



ข้อเสนอโครงงานวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
วิชา 01076014 การเตรียมโครงงานวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562

- | | | |
|-------------------------------|---|---------------|
| 1. ชื่อหัวข้อโครงงาน (ไทย) | บริการบอกตำแหน่งในอาคารด้วยบลูทูธ | |
| 2. ชื่อหัวข้อโครงงาน (อังกฤษ) | Indoor Positioning Location-Based Service with Bluetooth | |
| 3. คำสำคัญ 3 คำ (3 keywords) | Indoor Positioning System, BLE Beacon, Mobile Application | |
| 4. รายชื่อผู้ทำโครงงาน | | |
| 4.1. นายยุทธการ | ใบเงิน | รหัส 60010842 |
| 4.2. นายวิศิษฐ์ | บัวทอง | รหัส 60010933 |
| 5. อาจารย์ที่ปรึกษา | | |
| 5.1. อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก | ดร. วัชร ฉัตรวิริยะ | |

สารบัญ

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา (Motivation).....	1
2. วัตถุประสงค์ (Objectives)	1
3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Theoretical Background)	2
3.1 ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร (Indoor Positioning System).....	2
3.2 Bluetooth.....	2
3.3 Bluetooth Low Energy.....	3
3.4 Proximity and RSSI	5
3.5 Bluetooth Low Energy Beacon.....	6
3.6 Flutter.....	6
3.7 Event-driven Architecture.....	7
3.8 Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)	8
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Related Works)	8
4.1 Indoor Positioning System for IoT Device based on BLE Technology and MQTT Protocol	8
4.2 A Bluetooth Low Energy Indoor Positioning System with Channel Diversity, Weighted Trilateration and Kalman Filtering	9
4.3 Phone Application for indoor localization based on BLE signal mapping	9
5. ขอบเขตของโครงการ (Scope).....	9
6. การพัฒนาโครงการ (Project Development).....	9
6.1 ขั้นตอนการพัฒนา (Methodology).....	9
6.2 การออกแบบ (Design)	11
6.3 แนวทางการทดสอบและการวัดประสิทธิภาพ (Test and Performance Evaluation Approaches).....	12
7. แผนการดำเนินโครงการ (Timeline).....	12
8. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Benefits)	13
9. เอกสารอ้างอิง (Reference).....	14

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา (Motivation)

ในปัจจุบันระบบระบุตำแหน่ง (Positioning System) ที่นิยมมีมากมาย แต่ที่เป็นที่รู้จักกันในวงกว้างคือ Global Positioning System (GPS) โดยมีหลักการทำงานเป็นการรับสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมในอวกาศ แล้วอุปกรณ์ที่รับสัญญาณจะทำการคำนวณพิกัดของตนเองออกมาจากสัญญาณที่ตนเองได้รับ แต่การใช้ GPS ยังมีข้อบกพร่องบางอย่าง คือคลื่นสัญญาณจากดาวเทียมไม่สามารถทะลุเข้าไปภายในอาคาร หรือผ่านผิวน้ำไปได้ [1] จึงเกิดระบบอื่นขึ้นมาเพื่อชดเชยปัญหาดังกล่าว นั่นก็คือระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร (Indoor Position System) โดยเทคโนโลยีที่ใช้กับระบบนี้มีอยู่หลายชนิด เช่น Computer Vision, Bluetooth และ Wi-Fi เป็นต้น

หนึ่งในแนวทางที่มีความเป็นไปได้ในการระบุตำแหน่งของสิ่งที่น่าสนใจภายในอาคาร คือ การติดอุปกรณ์เพิ่มไปยังสิ่งที่น่าสนใจ เช่น วัตถุ หรือที่ตัวบุคคล ทั้งนี้การติดอุปกรณ์เสริม หรือการมอบอุปกรณ์บางอย่างให้บุคคลถือครองชั่วคราวนั้น ส่งผลให้ต้องพิจารณาในเรื่องความเสี่ยงที่มีต่ออุปกรณ์ และต้นทุน จึงมีแนวทางความเป็นไปได้อื่นที่น่าสนใจ คือ การใช้ smartphone หรือ tablet ส่วนตัวของบุคคลเป็นอุปกรณ์ดังกล่าว เพราะว่าโทรศัพท์มือถือเป็นอุปกรณ์ที่ผู้คนส่วนใหญ่พกติดตัวอยู่เสมอ และยังมีศักยภาพมากพอที่จะสามารถทำการระบุตำแหน่งของตัวเครื่องด้วยหลายวิธีการ และด้วยสัญญาณหลากหลายรูปแบบ

ทางกลุ่มผู้จัดทำจึงมีความตั้งใจที่นำความเป็นไปได้นี้มาสร้างเป็น “ระบบให้บริการโดยการใช้เทคโนโลยีบอกตำแหน่งในอาคารด้วยบลูทูธ” สำหรับใช้ในพิพิธภัณฑ์หรืองานนิทรรศการ โดยมองเห็นว่าสามารถนำไปสร้างประโยชน์ และมอบความบันเทิงที่หลากหลายให้แก่ผู้ใช้งานระบบได้ เช่น มอบประสบการณ์รูปแบบใหม่ให้กับการเที่ยวชมพิพิธภัณฑ์หรืองานนิทรรศการของผู้ใช้ สามารถทำให้รับข้อมูล ข่าวสาร หรือรับชมสื่อต่างๆ ที่เกี่ยวกับส่วนที่สนใจในงานเพิ่มเติมได้ผ่านทางโทรศัพท์มือถือโดยง่าย

2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

1. ศึกษา วิเคราะห์ และสรุปข้อมูลทางเทคนิคของบลูทูธ เพื่อไปประยุกต์กับการระบุตำแหน่งภายในอาคาร
2. พัฒนาระบบสารสนเทศการให้บริการจากตำแหน่งของผู้ใช้ภายในอาคารด้วยบลูทูธ โดยระบบจะประกอบด้วย BLE Beacon แอปพลิเคชันโทรศัพท์มือถือสำหรับผู้เยี่ยมชม เว็บไซต์สำหรับผู้ดูแลนิทรรศการ ระบบจัดการเว็บไซต์เบื้องหลัง และระบบฐานข้อมูล

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Theoretical Background)

3.1 ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร (Indoor Positioning System)

ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร หรือ Indoor Positioning System (IPS) คือระบบที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของวัตถุ หรือบุคคลที่สนใจภายในเขตอาคาร กระบวนการการทำงานของ IPS มี 3 ขั้นตอน คือ การเก็บข้อมูลจากสภาพแวดล้อม การประมาณระยะจากอุปกรณ์กับวัตถุที่เป็นเป้าหมาย (range estimation) และการนำค่าที่ประมาณได้ไปคำนวณหาระยะจริง โดยส่วนประกอบสำคัญของระบบจะประกอบด้วย 3 อย่าง คือ เทคโนโลยีที่ใช้ในการวัดค่า หลักการที่ใช้ในการวัด และการประมวลผล

จากการสำรวจพบว่ามีส่วนประกอบที่สามารถทำ IPS ได้หลายวิธี เช่น ใช้คลื่นอินฟราเรด, Visible Light Communication (VLC), การใช้คลื่นอัลตราซาวด์ หรือการใช้สัญญาณวิทยุต่างๆ เช่น Bluetooth, Wi-Fi, Zigbee, RFID, Ultra-wideband หรือการวัดจากสภาพแวดล้อม เช่น การใช้ Computer Vision หรือการวัดสนามแม่เหล็ก และวิธีอื่นๆ รวมแล้วมีมากถึง 28 วิธี โดยในแต่ละวิธีมีข้อดี และข้อเสียแตกต่างกันไป [\[2\]](#)

เทคนิคที่ประยุกต์นำระบบ IPS ไปใช้นั้นมีหลากหลาย เช่น การวัดระยะห่างของอุปกรณ์กับวัตถุที่สนใจจากความเข้มของสัญญาณ (RSSI) หรือเวลาที่สัญญาณสะท้อนกลับ (Time of Arrival) การตรวจสอบว่าวัตถุใกล้กับจุดอ้างอิง (Proximity) การรวมรวมสัญญาณที่เกิดขึ้นในแต่ละจุดเพื่อทำแผนที่ระบุตำแหน่ง (Fingerprinting) การค้นหาพิกัดด้วยเทคนิค Multilateration เป็นต้น

3.2 Bluetooth

บลูทูธเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่ได้รับความนิยมอย่างมากสำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีระยะห่างไม่มาก (ขึ้นกับรุ่นของบลูทูธ และอุปกรณ์ที่ใช้) บลูทูธถูกพัฒนาขึ้นและดูแลโดยองค์กรที่ชื่อว่า Bluetooth Special Interest Group (SIG) มี IEEE Standard หมายเลข 802.15.1

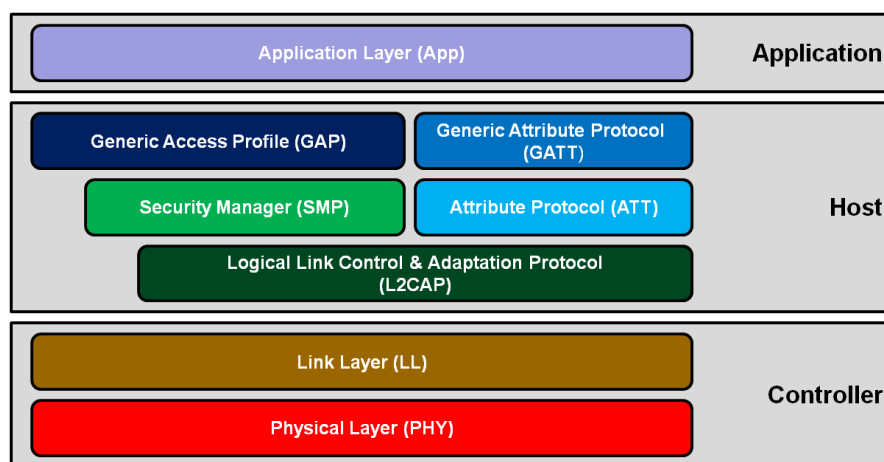
เทคโนโลยีบลูทูธใช้สัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า ประเภทคลื่นวิทยุ ที่ความถี่อยู่ในช่วงประมาณ 2.4 GHz เป็นตัวกลาง โดยส่งสัญญาณกระจายไปยังอุปกรณ์รอบตัวเพื่อทำการสื่อสาร โดยวิธีการส่งที่ใช้คือ Frequency Hopping Spread Spectrum หรือก็คือการสลับความถี่ตัวกลางที่ใช้ในการสื่อสารเรื่อยๆ เพื่อป้องกันการรบกวนสัญญาณ และเพิ่มความปลอดภัยในการกระจายการส่งข้อมูล โดยมีการใช้วิธีที่ชื่อ Gaussian frequency-shift keying ในการปรับความถี่ให้กับการส่งสัญญาณด้วยวิธีการส่งดังกล่าว

ในปัจจุบันบลูทูธมีอยู่ทั้งหมด 5 เวอร์ชัน ตั้งแต่ Bluetooth 1.0 ที่รองรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไร้สายพื้นฐานที่เป็นแกนหลักของระบบ Bluetooth 2.0, Bluetooth 3.0 ส่วน Bluetooth Low Energy เริ่มปรากฏใน Bluetooth 4.0 โดยในปัจจุบันเทคโนโลยีบลูทูธได้มีการพัฒนาถึงรุ่น Bluetooth 5.2 แล้ว

3.3 Bluetooth Low Energy

3.3.1. ความเป็นมา

Bluetooth Low Energy [3] เป็นส่วนขยายจาก Bluetooth Classic ในรุ่น Bluetooth 4.0 มีจุดประสงค์เพื่อใช้เชื่อมต่ออุปกรณ์ที่เป็น Internet of Things และเพิ่มความสามารถในการควบคุมการใช้พลังงานของตัวบลูทูธ เพื่อให้สามารถทำงาน Low Energy ได้ ลักษณะสำคัญก็คือได้มีการพัฒนาระบบการค้นหาคู่การเชื่อมต่อรอบข้างใหม่ มีการเชื่อมต่อที่รวดเร็วขึ้น มีระบบ LE Security เพิ่มความปลอดภัยในการเชื่อมต่อ และโปรโตคอลที่ใช้ในการบอกลักษณะ และการติดต่อระหว่างอุปกรณ์ใหม่ คือ GAP (Generic Access Profile) และ GATT (Generic Attribute Profile) ที่เป็น asynchronous client/server model



รูปที่ 3.1 Protocol Stack ของ Bluetooth Low Energy¹

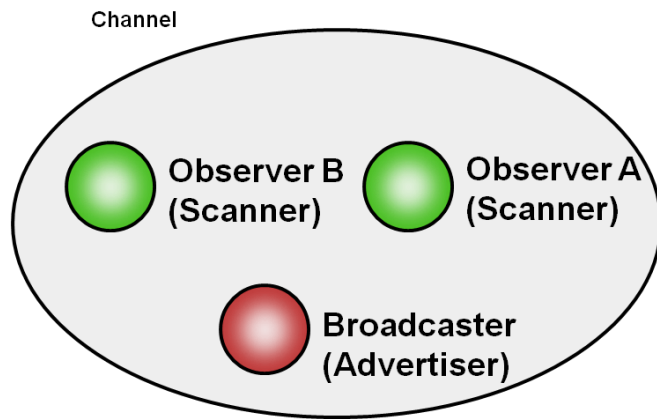
3.3.2. Generic Access Profile (GAP)

Generic Access Profile (GAP) เป็นส่วนที่จัดการในเรื่องการค้นหา และเชื่อมต่ออุปกรณ์อย่างปลอดภัย และการกระจายข้อมูลให้กับอุปกรณ์อื่น การทำงานในโหมด GAP จะสามารถแบ่งรูปแบบการติดต่อสื่อสารได้เป็น 2 แบบ คือ

1. Broadcaster/Observer ใช้สำหรับการสื่อสารแบบ unidirectional โดย broadcaster คอยกระจายข้อมูลของตนให้กับ observer อย่างสม่ำเสมอตามคาบเวลาที่ได้กำหนดไว้ โดยไม่จำเป็นที่จะต้องสนใจว่า observer นั้นได้รับข้อมูลที่ส่งไปหรือไม่

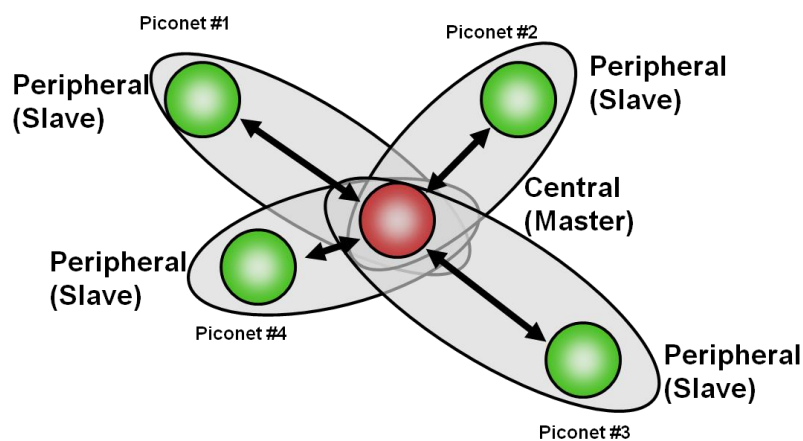
¹ จาก Microchip Developer. Microchip Technology, Inc. ลิขสิทธิ์ 2563 โดย Microchip Technology, Inc.

<https://microchipdeveloper.com/wireless:ble-phy-layer>



รูปที่ 3.2 Network Topology ของ GAP ในการสื่อสารแบบ Broadcaster/Observer²

- Peripheral/Central ใช้สำหรับการสื่อสารแบบ bidirectional โดยทั้ง 2 role จะต้องมีการทำการเชื่อมต่อกันก่อน จึงจะทำการส่งข้อมูลไปมาระหว่างกันได้ โดย peripheral จะคอยกระจายข้อมูลตามที่อุปกรณ์ตนเองได้ถูกตั้งค่าไว้ (discovery mode, advertising interval, advertising data และข้อมูลอื่นที่จำเป็น) เพื่อให้เมื่อ central ต้องการที่จะเชื่อมต่อกับ peripheral อุปกรณ์ที่เป็น central จะหยุดการค้นหา แล้วจะส่ง connection request ไปที่ peripheral ที่ต้องการ

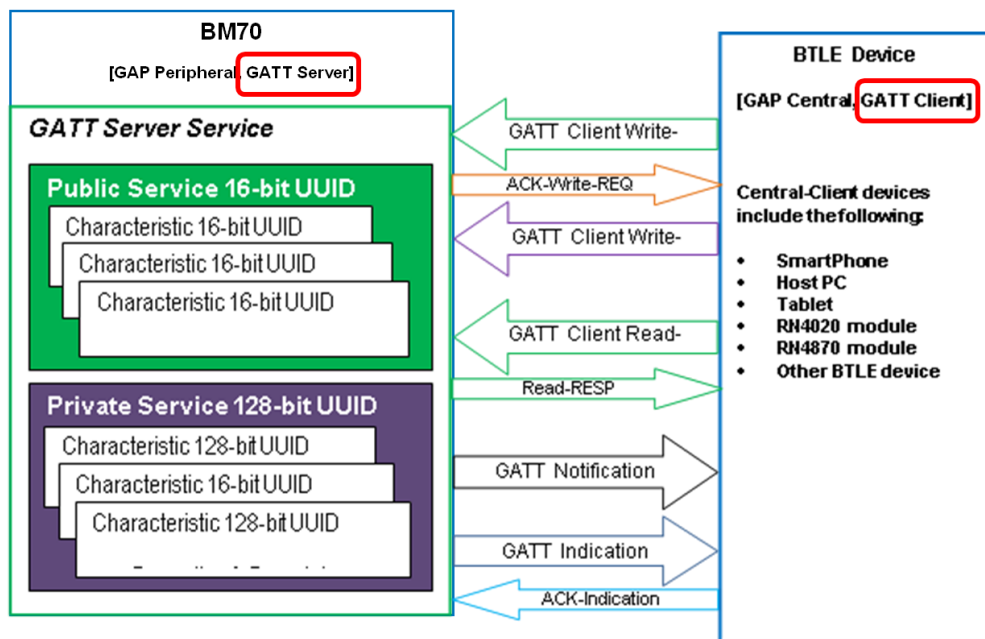


รูปที่ 3.3 Network Topology ของ GAP ในการสื่อสารแบบ Peripheral/Central²

3.3.3. Generic Attribute Profile (GATT)

Generic Attribute Profile (GATT) เป็นส่วนที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ที่เป็น BLE ลักษณะของการสื่อสารจะเปลี่ยนจาก Central/Peripheral เป็น Client/Server ข้อมูลจะถูกบรรจุในรูปแบบ Attribute Database ไว้ให้ client ตรวจสอบ และส่ง request เพื่อขอข้อมูลจาก server

² จาก Microchip Developer. Microchip Technology, Inc. ลิขสิทธิ์ 2563 โดย Microchip Technology, Inc.



รูปที่ 3.4 การติดต่อสื่อสารระหว่าง Peripheral และ Central หลังเชื่อมต่ออุปกรณ์แล้วด้วย GATT³

3.4 Proximity and RSSI

ในการสร้างการทำงานที่ต้องการวัดความใกล้ชิดระหว่างอุปกรณ์ ด้วยการใช้ค่า RSSI ของสัญญาณบลูทูธ นั้นมีหลายปัจจัยที่ควรคำนึงถึงก่อน ดังต่อไปนี้ [4]

3.4.1. RX and RSSI

การสื่อสารไร้สายด้วยคลื่นวิทยุนี้สามารถวัดค่าความแรงของคลื่นสัญญาณการสื่อสารที่ฝั่งตัวรับสัญญาณได้ 2 แบบ คือการวัดด้วย RX และการวัดด้วย RSSI (Received Signal Strength Indication) ความแตกต่างคือ RX เป็นการวัดความแรงของสัญญาณที่ฝั่งรับออกมาเป็นมิลลิวัตต์(mW) หรือ เดซิเบล-มิลลิวัตต์ (dBm) ซึ่งจะเป็นค่าพลังงานจริงที่ได้จากเสาสัญญาณของฝั่งรับ แต่ค่า RSSI จะเป็นค่าร้อยละของความแรงสัญญาณที่ได้รับ กับความแรงสูงสุดที่ฝั่งรับสามารถรับได้ โดยค่า RSSI จะไม่มีค่ากลางที่ถูกกำหนดไว้เป็นตัววัด เพื่อที่จะสามารถบอกได้ว่าพลังงานจริงที่ได้รับคือเท่าไร ส่งผลให้ชิพอุปกรณ์บลูทูธที่มาจากผู้ผลิตที่ต่างกัน มีค่า RSSI ในช่วงที่ไม่เท่ากัน และในบาง API ชั้นสูงของบลูทูธมีเพียงการวัดค่าความแรงของคลื่นสัญญาณในแบบ RSSI แต่ไม่มีการวัดค่าแบบ RX

3.4.2. สิ่งที่มีผลต่อ RSSI ของสัญญาณบลูทูธ

พื้นฐานเดิมของสัญญาณบลูทูธคือสัญญาณวิทยุ ทั้ง RX และ RSSI จึงสามารถได้รับผลกระทบจากหลายปัจจัยเหมือนกับสัญญาณวิทยุทั่วไป เช่น ปัจจัยจากผู้ผลิตโดยในแต่ละผู้ผลิตชิพได้มีการสร้างวิธีการวัดที่แตกต่างกัน ระยะทางระหว่างอุปกรณ์ กำแพง สิ่งกีดขวาง พลังงานที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ เป็นต้น

3 จาก Microchip Developer. Microchip Technology, Inc. ลิขสิทธิ์ 2563 โดย Microchip Technology, Inc.

<https://microchipdeveloper.com/wireless:ble-gatt-overview>

3.4.3. การใช้ RSSI ของบลูทูธเพื่อวัดความใกล้ชิดระหว่างอุปกรณ์

การใช้ค่า RSSI เพื่อระบุตำแหน่งสามารถทำได้หลายเทคนิค เช่น นำค่า RSSI ของหลายจุดอ้างอิงมาทำการคำนวณมุมและระยะเพื่อระบุพิกัดปัจจุบัน หรือในการวัดว่าใกล้อุปกรณ์บลูทูธไหนที่ตนเชื่อมต่ออยู่ มากกว่ากัน คูณผิวนแล้วอาจวัดได้จากค่า RSSI ที่ได้จากอุปกรณ์โดยตรงเลย แต่ความเป็นจริงแล้วค่า RSSI หากวัดระหว่าง 2 อุปกรณ์ที่ตั้งไว้นิ่งๆ ก็มีโอกาที่จะแกว่งขึ้นลง เทคนิคในการจัดการกับปัญหานี้ก็คือการ sampling ค่า RSSI มาในช่วงระยะเวลาหนึ่งแล้วจึงเลือกค่าที่เป็นฐานนิยมออกมาใช้ ด้วยวิธีการนี้ จะช่วยให้การวัดความใกล้ชิดระหว่างอุปกรณ์ แม่นยำมากขึ้น เป็นต้น

3.5 Bluetooth Low Energy Beacon

BLE Beacon คือ อุปกรณ์ที่ใช้ Bluetooth low energy ในการกระจายข้อมูลไปยังอุปกรณ์ที่อยู่ใกล้เคียง ทำให้โทรศัพท์มือถือ หรืออุปกรณ์อื่นสามารถทำงานต่างๆได้ตามต้องการเมื่ออยู่ในรัศมีของ Beacon

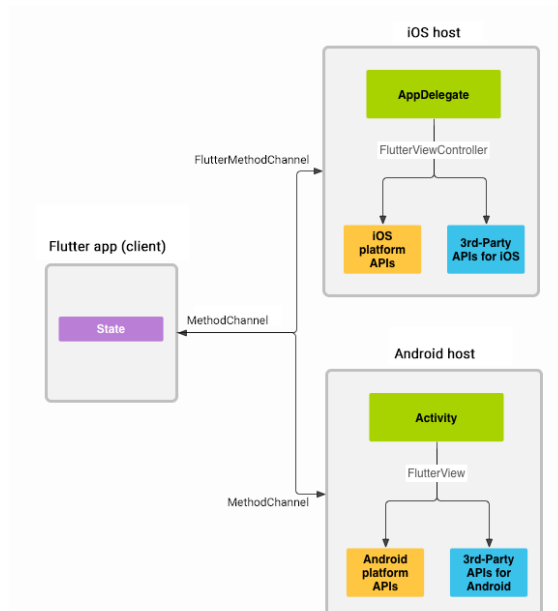
การทำงานของ BLE Beacon จะใช้สัญญาณบลูทูธส่งข้อมูลเอกลักษณ์ของตนเองให้กับอุปกรณ์ที่อยู่รอบข้าง ถ้าอุปกรณ์นั้นสามารถรองรับ beacon ที่มีเอกลักษณ์นั้นได้ ก็จะทำให้สามารถทำงานบางอย่าง หรือรู้ข้อมูลของอุปกรณ์ BLE beacon นั้นได้ เช่น ตำแหน่งของอุปกรณ์ การตามรอยอุปกรณ์ หรือทำให้เกิด location-based action ต่างๆได้ เช่น การเช็คอินบน social media หรือแสดง notification บนโทรศัพท์

ในปัจจุบันมีหลายบริษัทได้พัฒนาโปรโตคอลที่ใช้กำหนดการทำงานของ BLE Beacon สำหรับผู้พัฒนาและผู้ผลิต เช่น iBeacon ของ Apple [\[5\]](#) และ Eddystone ของ Google [\[6\]](#)

3.6 Flutter

Flutter [\[7\]](#) คือ Software Development Kit สำหรับพัฒนาแอปพลิเคชันโทรศัพท์แบบ cross-platform ของ Google มีจุดเด่นในด้านการสร้างแอปพลิเคชันที่มี user interface และ experience ที่ดีทั้งบน iOS และ android และมี performance ที่ดีบนทุก platform เนื่องจาก Flutter ใช้ Skia เป็น engine พื้นฐานในการพัฒนา framework

Flutter มีความสามารถในการสร้างแอปพลิเคชันที่รองรับ platform โดยเจาะจงได้ โดยการเพิ่ม native source code ที่เป็นภาษา Objective-C หรือ Swift ในส่วน iOS และ Java หรือ Kotlin ในส่วน android ทำให้สามารถพัฒนา plugin ให้รองรับบนทั้ง 2 platform ได้ง่าย มี library ที่ช่วยในการพัฒนาฟังก์ชันการทำงานที่ต้องการได้เยอะ และสามารถพัฒนาแอปพลิเคชันที่ต้องเรียกใช้ฟังก์ชันบางอย่างที่เจาะจงลงไปตัวโทรศัพท์ เช่น การดำเนินการใน background ได้ นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาแอปพลิเคชันที่สามารถแบบ multithread เพื่อประมวลผลระหว่างการใช้งานโดยไม่ดึงทรัพยากรจากการทำงานหลักได้ [\[8\]](#)

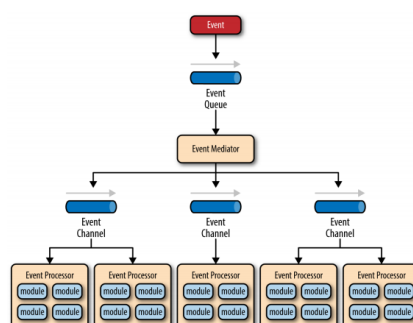


รูปที่ 3.5 การติดต่อข้อมูลระหว่าง client (แอปพลิเคชัน Flutter) และ host (แพลตฟอร์มบนโทรศัพท์) โดยการส่งข้อความผ่าน platform channel⁴

3.7 Event-driven Architecture

Event-driven Architecture [9] คือ สถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์ที่ประกอบด้วยส่วนประกอบย่อยทำหน้าที่ประมวลผล event ที่เข้ามาในระบบอย่างเป็นขั้นตอน โดยทุกส่วนจะถูกแยกออกจากกัน มีข้อดีด้านความคล่องตัว สามารถทำการทดสอบได้ง่าย ประสิทธิภาพสูง และสามารถขยายระบบได้ง่าย แต่ความซับซ้อนสูง เหมาะสำหรับระบบที่มีข้อมูลเข้าปริมาณมาก และทำงานเรียลไทม์ [10] โดย Event-driven Architecture มีอยู่ 2 รูปแบบ คือ

1. Mediator Pattern รูปแบบที่มีตัวกลางทำหน้าที่จัดการ event ที่เข้ามา ก่อนที่จะส่ง event ไปที่ event channel เพื่อไปประมวลผลที่ event processor ที่กำลังรับข้อมูลจาก event channel เหมาะสำหรับระบบที่ต้องมีการจัดการควบคุมข้อมูลที่เข้าไป เช่น ระบบตลาดหลักทรัพย์



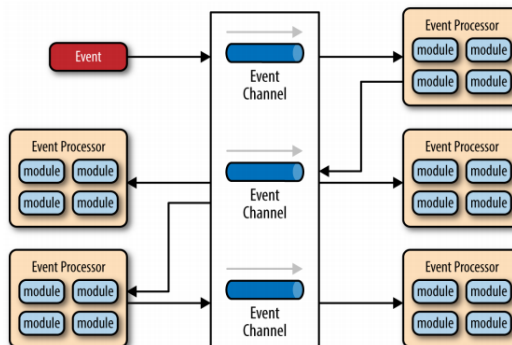
รูปที่ 3.6 Event-driven architecture mediator topology⁵

⁴ จาก Flutter Documentation. Google Inc. ลิขสิทธิ์ Creative Commons Attribution 4.0 International License.

<https://flutter.dev/docs/development/platform-integration/platform-channels>

⁵ จาก Software Architecture Patterns (น. 12) โดย Mark Richards. น. 12. O'Reilly Media, Inc. ลิขสิทธิ์ 2558 โดย O'Reilly Media

2. Broker Pattern คือรูปแบบที่มีตัวกลางเป็น message broker ทำหน้าที่รับ event ที่เข้ามา แล้วส่งต่อไประบบย่อยที่เชื่อมต่อกับ message broker เพื่อนำไปประมวลผล และสามารถส่ง event กลับไปที่ message broker ได้ เหมาะสำหรับระบบที่ต้องมีการทำงานเป็นขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อน และไม่ต้องการการจัดการส่วนกลาง



รูปที่ 3.7 Event-driven architecture broker topology⁶

3.8 Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)

MQTT [\[11\]](#) คือ โพรโทคอลการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ (machine-to-machine) ที่ใช้หลักการ publisher/subscriber เป็นพื้นฐานของโปรโตคอล โดยมีอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับ broker และรับสมัครการรับข้อความจาก topic ที่ต้องการ (subscriber) อุปกรณ์ที่ส่งข้อความเข้าไปใน topic (publisher) และตัวกลางที่ทำหน้าที่จัดการข้อความที่ส่งจาก publisher และส่งข้อความให้กับ subscriber (broker) MQTT สามารถเลือกใช้โปรโตคอล TCP/IP หรือ WebSocket ในการส่งข้อมูล [\[12\]](#)

MQTT ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในหลายๆระบบ [\[13\]](#) เช่น Facebook Messenger ระบบสมาร์ทโฮม ระบบการแจ้งเตือนภัยพิบัติแบบ Crowdsourcing เป็นต้น ในการใช้งานโปรโตคอล MQTT สามารถนำระบบ MQTT Broker ที่เป็น open-source ติดตั้งบนเซิร์ฟเวอร์ เช่น Eclipse Mosquitto [\[14\]](#) หรือใช้บริการจากผู้ให้บริการคลาวด์ เช่น Azure IoT Hub [\[15\]](#) เป็นต้น

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Related Works)

4.1 Indoor Positioning System for IoT Device based on BLE Technology and MQTT Protocol

งานวิจัย [\[16\]](#) เกี่ยวกับการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้การวัดค่า RSSI ระหว่าง BLE Beacon กับ ESP32 จากวิธีการระบุตำแหน่งแบบ trilateration ทำให้พบว่าตำแหน่งที่ระบุกับตำแหน่งจริงมีความใกล้เคียงกัน แต่การวางตำแหน่งในระบบที่ทดลองที่เป็นแบบตารางสี่เหลี่ยมอาจจะทำให้การนำไปใช้ใน

⁶ จาก Software Architecture Patterns (น. 16) โดย Mark Richards. น. 12. O'Reilly Media, Inc. ลิขสิทธิ์ 2558 โดย O'Reilly Media

สถานการณ์จริงยากขึ้น เพราะ ต้นทุนที่ใช้ทางฮาร์ดแวร์สูง นอกจากนี้ยังมีการทดสอบการส่งข้อมูลจาก ESP32 ไปยัง MQTT Broker ซึ่งถูกใช้ในระบบที่มีสถาปัตยกรรมแบบ event-driven architecture แม้ว่าดีเลย์ของ MQTT Broker อาจจะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.7 - 2.5 วินาที เนื่องจากทดสอบบน public broker แต่ถ้าใช้ MQTT Broker บนระบบส่วนตัว หรือใช้ของผู้ให้บริการคลาวด์อาจจะช่วยให้ดีเลย์ลดลงได้

4.2 A Bluetooth Low Energy Indoor Positioning System with Channel Diversity, Weighted Trilateration and Kalman Filtering

งานวิจัยการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้ BLE Beacon ให้มีความแม่นยำมากขึ้น และลดการใช้พลังงาน โดยวิธีการ Kalman filtering, Weighted trilateration และ Frequency Diversity [17] ประกอบกัน พบว่าวิธีการที่คำนวณสามารถลดความผิดพลาดลงไปได้ และใช้ได้กับพื้นที่ที่ขนาดไม่มาก หรือพื้นที่นั้นมี BLE Beacon เยอะ ทำให้เกิด trade-off ระหว่างความแม่นยำ กับจำนวน BLE Beacon

4.3 Phone Application for indoor localization based on BLE signal mapping

งานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในห้องโดยใช้ BLE Beacon กับโทรศัพท์ [18] วิธีการระบุตำแหน่งที่ใช้คือ RSSI Fingerprinting โดยใช้โทรศัพท์เก็บค่า RSSI ที่วัดได้กับ BLE Beacon ที่อยู่ในห้อง เพื่อนำมาใช้ในการระบุตำแหน่ง ซึ่งเทคนิคนี้อาจจะใช้หน่วยความจำในโทรศัพท์มือถือเยอะเมื่อเทียบกับการทำ trilateration และประยุกต์ใช้กับสถานการณ์ที่ผู้ใช้ไม่ได้อยู่ในสถานที่นั้นเป็นเวลานาน

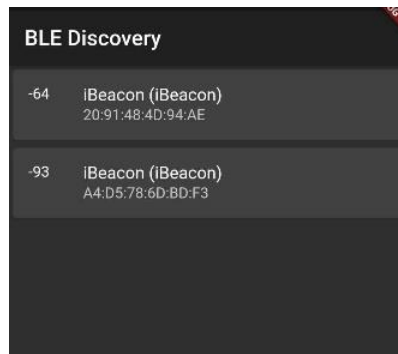
5. ขอบเขตของโครงการ (Scope)

1. ศึกษา วิเคราะห์ และสรุปผลรายละเอียดทางเทคนิคของบลูทูธ และการนำไปประยุกต์ใช้
2. กำหนดขอบเขตของการพัฒนา และขอบเขตของการทดสอบ ของระบบสาธิตที่สมบูรณ์แล้ว
3. พัฒนาระบบสาธิตที่สามารถใช้งานได้จริง เป็นไปตามการออกแบบ และวัดประสิทธิภาพได้

6. การพัฒนาโครงการ (Project Development)

6.1 ขั้นตอนการพัฒนา (Methodology)

การพัฒนาระบบเริ่มจากการพัฒนาแอปพลิเคชันโทรศัพท์ที่สามารถตรวจวัดความเข้มของสัญญาณระหว่างโทรศัพท์มือถือ และ BLE Beacon และรับข้อมูลของ BLE Beacon เช่น MAC Address และชื่อของ Beacon โดยแอปพลิเคชันที่พัฒนานั้นใช้ Flutter เป็นเครื่องมือในการพัฒนา เพื่อที่จะนำไปทดสอบ และนำไปต่อยอดในการทำระบบต่อไป



รูปที่ 6.1 แอปพลิเคชัน Flutter ที่ทดลองพัฒนาเพื่อทดสอบ Bluetooth Scanning กับ BLE Beacon



รูปที่ 6.2 BLE Beacon

ขั้นตอนการพัฒนาระบบ

1. กำหนดขอบเขตของโครงการ และวางแผนการดำเนินการ
2. ศึกษา และทดลองตามขอบเขตของโครงการที่ได้กำหนดไว้
3. ออกแบบระบบที่จะพัฒนา การจัดการข้อมูลภายในระบบ และ User Interface ที่อยู่ภายในระบบ
4. ระบบตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยแบ่งเป็น 4 ส่วน
 - a. แอปพลิเคชันของโทรศัพท์สำหรับผู้ใช้งาน
 - b. ส่วนการจัดการข้อมูลตำแหน่งของผู้ใช้ที่ได้มาจากโทรศัพท์มือถือ
 - c. ส่วนการจัดการข้อมูลบริการตามตำแหน่ง
 - d. ส่วนเว็บจัดการระบบสำหรับผู้ดูแลสถานที่
5. ทดสอบ วัดประสิทธิภาพ และสรุปผลการทดสอบ
6. ส่วนที่บกพร่องในการทดสอบของระบบ
7. จัดทำเอกสารสรุปผลของโครงการ

เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา

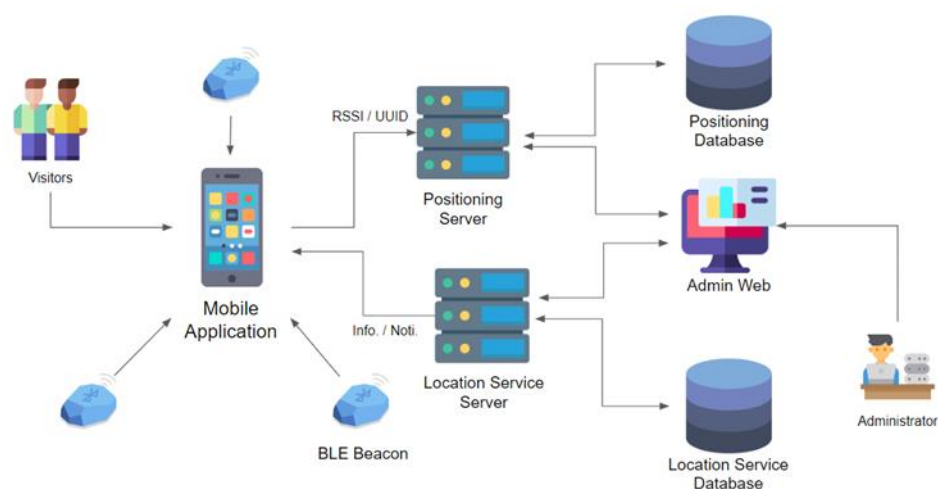
1. Bluetooth 4.0 Module BLE CC2541 ใช้เป็น BLE Beacon
2. โทรศัพท์มือถือของผู้พัฒนา (Galaxy A50 และ iPhone X)

3. Flutter Software Development Kit เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันโทรศัพท์สำหรับผู้เยี่ยมชมแบบ cross-platform
4. React Web Framework เพื่อพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับผู้ดูแลนิทรรศการ
5. Express Web Framework เพื่อพัฒนา Application Programming Interface (API) ในการติดต่อกับระบบฐานข้อมูล
6. บริการคลาวด์ของ Microsoft Azure ประกอบด้วย Azure Functions, Azure Event Hub, Azure IoT Hub, Blob Storage และ Cosmos DB
7. Visual Studio Code เป็น IDE หลักในการพัฒนาระบบ

6.2 การออกแบบ (Design)

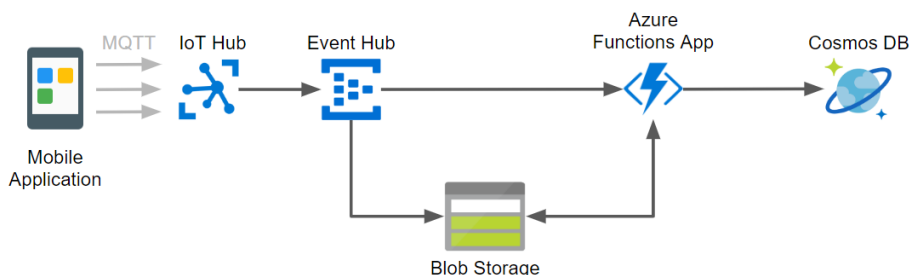
ระบบที่จะพัฒนาจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ

1. ส่วนของแอปพลิเคชันสำหรับผู้ใช้งาน โดยแอปพลิเคชันจะต้องสามารถวัดค่าต่างๆ จาก Beacon ได้ เพื่อใช้ในการระบุตำแหน่ง และรับบริการตามตำแหน่ง
2. ส่วนของการจัดการข้อมูลตำแหน่งที่ได้มาจากโทรศัพท์มือถือ ประกอบด้วยฐานข้อมูลของตำแหน่งที่ได้จากโทรศัพท์มือถือ และระบบเบื้องหลังที่ต้องใช้เพื่อรับตำแหน่งจากโทรศัพท์มือถือ และส่งข้อมูลติดต่อกับ Admin Web
3. ส่วนของการจัดการข้อมูลบริการตามตำแหน่ง ประกอบด้วยฐานข้อมูลของบริการตามตำแหน่งของ BLE Beacon และระบบเบื้องหลังที่ต้องใช้ในการส่งการแจ้งเตือน และข้อมูลไปยังโทรศัพท์มือถือ และติดต่อกับ Admin Web
4. ส่วนเว็บจัดการระบบสำหรับผู้ดูแลสถานที่ (Admin Web) ซึ่งใช้ในการจัดการ BLE Beacon และข้อมูลที่ต้องส่งให้กับผู้ใช้



รูปที่ 6.3 Context Diagram ของระบบ

ในส่วนที่ 1 และ 2 ที่เกี่ยวข้องกับการจัดเก็บข้อมูลตำแหน่งของโทรศัพท์ ได้ออกแบบให้การจัดเก็บข้อมูลสามารถขยายต่อได้ง่าย โดยโดยใช้บริการของ Microsoft Azure โดยใช้ IoT Hub ในการรับข้อมูลจากโทรศัพท์ผ่าน MQTT Protocol ผ่าน Event Hub โดยมี Blob Storage จะคอยสำรองข้อมูลที่ได้รับชั่วคราว แล้วส่งให้โปรแกรมใน Functions App ทำงาน เพื่อประมวลผลข้อมูลแล้วจัดเก็บไว้สำหรับการเรียกใช้ใน Cosmos DB



รูปที่ 6.4 ระบบการจัดเก็บตำแหน่งโทรศัพท์ของผู้ใช้โดยใช้ Microsoft Azure

6.3 แนวทางการทดสอบและการวัดประสิทธิภาพ (Test and Performance Evaluation Approaches)

การทดสอบมีอยู่ 2 ส่วน คือ

1. การทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ การทดสอบการสแกนหา BLE Beacon ค่าที่วัดได้เมื่อเทียบกับทิศทาง ระยะห่าง และตำแหน่งของ BLE Beacon และกรณีที่มีสิ่งกีดขวางระหว่างโทรศัพท์มือถือกับ BLE Beacon
2. การทดสอบระบบหลังพัฒนาระบบสาธิตเสร็จ ได้แก่ ประสิทธิภาพด้านความเร็ว ความแม่นยำ และความถูกต้องของข้อมูล

7. แผนการดำเนินโครงการ (Timeline)

การพัฒนาโครงการนี้ จะแบ่งเป็น 6 ส่วนหลัก คือ

1. ศึกษาทฤษฎีทางวิชาการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบระบบ และกรณีการทดสอบระบบ
3. พัฒนาระบบตามที่ได้ออกแบบไว้
4. ทดสอบระบบ และแก้ไขส่วนที่ยังไม่ผ่านการทดสอบ
5. ปรับปรุงระบบที่พัฒนา
6. จัดทำเอกสารการพัฒนาระบบ

ทั้งนี้ในแต่ละขั้นตอนอาจมีระยะเวลาที่ซ้อนทับกัน โดยมีรายละเอียด และช่วงเวลาดังเช่นใน ตารางที่ 7

ตารางที่ 7 Gantt chart ขั้นตอน และช่วงเวลาในพัฒนาโครงการ

ข้อ	รายละเอียด	ปี 2563										ปี 2564		
		Project Preparation				Project 1						Project 2		
		01	02	03	04	08	09	10	11	12	01	02	03	
1.	ศึกษาทฤษฎีทางวิชาการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง													
2.	ออกแบบระบบ และกรณีการทดสอบระบบ													
3.	พัฒนาระบบตามทีออกแบบไว้													
4.	ทดสอบระบบ และแก้ไขส่วนที่ยังไม่ผ่าน													
5.	ปรับปรุงระบบที่พัฒนา													
6.	จัดทำเอกสารประกอบการพัฒนา													

8. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Benefits)

- ระบบที่พัฒนาสามารถสร้างประสบการณ์ให้กับผู้ที่ใช้งานในการเยี่ยมชมได้
- ระบบที่พัฒนาสามารถลดการใช้เอกสารที่เป็นกระดาษได้
- ระบบที่พัฒนาสามารถช่วยให้ผู้ดูแลนิทรรศการ ภัณฑารักษ์ที่ดูแลพิพิธภัณฑ์ทราบถึงการเยี่ยมชมของผู้มาเยี่ยมชมได้ เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการจัดนิทรรศการครั้งต่อไป

9. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] Allen Osborne Associates, Principles of GPS (February, 1997)
https://www.mouser.be/pdfdocs/GPS_facts_principles_of_gps.pdf
- [2] Brena, Ramon F., et al. "Evolution of indoor positioning technologies: A survey." Journal of Sensors 2017 (2017).
<http://downloads.hindawi.com/journals/js/2017/2630413.pdf>
- [3] Microchip Developer. (2020). Introduction to Bluetooth® Low Energy.
<https://microchipdeveloper.com/wireless:ble-introduction>
- [4] Bluetooth SIG, Inc. (2020). Proximity and RSSI
<https://www.bluetooth.com/blog/proximity-and-rssi/>
- [5] Apple Inc. (2014). Getting Started with iBeacon,
<https://developer.apple.com/ibeacon/Getting-Started-with-iBeacon.pdf>
- [6] Google Inc. (2018). Specification for Eddystone, an open beacon format from Google.
<https://github.com/google/eddystone>
- [7] Google Inc. (2020). Flutter Documentation. <https://flutter.dev/docs>
- [8] Google Inc. (2020). Writing custom platform-specific code.
<https://flutter.dev/docs/development/platform-integration/platform-channels> accessed March 27, 2020.
- [9] Mark Richards. (2017). Software Architecture Patterns. O'Reilly Media, Inc.
<https://www.oreilly.com/programming/free/files/software-architecture-patterns.pdf>
- [10] Microsoft. (2020). Event-driven architecture style, <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/architecture/guide/architecture-styles/event-driven>
- [11] Eclipse Foundation, Inc. (2019). MQTT man page. <https://mosquitto.org/man/mqtt-7.html>
- [12] OASIS. (2019). MQTT Version 5.0. <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.pdf>
- [13] tocool24. (2019). Example uses. mqtt/mqtt.github.io Wiki.
<https://github.com/mqtt/mqtt.github.io/wiki/Example-Uses>

- [14] Eclipse Foundation, Inc. (2019). Eclipse Mosquito. <https://mosquitto.org/>
- [15] Microsoft. (2020). Introduction to Azure IoT Hub. <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/iot-hub/about-iot-hub>
- [16] Mekki, K., Bajic, E., & Meyer, F. (2019, April). Indoor positioning system for IoT device based on BLE technology and MQTT protocol. In 2019 IEEE 5th World Forum on Internet of Things (WF-IoT) (pp. 787-792). IEEE.
https://www.researchgate.net/publication/332523730_Indoor_Positioning_System_for_IoT_Device_based_on_BLE_Technology_and_MOTT_Protocol
- [17] Cantón Paterna, V., Calveras Auge, A., Paradells Aspas, J., & Perez Bullones, M. A. (2017). A bluetooth low energy indoor positioning system with channel diversity, weighted trilateration and kalman filtering. *Sensors*, 17(12), 2927.
https://pdfs.semanticscholar.org/7987/a81ade9b284b4ee854511f174cfe00433e69.pdf?_ga=2.3803184.1223132616.1587609409-2093389441.1587609409
- [18] Benaissa, B., Hendrichovsky, F., Yishida, K., Koppen, M., & Sincak, P. (2018, February). Phone application for indoor localization based on Ble signal Fingerprint. In 2018 9th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS) (pp. 1-5). IEEE.
<http://archive.mobicase.org/2018/media/uploads/5-filip-hendrichovsky.pdf>