรงบริเวณพื้นที่โล่ง เนื่องด้วยการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตจะต้องใช้แสงที่มาจากหลอดไฟ LED ของระบบตัวเองเท่านั้น ทำให้การใช้งานบริเวณพื้นที่โล่ง ที่มีแหล่งกำเนิดแสงมากมายไม่ว่าจะเป็นแสงจากธรรมชาติอย่างแสงอาทิตย์หรือแสงที่ไม่ได้อยู่ในระบบ Li-Fi ซึ่งแสงเหล่านี้จะรบกวนการรับแสงของตัวตรวจจับแสงทำให้ข้อมูลที่ได้รับนั้นอาจจะเกิดความผิดพลาดหรืออาจจะทำให้การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตขาดหายไปเลย โดยในการจัดวางหลอดไฟ LED ที่เหมาะสมสำหรับระบบ Li-Fi นั้นจะต้องพิจารณาในเรื่องของค่าความสว่างที่เหมาะสมกับสายตามนุษย์ อัตราส่วนระหว่างสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณรบกวน และ พื้นที่ครอบคลุม จริงอยู่ที่ว่าการติดตั้งหลอดไฟ LED จำนวนมากจะทำให้ครอบคลุมพื้นที่ครอบคลุมและอัตราส่วนระหว่างสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณรบกวนเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม สิ่งเหล่านี้จะต้องแลกกับค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่สูง รวมถึงการใช้พลังงานเยอะโดยที่ไม่จำเป็น เพื่อให้การจัดวางนี้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ในบทความนี้เราจะมุ่งเน้นที่การหารูปแบบการจัดวางด้วยการใช้จำนวน LED ที่เหมาะสมเพื่อให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและประหยัดพลังงาน

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนักศึกษา ปารเมศ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

PARAMED RAKBANGLAM : OPTIMAL ARRANGEMENT OF LED LAMPS FOR LI-FI COMMUNICATIONS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PEERAPONG UTHANSAKUL, Ph.D., 80 PP.

Keyword : Optimal arrangement of led lamps / Li-Fi communications / Illuminations / Signal to noise ratio / Coverage area

VLC (Visible Light Communication) is a communication technology that uses light to transmit data this technology has been used to overcome the limitations of the radio frequency communication we use today, which has many limitations, whether it is in terms of transmission speed data, signal interference Including the problem of intercepting signals that are considered a serious threat to the organization. Therefore, light communication systems were introduced to solve these problems. Li-Fi (Light Fidelity) technology is a technology that was developed from VLC. The highlight of Li-Fi is to make users access the Internet like a Wi-Fi system (Wireless Fidelity). for easy understanding Li-Fi technology is the integration of VLC and Wi-Fi, in addition, Li-Fi has higher speed data than Wi-Fi. However, Li-Fi technology has its limitations, as Li-Fi is an optical signal which cannot pass through the wall. So, if we need the continuing connection without interruption, lots of LED light bulbs have to be installed in every area and have to be operated all the time even in the daytime. Also, the use of this technology in an open area is unstable. The installation of Li-Fi needs to be safe for human eyes and does not cause much interference. We consider an appropriate illumination as well as SNR for the system. A large number of LED bulb installations will indeed make lots of coverage in the room. However, this introduces a high SNR. In addition, this large system leads to huge investments and unnecessary use of energy. In this paper, we focus on finding the optimal number of LEDs to save the cost of installation as well as the most energy-saving. With this effective management, the results can be a guide to Li-Fi designers for installation in various places

School of Telecommunication Engineering
Academic Year 2022

Student's Signature ปารเมศ
Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่างๆ ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสด้านการศึกษา ทั้งให้คำแนะนำ คำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์ รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ ทองทา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ วาณิชอนันต์ชัย รองศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี อุสาหะ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เศรษฐวิทย์ ภูฉายา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชิตพงศ์ เวชไธสงค์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความรู้ทางวิชาการ คำแนะนำ และให้โอกาสในการศึกษา

ขอขอบคุณนางสาววีรินภ์ อาจหาญ เลขานุการ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่ให้คำปรึกษา ตรวจสอบ และดำเนินการเกี่ยวกับเอกสารต่างๆ ตลอดระยะเวลาการศึกษา ขอขอบคุณนายวงศธร ภาธรสุวรรณ และพี่ๆ นักศึกษาปริญญาเอก ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษาและช่วยแก้ปัญหาแก่ผู้วิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การอุปการะอบรมเลี้ยงดูตลอดจนส่งเสริมการศึกษา ทั้งยังให้กำลังใจเป็นอย่างดีเสมอมา และขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ในด้านต่างๆ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ

ปารเมศ รักษ์บางแหลม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ(ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ) ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญรูปภาพ ..... ฎ
บทที่
1. บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย 2
2. ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 กล่าวนำ 3
2.2 LiFi และ WiFi 3
2.2.1 Li-Fi (Light Fidelity) 3
2.2.2 Wi-Fi (Wireless Fidelit) 4
2.2.3 สรุปการใช้งานของ Wi-Fi และ Li-Fi 5
2.3 หลักการทำงานของระบบ Li-Fi 5
2.4 เทคนิคการมอดูเลตในระบบ Li-Fi 6
2.4.1 OOK (On Off Keying) 6
2.4.2 VPPM (Variable Pulse Position Modulation) 7
2.4.3 CSK (Color Shift Keying) 7
2.5 สถาปัตยกรรมของระบบ Li-Fi 8

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6 รูปแบบการจัดวางหลอดไฟแบบสี่เหลี่ยม 10
2.7 รูปแบบการจัดวางหลอดไฟแบบวงกลม 12
2.8 เปรียบเทียบรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกับแบบวงกลม 14
2.9 รูปแบบการจัดวางสำหรับระบบ 5G 17
3. วิธีดำเนินการวิจัย 22
3.1 กล่าวนำ 22
3.2 การจำลองระบบ 22
3.3 การหาจำนวนหลอดไฟ 23
3.4 รูปแบบการจัดวาง 23
3.5 ค่าความสว่างภายในห้อง 24
3.6 มาตรฐานความสว่างภายในห้อง 25
3.7 พลังงานที่รับได้ 27
3.8 อัตราส่วนระหว่างสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณรบกวน (SNR) 29
3.9 มาตรฐานอัตราส่วนระหว่างสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณรบกวน (SNR) 30
3.10 อัลกอริทึม 30
3.11 ตัวอย่างการใช้งานอัลกอริทึม 31
3.12 หลักการทำงานของ Greedy algorithm 32
3.12.1 ปัญหาของงาน (Problem) 32
3.12.2 วิธีการแก้ปัญหา (Greedy rule) และ หลักการเขียนโค้ด (Code) 32
3.12.2.1 วิธีการแก้ปัญหาแบบที่ 1 34
3.12.2.2 วิธีการแก้ปัญหาแบบที่ 2 36
4 ผลการดำเนินงาน 38
4.1 กล่าวนำ 38
4.2 ผลการจำลองรูปแบบการจัดวางแบบจัดวางเอง 38
4.2.1 ประสิทธิภาพทางด้านความสว่าง 38
4.2.2 ประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุม 40
4.2.3 ประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสาร 41

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.4 สรุปผลการจำลองของรูปแบบการจัดวางแบบจัดวางเอง 42
4.3 ผลการจำลองการเปรียบเทียบรูปแบบการจัดวางระหว่างวิธีการปกติกับวิธีที่ใช้ ..... อัลกอริทึม 43
4.3.1 ผลการจัดวางในห้องขนาด 5x5 ตารางเมตร 43
4.3.2 ผลการจัดวางในห้องขนาด 9x7 ตารางเมตร 44
4.3.3 ผลการจัดวางในห้องขนาด 10x10 ตารางเมตร 45
4.4 ผลการจำลองการเปรียบเทียบรูปแบบการจัดวางแบบจัดวางเองกับรูปแบบการจัด ..... วางโดยการใช้อัลกอริทึม 46
4.4.1 ห้องขนาด 6x5 ตารางเมตร 47
4.4.1.1 ผลการจำลองรูปแบบการจัดวาง 47
4.4.1.2 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่าง 48
4.4.1.3 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุม 50
4.4.1.4 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสาร 50
4.4.1.5 สรุปผลการจำลอง 52
4.4.2 ห้องขนาด 9x7 ตารางเมตร 53
4.4.2.1 ผลการจำลองรูปแบบการจัดวาง 53
4.4.2.2 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่าง 54
4.4.2.3 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุม 56
4.4.2.4 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสาร 56
4.4.2.5 สรุปผลการจำลอง 58
4.4.3 ห้องขนาด 16x16 ตารางเมตร 58
4.4.3.1 ผลการจำลองรูปแบบการจัดวาง 59
4.4.3.2 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่าง 60
4.4.3.3 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุม 61
4.4.3.4 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสาร 61
4.4.3.5 สรุปผลการจำลอง 63

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.4 ห้องขนาด 20x10 ตารางเมตร 63
4.4.4.1 ผลการจำลองรูปแบบการจัดวาง 63
4.4.4.2 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่าง 64
4.4.4.3 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุม 65
4.4.4.4 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสาร 66
4.4.4.5 สรุปผลการจำลอง 67
4.5 สรุปผลการดำเนินงาน 68
5. สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์และข้อเสนอในการวิจัย 69
5.1 สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์ 69
5.2 ข้อเสนอแนะและการพัฒนาในอนาคต 70
รายการอ้างอิง 71
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา 76
ประวัติผู้เขียน 81

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง Li-Fi กับ Wi-Fi 5
2.2 เปรียบเทียบค่าความสว่างของการจัดวางแบบวงกลม 14
3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง 22
3.2 มาตรฐานความสว่างสำหรับแต่ละพื้นที่ 25
3.3 มาตรฐานความสว่างสำหรับลักษณะงานแต่ละประเภท 25
3.4 ค่าความสว่างในแต่ละช่วงเวลา 27
3.5 ประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารไร้สาย 30
4.1 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุมของการจัดวางทั้ง 3 รูปแบบ 40
4.2 สรุปผลการจำลองประสิทธิภาพของการจัดวางทั้ง 3 รูปแบบ 42
4.3 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุมในห้องขนาด 6x5 ตารางเมตร 50
4.4 สรุปผลการจำลองประสิทธิภาพของการจัดวางในห้องขนาด 6x5 ตารางเมตร 52
4.5 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุมในห้องขนาด 9x7 ตารางเมตร 56
4.6 สรุปผลการจำลองประสิทธิภาพของการจัดวางในห้องขนาด 9x7ตารางเมตร 58
4.7 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุมในห้องขนาด 16x16 ตารางเมตร 61
4.8 สรุปผลการจำลองประสิทธิภาพของการจัดวางในห้องขนาด 16x16 ตารางเมตร 63
4.9 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุมในห้องขนาด 20x10 ตารางเมตร 66
4.10 สรุปผลการจำลองประสิทธิภาพของการจัดวางในห้องขนาด 20x10 ตารางเมตร 67
5.1 สรุปผลการจัดวางของรูปแบบที่ใช้อัลกอริทึมแบบที่ 2 70

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ **หน้า**

2.1 CoMP (Cooperative Multipoint)) 4
2.2 การกระจายสัญญาณของ Wi-Fi 4
2.3 หลักการทำงานของระบบ Li-Fi 5
2.4 เทคนิคการมอดูเลตแบบ OOK 6
2.5 เทคนิคการมอดูเลตแบบ VPPM 7
2.6 เทคนิคการมอดูเลตแบบ CSK 8
2.7 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของระบบการสื่อสารด้วยแสง 9
2.8 ตำแหน่งการจัดวางหลอดไฟที่ระยะห่าง 5 เมตร 10
2.9 ตำแหน่งการจัดวางหลอดไฟที่ระยะห่าง 3 เมตร 10
2.10 ลักษณะการกระจายแสงของการจัดวางหลอดไฟที่ระยะห่าง 5 เมตร 11
2.11 ลักษณะการกระจายแสงของการจัดวางหลอดไฟที่ระยะห่าง 3 เมตร 11
2.12 รูปแบบการจัดวางแบบวงกลม 12
2.13 รูปแบบการจัดวางแบบปรับปรุง 12
2.14 ลักษณะการกระจายแสงของรูปแบบการจัดวางแบบปรับปรุง 13
2.15 ลักษณะการกระจายแสงของรูปแบบการจัดวางแบบวงกลม 13
2.16 รูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยม 15
2.17 รูปแบบการจัดวางแบบวงกลม 15
2.18 ลักษณะการกระจายแสงของรูปแบบการจัดวางแบบวงกลม 16
2.19 ลักษณะการกระจายแสงของรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยม 16
2.20 เปรียบเทียบค่าความสว่างและพลังงานที่เครื่องตรวจจับแสงรับได้ 16
2.21 รูปแบบการจัดวางในห้อง 5x5 ตารางเมตร 18
2.22 พื้นที่ครอบคลุมของการปรับมุมครอบเลนส์ที่ 70 องศา 18
2.23 พื้นที่ครอบคลุมของการปรับมุมครอบเลนส์ที่ 20 องศา 19
2.24 อัตราการใช้พลังงานที่เครื่องตรวจจับแสงของการปรับมุมครอบเลนส์ 70 องศา 19
2.25 อัตราการใช้พลังงานที่เครื่องตรวจจับแสงของการปรับมุมครอบเลนส์ 20 องศา 20

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

2.26 SNR ของการปรับมุมครอบเลนส์ 70 องศา 20
2.27 SNR ของการปรับมุมครอบเลนส์ 20 องศา 21
3.1 รูปแบบการจัดวางทั้ง 3 รูปแบบ 23
3.2 การรับ-ส่งสัญญาณระหว่างหลอดไฟกับตัวรับแสง 24
3.3 ตัวอย่างการใช้งาน SAD LAMP 26
3.4 ส่วนประกอบของอุปกรณ์รับแสง 28
3.5 ตู้ขายของอัตโนมัติ 31
3.6 ระบบนำทางอัตโนมัติ 32
3.7 การหาตำแหน่งการจัดวางสำหรับวิธีปกติ 33
3.8 ขั้นตอนแก้ปัญหาแบบวิธีปกติ 33
3.9 การหาตำแหน่งการจัดวางสำหรับวิธีการใช้อัลกอริทึม 34
3.10 ขั้นตอนแก้ปัญหาแบบวิธีการใช้วิธีแก้ปัญหาแบบที่ 1 35
3.11 รูปแบบการจัดวางที่ให้ค่าความสว่างมากที่สุดสำหรับการจัดวางโดยวิธีแก้ปัญหาแบบที่ 1 ... 36
3.12 วิธีเฉลี่ยค่าความสว่างของวิธีแก้ปัญหาแบบที่ 2 36
3.13 รูปแบบการจัดวางที่ให้ค่าความสว่างมากที่สุดสำหรับการจัดวางโดยวิธีแก้ปัญหาแบบที่ 2 ... 37
4.1 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยม 39
4.2 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบวงกลม 39
4.3 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวง ... 39
4.4 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยม 41
4.5 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบวงกลม 41
4.6 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวง ... 42
4.7 ผลการจัดวางและระยะเวลาที่ใช้ของวิธีการจัดวางแบบปกติ (ห้อง 5X5 ตารางเมตร) 43
4.8 ผลการจัดวางและระยะเวลาที่ใช้ของวิธีการแก้ปัญหาแบบ GREEDY RULE 43

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.9 ผลการจัดวางและระยะเวลาที่ใช้ของวิธีการจัดวางแบบปกติ (ห้อง 9x7 ตารางเมตร)..... 44
4.10 ผลการจัดวางและระยะเวลาที่ใช้ของวิธีการแก้ปัญหาแบบ GREEDY RULE..... 44
4.11 ผลการจัดวางและระยะเวลาที่ใช้ของวิธีการจัดวางแบบปกติ 45
4.12 ผลการจัดวางและระยะเวลาที่ใช้ของวิธีการแก้ปัญหาแบบ GREEDY RULE..... 45
4.13 รูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวง (ห้อง 6x5 ตารางเมตร) 47
4.14 รูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 (ห้อง 6x5 ตารางเมตร)..... 47
4.15 รูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 (ห้อง 6x5 ตารางเมตร)..... 48
4.16 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวง ... 48
4.17 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 49
4.18 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 49
4.19 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวง ... 51
4.20 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 51
4.21 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2..... 52
4. 22 รูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวง (ห้อง 9x7 ตารางเมตร) 53
4.23 รูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 (ห้อง 9x7 ตารางเมตร)..... 53
4.24 รูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 (ห้อง 9x7 ตารางเมตร)..... 54
4.25 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวง ... 54
4.26 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 55
4.27 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 55
4.28 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวง ... 57
4.29 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 57
4.30 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2..... 57

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูป **หน้า**

4.31 รูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 (ห้อง 16x16 ตารางเมตร)..... 59
4.32 รูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 (ห้อง 16x16 ตารางเมตร)..... 59
4.33 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 1..... 60
4.34 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2..... 60
4.35 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 1..... 62
4.36 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2..... 62
4.37 รูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 (ห้อง 20x10 ตารางเมตร)..... 63
4.38 รูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 (ห้อง 20x10 ตารางเมตร)..... 64
4.39 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 1..... 64
4.40 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2..... 65
4.41 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 1..... 66
4.42 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2..... 67

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น (Visible Light Communication : VLC) คือการสื่อสารรูปแบบหนึ่งที่ใช้แสงเป็นตัวกลางในการส่งข้อมูลผ่านหลอดไฟ โดยแสงที่มองเห็นนี้จะมีช่วงความยาวคลื่นสเปกตรัมอยู่ที่ 375 ถึง 780 นาโนเมตร [1] ในปัจจุบันเทคโนโลยีนี้กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องด้วยการสื่อสารแบบใช้คลื่นวิทยุอย่าง Wi-Fi (Wireless Fidelity) นั้นเริ่มมีข้อจำกัดมากมายไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของความเร็วในการรับการส่งข้อมูล การรบกวนกันของสัญญาณ รวมไปถึงปัญหาการดักจับสัญญาณซึ่งถือเป็นภัยต่อองค์กรเป็นอย่างมาก จึงทำให้มีการนำระบบ VLC เข้ามาช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้

ต่อมาเมื่อไม่นานมานี้ก็ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยี VLC ขึ้นมาอีกขั้นเป็นเทคโนโลยีที่มีชื่อว่า Li-Fi (Light Fidelity) ซึ่งจะแตกต่างกับระบบ VLC แบบเดิมที่ส่งข้อมูลได้แค่ทิศทางเดียว แต่ในระบบ Li-Fi จะสามารถส่งข้อมูลได้ 2 ทิศทาง และการส่งข้อมูลแบบนี้ยังทำให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานอินเทอร์เน็ตได้เหมือนกับ Wi-Fi อีกด้วย

ปัจจุบันเทคโนโลยี Li-Fi เริ่มมีการนำไปใช้งานจริงแล้วไม่ว่าจะเป็นทางด้านการทหารที่ใช้ Li-Fi เพื่อป้องกันการถูกดักจับสัญญาณ หรือ ทางด้านการสำรวจใต้น้ำที่ใช้ Li-Fi ในการควบคุมหุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำแทนการควบคุมโดยใช้สายเคเบิ้ลแบบเดิม และล่าสุดก็ได้มีการนำระบบ Li-Fi เข้าไปใช้บนเครื่องบินโดยสาร ซึ่งนั้นส่งผลให้ผู้โดยสารสามารถเข้าถึงอินเทอร์เน็ตได้ตลอดการเดินทาง โดยที่ไม่ต้องกังวลว่าสัญญาณแสงจะไปรบกวนสัญญาณวิทยุในห้องนักบินเนื่องด้วยแสงไม่สามารถทะลุผ่านกำแพงได้นั่นเอง [2]

จากตัวอย่างงานที่เรากล่าวมาจะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่แล้วเทคโนโลยีการสื่อสารด้วยแสงมักจะใช้ในบริเวณที่เป็นที่ร่มและไม่มีแสงจากภายนอกเข้ามารบกวน ซึ่งนั้นก็เป็นเหตุผลที่ว่าทำไมจึงไม่นิยมนำระบบการสื่อสารด้วยแสงไปใช้ในบริเวณพื้นที่โล่ง เพราะว่าบริเวณภายนอกนั้นมีแสงจากแหล่งอื่นมากมายไม่ว่าจะเป็นแสงอาทิตย์ แสงจากหลอดไฟอื่นๆ ที่ไม่ใช่แสงจากหลอดไฟในระบบการสื่อสารด้วยแสง ในกรณีที่ภาครับมีการรับสัญญาณแสงเหล่านี้ไป ก็จะส่งผลให้การเชื่อมต่อขาดหายไป

เนื่องด้วยเทคโนโลยี Li-Fi นั่นจะต้องใช้แสงเป็นตัวกลางในการส่งข้อมูลผ่านหลอดไฟ จึงทำให้อาจจะต้องมีการใช้งานอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นเพื่อให้ประหยัดพลังงานเราจึงควรเลือกประเภทของหลอดไฟให้เหมาะสม โดยส่วนใหญ่แล้วในระบบการสื่อสารด้วยแสงจะใช้หลอดไฟประเภท LED (Light Emitting Diode) เป็นหลักซึ่งนั่นก็เป็นเพราะว่าหลอดไฟประเภทนี้ มีราคาถูก มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน และมีการปล่อยรังสี UV ที่ไม่อันตรายต่อสายมนุษย์อีกด้วย [3]

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ออกแบบการจัดวางหลอด LED โดยคำนึงถึงจำนวนหลอด LED ที่เหมาะสมกับห้องแต่ละขนาด

1.2.2 เพิ่มประสิทธิภาพของระบบ Li-Fi โดยคำนึงถึงค่าความสว่างที่ไม่เป็นอันตรายต่อสายตามนุษย์และ อัตราส่วนระหว่างสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณรบกวน (SNR : Signal To noise ratio) รวมถึงระยะพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณด้วย

1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

1.3.1 จำลองรูปแบบการจัดวางของหลอด LED โดยใช้โปรแกรม MATLAB

1.3.2 วิเคราะห์ประสิทธิภาพจากการพิจารณาค่าความสว่างตามมาตรฐาน อัตราส่วนระหว่างสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณรบกวน และ พื้นที่ครอบคลุม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้รูปแบบการจัดวางหลอด LED ที่เหมาะสมสำหรับห้องแต่ละขนาด

1.4.2 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ Li-Fi โดยที่ไม่ต้องใช้จำนวนหลอด LED ที่มากเกินไปและช่วยในการประหยัดพลังงาน

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 ออกแบบรูปแบบการจัดวางแบบจัดวางเอง

1.5.2 ออกแบบรูปแบบการจัดวางโดยใช้อัลกอริทึม

1.5.3 เปรียบเทียบรูปแบบการจัดวางและระยะเวลาที่ใช้ระหว่างวิธีปกติกับวิธีที่ใช้อัลกอริทึม

1.5.4 เปรียบเทียบรูปแบบการจัดวางระหว่าง การใช้อัลกอริทึมทั้ง 2 วิธีกับรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวง ในห้องแต่ละขนาด

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

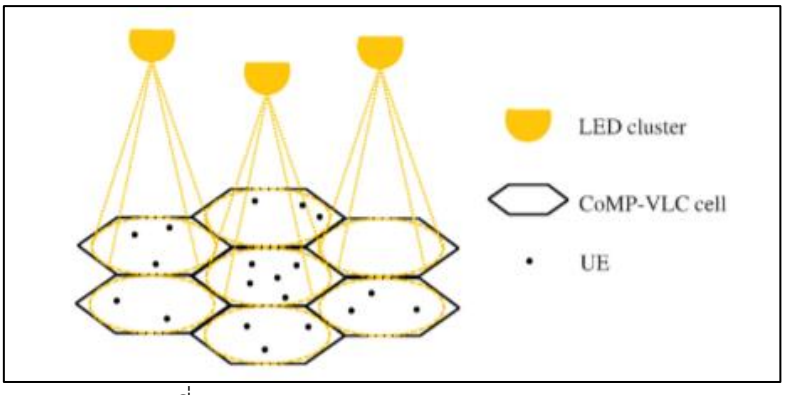
2.1 กล่าวนำ

เทคโนโลยีการสื่อสารด้วยแสง (Visible Light Communication : VLC) เป็นเทคโนโลยีที่เริ่มพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ.1880 โดยเริ่มแรกนั้น อเล็กซานเดอร์ เกรแฮมเบลล์ และ ผู้ช่วยของเขาต้องการสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถทำให้สื่อสารกันในระยะไกลและหลีกเลี่ยงการดักฟังสัญญาณได้ โดยสิ่งประดิษฐ์นี้เป็นการมอดูเลตสัญญาณเสียงเข้ากับลำแสง สร้างเป็นเครื่องโทรศัพท์ที่สื่อสารกันด้วยรหัสมอร์ส หรือที่เรียกว่าโฟโต้โฟน ซึ่งเป็นการส่งรหัสมอร์สด้วยแสง [4] ต่อมาการส่งสัญญาณด้วยแสงนี้ได้ถูกพัฒนาต่อมากมายไม่ว่าจะเป็น ใยแก้วนำแสง เลเซอร์ส่งสัญญาณ และ เทคโนโลยี Li-Fi ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เริ่มมีการใช้งานในปัจจุบัน โดยในบทนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับ ความแตกต่างระหว่าง Li-Fi กับ Wi-Fi หลักการทำงานของระบบ Li-Fi และรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวกับระบบ Li-Fi รวมไปถึงตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวกับการจัดวางหลอดไฟ LED ในระบบการสื่อสารด้วยแสง

2.2 LiFi และ WiFi

2.2.1 Li-Fi (Light Fidelity)

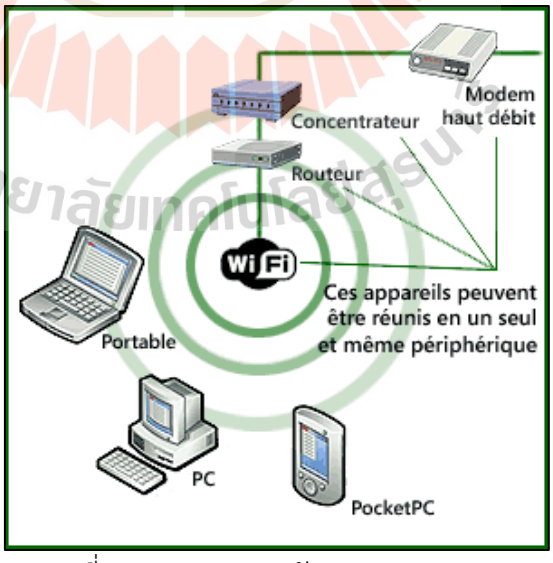
Li-Fi เป็นเทคโนโลยีที่มีหลักการทำงานคล้ายกับ Wi-Fi แต่จะมีหลักการทำงานผ่านการส่งสัญญาณด้วยแสงโดยการส่งข้อมูลนี้จะถูกส่งผ่านโดยหลอดไฟ LED และเนื่องด้วย Li-Fi มีลักษณะการส่งข้อมูลแบบ 2 ทิศทางจึงทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงระบบอินเทอร์เน็ตได้เหมือนกับ Wi-Fi อีกด้วย นอกจากนี้ระบบ Li-Fi ยังมีการใช้เทคนิคที่มีชื่อว่า CoMP (Cooperative Multipoint) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถใช้งานอินเทอร์เน็ตได้ตลอดเวลาในระหว่างการเคลื่อนที่ภายในบริเวณที่มีแสงสว่างจากหลอดไฟ [5] สำหรับข้อดีของ Li-Fi คือมีความเร็วที่สูงกว่า Wi-Fi ถึง 100 เท่า และประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเพราะว่าเราสามารถใช้งานกับหลอดไฟ LED ที่มีอยู่แล้วในบ้านหรือแม้แต่ในอาคารได้ทันที นอกจากนี้ Li-Fi ยังมีความปลอดภัยในการส่งข้อมูลมากเนื่องด้วยสัญญาณแสงไม่สามารถถูกดักจับสัญญาณได้ [6]



รูปที่ 2.1 CoMP (Cooperative Multipoint)

2.2.2 Wi-Fi (Wireless Fidelit)

Wi-Fi คือ เครือข่ายไร้สายชนิดหนึ่งที่ใช้คลื่นวิทยุในการรับส่งข้อมูล โดยส่วนมากมักจะใช้กับระบบเครือข่ายขนาดใหญ่ๆ ไม่ว่าจะเป็นเครือข่ายองค์กรหรือระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยการเชื่อมต่อ Wi-Fi จะเป็นการเชื่อมต่อที่คล้ายกับระบบแลน (LAN) ที่ใช้สายในการรับส่งข้อมูล การใช้งานเครือข่ายนี้สามารถทำให้ผู้ใช้เข้าถึงอินเทอร์เน็ตได้เหมือนกับการใช้สายปกติ นอกจากนี้การเชื่อมต่อแบบเครือข่ายไร้สายยังช่วยให้ผู้ใช้สามารถเชื่อมต่อได้ง่ายขึ้น ประหยัดการใช้สายสัญญาณ และสามารถใช้งานได้ทุกพื้นที่ที่มีสัญญาณของเครือข่ายนี้อยู่ อย่างไรก็ตาม Wi-Fi ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของการถูกดักจับสัญญาณซึ่งถือว่าเป็นปัญหาใหญ่มาก เพื่อไม่ให้เกิดปัญหานี้ผู้ใช้ต้องอัปเดตซอฟต์แวร์เครือข่ายไร้สายอยู่เสมอ รวมไปถึงการเปิด Firewall ให้ทำงานอยู่ตลอดเวลา [7]



รูปที่ 2.2 การกระจายสัญญาณของ Wi-Fi

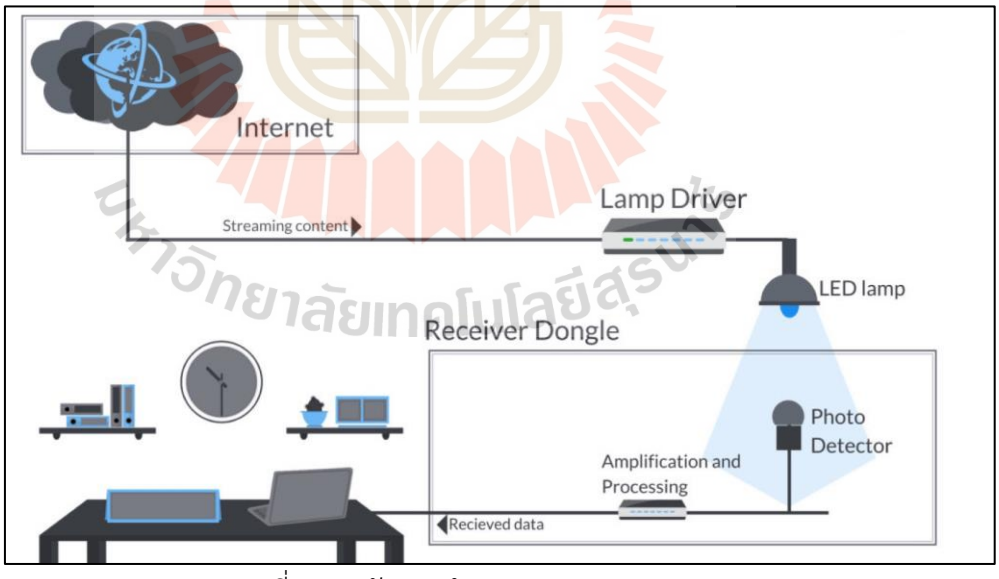
2.2.3 สรุปการใช้งานของ Wi-Fi และ Li-Fi

ถึงแม้ว่าเทคโนโลยี Li-Fi จะสามารถช่วยแก้ไขข้อจำกัดของเทคโนโลยี Wi-Fi ได้ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณ ซึ่งการใช้งานเทคโนโลยีนี้จะต้องอยู่ในบริเวณที่มีแสงสว่างเท่านั้น และ ในการรับส่งข้อมูลจะต้องไม่มีแสงจากภายนอกเข้ามารบกวนเพราะอาจจะทำให้การเชื่อมต่อขาดหายไป การใช้งานเทคโนโลยีนี้จะเหมาะกับการใช้งานในบริเวณพื้นที่ปิด เช่น บ้าน โรงงาน หรือ ออฟฟิศ และนี่ก็เป็นสาเหตุที่ระบบ Li-Fi ยังไม่สามารถนำมาใช้แทนระบบ Wi-Fi ที่สามารถใช้งานในบริเวณพื้นที่โล่งได้ [8]

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง Li-Fi กับ Wi-Fi

Parameter	Li-Fi	Wi-Fi
Standard	IEEE 802.15	IEEE 802.11
Range	Base on LED light	100 meters
Security	High	Medium
Cost	Low	High
Data Transfer Speed	>1 Gbps	About 150 Mbps

2.3 หลักการทำงานของระบบ Li-Fi



รูปที่ 2.3 หลักการทำงานของระบบ Li-Fi

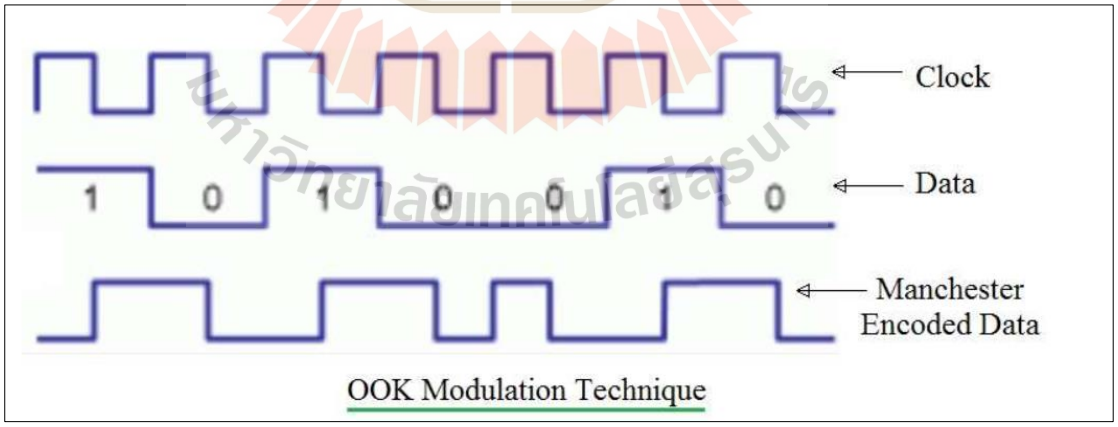
ระบบ Li-Fi จะมีอุปกรณ์หลักอยู่ 4 อย่างได้แก่ หลอดไฟ ไดรเวอร์ LED เครื่องตรวจจับแสง (Photodetector) และ ไดรเวอร์เครื่องตรวจจับแสง ซึ่งหลักการทำงานจะมีดังนี้ เริ่มแรก ไดรเวอร์ LED จะรับข้อมูลดิจิทัลที่ส่งมาจาก Server ของอินเทอร์เน็ต จากนั้นก็จะทำการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแสงและส่งผ่านหลอดไฟ LED ซึ่งหลอดไฟ LED นี้จะส่งข้อมูลด้วยการกะพริบหลอดไฟโดยจะกะพริบถี่จนระดับที่สายตาของมนุษย์ไม่สามารถมองเห็นได้ ซึ่งลักษณะการกะพริบนี้ถ้าไฟติดก็จะหมายถึงบิต 1 ถ้าไฟดับก็จะหมายถึงบิต 0 จากนั้นเมื่อเครื่องตรวจจับแสงรับสัญญาณแสงจากหลอด LED ก็จะทำการส่งไปที่ไดรเวอร์ของเครื่องตรวจจับแสง และทำการประมวลผลรวมถึงขยายสัญญาณเมื่อเสร็จขั้นตอนนี้ก็จะทำการแปลงสัญญาณแสงกลับไปเป็นสัญญาณดิจิทัลและทำการส่งไปให้ผู้ใช้ เพียงเท่านี้ก็จะทำให้ผู้ใช้เข้าถึงโลกอินเทอร์เน็ตได้ [9]

2.4 เทคนิคการมอดูเลตในระบบ Li-Fi

เทคนิคการมอดูเลตในระบบ Li-Fi จะมีทั้งหมด 3 แบบหลักๆด้วยกันได้แก่ OOK (On Off Keying), VPPM (Variable Pulse Position Modulation), CSK (Color Shift Keying) [10]

2.4.1 OOK (On Off Keying)

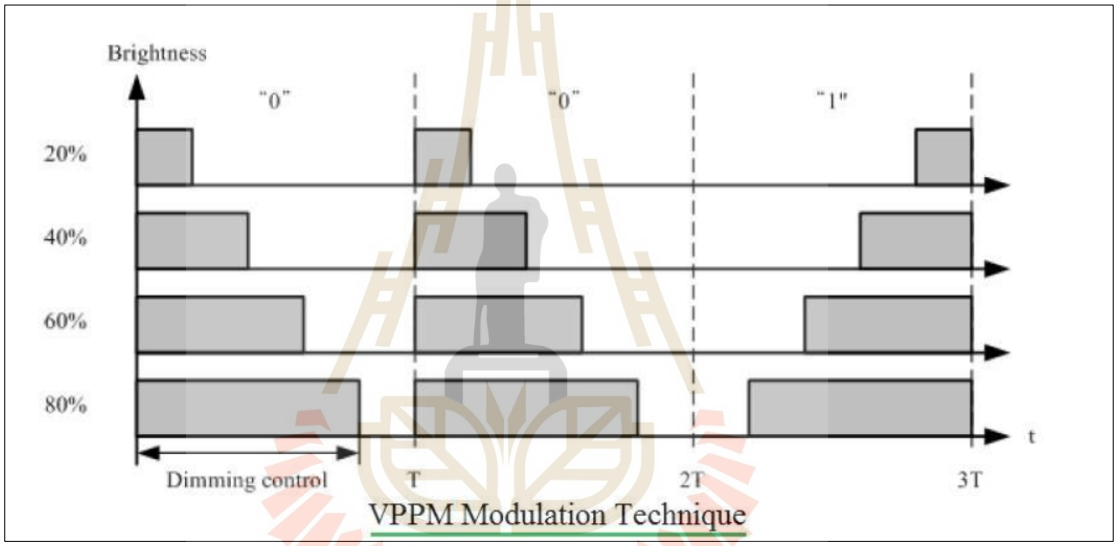
เทคนิคการมิดูเลตแบบนี้ถือเป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็วเหมาะสำหรับการใช้งานภายในห้อง โดยจะใช้รหัสแมนเชสเตอร์ (Manchester codes) เพื่อแสงข้อมูลดิจิทัลในรูปแบบ 1 และ 0 การเข้ารหัสนี้ทำได้โดยจะแทนข้อมูลบิตที่มีค่า 1 ในกรณีที่มีสัญญาณพัลส์แสงหรือในกรณีที่ไฟติดและแทนค่า 0 เมื่อไม่มีสัญญาณพัลส์แสงหรือในกรณีที่ไฟดับ



รูปที่ 2.4 เทคนิคการมอดูเลตแบบ OOK

2.4.2 VPPM (Variable Pulse Position Modulation)

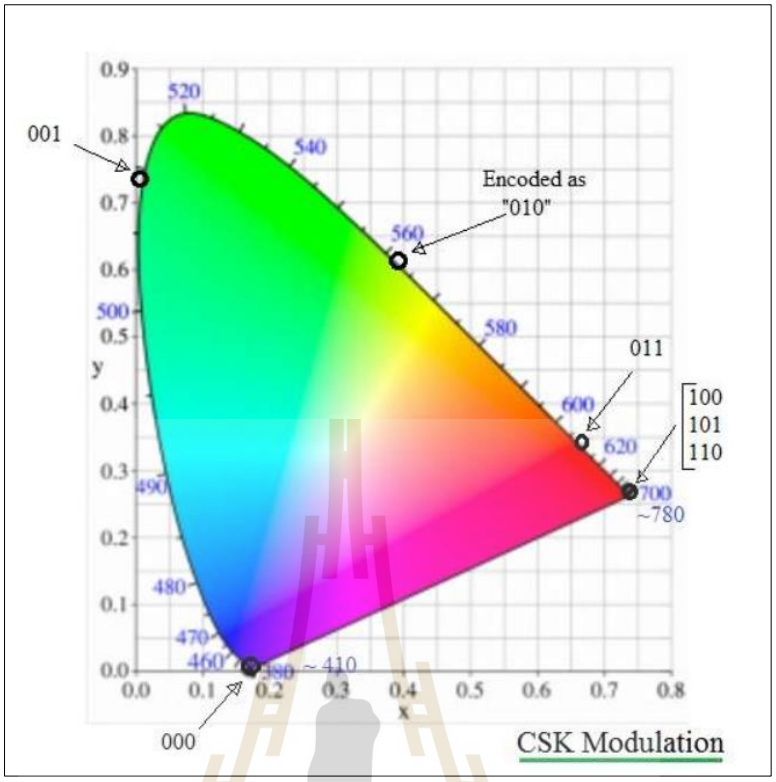
เป็นเทคนิคการมอดูเลตที่ช่วยให้อัตราข้อมูลคงที่ทำได้โดยการปรับความกว้างพัลส์ โดยการปรับความกว้างของพัลส์นี้สามารถทำได้โดยการหรี่แสงของหลอดไฟ ข้อดีของเทคนิคนี้คือป้องกันความผิดพลาดของการส่งข้อมูลภายในเฟรม ซึ่งนั้นก็เป็นเพราะว่าความกว้างพัลส์คงที่ สำหรับเทคนิคนิคการมอดูเลตแบบนี้ก็ได้แทนสัญญาณในรูปแบบ 0 และ 1 เหมือนกัน โดยลอกจิก 0 จะถูกแทนที่ด้วยพัลส์ที่เป็นบวกลักษณะของพัลส์แบบนี้คือจะเริ่มต้นด้วยพัลส์ที่เป็นเชิงลบ ส่วนลอกจิก 1 จะถูกแทนที่ด้วยพัลส์ที่เป็นลบลักษณะของพัลส์แบบนี้คือจะเริ่มต้นด้วยพัลส์ที่เป็นเชิงบวก อย่างไรก็ตามเพื่อให้การมอดูเลตแบบนี้มีประสิทธิภาพความยาวของพัลส์ควรยาวเพียงพอเพื่อให้สามารถแยกแยะสถานะของพัลส์ได้



รูปที่ 2.5 เทคนิคการมอดูเลตแบบ VPPM

2.4.3 CSK (Color Shift Keying)

เป็นเทคนิคที่การมอดูเลตที่จะใช้ความยาวคลื่นสีที่เป็นแม่สีอย่างสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน มาทำการสร้างสัญญาณใหม่ที่มีความยาวคลื่นต่างกันเพื่อใช้ในการเข้ารหัสของบิตข้อมูล และเนื่องด้วยข้อมูลเหล่านี้แสดงด้วยสีของแสงจึงส่งผลให้สามารถแยกแยะข้อมูลได้ง่ายนอกจากนี้ยังทำให้แอมพลิจูดและพลังงานที่ใช้คงที่อีกด้วย อย่างไรก็ตามการมอดูเลตแบบนี้ก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของการออกแบบเพราะว่ามีหลักการทำงานที่ค่อนข้างซับซ้อน

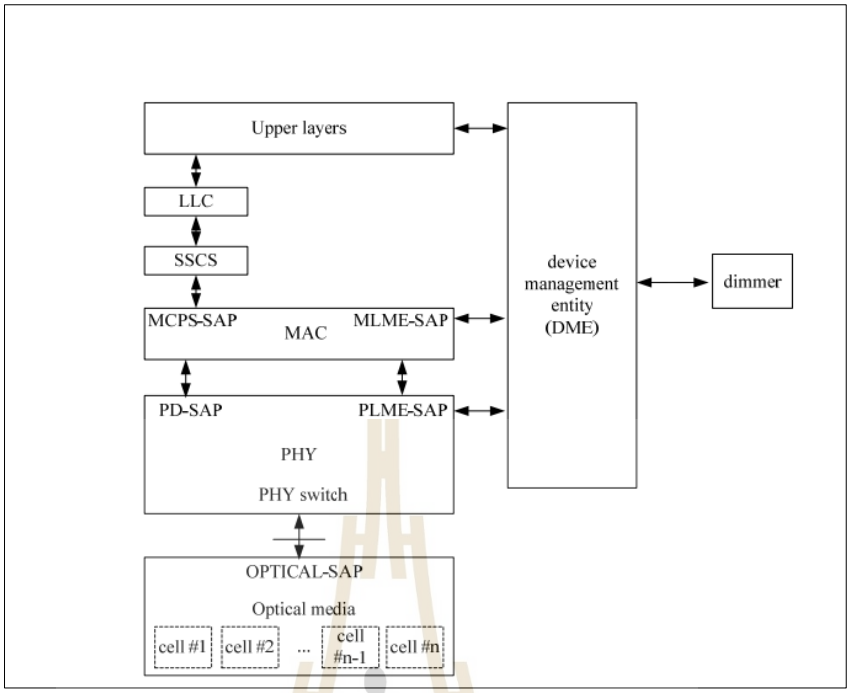


รูปที่ 2.6 เทคนิคการมอดูเลตแบบ CSK

2.5 สถาปัตยกรรมของระบบ Li-Fi

เทคโนโลยีการสื่อสารด้วยแสงทั้งหมดรวมถึง Li-Fi จะจัดอยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.15.7 ซึ่งได้มีการกำหนดชั้นหลักและชั้นย่อยที่มีหน้าที่ต่างกันตามข้อกำหนดของมาตรฐาน นอกจากนี้ยังมีการเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างชั้นที่อยู่ติดกันเพื่อให้สามารถส่งข้อมูลได้ตลอดเวลาอีกด้วย [11] โดยเราสามารถดูโครงสร้างสถาปัตยกรรม IEEE 802.15.7 ได้ในรูปที่ 2.7

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

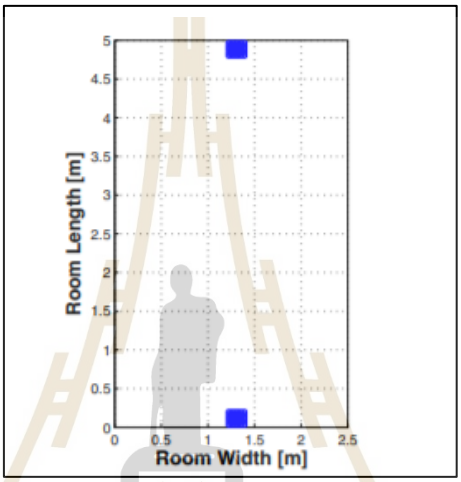


รูปที่ 2.7 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของระบบการสื่อสารด้วยแสง

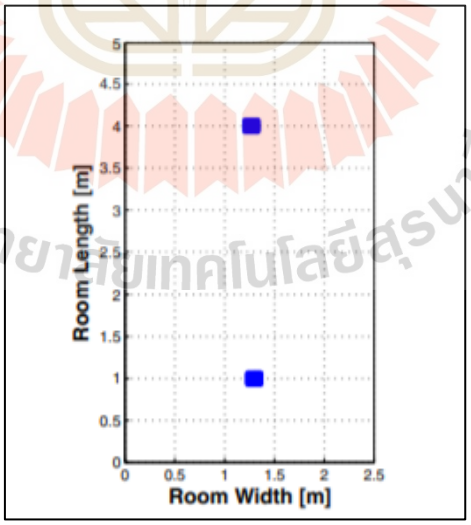
จากรูปที่ 2.7 สถาปัตยกรรมของระบบการสื่อสารด้วยแสงจะประกอบด้วย 2 ชั้นหลักๆ ได้แก่ Physical layer (PHY) และชั้น Medium Access Control layer (MAC) ทั้ง 2 ชั้นจะทำงานแตกต่างกันโดยชั้นกายภาพจะกำหนดมาตรฐานในส่วนประกอบของอุปกรณ์ที่รับและส่งแสง รวมถึงควบคุมกลไกวงจรต่างๆ ส่วนชั้น MAC จะทำหน้าที่ควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณที่ใช้สำหรับส่งผ่านข้อมูล ในส่วนย่อยจะมีชั้น LLC (Logical link control) และ SSCS (Service-Specific Convergence Sublayer) ที่ใช้ในการเชื่อมไปยังชั้น Upper layer ซึ่งชั้นนี้ก็คือชั้นที่อยู่เหนือกว่า โดยจะประกอบไปด้วยชั้น Network layer และ Application layer นอกจากนี้ชั้น Physical จะทำหน้าที่เชื่อมต่อกับ Optical-SAP ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับแสง อย่างเช่น หลอดไฟ หรือ เครื่องรับแสงเป็นต้น และชั้นนี้ยังเป็นชั้นที่รองรับการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ VLC ระหว่างภายในเซลล์ที่จะทำผ่าน PLME (Physical Layer Management Entity) และยังสามารถควบคุมการปรับแสงสว่างของอุปกรณ์แสงได้อีกด้วย โดย PLME-SAP และ MLME-SAP (Medium-access-control Link Management Entity) ทั้ง 2 ส่วนนี้จะจะถูกเชื่อมต่ออยู่กับ DME (Device Management Entity) ที่เป็นอุปกรณ์ทางฝั่งผู้พัฒนาที่เชื่อมต่อชั้นหลักของสถาปัตยกรรมนี้อยู่

2.6 รูปแบบการจัดวางหลอดไฟแบบสี่เหลี่ยม

รูปแบบการจัดวางแบบนี้เป็นรูปแบบการจัดวางแบบเรียบง่ายและสามารถพบเห็นได้อยู่บ่อยครั้ง โดยส่วนใหญ่แล้วจะนิยมจัดวางในรูปอาเรย์ ซึ่งในการทดลองนี้ได้ทำการจัดวางในรูปแบบสี่เหลี่ยมแบบอาเรย์ 7x7 โดยทำการทดลองในห้อง 2.5x5 ตารางเมตร ค่าพลังงานของหลอดไฟหนึ่งดวง 0.5 วัตต์ จำนวนทั้งหมด 98 ดวง ลักษณะการทดลองของงานนี้คือ เริ่มแรกจะว่างหลอดไฟ LED ห่างกันระยะ 5 เมตร (รูปที่ 2.8) จากนั้นก็จะค่อยๆ ขยับระยะห่างเข้ามาเหลือ 3 เมตร (รูปที่ 2.9) เพื่อดูว่าจะมีลักษณะการกระจายแสงต่างกันหรือไม่ [12]



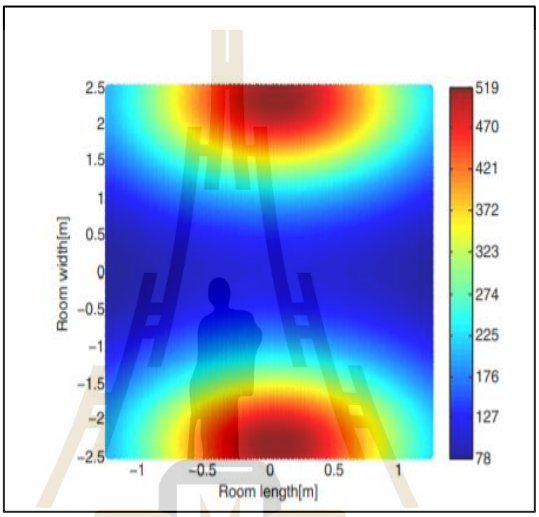
รูปที่ 2.8 ตำแหน่งการจัดวางหลอดไฟที่ระยะห่าง 5 เมตร



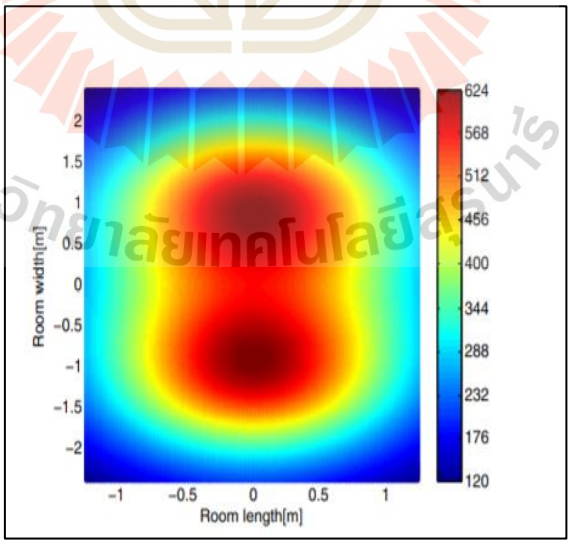
รูปที่ 2.9 ตำแหน่งการจัดวางหลอดไฟที่ระยะห่าง 3 เมตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลการทดลองพบว่าการวางหลอด LED ด้วยระยะห่าง 5 เมตร จะมีลักษณะการกระจายแสงเฉพาะบริเวณที่มีการจัดวางอย่างเดียว (รูปที่ 2.10) ในขณะเดียวกันเมื่อลดระยะห่างระหว่างหลอดไฟอยู่ที่ 3 เมตร พบว่าลักษณะการกระจายแสงจะมีพื้นที่ครอบคลุมเพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 2.11) ซึ่งจากตรงนี้จะเห็นได้ว่าถึงแม้จะมีการจัดวางโดยการใช้ จำนวนหลอดไฟจำนวนมากก็ไม่ได้ทำให้ลักษณะการกระจายแสงครอบคลุมทุกพื้นที่แต่อย่างใด ในขณะเดียวกันถ้าวางหลอดไฟเหล่านี้ด้วยระยะห่างที่เหมาะสมก็จะช่วยให้ลักษณะการกระจายแสงที่ออกมาดียิ่งขึ้น



รูปที่ 2.10 ลักษณะการกระจายแสงของการจัดวางหลอดไฟที่ระยะห่าง 5 เมตร

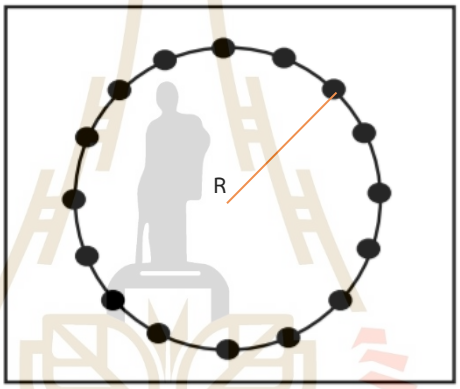


รูปที่ 2.11 ลักษณะการกระจายแสงของการจัดวางหลอดไฟที่ระยะห่าง 3 เมตร

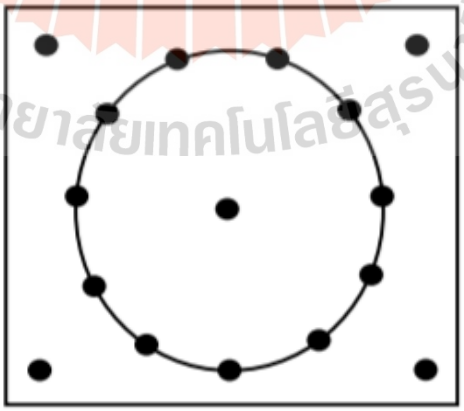
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.7 รูปแบบการจัดวางหลอดไฟแบบวงกลม

หลังจากมีการค้นพบว่าการจัดวางด้วยการใช้ระยะห่างที่เหมาะสมนั้น จะทำให้ลักษณะการกระจายแสงดียิ่งขึ้น จึงได้มีการทดลองเกี่ยวกับการนำระยะห่างระหว่างหลอดไฟเข้ามาใช้ โดยการทดลองนี้จะเป็นการเปรียบเทียบรูปแบบการจัดวางแบบวงกลมทั้ง 2 แบบ แบบแรกจะเป็นการจัดวางแบบวงกลมโดยใช้รัศมีตั้งแต่ 1.5 -2.3 เมตร แบบที่สองจะเป็นการปรับปรุงการจัดวางหลอดไฟในรูปแบบวงกลมแบบเดิม แต่จะมีการแทรกหลอดไฟบริเวณตรงกลางของวงกลมและบริเวณทั้ง 4 มุมห้อง โดยภายในวงกลมจะใช้รัศมี 2.1 เมตร ซึ่งจะขอเรียกวิธีการนี้ว่าการจัดวางแบบปรับปรุง โดยรัศมีของวงกลมจะเป็นตัวกำหนดระยะห่างเพื่อค้นหาว่าต้องใช้รัศมีเท่าไรจึงจะทำให้ลักษณะการกระจายแสงดียิ่งขึ้น การทดลองนี้จะทดลองในห้องที่มีขนาด 5x5 ตารางเมตร ค่าพลังงานของหลอดไฟหนึ่งดวงจะอยู่ที่ 2 วัตต์ความสว่าง 180 ลูเมน จำนวนหลอดไฟทั้งหมด 16 ดวง [13]



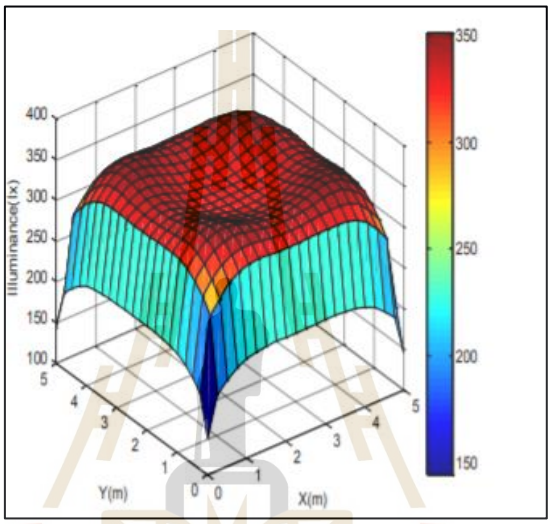
รูปที่ 2.12 รูปแบบการจัดวางแบบวงกลม (R คือ รัศมีของวงกลม)



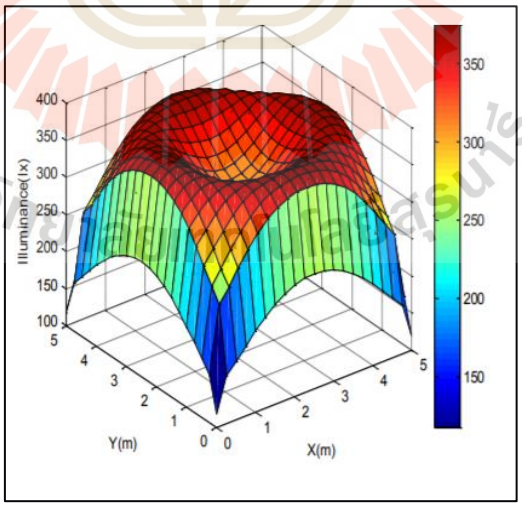
รูปที่ 2.13 รูปแบบการจัดวางแบบปรับปรุง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลการทดลองนี้สรุปได้ว่ารูปแบบการจัดวางแบบปรับปรุงที่ใช้รัศมีวงกลมอยู่ที่ 2.1 เมตร เป็นรูปแบบที่มีลักษณะการกระจายแสงที่ดีสุด และมีพื้นที่ครอบคลุมทั้งห้องโดยสังเกตได้จากพื้นที่สีแดงในรูปที่ 2.14 ซึ่งเมื่อเราเทียบกับลักษณะการกระจายแสงของการจัดวางแบบวงกลมที่รัศมี 2.1 เมตร (รูปที่ 2.15) จะสังเกตว่าบริเวณตรงกลางจะเกิดการยุบไปค่อนข้างเยอะนั่นก็เป็นเพราะว่าค่าความสว่างของบริเวณตรงกลางแตกต่างกับบริเวณโดยรอบมาก ซึ่งตรงนี้สามารถแก้ได้โดยทำการจัดวางหลอดไฟตรงกลางเหมือนกับวิธีการจัดวางแบบปรับปรุง เท่านี้ก็จะทำให้ลักษณะการกระจายแสงดียิ่งขึ้น



รูปที่ 2.14 ลักษณะการกระจายแสงของรูปแบบการจัดวางแบบปรับปรุง



รูปที่ 2.15 ลักษณะการกระจายแสงของรูปแบบการจัดวางแบบวงกลม

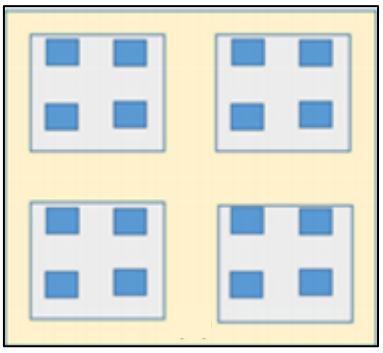
ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบค่าความสว่างของการจัดวางแบบวงกลม

Radius	Uniformity	E_{min}(lx)	E_{max}(lx)	E_{avg}(lx)
1.5m	0.2510	91.2062	495.9948	363.3764
1.7m	0.2814	98.9892	440.3602	351.8305
1.9m	0.3191	107.9457	403.2296	338.2375
2.1m	0.3658	117.9910	375.0383	322.5209
2.3m	0.4229	128.9622	347.6926	304.9566
2.1m(optimal)	0.4623	144.2768	351.2281	312.0601

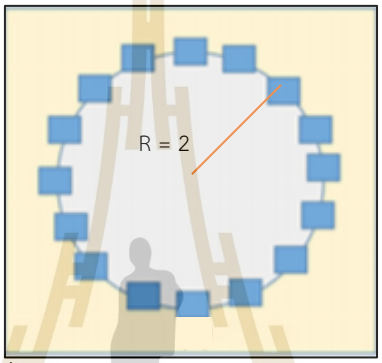
จากตารางที่ 2.2 รูปแบบการจัดวางที่ให้ค่าความสว่างมากที่สุดจะเป็นของรูปแบบการจัดวางแบบวงกลมที่รัศมี 1.5 เมตร โดยมีค่าความสว่างเฉลี่ยอยู่ที่ 363 ลักซ์ ในขณะที่รูปแบบการจัดวางแบบปรับปรุงนั้นกลับมีค่าความสว่างเฉลี่ยอยู่ที่ 312 ลักซ์ ซึ่งถึงแม้ค่าความสว่างที่ได้ไม่ใช่ค่าความสว่างที่มากที่สุดแต่กลับให้ลักษณะการจายแสงดีที่สุด จากตรงนี้สามารถสรุปได้ว่า ค่าความสว่างที่มากนั้นไม่ได้หมายความว่าจะดีเสมอไปทั้งนี้เราต้องดูลักษณะการกระจายแสงควบคู่ด้วย นอกจากนี้ค่าความสว่างที่ออกมานั้นจะต้องเป็นค่าความสว่างที่ปลอดภัยต่อสายตาด้วย โดยในมาตรฐานความสว่างของหลอดไฟได้มีการระบุไว้ว่าค่าความสว่างโดยเฉลี่ยขั้นต่ำควรจะอยู่ที่ 400 ลักซ์ แต่สำหรับงานนี้ รูปแบบการจัดวางทั้งหมดมีค่าความสว่างไม่ถึงตามที่มาตรฐานกำหนดซึ่งนั้นก็คือสิ่งที่งานนี้มองข้ามไป

2.8 เปรียบเทียบรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกับแบบวงกลม

เดิมทีแล้วงานส่วนใหญ่จะพิจารณาในเรื่องของลักษณะการกระจายแสงและรูปแบบการจัดวางหลอดไฟแต่ในงานนี้นอกจากจะพิจารณาจากทั้ง 2 สิ่งที่กล่าวมาแล้วยังพิจารณาในเรื่องของการใช้พลังงานของเครื่องตรวจจับแสงอีกด้วย โดยรูปแบบการจัดวางที่ใช้จะมี 2 รูปแบบรูปแบบแรกจะเป็นแบบสี่เหลี่ยมที่จะจัดวางแบบอาเรย์ 2x2 บริเวณมุมห้องทั้ง 4 ด้าน (รูปที่ 2.16) รูปแบบต่อมาจะเป็นรูปแบบการจัดวางแบบวงกลมที่มีรัศมีอยู่ที่ 2 เมตร (รูปที่ 2.17) การทดลองนี้จะทดลองในห้องขนาด 5x5 ตารางเมตร ค่าพลังงานของหลอดไฟหนึ่งดวงจะอยู่ที่ 8 วัตต์ความสว่าง 800 ลูเมน จำนวนหลอดไฟทั้งหมด 16 ดวง [14]

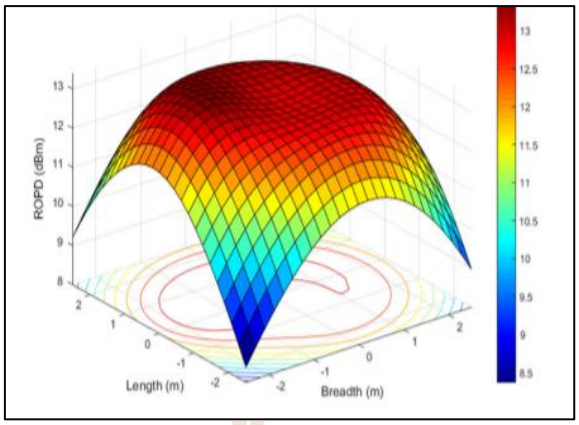


รูปที่ 2.16 รูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยม

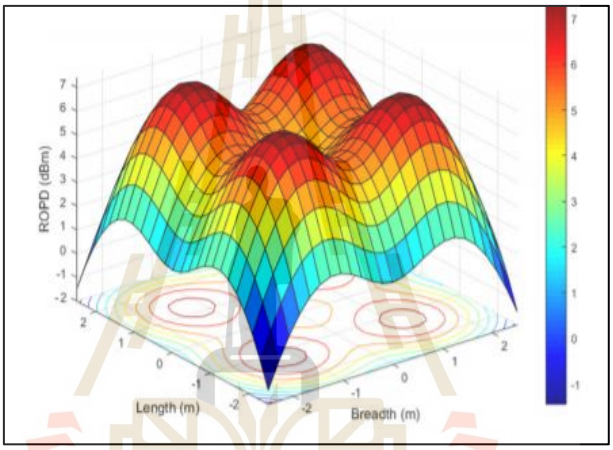


รูปที่ 2.17 รูปแบบการจัดวางแบบวงกลม

ผลการทดลองพบว่ารูปแบบการจัดวางแบบวงกลมจะมีลักษณะการกระจายแสงที่ดีกว่าการจัดวางแบบสี่เหลี่ยม เนื่องด้วยการจัดวางแบบนี้จะเน้นให้มีการจัดวางหลอดไฟรอบห้อง จึงส่งผลให้มีลักษณะการกระจายแสงที่ทั่วถึงและในแต่ละจุดจะมีลักษณะการกระจายแสงที่เท่ากัน (รูปที่ 2.18) ในขณะที่แบบอาเรย์ 2x2 ซึ่งเน้นไปที่การจัดวางตรงบริเวณทั้ง 4 มุมของห้อง จะมีลักษณะการกระจายแสงในแต่ละจุดไม่เท่ากัน โดยจุดที่มีการวางหลอดไฟก็จะมีความเข้มแสงสูง ส่วนจุดที่ไม่ได้มีการจัดวางก็จะมีความเข้มแสงต่ำ ซึ่งทั้ง 2 จุดจะมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 2.19)



รูปที่ 2.18 ลักษณะการกระจายแสงของรูปแบบการจัดวางแบบวงกลม



รูปที่ 2.19 ลักษณะการกระจายแสงของรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยม

Deployment type	Average illuminance (lx)	Total energy consumption (kWh/a)
16-LED rectangular	1560	736
4-LED rectangular	1060	184
16-LED circular	649	368
4-LED circular	433	156

รูปที่ 2.20 เปรียบเทียบค่าความสว่างและพลังงานที่เครื่องตรวจจับแสงรับได้

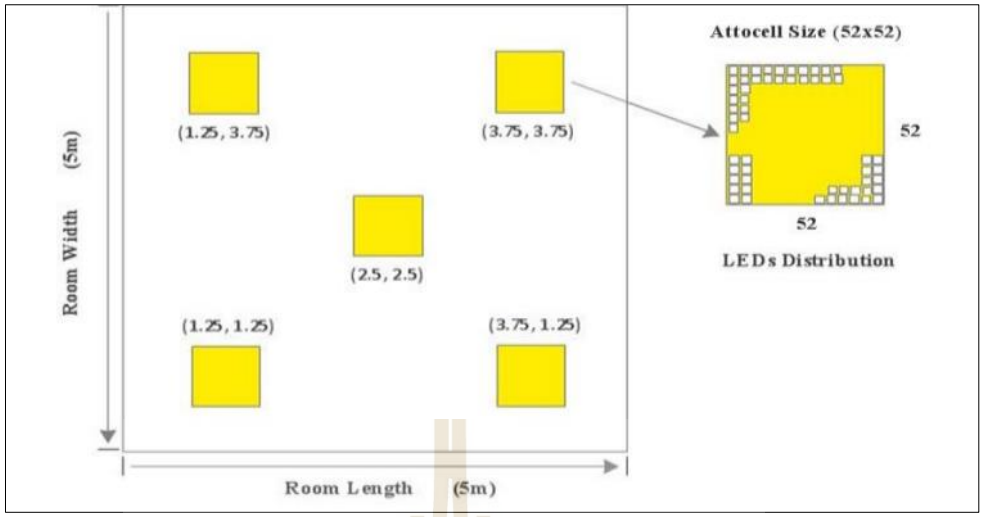
จากรูปที่ 2.20 จะเห็นได้ว่ารูปแบบที่ให้ค่าความสว่างมากที่สุดจะเป็นของการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมโดยมีค่าความสว่างเฉลี่ยอยู่ที่ 1560 lux รองลงมาก็จะเป็นของแบบวงกลม รูปแบบการจัดวางทั้ง 2 ให้ค่าความสว่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ในส่วนของพลังงานที่รับได้แม้ว่ารูปแบบการจัดวางทั้ง 2 จะใช้จำนวนหลอดไฟที่เท่ากันแต่พลังงานที่เครื่องตรวจจับแสงรับได้นั้นจะไม่เท่ากัน ซึ่งถ้าหากรับพลังงานได้เยอะก็จะส่งผลให้ตัวรับแสงต้องใช้พลังงานเยอะในการแปลงสัญญาณแสงกลับไปเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยเราจะเห็นได้ว่ารูปแบบที่เครื่องตรวจจับแสงรับพลังงานได้เยอะจะเป็นของรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมในรูปแบบอาเรย์ รองลงมาก็จะเป็นของแบบวงกลม ซึ่งงานนี้สรุปได้ว่ารูปแบบการจัดวางแบบวงกลมนอกจากมีลักษณะกระจายแสงที่ดีแล้ว ยังมีการใช้พลังงานที่น้อยกว่าอีกด้วย

2.9 รูปแบบการจัดวางสำหรับระบบ 5G

รูปแบบการจัดวางในระบบ 5G นั้นจะเป็นรูปแบบการจัดวางที่จำลองให้หลอดไฟเป็นเหมือนสถานีฐานในการส่งข้อมูลไปให้ผู้ใช้ในแต่ละเซลล์ โดยรูปแบบการส่งข้อมูลนี้จะเป็นการส่งข้อมูลแบบทีละชุดนั่นคือหมายความว่าหลอดไฟแต่ละดวงจะส่งข้อมูลไม่เหมือนกัน โดยสาเหตุที่ต้องจำลองระบบ 5G กับการสื่อสารแบบ VLC นั้นเป็นเพราะว่าการสื่อสารแบบนี้จะให้ความจุของช่องสัญญาณค่อนข้างเยอะซึ่งถ้านำไปใช้งานจริงก็อาจจะสามารถรองรับในเรื่องของจำนวนผู้ใช้ได้ในอนาคต

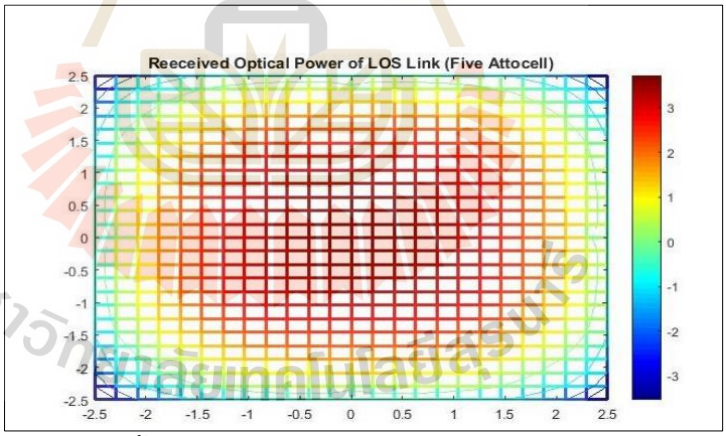
เนื่องด้วยเป็นการจัดวางสำหรับระบบ 5G งานนี้จะพิจารณาในเรื่องของพื้นที่ครอบคลุมการใช้พลังงานของเครื่องตรวจจับแสง และที่สำคัญคืออัตราส่วนระหว่างสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณรบกวน (SNR) ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วงาน VLC ในปัจจุบันจะนิยมพิจารณาค่า SNR เพื่อเป็นการพิสูจน์ประสิทธิภาพของระบบสื่อสาร โดยในการทดลองนี้จะทำการทดลองในห้องขนาด 5x5 ตารางเมตรด้วยรูปแบบการจัดวางแบบอาเรย์ 52x52 ที่จะวางทั้งหมด 5 จุดในห้อง [15] โดยเราสามารถดูรูปแบบการจัดวางได้ในรูปที่ 2.21

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

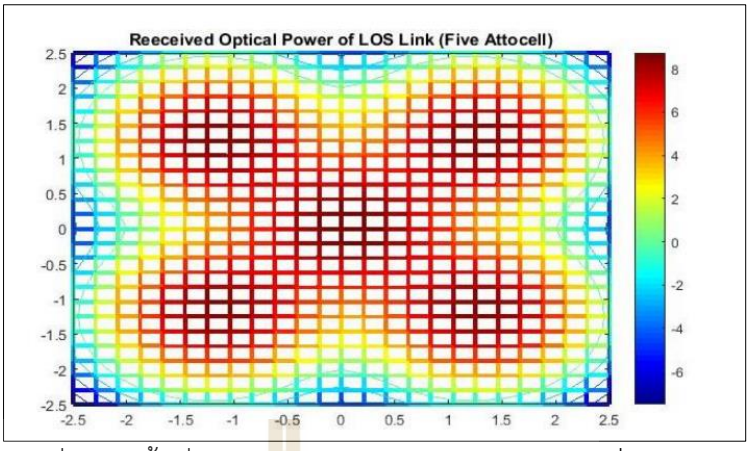


รูปที่ 2.21 รูปแบบการจัดวางในห้อง 5x5 ตารางเมตร

โดยในการทดลองนี้จะเป็นการทดลองเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการซ้อนทับของแสง ด้วยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนมุมของเลนส์ครอบแสง ซึ่งเลนส์ครอบแสงที่ใช้ในการทดลองนี้จะมีด้วยกัน 2 แบบนั้นคือแบบ 20 องศาและ 70 องศา ในส่วนแรกจากเป็นผลการทดลองในเรื่องของพื้นที่ครอบคลุม

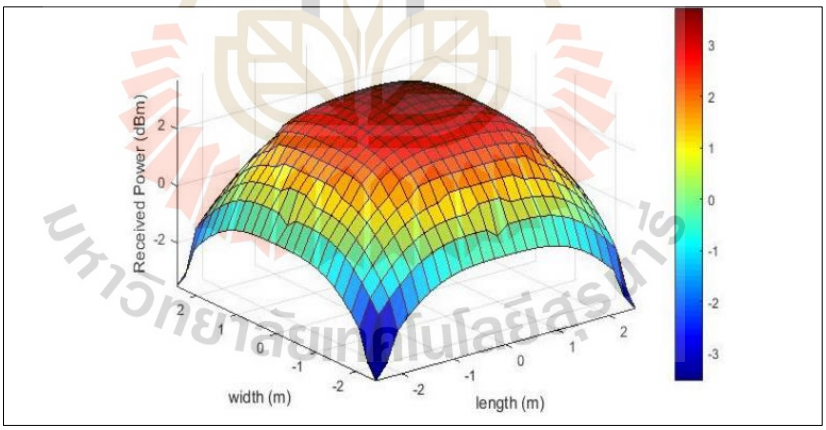


รูปที่ 2.22 พื้นที่ครอบคลุมของการปรับมุมครอบเลนส์ที่ 70 องศา

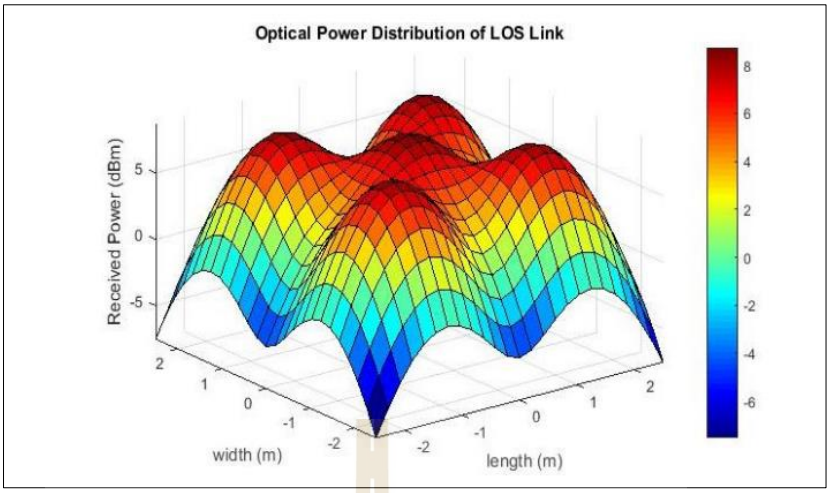


รูปที่ 2.23 พื้นที่ครอบคลุมของการปรับมุมครอบเลนส์ที่ 20 องศา

จากผลการทดลองในเรื่องของพื้นที่ครอบคลุมเราจะเห็นได้ว่าการปรับเลนส์ครอบแสงที่ 70 องศา (รูปที่ 2.22) นั้นจะทำให้เกิดการซ้อนทับกันของสัญญาณแสง ในขณะที่การปรับเลนส์ครอบเลนส์แสง 20 องศา (รูปที่ 2.23) จะไม่เกิดการซ้อนทับของแสงโดยแสงจะอยู่เฉพาะในบริเวณที่มีการจัดวางหลอดไฟ ดังนั้นการปรับเลนส์ครอบแสงที่ 20 องศาจะช่วยป้องกันการรบกวนของสัญญาณได้ดีกว่า ในส่วนถัดไปจะเป็นการเปรียบเทียบในเรื่องของใช้พลังงานของการปรับเลนส์ครอบแสงทั้ง 2 แบบ

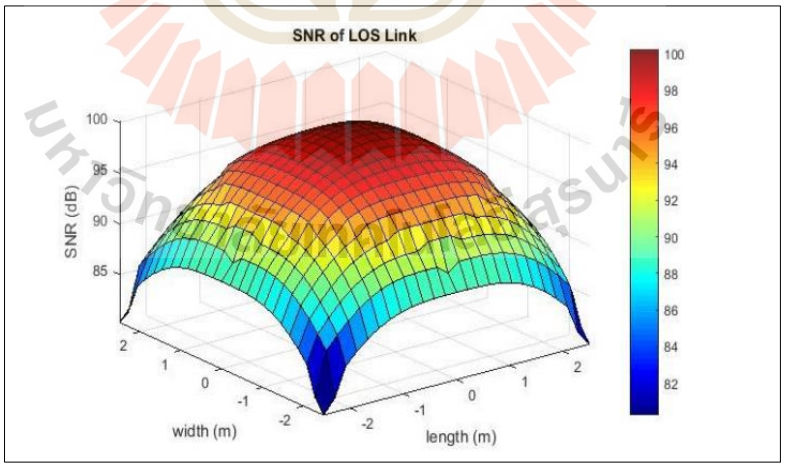


รูปที่ 2.24 อัตราการใช้พลังงานที่เครื่องตรวจจับแสงของการปรับมุมครอบเลนส์ 70 องศา

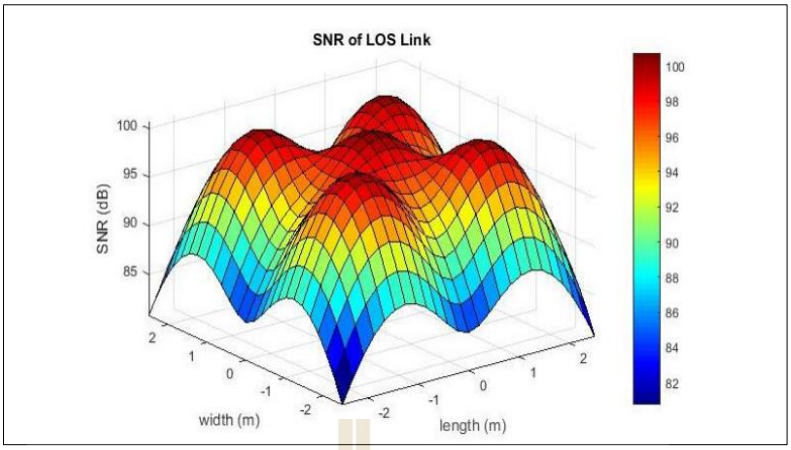


รูปที่ 2.25 อัตราการใช้พลังงานที่เครื่องตรวจจับแสงของการปรับมุมครอบเลนส์ 20 องศา

จากผลการจำลองการใช้พลังงานของเครื่องตรวจจับแสง การปรับมุมครอบเลนส์ 70 องศามีค่าพลังงานเฉลี่ย 2.8 dBm ส่วนการปรับมุมครอบเลนส์ 20 องศามีค่าพลังงานเฉลี่ย 8 dBm ซึ่งเราจะเห็นได้ว่าการปรับมุมครอบเลนส์ที่ 70 องศานั้นจะมีค่าการใช้พลังงานที่น้อยกว่า นอกจากนี้ถ้าเราสังเกตในเรื่องของพื้นที่ครอบคลุมเราจะเห็นได้ว่าถ้าลักษณะการกระจายแสงมีพื้นที่ครอบคลุมทั่วทั้งห้องจะส่งผลให้มีอัตราการใช้พลังงานน้อยลง ในขณะที่ถ้ามีลักษณะการกระจายแสงเฉพาะบางจุดจะส่งผลให้มีอัตราการใช้พลังงานเยอะ ซึ่งค่าพลังงานนี้ก็จะสัมพันธ์เกี่ยวกับ SNR ในการผลทดลองถัดไปต่อจากนี้



รูปที่ 2.26 SNR ของการปรับมุมครอบเลนส์ 70 องศา



รูปที่ 2.27 SNR ของการปรับมุมครอบเลนส์ 20 องศา

จากผลการทดลองค่า SNR ของการปรับมุมครอบเลนส์ 70 องศาจะมีเฉลี่ยอยู่ที่ 96 dB ส่วน SNR ของการปรับมุมครอบเลนส์ 20 องศาจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 98.7 dB โดยเราจะเห็นได้ว่าการปรับมุมครอบเลนส์ที่ 20 องศานั้นจะมีค่าการใช้พลังงานที่มากกว่า ซึ่งนั้นก็เป็นเพราะว่าการปรับมุมครอบแสงแบบนี้มีอัตราการใช้พลังงานที่สูงนั่นเอง

สรุปผลการจำลองการจัดวางสำหรับระบบ 5G นี้เราจะเห็นได้ว่ารูปแบบการจัดวางแบบอาเรย์โดยการใช้มุมครอบเลนส์ที่ 20 องศาจะเหมาะสมกับการใช้งานในระบบนี้เป็นอย่างมาก เพราะทำให้ไม่มีการซ้อนทับของแสงซึ่งเป็นตัวการทำให้เกิดปัญหาการรบกวนของสัญญาณ นอกจากนี้ยังมีค่า SNR ที่สูงอีกด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะเป็นการอธิบายขั้นตอนการออกแบบการจัดวางหลอดไฟ LED สำหรับระบบ Li-Fi รวมไปถึงสมการที่ใช้ในการหาสิ่งที่เราพิจารณาไม่ว่าจะเป็น ความสว่าง พลังงานที่รับได้ รวมไปถึงอัตราส่วนระหว่างสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณรบกวน (SNR) นอกจากนี้ก็จะมีการกล่าวถึงมาตรฐานความสว่างเพื่อให้ผู้ใช้มั่นใจว่าความสว่างที่ออกมานั้นจะไม่เป็นอันตรายต่อสายตา รวมไปถึงมาตรฐาน SNR ที่เป็นสิ่งที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารและในส่วนสุดท้ายจะเป็นการอธิบายเกี่ยวกับอัลกอริทึมที่ใช้ในการจัดวางหลอดไฟสำหรับงานนี้

3.2 การจำลองระบบ

ในการจำลองระบบนี้เราจะจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ได้รับความนิยมในหมู่นักวิจัยและมีมาตรฐานในการทดสอบ สำหรับขั้นตอนการจำลองนั้นพารามิเตอร์ที่เราต้องทราบก่อนจะเริ่มต้นการจัดวางได้แก่ ขนาดห้อง ความสูงจากภาครับไปยังภาคส่ง มุมที่ภาครับใช้ในการรับแสง (FOV) ค่าพลังงานของหลอดไฟ ความสว่างของหลอดไฟ และ ค่าความสว่างตามมาตรฐาน โดยรายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้สำหรับการทดลองสามารถดูได้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง

Parameters	Values
ขนาดห้อง	5x5x3 ลูกบาศก์เมตร
ความสูงจากภาครับไปยังภาคส่ง	2.15 เมตร
พลังงานของหลอดไฟ	10 วัตต์
ค่าความสว่างของหลอดไฟ	1050 ลูเมน
มุมที่ภาครับใช้ในการรับแสง (FOV)	70 องศา
ค่าความสว่างตามมาตรฐาน	500 ลักซ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.3 การหาจำนวนหลอดไฟ

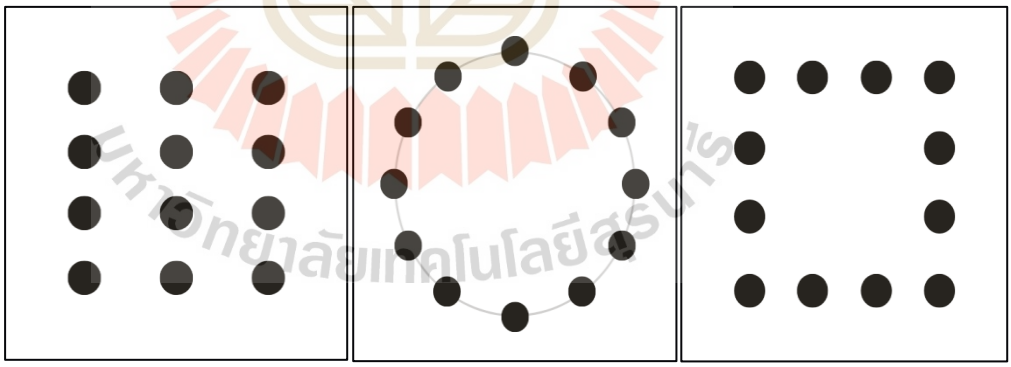
เมื่อเราทราบค่าพารามิเตอร์ต่างๆแล้ว จากนั้นเราก็จะทำการคำนวณหาจำนวนหลอดไฟเพื่อที่จะได้รู้ว่าห้องนี้สามารถจัดวางรูปแบบไหนได้บ้าง ซึ่งมีสมการดังต่อไปนี้ [16]

$$N_{LED} = \frac{M \times N \times I}{Lu \times Cu \times Ld} \tag{3.1}$$

โดย M และ N คือความกว้างและความยาวของห้อง I คือความสว่างตามมาตรฐาน โดยค่าความสว่างตามมาตรฐานนี้ควรมีค่าขั้นต่ำอยู่ที่ 400 ลักซ์ Lu คือความสว่างของหลอดไฟ 1 ดวง Cu คือสัมประสิทธิ์การใช้งาน ถ้าใช้งานในห้องทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานจะเท่ากับ 1 และสุดท้าย Ld คือค่าความเสื่อมสภาพของหลอดไฟ ซึ่งถ้าหากว่าเป็นหลอดไฟใหม่ค่าความเสื่อมสภาพจะเท่ากับ 1

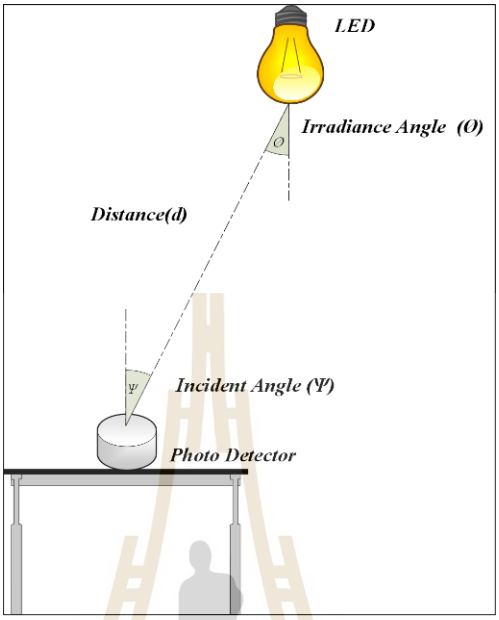
3.4 รูปแบบการจัดวาง

หลังจากใช้สมการที่ 3.1 ในการคำนวณเราพบว่าห้องนี้ควรใช้หลอดไฟทั้งหมด 12 ดวง จากนั้นเราก็จะนำหลอดไฟทั้งหมดมาหารูปแบบการจัดวาง โดยรูปแบบที่เราจะใช้ในการจัดวางก็จะมีทั้งหมด 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยม รูปแบบการจัดวางแบบวงกลมและรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวง



รูปที่ 3.1 (A) รูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยม (B) รูปแบบการจัดวางแบบวงกลม (C) รูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวง

3.5 ค่าความสว่างภายในห้อง



รูปที่ 3.2 การรับ-ส่งสัญญาณระหว่างหลอดไฟกับตัวรับแสง

หลังจากที่เราได้รูปแบบการจัดวางหลอดไฟแล้ว เราก็จะทำการหาค่าความสว่างของหลอดไฟแต่ละดวง ซึ่งค่าความเข้มแสงสามารถหาได้จากสมการด้านล่างนี้ [17]

$$\mathrm{E} = \frac{I(0)cos^{m}(\emptyset)}{d^{2}} \cdot cos(\Psi) \tag{3.2}$$

โดย $I(0)$ คือความเข้มแสงของหลอดไฟ LED m คือ ลำดับของ Lambertian d ระยะทางจากภาครับไปยังภาคส่ง $\emptyset$ คือมุมการแผ่รังสีของหลอดไฟ LED Ψ คือมุมตกกระทบ ทั้ง 2 มุมนี้เป็นมุมที่เกิดจากระยะทางของภาครับไปยังไปส่ง เพื่อให้เข้าใจสมการมากยิ่งขึ้นสามารถดูรายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้ในรูปที่ 3.2 ในส่วนของลำดับของ Lambertian สามารถหาได้จากสมการด้านล่างนี้

$$m = \frac{-ln\,2}{ln(\cos \emptyset_{1/2})} \tag{3.3}$$

โดย $cos\,\emptyset_{1/2}$ คือมุมของเลนส์ครอบแสง และหลังจากที่เราได้ค่าความสว่างของหลอดไฟแต่ละดวงมาแล้วเราก็จะนำค่าความสว่างนี้มารวมกันก็จะกลายเป็นค่าความสว่างทั้งห้อง

3.6 มาตรฐานความสว่างภายในห้อง

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารด้วยแสงนั้นยังอยู่ในขั้นตอนการทดลองใช้กับบางสถานที่และยังไม่ได้มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลาย จึงทำให้ ณ ตอนนี้ยังไม่ได้มีการกำหนดมาตรฐานความสว่างสำหรับระบบการสื่อสารแบบนี้ และอย่างที่เราทราบกันดีว่าระบบการสื่อสารด้วยแสงจะต้องใช้แสงในการส่งข้อมูล ซึ่งนั่นหมายความว่ายิ่งค่าความสว่างมากเท่าไรประสิทธิภาพการใช้งานก็จะดีขึ้นแต่ทั้งนี้ต้องดูลักษณะการกระจายแสงควบคู่ด้วย เพื่อให้ผู้ใช้มั่นใจว่าค่าความสว่างที่ออกมานั้นจะไม่เป็นอันตรายต่อสายตา เราจะใช้มาตรฐานความสว่างระดับสากลมาเป็นเกณฑ์อ้างอิง โดยมาตรฐานนี้มีชื่อว่า IES (The Illuminating Engineering Society of North America) ซึ่งในมาตรฐานจะมีการระบุพื้นที่การใช้งานและค่าความสว่างขั้นต่ำที่เหมาะสำหรับการใช้งานโดยทั่วไป [18]

ตารางที่ 3.2 มาตรฐานความสว่างสำหรับแต่ละพื้นที่

พื้นที่ต่างๆ	CIE	IES
ห้องประชุม	300-500-750	200-300-500
ห้องเขียนแบบ	500-750-1000	500-750-1000
ห้องทำงานทั่วไป	300-500-750	200-300-500
ห้องคอมพิวเตอร์	300-500-750	200-300-500
ห้องสมุด	300-500-750	200-300-500
ร้านค้าในอาคารพานิช	500-750	500-750-1000
เคาน์เตอร์	200-300-500	200-300-500
ห้องเก็บของ	100-150-200	100-150-200
ห้องลอบบี้หรือบริเวณต้อนรับ	100-150-200	100-150-200
ห้องน้ำ	100-150-200	100-150-200
ทางเดิน	50-100-150	100-150-200
บันได	100-150-200	100-150-200
ลิฟท์	100-150-200	100-150-200

ตารางที่ 3.3 มาตรฐานความสว่างสำหรับลักษณะงานแต่ละประเภท

พื้นที่ต่างๆ	CIE	IES
งานทั่วไป/Ex. warehouse / งานประกอบทั่วไป	150-200-300	200-300-500
งานหยาบ / Ex..งานประกอบชิ้นส่วน ทั่วๆไป	200-300-500	500-750-1000
งานละเอียดปานกลาง / Ex.งานประกอบชิ้นส่วนขนาดเล็ก	300-500-750	1000-1500-2000
งานละเอียด / Ex.งานประกอบ ชิ้นส่วนขนาดเล็กมาก	500-750-1000	2000-3000-5000
งานละเอียดมาก/Ex.งานประกอบชิ้นส่วนขนาดพิเศษ	1000-1500-2000	5000-7500-10000

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.2 และ 3.3 นั้นเป็นตารางค่าความสว่างที่แบ่งตามพื้นที่ใช้งานและลักษณะการใช้งาน โดยค่าความสว่างที่เราเห็นนี้เป็นค่าความสว่างขั้นต่ำที่ขึ้นอยู่กับขนาดห้อง ตัวอย่างเช่น ห้องประชุม ถ้าห้องมีขนาดเล็กค่าความสว่างขั้นต่ำควรจะอยู่ที่ 200 ลักซ์ ถ้าห้องขนาดกลางความสว่างควรจะอยู่ที่ 400 ลักซ์และถ้าห้องขนาดใหญ่ค่าความสว่างควรจะอยู่ที่ 500 ลักซ์เป็นต้น ในตารางที่ 3.3 เราจะเห็นว่าค่าความสว่างสูงสุดที่มาตรฐานนี้ได้ระบุไว้จะอยู่ที่ 10000 ลักซ์ ซึ่งจากตรงนี้เราสามารถมั่นใจได้ว่าความสว่างระดับนี้จะไม่เป็นอันตรายต่อสายตาแน่นอน

ต่อมาเราจะมาดูตัวอย่างงานที่ใช้ค่าความสว่างเกิน 10000 ลักซ์กันบ้าง เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการประดิษฐ์หลอดไฟที่มีชื่อว่า SAD lamp เพื่อใช้ในการรักษาผู้ป่วยที่เป็นโรคซึมเศร้าที่เกิดจากผลกระทบตามฤดูกาล โดยอาการนี้จะเกิดในช่วง ฤดูหนาวและฤดูใบไม้ร่วงซึ่งเป็นช่วงที่มีแดดน้อยมาก คำแนะนำในการรักษาโรคนี้คือผู้ป่วยจะต้องพยายามออกไปรับแสงแดดภายนอกบ่อยๆ แต่ในกรณีที่ห้องไม่มีหน้าต่างหรือกรณีกลางคืนผู้ป่วยจะต้องใช้ SAD lamp ในการรักษาโดยหลอดไฟนี้สามารถจำลองความสว่างได้ตั้งแต่ 10000 ลักซ์ไปจนถึง 100000 ลักซ์ได้ ซึ่งค่าความสว่างเหล่านี้เป็นค่าความสว่างภายนอกที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา สามารถดูรายละเอียดส่วนนี้เพิ่มเติมได้ในตารางที่ 3.4 [19] เนื่องด้วยค่าความสว่างของหลอดไฟที่ค่อนข้างสูง จึงต้องมีหลักการจัดวางเพื่อให้ปลอดภัยต่อสายตา โดยหลักการจัดวางได้กำหนดไว้ว่า ต้องวางหลอดไฟในแนว 45 องศาจากสายตาและระยะห่างระหว่างผู้ใช้ต้องไม่น้อยกว่า 0.5 เมตรเป็นอย่างต่ำ [20]

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการใช้งาน SAD lamp

จากในรูปที่ 3.3 เราจะเห็นได้ว่า SAD lamp นั้นสามารถใช้งานได้เหมือนหลอดไฟทั่วไป ซึ่งจากตรงนี้เมื่อเปรียบเทียบกับการจัดวางในระบบการสื่อสารด้วยแสงที่มีค่าความสว่างที่สูงและมีระยะห่างระหว่างผู้ใช้ที่มากกว่า 2.5 เมตรตรงนี้เราจึงมั่นใจได้ว่าค่าความสว่างที่ออกมานั้นจะไม่เป็นอันตรายต่อสายตาอย่างแน่นอน

ตารางที่ 3.4 ค่าความสว่างในแต่ละช่วงเวลา

Condition	Illumination	
	(ftcd)	(lux)
Sunlight	10000	107527
Full Daylight	1000	10752
Overcast Day	100	1075
Very Dark Day	10	107
Twilight	1	10.8
Deep Twilight	0.1	1.08
Full Moon	0.01	0.108
Quarter Moon	0.001	0.0108
Starlight	0.0001	0.0011
Overcast Night	0.00001	0.0001

3.7 พลังงานที่รับได้

ค่าพลังงานที่รับได้ (P_r) ถือเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่เอาไว้ใช้หาค่า SNR โดยค่าพลังงานนี้เกิดจากการรับสัญญาณแสงของอุปกรณ์รับแสง ซึ่งถ้าหากรับพลังงานได้เยอะก็จะทำให้ขั้นตอนการแปลงสัญญาณแสงกลับเป็นสัญญาณดิจิตอลใช้พลังงานเยอะ ค่าพลังงานที่รับได้สามารถหาได้จากสมการด้านล่างนี้ [21]

$$P_{r} = H(0) \cdot P_t \tag{3.4}$$

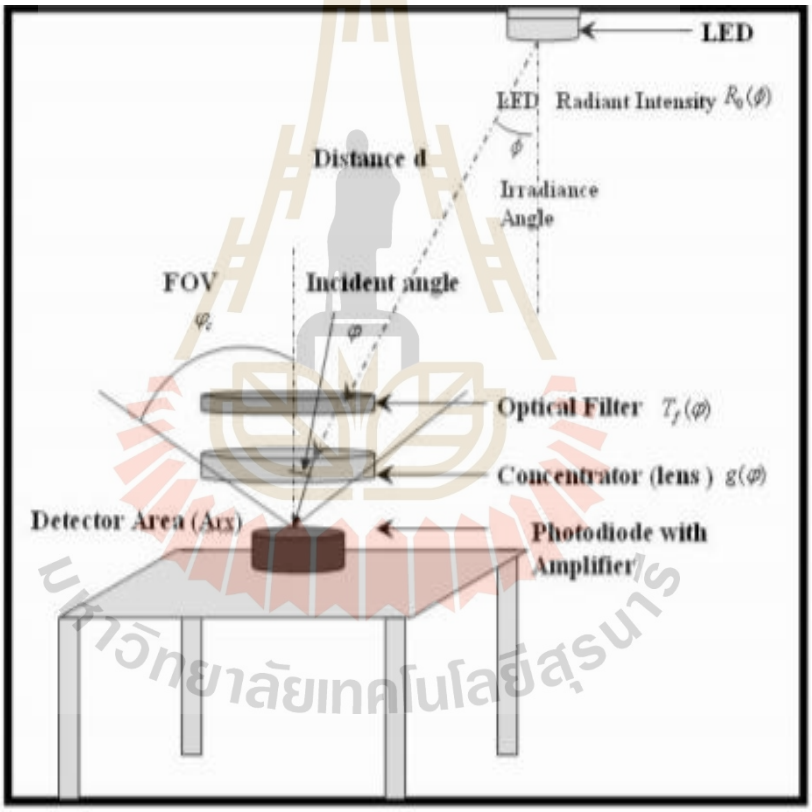
โดย P_t คือพลังงานรวมของหลอดไฟ และ $H(0)$ คืออัตราขยายช่องสัญญาณซึ่งสามารถหาได้จากสมการด้านล่างนี้

$$H(0) = \frac{(m+1)A}{2\pi D^2} cos^m(\emptyset) T_s * gcos(\Psi) \tag{3.5}$$

โดย A คือพื้นที่การตรวจจับแสง T_s คืออัตราขยายของวงจรกรองแสง g คืออัตราขยาย Optical concentrator ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 3.6 ส่วนค่าพารามิเตอร์ตัวอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวไป เป็นค่าเดียวกันกับสมการหาค่าความสว่าง (สมการที่3.2)

$$g = \frac{n^2}{sin^2(\Psi_c)} \tag{3.6}$$

โดย n คือดัชนีการสะท้อนแสงที่เลนส์ของอุปกรณ์รับแสง และ Ψ_c คือ ความกว้างของมุมรับแสง ในส่วนของรายละเอียดพารามิเตอร์ต่างๆสามารถดูในรูปที่ 3.4 เพื่อประกอบความเข้าใจ



รูปที่ 3.4 ส่วนประกอบของอุปกรณ์รับแสง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.8 อัตราส่วนระหว่างสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณรบกวน (SNR)

SNR เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับบอกประสิทธิภาพของการสื่อสาร โดยยิ่งมีค่านี้มากเท่าไร ประสิทธิภาพของการสื่อสารก็ดีขึ้นมากเท่านั้น หลังจากที่เราหาค่าพลังงานที่รับได้แล้ว เราก็จะนำค่านี้มาใช้หา SNR ต่อซึ่งสามารถหาได้จากสมการด้านล่างนี้ [22]

$$SNR = \frac{(RP_r)^2}{\sigma^2{}_{total}} \tag{3.7}$$

โดย R คือการตอบสนองของอุปกรณ์รับแสง P_r คือพลังงานที่รับได้และ $\sigma^2{}_{total}$ คือความแปรปรวนของสัญญาณรบกวน ซึ่งสามารถหาได้จากสมการด้านล่างนี้

$$\sigma^2{}_{total} = \sigma^2{}_{shot} + \sigma^2{}_{amplifier} \tag{3.8}$$

ค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนนี้เกิดจากการรวมกันระหว่างความแปรปรวนจากของวงจรไฟฟ้า ($\boldsymbol{\sigma^2{}_{shot}}$) กับค่าความแปรปรวนของวงจรขยายสัญญาณ ($\sigma^2{}_{amplifier}$) โดยค่าความแปรปรวนทั้งสองนี้สามารถหาได้จากสมการที่ 3.9 และ 3.10 ตามลำดับ

$$\sigma^2{}_{shot} = 2qR(P_r + P_n)B_n \tag{3.9}$$

โดย q คือมวลอิเล็กตรอน P_n คือความแปรปรวนจากแสงภายนอก และ B_n คือความแปรปรวนของแบนด์วิธ ส่วนของพารามิเตอร์ตัวอื่นที่ไม่ได้กล่าวถึงนั้น เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ได้กล่าวไปแล้วในสมการที่ 3.7

$$\sigma^2{}_{amplifier} = i^2{}_{amplifier} B_a \tag{3.10}$$

สมการที่ 3.10 เป็นสมการความแปรปรวนของวงจรขยายสัญญาณ โดยที่ $i^2{}_{amplifier}$ คือความแปรปรวนจากความหนาแน่นของวงจรขยายสัญญาณ และ B_a คือแบนด์วิธของวงจรขยายสัญญาณ

3.9 มาตรฐานอัตราส่วนระหว่างสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณรบกวน (SNR)

สำหรับมาตรฐานที่เราใช้ในการอ้างอิงนี้เป็นมาตรฐานที่มีชื่อว่า Asymmetric Digital Subscribers Line (ADSL) มาตรฐานนี้เป็นมาตรฐานของระบบการสื่อสารแบบไร้สาย ซึ่งแม้แต่ในระบบ Wi-Fi ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันก็ใช้มาตรฐานนี้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดประสิทธิภาพของระบบ รายละเอียดต่างๆสามารถดูได้ในตารางด้านล่างนี้ [23]

ตารางที่ 3.5 ประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารไร้สาย

SNR(dB)	Signal Strength
> 29	Excellent
20 - 28	Good
11 - 20	Fair
< 10	Bad signal

ข้อมูลในตารางที่ 3.5 จะเป็นเกณฑ์ที่ใช้ในการกำหนดประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแบบไร้สาย เราจะเห็นได้ว่ายิ่งค่า SNR มีค่ามากเท่าไรประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารก็จะดีขึ้นมากเท่านั้น

3.10 อัลกอริทึม

การจัดวางโดยการใช้การใช้อัลกอริทึมถือเป็นวิธีที่ช่วยให้เราประหยัดเวลาได้ดี โดยที่เราไม่ต้องเสียเวลาหาตำแหน่งในการติดตั้งและหารูปแบบการจัดวางเอง สำหรับอัลกอริทึมที่เราจะนำมาใช้ในงานนี้คือ Greedy algorithm อัลกอริทึมนี้ใช้สำหรับการแก้ปัญหาที่ไม่ได้มีความซับซ้อนและตรงไปตรงมา โดยจะพิจารณาจากข้อมูลที่มีอยู่ในขณะนั้นว่ามีทางเลือกใดที่จะทำให้ผลลัพธ์ออกมาดีที่สุด และ เนื่องด้วยอัลกอริทึมนี้มีหลักการทำงานที่ไม่ได้ซับซ้อนมากนักจึงทำให้ส่วนใหญ่แล้วโครงสร้างอัลกอริทึมจะเป็นแบบเชิงเส้น (Linear Data Structure) [24]

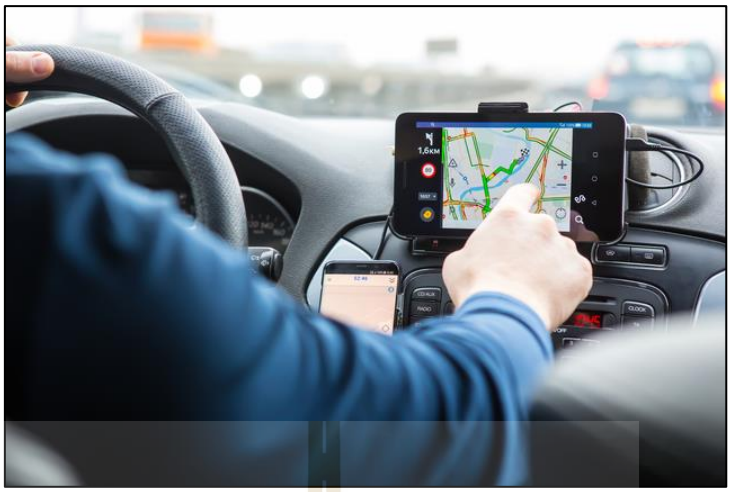
3.11 ตัวอย่างการใช้งานอัลกอริทึม

รูปที่ 3.5 ตู้ขายของอัตโนมัติ

ตู้ขายของอัตโนมัตินั้นมีหลักการทำงานง่ายๆ คือผู้ใช้ต้องทำการเลือกสินค้าก่อน เมื่อได้สินค้าที่ต้องการก็ทำการชำระเงินด้วยการสอดธนบัตรหรือหยอดเหรียญ เมื่อสิ้นสุดขั้นตอนนี้ตู้ก็จะส่งของผ่านทางช่องรับสินค้า ซึ่งในกรณีที่ต้องรับเงินทอนนั้น ตู้จะไม่สามารถทอนเงินโดยธนบัตรได้และจะทอนด้วยเหรียญเท่านั้น ซึ่งการเลือกประเภทเหรียญที่ใช้ทอนก็จะต้องใช้ Greedy algorithm เข้ามาช่วย

โดยเราจะยกตัวอย่างในกรณีที่ผู้ใช้ต้องรับเงินทอนจำนวน 20 บาทก่อนที่จะเริ่มทอนนั้น อัลกอริทึมต้องทำการเช็คว่าเหรียญที่มีอยู่นั้นมีเหรียญอะไรบ้าง เช่น ถ้ามีเหรียญ 10 ก็จะทอนเหรียญ 10 สองเหรียญ ถ้าไม่มีก็จะทอนเหรียญ 5 สี่เหรียญ ถ้าไม่มีอีก ก็จะทอนเหรียญ 2 บาทหรือเหรียญ 1 บาทตามลำดับ จะเห็นได้ว่าหลักการเลือกเหรียญนี้จะเลือกทอนเหรียญมูลค่ามากก่อนแล้วค่อยไล่ไปเหรียญที่มูลค่าน้อย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.6 ระบบนำทางอัตโนมัติ

ระบบนำทางอัตโนมัติหรือที่เรารู้จักกันในชื่อ GPS นั้นส่วนใหญ่แล้วจะอยู่ในรูปแบบแอปพลิเคชัน ซึ่งการใช้งานนั้นง่ายมาก เพียงแค่ผู้ใช้กรอกจุดหมายปลายทาง ระบบก็จะทำการค้นหาเส้นทางให้ และเนื่องด้วยเส้นทางนั้นมีอยู่มากมาย ในการค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดก็ต้องใช้ Greedy algorithm เข้ามาช่วย โดยอัลกอริทึมนี้จะคำนวณระยะทางของเส้นทางทั้งหมดว่าเส้นทางไหนที่สั้นที่สุด โดยอิงจากตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้ และทำการเลือกเส้นทางนั้นให้ผู้ใช้

3.12 หลักการทำงานของ Greedy algorithm

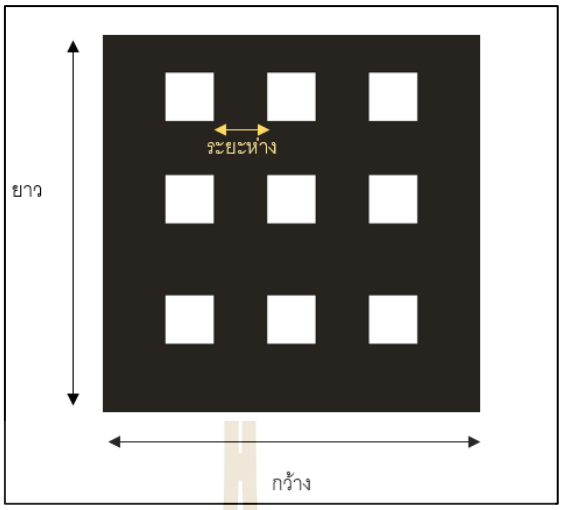
หลักการทำงานของ Greedy algorithm นั้นจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือการกำหนดปัญหาของงานที่เราต้องการจะแก้ไข (Problem) ขั้นตอนต่อมาคือการหาวิธีแก้ไขปัญหาหรือเรียกว่า Greedy rule และขั้นตอนสุดท้ายหลักการเขียนโค้ด (Code) คือ การนำ Greedy rule มาเขียนในรูปแบบของโค้ด

3.12.1 ปัญหาของงาน (Problem)

สำหรับปัญญาของงานนี้คือเราต้องการที่จะติดตั้งหลอดไฟในห้องหนึ่ง แต่ยังไม่ทราบว่าต้องจัดวางตำแหน่งไหน จึงจะทำให้ได้ลักษณะการกระจายแสงและค่าความสว่างออกมาดีที่สุด

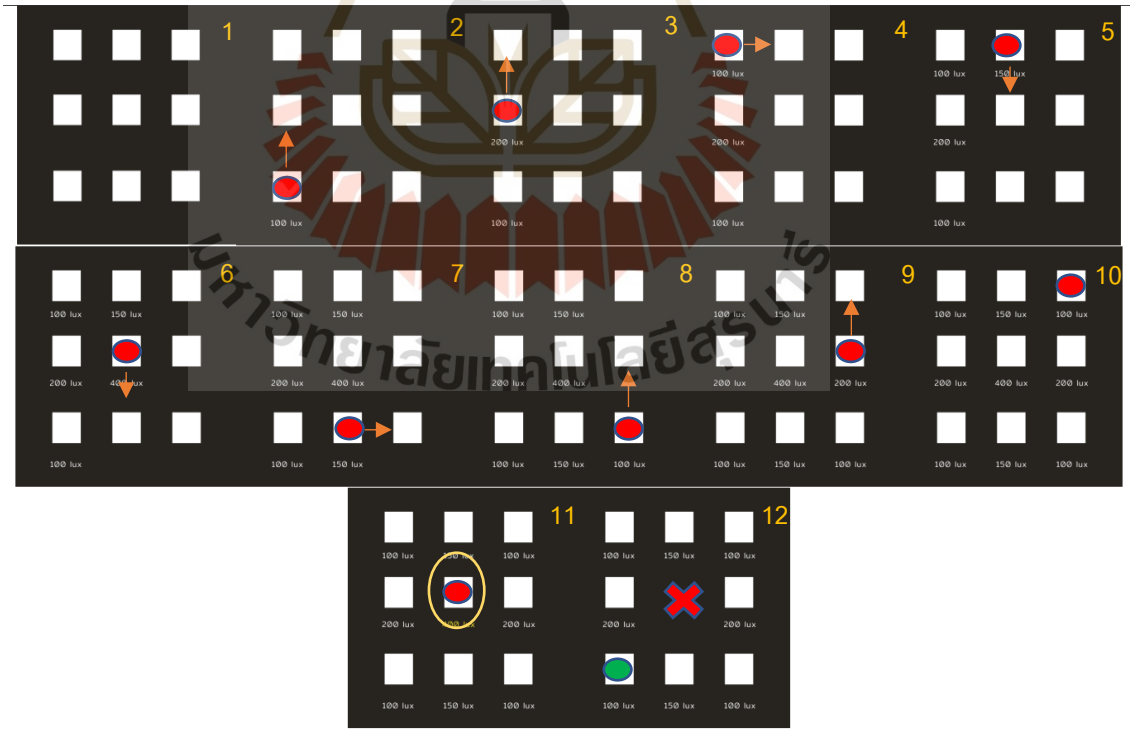
3.12.2 วิธีการแก้ปัญหา (Greedy rule) และ หลักการเขียนโค้ด (Code)

ทั้ง 2 ขั้นตอนเป็นขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันซึ่งหลังจากที่เราได้วิธีการแก้ปัญหาแล้วเราก็จะนำวิธีการนี้มาเขียนในรูปแบบของโค้ด เพื่อให้เข้าใจง่ายเราจะขออธิบายทั้ง 2 ขั้นตอนพร้อมกันเลยก่อนที่เราจะไปดูวิธีการแก้ปัญหาแบบใช้ Greedy rule เรามาดูวิธีการแก้ปัญหาแบบวิธีปกติก่อน



รูปที่ 3.7 การหาตำแหน่งการจัดวางสำหรับวิธีปกติ

สำหรับวิธีการจัดวางแบบปกตินั้น จะเป็นการจัดวางหลอดไฟทีละ 1 ดวงตามจำนวนที่ผู้ใช้ต้องการ ซึ่งก่อนที่จะเริ่มทำการจัดวางนั้นเราจะต้องหาตำแหน่งสำหรับการติดตั้งหลอดไฟในห้องก่อนว่ามีทั้งหมดกี่จุด โดยการจัดวางเราจะไม่จัดวางให้ชิดกำแพงมากไป และต้องกำหนดระยะห่างหลอดไฟว่าจะใช้ระยะเท่าไร โดยสามารถดูตัวอย่างได้จากในรูปในที่ 3.7



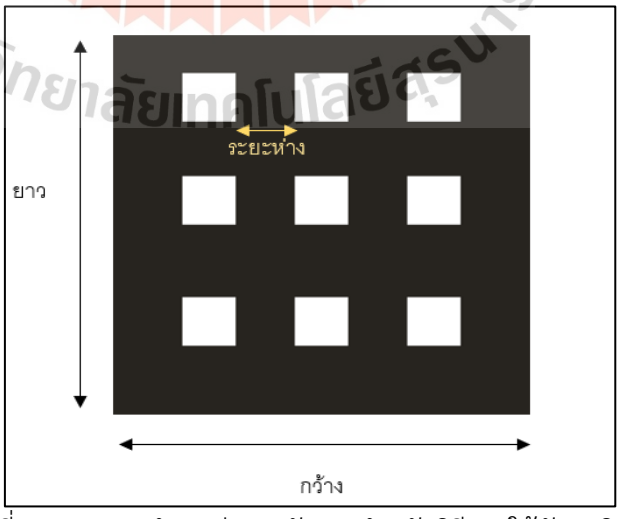
รูปที่ 3.8 ขั้นตอนแก้ปัญหาแบบวิธีปกติ

จากในรูปที่ 3.8 เราจะแทนหลอดไฟดวงที่ 1 ด้วยวงกลมสีแดง หลอดไฟดวงที่ 2 แทนด้วยวงกลมสีเขียว ตัวเลขที่อยู่ในรูปตรงบริเวณมุมขวาคือลำดับขั้นตอนในการจัดวางและลูกศรคือทิศทางในการจัดวางของหลอดไฟ ซึ่งเราจะเห็นได้ว่าในขั้นตอนที่ 1 จะมีตำแหน่งสำหรับการจัดวางจะมีอยู่ทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ต่อมาในขั้นตอนที่ 2 ถึง 10 จะเป็นการค้นหาตำแหน่งสำหรับการจัดวางของหลอดไฟดวงที่ 1 เมื่อหลอดไฟดวงที่ 1 เจอตำแหน่งที่ให้ค่าความสว่างมากที่สุดในขั้นตอนที่ 11 ก็จะทำการเก็บตำแหน่งนี้ไว้ เพื่อไม่ให้เกิดการวางซ้อนทับกันในรอบถัดไป ซึ่งเราจะเห็นได้ว่าในขั้นตอนที่ 12 หลอดไฟดวงที่ 2 จะเหลือตำแหน่งสำหรับการจัดวางอีกแค่ 8 ตำแหน่ง โดยสัญลักษณ์กากบาทที่เห็นในรูปคือตำแหน่งที่ได้มีการจัดวางหลอดไฟไปแล้ว ซึ่งลักษณะการจัดวางก็จะเป็นแบบนี้ไปเรื่อยๆ ตามจำนวนหลอดไฟที่ผู้ใช้ต้องการ

ต่อมาเราจะมาดูวิธีการแก้ปัญหาแบบใช้ Greedy algorithm หรือที่เรียกว่า Greedy rule กันบ้าง โดยเราได้คิดวิธีการแก้ปัญหา 2 แบบ แบบแรกจะเป็นแบบที่เลือกตำแหน่งที่ให้ค่าความสว่างมากที่สุด แบบต่อมาจะเป็นแบบที่เฉลี่ยความสว่างของหลอดไฟทุกตำแหน่งให้มีค่าไล่เลี่ยกันเพื่อให้เกิดการวางกระจายทั่วห้อง

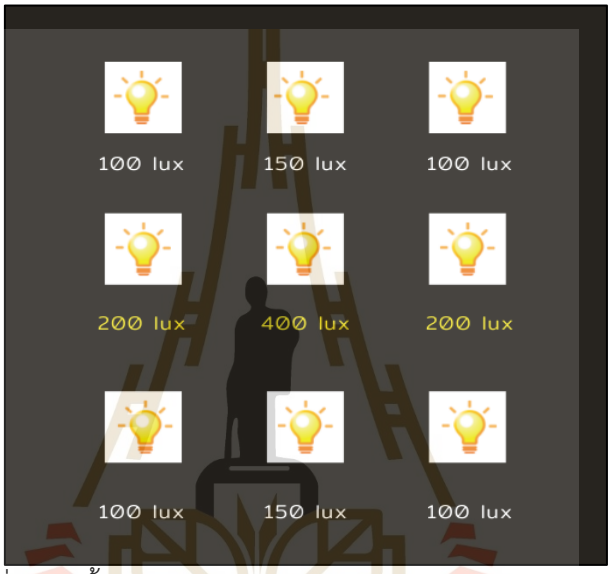
3.12.2.1 วิธีการแก้ปัญหาแบบที่ 1

ในขั้นตอนแรกที่เป็นขั้นตอนการหาตำแหน่งการจัดวางหลอดไฟในห้องนั้น ขั้นตอนแรกอัลกอริทึมจะทำการค้นหาตำแหน่งการจัดวางทั้งหมดในห้องว่ามีทั้งหมดกี่จุด โดยอิงจากขนาดห้องและระยะห่างระหว่างหลอดไฟ โดยหลักการเขียนโค้ด ณ ส่วนนี้คือเราจะไม่ให้มีการจัดวางที่ชิดกำแพงทั้งฝั่งแกน X ที่แทนด้วยความกว้างของห้องและ แกน Y ที่แทนด้วยความยาวของห้อง จากนั้นก็จะทำการเก็บตำแหน่งทั้งหมดเอาไว้ที่ตัวแปรหนึ่ง



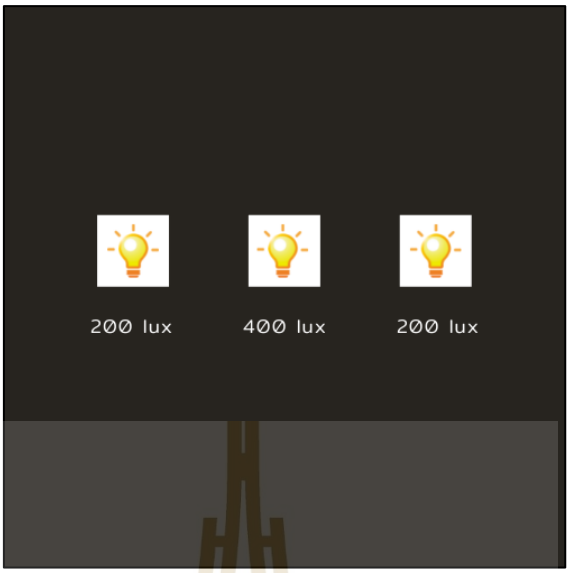
รูปที่ 3.9 การหาตำแหน่งการจัดวางสำหรับวิธีการใช้อัลกอริทึม

ในขั้นตอนถัดมาเราจะจัดวางหลอดไฟทุกตำแหน่งพร้อมกันเพื่อให้ทราบค่าความสว่างในแต่ละตำแหน่ง ซึ่งตรงนี้ในส่วนของหลักการเขียนโค้ด เราจะนำตัวแปรที่เก็บตำแหน่งทั้งหมดในขั้นตอนแรกมาทำการจัดวาง จากนั้นเราก็จะได้ค่าความสว่างทุกตำแหน่ง เนื่องด้วยเราจัดวางหลอดไฟทุกดวงพร้อมกัน จึงทำให้พื้นที่ในห้องแต่ละจุดจะมีค่าความสว่างของหลอดไฟแต่ละดวงไม่เท่ากัน เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้เราจะให้อัลกอริทึมทำการเฉลี่ยค่าความสว่างทุกตำแหน่งของหลอดไฟแต่ละดวงและเก็บเอาไว้ที่ตัวแปรหนึ่ง



รูปที่ 3.10 ขั้นตอนแก้ปัญหาแบบวิธีการใช้วิธีแก้ปัญหาแบบที่ 1

ในขั้นตอนสุดท้ายเราจะทำการนำตัวแปรที่เก็บค่าเฉลี่ยความสว่างแต่ละตำแหน่งมาทำการจัดเรียงจากมากไปน้อย และ ทำการเลือกตำแหน่งตามจำนวนหลอดไฟที่ผู้ใช้ต้องการ โดยเราจะสมมุติว่าถ้าผู้ใช้ต้องการหลอดไฟ 3 หลอด อัลกอริทึมก็จะทำการหยิบ 3 ตำแหน่งแรกที่ให้ค่าความสว่างมากที่สุดและจากนั้นก็จะทำการจัดวาง เพียงเท่านี้เราก็จะได้รูปแบบการจัดวางที่ค่าความสว่างดีที่สุดแล้ว



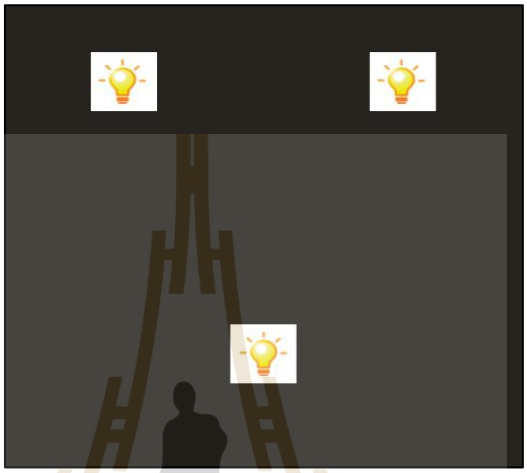
รูปที่ 3.11 รูปแบบการจัดวางที่ให้ค่าความสว่างมากที่สุดสำหรับการจัดวางโดยใช้วิธีแก้ปัญหาแบบที่ 1

3.12.2.2 วิธีการแก้ปัญหาแบบที่ 2

อย่างที่ได้กล่าวไปตอนต้นว่าการจัดวางด้วยวิธีนี้จะเป็นการเฉลี่ยค่าความสว่างของหลอดไฟแต่ละดวงให้มีค่าไล่เลี่ยกัน โดยขั้นตอนในการจัดวางนั้นขั้นตอนแรกจะเหมือนกับวิธีแก้ปัญหาแบบที่ 1 ทุกประการ ในขั้นตอนต่อมาหลังจากที่เราได้ค่าเฉลี่ยของหลอดไฟทุกตำแหน่งแล้วเราจะทำการนำค่า Mean ไปลบค่าเฉลี่ยความสว่างของหลอดไฟทุกตำแหน่ง ซึ่งนั้นจะทำให้ค่าความสว่างของหลอดไฟแต่ละดวงมีค่าไล่เลี่ยกัน

รูปที่ 3.12 วิธีเฉลี่ยค่าความสว่างของวิธีแก้ปัญหาแบบที่ 2

ในขั้นตอนสุดท้ายเราจะให้อัลกอริทึมทำการเก็บค่าเหล่านี้เอาไว้ที่ตัวแปรหนึ่ง จากนั้นก็ทำการจัดเรียงจากน้อยไปมาก จากนั้นก็ทำการเลือกตำแหน่งตามจำนวนหลอดไฟที่ผู้ต้องการ สมมุติว่าผู้ใช้ต้องการหลอดไฟ 3 หลอดอัลกอริทึมก็จะทำการเลือกตำแหน่งที่มีค่าความสว่างน้อยที่สุดมา 3 อันดับซึ่งตัวอย่างการจัดวางก็เหมือนกับรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 รูปแบบการจัดวางที่ให้ค่าความสว่างมากที่สุดสำหรับการจัดวางโดยใช้วิธีแก้ปัญหาแบบที่ 2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 กล่าวนำ

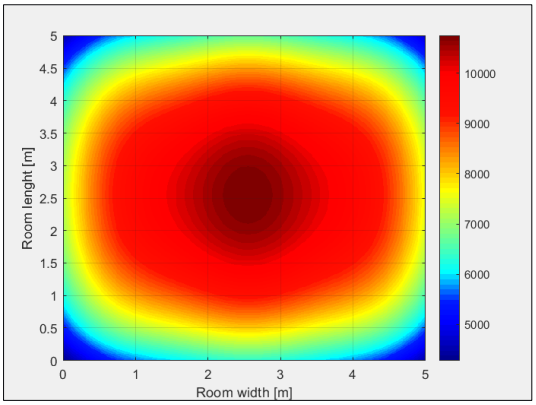
เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงผลการจัดวางหลอดไฟ LED สำหรับระบบ Li-Fi ในส่วนแรกจะเป็นผลการจำลองของรูปแบบการจัดวางแบบจัดวางเอง ส่วนต่อมา จะเป็นผลการเปรียบเทียบรูปแบบการจัดวางระหว่างวิธีการใช้อัลกอริทึม กับ วิธีการจัดวางแบบปกติ โดยในส่วนนี้เราเปรียบเทียบในเรื่องของระยะเวลา และ ผลการจัดวางของทั้ง 2 วิธี และในส่วนสุดท้ายจะเป็นการเปรียบเทียบรูปแบบการจัดวางแบบจัดวางเอง กับ รูปแบบการจัดวางโดยการใช้อัลกอริทึม สำหรับการจัดวางแบบจัดวางเองนั้นเราจะเลือกรูปแบบที่ดีสุดที่ได้จากผลการทดลองในส่วนแรก

4.2 ผลการจำลองรูปแบบการจัดวางแบบจัดวางเอง

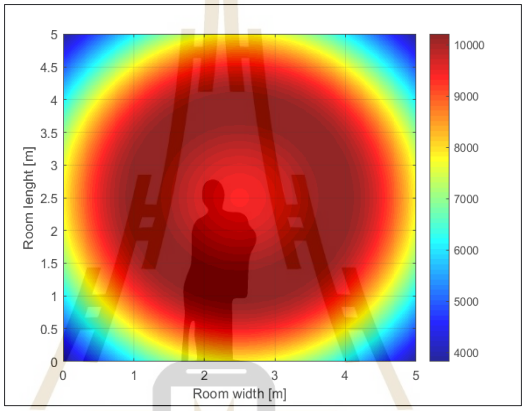
รูปแบบการจัดวางแบบจัดวางเองนั้นเป็นรูปแบบที่ผู้ใช้จะต้องทำการหาตำแหน่งการติดตั้งหลอดไฟ LED เอง โดยรูปแบบที่เราเลือกมานี้จะมีด้วยกันทั้งหมด 3 รูปแบบ ได้แก่ 1.รูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยม 2.รูปแบบการจัดวางแบบวงกลม 3.รูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวง ในส่วนนี้เราจะทำการทดลองในห้องขนาด 5x5 ตารางเมตร โดยรูปแบบทั้ง 3 จะถูกเปรียบเทียบกันในเรื่องของค่าความสว่างที่ปลอดภัยต่อสายตา พื้นที่ครอบคลุม และ SNR

4.2.1 ประสิทธิภาพทางด้านความสว่าง

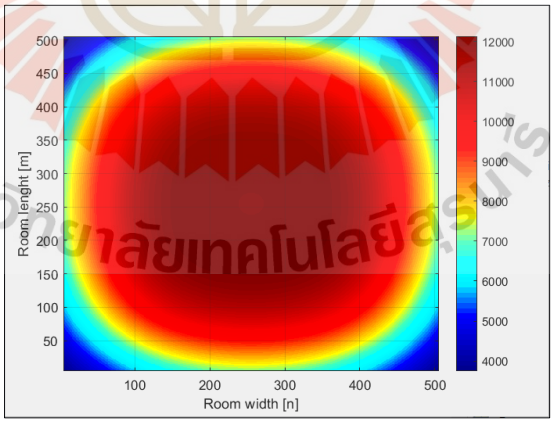
สำหรับรูปแบบการจัดวางที่ดีจะต้องมีค่าความสว่างโดยเฉลี่ยมากกว่า 500 ลักซ์ตามหลักมาตรฐานของ IES ในส่วนของลักษณะการกระจายแสงเนื่องด้วยเป็นการกระจายแสงในระบบ Li-Fi นั้นจึงหมายความว่าลักษณะการกระจายแสงต้องทั่วทั้งบริเวณห้อง เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงอินเทอร์เน็ตได้ในทุกจุด



รูปที่ 4.1 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยม



รูปที่ 4.2 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบวงกลม



รูปที่ 4.3 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวง

จากผลการจำลอง รูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมมีค่าความสว่างโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 8,476 ลักซ์ รูปแบบการจัดวางแบบวงกลมมีค่าความสว่างโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 8,839 ลักซ์ และรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวงมีค่าความสว่างโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 9,533 ลักซ์ โดยเราจะเห็นได้ว่าทั้ง 3 รูปแบบนั้นมีค่าความสว่างโดยเฉลี่ยมากกว่า 500 ลักซ์ทั้งหมด ซึ่งรูปแบบที่ให้ค่าความสว่างมากที่สุดนั้น คือ รูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวง รองลงมาจะเป็นแบบวงกลม และ สี่เหลี่ยมตามลำดับ ในส่วนของลักษณะการกระจายแสง การจัดวางแบบสี่เหลี่ยมจะมีความเข้มแสงมากเฉพาะบริเวณกลางห้อง โดยสังเกตได้จากพื้นที่สีแดง ส่วนรูปแบบการจัดวางแบบวงกลมและสี่เหลี่ยมกลวง มีลักษณะการกระจายแสงทั่วทั้งบริเวณห้องนั่นเป็นเพราะว่าการจัดวางทั้ง 2 รูปแบบเป็นการจัดวางที่เน้นให้วางกระจายรอบห้อง แต่อย่างไรก็ตามเนื่องด้วยรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวงมีค่าความสว่างโดยเฉลี่ยมากกว่า ผลการจำลองในด้านนี้เราจึงสรุปว่ารูปแบบการจัดวางที่ดีที่สุดจะเป็นของแบบสี่เหลี่ยมกลวงนั่นเอง

4.2.2 ประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุม

สำหรับประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุมนั้นเราต้องการให้ทุกจุดในห้องมีค่าความสว่างมากกว่า 500 ลักซ์ทั้งหมดเพื่อให้มั่นใจว่าค่าความสว่างที่ออกมานั้นจะปลอดภัยต่อสายตาอย่างแน่นอน

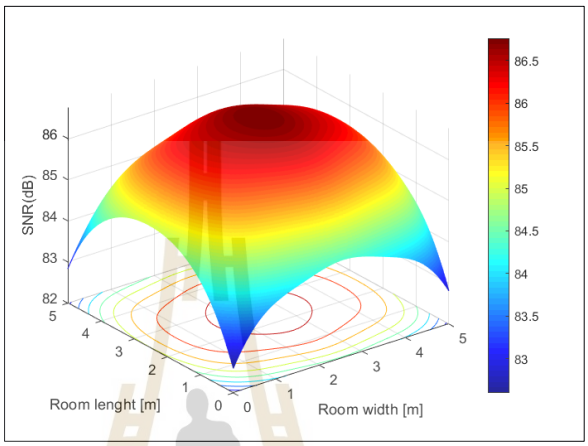
ตารางที่ 4.1 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุมของการจัดวางทั้ง 3 รูปแบบ

รูปแบบการจัดวาง	**ค่าความสว่าง (ลักซ์)**		**พื้นที่ครอบคลุม**
	ค่าความสว่างที่มากที่สุด	**ค่าความสว่างที่น้อยที่สุด**	
1. สี่เหลี่ยม	10,752	4280	100%
2. วงกลม	12,016	3821	100%
3. สี่เหลี่ยมกลวง	12,127	3749	100%

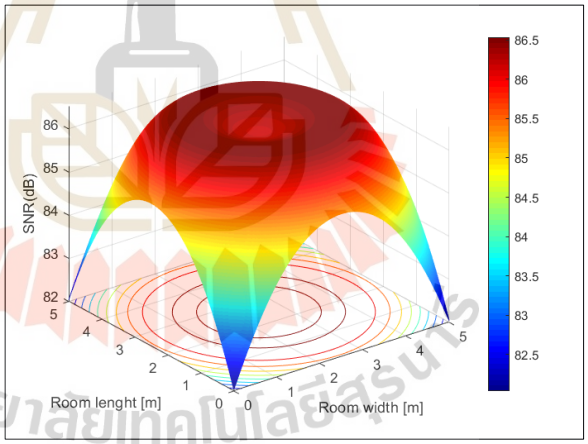
จากตารางที่ 4.1 เราจะเห็นได้ว่ารูปแบบการจัดวางทั้ง 3 รูปแบบนั้นมีค่ามากกว่า 500 ลักซ์ทั้งหมดดังนั้นพื้นที่ครอบคลุมทั้งหมดจึงคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

4.2.3 ประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสาร

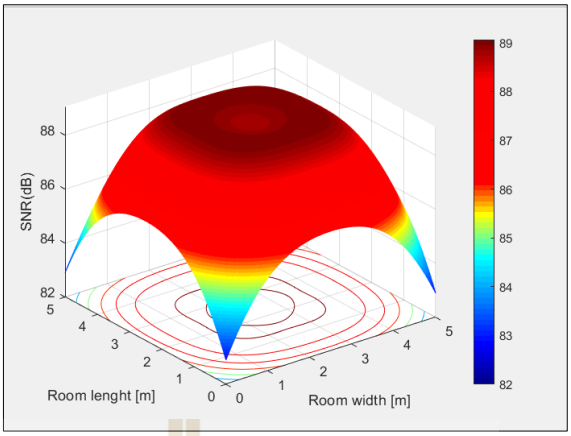
ในส่วนของประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารนั้นเราจะพิจารณากันที่ค่า SNR โดยยิ่งในระบบการสื่อสารมีค่านี้มากเท่าไรนั่นหมายความว่าประสิทธิภาพของสื่อสารก็จะดีขึ้นเท่านั้น ซึ่งในมาตรฐาน ADSL ได้กำหนดไว้ว่าค่า SNR ไม่ควรน้อยกว่า 10 dB



รูปที่ 4.4 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยม



รูปที่ 4.5 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบวงกลม



รูปที่ 4.6 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวง

ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสาร รูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมมีค่าเฉลี่ย SNR อยู่ที่ 85 dB รูปแบบการจัดวางแบบวงกลมมีค่าเฉลี่ย SNR อยู่ที่ 86 dB และรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวงมีค่าเฉลี่ย SNR อยู่ที่ 88 dB จะเห็นได้ว่าทั้ง 3 รูปแบบมีค่า SNR เกิน 10 dB ทั้งหมดและค่าเหล่านี้ก็อยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก อย่างไรก็ตามเนื่องด้วยรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวงให้ค่า SNR มากที่สุดดังนั้นสำหรับประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารนั้นเราจึงสรุปได้ว่ารูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวงเป็นรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับห้องนี้

4.2.4 สรุปผลการจำลองของรูปแบบการจัดวางแบบจัดวางเอง

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการจำลองประสิทธิภาพของการจัดวางทั้ง 3 รูปแบบ

รูปแบบการจัดวาง	ค่าความสว่าง (Lux)	SNR (dB)	พื้นที่ครอบคลุม
1. สี่เหลี่ยม	8,476	85	100%
2. วงกลม	8,839	86	100%
3. สี่เหลี่ยมกลวง	9,533	88	100%

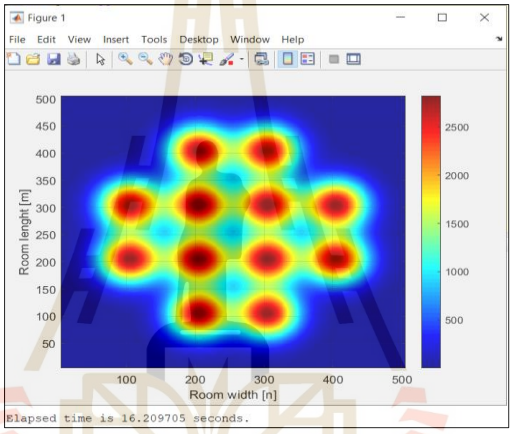
สรุปผลการจำลองในห้องขนาด 5x5 ตารางเมตร เราจะเห็นได้ว่ารูปแบบการจัดวางสี่เหลี่ยมกลวงนั้นเป็นรูปแบบการจัดวางที่ดีที่สุดทั้งในเรื่องของค่าความสว่าง SNR และ พื้นที่ครอบคลุม โดยเราจะนำรูปแบบการจัดวางแบบนี้ไปเปรียบเทียบกับรูปแบบการจัดวางโดยการใช้อัลกอริทึม เพื่อดูว่ารูปแบบการจัดวางแบบนี้จะสามารถใช้ได้กับห้องทุกขนาดได้หรือไม่ ซึ่งจะอยู่ในหัวข้อที่ 4.4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

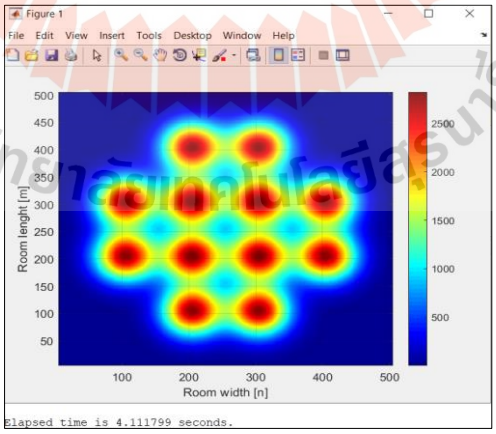
4.3 ผลการจำลองการเปรียบเทียบรูปแบบการจัดวางระหว่างวิธีการปกติกับวิธีที่ใช้อัลกอริทึม

ในส่วนนี้เราจะทำการเปรียบเทียบทั้ง 2 วิธีเพื่อเช็คความถูกต้องของจัดวางโดยใช้อัลกอริทึม โดยวิธีการจัดวางแบบปกตินั้นจะเป็นวิธีการจัดวางที่มีเป้าหมายเพื่อหาตำแหน่งที่ให้ค่าความสว่างมากที่สุดตามจำนวนหลอด LED ที่ผู้ใช้ต้องการ ซึ่งเป็นเป้าหมายเดียวกันกับการจัดวางโดยการใช้อัลกอริทึมด้วยวิธีการแก้ปัญหาแบบ Greedy rule ข้อที่ 1 โดยเราจะเปรียบเทียบกันในเรื่องของระยะเวลา และ ผลการจัดวางหลอดไฟ

4.3.1 ผลการจัดวางในห้องขนาด 5x5 ตารางเมตร



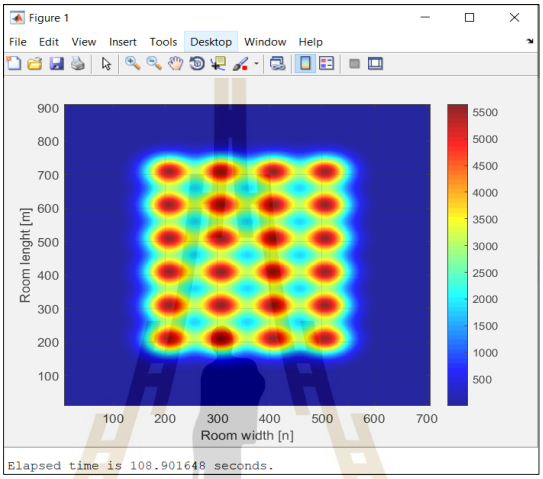
รูปที่ 4.7 ผลการจัดวางและระยะเวลาที่ใช้ของวิธีการจัดวางแบบปกติ (ห้อง 5x5 ตารางเมตร)



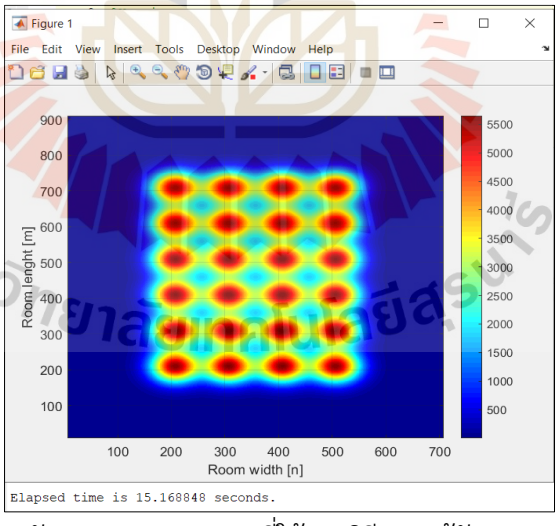
รูปที่ 4.8 ผลการจัดวางและระยะเวลาที่ใช้ของวิธีการแก้ปัญหาแบบ Greedy rule (ห้อง 5x5 ตารางเมตร)

จากผลการจัดวางในห้องขนาด 5x5 ตารางเมตร เราจะเห็นได้ว่าวิธีการจัดวางแบบใช้ Greedy rule จะให้ผลการจัดวางเหมือนกับวิธีการจัดวางแบบปกติ ในส่วนของระยะเวลาในการหาตำแหน่งการจัดวางที่ดีที่สุด การจัดวางแบบใช้ Greedy rule จะใช้ระยะเวลาน้อยกว่าแบบวิธีการจัดวางแบบปกติ โดยการจัดวางแบบใช้ Greedy rule จะอยู่ที่ประมาณ 4 วินาที ในขณะที่วิธีการปกตินั้นใช้เวลาถึง 16 วินาที

4.3.2 ผลการจัดวางในห้องขนาด 9x7 ตารางเมตร



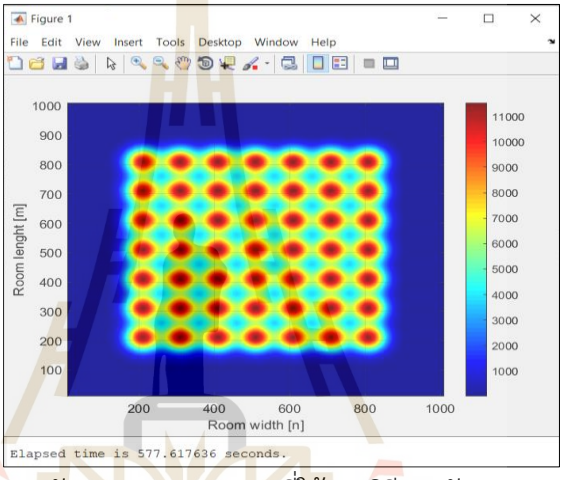
รูปที่ 4.9 ผลการจัดวางและระยะเวลาที่ใช้ของวิธีการจัดวางแบบปกติ (ห้อง 9x7 ตารางเมตร)



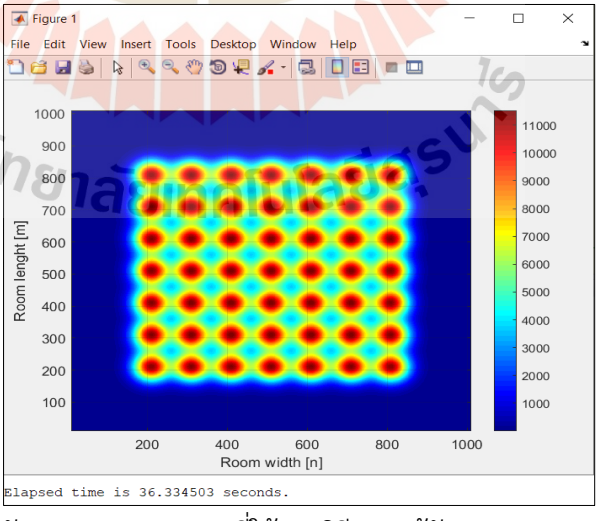
รูปที่ 4.10 ผลการจัดวางและระยะเวลาที่ใช้ของวิธีการแก้ปัญหาแบบ Greedy rule (ห้อง 9x7 ตารางเมตร)

จากผลการจัดวางในห้องขนาด 9x7 ตารางเมตร เราจะเห็นได้ว่าวิธีการจัดวางแบบใช้ Greedy rule ยังคงให้ผลการจัดวางเหมือนกับวิธีการจัดวางแบบปกติ ในส่วนของระยะเวลาในการหาตำแหน่งการจัดวางที่ดีที่สุด การจัดวางแบบใช้ Greedy rule จะใช้ระยะเวลาน้อยกว่าแบบวิธีการจัดวางแบบปกติ โดยการจัดวางแบบใช้ Greedy rule จะอยู่ที่ประมาณ 15 วินาที ส่วนวิธีการปกตินั้นใช้เวลา 1 นาที 48 วินาที ซึ่งจากตรงนี้เราจะได้เห็นแล้วว่าการจัดวางแบบปกตินั้นยิ่งห้องมีขนาดใหญ่เวลาที่ใช้ในการหาตำแหน่งก็จะนาน

4.3.3 ผลการจัดวางในห้องขนาด 10x10 ตารางเมตร



รูปที่ 4.11 ผลการจัดวางและระยะเวลาที่ใช้ของวิธีการจัดวางแบบปกติ (ห้อง 10x10 ตารางเมตร)



รูปที่ 4.12 ผลการจัดวางและระยะเวลาที่ใช้ของวิธีการแก้ปัญหาแบบ Greedy rule (ห้อง 10x10 ตารางเมตร)

ในส่วนสุดท้ายนี้จะเป็นผลการจัดวางในห้องขนาด 10x10 ตารางเมตรซึ่งเป็นห้องขนาดใหญ่ เราจะเห็นได้ว่าวิธีการจัดวางแบบใช้อัลกอริทึม ก็ยังคงให้ผลการจัดวางเหมือนกับวิธีการจัดวางแบบปกติ ในส่วนของระยะเวลาในการหาตำแหน่งการจัดวางที่ดีที่สุด การจัดวางแบบใช้ Greedy rule จะใช้ระยะเวลาน้อยกว่าแบบวิธีการจัดวางแบบปกติ โดยการจัดวางแบบใช้ Greedy rule จะอยู่ที่ประมาณ 36 วินาที ในขณะที่วิธีการปกตินั้นใช้เวลาไป 9 นาที 37 วินาที

จากผลการจัดวางทั้ง 3 ห้องเราสามารถสรุปได้ว่าการจัดวางด้วยวิธีการแก้ปัญหาแบบ Greedy rule จะมีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีการปกติ เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการหาตำแหน่งการจัดวางน้อยกว่าและให้ผลลัพธ์การจัดวางที่เหมือนกัน

4.4 ผลการจำลองการเปรียบเทียบรูปแบบการจัดวางแบบจัดวางเองกับรูปแบบการจัดวางโดยการใช้อัลกอริทึม

จากผลการจำลองรูปแบบการจัดวางแบบจัดวางเอง เราจะเห็นได้ว่ารูปแบบการจัดวางที่ดีที่สุดจะเป็นของรูปการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวง ที่มีประสิทธิภาพดีทั้งในด้านความสว่าง พื้นที่ครอบคลุม และ SNR โดยในส่วนนี้เราจะทำการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการจัดวางแบบจัดวางเองกับรูปแบบการจัดวางโดยการใช้อัลกอริทึม สำหรับจะวิธีการจัดวางโดยอัลกอริทึมนี้จะมีวิธีการแก้ปัญหา 2 แบบ แบบที่ 1 เป็นแบบที่เลือกตำแหน่งโดยการหาตำแหน่งที่ให้ค่าความสว่างมากที่สุด (Greedy rule1) โดยเราจะขอเรียกสั้นๆ ว่ารูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 และ แบบที่ 2 จะเป็นการเลือกตำแหน่งโดยเฉลี่ยค่าความสว่างของหลอดไฟให้มีความไล่เลี่ยกันก่อนและทำการเลือก (Greedy rule2) โดยเราจะขอเรียกสั้นๆ ว่ารูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 โดยเราจะทำการเปรียบเทียบในตั้งแต่ห้องขนาดเล็กไปจนถึงห้องขนาดใหญ่เพื่อค้นหาว่าการจัดวางแบบใดที่จะสามารถใช้ได้กับห้องทุกขนาด

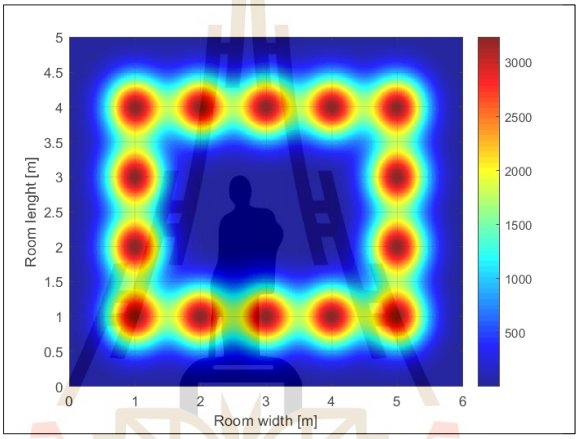
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.4.1 ห้องขนาด 6x5 ตารางเมตร

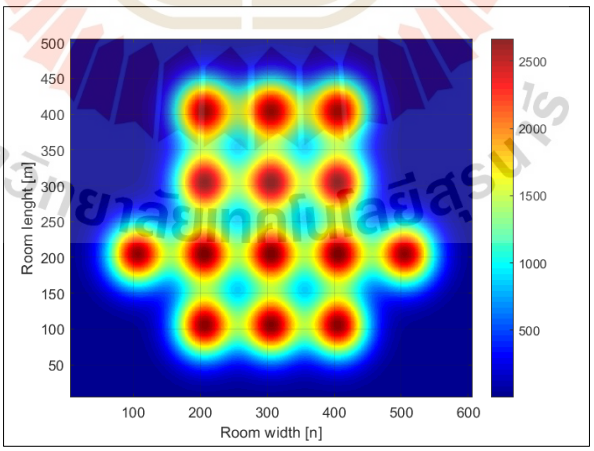
สำหรับห้องแรกที่เราจะทำการจำลองนี้จะเป็นห้องที่มีขนาด 6x5 ตารางเมตรซึ่งจัดว่าเป็นห้องขนาดเล็กโดยเราจะเปรียบเทียบกันตั้งแต่ รูปแบบการจัดวาง ประสิทธิภาพทางด้านความสว่าง ประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุม และ ประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสาร (SNR)

4.4.1.1 ผลการจำลองรูปแบบการจัดวางสำหรับห้องขนาด 6x5 ตารางเมตร

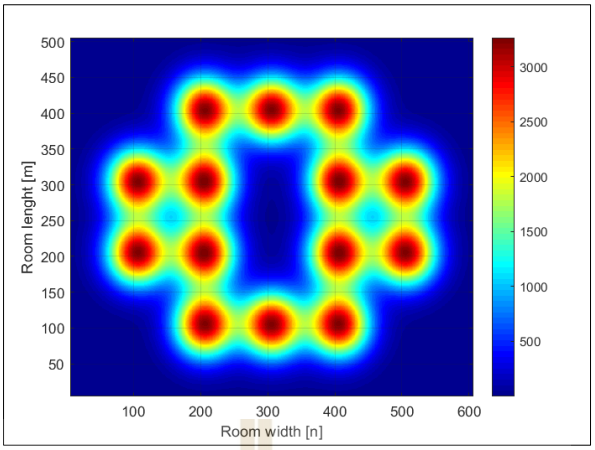
ในส่วนแรกเราจะเปรียบเทียบรูปแบบการจัดวางทั้ง 3 รูปแบบ โดยรูปแบบการจัดวางที่ดีนั้นรูปแบบการจัดวางต้องมีความสมมาตรกันในแต่ละด้าน เพื่อให้มีลักษณะการกระจายแสงที่ดี



รูปที่ 4.13 รูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวง (ห้อง 6x5 ตารางเมตร)



รูปที่ 4.14 รูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 (ห้อง 6x5 ตารางเมตร)

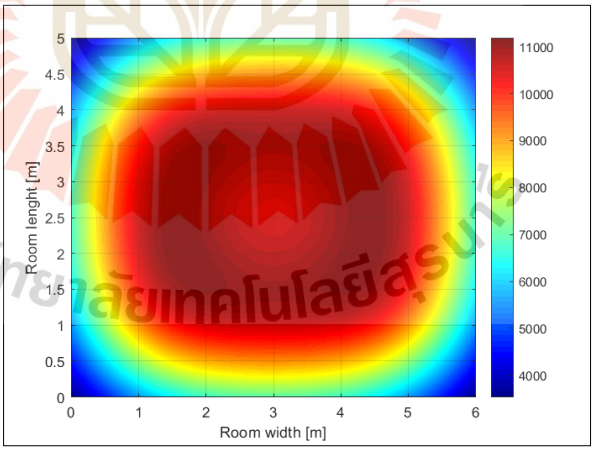


รูปที่ 4.15 รูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 (ห้อง 6x5 ตารางเมตร)

จากผลการจำลองการจัดวางหลอดไฟทั้ง 3 รูปแบบเราจะเห็นว่ารูปแบบการจัดวางทั้งหมดนั้นมีลักษณะการจัดวางที่สมมาตร

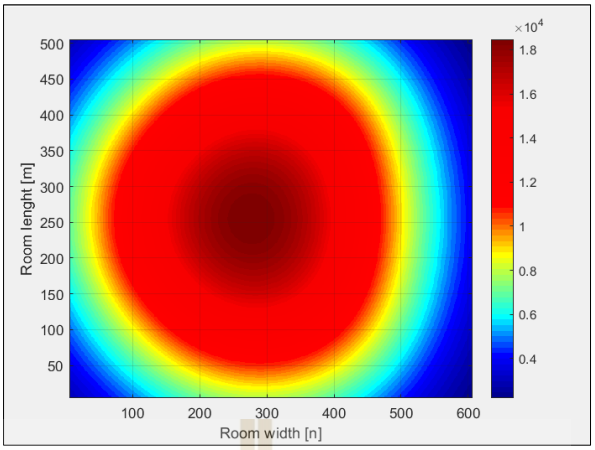
4.4.1.2 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างสำหรับห้องขนาด 6x5 ตารางเมตร

หลังจากที่เราได้เห็นการจัดวางของทั้ง 3 รูปแบบแล้ว ต่อมาเราจะมาดูผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างกันบ้าง โดยค่าความสว่างที่ออกมานั้นจะต้องมากกว่า 400 lux และมีค่าความสว่างที่ไม่อันตรายต่อสายตา

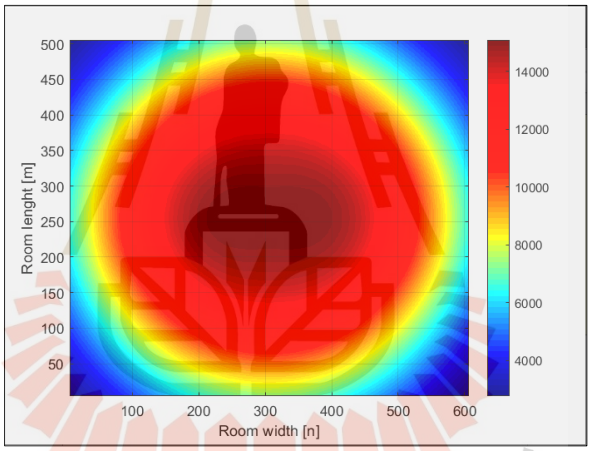


รูปที่ 4.16 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวง (ห้อง 6x5 ตารางเมตร)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.17 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 (ห้อง 6x5 ตารางเมตร)



รูปที่ 4.18 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 (ห้อง 6x5 ตารางเมตร)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่าง รูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวงมีค่าความสว่างเฉลี่ยอยู่ที่ 9,073 ลักซ์ รูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 มีค่าความสว่างเฉลี่ยอยู่ที่ 10,209 ลักซ์ และรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 มีค่าความสว่างเฉลี่ยอยู่ที่ 9,917 ลักซ์ ทั้ง 3 รูปแบบนั้นให้ค่าความสว่างมากกว่า 400 ลักซ์และค่าแสงที่ออกมาไม่อันตรายต่อสายตา โดยรูปแบบที่ให้ค่าความสว่างมากที่สุดจะเป็นของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 แต่เมื่อเราสังเกตลักษณะการกระจายแสงของรูปแบบนี้ เราจะเห็นว่ามีลักษณะการกระจายแสงที่ไม่สม่ำเสมอกันทั้งห้อง โดยแสงส่วนใหญ่จะเอียงไปทางด้านซ้ายซึ่งรูปแบบการจัดวางแบบนี้ถ้านำไปใช้งานจริงอาจจะทำเกิดอาการปวดตาได้ ในส่วนของรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวง และ รูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 เราจะเห็นได้ว่ามีลักษณะการกระจายแสงเป็นวงกว้างและครอบคลุมทุกพื้นที่ในห้อง อย่างไรก็ตามเนื่องด้วย

รูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 มีค่าความสว่างที่มากกว่า ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่าง เราจึงสรุปได้ว่ารูปแบบนี้เป็นรูปแบบการจัดวางที่เหมาะสมที่สุดกับห้องขนาด 6x5 ตารางเมตร

4.4.1.3 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุมสำหรับห้องขนาด 6x5 ตารางเมตร

ในส่วนของประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุมนี้เราต้องการให้ทุกบริเวณในห้องมีค่าความสว่างมากกว่า 400 ลักซ์ ทั้งหมดเพื่อให้มั่นใจว่าไม่ว่าผู้ใช้อยู่ตรงไหนจะได้รับแสงสว่างที่ปลอดภัยต่อสายตา

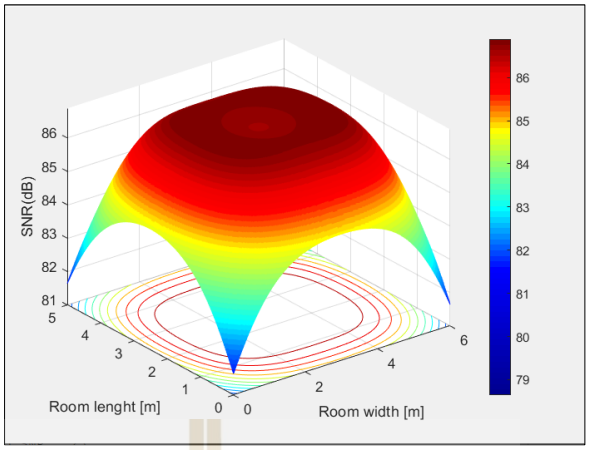
ตารางที่ 4.3 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุมในห้องขนาด 6x5 ตารางเมตร

รูปแบบการจัดวาง	**ค่าความสว่าง (ลักซ์)**		**พื้นที่ครอบคลุม**
	ค่าความสว่างที่มากที่สุด	**ค่าความสว่างที่น้อยที่สุด**	
1. สี่เหลี่ยมกลวง	11,191	3539	100%
2. Greedy rule 1	18,473	2975	100%
3. Greedy rule 2	15,097	2776	100%

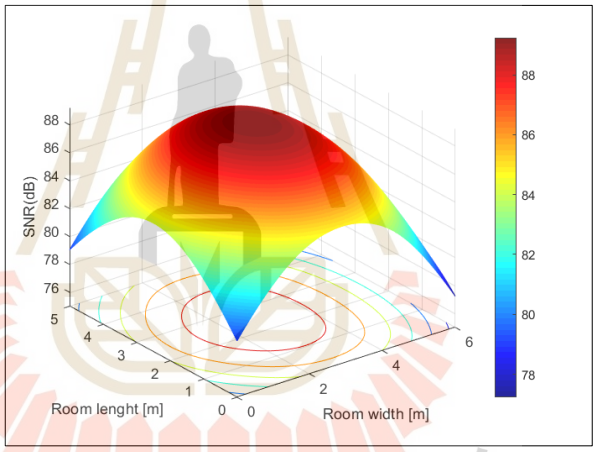
จากผลการจำลองการจัดวางทั้ง 3 รูปแบบนั้น บริเวณที่ให้ค่าความสว่างน้อยที่สุดมีค่าความสว่างมากกว่า 400 ลักซ์ทั้งหมด จึงส่งผลให้มีพื้นที่ครอบคลุมคิดเป็นร้อยละ 100 ซึ่งนั่นหมายความว่าทุกบริเวณในห้องนี้จะได้รับค่าความสว่างที่ปลอดภัยต่อสายตาทั้งหมด

4.4.1.4 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารสำหรับห้องขนาด 6x5 ตารางเมตร

ในส่วนของประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารนั้นเราจะพิจารณากันที่ค่า SNR ซึ่งในมาตรฐาน ADSL ได้กำหนดไว้ว่าค่า SNR ไม่ควรน้อยกว่า 10 dB เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ตลอดเวลา

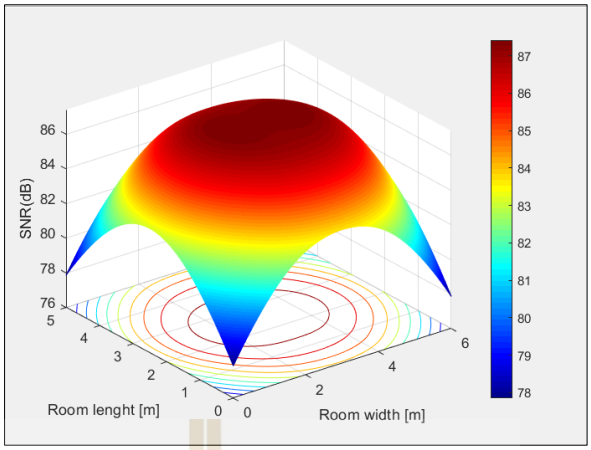


รูปที่ 4.19 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวง (ห้อง 6x5 ตารางเมตร)



รูปที่ 4.20 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 (ห้อง 6x5 ตารางเมตร)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.21 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 (ห้อง 6x5 ตารางเมตร)

จากผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสาร รูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวงมีค่า SNR เฉลี่ยอยู่ที่ 85.8 dB รูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 มีค่า SNR เฉลี่ยอยู่ที่ 85.6 dB และ รูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 มีค่า SNR เฉลี่ยอยู่ที่ 87.1 dB ค่า SNR ของการจัดวางทั้ง 3 รูปแบบถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก อย่างไรก็ตามเนื่องด้วยรูปแบบที่ให้ค่า SNR มากที่สุดนั้นเป็นของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 ดังนั้นสำหรับประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสาร จะสรุปได้ว่ารูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 เป็นรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับห้องขนาด 6x5 ตารางเมตร

4.4.1.5 สรุปผลการจำลองสำหรับห้องขนาด 6x5 ตารางเมตร

ตารางที่ 4.4 สรุปผลการจำลองประสิทธิภาพของการจัดวางในห้องขนาด 6x5 ตารางเมตร

รูปแบบการจัดวาง	ค่าความสว่าง (Lux)	SNR (dB)	พื้นที่ครอบคลุม
1. สี่เหลี่ยมกลวง	9,073	85.8	100%
2. Greedy rule 1	10,209	85.6	100%
3. Greedy rule 2	9,917	87.1	100%

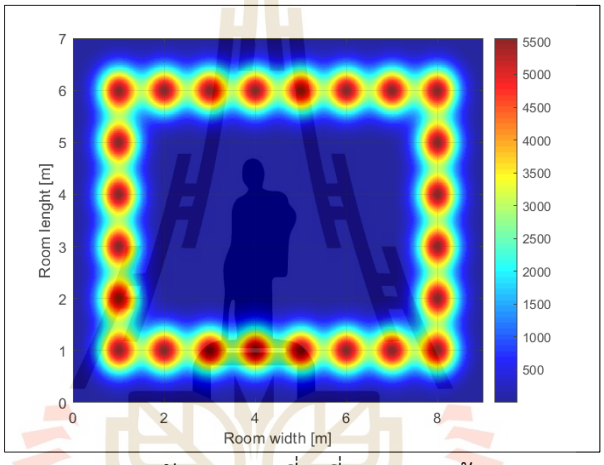
สรุปผลการจำลองในห้องขนาด 6x5 ตารางเมตร รูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 หรือ Greedy rule 2 เป็นรูปแบบการจัดวางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับห้องนี้ทั้งในเรื่องของค่าความสว่างที่ปลอดภัยต่อสายตา ค่า SNR ที่อยู่ในมาตรฐาน และ มีพื้นที่ครอบคลุมทั่วทั้งห้อง นอกจากนี้การกระจายแสงเป็นวงกว้างอีกด้วย

4.4.2 ห้องขนาด 9x7 ตารางเมตร

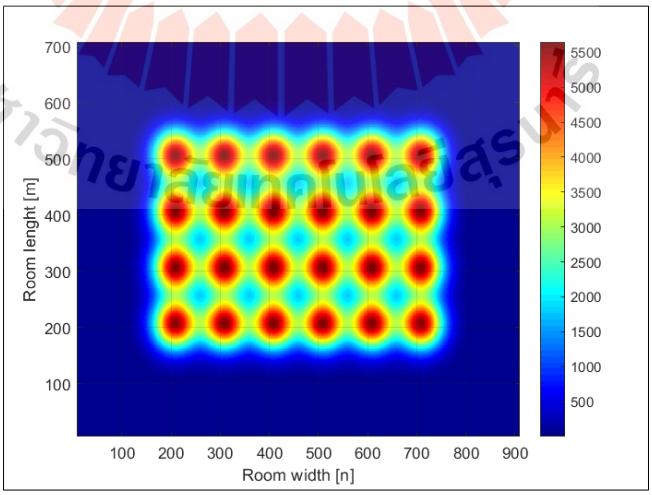
ต่อมาเราได้ทำการจำลองกับห้องที่มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยห้องนี้จะเป็นห้องที่มีขนาด 9x7 ตารางเมตรซึ่งจัดว่าเป็นห้องขนาดกลาง โดยเราจะเปรียบเทียบกันตั้งแต่ รูปแบบการจัดวาง ประสิทธิภาพทางด้านความสว่าง ประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุม และ ประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสาร (SNR)

4.4.2.1 ผลการจำลองรูปแบบการจัดวางสำหรับห้องขนาด 9x7 ตารางเมตร

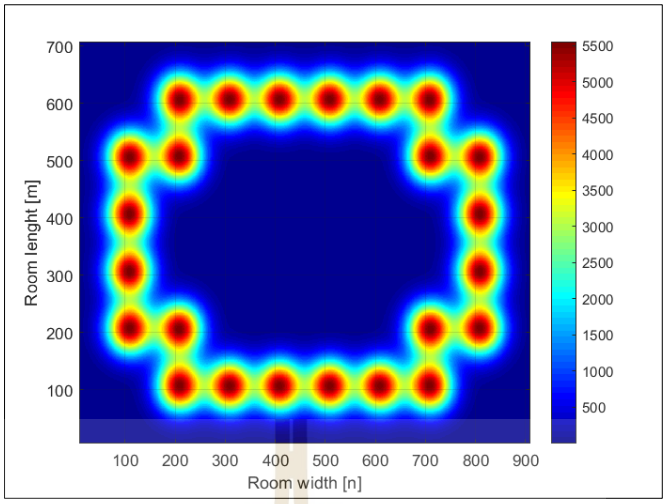
ในส่วนนี้เราจะทำการเปรียบเทียบรูปแบบการจัดวางทั้ง 3 รูปแบบเหมือนเดิม โดยรูปแบบการจัดวางที่ดีนั้น ลักษณะการจัดวางต้องมีความสมมาตรกันทุกด้าน



รูปที่ 4.22 รูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวง (ห้อง 9x7 ตารางเมตร)



รูปที่ 4.23 รูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 (ห้อง 9x7 ตารางเมตร)

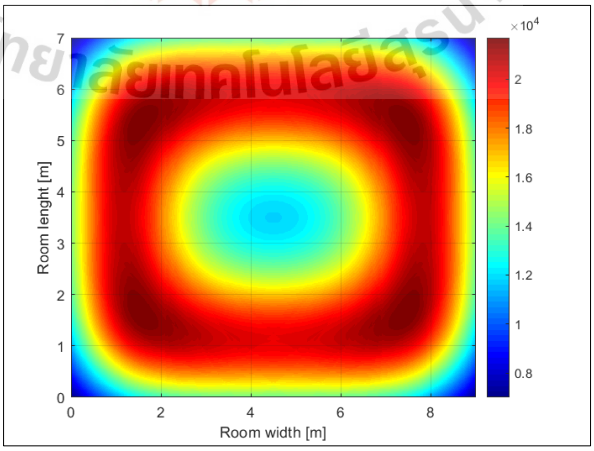


รูปที่ 4.24 รูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 (ห้อง 9x7 ตารางเมตร)

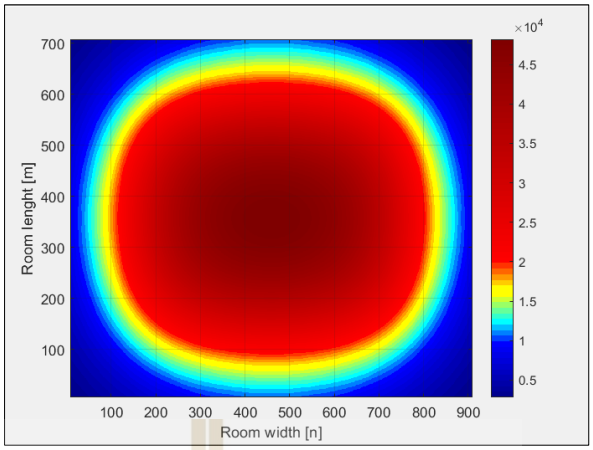
จากผลการจำลองการจัดวางหลอดไฟทั้ง 3 รูปแบบ รูปแบบการจัดวางแต่ละแบบนั้นจะมีการจัดวางที่สมมาตรทั้งหมด ซึ่งเมื่อเราเปรียบเทียบกับรูปแบบการจัดวางในห้องก่อนหน้านี้เราจะเห็นได้ว่ารูปแบบการจัดวางโดยการใช้อัลกอริทึมนั้นจะมีรูปแบบการจัดวางที่เปลี่ยนไป ซึ่งรูปแบบการจัดวางแบบนี้จะสามารถปรับเปลี่ยนไปตามขนาดห้องได้

4.4.2.2 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างสำหรับห้องขนาด 9x7 ตารางเมตร

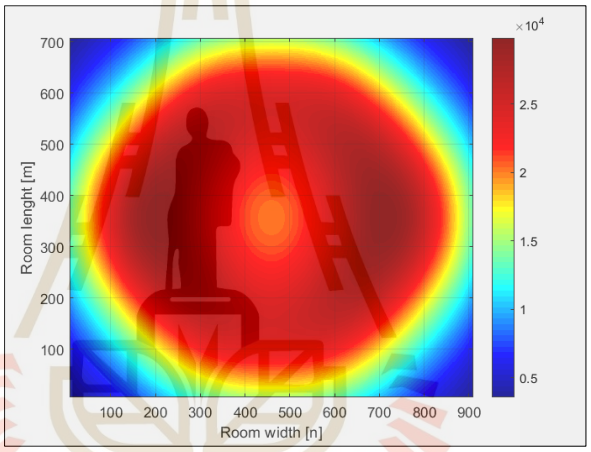
ต่อมาเราจะมาดูผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างกันบ้าง โดยวัตถุประสงค์ของการจัดวางในส่วนนี้คือ ค่าความสว่างของการจัดวางในแต่ละรูปแบบนั้นจะต้องมากกว่า 400 lux และมีค่าความสว่างที่ออกมาจะต้องไม่อันตรายต่อสายตา



รูปที่ 4.25 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวง (ห้อง 9x7 ตารางเมตร)



รูปที่ 4.26 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 (ห้อง 9x7 ตารางเมตร)



รูปที่ 4.27 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 (ห้อง 9x7 ตารางเมตร)

จากผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่าง รูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวงมีค่าความสว่างเฉลี่ยอยู่ที่ 17,208 ลักซ์ รูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 มีค่าความสว่างเฉลี่ยอยู่ที่ 22,304 ลักซ์ และรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 มีค่าความสว่างเฉลี่ยอยู่ที่ 19,970 ลักซ์ ทั้ง 3 รูปแบบนั้นให้ค่าความสว่างมากกว่า 400 ลักซ์ และค่าความสว่างที่ออกมาไม่อันตรายต่อสายตา โดยในส่วนนี้เนื่องจากห้องมีขนาดใหญ่ขึ้นเราจะเห็นความแตกต่างของลักษณะการกระจายแสงได้อย่างชัดเจน รูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวงนั้นบริเวณตรงกลางจะเกิดเป็นช่องว่างขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นเพราะว่าการจัดวางแบบนี้จะเน้นวางหลอดไฟแค่บริเวณโดยรอบส่วนตรงกลางจะเว้นว่างเอาไว้ไม่มีการวางหลอดไฟ ซึ่งในกรณีที่ห้องมีขนาดเล็กแสงจากบริเวณที่ทำการจัดวางหลอดไฟยังคงสามารถส่งไปถึงบริเวณกลางห้องได้ แต่เมื่อห้องมีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะเกิดช่องว่างตรงกลางเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากแสงจากบริเวณรอบๆไม่สามารถส่งไปถึงบริเวณตรงกลางได้จึงทำให้ไม่มีการรวมตัวของแสงบริเวณนั้น ซึ่งนี่ก็คือสาเหตุที่ทำให้ลักษณะการกระจายแสงเป็นเช่นนี้ ส่วนรูปแบบการจัดวางแบบที่ 1

จะมีลักษณะการกระจายแสงเฉพาะบริเวณตรงกลางเนื่องจากการจัดวางแบบนี้จะเลือกตำแหน่งที่ให้ค่าความสว่างมากที่สุด ซึ่งตำแหน่งนั้นก็จะอยู่ที่บริเวณตรงกลางห้อง จึงทำให้ลักษณะการกระจายแสงเป็นอย่างที่เราเห็น ส่วนรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 ก็ยังคงเป็นรูปแบบที่มีลักษณะการกระจายแสงเป็นวงกว้างและครอบคลุมทุกพื้นที่ในห้อง จากตรงนี้เราสามารถสรุปผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างได้ว่ารูปแบบการจัดวางที่เหมาะสมที่สุดนั้นคือรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 นั่นเอง

4.4.2.3 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุมสำหรับห้องขนาด 9x7 ตารางเมตร

ในส่วนของประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุมนี้เราต้องการให้ทุกบริเวณในห้องมีค่าความสว่างมากกว่า 400 ลักซ์ ทั้งหมดเพื่อให้มั่นใจว่าไม่ว่าผู้ใช้อยู่ตรงไหนจะได้รับแสงสว่างที่ปลอดภัยต่อสายตา

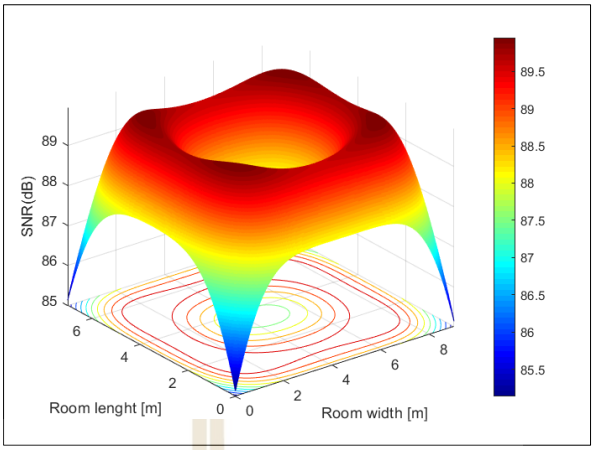
ตารางที่ 4.5 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุมในห้องขนาด 9x7 ตารางเมตร

รูปแบบการจัดวาง	**ค่าความสว่าง (ลักซ์)**		**พื้นที่ครอบคลุม**
	ค่าความสว่างที่มากที่สุด	**ค่าความสว่างที่น้อยที่สุด**	
1. สี่เหลี่ยมกลวง	21,688	4008	100%
2. Greedy rule 1	48,198	2807	100%
3. Greedy rule 2	29,822	3566	100%

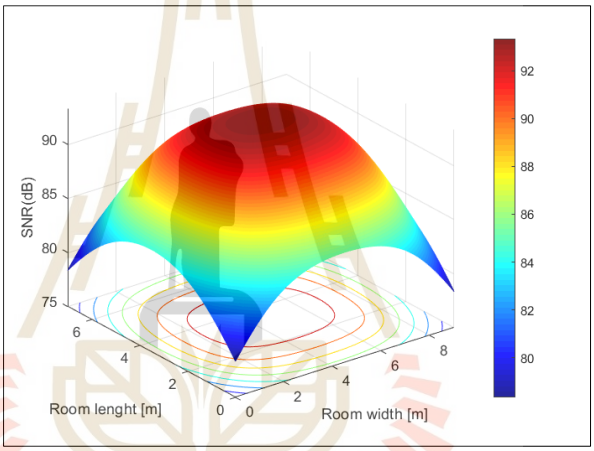
จากผลการจำลองการจัดวางทั้ง 3 รูปแบบนั้น บริเวณที่ให้ค่าความสว่างน้อยที่สุดมีค่าความสว่างมากกว่า 400 ลักซ์ทั้งหมด จึงส่งผลให้มีพื้นที่ครอบคลุมคิดเป็นร้อยละ 100 ซึ่งนั่นหมายความว่าทุกบริเวณในห้องนี้จะได้รับค่าความสว่างที่ปลอดภัยต่อสายตาทั้งหมด

4.4.2.4 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารสำหรับห้องขนาด 9x7 ตารางเมตร

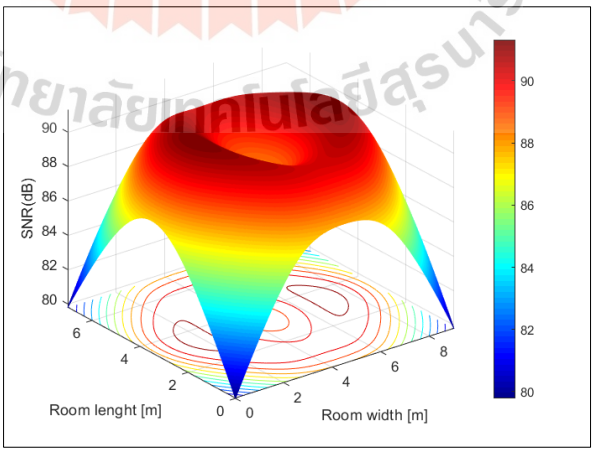
ในส่วนของประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารนั้นเราจะพิจารณากันที่ค่า SNR ซึ่งในมาตรฐาน ADSL ได้กำหนดไว้ว่าค่า SNR ไม่ควรน้อยกว่า 10 dB เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ตลอดเวลา



รูปที่ 4.28 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวง (ห้อง 9x7 ตารางเมตร)



รูปที่ 4.29 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 (ห้อง 9x7 ตารางเมตร)



รูปที่ 4.30 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 (ห้อง 9x7 ตารางเมตร)

จากผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสาร รูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวงมีค่า SNR เฉลี่ยอยู่ที่ 87.8 dB รูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 มีค่า SNR เฉลี่ยอยู่ที่ 87.2 dB และ รูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 มีค่า SNR เฉลี่ยอยู่ที่ 89.2 dB ค่า SNR ของการจัดวางทั้ง 3 รูปแบบถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก โดยรูปแบบที่ให้ค่า SNR มากที่สุดนั้นจะเป็นของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 ดังนั้นสำหรับประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารจะสรุปได้ว่ารูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 เป็นรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับห้องขนาด 9x7 ตารางเมตร

4.4.2.5 สรุปผลการจำลองสำหรับห้องขนาด 9x7 ตารางเมตร

ตารางที่ 4.6 สรุปผลการจำลองประสิทธิภาพของการจัดวางในห้องขนาด 9x7 ตารางเมตร

รูปแบบการจัดวาง	ค่าความสว่าง (Lux)	SNR (dB)	พื้นที่ครอบคลุม
1. สี่เหลี่ยมกลวง	17,208	87.8	100%
2. Greedy rule 1	22,304	87.2	100%
3. Greedy rule 2	19,970	88.6	100%

สรุปผลการจำลองในห้องขนาด 9x7 ตารางเมตร รูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 หรือ Greedy rule 2 ยังคงเป็นรูปแบบการจัดวางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับห้องนี้ทั้งในเรื่องของค่าความสว่างที่ปลอดที่สายตา ค่า SNR ที่อยู่มาตรฐาน และ มีพื้นที่ครอบคลุมทั่วทั้งห้อง รวมถึงมีลักษณะการกระจายแสงที่เป็นวงกว้างอีกด้วย

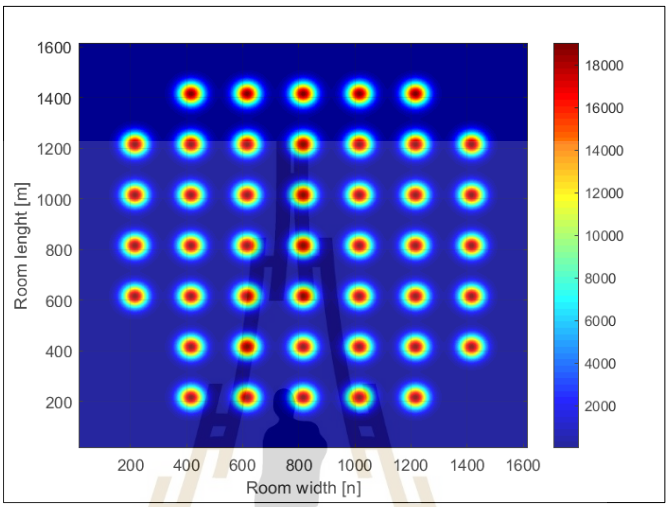
ในตอนนี้เราจะได้เห็นแล้วว่ารูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวงนั้นไม่ได้เหมาะกับห้องที่มีขนาดใหญ่ โดยในห้องถัดไปเราจะเปรียบเทียบเทียบเฉพาะรูปแบบการจัดวางแบบการใช้อัลกอริทึม จากตรงนี้อาจจะมีการตั้งข้อสงสัยว่าทำไมรูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 ยังคงเหมาะสมกับห้องที่มีขนาดใหญ่ทั้งที่มีลักษณะการกระจายแสงเฉพาะบริเวณตรงกลางเพียงอย่างเดียว ซึ่งนั้นเป็นเพราะว่าเดิมทีแล้วรูปแบบการจัดวางแบบนี้มีระยะห่างระหว่างหลอดไฟแค่ 1 เมตร ถ้าหากเราเพิ่มระยะห่างหลอดไฟอาจจะทำให้รูปแบบนี้มีการกระจายแสงที่ดียิ่งขึ้น ซึ่งนี่ก็เป็นเพียงแค่สมมุติฐานของการทดลองในห้องถัดไป

4.4.3 ห้องขนาด 16x16 ตารางเมตร

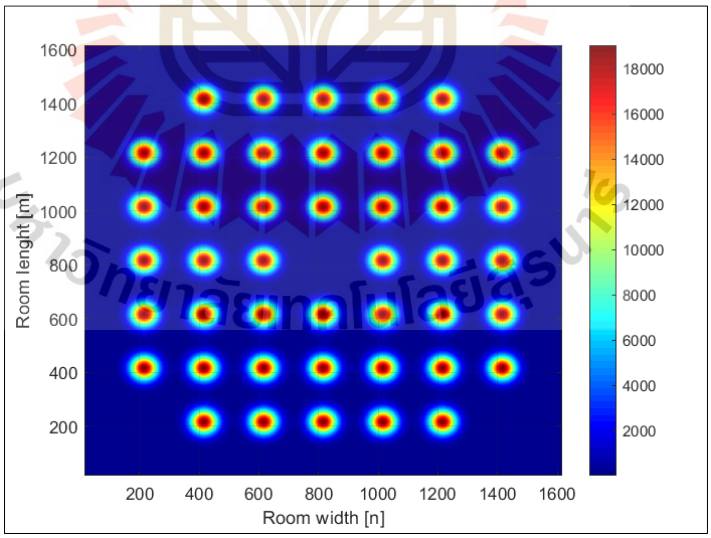
ในส่วนนี้เราจะทำการจำลองการจัดวางหลอดไฟสำหรับห้องที่มีขนาด 16x16 ตารางเมตรซึ่งจัดว่าเป็นห้องขนาดใหญ่ โดยเราจะเปรียบเทียบกันตั้งแต่ รูปแบบการจัดวาง ประสิทธิภาพทางด้านความสว่าง ประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุม และ ประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสาร (SNR)

4.4.3.1 ผลการจำลองรูปแบบการจัดวางสำหรับห้องขนาด 16x16 ตารางเมตร

ในส่วนนี้เราจะเปรียบเทียบเฉพาะรูปแบบการจัดวางโดยการใช้อัลกอริทึม เนื่องจากห้องนี้เป็นห้องที่มีขนาดใหญ่เราจะทำการเพิ่มระยะห่างหลอดไฟจาก 1 เมตรเป็น 2 เมตร เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของลักษณะการกระจัดวางหลอดไฟรวมไปถึงลักษณะการกระจายแสง



รูปที่ 4.31 รูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 (ห้อง 16x16 ตารางเมตร)

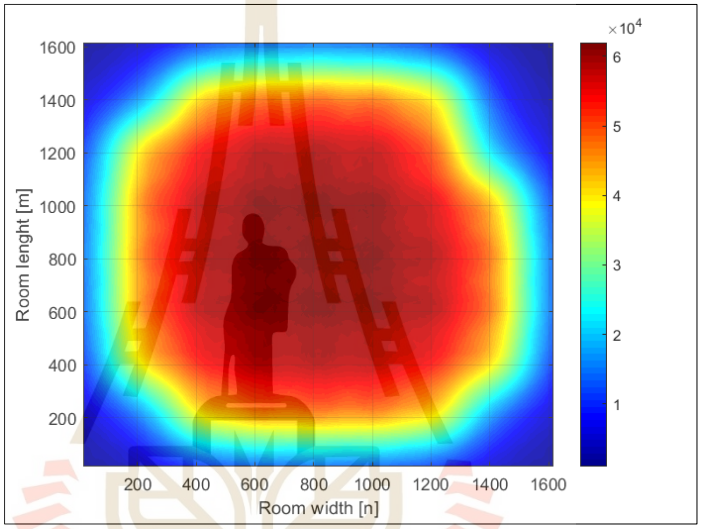


รูปที่ 4.32 รูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 (ห้อง 16x16 ตารางเมตร)

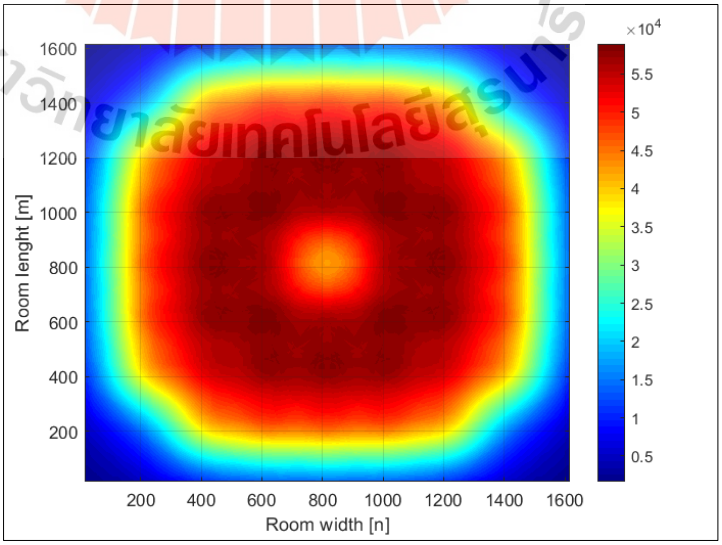
จากผลการจัดวางหลอดไฟเราจะเห็นได้ว่ารูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 จะมีการจัดวางที่ไม่สมมาตร ในขณะที่รูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 นั้นยังคงให้รูปแบบการจัดวางที่สมมาตรเหมือนเดิม

4.4.3.2 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างสำหรับห้องขนาด 16x16 ตารางเมตร

หลังจากที่เราได้เห็นรูปแบบการจัดวางของทั้ง 2 วิธีแล้วต่อมาเราจะมาดูผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างกันบ้าง โดยค่าความสว่างที่ออกมานั้นจะต้องมากกว่า 400 ลักซ์ และมีค่าความสว่างที่ไม่อันตรายต่อสายตา



รูปที่ 4.33 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 (ห้อง 16x16 เมตร)



รูปที่ 4.34 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 (ห้อง 16x16 ตารางเมตร)

จากผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่าง รูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 มีค่าความสว่างเฉลี่ยอยู่ที่ 39,166 ลักซ์ รูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 มีค่าความสว่างเฉลี่ยอยู่ที่ 35,402 ลักซ์ ทั้ง 2 รูปแบบนั้นให้ค่าความสว่างมากกว่า 400 ลักซ์และค่าความสว่างที่ออกมาไม่อันตรายต่อสายตา ในส่วนของลักษณะการกระจายแสงหลังจากที่ได้ทำการเพิ่มระยะห่างระหว่างหลอดไฟเราจะเห็นได้ว่า รูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 จะมีรัศมีการกระจายแสงที่กว้างขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่เนื่องด้วยมีลักษณะการจัดวางหลอดไฟที่ไม่สมมาตรจึงส่งผลให้มีลักษณะกระจายแสงไม่กระจายทั่วทั้งบริเวณห้อง ในขณะที่รูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 มีการจัดวางสมมาตรซึ่งนั่นก็ทำให้มีลักษณะการกระจายแสงเป็นวงกว้างและครอบคลุมทุกพื้นที่ในห้อง สำหรับประสิทธิภาพทางด้านความสว่างเราสามารถสรุปได้ว่ารูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 เป็นรูปแบบการจัดวางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับห้องนี้

4.4.3.3 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุมสำหรับห้องขนาด 16x16 ตารางเมตร

ในส่วนของประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุมนี้เราต้องการให้ทุกบริเวณในห้องมีค่าความสว่างมากกว่า 400 ลักซ์ ทั้งหมดเพื่อให้มั่นใจว่าไม่ว่าผู้ใช้อยู่บริเวณใดของห้องก็จะได้รับแสงสว่างที่ปลอดภัยต่อสายตา

ตารางที่ 4.7 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุมในห้องขนาด 16x16 ตารางเมตร

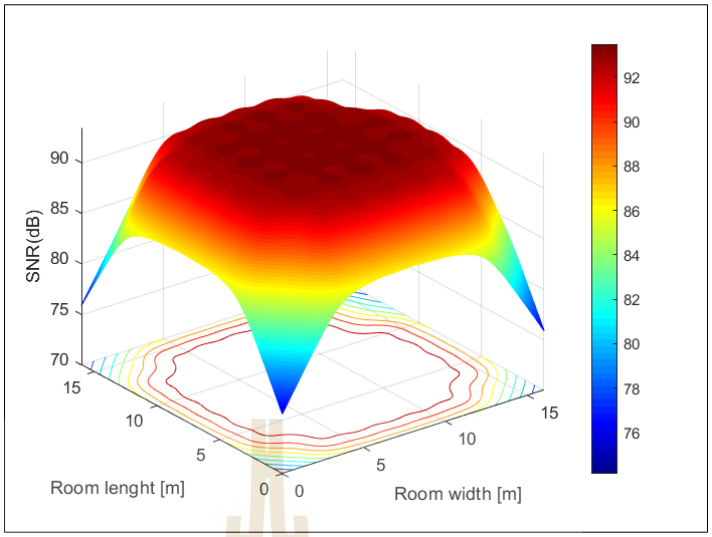
รูปแบบการจัดวาง	**ค่าความสว่าง (ลักซ์)**		**พื้นที่ครอบคลุม**
	ค่าความสว่างที่มากที่สุด	**ค่าความสว่างที่น้อยที่สุด**	
1. Greedy rule 1	71,293	1919	100%
2. Greedy rule 2	70,114	1892	100%

จากผลการจำลองการจัดวางทั้ง 2 รูปแบบนั้น บริเวณที่ให้ค่าความสว่างน้อยที่สุดมีค่าความสว่างมากกว่า 400 ลักซ์ทั้งหมด จึงส่งผลให้มีพื้นที่ครอบคลุมคิดเป็นร้อยละ 100 ซึ่งนั่นหมายความว่าทุกบริเวณในห้องนี้จะได้รับค่าความสว่างที่ปลอดภัยต่อสายตาทั้งหมด

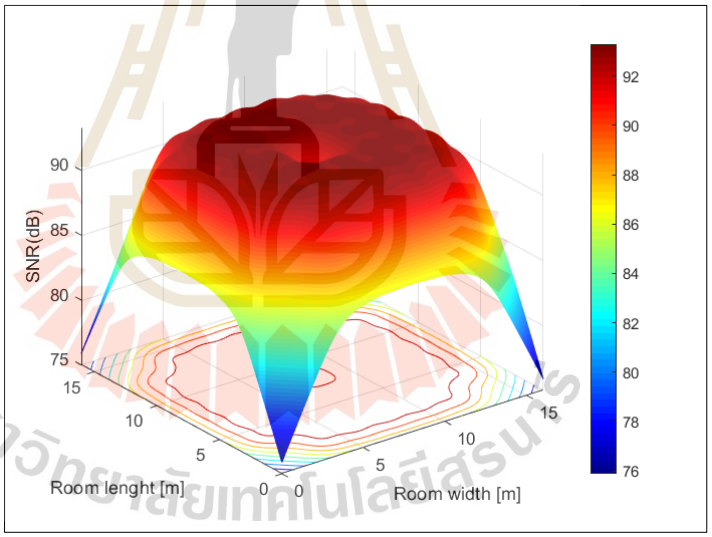
4.4.3.4 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารสำหรับห้องขนาด 16x16 ตารางเมตร

ในส่วนของประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารนั้นเราจะพิจารณากันที่ค่า SNR ซึ่งในมาตรฐาน ADSL ได้กำหนดไว้ว่าค่า SNR ไม่ควรน้อยกว่า 10 dB เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ตลอดเวลา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.35 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 (ห้อง 16x16 ตารางเมตร)



รูปที่ 4.36 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 (ห้อง 16x16 ตารางเมตร)

จากผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสาร รูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 มีค่า SNR เฉลี่ยอยู่ที่ 89.4 dB รูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 มีค่า SNR เฉลี่ยอยู่ที่ 90.2 dB ค่า SNR ของการจัดวางทั้ง 2 รูปแบบถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก โดยรูปแบบที่ให้ค่า SNR มากที่สุดนั้นจะเป็นของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 ดังนั้นสำหรับประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารจะสรุปได้ว่ารูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 เป็นรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับห้องขนาด 16x16 ตารางเมตร

4.4.3.5 สรุปผลการจำลองสำหรับห้องขนาด 16x16 ตารางเมตร

ตารางที่ 4.8 สรุปผลการจำลองประสิทธิภาพของการจัดวางในห้องขนาด 16x16 ตารางเมตร

รูปแบบการจัดวาง	ค่าความสว่าง (Lux)	SNR (dB)	พื้นที่ครอบคลุม
1. Greedy rule 1	39,166	89.4	100%
2. Greedy rule 2	35,402	90.2	100%

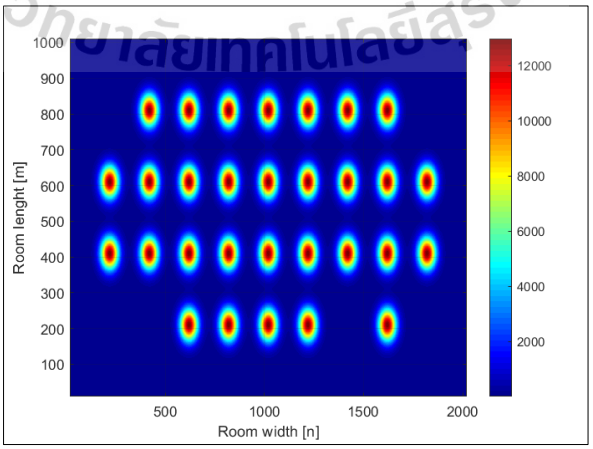
สรุปผลการจำลองในห้องขนาด 16x16 ตารางเมตร รูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 หรือ Greedy rule 2 ยังคงเป็นรูปแบบการจัดวางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับห้องนี้ทั้งในเรื่องของค่าความสว่างที่ปลอดที่สายตา ค่า SNR ที่อยู่มาตรฐาน มีพื้นที่ครอบคลุมทั่วทั้งห้อง และมีลักษณะการกระจายแสงที่เป็นวงกว้างอีกด้วย

4.4.4 ห้องขนาด 20x10 ตารางเมตร

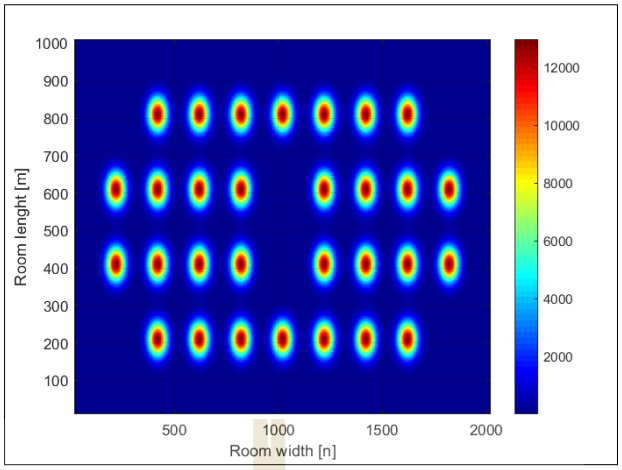
ในส่วนสุดท้ายเราจะทำการจำลองการจัดวางหลอดไฟสำหรับห้องที่มีขนาด 20x10 ตารางเมตรซึ่งจัดว่าเป็นห้องขนาดใหญ่ โดยเราจะเปรียบเทียบกันตั้งแต่ รูปแบบการจัดวาง ประสิทธิภาพทางด้านความสว่าง ประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุม และ ประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสาร (SNR)

4.4.4.1 ผลการจำลองรูปแบบการจัดวางสำหรับห้องขนาด 20x10 ตารางเมตร

ในส่วนนี้เราจะเปรียบเทียบเฉพาะรูปแบบการจัดวางโดยการใช้อัลกอริทึม เนื่องจากห้องนี้เป็นห้องที่มีขนาดใหญ่เราจะทำการเพิ่มระยะห่างหลอดไฟเหมือนกับห้องที่ผ่านมา โดยมีวัตถุประสงค์เดียวกันคือ เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของลักษณะการกระจัดวางหลอดไฟ และ ลักษณะการกระจายแสง



รูปที่ 4.37 รูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 (ห้อง 20x10 ตารางเมตร)

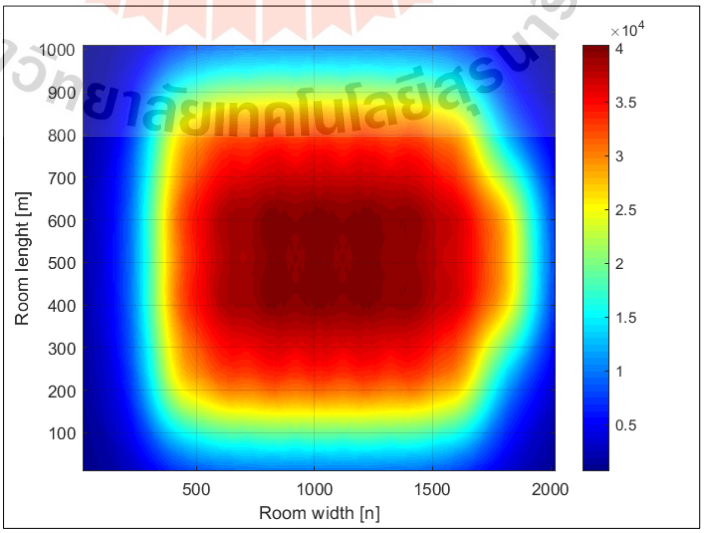


รูปที่ 4.38 รูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 (ห้อง 20x10 ตารางเมตร)

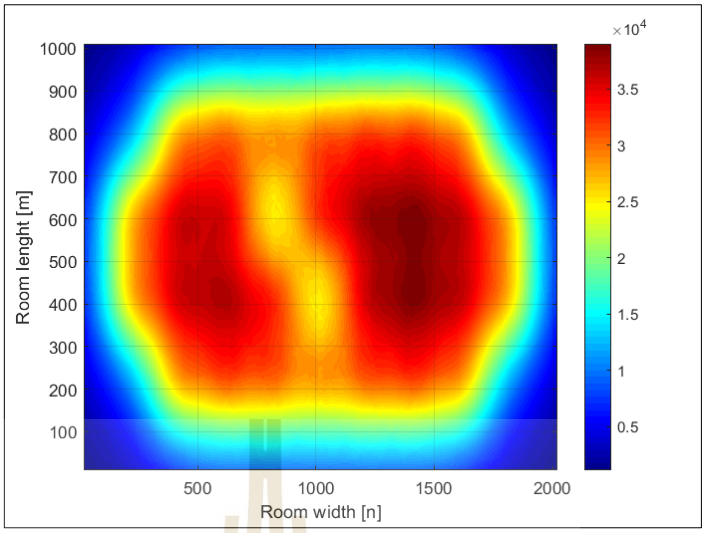
จากผลการจัดวางหลอดไฟเราจะเห็นได้ว่ารูปแบบการจัดวางโดยใช้อัลกอริทึมด้วยวิธีการแก้ปัญหาแบบที่ 1 ยังคงให้ผลการจัดวางที่ไม่สมมาตร ในขณะที่รูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 มีรูปแบบการจัดวางที่สมมาตรเหมือนเดิม ซึ่งผลการจัดวางในห้องขนาดใหญ่เราจะได้เห็นแล้วว่ารูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 นั้นสามารถหาตำแหน่งการจัดวางได้ดีและมีลักษณะการจัดวางที่สมมาตร

4.4.4.2 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างสำหรับห้องขนาด 20x10 ตารางเมตร

ในส่วนนี้จะเป็นผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่าง โดยค่าความสว่างของการจัดวางแต่ละรูปแบบต้องมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานความสว่างและค่านั้นต้องไม่อันตรายต่อสายตา



รูปที่ 4.39 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 (ห้อง 20x10 ตารางเมตร)



รูปที่ 4.40 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่างของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 (ห้อง 20x10 ตารางเมตร)

จากผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านความสว่าง รูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 มีค่าความสว่างเฉลี่ยอยู่ที่ 24,895 ลักซ์ รูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 มีค่าความสว่างเฉลี่ยอยู่ที่ 22,695 ลักซ์ ทั้ง 2 รูปแบบนั้นให้ค่าความสว่างมากกว่า 400 ลักซ์และค่าความสว่างที่ออกมาไม่อันตรายต่อสายตา ในส่วนของลักษณะการกระจายแสงรูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 มีลักษณะการกระจายแสงที่ไม่เท่ากันโดยจะเอียงไปทางขวาเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งนั่นก็เป็นเพราะว่าการจัดวางหลอดไฟของวิธีนี้มีการจัดวางที่ไม่สมมาตรกัน ส่วนรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 ยังคงลักษณะการกระจายแสงที่สมมาตรทั่วทั้งบริเวณห้อง ดังนั้นสำหรับประสิทธิภาพทางด้านความสว่าง เราจึงสรุปได้ว่า รูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 เป็นรูปแบบการจัดวางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับห้องนี้

4.4.4.3 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุมสำหรับห้องขนาด 20x10 ตารางเมตร

ในส่วนของประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุมนี้เราต้องการให้ทุกบริเวณในห้องมีค่าความสว่างมากกว่า 400 ลักซ์ ทั้งหมดเพื่อให้มั่นใจว่าไม่ว่าผู้ใช้อยู่บริเวณใดของห้องก็จะได้รับแสงสว่างที่ปลอดภัยต่อสายตา

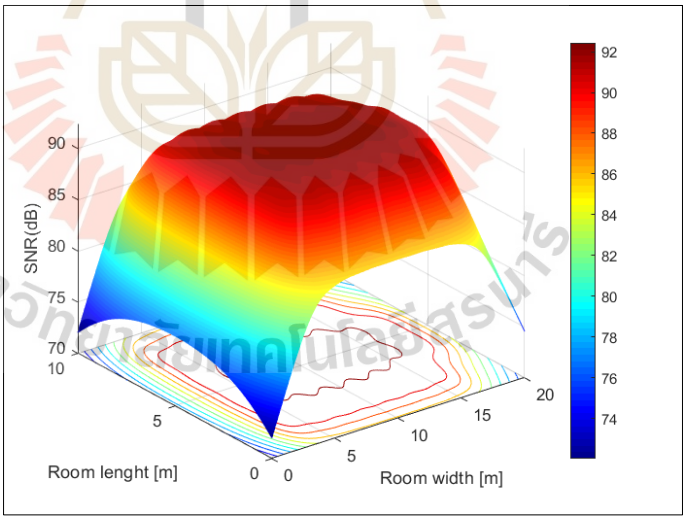
ตารางที่ 4.9 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านพื้นที่ครอบคลุมในห้องขนาด 20x10 ตารางเมตร

รูปแบบการจัดวาง	ค่าความสว่าง (ลักซ์)		พื้นที่ครอบคลุม
	ค่าความสว่างที่มากที่สุด	ค่าความสว่างที่น้อยที่สุด	
1. Greedy rule 1	64,328	1872	100%
2. Greedy rule 2	61,250	1794	100%

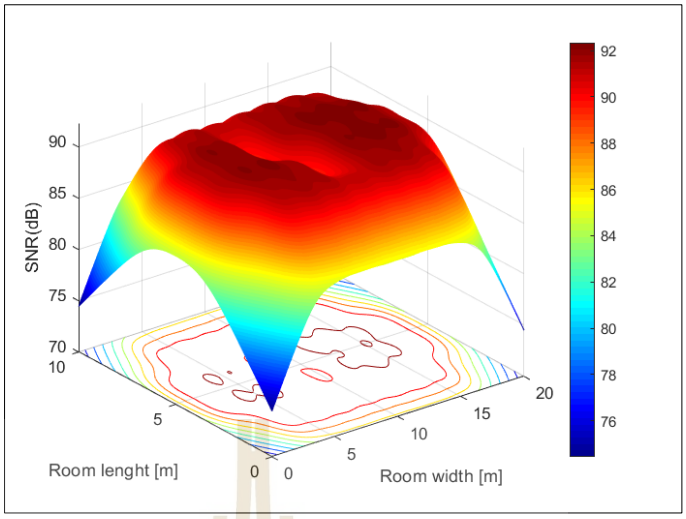
จากผลการจำลองการจัดวางทั้ง 2 รูปแบบนั้น บริเวณที่ให้ค่าความสว่างน้อยที่สุดมีค่าความสว่างมากกว่า 400 ลักซ์ทั้งหมด จึงส่งผลให้มีพื้นที่ครอบคลุมคิดเป็นร้อยละ 100 ซึ่งนั่นหมายความว่าทุกบริเวณในห้องนี้จะได้รับค่าความสว่างที่ปลอดภัยต่อสายตาทั้งหมด

4.4.4.4 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารสำหรับห้องขนาด 20x10 ตารางเมตร

ในส่วนของประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารนั้นเราจะพิจารณากันที่ค่า SNR ซึ่งในมาตรฐาน ADSL ได้กำหนดไว้ว่าค่า SNR ไม่ควรน้อยกว่า 10 dB เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ตลอดเวลา



รูปที่ 4.41 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 (ห้อง 20x10 ตารางเมตร)



รูปที่ 4.42 ผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 (ห้อง 20x10 ตารางเมตร)

จากผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสาร รูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 มีค่า SNR เฉลี่ยอยู่ที่ 88.4 dB รูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 มีค่า SNR เฉลี่ยอยู่ที่ 89.2 dB ค่า SNR ของการจัดวางทั้ง 2 รูปแบบถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก โดยรูปแบบที่ให้ค่า SNR มากที่สุดนั้นจะเป็นของรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 ดังนั้นสำหรับประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสารจะสรุปได้ว่ารูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 เป็นรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับห้องนี้

4.4.4.5 สรุปผลการจำลองสำหรับห้องขนาด 20x10 ตารางเมตร

ตารางที่ 4.10 สรุปผลการจำลองประสิทธิภาพของการจัดวางในห้องขนาด 20x10 ตารางเมตร

รูปแบบการจัดวาง	ค่าความสว่าง (Lux)	SNR (dB)	พื้นที่ครอบคลุม
1. Greedy rule 1	24,895	88.4	100%
2. Greedy rule 2	22,695	89.2	100%

สรุปผลการจำลองในห้องขนาด 20x10 ตารางเมตร รูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 หรือ Greedy rule 2 เป็นรูปแบบการจัดวางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับห้องนี้ทั้งในเรื่องของค่าความสว่างที่ปลอดที่สายตา ค่า SNR ที่อยู่มาตรฐาน มีพื้นที่ครอบคลุมทุกจุด และ มีลักษณะการกระจายแสงที่ทั่วทั้งห้องอีกด้วย

4.5 สรุปผลการดำเนินงาน

จากผลการจำลองประสิทธิภาพทางด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น ประสิทธิภาพทางด้านความสว่าง ประสิทธิภาพทางด้านพื้นครอบคลุม และ ประสิทธิภาพทางด้านการสื่อสาร ผลที่เกิดขึ้นเหล่านี้ได้แสดงให้เห็นแล้วว่าการจัดวางโดยการใช้ Greedy algorithm ด้วยวิธีการแก้ปัญหาแบบที่ 2 หรือ Greedy rule 2 เป็นรูปแบบการจัดวางที่ดีที่สุด โดยรูปแบบนี้สามารถใช้ได้กับห้องทุกขนาดและมีรูปแบบการจัดวางที่สมมาตร นอกจากนี้การจัดวางด้วยวิธีนี้ยังช่วยให้ผู้ใช้ไม่ต้องทำการหาตำแหน่งการติดตั้งหลอดไฟและรูปแบบการจัดวางหลอดไฟ ซึ่งทำให้ประหยัดเวลาในส่วนนี้ไปได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5

สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์และข้อเสนอในการวิจัย

5.1 สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารด้วยแสงเพื่อแก้ไขปัญหาของการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุไม่ว่าจะเป็น ปัญหาการถูกดักจับสัญญาณ ปัญหาการรบกวนกันของสัญญาณ และ อื่นๆ อีกมากมาย โดยส่วนใหญ่แล้วเทคโนโลยีการสื่อสารด้วยแสงจะนิยมใช้กันภายในอาคาร เนื่องด้วยบริเวณภายนอกอาคารนั้นจะมีแสงจากภายนอกที่ไม่ใช่แสงจากระบบการสื่อสารด้วยแสงเข้ามารบกวน จึงส่งผลให้การเชื่อมต่อขาดหายไป หรือแม้แต่ในกรณีที่มีวัตถุมาบดบังหลอดไฟก็อาจจะทำให้เกิดปัญหานี้ได้เช่นเดียวกัน โดยในงานนี้เราจะออกแบบรูปแบบการจัดวางหลอดไฟสำหรับระบบการสื่อสารด้วยแสงอย่าง Li-Fi ซึ่งจะเป็นการออกแบบให้ใช้งานภายในอาคาร โดยเราจะพิจารณาในเรื่องของค่าความสว่างที่ปลอดภัยต่อสายตา พื้นที่ครอบคลุม และ SNR ในการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะเป็นการจัดวางแบบจัดวางเอง ส่วนถัดไปจะเป็นการจัดวางโดยการใช้อัลกอริทึม ในส่วนแรกจะเป็นการทดลองในห้องขนาด 5x5 ตารางเมตร ที่ใช้หลอดไฟทั้งหมด 12 หลอด รูปแบบการจัดวางแบบจัดวางเองจะเป็นรูปแบบที่ผู้ใช้จะต้องทำการกำหนดตำแหน่งที่จะใช้วางหลอดไฟแต่ละดวง โดยจะมีทั้งหมด 3 รูปแบบได้แก่ รูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยม รูปแบบการจัดวางแบบวงกลม และ รูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวง ซึ่งผลการทดลองในส่วนแรกพบว่ารูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวงเป็นรูปแบบที่ดีที่สุด ในส่วนถัดมาจะเป็นรูปแบบการจัดวางโดยการใช้อัลกอริทึม โดยอัลกอริทึมที่จะนำมาใช้นี้มีชื่อว่า Greedy algorithm เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการแก้ปัญหาแบบตรงไปตรงมาและจะหาตัวเลือกที่ดีสุดจากข้อมูลที่มีอยู่ หลักการแก้ในการแก้ปัญหาด้วยอัลกอริทึมนี้หรือที่เรียกว่า Greedy Rule จะแบ่งออกเป็น 2 แบบ แบบที่ 1 (Greedy rule 1) จะเป็นการจัดวางโดยใช้ตำแหน่งที่ให้ค่าความสว่างมากที่สุดตามจำนวนหลอดไฟที่ผู้ใช้ต้องการ และ แบบที่ 2 (Greedy rule 2) ที่จะเป็นการจัดเรียงโดยเฉลี่ยค่าความสว่างทุกตำแหน่งให้ค่าไล่เลี่ยกันและทำการเลือกตำแหน่งตามจำนวนหลอดที่ผู้ใช้ต้องการ ซึ่งรูปแบบที่ได้จากการจัดวางโดยการใช้อัลกอริทึมนั้นจะเป็นรูปแบบที่ไม่มีความแน่นอนขึ้นอยู่กับขนาดห้องและจำนวนหลอดไฟ ในการทดลองเราจะเริ่มทำการทดลองตั้งแต่ห้องขนาดเล็กไปจนถึงห้องที่มีขนาดใหญ่ โดยจะเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมกลวง กับ รูปแบบการจัดวางโดยใช้อัลกอริทึม

ซึ่งผลการทดลองพบว่ารูปแบบการจัดวางโดยการใช้อัลกอริทึมแบบที่ 2 หรือ Greedy rule 2 นั้นจะให้ผลลัพธ์ในการจัดวางที่ดีกว่า ทั้งให้ค่าความสว่างที่ปลอดภัยต่อสายตา ค่า SNR ที่อยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก รวมไปถึงมีพื้นที่ครอบคลุมทั่วทั้งห้องอีกด้วย ผลการทดลองที่ได้จากการจัดวางโดยรูปแบบที่ใช้อัลกอริทึมแบบที่ 2 จะเป็นดังนี้

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการจัดวางของรูปแบบที่ใช้อัลกอริทึมแบบที่ 2

ขนาดห้อง (ตารางเมตร)	จำนวนหลอดไฟ (หลอด)	ค่าความสว่างโดยเฉลี่ย (ลักซ์)	SNR (db)	พื้นที่ครอบคลุม
6 x 5	14	9,917	87.1	100 %
9 x 7	24	19,970	88.6	100 %
16 x 16	44	39,166	90.2	100 %
20 x 10	30	24,895	89.2	100 %

จากตารางที่ 5.1 เราจะเห็นได้ว่าการจัดวางในแต่ละห้องนั้นจะมีการใช้จำนวนหลอดไฟที่ต่างกัน โดยห้องขนาดใหญ่จะมีการใช้จำนวนหลอดไฟที่มากกว่าห้องขนาดเล็กเพื่อให้มีลักษณะการกระจายแสงที่ครอบคลุมทั้งห้อง นอกจากนี้เราจะสังเกตุได้ว่า รูปแบบการจัดวางในห้องขนาด 20x10 ตารางเมตรจะมีการใช้จำนวนหลอดไฟ ที่น้อยกว่าห้องขนาด 16x16 ตารางเมตร ซึ่งนั้นก็เป็นเพราะว่าห้องขนาด 20x10 ตารางเมตรมีขนาดพื้นที่ห้องน้อยกว่า จึงส่งผลให้มีการใช้จำนวนหลอดไฟที่น้อยลงเช่นกัน

5.2 ข้อเสนอแนะและการพัฒนาในอนาคต

จากผลการทดลองเราได้เห็นแล้วว่าการจัดวางโดยการใช้อัลกอริทึมประเภท Greedy algorithm นั้นให้ผลลัพธ์การจัดวางในแต่ละห้องได้อย่างดี แต่อย่างไรก็ตามก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของระยะเวลาที่ใช้ในการหาตำแหน่งสำหรับการจัดวางหลอดไฟ ซึ่งเมื่อห้องมีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะใช้เวลานาน สำหรับแนวทางการพัฒนาในอนาคต เราอาจจะใช้อัลกอริทึมประเภทอื่นมาช่วยในการจัดวางก็จะทำให้ช่วยลดระยะเวลาในการจัดวางได้ ซึ่งนั้นก็จะทำให้งานวิจัยนี้ดียิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

[1] Adisorn K., Piya K., Jetsada S., “Visible Light Communication Technology”, The 5thNPRU National Conference 2013

[2] Chukwuemeka L., “Top 15 Li-Fi Applications (updated list)”, https://www.lifitn.com/blog/2019/6/6/top-li-fi-applications-updated-list

[3] Berkeys A. , “ Advantage & Disadvantage Of LED Lights ” , https://www.berkeys.com/2016/11/16/advantage-disadvantage-led-lights/

[4] Meechai M., “VLC System”, http://meehai-channel.blogspot.com/2016/08/vlc.html

[5] Haas H., Yin L., Chen C., Videv S., Parol D., Poves E., Alshaer H., Islim M.S., “Introduction to indoor networking concepts and challenges in LiFi,” Journal of Optical Communications and Networking, 12, 2, pp.A190-A203, 2020.

[6] RF Wireless World , “Advantages of LiFi technology | Disadvantages of LiFi technology” ,https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Advantages-and-Disadvantages-of-LiFi.html

[7] Mishal R., “6 Advantages and Disadvantages of Wifi | Drawbacks and Benefits of Wireless Networks” , https://www.hitechwhizz.com/2020/03/6-advantages-and-disadvantages-drawbacks-benefits-of-wifi.html

[8] Rajeesh K. , Akella S. , Arunangshu S. ,Baron S., “Comparison of LIFI and WIFI and study of smart meter-survey” , 2017 International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES) , 2017

[9] Humara Y., Malik M., Mahjabeena A., Rabia S., Shahbaz P., “LiFi: The Future for Indoor Wireless Data Communication ” , International Journal of Scientific and Engineering Research · October 2016

[10] RF Wireless World , “OOK vs VPPM vs CSK-Difference between OOK, VPPM, CSK modulation” , https://www.rfwireless-world.com/Tutorials/LiFi-OOK-VPPM-CSK-modulation-types.html

[11] Piya K., Wanli W., Anan S., Kamol K., Preecha K., “Visible Light Communication Standard” , Project to develop the national readiness of lighting communications. August 2016

[12] Irina S., Harald H., “Analysis of Optimal Placement of LED Arrays for Visible Light Communication” , 2013 IEEE 77th Vehicular Technology Conference (VTC Spring) , 2013

[13] Priyanka P., Mandeep S., Harpuneet S., Sehajpal K., Maninder L., “Improvement of Uniformity of Illumination for Circular LED Arrangement in VLC System” , 2018 International Conference on Recent Innovations in Electrical, Electronics & Communication Engineering (ICRIEECE) , 2018

[14] Muhammad T., Fatima I., Soomi K., Hyung S., “Deployment methods of visible light communication lights for energy efficient buildings” , Optical Engineering, 2016

[15] M. S. M Gismalla , M. F. L Abdullah , “Optimization of Received Power and SNR for an Indoor Attocells Network in Visible Light Communication” , Journal of Communications Vol. 14, No. 1, January 2019

[16] Ngaodet M., “Lighting design,” https://blog.rmutl.ac.th/montri/old/ee/04212209/L-05.pdf

[17] H.Q. Nguyen , J.-H. Choi , M. Kang , Z. Ghassemlooy , D. H. Kim, S.-K. Lim , T.-G. Kang , and C. G. Lee , “A MATLAB-based simulation program for indoor visible light communication system” , 2010 7th International Symposium on Communication Systems, Networks & Digital Signal Processing (CSNDSP 2010)

[18] Pongpop J. , “IES standard illumination level” , https://industry-media.com/index.php/articles/industry-story/item/6236-thanaroj-lighting-equipment#close

[19] SAD FAQs , “SAD LIGHT PRODUCTS & INFORMATION” , https://www.sad.co.uk/resources/sad-faqs.html

[20] Engineering ToolBox , “lluminance - Recommended Light Level.”, https://www.engineeringtoolbox.com/light-level-rooms-d_708.html

[21] Komine T., Nakagawa M., “Fundamental Analysis for Visible-Light Communication System using LED Lights,” IEEE Transactions on Consumer Electronics, 50, 1, p.100-107, 2004

[22] Zeng L., O'Brien D., Le-M.H., Lee K., Jung D., Oh Y., “Improvement of Date Rate by using Equalization in an Indoor Visible Light Communication System,” 2008 4th IEEE International Conference on Circuits and Systems for Communications.

[23] Lefteris K., “SNR margin, line attenuation, ADSL / VDSL and a slow internet speed” , https://www.giantstride.gr/en/snr-margin-adsl/

[24] Krung S., “ ขั้นตอนวิธีประเภทละโมภ (Greedy algorithm) ” , http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~skrung/2301365/Lecture009.html

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Rakbanglam, P., Uthansakul, P. and Uthansakul, M., **“Optimal Number of LED Lamps for Li-Fi Communications,”** In 2021 18th Int. Conf. on Electrical Engineering/Electronics, Computer,Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON) , 2021.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Optimal Number of LED Lamps for Li-Fi Communications

Paramed Rakbanglam, Peerapong Uthansakul and Monthippa Uthansakul
School of Telecommunication Engineering, Suranaree University of Technology
Muang, NakhonRatchasima, Thailand 30000
Email: m6203177@g.sut.ac.th, uthansakul@sut.ac.th and mtp@sut.ac.th

***Abstract*— A Light Fidelity (Li-Fi) is a wireless communication technology that relies on light to transmit data. This technology is similar to Wi-Fi communication that relies on radio frequencies to transmit data. The Li-Fi technology is operated through LED lamps where the light intensity is obtained by photoreceptor and then this data will be sent to the devices connected to the network. For Wi-Fi, the dense access points provide more reliability and higher SNR. Unlike Wi-Fi, higher SNR of Li-Fi means stronger illuminance to both devices and human eyes. Then, this can be harmful to user's health unintentionally. In this paper, the optimal number of LED lamps for one standard-sized room is presented. The minimum and maximum illuminations based on IES (Illumination Engineering Society) that is very detrimental to the human eyes are consider here. Moreover, three commercial LED bulbs with different wattage sizes are adopted in simulation. The results show that either 2×2 or 3×3 LED lamps is the optimal number depending on the condition of limited power and SNR requirement.**

Keywords*— *Visible Light Communication (VLC), Light Emitting Diode (LED), Light Fidelity (Li-Fi), Signal to Noise Ratio(SNR)

I. INTRODUCTION

A Li-Fi (Light Fidelity) is a wireless technology that works primarily through the light transmission. It uses only the LED lamp to transmit the signal [1]. This means that no matter where you go, as long as you can only have the light from the lamp, you can access the Internet immediately. This technology transmits data through the change of illumination or the amplitude of visible light in the range from 400 and 800 THz. The highlights of this technology are that it is simple to be installed in which we need only the LED bulbs used in the house or building. It is able to transmit wireless signals at speed up to 224 gigabits per second which is higher than the best Wi-Fi technology nowadays [2]. The Li-Fi main components are divided into 3 parts 1) Lamp Driver 2) LED lamp 3) Photo Detector. The working principle of LIFI is as follows. The first step is to input the signal into the LED lamp with signal processing technology. The second stage is to convey a high-speed beam of light to the photodetector. Then, the illumination in the beam is then interpreted as a signal. The signal is then powered up by a receiver and finally converted to a binary stream that can be used to represent web content, video signals, or audio signals. However, Li-Fi technology has its limitations, as Li-Fi is an optical signal which cannot pass through the wall. So, if we need the continuing connection without interruption, lots of LED light bulbs have to be installed in every area and have to be operated all the time even in the daytime. Also, the use of this technology in an open area is unstable. The Li-Fi is currently being deployed in the skyspace, with AirBus developing Li-Fi for the use in aircraft control chambers and preparing to deploy the system on all aircraft. As the convenience for all passengers, Apple's IOS operating system has a function to support Li-Fi on the plane. The installation of Li-Fi needs to be safe for human eyes and does not cause much interference. We consider an appropriate illumination as well as SNR for the system. A large number of LED bulb installation will indeed make lots of coverage in the room. However, this introduces a high SNR. In addition, this large system leads to a huge investment and an unnecessary use of energy. In this paper, we focus on finding the optimal number of LEDs to save the cost of installation as well as the most energy saving. With this effective management, the results can be a guide to Li-Fi designer for installation in various places. The rest of this paper is organized as follows. The system model is discussed in Section II. Then, the problem simulation is shown in Section III. Afterwards, simulation results and discussion are shown in Section IV. Finally, Section V concludes the paper.

II. SYSTEM MODEL

A. The Hotizontal Illumination

The luminous intensity emitted by a light source, also known as the Lambertian light-emitting pattern, is a cosine function form. This depends on the angle of illumination and the receiving angle on the ground which can be written as [3]

$$I(\emptyset) = I(0)COS^{m}(\emptyset) \qquad (1)$$

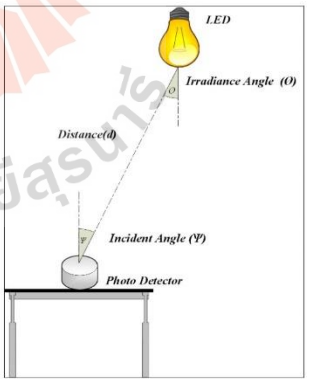


Fig. 1 System model for Li-Fi communication

978-0-7381-1127-8/21/$31.00 ©2021 IEEE

where $I(0)$ is the luminous intensity in the normal direction of LED , $\emptyset$ is the angle of illumination , m is the order of Lambertian pattern. This will radiate in the form of a semi-angle $\emptyset_{1/2}$

$$m = \frac{-ln\,2}{ln(cos\,\emptyset_{1/2})} \quad (2)$$

The horizontal illumination E_{hor} can be written as

$$E_{hor} = \frac{I(0)cos^{m}(\emptyset)}{d^2} \cdot cos(\Psi) \quad (3)$$

where d is the direct distance between LED and photodetector surface.

B. Received Power from LED Lights

Channel DC Gain $H(0)$ is one of the most important characteristics of a VLC channel and it also determines the Signal to Noise Ratio (SNR) achieved in the event of constant transmitted power. This gain is explained as [4]

$$H(0) = \begin{cases} \frac{(m+1)A}{2\pi D_d{}^2} cos^{m}(\emptyset) T_s(\Psi) g(\Psi) cos(\Psi) \ , \\ \qquad 0 \le \Psi \le \Psi_c \\ \qquad 0 \ , 0 \ge \Psi_c \end{cases} \quad (4)$$

where A is the physical area of the photodetector, D_d is the distance between transmitter and receiver, Ψ is the incidence angle, $\emptyset$ angle of irradiation, $T_s(\Psi)$ is the gain of optical filter , $g(\Psi)$ is the gain of an optical connector and Ψ_c is the field of view of the receiver. Then, we can find $g(\Psi)$ as follows.

$$g(\Psi) = \begin{cases} \frac{n^2}{sin^2(\Psi_c)} \quad , 0 \le \Psi \le \Psi_c \\ \qquad 0 \quad , \ 0 \ge \Psi_c \end{cases} \quad (5)$$

where n is the refractive index. If the field of receiver view Ψ_c is less than 0, then $g(\Psi)$ is 0 . We can find received power from LED lights using (6).

$$P_{r} = H(0) \cdot P_t \quad (6)$$

where P_t is the power transmitted from LED lights.

C. Signal to Noise Ratio

After we found the received power P_r from LED , we use this value to find the SNR. The greater SNR give a better signal which can be found from the following equation[5].

$$SNR = \frac{(RP_r)^2}{\sigma^2{}_{total}} \quad (7)$$

where R is the photodiode responsivity and $\sigma^2{}_{total}$ is total noise variance which can be found as :

$$\sigma^2{}_{total} = \sigma^2{}_{shot} + \sigma^2{}_{amplifier} \quad (8)$$

where $\sigma^2{}_{shot}$ is shot-noise variance and $\sigma^2{}_{amplifier}$ is amplifier-noise variance and $\sigma^2{}_{shot}$ can be found from the below equation.

$$\sigma^2{}_{shot} = 2qR(P_r + P_n)B_n \quad (9)$$

where q is the Electron mass, which is $1.602 \times 10^{-19} C$, P_n is noise power of the ambient light and B_n is noise bandwidth which can be found by.

$$B_n = I_2 R_b \quad (10)$$

where I_2 is noise bandwidth factor and R_b is data rate. The amplifier-noise variance can be found from (11).

$$\sigma^2{}_{amplifier} = i^2{}_{amplifier} B_a \quad (11)$$

where $i^2{}_{amplifier}$ is amplifier noise and B_a is bandwidth of amplifier.

III. Problem Formulation

In this section, we simulate the placement of LED in a standard-sized office which has a dimension of 4.26×5.48×3 m^3. The LED is placed at the height of 2.15 m from the receiving plane and the table height 0.85 m. We consider 3 sizes: 10 W, 18 W, and 20 W. The number of bulbs used for installation will be varied using the following equation [6].

$$N_{\text{led}} = \frac{A(m^2) * I}{Lu} \quad (12)$$

where A is the room size in square meters and I is the standard illumination. In the working room, the illumination should be at least 500 lux and Lu is the LED luminous flux.

A. LED Arrangements

In this section, we discuss five different types of LED arrangements, each of which uses a different number of LED bulbs. The uniform distribution for all types is assumed. All types are configured on the same standard-sized room. Therefore, all five LED arrangements include 1×1, 2×2, 3×3, 4×4, and 5×5. These LED arrangements are easy to set up and enough to provide brightness throughout the room.

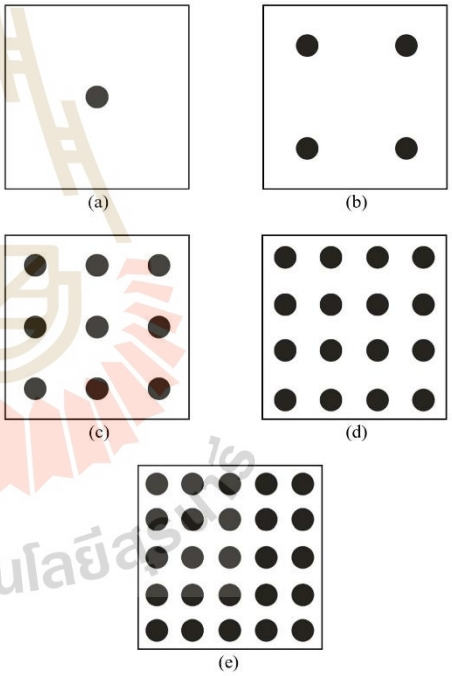


Fig. 2 LED arrangement in one standard-sized room : (a) 1×1 (b) 2×2 (c) 3×3 (d) 4×4 (e) 5×5.

B. Type of LED bulbs

Nowadays, there are many types of bulbs for us to choose from. The most popular one is the LED bulb which is a light bulb that is low of cost. It also has long-life usage and does not emit UV rays that harm the human eyes. This is the reason that we focus on this type of bulb to simulate an arrangement. The LED that we chose would be a tube light LED because this is the most common type of LED used in the room and building. We consider all 3 sizes of LED bulbs: 10W, 18W, and 20 W. All parameters for simulation are shown in Table I.

TABLE I : Parameters of LED

Parameters	
Room Size	$4.26 \times 5.48\ m^2$
LED luminous	1050 lm (For LED 10 W) 1800 lm (For LED 18 W) 1900 lm (For LED 20 W)
LED current	85 mA (For LED 10 W) 147 mA (For LED 18 W) 160 mA (For LED 20 W)
LED half intensity viewing angle	60^o
Field of view	70^o

IV. Simulation Results and Discussion

In this section, we simulate the installation of LED for 3 sizes. We also evaluate which LED lamps can provide the optimum illumination according to IES standards, as well as SNR of the LED lamps.

A. Illumination

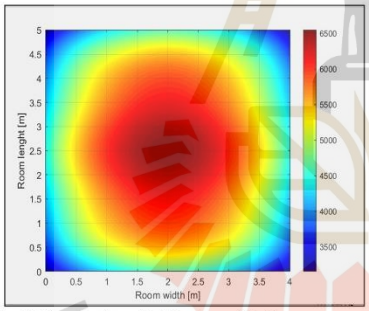


Fig. 3 Illumination distribution of 3×3 arrangement.

Figure 3 shows the pattern of light distribution in a room. Mostly, the area in the center of the room has the highest luminous intensity because it is an area with a lot of light overlays. The IES standard of illumination stipulates that the illumination must not be less than 400 lux and should not be exceed 10000 lux as it may cause eye damage.

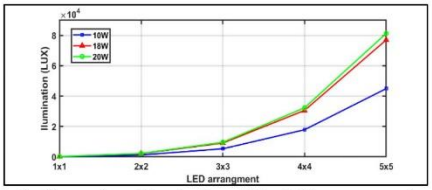


Fig 4 . Comparison illumination of the LED arrangements

Figure 4 shows a comparison of illumination for the 3-size LED bulbs with different arrangements. This simulation demonstrates that all types of LED arrangements have a total illumination exceeding 400 lux, except the 1×1 LED arrangement, which will be explained in next section. From the results, there are only two arrangements that have total illumination exceeding IES standards which are 4×4 and 5×5 arrangements. However, these arrangements are not suitable for the use in this room. So, we consider only two arrangements: 2×2 and 3×3. Although both arrangements have illumination that is within the IES standard, we choose the one arrangement that produce the highest illumination to provide the best performance for Li-Fi system. Therefore, we choose to consider the 3x3 arrangement. Also, the 3 sizes of LED bulbs: 10 W 5283 Lux LED, 18 W 9056 Lux LED, and 20 W 9559 Lux LED are in focus. When we consider the suitability of the human eye, a 10 Watt LED bulb provides the optimal illumination. This is because the other two sizes of LED lamps have the illumination of almost 10000 lux which can be harmful to the human eyes.

B. Signal to Noise Ratio

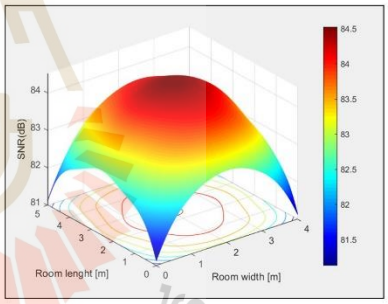


Fig 5 . SNR of 3x3 arrangement.

Figure 5 shows the SNR of an LED bulb. As we can see, the higher SNR provides the better signal. Please not that SNR is considered as an important factor for Li-FI communications.

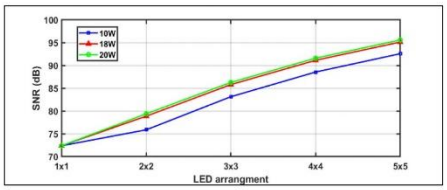


Fig 6 . Comparison of SNR for LED arrangements.

Figure 6 shows a comparison of SNR, in which we can see that the SNR of all four patterns is relatively similar. However, we consider the SNR in the arrangements that provides the most suitable illumination for human eye which is 3×3 arrangements. This type has SNR: 10 W 84 dB LED, 18 W 85 dB LED, and LED 20 W 86 dB. Therefore, we can conclude that 10 W LED bulbs are the most suitable for installation and safe for human eyes. Also, this arrangement provides a good SNR performance. The 4×4 and 5×5 arrangements are suitable for larger rooms because the larger the room needs more LED light.

C. Coverage Area

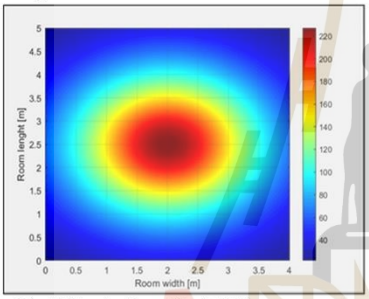


Fig. 7 Illumination of 1×1 LED arrangement.

The coverage area is very important for Li-Fi communication. This communication uses light to transmit data, So all areas in the room must have illumination not lower than the IES standard. In this simulation, we need all areas of the room to have an illuminance of at least 400 Lux which is the minimum illuminance level in the office. Figure 7 show the 1×1 LED arrangement which uses just one LED for the installation. Note that it is installed in the middle of the room.

TABLE II : Minimum and maximum illuminations.

LEDs	10 W(Lux)		18 W(Lux)		20 W(Lux)	
	min	max	min	max	min	max
1x1	22	227	38	389	40	411
2x2	536	1547	918	2652	971	2800
3x3	3154	6545	5407	11222	5708	11824
4x4	9115	22926	15626	40034	16494	42271
5x5	21341	61160	36585	104650	38617	110360
Note: Shaded areas are too dangerous for human eyes.						

Table II shows the minimum and maximum luminance values of each LED arrangement. As a result, we have found that the arrangement of the LEDs in a 1×1 pattern has a luminance value of less than 400 lux altogether. This is because it doesn't have any illuminance from other LED light bulbs to interfere. Thus, it results in a very low light intensity and it is not safe for human eyes. For 4×4 and 5×5 LED arrangements, the illumination exceeds 10000 lux, although these two arrangements have higher SNR performance than other arrangements. This is very detrimental to the human eyes. Therefore, we use 2×2 and 3×3 LED arrangements to cover the entire room. The optimal LED lamps should be either 2×2 or 3×3. It depends on tradeoff between power consumption and SNR performance. For example, if the system requires SNR less than 75 dB and limited power consumption, the optimal LED lamps is 2×2 with 10 W bulbs. In turn, if the system requires the best SNR without power constraint, the optimal LED lamps is 3×3 with 10 W bulbs.

V. CONCLUSION

In this paper, we have investigated into the optimal number of LED lamps for Li-Fi communications by comparing their performance using the three LED bulbs including 10W, 18W, and 20W. All types of LED bulbs are commercially indoor LED bulbs. The optimization conditions are as follows. 1) the illumination must not harm the human eyes and 2) SNR must be effective for communications. The results have shown that if the system requires the best SNR without power constraint, a 3x3 arrangement using a 10 W LED bulb is most suitable one for the use in an office setting. That is because the 10W LED bulbs are visually optimized for IES standard and SNR is good for communications. Also, this arrangement is not costly and efficiently saves or energy comparing other types of bulbs.

REFERENCES

[1] Haas H., Yin L., Chen C., Videv S., Parol D., Poves E., Alshaer H., Islim M.S., "Introduction to indoor networking concepts and challenges in LiFi," Journal of Optical Communications and Networking, 12, 2, pp.A190-A203, 2020.

[2] Wu X., Haas H., "Load Balancing for Hybrid LiFi and WiFi Networks: To Tackle User Mobility and Light-Path Blockage," IEEE Transactions on Communications, 68, 3, p.1675-1683, 2020.

[3] Nguyen H.Q., Choi J.-H., Kang M., Ghassemlooy Z., Kim D.H. , Lim S.-K., Kang T.-G., Lee C.G., "A MATLAB-based simulation program for indoor visible light communication system," 2010 7th International Symposium on Communication Systems, Networks & Digital Signal Processing (CSNDSP 2010).

[4] Komine T., Nakagawa M., "Fundamental Analysis for Visible-Light Communication System using LED Lights," IEEE Transactions on Consumer Electronics, 50, 1, p.100-107, 2004.

[5] Zeng L., O'Brien D., Le-M.H., Lee K., Jung D., Oh Y., "Improvement of Date Rate by using Equalization in an Indoor Visible Light Communication System," 2008 4th IEEE International Conference on Circuits and Systems for Communications.

[6] Ngaodet M., "Lighting design," https://blog.rmutl.ac.th/montri/old/ee/04212209/L-05.pdf

ประวัติผู้เขียน

นายปารเมศ รักษ์บางแหลม เกิดเมื่อวันที่ 2 เดือน เมษายน พ.ศ. 2541 สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาปีที่ 1-6 จากโรงเรียนมานิตานุเคราะห์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่1-6 จากโรงเรียนเทพมิตรศึกษา และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2563 หลังจากสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีได้มีความสนใจที่จะศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตด้านการสื่อสารไร้สาย จึงได้สมัครเข้าศึกษาต่อในสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยขณะศึกษาได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา (ทุนOROG)

ผลงานวิจัย : ได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ 2021 IEEE 1 8 th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2021), Chiang Mai, Thailand วันที่ 20 พฤษภาคม 2564 .ในหัวข้อเรื่อง Optimal Number of LED Lamps for Li-Fi Communications

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี