

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบูรพพลังงานต่ำในการติดตาม
และวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พื้นที่ของนักศึกษา

เบญจรัตน์ ภาณุโรจน์

TNI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2565

AN IMPLEMENTATION OF STUDENT TRACKING AND AREA USAGE ANALYSIS
BASE ON BLUETOOTH LOW ENERGY

Benjarat Panuroj

TNI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for The Degree of Master of Engineering Program in Engineering Technology

Graduate School
Thai-Nichi Institute of Technology
Academic Year 2022

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในการติดตาม และ
วิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พื้นที่ของนักศึกษา

โดย

เบญจรัตน์ ภาณุโรจน์

สาขาวิชา

เทคโนโลยีวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ดร.ชัชชัย วรรณบูรณ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.วรากร ศรีเชวงทรัพย์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ดร.ณัฐกิตติ์ จิตรเอื้อตระกูล)

.....กรรมการ

(ดร.อัสนา เชนไธยะ)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วรากร ศรีเชวงทรัพย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ดร.ชัชชัย วรรณบูรณ์)

เบญจรัตน์ ภาณุโรจน์ : การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำในการติดตาม และวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พื้นที่ของนักศึกษา. อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.ชัชไชย วรรณบุรณ์, 46 หน้า.

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาการติดตามพฤติกรรมของนักศึกษาภายในสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น โดยใช้เทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำ (BLE) ซึ่งใช้อุปกรณ์กระจายสัญญาณบลูทูธ ไปติดตั้งภายในบริเวณสถาบันฯ จำนวน 7 จุด และเก็บข้อมูลการเข้าใช้พื้นที่ โดยใช้อุปกรณ์รับสัญญาณบลูทูธขนาดเล็ก ให้นักศึกษาที่เป็นอาสาสมัคร จำนวน 15 คน นำติดตัวไว้เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการติดตามตำแหน่ง ซึ่งได้ทำการรวบรวมข้อมูลบันทึกการติดตามเป็นเวลา 1 เดือน เพื่อนำมาศึกษา และวิเคราะห์พฤติกรรมที่เกิดขึ้นในสถาบันของนักศึกษา จากผลการศึกษาทำให้ทราบว่านักศึกษาจะไปอยู่บริเวณตึก E มากที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บข้อมูล คิดเป็น 111 ครั้ง ที่จับสัญญาณอุปกรณ์ได้ รวมถึงกระจายอยู่ในระหว่างวันมากที่สุดด้วย หากเป็นช่วงเวลายาวนักศึกษาก็จะกระจายไปอยู่บริเวณอาคาร B ส่วนในช่วงเช้าและเย็น จะอยู่บริเวณอาคาร D ซึ่งสามารถนำผลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ต่อในการศึกษาเรื่องของการใช้งานพื้นที่ในแต่ละบริเวณ และแต่ละช่วงเวลาที่นักศึกษาเคลื่อนที่ไป นอกจากนี้ข้อมูลดังกล่าวช่วยให้สามารถวางแผนการใช้งานพื้นที่แต่ละบริเวณได้ สามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการปรับปรุงสถานที่ภายในสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นหรือสถานศึกษาอื่นๆ ได้ในอนาคต

บัณฑิตวิทยาลัย
สาขาวิชา เทคโนโลยีวิศวกรรม
ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อนักศึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

BENJARAT PANUROY : AN IMPLEMENTATION OF STUDENT TRACKING AND AREA
USAGE ANALYSIS BASE ON BLUETOOTH LOW ENERGY. ADVISOR : DR.CHATCHAI
WANNABOON, 46 PP.

This thesis presents student tracking and area usage analysis using Bluetooth low energy (BLE) technology. Embedded BLE access points have been installed in 7 different locations in Thai-Nichi Institute Technology. The student movement behavior is investigated through 15 volunteers with a compact of tracking device. Data collection has been achieved during November and December of 2022 in a real case situation. The student behavior, i.e., frequency, number of visitors, and movement trajectories, has been revealed by data collections and analytics from each access point. According to the results of the study, students were found to be in the E building the most throughout the data collection period, representing 111 times that the device was detected. Including spreading during the day as well If it is afternoon, students will spread around Building B. In the morning and evening will be located in Building D. This study offers a potential reference of area usage planning and facility development for other academic areas.

Graduate School
Field of Engineering of Technology
Academic Year 2022

Student's Signature.....
Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

งานวิทยานิพนธ์เรื่อง “การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในการติดตาม และวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พื้นที่ของนักศึกษา” ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ดร.ชัชชัย วรรณบุรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งได้ให้ความรู้ คำปรึกษา แนะนำแนวทาง เพื่อนำไปปรับปรุง และแก้ไข ข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้งานสมบูรณ์ยิ่งขึ้น พร้อมทั้งยังช่วยพัฒนาการทำงานของวิทยานิพนธ์ให้เป็นไปอย่างมีคุณภาพ และสนับสนุนเครื่องมือที่ใช้ในการทำงานวิจัยนี้ อีกทั้งยังดูแลเอาใจใส่ตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และข้อคิดที่เป็นประโยชน์ ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ พร้อมทั้งให้คำแนะนำแนวทาง ปรับปรุงแก้ไข จนสามารถทำให้วิทยานิพนธ์ ฉบับนี้เสร็จสิ้นสมบูรณ์ตามขอบเขตที่กำหนดไว้

ขอบคุณนักศึกษาจากสาขาวิศวกรรมศาสตร์ที่ได้ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลเพื่อการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

นอกจากนี้ทางผู้วิจัยขอขอบคุณแรงสนับสนุนจากครอบครัว และคนรอบข้างที่คอยให้กำลังใจ ให้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาการศึกษา จนจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้น

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ และสามารถนำไปต่อยอดกับองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องได้ อีกทั้งสามารถก่อให้เกิดแนวคิดเพื่อใช้ในการศึกษา หรือเป็นแนวทางการทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอนาคต

เบญจรัตน์ ภาณุโรจน์

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.2 การทบทวนวรรณกรรม.....	15
3 วิธีการดำเนินงาน.....	17
3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	18
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	19
3.3 การออกแบบระบบ.....	20
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	21
3.5 สถานที่ติดตั้งอุปกรณ์.....	23
4 ผลการดำเนินงาน.....	25
4.1 ข้อมูลการติดตามที่ได้รับจากอุปกรณ์.....	25
4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	27

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5	สรุปและอภิปรายผล..... 32
5.1	สรุปผล..... 32
5.2	ปัญหาและอุปสรรค 32
5.3	ข้อเสนอแนะ 32
บรรณานุกรม	 33
ภาคผนวก	 36
ภาคผนวก ก. โค้ดโปรแกรม.....	37
ภาคผนวก ข. การตีพิมพ์ผลงานวิจัย.....	40
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	46

TNI

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบระหว่าง Bluetooth Classic กับ Bluetooth Low Energy (BLE)	4
2.2 เปรียบเทียบเทคโนโลยี RF ตามพารามิเตอร์ต่างๆ.....	5
2.3 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
3.1 แผนงานและระยะเวลาในการดำเนินงาน.....	18

สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1	แบบอย่างการใช้งาน Beacon 8
2.2	Client-Based Indoor Positioning Using BLE 8
2.3	Server-Based Indoor Positioning Using BLE 9
2.4	ภายใน Beacons 10
2.5	การทำงานของ Beacons 10
2.6	ชุดข้อมูลที่ส่งออกจาก Beacons 11
2.7	ส่วนต่างๆ ของโปรแกรม RapidMiner 14
3.1	แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน 19
3.2	ภาพรวมการทำงานของระบบ 20
3.3	แผนผังการทำงานของอุปกรณ์ 21
3.4	Ruuvi Tag 22
3.5	Raspberry Pi W Zero สำหรับเป็นเกตเวย์ 22
3.6	หน้าต่างโปรแกรม RapidMiner 23
3.7	โปรแกรม Visual Studio Code 23
3.8	จุดการติดตั้ง Raspberry Pi W Zero 24
3.9	บริเวณติดตั้งอุปกรณ์ภายในอาคารต่างๆ 24
4.1	ข้อมูลจากการติดตามนักศึกษาบริเวณ อาคาร A 25
4.2	ข้อมูลการติดตามนักศึกษาจากบริเวณต่างๆ 26
4.3	ภาพรวมการใช้งานแต่ละพื้นที่ 27
4.4	จำนวนอุปกรณ์ที่จับได้ทั้งหมดตลอดระยะเวลาการเก็บข้อมูล 27
4.5	เส้นทางการเคลื่อนที่ในช่วงเวลา 06:00-09:00 น. 28
4.6	เส้นทางการเคลื่อนที่ในช่วงเวลา 09:00-12:00 น. 29
4.7	เส้นทางการเคลื่อนที่ในช่วงเวลา 13:00-16:00 น. 29
4.8	เส้นทางการเคลื่อนที่ในช่วงเวลา 16:00-19:00 น. 30
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่และผู้ใช้ 30

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การวิเคราะห์พฤติกรรมมนุษย์เป็นเรื่องที่น่าสนใจมากยิ่งขึ้น เนื่องจากสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาพฤติกรรมมาช่วยในการวางแผน หรือช่วยในการตัดสินใจได้ อย่างเช่น การศึกษาพฤติกรรมของคนที่เป็นคนขี้เกียจ ก็จะช่วยให้ได้ข้อมูลว่า ในช่วงเวลาใดที่มีคนไปมากที่สุด หรือน้อยที่สุด ส่วนมากไปอยู่ที่บริเวณไหน โดยข้อมูลเหล่านี้จะช่วยให้สามารถวางแผนในการใช้พื้นที่ของห้างให้ได้ประโยชน์สูงสุด

ในระยะหลังได้มีการนำเทคโนโลยีต่างๆ เข้ามาช่วยในการติดตามพฤติกรรม หากกล่าวถึงเรื่องการติดตาม อาจจะให้นึกถึง GPS (Global Positioning System) หรือจะเป็น CCTV (Close Circuit Television) แต่ทั้งสองอย่างนี้ล้วนมีข้อจำกัดสำหรับใช้ในการติดตามพฤติกรรมบุคคล อย่าง GPS ไม่สามารถระบุตัวตนได้ เมื่อใช้ในอาคารก็ทำให้ความแม่นยำลดลง และ CCTV ก็มีมุมมองที่จำกัด ไม่สามารถตรวจจับพฤติกรรมรายบุคคลอย่างต่อเนื่องได้ ทั้งยังเป็นการละเมิดความเป็นส่วนตัว และยังมีต้นทุนที่สูงด้วย

ในปัจจุบันเทคโนโลยีที่เป็นที่แพร่หลายที่เรียกว่าบลูทูธพลังงานต่ำ หรือ BLE (Bluetooth Low Energy) เป็นเทคโนโลยีการส่งข้อมูลโดยใช้พลังงานต่ำ ซึ่งถูกติดตั้งในอุปกรณ์สื่อสาร เช่น สมาร์ทโฟน และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ มีการใช้งานที่ง่าย และราคาถูก ซึ่งเหมาะกับการติดตามภายในอาคาร โดยมีงานวิจัยที่ได้นำ BLE มาใช้ในการศึกษาพฤติกรรมกันมากขึ้น อย่างงานวิจัยที่ได้ทำการติดตามผู้เข้าร่วมงานเทศกาลดนตรีด้วยบลูทูธ ทางผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งเครื่องสแกนไว้มอบๆ ทำให้ได้ข้อมูลการเข้าออก และทราบการเคลื่อนที่ของผู้คนในเวลาต่างๆ รวมถึงจำนวนของผู้เข้าร่วมงาน ซึ่งจากงานวิจัยนี้ได้พิสูจน์ให้เห็นว่า BLE สามารถที่จะนำมาใช้ติดตามบุคคลได้ มีการใช้งานที่ง่าย และราคาไม่สูง และยังมีงานวิจัยซึ่งได้ทำการติดตามคนงานในพื้นที่ก่อสร้าง โดยใช้ BLE ในการติดตามการเคลื่อนไหว และตำแหน่งของคนงาน เพื่อนำมาติดตามเวลาปฏิบัติงาน และทำการวิเคราะห์หาพฤติกรรมของคนงานว่ามีการไปในพื้นที่ที่ไม่ควรจะไป หรือได้อยู่ในตำแหน่งที่ได้รับมอบหมายงานหรือไม่ นอกจากนี้ยังมีการวิจัยที่ได้ทำการออกแบบ และพัฒนาระบบการกำหนดตำแหน่งโดยใช้ BLE และสมาร์ทโฟน เพื่อติดตามการเคลื่อนไหวของพนักงานภายในอาคาร ทำให้ทราบว่าพนักงานในพื้นที่ที่มีการเคลื่อนที่จากที่ใดไปที่ใดบ้าง จากงานวิจัยนี้ทางผู้วิจัยคาดว่า การวิเคราะห์พฤติกรรมมนุษย์โดยการกำหนดตำแหน่งภายในอาคารจะเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานด้วย

งานวิจัยนี้นำเสนอการใช้เทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำ (Bluetooth Low Energy : BLE) ซึ่งเป็นเครือข่ายไร้สายประเภทหนึ่งที่สามารถใช้ในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร และประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (Internet of Things : IoT) ซึ่งจะช่วยให้สามารถตรวจจับการใช้งานพื้นที่ได้ โดยจะทำให้สามารถติดตามการเข้า-ออกในแต่ละพื้นที่ และทำการศึกษาพฤติกรรมของนักศึกษาได้อย่างสะดวก และง่ายยิ่งขึ้น จากข้อมูลการติดตามพฤติกรรมของนักศึกษาสามารถที่จะนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อที่จะทราบว่าพฤติกรรมต่างๆ ของนักศึกษาเป็นอย่างไรบ้าง มีการเคลื่อนไหวไปที่บริเวณไหนตามจุดที่ได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตัวรับสัญญาณบ้าง ไปบริเวณไหนบ่อยที่สุด และการใช้เวลาในการอยู่ในบริเวณนั้นๆ เป็นเวลานานเท่าไร เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการวางแผนการใช้งานพื้นที่แต่ละบริเวณได้ สามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการปรับปรุงสถานที่ให้เหมาะสมกับนักศึกษาได้ดียิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาเกี่ยวกับระบบติดตามภายในอาคาร โดยใช้บลูทูธพลังงานต่ำ
- 1.2.2 เพื่อเก็บข้อมูลการติดตามของนักศึกษา
- 1.2.3 เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พื้นที่ของนักศึกษาภายในสถาบัน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 สถานที่ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้ คือ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น โดยแบ่งเป็น 7 จุดสำหรับการเก็บข้อมูล ดังนี้

- | | |
|--------------------------------|-------|
| 1. โรงอาหาร (อาคาร B, C, D, E) | 4 จุด |
| 2. ทางเข้าบริเวณอาคาร A | 1 จุด |
| 3. จุดสูบบุหรี่ | 1 จุด |
| 4. สนามบาส | 1 จุด |

1.3.2 ติดตามนักศึกษาจำนวน 15 คน จากสาขาวิศวกรรมศาสตร์

1.3.3 ระยะเวลาในการติดตามนักศึกษาเพื่อเก็บข้อมูล ตั้งแต่ 21 พฤศจิกายน 2565-23 ธันวาคม 2565

1.3.4 ไม่ได้กำหนดค่า RSSI ในการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 มีความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้งานเทคโนโลยีติดตามทรัพย์สิน
- 1.4.2 สามารถออกแบบระบบการติดตามได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะนำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบติดตามทรัพย์สินภายในอาคารโดยการประยุกต์ใช้บลูทูธพลังงานต่ำ และการทบทวนวรรณกรรม ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสาร ทฤษฎี และงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2 การทบทวนวรรณกรรม

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 บลูทูธพลังงานต่ำ (Bluetooth Low Energy : BLE) [1][2]

บลูทูธพลังงานต่ำ (Bluetooth Low Energy) หรือ BLE ตามหลักแล้วอุปกรณ์ BLE จะใช้พลังงานน้อยมากๆ บางอุปกรณ์รับประกันว่าสามารถอยู่ได้ต่อเนื่องนาน 1 ปี โดยใช้พลังงานจากถ่านกระดุมเพียงก้อนเดียว ซึ่งเป็นเทคโนโลยีบลูทูธที่ได้รับการปรับปรุงให้ทันสมัยขึ้นในช่วงที่ผ่านมา และแอปพลิเคชัน BLE ได้รับการเปิดตัวในหลายอุตสาหกรรม เช่น การดูแลสุขภาพ ระบบรักษาความปลอดภัยภายในบ้าน การรักษาความปลอดภัย การค้าปลีก การจัดเก็บ การโฆษณา และอื่นๆ เมื่อเทียบกับบลูทูธแบบคลาสสิกแล้ว สามารถใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ ตัวอย่างเช่น โพรโตคอลไร้สาย BLE ช่วยให้อุปกรณ์ที่อยู่ใกล้เคียง BLE สามารถสื่อสารกับสมาร์ตโฟน แท็บเล็ต หรือ Smartwatch เพื่อเรียกใช้ฟังก์ชันการทำงานในแอปพลิเคชัน ตัวอย่างเช่น เพื่อล็อกหรือปลดล็อกประตูโดยใช้สมาร์ตโฟน ตรวจสอบการเต้นของหัวใจโดยใช้ Smartwatch หรือติดตามรายการที่สูญหาย เช่นกุญแจ หรือกระเป๋าตังค์โดยใช้แอปสมาร์ตโฟน

ความแตกต่างระหว่าง Bluetooth Classic และ Bluetooth Low Energy (BLE)

Bluetooth และ BLE ถูกใช้เพื่อวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันมาก บลูทูธสามารถจัดการข้อมูลจำนวนมากได้ แต่จะสิ้นเปลืองพลังงานแบตเตอรี่ได้อย่างรวดเร็ว และมีค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้น BLE เป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการใช้งานที่ไม่จำเป็นต้องแลกเปลี่ยนข้อมูลเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงสามารถใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ได้นานหลายปีด้วยต้นทุนที่ต่ำกว่า BLE 4.0 เป็นอันดับแรกในตลาดในปี 2554 ตามด้วย BLE 4.1 ในปี 2013 และ BLE 4.2 ในปี 2014 โดยที่ BLE 4.2 มีอัตราการรับส่งข้อมูลสูงสุด 1 Mbps และใช้เวลาเพียง 0.01 ถึง 0.5 วินาทีซึ่งเป็นหนึ่งในสามของความเร็วของ Bluetooth Classic และใช้พลังงานเพียงครึ่งหนึ่ง

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบระหว่าง Bluetooth Classic กับ Bluetooth Low Energy (BLE)

ข้อมูลจำเพาะ	Bluetooth Classic	Bluetooth Low Energy (BLE)
เครือข่าย/โทโพโลยี	การกระจาย	Star Bus
การใช้พลังงาน	ต่ำ (น้อยกว่า 30mA)	Very Low (น้อยกว่า 15 mA)
ความเร็ว	700 Kbps	1 Mbps
พิสัย	<30 m	50 เมตร (150 เมตรในทุ่งโล่ง)
คลื่นความถี่วิทยุ	2400 MHz	2400 MHz
ช่องความถี่	79 ช่องจาก 2.400 GHz ถึง 2.4835 GHz และมีระยะห่างระหว่าง 1 MHz	40 ช่องจาก 2402 MHz ถึง 2480 MHz (รวมการโฆษณา 3 ช่องและช่องข้อมูล 37 ช่อง)
การปรับ	GFSK (ดัชนีการมอดูเลชัน 0.35), TT/4 DQPSK, 8DPSK	GFSK (ดัชนีการมอดูเลต 0.5)
ความล่าช้าในการถ่ายโอนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สองเครื่อง	ประมาณ 100 ms	ประมาณ 3 ms
การแพร่กระจาย	FHSS (ช่อง 1MHz)	FHSS (ช่องสัญญาณ 2MHz)
ชั้นลิงก์	TDMA	TDMA
ขนาดข้อความ (ไบต์)	358 (สูงสุด)	8 ถึง 47
การตรวจจับ/แก้ไขข้อผิดพลาด	8 บิต CRC (ส่วนหัว), 16 บิต CRC, 2/3 FEC (Payload), ACKs	24 บิต CRC, ACKs
ความปลอดภัย	64b/128b เลเยอร์แอปพลิเคชันที่กำหนดโดยผู้ใช้	128 บิต AES, เลเยอร์แอปพลิเคชันที่กำหนดโดยผู้ใช้
ปริมาณการใช้งาน	0.7 ถึง 2.1 Mbps 0.7 to 2.1 Mbps	น้อยกว่า 0.3 Mbps
การเชื่อมต่ออุปกรณ์	7	ไม่จำกัด

เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีบลูทูธแบบคลาสสิกแล้ว เทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำถูกออกแบบมาเพื่อรักษาระดับการสื่อสารที่เหมือนกันในขณะที่ลดการใช้พลังงาน และค่าใช้จ่ายลงอย่างมาก เนื่องจากการใช้พลังงานต่ำจึงมักใช้ในอุปกรณ์สวมใส่ที่หลากหลาย และอุปกรณ์ IoT แบตเตอรี่ปุ่มสามารถใช้งานได้นานหลายเดือนเป็นเวลาหลายปี มีขนาดเล็กค่าใช้จ่ายต่ำ และเข้ากันได้กับโทรศัพท์ มือถือ แท็บเล็ต และคอมพิวเตอร์ที่มีอยู่มากที่สุด [3]

Bluetooth Low Energy หรือ BLE นอกจากความสามารถด้านการประหยัดพลังงานแล้ว อุปกรณ์ BLE ยังสามารถเชื่อมต่อได้ไม่จำกัดจำนวนอีกด้วย (เดิมบลูทูธคลาสสิกจำกัดการเชื่อมต่อสูงสุดที่ 7 อุปกรณ์) บลูทูธรุ่น 4.0 ที่ทำงานแบบ BLE นั้นเริ่มใช้เทคนิค Frequency-Hopping Spread Spectrum (FHSS) แต่ยังคงจำกัดความสามารถในการรับส่งข้อมูลสูงสุดไว้ที่ 1 Mbps (ความสามารถเท่ากับ Basic Rate ของ รุ่น 1.0 แต่ประหยัดพลังงานมากกว่า) แม้ความสามารถด้านการรับส่งข้อมูลแบบ BLE จะไม่สูงมากนัก แต่ก็มากพอสำหรับอุปกรณ์หลายประเภท เช่น อุปกรณ์ติดตามการออกกำลังกาย (Fitness Tracker) หรืออุปกรณ์ IoT จึงทำให้เกิดอุปกรณ์บลูทูธใหม่ๆ เกิดขึ้นในตลาดอย่างมากมาย [4]

เปรียบเทียบเทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำ และเทคโนโลยีอื่นๆ [5]

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบเทคโนโลยี RF ตามพารามิเตอร์ต่างๆ

	Location Accuracy	Range	Latency	Power Consumption	Cost	Frequencies	Data Rate
Low Energy Bluetooth Beacon (BLE Beacon)	Medium to High	10-100m	Low (100ms+)	Low	Low	2.4GHz	Up to 2 Mbps
WiFi Beacon	High	30-100m	Low (100ms+)	High	Medium to High	2.4GHz/5GHz	Up to 1.3 Gbps
Zigbee Beacon	Medium	10-100m	Low (100ms+)	Low	Low to Medium	2.4GHz/868 MHz/915MHz	Up to 250 kbps
RFID Beacon	Low	Up to 100m	Low (ms)	Low	Low to Medium	125kHz/13.56MHz/433MHz/900MHz	Up to 640 kbps
Lora Beacon	Medium to High	Up to 15km	High(seconds)	Very Low	Low to High	433MHz/868 MHz/915MHz	Up to 50 kbps
NFC beacon	Low to Medium	<20 cm	Low (ms)	Very Low	Low to Medium	13.56MHz	Up to 424 kbps
LTE beacon	High	Up to 30km	Medium (ms)	High	High	Various	Up to 1 Gbps

อย่างที่เห็นในตารางข้างต้น BLE มีข้อดีหลายประการ

1. BLE Beacon ใช้ 2.4 ย่านความถี่กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการสื่อสารไร้สาย

2. มีระยะที่ไกลกว่า NFC และ RFID และใช้พลังงานน้อยกว่าบิตคอน Wi-Fi และ LTE
3. ยังมีอัตราข้อมูลที่สูงกว่า Zigbee และ NFC ทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการการถ่ายโอนข้อมูลที่รวดเร็วขึ้น
4. ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง BLE นั้นต่ำกว่า Wi-Fi และ LoRa ทำให้เป็นโซลูชันที่ประหยัดสำหรับการใช้งานจำนวนมาก.

สำหรับบิตคอนที่ใช้เทคโนโลยี RF อื่นๆ เราจะเห็นว่า WIFI มีความแม่นยำของตำแหน่งและระยะสูง แต่กินไฟสูงและมีราคาแพง ZigBee มีความหน่วงแฝง และการใช้พลังงานต่ำ แต่มีช่วงและอัตราข้อมูลที่จำกัด RFID มีความแม่นยำของตำแหน่งต่ำ แต่มีราคาถูกและมีระยะไกล LoRa มีช่วงสัญญาณที่ไกลและใช้พลังงานต่ำ แต่มีอัตราข้อมูลที่ต่ำ NFC มีความแม่นยำของตำแหน่งและระยะที่ต่ำถึงปานกลาง แต่มีราคาถูกมากและใช้พลังงานต่ำ LTE มีความแม่นยำของตำแหน่งและระยะสูง แต่มีราคาแพงและกินไฟสูง

2.1.2 Raspberry Pi W Zero [6]

Raspberry Pi W Zero เป็นอุปกรณ์ที่ประหยัดพลังงาน และมีราคาที่ถูก ซึ่งใช้ชิป SoC จาก Broadcom เบอร์ BCM2835 โดยเป็นชิปเบอร์เดียวกับที่ใช้ในบอร์ด Raspberry Pi เวอร์ชันแรก ตัวบอร์ดมีแรม 512 MB ผังมาในชิป SoC มาพร้อมการเชื่อมต่อ WiFi (2.4 GHz IEEE 802.11b/g/n และบลูทูธ 4.2 จาก Cypress เบอร์ CYW43438

ส่วนประกอบของบอร์ด Raspberry Pi W Zero

1. USB On-the-Go (USB-OTG) ช่องนี้ช่องเดียวสามารถเป็นได้ทั้ง USB Host และ USB Slave ได้ โดยหากใช้เป็น USB Slave สามารถใช้สาย MicroUSB เสียบได้เลย แต่หากใช้ในโหมด USB Host (ต่อเมาส์/คีย์บอร์ด/แฟลชไดรฟ์)
2. Power ช่องสำหรับจ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด Raspberry Pi Zero W ที่แรงดันไฟฟ้า 5V/2A
3. ช่องเสียบ MicroSD Card เนื่องจากตัวบอร์ดไม่มีส่วนใดที่ใช้เก็บข้อมูลได้ ดังนั้นการติดตั้ง OS การเก็บไฟล์ต่างๆ จึงเก็บบน MicroSD Card
4. ช่อง Mini HDMI เป็นช่องสำหรับต่อจอแสดงผล ผ่านพอร์ต HDMI เนื่องจากบอร์ดต้องการออกแบบให้มีขนาดเล็ก จึงใช้หัวแบบ Mini HDMI แต่เวลาใช้งานจริง จอภาพส่วนใหญ่ใช้ช่อง HDMI ขนาดปกติ หากต้องการให้เชื่อมต่อไปจอได้ ต้องใช้หัวแปลง Mini HDMI to HDMI เพิ่มเติม
5. ช่อง GPIO มีให้ใช้ทั้งหมด 40 ขา แบ่งเป็น GPIO จำนวน 28 ช่อง และช่องต่อไฟเลี้ยงจำนวน 12 ช่อง มีตำแหน่งขาแบบเดียวกับ Raspberry Pi รุ่นอื่นๆ ทำให้ใช้ HAT ทุกตัวมาต่อได้
6. ช่องต่อโมดูลกล้อง โดยจะใช้ต่อกับโมดูลกล้องของ Raspberry Pi ได้เท่านั้น

2.1.3 Beacon

Beacon คือ ฮาร์ดแวร์ชิ้นเล็กๆ ที่สามารถปล่อยสัญญาณในลักษณะของบลูทูธ และสื่อสารข้อมูลโดยใช้ ชุดข้อมูลตัวอักษร หรือ ตัวเลข [7]

การทำงานของบีคอน คือ การรับและปล่อยสัญญาณผ่าน Bluetooth พลังงานต่ำ BLE (Bluetooth Low Energy) มีระยะส่งสัญญาณสูงถึง 100-200 เมตร เลย์ที่เดียวขึ้นอยู่กับการออกแบบอุปกรณ์ของแต่ละผู้ให้บริการ ความสามารถเด่นของระบบบีคอนคือการให้ข้อมูล ตำแหน่งระยะใกล้ที่แม่นยำกว่า GPS ข้อมูลสภาพอากาศและระดับของแสงสว่างบริเวณนั้น ซึ่งในปัจจุบันมีอุปกรณ์บีคอนถูกผลิตขึ้นมากมาย นิยมนำมาใช้ควบคู่ไปกับการพัฒนา Mobile Apps โดย Beacon IoT จะเป็นตัวปล่อยสัญญาณ ในขณะที่ Mobile Apps จะถูกพัฒนาให้เป็นตัวรับสัญญาณ [8]

Beacons กับระบบนำทางภายในอาคาร [9]

การนำ Beacons มาใช้กับระบบนำทางภายในอาคาร (ชนิดที่พบมากที่สุดคือ iBeacon และ Eddystone) ซึ่งมีข้อดีแตกต่างกันสำหรับโครงการที่ต้องการนำไปใช้งาน โดยจะต้องมีความแม่นยำสูงและต้องการรวมอุปกรณ์เครื่องส่งสัญญาณด้วย ตัวอย่างการใช้งาน เช่น สามารถใช้งานระบบนำทางภายในอาคารสำหรับผู้โดยสารสายการบินโดยใช้แอปพลิเคชันข้ามแพลตฟอร์ม และมีความแม่นยำสูงสุดถึง 1 เมตร การติดตามด้วย Beacon ของเซิร์ฟเวอร์สำหรับบุคคลหรือสินค้า สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ ต่างๆ ได้ เช่น Infinity Locator Node, Cisco, Aruba เป็นต้น

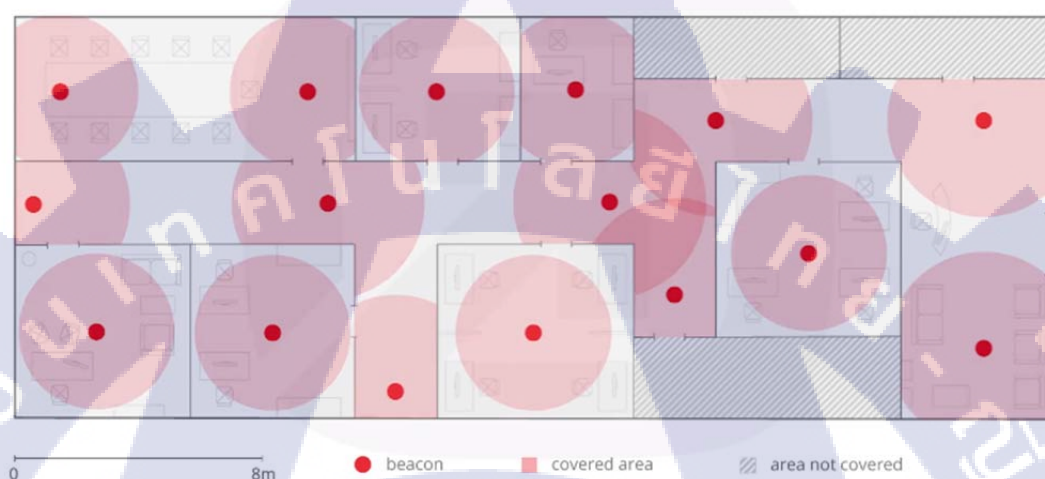
เมื่อใช้ Beacons ในการทำงานร่วมกับระบบนำทางภายในอาคาร จะทำให้สามารถใช้งานระบบนำทางในรูปแบบการติดตั้งชั่วคราว เช่น สำหรับการจัดนิทรรศการ และในการปฏิบัติงานนอกสถานที่ได้ การติดตั้ง Beacons เป็นเรื่องง่าย และมีความยืดหยุ่นสูง สามารถปรับเปลี่ยนวิธี และตำแหน่งการติดตั้งได้ตามรูปแบบพื้นที่ใช้งานจริง นอกจากนี้เทคโนโลยี Bluetooth Low Energy (BLE) ยังช่วยให้สามารถใช้งานแบตเตอรี่ได้นานกว่า 2 ถึง 8 ปี โดยไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟจากภายนอก และ Beacons ยังสามารถเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟหรือใช้แหล่งจ่ายไฟจากแสงได้ Paper Thin Beacons และแบตเตอรี่ขนาดบางเหมาะกับการติดตั้งที่ต้องการประหยัดพื้นที่ เช่น บน Cards และบนวัสดุสื่อโฆษณา โดยจะมีแบตเตอรี่เพียงพอสำหรับการใช้งานประมาณ 3 วัน เครื่องมือการจัดการ Beacon ที่รวมอยู่ในระบบจะทำให้การจัดการและการตรวจสอบสัญญาณเดือนทำได้ง่ายขึ้น

ฟังก์ชันระบบ Bluetooth Low Energy Beacons

Bluetooth Beacons เป็นเครื่องส่งสัญญาณวิทยุขนาดเล็กที่ส่งสัญญาณในรัศมี 10-30 เมตร (ภายในพื้นที่) ข้อดีของ Beacons ที่เห็นได้ชัดเจนน คือ มีประสิทธิภาพในการประหยัดค่าใช้จ่าย (3 ถึง 30 ยูโร) สามารถติดตั้งได้ง่าย สามารถระบุตำแหน่งได้แม่นยำภายในรัศมี 1 เมตร และสามารถ

รองรับการใช้งานบนระบบปฏิบัติการและอุปกรณ์ต่างๆ ได้ นอกจากนี้ ฟังก์ชันระบบ BLE (Bluetooth Low Energy) แบบใหม่ยังประหยัดพลังงานมาก Beacons สามารถใช้งานผ่านทางแอปพลิเคชันได้ทั้งในรูปแบบ Client-Based และแบบ Server-Based ด้วยปีคอนจะทำให้คุณสามารถตรวจสอบพื้นที่ในชั้นปัจจุบันได้

exemplary deployment of a beacon infrastructure



รูปที่ 2.1 แบบอย่างการใช้งาน Beacon [9]

Client-Based

client-based indoor positioning using BLE

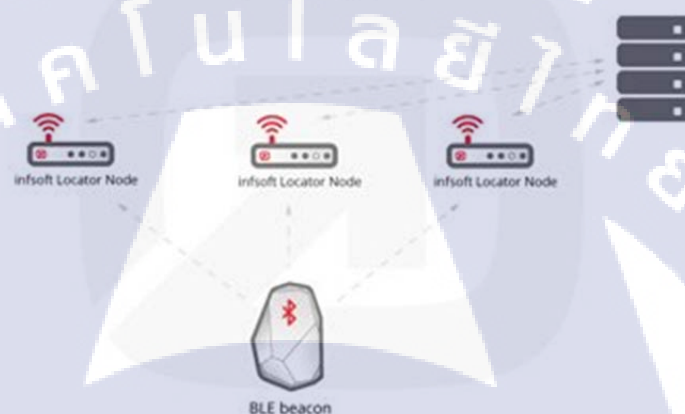


รูปที่ 2.2 Client-Based Indoor Positioning Using BLE [9]

หากข้อมูลตำแหน่งแสดงโดยตรงบนโทรศัพท์มือถือ สมาร์ทโฟนจะรับสัญญาณบลูทูธจากเสาสัญญาณที่ติดตั้งในอาคาร และใช้การวัดความแรงของสัญญาณสำหรับการคำนวณ อุปกรณ์นี้ยังสามารถถ่ายโอนข้อมูลไปยัง LocAware platform® ได้ ซึ่งจะได้รับการประมวลผลอย่างชาญฉลาด ทำให้ความแม่นยำของระบบ Client-Based สูงถึง 1-3 เมตร แต่สามารถใช้งานได้ไกลถึง 30 เมตร

Server-Based

server-based indoor positioning using BLE

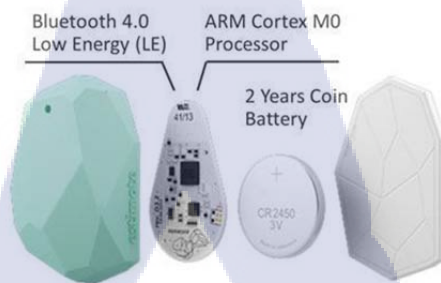


รูปที่ 2.3 Server-Based Indoor Positioning Using BLE [9]

ในกรณีของระบบระบุตำแหน่งตามเซิร์ฟเวอร์ ปีกอนที่ติดตั้งไว้จะส่งสัญญาณ BLE ไปยัง Locator Nodes ที่ติดตั้งไว้ในอาคาร Locator Nodes จะประมวลผลข้อมูลที่ได้รับมาและส่งผ่าน Wi-Fi, Ethernet หรือ UMTS ไปยังแพลตฟอร์ม LocAware® จากนั้นจะมีระบบแสดงแผนที่และจะแสดงตำแหน่ง และสามารถเรียกดูสถิติการเคลื่อนไหวของ Beacons ได้ ความแม่นยำของระบบ Server-Based มีรัศมีน้อยกว่า 8 เมตร แต่สามารถใช้งานได้ไกลที่สุดถึง 75 เมตร

Bluetooth Low Energy Beacons มีให้เลือกจากผู้ขายจำนวนมาก มาในรูปทรงและขนาดต่างๆ สำหรับกรณีการใช้งานที่แตกต่างกัน การใช้มาตรฐานอุตสาหกรรมบลูทูธสมาร์ท ทำให้การแก้ปัญหาในระบบปีกอนสามารถทำได้เหมือนกันทุกผู้ผลิต

สำรวจภายในตัว Beacons [10]



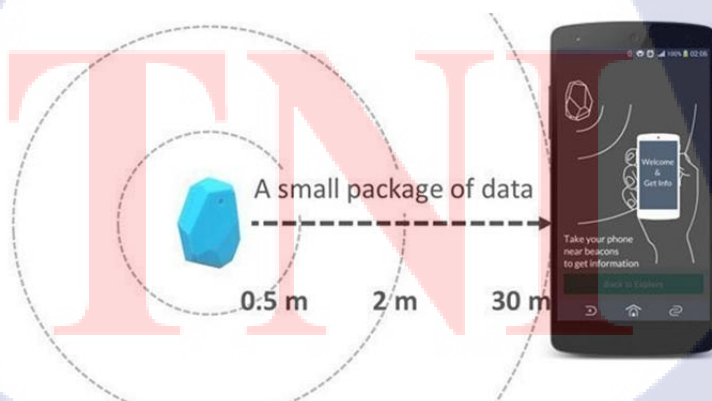
รูปที่ 2.4 ภายใน Beacons [10]

Beacons แม้รูปร่างหน้าตาจะแตกต่างกัน แต่ชิ้นส่วนฮาร์ดแวร์หลักๆ จะคล้ายกัน คือ

1. Bluetooth 4.0 LE : ใช้สื่อสารข้อมูลระหว่างตัว Beacons กับแอปมือถือ
2. ARM Cortex M0 Processor : CPU ที่ใช้ควบคุมการรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์ รวมถึงการปรับแต่งค่าของตัว Beacons เช่น ระยะเวลาในการส่งสัญญาณ (ให้ส่งครั้งละ 1 วินาทีหรือน้อยกว่านั้น) ระยะทางสูงสุดที่ส่งสัญญาณออกไป
3. Coin Battery : ถ่านแบบเม็ดกระดุม ซึ่งทางผู้ผลิตเคลมว่าสามารถใช้งานได้นาน

ถึง 2 ปี

การทำงานของ Beacons



รูปที่ 2.5 การทำงานของ Beacons [10]

การทำงานของ Beacons ไม่ได้ซับซ้อนอะไรมาก หลักๆ ตัว Beacons มีหน้าที่ส่งสัญญาณออกมาอย่างเดียว ส่วนตัวแอปมือถือนั้น เมื่อได้รับสัญญาณจาก Beacons จะนำข้อมูลที่ถูกส่งออกมาประมวลผล เพื่อตีความหาระยะห่างระหว่างมือถือกับตัว Beacons ในระยะ 0-70 เมตร

เพื่อให้ง่ายในการพัฒนาแอป ตัว APIs ของ Estimote สามารถนำระยะห่างที่หน่วยเป็นเมตรนั้นมาแบ่งเป็น 3 ระยะที่เข้าใจง่าย คือ

- ใกล้มาก (Immediate : 0-20 cm)
- ใกล้ (Near : 20 cm - 2 m)
- ไกล (Far : 2-70 m)

ตรงนี้ขึ้นอยู่กับนักพัฒนาจะนำระยะทั้ง 3 ไปกำหนดให้แอปแสดงข้อมูลอะไรแก่ผู้ใช้ เช่น ถ้าผู้ใช้อยู่ไกล ให้แจ้งเตือนว่าคุณเข้ามาในรัศมีแล้วนะ หรือถ้าผู้ใช้อยู่ใกล้ก็ให้แสดงข้อมูลของวัตถุ นั้นๆ เป็นต้น

ชุดข้อมูลที่ถูกส่งออกมาจาก Beacons

ทุกครั้งที่ Beacons ส่งสัญญาณออกมา จะมี Package หรือชุดข้อมูลเล็กๆ ถูกส่งออกมาด้วยเสมอ ข้อมูลเหล่านั้น ได้แก่



รูปที่ 2.6 ชุดข้อมูลที่ส่งออกมาจาก Beacons

- บริษัทใด
- Proximity UUID (string) ข้อมูลชุดตัวอักษรใช้บอกว่า Beacons ตัวนี้ผลิตจากบริษัทใด
 - Major (int) ข้อมูลตัวเลขใช้แทนกลุ่มของ Beacons
 - Minor (int) ข้อมูลตัวเลขใช้ระบุตัว Beacons แต่ละตัว
 - TxPower (int) ข้อมูลตัวเลขค่าความเข้มของสัญญาณที่ Beacons ปลอ่ยออกมาอยู่ในช่วง -30 ถึง 40 เดซิเบล ค่านี้จะถูกนำไปคำนวณด้วยสมการคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้ระยะความใกล้ระหว่างมือถือกับตัว Beacons

ความต่างระหว่าง GPS กับ Beacons

ทั้ง GPS และ Beacons ต่างก็เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการ Detect ตำแหน่งผู้ใช้ ถ้า GPS เป็นเทคโนโลยีระบุตำแหน่ง (Location) Beacons คือ เทคโนโลยีวัดความใกล้ (Proximity) โดย GPS จะบอกว่าคุณอยู่ตำแหน่งใดบนโลก แต่ Beacons จะบอกว่าคุณอยู่ห่างจากอุปกรณ์ใกล้หรือไกล ดังนั้น Beacons จึงถูกนำมาใช้สภาพแวดล้อมแบบ Indoor หรือ Micro-Location Based เนื่องจากภายในอาคาร GPS จะระบุตำแหน่งของผู้ใช้ได้ไม่แม่นยำมากนัก ด้วยความที่ Beacons เป็นเทคโนโลยีวัดความใกล้ ถ้าคุณหลุดออกจากรัศมีที่ Beacons รองรับ สูงสุด คือ 70 เมตร (ในทางทฤษฎี) แอปพลิเคชันก็จะไม่สามารถแสดงข้อมูลบอกอะไรคุณได้เลย

นอกจากนี้ยังมีประเด็นในเรื่องของพลังงาน Beacons จะใช้ Bluetooth 4.0 LE (Low Energy) ในการสื่อสารกับอุปกรณ์พกพา ซึ่ง Bluetooth 4.0 LE นี้นิยมใช้กับอุปกรณ์ IOT เพราะใช้พลังงานน้อย ต่างกับ GPS ที่ใช้พลังงานมากกว่า

ข้อดี

1. สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องใช้อินเทอร์เน็ต
2. สามารถคำนวณหาระยะทางได้
3. สามารถรองรับได้ทุกแพลตฟอร์ม
4. ไม่สามารถขโมยข้อมูลได้
5. สามารถทำงานได้ตลอดเวลา

ข้อจำกัด

1. อาจเกิดความล่าช้าในการแสกนหาสัญญาณ
2. รองรับเฉพาะสัญญาณบลูทูธ 4.0 (Bluetooth Low Energy)
3. อาจมีสัญญาณอื่นๆ มารบกวนได้ง่าย
4. ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์จะรองรับเวอร์ชัน 4.3 ขึ้นไป
5. ระบบปฏิบัติการ IOS จะรองรับ IOS 7.1 ขึ้นไป

ประยุกต์ใช้ได้กับทุกประเภทธุรกิจ

- การป้องกันการโจรกรรม : สามารถติดตั้ง BLE Beacons เข้ากับวัตถุที่มีค่าหรือมีราคาแพง เมื่อ Beacon ออกจากพื้นที่ที่กำหนดไว้ จะมีการส่งสัญญาณเตือนหรือระบบรักษาความปลอดภัยจะได้รับการแจ้งเตือน

- การอพยพ : พนักงานและผู้เยี่ยมชมในอาคารขนาดใหญ่สามารถติดตั้งสัญญาณเตือนในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉินสามารถระบุจำนวนและตำแหน่งของบุคคลที่ยังคงอยู่ในอาคารและอพยพออกไปได้
- การจัดการคลังสินค้า : วัตถุแต่ละชิ้นควรมีสติกเกอร์บีคอนขนาดเล็ก ตำแหน่งและลักษณะของวัตถุ (แผนก, วันที่ซื้อ, มูลค่า ฯลฯ) สามารถแสดงผลได้ในอินเทอร์เน็ตเฟสทางเว็บได้ตลอดเวลา
- ระบบนำทางภายในอาคารที่สนามบิน/สถานีรถไฟ : Beacons สามารถช่วยนำทางให้ผู้โดยสารสายการบินหรือรถไฟได้ โดยการใช้แอปพลิเคชัน สามารถค้นหาประตูและเส้นทางที่ถูกต้องหรือจุดสนใจที่สำคัญ เช่น ATM, ห้องพักผ่อนและเคาน์เตอร์จำหน่ายตั๋ว โดยแอปพลิเคชันนี้สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ Android และ iOS ได้

2.1.4 Data Analysis

Data Analysis หรือ การวิเคราะห์ข้อมูล เป็นทักษะที่จำเป็นและเป็นที่ต้องการมาก ตั้งแต่การเกิดขึ้นของเทคโนโลยีจนถึงปัจจุบันนี้ ส่งผลให้องค์กรต่างๆ ตระหนักถึงข้อมูลจำนวนมากที่เป็นประโยชน์ต่อองค์กร ถ้าหากองค์กรสามารถติดตาม และรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากหลากหลายช่องทาง และนำมาวิเคราะห์ให้เห็นภาพชัดเจน เป็นขั้นเป็นตอนมากยิ่งขึ้น ก็จะทำให้เกิดประโยชน์และทำให้ได้รับผลตอบแทนทางธุรกิจเพิ่มมากขึ้น

RapidMiner Studio [11][12]

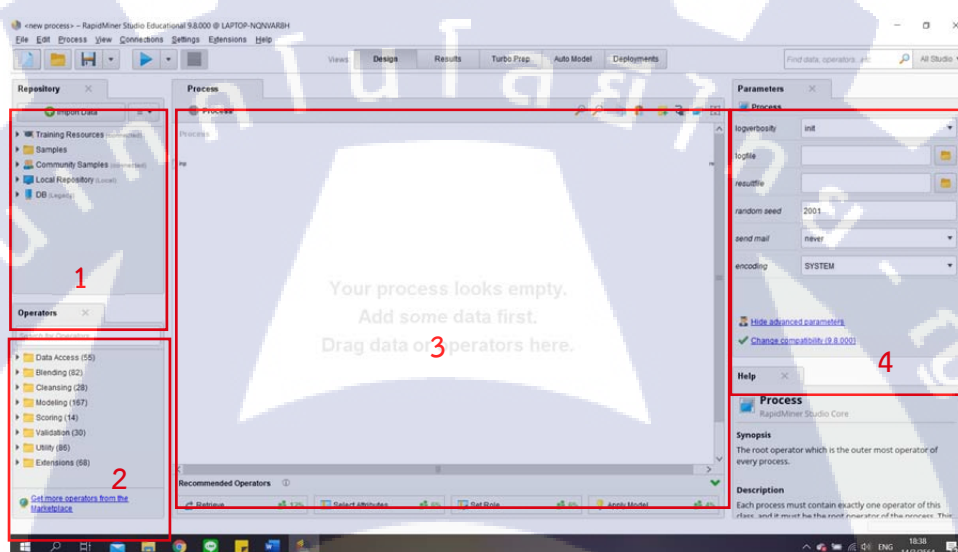
RapidMiner เป็นเครื่องมือหนึ่งสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล ช่วยในการจัดส่งข้อมูล ลดความผิดพลาด สามารถใช้งานได้ง่าย และวิเคราะห์ข้อมูลได้โดยไม่ต้องเขียนโปรแกรม ใช้สำหรับการเตรียมข้อมูล การเรียนรู้เครื่อง การเรียนรู้ลึก การทำเหมืองข้อความ และการวิเคราะห์การทำนาย (Predictive Analysis) การออกแบบวิเคราะห์ข้อมูลจะผ่านทางหน้าจอ GUI ซึ่งสามารถทำการจัดการข้อมูล และสร้างโมเดลแบบต่างๆ ได้

โดย RapidMiner สามารถที่จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลได้หลากหลายมาก อย่างเช่น

- Customer Segmentation เป็นการแบ่งกลุ่มข้อมูลลูกค้าออกเป็นกลุ่มต่างๆ ซึ่งก็จะทำให้บริษัทเข้าใจพฤติกรรมของลูกค้าได้มากขึ้น เช่น ลูกค้ากลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่มาใช้บริการบ่อย ใช้จ่ายเยอะ ก็ถือว่าเป็นกลุ่มลูกค้าชั้นดีของบริษัท
- Demand Forecasting เป็นการคาดการณ์การผลิตสินค้า หรือการเตรียม Stock สินค้าแต่ละประเภท ไว้ครับ ซึ่งส่วนใหญ่ก็เป็นลักษณะของ Time Series ที่ใช้ข้อมูลในอดีตมาคาดการณ์ว่าในอนาคตจะต้องผลิตสินค้าหรือ Stock สินค้าแต่ละประเภทเท่าไร

- Text Mining เป็นการวิเคราะห์ข้อความเพื่อหาทัศนคติ (Sentiment) หรือการแบ่งกลุ่มข้อความออกเป็นประเภท (Category) ต่างๆ ซึ่งตัว RapidMiner เองสามารถทำงานพวกนี้ได้อยู่แล้วกับข้อความภาษาอังกฤษ แต่ถ้าจะใช้กับข้อมูลภาษาไทยก็อาจจะมีขั้นตอนเพิ่มเติมเล็กน้อยเนื่องจากภาษาไทยเรามีความยากในการตัดคำ (Tokenize) จึงต้องใช้โมดูลต่างๆ ของ Python มาช่วย เช่น PyThaiNLP หรือ DeepCut ครับ โดยสามารถเขียน Code ภาษา Python เข้าไปในตัว RapidMiner ได้เลย

ส่วนต่างๆ ของโปรแกรม RapidMiner



รูปที่ 2.7 ส่วนต่างๆ ของโปรแกรม RapidMiner

1. Repository เปรียบเสมือนกับ Folder ในคอมพิวเตอร์ เป็นพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูล Process และผลลัพธ์
2. Operators เป็นองค์ประกอบสำคัญ โดยเป็นการทำงานต่อจาก Input ที่ได้รับ โดย Operators มีมากกว่าหลายร้อยแบบ ตั้งแต่การทำความสะอาดข้อมูล (Cleansing) การทำโมเดล (Modeling) รวมไปถึงการ Blend ข้อมูลเข้าด้วยกัน
3. Process หรือว่า Flow หรือ Pipeline ก็ได้ ซึ่งเป็น Workflow ที่เชื่อมต่อกับ Operators ต่างๆ ครบ และสามารถที่จะนำไปใช้วิเคราะห์ข้อมูลได้
4. Parameters เปรียบเสมือนการตั้งค่าการทำงานของแต่ละ Operators ซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดค่าของแต่ละ Operators ได้

ข้อดีของการใช้งาน RapidMiner

- มีขั้นตอนพร้อมสำหรับการทำ Data Mining (ชุดข้อมูล)
- สามารถทำ Machine Learning
- การโหลด และแปลงข้อมูล (ETL)
- การประมวลผลล่วงหน้า
- การวาดภาพจากข้อมูล
- การวิเคราะห์เชิงพยากรณ์
- การสร้างแบบจำลองทางสถิติ
- การประเมินผลและปรับใช้ต่างๆ

2.2 การทบทวนวรรณกรรม

ผู้วิจัยได้ทำการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยการหาข้อมูลจากฐานข้อมูลมาตรฐานต่างๆ เช่น จากเว็บไซต์ www.sciencedirect.com และทำการหาบทความต่างๆ ที่เพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับหัวข้องานวิจัย ซึ่งได้พบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สรุปได้ตามตารางที่ 2.3 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลำดับ	ผู้แต่ง	ปีที่พิมพ์	หัวข้องานวิจัย
1	V. Mathias et al. [13]	2012	The use of Bluetooth for Analysing Spatiotemporal Dynamics of Human Movement at Mass Event : A Case Study of the Ghent Festivities
2	K. Tabata et al. [14]	2016	The Design of Worker's Behavior Analysis Method in Workplace Using Indoor Positioning Technology
3	K. Nobuo et al. [15]	2016	Wi-Fi Human Behavior Analysis and BLE Tag Localization: A Case Study at an Underground Shopping Mall

V. Mathias et al. [13] ได้ทำการติดตามผู้เข้าชมของเทศกาลดนตรี Ghent Festivities โดยใช้ Bluetooth ซึ่งทำให้เห็นว่าเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสำหรับการวิเคราะห์ในพื้นที่ที่ซับซ้อนของการเคลื่อนไหวของผู้เข้าชมในงานที่มีจำนวนมาก ซึ่งได้ทำการติดตั้งเครื่องสแกนครอบคลุมพื้นที่ทั้ง 22 แห่งในพื้นที่งาน และตรวจพบผู้เข้าชมจำนวน 80,828 คน นอกจากนี้จากข้อมูลยังทำให้ทราบถึงจำนวนผู้เข้าชม ผู้เข้าชมที่กลับมาชมซ้ำ แผนที่การเคลื่อนไหวของผู้คน และได้มีการสรุปถึงข้อได้เปรียบในการใช้บลูทูธติดตาม คือ สามารถใช้งานได้ทั้งในร่ม และกลางแจ้ง รวมถึงระบุข้อบกพร่องอีกด้วย

K. Tabata et al. [14] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์พฤติกรรมของพนักงานโดยใช้เทคโนโลยีระบุตำแหน่งภายในอาคาร และมีการทดสอบในที่ทำงาน ซึ่งทางผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและพัฒนาระบบกำหนดตำแหน่งในร่มโดยใช้ BLE และใช้สมาร์ทโฟนเป็นอุปกรณ์ตรวจจับ ซึ่งมีพนักงานกว่า 40 คน เข้าร่วมการทดสอบ ทำการบันทึกการติดตามเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ซึ่งทำให้สามารถสร้างภาพเส้นทางการเคลื่อนที่ของพนักงานออกมาเพื่อวิเคราะห์ได้

K. Nobuo et al. [15] ได้ทำการทดลองสาธิตภายในห้างสรรพสินค้าใต้ดินขนาดใหญ่ ซึ่งได้ทำการติดตั้ง BLE 250 แท็ก พร้อมกับเครื่องสแกน Wi-Fi 12 เครื่องเพื่อทำการรวบรวมข้อมูลตำแหน่งของผู้ใช้ และมีการดึงดูดลูกค้าโดยใช้แคมเปญป้องกันแอปพลิเคชันสมาร์ทโฟน โดยภายในแอปจะมีแบบสอบถาม พร้อมกับข้อมูลตำแหน่ง เพื่อนำมาวิเคราะห์เพิ่มเติม และยังได้นำเสนอเครื่องมือสร้างภาพข้อมูลเคลื่อนไหวแบบไดนามิกในงานวิจัยนี้อีกด้วย

M. Lipi et al. [16] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์ติดตามคนงานในพื้นที่ก่อสร้าง เพื่อที่จะติดตามการทำงานในพื้นที่ของคนงาน ว่าได้มีการไปในพื้นที่ที่ไม่ควรไปหรือไม่ มีการวิเคราะห์ผลออกมาเป็นกราฟว่าเปอร์เซ็นต์ที่คนงานอยู่ในพื้นที่การทำงานต่างๆ เป็นเท่าไร จากนั้นได้มีการนำผลการติดตามไปทำงานวิเคราะห์ด้วย Matlab เพื่อหาประสิทธิภาพในการทำงานของคนงาน

โดยงานวิจัยเล่มนี้ได้นำเสนอการใช้เทคโนโลยีบลูทูธพลังงานร่วมกับ IoT ซึ่งจะช่วยให้สามารถตรวจจับการใช้งานพื้นที่ได้ โดยจะทำให้สามารถติดตามการเข้า-ออกในแต่ละพื้นที่ และทำการศึกษาพฤติกรรมของนักศึกษาได้อย่างสะดวก และง่ายยิ่งขึ้น ซึ่งจากข้อมูลการติดตามพฤติกรรมของนักศึกษาสามารถที่จะนำข้อมูลมาวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พื้นที่ และการเคลื่อนไหวไปในจุดต่างๆ ของนักศึกษา เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการวางแผนการใช้งานพื้นที่แต่ละบริเวณได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในปรับปรุงสถานที่ให้ดียิ่งขึ้นได้อีกด้วย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในการศึกษาวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาเกี่ยวกับระบบติดตามภายในอาคาร โดยใช้บลูทูธพลังงานต่ำ และเพื่อเก็บข้อมูลพฤติกรรมของนักศึกษาภายในสถาบัน และนำมาวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้งานพื้นที่ของนักศึกษา

ในงานวิจัยนี้ได้นำเทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำ (Bluetooth Low Energy : BLE) ร่วมกับอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (Internet of Things : IoT) เข้ามาช่วยประยุกต์ใช้ในการติดตามเพื่อศึกษาพฤติกรรมของนักศึกษาที่อยู่ภายในอาคาร ซึ่งจะใช้ Ruuvi Tag สำหรับการส่งสัญญาณตำแหน่งว่านักศึกษาอยู่ที่บริเวณใดบ้าง ในช่วงเวลาใดบ้าง และ Raspberry Pi W Zero ในการตรวจสอบอุปกรณ์ Ruuvi Tag ของนักศึกษาที่อยู่ใกล้ แล้วเก็บบันทึกข้อมูลไว้ใน SD Card จากนั้นนำข้อมูลการติดตามนั้น มาทำการวิเคราะห์เพื่อดูว่านักศึกษามีพฤติกรรมภายในสถาบันอย่างไรบ้าง โดยเนื้อหาบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังต่อไปนี้

- 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย
- 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน
- 3.3 การออกแบบระบบ
- 3.4 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย
- 3.5 สถานที่ติดตั้งอุปกรณ์

TNI

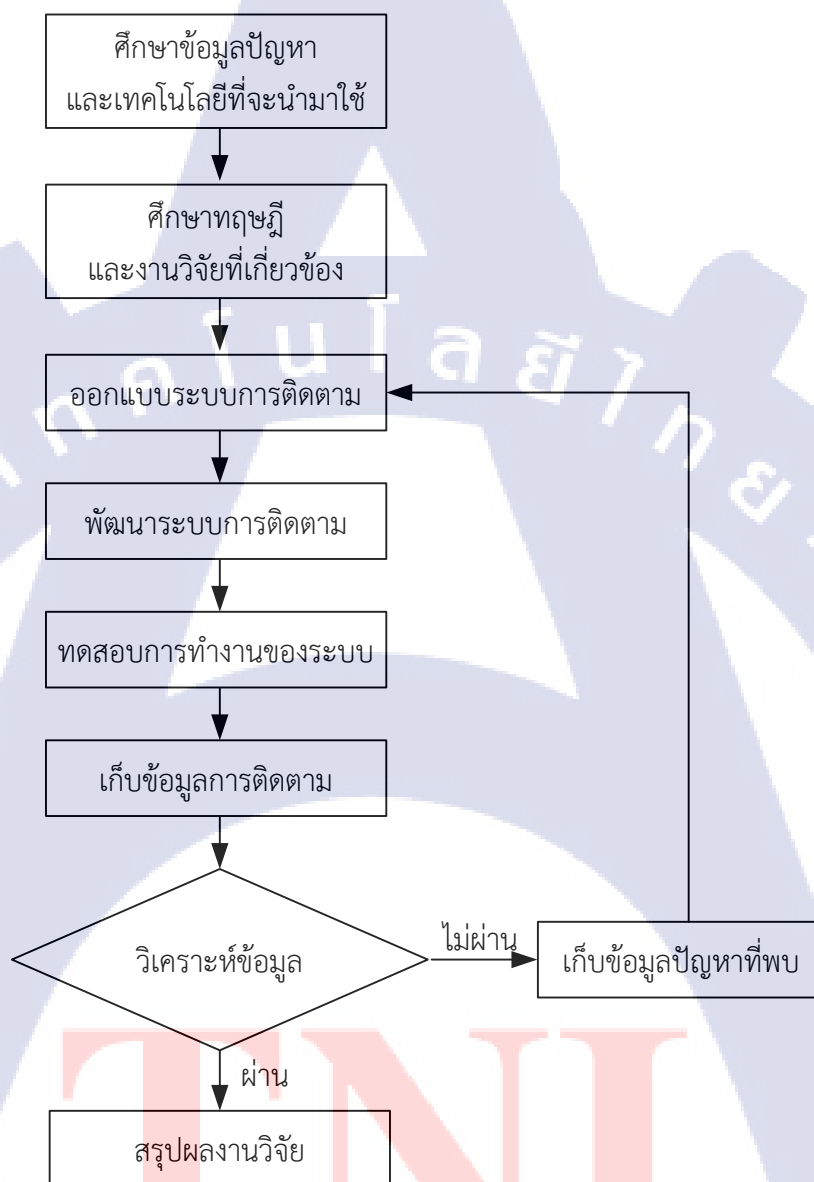
3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 3.1 แผนงานและระยะเวลาในการดำเนินงาน

[illegible]

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

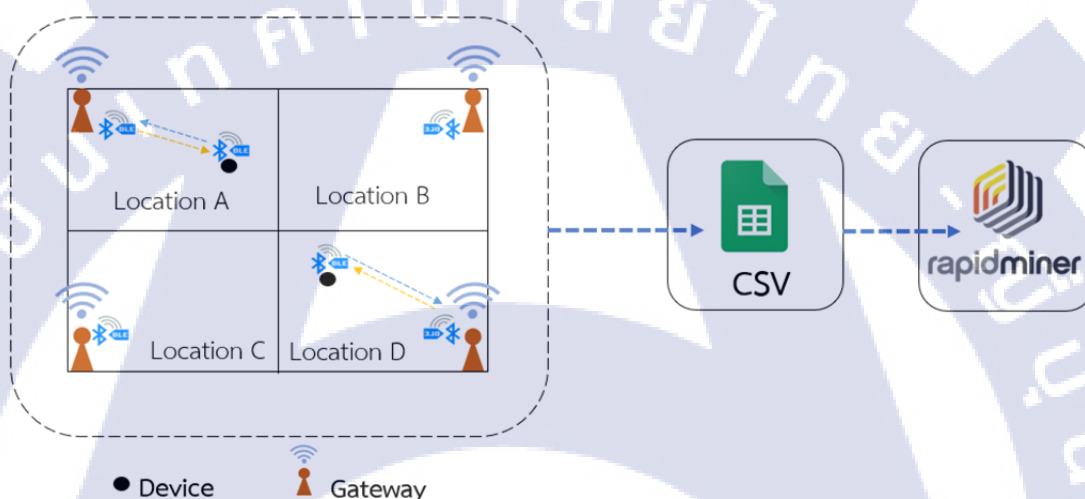
ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา และหาข้อมูลของงานวิจัย โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน

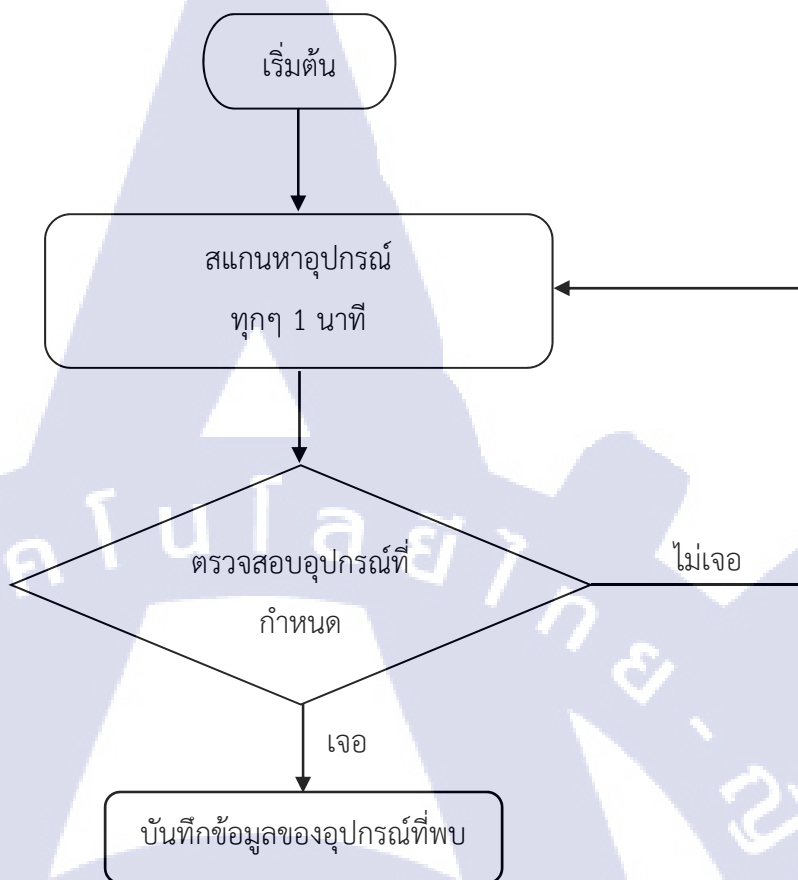
3.3 การออกแบบระบบ

ระบบติดตามโดยการใช้อุปกรณ์บลูทูธพลังงานต่ำ เป็นการติดตามภายในอาคารตามขอบเขตที่กำหนด ผู้วิจัยจะทำการติดตั้งตัวอุปกรณ์รับสัญญาณไว้ในบริเวณสถาบันไทย-ญี่ปุ่น ทั้งหมด 8 บริเวณ คือ โรงอาหารอาคาร B, C, D และ E บริเวณทางเข้าอาคาร A, จุดสูบบุหรี่ และสนามバス โดยให้นักศึกษา กลุ่มตัวอย่างพกอุปกรณ์กระจายสัญญาณ BLE ติดตัว คนละ 1 ตัว เป็นจำนวน 15 คน เพื่อทำการเก็บผลพฤติกรรมกรรมการไปสถานที่ต่างๆ ภายในสถาบันไทย-ญี่ปุ่น โดยที่ระบบจะรับข้อมูลจากตัว Ruuvi Tag ที่ให้นักศึกษาพกไว้ ซึ่งการติดตามนี้จะแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ ส่วนของการรับ-ส่งสัญญาณ ส่วนการเก็บบันทึกข้อมูล และส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจะมีการทำงานดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ภาพรวมการทำงานของระบบ

จากรูปที่ 3.2 แสดงให้เห็นตัวอย่างสถานที่ A B C และ D แทนขอบเขตสถานที่จริงที่นำอุปกรณ์เกตเวย์ไปติดตั้งไว้ เพื่อสำหรับการสแกนหาสัญญาณของอุปกรณ์ โดยที่ส่วนของการรับ-ส่งสัญญาณจะเป็นส่วนของเกตเวย์ที่จะทำการสแกนหาสัญญาณของตัวอุปกรณ์ในแต่ละสถานที่ เมื่อเจออุปกรณ์ก็จะส่งสัญญาณกลับไปเกตเวย์ จากนั้นจะเป็นส่วนของการเก็บบันทึกข้อมูล ซึ่งจะทำการเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ที่ตรวจหาได้เป็นไฟล์ CSV เพื่อให้นำข้อมูลออกมาใช้ในการวิเคราะห์ผล และในส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูล จะทำการนำข้อมูลการติดตามที่เก็บไว้เข้าไปวิเคราะห์ในโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล โดยโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ RapidMiner เพื่อวิเคราะห์ว่านักศึกษามีพฤติกรรมเป็นอย่างไรบ้าง ซึ่งจะทำการเก็บข้อมูลภายในสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น



รูปที่ 3.3 แผนผังการทำงานของอุปกรณ์

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ภายในระบบการติดตามนี้ จะแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนการรับ-ส่งสัญญาณ ส่วนการเก็บข้อมูล และส่วนของการวิเคราะห์ผลของข้อมูลการติดตาม ซึ่งจะมีเครื่องมือที่ใช้ในการทำงานจะมีดังนี้ อุปกรณ์ติดตามทรัพย์สิน เกตเวย์ (Gateway) โดยในการเขียนคำสั่งด้วยโปรแกรม Visual Studio Code ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดดังนี้

3.4.1 ส่วนการรับ - ส่งสัญญาณ

1. อุปกรณ์ติดตาม อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตามของงานวิจัยนี้จะเป็น Ruuvi Tag โดยมี BLE ในการส่งสัญญาณ ซึ่งจะใช้สำหรับให้นักศึกษากลุ่มตัวอย่างพกติดตัวไว้ และทำให้ทราบตำแหน่งว่านักศึกษาแต่ละคนไปบริเวณใดบ้าง ที่มีการติดอุปกรณ์รับสัญญาณเอาไว้ โดย Ruuvi Tag จะมีหน้าที่เป็นตัวส่งสัญญาณออกไปหาเกตเวย์ เพื่อให้เกตเวย์สามารถเก็บข้อมูลของตำแหน่งนักศึกษาได้



รูปที่ 3.4 Ruuvi Tag

2. เกตเวย์ (Gateway) จะถูกติดตั้งอยู่ภายในแต่บริเวณที่กำหนดไว้ ทำหน้าที่สแกนหาสัญญาณของอุปกรณ์ และรับข้อมูลสัญญาณจากอุปกรณ์ที่ได้ทำการส่งสัญญาณมา โดยจะทำการสแกนหาสัญญาณจาก Ruuvi Tag ทุกๆ 1 นาที จากนั้นจะเก็บข้อมูลลงใน Micro SD Card โดยตัวเกตเวย์ที่ใช้นี้ จะเป็น Raspberry Pi W Zero ซึ่งสามารถใช้งานบลูทูธพลังงานต่ำ (BLE) ได้



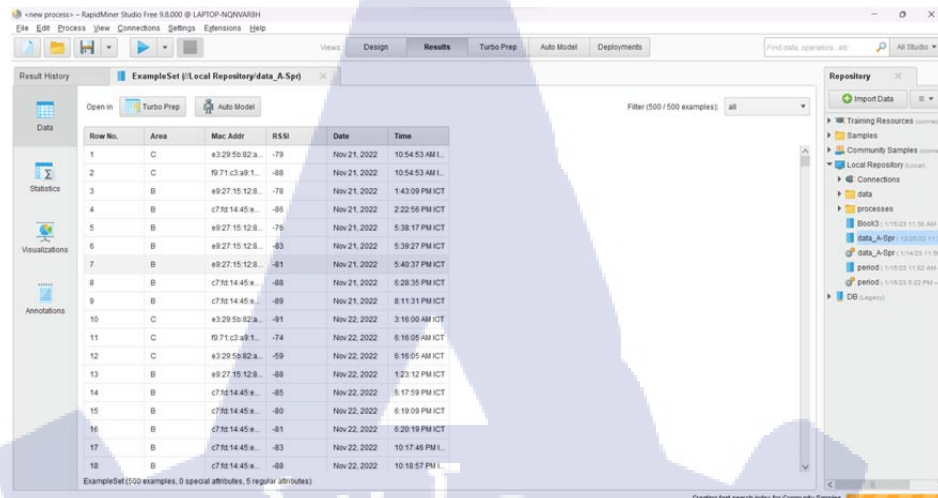
รูปที่ 3.5 Raspberry Pi W Zero สำหรับเป็นเกตเวย์

3.4.2 ส่วนเก็บข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูล จะเก็บลงใน Micro SD Card เป็นไฟล์ CSV เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

3.4.2 ส่วนการวิเคราะห์ผล

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะใช้โปรแกรม RapidMiner ซึ่งใช้สำหรับการเตรียมข้อมูลที่ได้ทำการเก็บมาจากการติดตามนักศึกษาภายในสถาบันฯ และนำมาทำการวิเคราะห์ เพื่อดูพฤติกรรมของนักศึกษาที่ได้ทำการติดตามมานั้นว่าเป็นอย่างไร

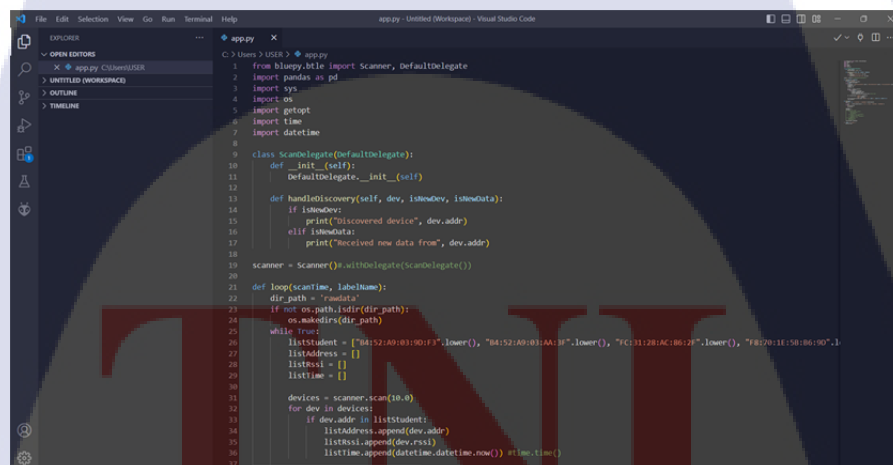


Row No.	Area	Mac Addr	RSSI	Date	Time
1	C	e3295b92a...	-79	Nov 21, 2022	10:54:53 AM I...
2	C	f971c3a91...	-88	Nov 21, 2022	10:54:53 AM I...
3	B	e92715128...	-78	Nov 21, 2022	1:43:09 PM ICT
4	B	c781445e...	-86	Nov 21, 2022	2:22:56 PM ICT
5	B	e92715128...	-76	Nov 21, 2022	5:38:17 PM ICT
6	B	e92715128...	-83	Nov 21, 2022	5:39:27 PM ICT
7	B	e92715128...	-81	Nov 21, 2022	5:40:37 PM ICT
8	B	c781445e...	-88	Nov 21, 2022	6:28:36 PM ICT
9	B	c781445e...	-89	Nov 21, 2022	8:11:31 PM ICT
10	C	e3295b92a...	-91	Nov 22, 2022	3:16:00 AM ICT
11	C	f971c3a91...	-74	Nov 22, 2022	6:16:05 AM ICT
12	C	e3295b92a...	-59	Nov 22, 2022	6:16:05 AM ICT
13	B	e92715128...	-88	Nov 22, 2022	1:23:12 PM ICT
14	B	c781445e...	-85	Nov 22, 2022	6:17:59 PM ICT
15	B	c781445e...	-80	Nov 22, 2022	6:19:09 PM ICT
16	B	c781445e...	-81	Nov 22, 2022	6:20:19 PM ICT
17	B	c781445e...	-83	Nov 22, 2022	10:17:48 PM I...
18	B	c781445e...	-88	Nov 22, 2022	10:18:57 PM I...

รูปที่ 3.6 หน้าต่างโปรแกรม RapidMiner

โปรแกรมที่ใช้สำหรับเขียนคำสั่ง

- Visual Studio Code ซึ่งเป็นโปรแกรม Code Editor ที่ใช้ในการแก้ไข และปรับแต่งโค้ดในภาษาต่างๆ



```

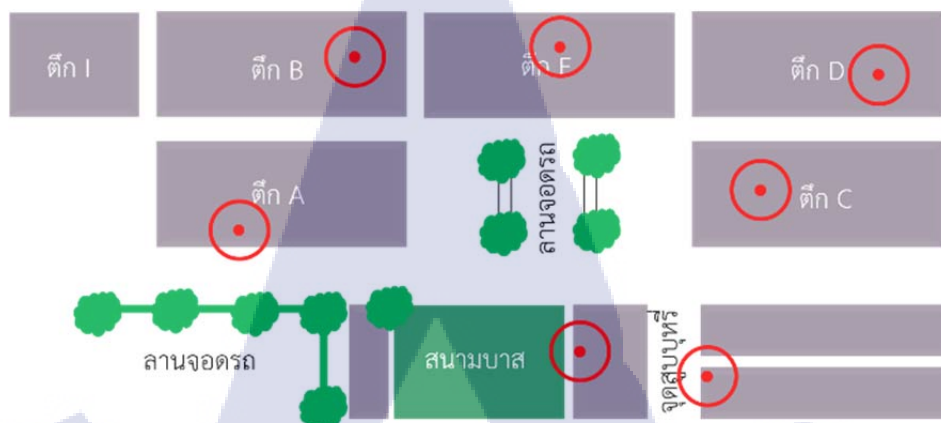
1 from blumpy import Scanner, DefaultDelegate
2 import pandas as pd
3 import sys
4 import os
5 import getpass
6 import time
7 import datetime
8
9 class Scanner(DefaultDelegate):
10     def __init__(self):
11         DefaultDelegate.__init__(self)
12
13     def handleDiscovery(self, dev, ismdev, ismdata):
14         if ismdev:
15             print("Discovered device", dev.addr)
16         elif ismdata:
17             print("Received new data from", dev.addr)
18
19 scanner = Scanner().withDelegate(DefaultDelegate())
20
21 def loop(scanner, labelName):
22     dir_path = "routdata"
23     if not os.path.isdir(dir_path):
24         os.makedirs(dir_path)
25     while True:
26         listStudent = ["8d52a90390f3".lower(), "8d52a90390f3".lower(), "f971c3a910f3".lower(), "f971c3a910f3".lower()]
27         listAddress = []
28         listRSSI = []
29         listTime = []
30
31         devices = scanner.scan(10.0)
32         for dev in devices:
33             if dev.addr in listStudent:
34                 listAddress.append(dev.addr)
35                 listRSSI.append(dev.rssi)
36                 listTime.append(datetime.datetime.now().strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S"))
37

```

รูปที่ 3.7 โปรแกรม Visual Studio Code

3.5 สถานที่ติดตั้งอุปกรณ์

ได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณ ซึ่งเป็น Raspberry Pi W Zero ตามบริเวณจุดต่างๆ ภายในสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น โดยได้ติดตั้งตามจุดดังรูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 จุดการติดตั้ง Raspberry Pi W Zero



สนามบาส



อาคาร A



อาคาร E



อาคาร B



อาคาร C



อาคาร D

รูปที่ 3.9 บริเวณติดตั้งอุปกรณ์ภายในอาคารต่างๆ

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 ข้อมูลการติดตามที่ได้รับจากอุปกรณ์

ข้อมูลที่ได้รับจากการติดตาม จะมีข้อมูลหมายเลขอุปกรณ์ (Mac Address) ของ Ruuvi Tag ที่ได้ทำการแจกนักศึกษาให้พกติดตัวขณะอยู่ภายในสถาบัน, ค่าความเข้มข้นของสัญญาณ (Received Signal Strength Indicator : RSSI), วันที่ และเวลา ดังรูปต่อไปนี้

c7:fd:14:45:e5:c2	-70	28/11/2022 9:23:09
e9:27:15:12:89:66	-94	28/11/2022 9:23:09
e8:22:25:c5:22:50	-69	28/11/2022 12:57:05
e9:27:15:12:89:66	-83	28/11/2022 14:46:58
e9:27:15:12:89:66	-88	28/11/2022 14:51:39
e9:27:15:12:89:66	-78	28/11/2022 15:23:12
e9:27:15:12:89:66	-98	28/11/2022 15:25:33
e9:27:15:12:89:66	-87	28/11/2022 15:40:45
f9:71:c3:a9:15:c0	-84	29/11/2022 8:43:40
e3:29:5b:82:ac:09	-88	29/11/2022 8:43:40
e8:22:25:c5:22:50	-76	30/11/2022 9:01:35
c7:fd:14:45:e5:c2	-83	30/11/2022 9:09:46
e9:27:15:12:89:66	-66	30/11/2022 12:37:54
c7:fd:14:45:e5:c2	-88	30/11/2022 18:11:09
e8:22:25:c5:22:50	-70	30/11/2022 18:11:09
c7:fd:14:45:e5:c2	-73	1/12/2022 16:35:53
e3:29:5b:82:ac:09	-86	2/12/2022 9:53:12
e8:22:25:c5:22:50	-80	2/12/2022 15:27:40
e9:27:15:12:89:66	-76	8/12/2022 2:20:12
e9:27:15:12:89:66	-67	8/12/2022 11:50:40
ef:46:fd:e8:e5:e5	-88	8/12/2022 11:53:00
e9:27:15:12:89:66	-72	9/12/2022 2:21:36
e8:22:25:c5:22:50	-82	9/12/2022 4:02:09
e9:27:15:12:89:66	-70	9/12/2022 12:22:30
e9:27:15:12:89:66	-90	9/12/2022 12:23:40
e8:22:25:c5:22:50	-88	9/12/2022 13:20:57
e9:27:15:12:89:66	-89	14/12/2022 3:34:49
e8:22:25:c5:22:50	-72	14/12/2022 4:02:53

รูปที่ 4.1 ข้อมูลจากการติดตามนักศึกษابริเวณ อาคาร A

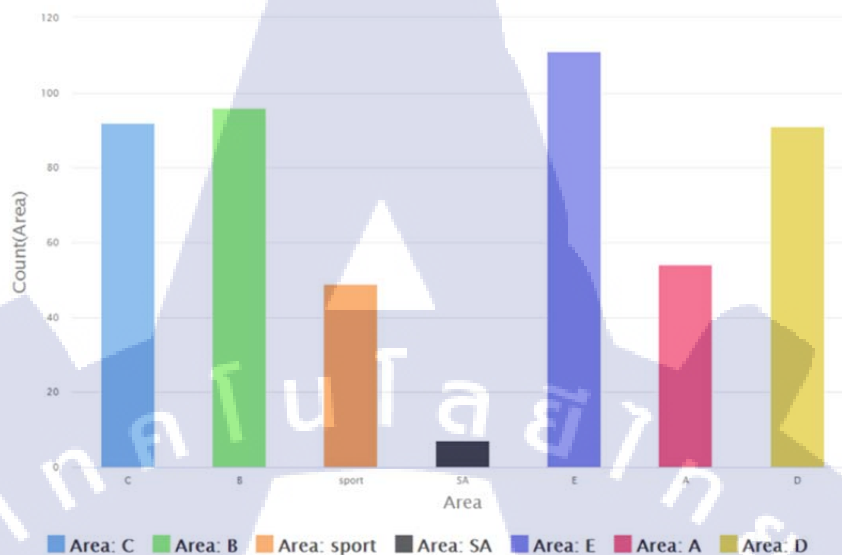
จากการเก็บข้อมูลที่ได้จากนักศึกษาในแต่ละบริเวณ ตั้งแต่อาคาร A, B, C, D, E พื้นที่สุมบุหรื และสนามบาส นำไฟล์จากทั้ง 7 บริเวณที่ได้มารวมเข้าด้วยกัน เพื่อดูภาพรวมการเคลื่อนไหวของนักศึกษา และดูข้อมูลการใช้งานพื้นที่ในแต่ละบริเวณ โดยไม่ได้มีการกำหนดค่า RSSI เมื่อตรวจจับสัญญาณจับสัญญาณจาก Ruuvi Tag ได้ ก็จะทำให้การนับการติดตามพื้นที่ ซึ่งจะได้ข้อมูลออกมาดังรูปที่ 4.2

Area	Mac Addr	RSSI	Date	Time
C	e3:29:5b:82:ac:09	-79	21/11/2022	10:54:53
C	f9:71:c3:a9:15:c0	-88	21/11/2022	10:54:53
B	e9:27:15:12:89:66	-78	21/11/2022	13:43:09
B	c7:fd:14:45:e5:c2	-86	21/11/2022	14:22:56
B	e9:27:15:12:89:66	-76	21/11/2022	17:38:17
B	e9:27:15:12:89:66	-83	21/11/2022	17:39:27
B	e9:27:15:12:89:66	-81	21/11/2022	17:40:37
B	c7:fd:14:45:e5:c2	-88	21/11/2022	18:28:35
B	c7:fd:14:45:e5:c2	-89	21/11/2022	20:11:31
C	e3:29:5b:82:ac:09	-91	22/11/2022	3:16:00
C	f9:71:c3:a9:15:c0	-74	22/11/2022	6:16:05
C	e3:29:5b:82:ac:09	-59	22/11/2022	6:16:05
B	e9:27:15:12:89:66	-88	22/11/2022	13:23:12
B	c7:fd:14:45:e5:c2	-85	22/11/2022	18:17:59
B	c7:fd:14:45:e5:c2	-80	22/11/2022	18:19:09
B	c7:fd:14:45:e5:c2	-81	22/11/2022	18:20:19
B	c7:fd:14:45:e5:c2	-83	22/11/2022	22:17:46
B	c7:fd:14:45:e5:c2	-88	22/11/2022	22:18:57
B	e9:27:15:12:89:66	-84	22/11/2022	22:22:27
B	e9:27:15:12:89:66	-87	22/11/2022	22:23:37
C	e3:29:5b:82:ac:09	-76	23/11/2022	3:17:50
C	f9:71:c3:a9:15:c0	-71	23/11/2022	3:17:50
C	c7:fd:14:45:e5:c2	-87	23/11/2022	6:23:45
C	c7:fd:14:45:e5:c2	-87	23/11/2022	6:26:05
C	c7:fd:14:45:e5:c2	-83	23/11/2022	6:27:16

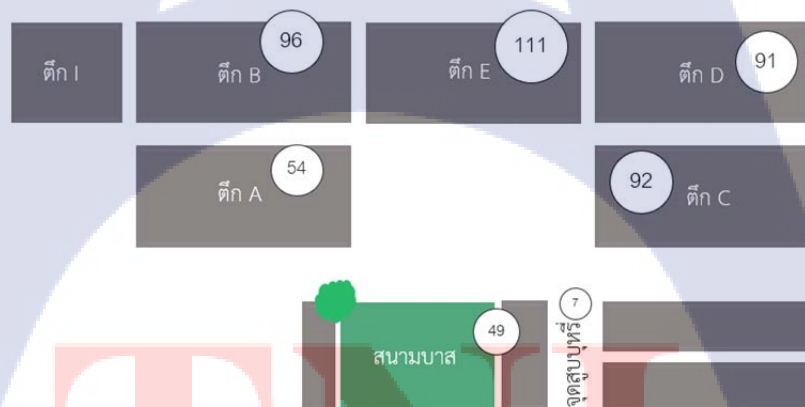
รูปที่ 4.2 ข้อมูลการติดตามนักศึกษาจากบริเวณต่างๆ

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นข้อมูลว่าแต่ละอุปกรณ์อยู่ที่บริเวณอาคารไหน วันไหน และเวลาเท่าไร ในกรณีที่สมมติพบอุปกรณ์ในเวลากลางวันเป็นผลมาจากช่วงเก็บข้อมูลการติดตามในงานวิจัยนี้ เป็นช่วงของก่อนการสอบกลางภาคของนักศึกษา จึงทำให้มีการสแกนพบอุปกรณ์ในช่วงเวลานี้

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล



รูปที่ 4.3 ภาพรวมการใช้งานแต่ละพื้นที่

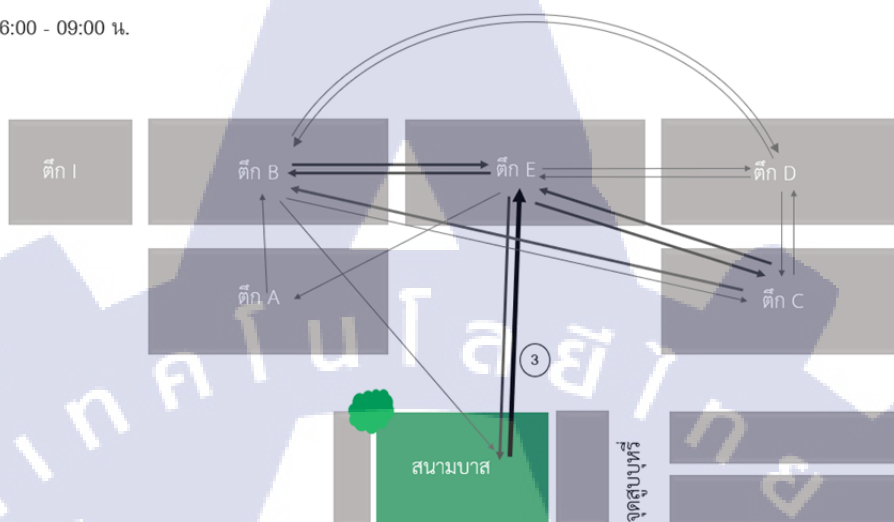


รูปที่ 4.4 จำนวนอุปกรณ์ที่จับได้ทั้งหมดตลอดระยะเวลาการเก็บข้อมูล

จากรูปที่ 4.3 แสดงภาพรวมของการใช้งานในบริเวณพื้นที่ต่างๆ ระหว่างวันที่ 21/11/2565 ถึง 23/12/2565 ตลอดระยะเวลาที่ได้ทำการเก็บข้อมูล โดยที่แกน X จะแสดงพื้นที่แต่ละบริเวณ และ แกน Y จะเป็นการนับจำนวนที่สามารถตรวจจับสัญญาณอุปกรณ์ได้ในแต่ละพื้นที่ และจากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่านักศึกษาส่วนมากจะอยู่บริเวณอาคาร E มากที่สุด คิดเป็น 111 ครั้ง ที่อุปกรณ์ทำการจับสัญญาณ

ได้ รองลงมาจะเป็นบริเวณอาคาร B 96 ครั้ง และบริเวณที่จับสัญญาณได้น้อยที่สุดจะเป็นบริเวณจุดสูบบุหรี่ (Smoke Area) ซึ่งจับสัญญาณได้เพียงแค่ 7 ครั้ง

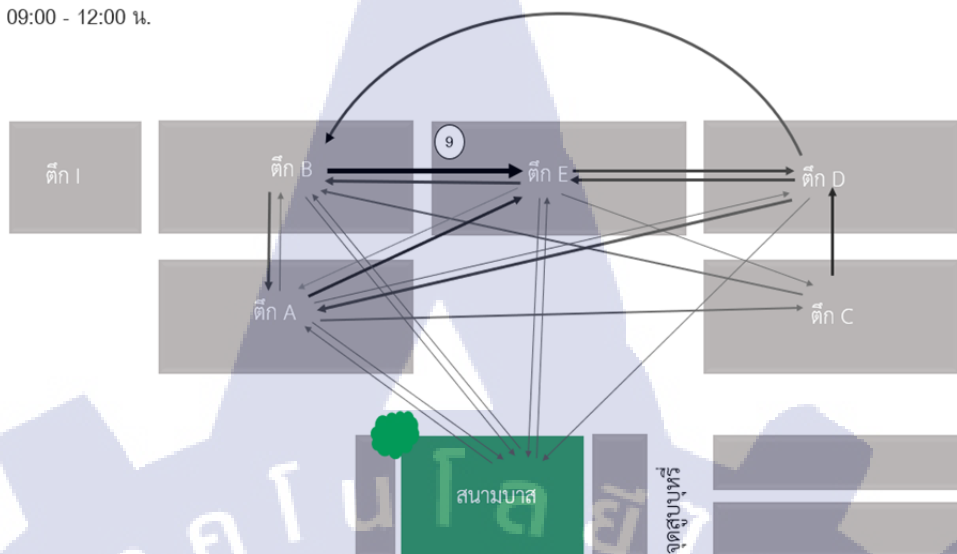
06:00 - 09:00 น.



รูปที่ 4.5 เส้นทางเคลื่อนที่ในช่วงเวลา 06:00-09:00 น.

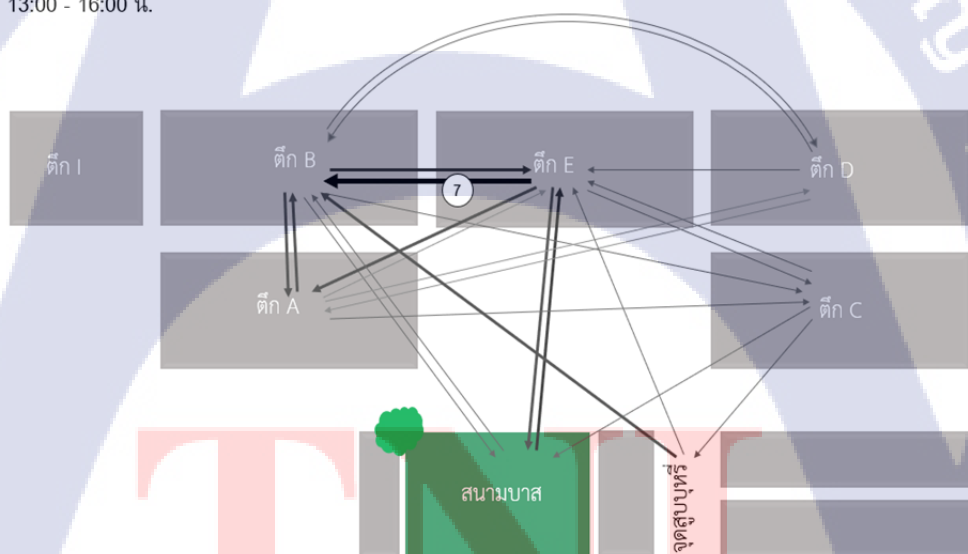
เมื่อทำการเทียบแต่ละช่วงเวลาที่นักศึกษาใช้งานพื้นที่ต่างๆ โดยจะแบ่งออกเป็น 4 ช่วงเวลา คือ 06:00-09:00 น. 09:00-12:00 น. 13:00-16:00 น. และ 16:00-19:00 น. โดยได้ทำการกรองข้อมูล แบ่งออกเป็น 4 ช่วงเวลาตามที่กล่าวไปข้างต้น แต่ละช่วงเวลาจะเรียงตามลำดับวันที่เก็บข้อมูล จากนั้นดู ข้อมูลของการเคลื่อนไหวการไปแต่ละสถานที่ของนักศึกษา และทำการนับความถี่ของการเคลื่อนไหวไปยังสถานที่ต่างๆ ซึ่งทางผู้วิจัยทำการวิเคราะห์โดยดูเป็นภาพรวมของข้อมูลที่ได้ทำการเก็บมา จะได้ข้อมูลที่แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของนักศึกษาในการใช้งานพื้นที่ตามบริเวณต่างๆ ในแต่ละช่วงเวลา การเคลื่อนไหวเหล่านี้สามารถทำให้ตรวจสอบผู้ใช้งานพื้นที่ในช่วงเวลาต่างๆ ได้ และอาจจะช่วยในการตัดสินใจในการ จะใช้งานพื้นที่บริเวณเหล่านี้ได้ อย่างเช่น ต้องการหลีกเลี่ยงบริเวณที่มีนักศึกษาจำนวนมาก หรือต้องการ จัดงานประชาสัมพันธ์ต่างๆ ก็ทำให้สามารถที่จะเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมได้ ซึ่งจากภาพจะเห็นว่าในแต่ละภาพแสดงการเคลื่อนไหวโดยที่การเคลื่อนไหวที่มีความถี่มาก จะมีเส้นสีเข้ม และความถี่น้อยจะมีเส้น สีอ่อน

09:00 - 12:00 น.



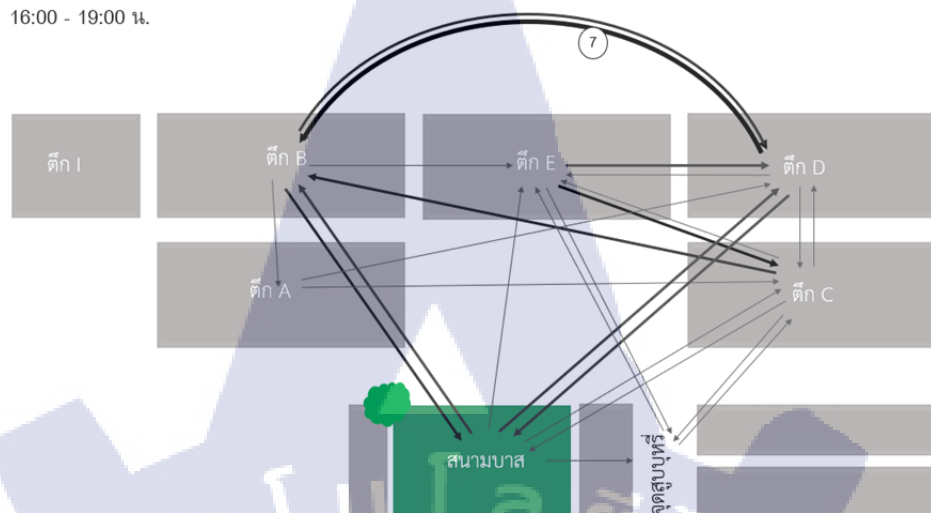
รูปที่ 4.6 เส้นทางเคลื่อนที่ในช่วงเวลา 09:00-12:00 น.

13:00 - 16:00 น.

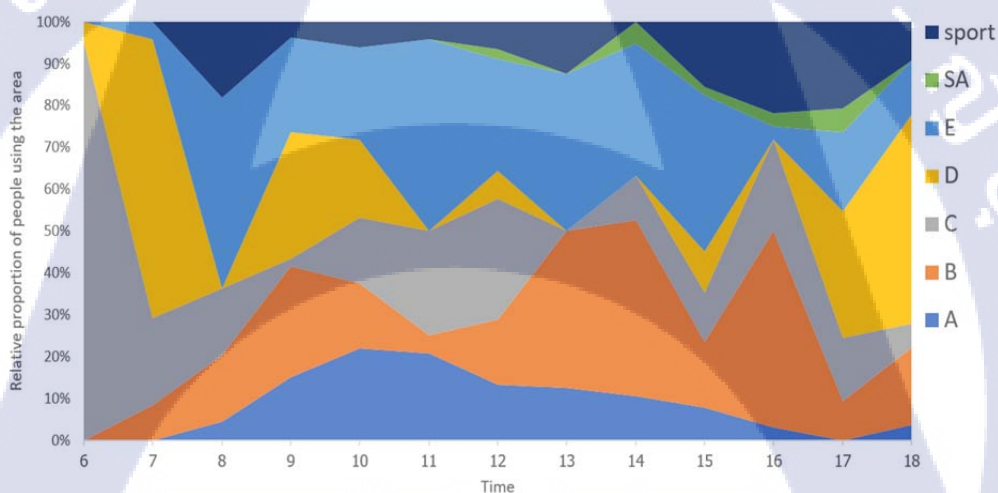


รูปที่ 4.7 เส้นทางเคลื่อนที่ในช่วงเวลา 13:00-16:00 น.

16:00 - 19:00 น.



รูปที่ 4.8 เส้นทางเคลื่อนที่ในช่วงเวลา 16:00-19:00 น.



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่และผู้ใช้งาน

จากรูปที่ 4.5 เส้นทางเคลื่อนที่ของนักศึกษาส่วนมากจะมีเส้นทางไปที่อาคาร E, B และ C ต่อมาในช่วงเวลา 09:00-12:00 น. ซึ่งแสดงการเคลื่อนที่ดังรูปที่ 4.6 ก็จะมีการเคลื่อนที่ไปในบริเวณอาคาร A, B, E และรูปที่ 4.7 ช่วงหลังพักเที่ยงนักศึกษาจะอยู่บริเวณอาคาร B, A, E และบริเวณสนามบาส (Sport) สุดท้ายตามรูปที่ 4.8 ในช่วงเย็นจะมีการเคลื่อนที่ที่อยู่ในแถบบริเวณอาคาร B, D, C และบริเวณสนามบาส (Sport) จากข้อมูลข้างต้นก็จะมองเห็นการเคลื่อนที่ได้ว่าส่วนมากแล้ว ในช่วงเวลาเช้า นักศึกษามักจะเคลื่อนที่ไปอยู่ในบริเวณอาคาร E และช่วงบ่ายนักศึกษาจะอยู่ในบริเวณอาคาร B และอาคาร D

จากรูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานพื้นที่ และบริเวณพื้นที่ จะแสดงข้อมูลในแต่ละชั่วโมง และนับจำนวนของอุปกรณ์ที่ใช้ติดตามนักศึกษาที่จับสัญญาณได้ตลอดระยะเวลาการเก็บข้อมูล จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลาระหว่างวัน ตั้งแต่เวลา 08:00-15:00 น. นักศึกษาจะอยู่ในบริเวณอาคาร E และเริ่มกระจายไปอยู่ในบริเวณอาคาร B ในช่วงบ่าย 13:00-16:00 น. ส่วนในช่วงเวลาเช้า 07:00 น. และช่วงเวลาเย็น 17:00-18:00 น. นักศึกษาจะอยู่ในบริเวณอาคาร D เป็นส่วนมาก ซึ่งการที่นักศึกษาอยู่ในบริเวณตึก E เป็นส่วนมาก อาจจะเป็นผลมาจากการที่ใกล้ถึงช่วงสอบกลางภาคของทางสถาบันฯ นอกจากนี้ยังเป็นจุดที่โปร่ง อากาศถ่ายเท และมีความสะดวกสำหรับการอ่านหนังสือมากที่สุด



บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผล

5.1 สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการติดตาม และศึกษาพฤติกรรมการใช้พื้นที่ของนักศึกษา โดยใช้ Bluetooth Low Energy ร่วมกับอุปกรณ์ IoT ซึ่งเป็นงานวิจัยเชิงศึกษา และวิเคราะห์ผลพฤติกรรมการใช้พื้นที่จากการรับสัญญาณ Bluetooth Low Energy จากอุปกรณ์ติดตาม Ruuvi Tag และมี Raspberry Pi Zero W เป็นอุปกรณ์การรับสัญญาณที่ได้ทำการติดตั้งตามบริเวณพื้นที่อาคารต่างๆ เพื่อเก็บข้อมูลพฤติกรรมการใช้งานพื้นที่ของนักศึกษา ซึ่งจากการติดตาม และวิเคราะห์ผลของข้อมูล จะพบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บข้อมูลนั้น โดยรวมแล้วนักศึกษามีการใช้งานบริเวณพื้นที่อาคาร E มากที่สุด และอยู่กระจายในบริเวณอาคาร E ในช่วงเวลาระหว่างวันมากที่สุด หากเป็นช่วงเวลาย่ำหากเป็นช่วงเวลาย่ำนักศึกษาก็จะกระจายไปอยู่ที่บริเวณอาคาร B ส่วนในช่วงเวลาเช้า และเย็น ก็จะอยู่ที่บริเวณอาคาร D เป็นส่วนมากจากการเก็บข้อมูลการใช้งานพื้นที่ของนักศึกษานี้ จะทำให้ได้ว่าเมื่อต้องการจะจัดงาน หรือจัดกิจกรรมต่างๆ สามารถจะจัดได้บริเวณใดไหน ช่วงเวลาไหน ที่มีนักศึกษาไปใช้งานมากที่สุด เพื่อประโยชน์สูงสุดในการวางแผนการใช้งานพื้นที่และการจัดกิจกรรมต่างๆ ในอนาคต

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

5.2.1 เกิดไฟดับในบริเวณที่มีการติดตั้ง Raspberry Pi W Zero จึงต้องทำการเขียนโปรแกรมบน Raspberry Pi W Zero เพิ่มเติมเพื่อให้สามารถทำงานได้อัตโนมัติหากเกิดไฟดับ

5.2.2 ในขั้นตอนของการเขียนโปรแกรม เมื่อทำการปิดหน้าต่างโปรแกรม การทำงานก็จะหยุดไปด้วย จึงต้องติดตั้งให้สามารถรันโปรแกรมได้ เมื่อปิดหน้าต่างโปรแกรมไป

5.2.3 ความถี่ของการสแกนหา Ruuvi Tag นานเกินไป ทำการปรับเวลาลดลง เพื่อให้สแกนถี่ขึ้น

5.2.4 ในขั้นตอนการเก็บข้อมูล มีการตรวจพบสัญญาณ Ruuvi Tag ไม่ครบ เนื่องจากจุดติดตั้งตัวรับสัญญาณ Raspberry Pi W Zero ครอบคลุมพื้นที่ได้น้อย

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 สามารถเพิ่มจุดติดตั้งให้ครอบคลุมพื้นที่ และเพิ่มจำนวนอาสาสมัคร เพื่อที่จะได้ข้อมูลที่แม่นยำมากขึ้น และสามารถนำไปปรับใช้ในการจัดการพื้นที่ได้ดียิ่งขึ้น

5.3.2 เพิ่มระยะเวลาในการเก็บข้อมูลเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ และได้ความน่าเชื่อถือของข้อมูลมากยิ่งขึ้น



บรรณานุกรม

TNI

บรรณานุกรม

- [1] I-Neighbour, “บลูทูธคืออะไร?”, [Online]. Available : https://www.i-neighbour.com/bluetooth_security?sLang=TH. [Accessed : 6 สิงหาคม 2563].
- [2] Ixhop, “การใช้งานบลูทูธบน ESP32,” [Online]. Available : <https://www.ioxhop.com>. [Accessed : 6 สิงหาคม 2563].
- [3] Feasycom, “เทคโนโลยี Bluetooth Low Energy (BLE),” [Online]. Available : <http://th.feasywifi.com/news/bluetooth-low-energy-ble-technology-trends-17602285.html>. [Accessed : 6 สิงหาคม 2563].
- [4] Y. Jaiboon, “เทคโนโลยีบลูทูธและการใช้งาน : Version1,” [Online]. Available : <https://km.it.chula.ac.th>. [Accessed : 6 สิงหาคม 2563].
- [5] นิค ลี, “BLE Beacons กับ RF Beacons อื่นๆ : เหตุใดจึงเลือกบีคอนบลูทูธพลังงานต่ำ,” [Online]. Available : <https://www.mokosmart.com/th/low-energy-bluetooth-beacons/>. [Accessed : 12 เมษายน 2566].
- [6] Artronshop, “ลองเล่นบอร์ด Raspberry Pi Zero,” [Online]. Available : <https://www.artronshop.co.th/article/81/ลองเล่นบอร์ด-raspberry-pi-zero-w>. [Accessed : 10 กรกฎาคม 2565].
- [7] K. Dienprapai, “Beacon Technology,” [Online]. Available : <https://medium.com/@kittipatdienprapai/beacon-technology-e885a71e14ac>. [Accessed : August 6, 2020].
- [8] Codebee, “ไอเดียทำ Mobile Apps ด้วยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Beacon,” [Online]. Available : <https://www.codebee.co.th/labs/%E0%B9%84%E0%B8%AD%E0%B9%80%E0%B8%94%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%97%E0%B8%B3-mobile-apps/>. [Accessed : 6 สิงหาคม 2563].
- [9] Falco Solution, “ระบุตำแหน่ง ระบบติดตาม ระบบนำทางภายในอาคารด้วย Beacons,” [Online]. Available : <https://www.falco.co.th/news/location-tracking-beacons/>. [Accessed : 6 สิงหาคม 2563].
- [10] Komkid, “ไขความลับ Beacons เทคโนโลยี Internet of Things ที่ฮาร์ดแวร์สตาร์ทอัพชอบใช้,” [Online]. Available : <https://startup.in.th/beacon-internet-of-thing-hardware-startup/>. [Accessed : 6 สิงหาคม 2563].

- [11] Jnanny, “มารู้จัก RapidMiner เครื่องมือ Data Science ที่ไม่ต้องเขียนโค้ด,” [Online]. Available : <https://blog.datath.com/rapidminer-machine-learning/>. [Accessed : 30 ตุลาคม 2563].
- [12] Achieve.Plus, “Rapidminer เสกคนไม่มีพื้นฐานให้เป็นเซียน,” [Online]. Available : <https://medium.com/achieve-space/>. [Accessed : 11 มีนาคม 2564].
- [13] V. Mathias et al., “The use of bluetooth for analysing spatiotemporal dynamics of human movement at mass events : A case study of the ghent festivities,” *Applied Geography Journal*, vol. 32, no. 2, pp. 208-220, March 2012.
- [14] K. Tabata et al., “The design of worker's behavior analysis method in workplace using indoor positioning technology,” *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXIII ISPRS Congress III-4*, Prague, Czech Republic, July 12-19, 2016, pp. 127-131.
- [15] K. Nobuo et al., “Wi-fi human behavior analysis and BLE tag localization : A case study at an underground shopping mall,” *Proceedings of the 13th International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems : Computing, Networking and Services*, Hiroshima, Japan, November 28 - December 1, 2016, pp. 151-159.
- [16] M. Lipi et al., “Identifying productive working patterns at construction sites using BLE sensor networks,” *Developments in the Built Environment Journal*, vol. 4, no. 7, no page, November 2020.

ภาคผนวก

TNI

ภาคผนวก ก.

โค้ดโปรแกรม

TNI

```

from bluepy.btle import Scanner, DefaultDelegate
import pandas as pd
import sys
import os
import getopt
import time
import datetime

class ScanDelegate(DefaultDelegate):
    def __init__(self):
        DefaultDelegate.__init__(self)
    def handleDiscovery(self, dev, isNewDev, isNewData):
        if isNewDev:
            print("Discovered device", dev.addr)
        elif isNewData:
            print("Received new data from", dev.addr)
scanner = Scanner().withDelegate(ScanDelegate())
def loop(scanTime, labelName):
    dir_path = 'rawdata'
    if not os.path.isdir(dir_path):
        os.makedirs(dir_path)
    while True:
        listStudent = ["B4:52:A9:03:9D:F3".lower(), "B4:52:A9:03:AA:3F".lower(),
"FC:31:28:AC:86:2F".lower(), "F8:70:1E:5B:B6:9D".lower(), "C7:FD:14:45:E5:C2".lower(),
"EC:E0:EB:F2:94:EB".lower(), "DB:91:29:17:49:DF".lower(), "E8:22:25:C5:22:50".lower(),
"EF:46:FD:E8:E5:E5".lower(), "E9:27:15:12:89:66".lower(), "E0:47:B0:4E:AB:5E".lower(),
"F9:71:C3:A9:15:C0".lower(), "D0:59:E8:28:56:39".lower(), "C4:DC:85:68:6D:52".lower(),
"E3:29:5B:82:AC:09".lower()]
        listAddress = []
        listRssi = []
        listTime = []

```

```

devices = scanner.scan(10.0)
for dev in devices:
    if dev.addr in listStudent:
        listAddress.append(dev.addr)
        listRssi.append(dev.rssi)
        listTime.append(datetime.datetime.now()) #time.time()
df = pd.DataFrame({ "address": listAddress,
                    "rssi": listRssi,
                    "time": listTime })
df.to_csv(os.path.join(dir_path, "data")+".csv", mode='a', index=False,
header=False)
time.sleep(60)
def main(argv):
    arg_help = "{0} -s <scanTime> -l <labelName>".format(argv[0])
    try:
        opts, _ = getopt.getopt(argv[1:], "hs:l:", ["help", "scanTime=", "labelName="])
    except:
        print(arg_help)
        sys.exit(2)
    scanTime = 2
    labelName = ""
    loop(scanTime, labelName)
if __name__ == "__main__":
    main(sys.argv)

```

ภาคผนวก ข.
การตีพิมพ์ผลงานวิจัย

TNI



Call for Papers

TNIAC2023

การประชุมสหวิทยาการระดับชาติ

The 9th TNI Academic Conference (TNIAC)

วันที่ 18-19 พฤษภาคม 2566 ณ อาคาร E สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น,
ถนนพัฒนาการกรุงเทพมหานคร

จัดโดย : สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น (TNI), สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) (TPA)
และสมาคมบัณฑิตยศาสตร์ไทย (AIAT)

Honorary Chairs
รศ.รังสรรค์ เลิศไศลชัย
ศ.ดร.ธนาธิภย์ ธัญญะนิต
นายพศกร ยุทธกิจ
General Chair
รศ.ดร.วิศกร วราวุธศิริพันธุ์
General Co-chair
ผศ.ดร.กฤษณะ ชินสาร
ศ.ดร.โกสินทร์ จันทน์ไทย

Technical Program Chair
รศ.ดร.วรารัตน์ ศรีทองทรัพย์
Technical Program Committee
ศ.ดร.บุญเจริญ ศรีนิภากุล
ศ.ดร.อภิสิทธิ์ ธนชัยนันท์
ศ.ดร.วสุพงศ์ ตั้งศรีธินันท์
ศ.ดร.ประยุทธ์ อัครอนกานันท์
ศ.ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์
รศ.ดร.จิรัช เลี้ยงนันทิกิต
ผศ.ดร.สายัญ สายยศ
รศ.ดร.ปรีกฤษณ์ พันธบุรุษย์
รศ.ดร.อรุณพ หนัสนกุล
รศ.ดร.จิราวรรณ ฉายสุวรรณ
รศ.ดร.อรนารถ แสงmani

อธิการบดี สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
นายกสมาคมบัณฑิตยศาสตร์ไทย
ประธาน IEEE Thailand Section
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
มหาวิทยาลัยบูรพา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
มหาวิทยาลัยสุรนารี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาลัยสุรนารี
นักวิชาการอิสระ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร
บริษัทหลักทรัพย์ บิวหลวง จำกัด (มหาชน)
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

Research Topics

Track 1: ภาษาและสังคมศาสตร์:
Learning Management System (LMS), IT Application for Teaching and Learning, E-learning and Online Education, Computational Linguistic, Digital Technology for Social Development, Language Efficiency Improvement Strategy, Other related topics.

Track 2: เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร:
Digital and Multimedia Technology, Computer Networks Performance, Networks and Cyber Security, Data Science and Analytics, Business Intelligence and Technology, Web Technology and Mobile Applications, AI and IoT, Natural Language Processing, Other related topics.

Track 3: วิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์:
Artificial Intelligence and Robotics, Computer Vision and Image Processing, Production and Automotive Engineering, Embedded System Architecture, Electrical Power Systems, Other related topics.

Track 4: เศรษฐศาสตร์และบริหารธุรกิจ:
Digital Marketing, E-Logistics and Supply Chain, E-Business Management, Digital Innovation in Industrial Management, Banking & Risk Management Technology, IT Application for Finance & Accounting, Smart Tourism, Software System for Manufacturing, SAP/ERP, Other related topics.

กำหนดการส่งบทความและการลงทะเบียน

การลงทะเบียนล่วงหน้า	การลงทะเบียนปกติ	การลงทะเบียนล่าช้า
3,500 บาท	3,900 บาท	2,500 บาท

สำหรับ IEEE และ AIAT ได้สิทธิ์ลดค่าลงทะเบียน 10%

กำหนดการส่งบทความและการลงทะเบียน

การลงทะเบียนล่วงหน้า	การลงทะเบียนปกติ	การลงทะเบียนล่าช้า
3,500 บาท	3,900 บาท	2,500 บาท

สำหรับ IEEE และ AIAT ได้สิทธิ์ลดค่าลงทะเบียน 10%

ติดต่อเลขานุการประชุมได้ที่ tniac@tni.ac.th

หน่วยงานสนับสนุนการประชุม

panus TKC 

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำในการติดตาม และวิเคราะห์ พฤติกรรมการใช้พื้นที่ของนักศึกษา

An Implementation of Student Tracking and Area Usage Analysis Based on Bluetooth Low Energy

เบญจรัตน์ ภาณุโรจน์
ห้องวิจัยอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ (IES)
คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
pa.benjarat_st@tni.ac.th

ดร.ชัชชัย วรรณเบญญ์
ห้องวิจัยอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ (IES)
คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
chatchai@tni.ac.th

บทคัดย่อ — งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาการติดตามพฤติกรรมของนักศึกษาภายในสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น โดยใช้เทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำ (BLE) ซึ่งใช้อุปกรณ์กระจายสัญญาณบลูทูธ ๖ จุดติดตั้งภายในบริเวณสถาบันฯ จำนวน ๗ จุด และเก็บข้อมูลการเข้าใช้พื้นที่โดยใช้อุปกรณ์รับสัญญาณบลูทูธขนาดเล็ก ให้นักศึกษาที่เป็นอาสาสมัคร จำนวน ๑๕ คน นำติดตัวไว้เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการติดตามตำแหน่ง ซึ่งได้ทำการรวบรวมข้อมูลบันทึกการติดตามเป็นเวลา ๑ เดือน เพื่อนำมาศึกษา และวิเคราะห์พฤติกรรมที่เกิดขึ้นในสถาบันของนักศึกษา ทำให้ทราบว่านักศึกษาไปอยู่บริเวณใดเป็นส่วนใหญ่ มีการเคลื่อนไหวไปที่บริเวณใดบ้าง และในแต่ละช่วงเวลาอยู่บริเวณไหน ซึ่งสามารถนำไปเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาในเรื่องของการใช้งานพื้นที่ในแต่ละบริเวณ แต่ละช่วงเวลามีการเคลื่อนไหวของนักศึกษาในแต่ละสถานที่ที่กำหนดไว้อย่างไรบ้าง นอกจากนี้ข้อมูลดังกล่าวช่วยให้สามารถวางแผนการใช้งานพื้นที่แต่ละบริเวณได้ สามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการปรับปรุงสถานที่ภายในสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นหรือสถานศึกษาอื่นๆ ได้ในอนาคต

คำสำคัญ — บลูทูธพลังงานต่ำ, พฤติกรรม, การวางแผนการใช้พื้นที่

ABSTRACT — This paper presents student tracking and area usage analysis using Bluetooth low energy (BLE) technology. Embedded BLE access points have been installed in 7 different locations in Thai-Nichi Institute Technology. The student movement behavior is investigated through 15 volunteers with a compact of tracking device. Data collection has been achieved during November and December of 2022 in a real case situation. The student behavior, i.e., frequency, number of visitors, and movement trajectories, has been revealed by data collections and analytics from each access point. This study offers a potential reference of area usage planning and facility development for other academic areas.

Keywords — Bluetooth Low Energy, Student Behavior, Movement Tracking, Area Usage Analysis

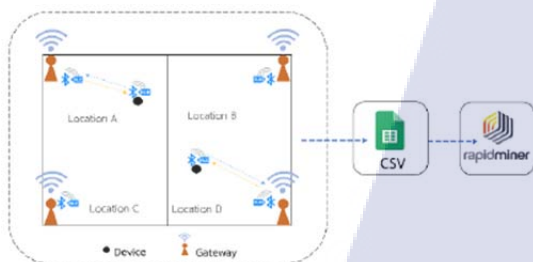


รูปที่ 1. สถานที่ติดตั้งอุปกรณ์ Raspberry Pi W Zero

1 บทนำ

การวิเคราะห์พฤติกรรมมนุษย์เป็นเรื่องที่น่าสนใจมากยิ่งขึ้นเนื่องจากสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาพฤติกรรมมาช่วยในการวางแผน หรือช่วยในการตัดสินใจได้ ซึ่งในระยะหลังได้มีการนำเทคโนโลยีต่างๆ เข้ามาช่วยในการติดตามพฤติกรรม หากกล่าวถึงเทคโนโลยีการติดตาม อาจจะทำให้นักถึงระบบ GPS (Global Positioning System) [1-2] หรือจะเป็นการใช้กล้อง CCTV (Close Circuit Television) [3] แต่ทั้งสองเทคโนโลยีนี้ล้วนมีข้อจำกัดสำหรับใช้ในการติดตามพฤติกรรมบุคคล กล่าวคือระบบ GPS จะมีความแม่นยำลดลง เมื่อใช้อาคาร ทำให้ไม่สามารถระบุตัวตนได้ และการใช้กล้อง CCTV ก็มีมุมมองที่จำกัด และไม่สามารถตรวจจับพฤติกรรมรายบุคคลอย่างต่อเนื่องได้ ทั้งยังเป็นการละเมิดความเป็นส่วนตัว และมีต้นทุนที่สูงอีกด้วย รวมทั้งการใช้ RFID ยังต้องทำการเข้าไปแตะใกล้เครื่องสแกนจึงจะสามารถบันทึกตำแหน่งได้ จึงไม่สะดวกต่อการติดตามการเคลื่อนที่ได้

ในปัจจุบันเทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำ หรือ BLE (Bluetooth Low Energy) เป็นเทคโนโลยีการส่งข้อมูลโดยใช้พลังงานต่ำ ซึ่งถูกติดตั้งในอุปกรณ์สื่อสาร เช่น โทรศัพท์มือถือ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ มีการใช้งานที่ง่ายและราคาถูก ซึ่งเหมาะสมกับการติดตามภายในอาคาร โดยมีงานวิจัยที่ได้นำ BLE มาใช้ในการศึกษาพฤติกรรมกันมากขึ้น ตัวอย่างเช่น งานวิจัยที่ได้ทำการติดตามผู้เข้าร่วมงานเทศกาลดนตรี ด้วยบลูทูธ ทางผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งเครื่องสแกนไวโรบบจ ทำให้ได้ข้อมูล



รูปที่ II. ภาพรวมการทำงานของระบบ



รูปที่ III. Ruuvi Tag (ซ้าย) Raspberry Pi W Zero (ขวา)

การเข้าออก และทราบการเคลื่อนไหวของผู้คนในเวลาต่างๆ รวมถึงจำนวนของผู้เข้าร่วมงาน ซึ่งจากงานวิจัยนี้ได้พิสูจน์ให้เห็นว่า BLE สามารถที่จะนำมาใช้ติดตามบุคคลได้ มีการใช้งานที่ง่าย และราคาไม่สูง [4] และยังมีงานวิจัยซึ่งได้ทำการติดตามคนงานในพื้นที่ก่อสร้าง โดยใช้ BLE ในการติดตามการเคลื่อนไหว และตำแหน่งของคนงาน เพื่อนำมาติดตามเวลาปฏิบัติงาน และทำการวิเคราะห์หาพฤติกรรมของคนงานว่ามีการไปในพื้นที่ที่ไม่ควรจะไป หรือได้อยู่ในตำแหน่งที่ได้รับมอบหมายงานหรือไม่ [5] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ได้ทำการออกแบบ และพัฒนาระบบการกำหนดตำแหน่งโดยใช้ BLE และสมาร์ทโฟน เพื่อติดตามการเคลื่อนไหวของพนักงานภายในอาคาร ทำให้ทราบว่าพนักงานในพื้นที่ที่มีการเคลื่อนไหวจากที่ใดไปที่ใดบ้าง จากงานวิจัยนี้ทางผู้วิจัยคาดการณ์ว่า การวิเคราะห์พฤติกรรมมนุษย์โดยการกำหนดตำแหน่งภายในอาคารจะเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานด้วย [6]

งานวิจัยนี้นำเสนอการใช้ BLE ซึ่งเป็นเครือข่ายไร้สายประเภทหนึ่งที่สามารถใช้ในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร และประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคโนโลยี IoT ซึ่งจะช่วยให้สามารถตรวจสอบการใช้งานพื้นที่ได้ โดยจะทำให้สามารถติดตามการเข้า-ออกในแต่ละพื้นที่ และทำการศึกษาพฤติกรรมของนักศึกษาได้อย่างสะดวก และง่ายยิ่งขึ้น จากข้อมูลการติดตามพฤติกรรมของนักศึกษาสามารถที่จะนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อที่จะทราบว่าพฤติกรรมต่างๆ ของนักศึกษาเป็นอย่างไรบ้าง มีการเคลื่อนไหวไปที่บริเวณไหนตามจุดที่ได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตัวรับสัญญาณบ้าง ไปบริเวณไหนบ่อยที่สุด และการใช้เวลาในการอยู่ในบริเวณนั้นๆ เป็นเวลานานเท่าไร เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการวางแผนการใช้งานพื้นที่แต่ละบริเวณได้ สามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการปรับปรุงสถานที่ให้เหมาะสมกับนักศึกษาได้ดียิ่งขึ้น

II วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการติดตามพฤติกรรมของนักศึกษาภายในสถาบัน โดยการให้นักศึกษาให้นักศึกษาพกอุปกรณ์กระจายสัญญาณ BLE ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ Ruuvi Tag และใช้ Raspberry Pi W Zero เป็นอุปกรณ์รับสัญญาณ และบันทึกข้อมูล หรือเกตเวย์ โดยทำการติดตั้งไว้ในสถาบันฯจำนวน 7 จุด ในพื้นที่ต่างกัน ดังรูปที่ I.

ตารางที่ I. รายละเอียดสำหรับการเก็บข้อมูล

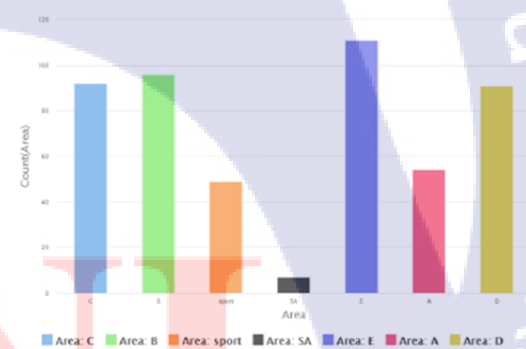
ระยะเวลาเก็บข้อมูล	21 พฤศจิกายน – 23 ธันวาคม 2565
จำนวนผู้เข้าร่วม	15 คน จากสาขาวิศวกรรมศาสตร์
อุปกรณ์ที่ใช้	
ตัวรับสัญญาณ/เก็บข้อมูล	Raspberry Pi W Zero
	1GHz, single-core CPU
	512MB RAM
ตัวปล่อยสัญญาณ	BLE 4.1
	Ruuvi Tag
	CPU ARM Core M0
	BLE 5.2

c7:fd:14:45:e5:c2	-70	28/11/2022 9:23:09
e9:27:15:12:89:66	-94	28/11/2022 9:23:09
e8:22:25:c5:22:50	-69	28/11/2022 12:57:05
e9:27:15:12:89:66	-83	28/11/2022 14:46:58
e9:27:15:12:89:66	-88	28/11/2022 14:51:39
e9:27:15:12:89:66	-78	28/11/2022 15:23:12
e9:27:15:12:89:66	-98	28/11/2022 15:25:33
e9:27:15:12:89:66	-87	28/11/2022 15:40:45

รูปที่ IV. ข้อมูลจากการติดตามนักศึกษาบริเวณตึก A

Area	Mac Addr	RSSI	Date	Time
C	e3:29:5b:82:ac:09	-79	21/11/2022	10:54:53
C	f9:71:c3:a9:15:c0	-88	21/11/2022	10:54:53
B	e9:27:15:12:89:66	-78	21/11/2022	13:43:09
B	c7:fd:14:45:e5:c2	-86	21/11/2022	14:22:56
C	e3:29:5b:82:ac:09	-91	22/11/2022	3:16:00
C	f9:71:c3:a9:15:c0	-74	22/11/2022	6:16:05
B	e9:27:15:12:89:66	-88	22/11/2022	13:23:12
B	c7:fd:14:45:e5:c2	-85	22/11/2022	18:17:59

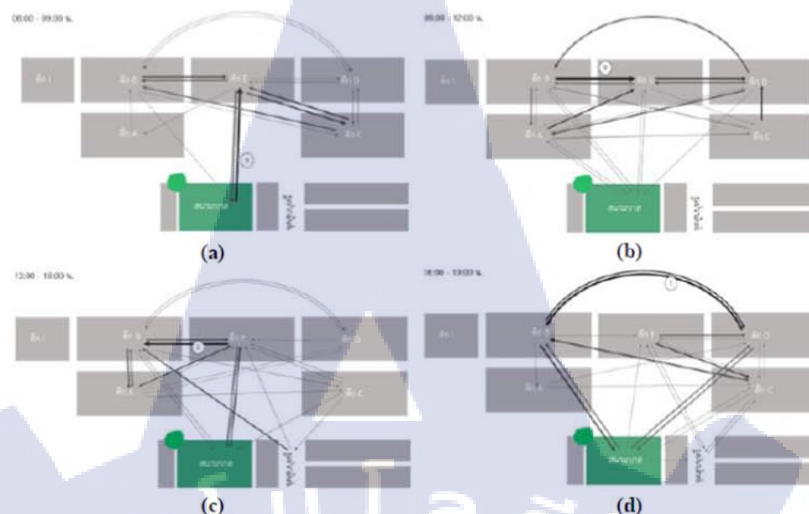
รูปที่ V. ข้อมูลการติดตามนักศึกษาจากบริเวณต่างๆ



รูปที่ VI. ภาพรวมการใช้งานแต่ละพื้นที่

III ภาพรวมการทำงานของระบบ

จากรูปที่ II. แสดงให้เห็นตัวอย่างสถานที่ A B C และ D แทนขอบเขตสถานที่จริงที่นำอุปกรณ์เกตเวย์ไปติดตั้งไว้ เพื่อสำหรับการใช้ในการสแกนหาสัญญาณของอุปกรณ์ โดยที่ส่วนของการรับ-ส่งสัญญาณจะเป็นส่วนของเกตเวย์ที่จะทำการสแกนหาสัญญาณของตัวอุปกรณ์ในแต่ละสถานที่ เมื่อเจออุปกรณ์ก็จะส่งสัญญาณกลับไปเกตเวย์ จากนั้นจะเป็นส่วนของการเก็บบันทึกข้อมูล ซึ่งจะทำให้การเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ที่ตรวจหาไว้เป็นไฟล์ CSV เพื่อนำข้อมูลออกมาใช้ในการวิเคราะห์ผล



รูปที่ VII. แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ในแต่ละช่วงเวลา (a) ช่วงเวลา 06:00-09:00 น. (b) ช่วงเวลา 09:00-12:00 น. (c) ช่วงเวลา 13:00-16:00 น. และ (d) ช่วงเวลา 16:00-19:00 น.

และในส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูล จะทำการนำข้อมูลการติดตามที่เก็บไว้เข้าไปวิเคราะห์ในโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล และโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ RapidMiner เพื่อวิเคราะห์ว่านักศึกษาที่มีพฤติกรรมเป็นอย่างไรบ้าง ซึ่งจะทำให้การเก็บข้อมูลภายในสถานบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น โดยมีรายละเอียดการเก็บข้อมูลดังตารางที่ I.

II.II เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ภายในระบบการติดตามนี้ จะแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนการรับ-ส่งสัญญาณ ส่วนการเก็บข้อมูล และส่วนของการวิเคราะห์ผลของข้อมูลการติดตาม ซึ่งจะมีเครื่องมือที่ใช้ในการทำงานจะมีดังนี้ อุปกรณ์ติดตามทรัพย์สิน (Beacon) เกตเวย์ (Gateway) โดยในการเขียนคำสั่งด้วยโปรแกรม Visual Studio Code ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดดังนี้

II.II.I ส่วนการรับ - ส่งสัญญาณ

จากรูปที่ III. จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับ-ส่งสัญญาณของงานวิจัยนี้ โดยจะใช้ Ruuvi Tag เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตามโดยให้นักศึกษาพกติดตัวไว้ขณะที่อยู่ในสถานบัน ซึ่งตัวอุปกรณ์ Ruuvi Tag จะมี BLE ในการส่งสัญญาณ และจะใช้ Raspberry Pi W Zero เป็นตัวสแกนหาสัญญาณจากอุปกรณ์ Ruuvi Tag ที่ได้ทำการส่งสัญญาณมา เมื่อมีนักศึกษาอยู่ในบริเวณที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ Raspberry Pi W Zero เอาไว้

II.II.II ส่วนเก็บข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูล จะถูกเก็บลงใน Micro SD Card เป็นไฟล์ CSV เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

II.II.III ส่วนการวิเคราะห์ผล

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะใช้โปรแกรม RapidMiner ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อดูพฤติกรรมของนักศึกษาที่ได้ทำการติดตามมานั้นว่าเป็นอย่างไ

III ผลการวิจัย

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลจากการที่ได้ทำการติดตาม และเก็บข้อมูลพฤติกรรมของนักศึกษา ซึ่งจะประกอบด้วย ข้อมูลที่ได้จากการติดตาม และการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับ

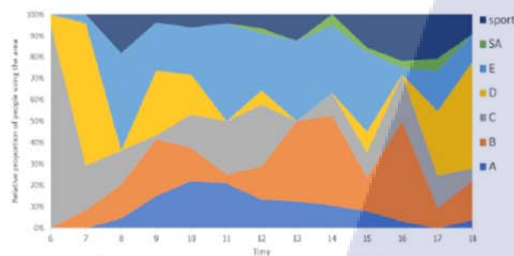
III.I ข้อมูลการติดตามที่ได้รับจากอุปกรณ์

ข้อมูลที่ได้รับมาจากการติดตามจะมีข้อมูลหมายเลขอุปกรณ์ (Mac Address) ของ Ruuvi Tag ที่ได้ทำการแจกให้นักศึกษาพกไว้กับตัวขณะอยู่ในสถานบัน, ค่าความเข้มของสัญญาณ (Received Signal Strength Indicator: RSSI), วันที่ และเวลา ดังรูปที่ IV. จากข้อมูลที่ได้มาของแต่ละบริเวณ ตั้งแต่ตึก A, B, C, D, E, พื้นที่สูบบุหรี่ และสนามบาสไฟลจากทั้ง 7 บริเวณมารวมเข้าด้วยกันเพื่อดูภาพรวมของการเคลื่อนไหวของนักศึกษา และดูการใช้งานพื้นที่ในแต่ละบริเวณโดยไม่ได้มีการกำหนดค่า RSSI เมื่อตรวจสอบสัญญาณจับสัญญาณจาก Ruuvi Tag ได้ ก็จะทำให้การนับการติดตามพื้นที่ ซึ่งจะได้ข้อมูลออกมาดังรูปที่ V.

III.II การวิเคราะห์ข้อมูล

รูปที่ VI แสดงภาพรวมของการใช้งานในบริเวณพื้นที่ต่างๆ ระหว่างวันที่ 21/11/2565 ถึง 23/12/2565 โดยตลอดระยะเวลาที่ได้ทำการเก็บข้อมูล จะเห็นได้ว่านักศึกษาส่วนมากจะอยู่บริเวณตึก E มากที่สุด คิดเป็น 111 ครั้ง ที่อุปกรณ์จับสัญญาณได้ รองลงมาจะเป็นบริเวณตึก B 96 ครั้ง และบริเวณที่จับสัญญาณได้น้อยที่สุดจะเป็นบริเวณจุดสูบบุหรี่ (Smoke Area) ซึ่งจับสัญญาณได้เพียง 7 ครั้ง

เมื่อทำการเทียบแต่ละช่วงเวลาที่นักศึกษาใช้งานพื้นที่ต่างๆ โดยแบ่งออกเป็น 4 ช่วงเวลา คือ 06:00 – 09:00 น. 09:00 – 12:00 น. 13:00 – 16:00 น. และ 16:00 – 19:00 น. จะได้ข้อมูลดังรูปที่ VII. ซึ่งแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของนักศึกษาในการใช้งานพื้นที่ตามบริเวณอาคารต่างๆ ในแต่ละช่วงเวลา การเคลื่อนไหวเหล่านี้สามารถทำให้ตรวจสอบผู้ใช้งานพื้นที่ในช่วงเวลาต่างๆ ได้ และอาจจะช่วยในการ



รูปที่ VIII. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่และผู้ใช้งาน

ตัดสินใจในการใช้งานพื้นที่ในบริเวณต่างๆ ได้อย่างเช่น ต้องการหลีกเลี่ยงบริเวณที่มีนักศึกษาจำนวนมาก หรือหากต้องการจัดงานประชาสัมพันธ์ต่างๆ สามารถเลือกช่วงเวลา เลือกสถานที่ที่ต้องการได้ ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าในแต่ละภาพจะแสดงการเคลื่อนไหวโดยที่การเคลื่อนไหวที่มีความถี่มาก จะมีเส้นสีเข้ม และความถี่น้อยจะมีเส้นสีอ่อน จากเส้นทางการเคลื่อนที่ในรูป (a) ส่วนมากนักศึกษจะไปที่อาคาร E, B และ C ต่อมาในช่วงเวลา (b) ก็จะเคลื่อนที่ไปบริเวณอาคาร E, B, A และ D (c) ช่วงหลังพักเที่ยงก็จะอยู่บริเวณอาคาร B, E, A และบริเวณสนามบาส (Sport) สุดท้าย (d) ช่วงเย็นจะมีการเคลื่อนที่อยู่ในแถบบริเวณอาคาร B, D, C และบริเวณสนามบาส (Sport) จากรูป (a)-(d) ช่างต้นก็จะมองเห็นการเคลื่อนที่ได้ว่าส่วนมากแล้ว ในช่วงเวลาเช้านักศึกษาจะมาเคลื่อนที่ไปอยู่ในบริเวณอาคาร E และช่วงบ่ายนักศึกษาก็จะอยู่ในบริเวณอาคาร B และอาคาร D

รูปที่ VIII. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานพื้นที่ และบริเวณพื้นที่ จะแสดงข้อมูลในแต่ละชั่วโมง และนับจำนวนของอุปกรณ์ที่ใช้ติดตามนักศึกษาที่จับสัญญาณได้ จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลาระหว่างวันตั้งแต่เวลา 08:00 - 15:00 น. นักศึกษาจะอยู่ในบริเวณอาคาร E และเริ่มกระจายไปอยู่ในบริเวณอาคาร B ในช่วงบ่าย 13:00 - 16:00 น. ส่วนในช่วงเวลาเช้า 07:00 น. และช่วงเวลาเย็น 17:00 - 18:00 น. นักศึกษาจะอยู่ในบริเวณตึก D เป็นส่วนมาก

IV สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการติดตามและศึกษาพฤติกรรมการใช้พื้นที่ของนักศึกษา โดยใช้ Bluetooth Low Energy ร่วมกับอุปกรณ์ IoT ซึ่งเป็นงานวิจัยเชิงศึกษา และวิเคราะห์ผลพฤติกรรมการใช้พื้นที่จากการรับสัญญาณ Bluetooth Low Energy จากอุปกรณ์การติดตาม Ruuvi Tag และมี Raspberry Pi Zero W ซึ่งอุปกรณ์การรับสัญญาณที่ได้ทำการติดตั้งตามตึกต่างๆ เพื่อเก็บข้อมูลพฤติกรรมการใช้งานพื้นที่ของนักศึกษา ซึ่งจากการติดตาม และวิเคราะห์ผลของข้อมูลจะพบว่าตลอดระยะเวลาในการเก็บข้อมูลนั้น โดยรวมแล้วนักศึกษามีการใช้งานพื้นที่ในบริเวณอาคาร E มากที่สุด และอยู่กระจายในบริเวณอาคาร E ในช่วงเวลาระหว่างวันมากที่สุด หากเป็นช่วงเวล่าบ่ายนักศึกษาก็จะกระจายไปอยู่ที่บริเวณอาคาร B ส่วนในช่วงเวลาเช้า และเย็น ก็จะอยู่ที่บริเวณอาคาร D เป็นส่วนมาก ซึ่งการที่นักศึกษาอยู่ในบริเวณตึก E เป็นส่วนมาก อาจจะเป็นผลมาจากการที่ใกล้ถึงช่วงสอบกลางภาคของทางสถาบันฯ นอกจากนี้ยังเป็นจุดที่โปร่ง อากาศถ่ายเท และมีความสะดวกสำหรับการอ่านหนังสือมากที่สุด จากการเก็บข้อมูลการใช้งานพื้นที่ของนักศึกษานั้น จะทำให้ได้ข้อมูลเมื่อต้องการจะจัดงาน หรือจัดกิจกรรมต่างๆ สามารถจะจัดได้บริเวณตึกไหน ช่วงเวลาไหน ที่มีนักศึกษาไปใช้

งานมากที่สุด เพื่อประโยชน์สูงสุดในการวางแผนการใช้งานพื้นที่และการจัดกิจกรรมต่างๆ ในอนาคต

บรรณานุกรม

- [1] D. -V. Nguyen, F. Nashashibi, T. -K. Dao and E. Castelli, "Improving poor GPS area localization for intelligent vehicles," 2017 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI), Daegu, Korea (South), 2017, pp. 417-421, doi: 10.1109/MFI.2017.8170356.
- [2] C. -H. Ou, B. -Y. Wu and L. Cai, "GPS-free vehicular localization system using roadside units with directional antennas," in Journal of Communications and Networks, vol. 21, no. 1, pp. 12-24, Feb. 2019, doi: 10.1109/JCN.2019.000002.
- [3] L. Mazerolle, D. Hurley and M. Chamlin "Social Behavior in Public Space: An Analysis of Behavioral Adaptations to CCTV" Security Journal Volume: 15, pp.59-75, 2022
- [4] M. Versichele, T. Neutens, M. Delafontaine and N. Weghe "The use of Bluetooth for analysing spatiotemporal dynamics of human movement at mass events: A case study of tDhe Ghent Festivities," Applied Geography 32, pp. 208-220, 2012
- [5] L. Mohanty, S. Chae and Y. Yang, "Identifying productive working patterns at construction sites using BLE sensor networks," Developments in the Built Environment 4, 2020
- [6] K.Tabata, H. Konno and M. Nakajima, "The Design of Worker's Behavior analysis method in Workplace using Indoor Positioning Technology," ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume III-4, 2016
- [7] N.Kawaguchi, K. Hiroi, A. Shionozaki, M.Asukai, T. Nasu, Y. Hashimoto, T. Nakamura, T. Gotou and S. Ando, "Wi-Fi Human Behavior Analysis and BLE Tag Localization: A Case Study at an Underground Shopping Mall," MOBIQUITOUS '16, Nov. 28-Dec. 01, 2016
- [8] S. Nakamae, S. Kataoka, C. Tang, S. Vasilache, S. Saga, B. Shizuki and S. Takahashi, "Children's Social Behavior Analysis System Using BLE and Accelerometer," Springer International Publishing AG, pp. 153-167, 2017
- [9] H. Kim et al., "Design of a Low-Power BLE5-Based Wearable Device for Tracking Movements of Football Players," 2019 International SoC Design Conference (ISOC), Jeju, Korea (South), pp. 11-12, 2019
- [10] H. -Y. Tsai, G. -H. Chen and H. -C. Lee, "Poster Abstract: Using Low-Cost, Non-Sensor-Equipped BLE Beacons to Track People's Movements," 2017 16th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN), Pittsburgh, PA, USA, 2017, pp. 291-292.
- [11] S. L. Plaza, R. M. Colás, A. J. Martín, J. M. V. Carrizo, E. Sansano-Sansano and J. J. G. Domínguez, "BLE RSSI Database for Analyzing Routines of Community-Dwelling Older Adults," 2022 14th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), Valencia, Spain, 2022, pp. 50-55, doi: 10.1109/ICUMT57764.2022.9943410.