

ระบบนำทางภายในอาคารด้วยความเป็นจริงเสริม

Augmented Reality Indoor Navigation System

บุณทริกา โพชนงค์เดช, เอี่ยมพร รักกำหนด และ สมเกียรติ วังศิริพิทักษ์

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

ABSTRACT – Augmented reality based indoor navigation system running on a smartphone is proposed to be used for in-building navigation. The system uses a built-in camera to capture the image of surroundings, detects a natural marker in the image, and calculates the pose of the camera with respect to the marker. The position and orientation of the camera (which are the same as the smartphone itself) with respect to the indoor map are then determined using the pose information of that marker—note that each marker must be pre-registered with pose information in the system. Once the destination is specified by the user, the shortest path to that destination will be calculated and the arrow pointing along the path to the destination will be augmented on the scene. The information message explaining the route will also be annotated on the screen and be read out to help guide users to the destination. In addition, the system can display a top view map of building, showing current position and facing direction of the user, and drawing the route to the destination—the top-view mode provides a better understanding and experience for the user. The accuracy of marker detection in the proposed system depends on the distance from the marker, the viewing angle, the type of the camera, and characteristics of the marker. Experimental results in real environments show that more than 70% of detection accuracy is achieved when the marker has high details and uniqueness, regardless of camera type. The viewing angle, on the other hand, has less impact on detection accuracy; except when many other irrelevant scene components appear in the view. The detection error is mostly caused by the ‘no matches found’—not the ‘mismatch’; a slight movement of the camera normally helps the system correctly recognize the place. The calculation of the shortest path to the destination, the display of route and arrow, and the voice guidance work perfectly without error.

KEY WORDS -- Indoor navigation; augmented reality; natural marker; smartphone

บทคัดย่อ -- ระบบนำทางภายในอาคารด้วยความเป็นจริงเสริม ทำงานบนสมาร์ทโฟน โดยใช้กล้องบนสมาร์ทโฟนในการรับภาพมาร์กเกอร์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ (Natural Marker) ในสภาวะแวดล้อมนั้น ๆ เพื่อค้นคืนตำแหน่งและทิศทางการหันของสมาร์ทโฟน และแสดงข้อมูลดังกล่าวบนแผนที่ของอาคาร ทำให้ผู้ใช้งานทราบตำแหน่งปัจจุบันในอาคารและทิศทางการหัน โดยจะต้องมีการบันทึกตำแหน่งและทิศทางการหันของภาพมาร์กเกอร์ทั้งหมดไว้ในระบบเป็นการล่วงหน้า เมื่อผู้ใช้ระบุจุดหมายปลายทางภายในอาคาร ระบบจะคำนวณเส้นทางที่สั้นที่สุดไปยังปลายทางนั้น พร้อมทั้งแสดงความเป็นจริงเสริม (Augmented reality) เพิ่มเข้าไปในภาพ เพื่อช่วยนำทางผู้ใช้งานไปยังจุดหมาย ความเป็นจริงเสริม ประกอบด้วยลูกศรชี้ทาง ข้อความแนะนำ และเสียงแนะนำ นอกจากนี้ระบบสามารถแสดงตำแหน่ง ทิศทางการหัน และเส้นทางบนแผนที่ภาพมุมมองของชั้นอาคาร เพื่อให้ผู้ใช้งานมองเห็นภาพรวมและสามารถใช้ระบบในการนำทางได้ดียิ่งขึ้น โดยประสิทธิภาพในการรู้จำสถานที่ จะขึ้นอยู่กับระยะ ทิศทาง และประเภทของกล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพมาร์กเกอร์ รวมถึงลักษณะของมาร์กเกอร์ที่เลือกใช้ ผลการทดสอบภายใต้สภาวะการใช้งานจริง พบว่าที่ระยะ ± 2 เมตรจากตำแหน่งที่ถ่ายภาพต้นแบบ จะมีความแม่นยำในการรู้จำเฉลี่ยมากกว่า 70% เมื่อมาร์กเกอร์มีความละเอียดและความเป็นเอกลักษณ์สูง โดยไม่ขึ้นอยู่กับประเภทของกล้องที่ใช้ถ่ายภาพ ส่วนทิศทางหรือมุมในการถ่ายภาพที่เปลี่ยนไปจะมีผลต่อความแม่นยำเพียงเล็กน้อย ยกเว้นเมื่อมีส่วนประกอบอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องเข้ามาปรากฏอยู่ในมุมมองของกล้อง โดยความล้มเหลวในการรู้จำ ส่วนใหญ่ไม่ใช่ว่าการรู้จำผิดพลาดเป็น

สถานที่อื่น และเมื่อผู้ใช้งานขยับกล้องเพียงเล็กน้อยก็จะสามารถรู้จำสถานที่ได้ ส่วนการคำนวณหาเส้นทางไปยังจุดหมายปลายทาง การแสดงเส้นทางและลูกศรชี้ทาง รวมถึงการแนะนำด้วยเสียง สามารถทำงานได้โดยไม่มีข้อผิดพลาด

คำสำคัญ – การนำทางในอาคาร; ความเป็นจริงเสริม; มาร์กเกอร์ธรรมชาติ; สมาร์ทโฟน

1. บทนำ

ปัจจุบันมีผู้ใช้งานสมาร์ทโฟนเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก จากสถิติในปี 2559 มีผู้ใช้สมาร์ทโฟนทั่วโลกทั้งสิ้น 2.1 พันล้านคน [1] โดยผู้ใช้งานส่วนใหญ่ ได้แก่ นักศึกษาและพนักงานบริษัทวัยรุ่นจนถึงวัยกลางคน ผู้ใช้งานกลุ่มนี้บางครั้งต้องเดินทางไปยังอาคารสถานที่ใหม่ ๆ ที่ตนเองไม่ทราบตำแหน่งของห้องหรือสถานที่ปลายทางในอาคารนั้น ๆ ทำให้เสียเวลาในการค้นหา แม้ว่าในบางอาคารจะมีจุดประชาสัมพันธ์ให้ทำการสอบถามเส้นทาง แต่ถ้าจุดหมายปลายทางดังกล่าวมีระยะทางไกลจากจุดตั้งต้น และเส้นทางเดินมีความซับซ้อน ก็อาจทำให้เกิดความสับสนในระหว่างทางที่เดินได้ ป้ายประชาสัมพันธ์ที่มีการติดตั้งแผนที่มุมบนของอาคาร อาจช่วยนำทางได้ในบางกรณี แต่หากไม่คุ้นชินกับอาคารดังกล่าว ก็จะไม่สามารถหาตำแหน่งของป้ายได้โดยง่าย นอกจากนี้ การทำความเข้าใจกับแผนที่มุมบนก็มีประโยชน์ เนื่องจากผู้ใช้งานจะต้องทราบตำแหน่งปัจจุบันและทิศทางการหันของตนเอง จึงจะสามารถทราบได้ว่า จะต้องเดินไปในทิศทางใด การใช้แผนที่แผนที่พับอาจช่วยแก้ปัญหาการลืมหันเส้นทางระหว่างที่เดินไป แต่ก็ไม่สามารถแก้ปัญหาการหลงตำแหน่งและทิศทางได้ คณะผู้วิจัยและพัฒนาจึงออกแบบและพัฒนาระบบนำทางภายในอาคารนี้ เพื่อแก้ไขปัญหาข้างต้น

ระบบนำทางภายในอาคารด้วยความเป็นจริงเสริม ได้รับการพัฒนาขึ้นให้ทำงานบนสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ตัวระบบจะใช้กล้องที่ติดตั้งมาพร้อมกับสมาร์ทโฟนในการจับภาพมาร์กเกอร์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติภายในอาคาร เพื่อระบุตำแหน่งและทิศทางการหันของผู้ใช้ และแสดงเส้นทางพร้อมกับความเป็นจริงเสริม (ลูกศร ข้อความ เสียง เส้นทาง) เพื่อช่วยนำทางผู้ไปยังจุดหมายปลายทางในอาคารที่ต้องการ

บทความนี้แบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้ ส่วนที่สองรวบรวมผลการศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบการนำทางแบบเดิม และรูปแบบการนำทางแบบใหม่ที่มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีช่วยในการนำทาง ส่วนที่สามนำเสนอระบบที่คณะผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นเพื่อนำทางภายในอาคารด้วยความเป็นจริงเสริม ผล

การทดสอบการทำงานและประสิทธิภาพของระบบจะแสดงไว้ในส่วนที่สี่ โดยในส่วนที่ห้าจะกล่าวถึงข้อสรุปจากการพัฒนาและทดลองใช้ระบบ ตลอดจนข้อเสนอแนะในการวิจัยและพัฒนาในอนาคต

2. การนำทางภายในอาคารแบบเดิมและเทคโนโลยีการนำทางแบบใหม่

รูปแบบการนำทางภายในอาคารแบบเดิมที่ใช้กระดาษและ/หรือป้ายบอกทาง ซึ่งไม่มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วย ยังคงได้รับความนิยมใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากใช้เงินในการลงทุนต่ำ และผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์พิเศษ คณะผู้วิจัยได้รวบรวมสรุปรูปแบบการนำทางดังกล่าว โดยวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียของแต่ละรูปแบบไว้ ณ ที่นี้ และได้ค้นคว้ารวบรวมการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเพื่อการนำทางในอาคารแบบใหม่ ซึ่งมีอยู่หลากหลายประเภท โดยในที่นี้จะขอยกตัวอย่างเฉพาะระบบที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับระบบที่คณะผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น

2.1 รูปแบบการนำทางภายในอาคารแบบเดิม

คณะผู้วิจัยและพัฒนาได้ศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบการนำทางภายในอาคารแบบเดิม ซึ่งมีได้ทั้งพาเทคโนโลยี และยังคงมีการใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ การใช้แผนที่กระดาษขนาดพกพา การใช้แผนที่ขนาดใหญ่ที่ติดตั้งตามจุดต่าง ๆ และการใช้ป้ายบอกทางติดตั้งตามจุดต่าง ๆ ภายในอาคาร

- **การใช้แผนที่กระดาษนำทาง** เป็นการแจกแผนที่ภายในอาคารให้แก่ผู้ใช้งานนอก โดยในแผนที่แผนที่พับจะระบุชื่อห้องต่าง ๆ ไว้บนแผนที่ และสามารถเพิ่มรายละเอียดอื่น เช่น รายชื่อห้องหรือร้านค้า สถานที่จัดงาน และข้อมูลที่สำคัญ ลงในแผนที่เพิ่มเติมได้

- **ข้อดี** ผู้ใช้สามารถเห็นภาพรวมของอาคารได้ตลอดเวลา เนื่องจากสามารถพกแผนที่ติดตัวไว้ได้

ข้อจำกัด หากจุดสังเกตบริเวณรอบตัวผู้ใช้งานมีไม่เพียงพอ ผู้ใช้จะไม่สามารถทราบได้ว่า ณ ปัจจุบันอยู่ที่ส่วนใดของอาคาร และ/หรือ ไม่ทราบว่ากำลังหันหน้าไปในทิศทางใด ทำให้ไม่สามารถกำหนดเส้นทางไปยังจุดหมายปลายทางได้

- **การใช้แผนที่ที่ติดตั้งตามจุดต่าง ๆ ภายในอาคาร** เป็นการนำแผนที่ขนาดใหญ่ไปติดตั้งตามจุดต่าง ๆ เช่น ทางร่วม ทางแยก บันได หน้าลิฟต์ หรือจุดสำคัญที่มีคนมารวมตัวกันหรือเดินผ่านเป็นจำนวนมาก

ข้อดี สามารถระบุตำแหน่งและทิศทางการหันปัจจุบันไว้บนแผนที่ได้

ข้อจำกัด ต้องจดจำตำแหน่งและทิศในการเลี้ยวเพื่อเดินทางไปยังจุดหมายปลายทาง หากมีจุดติดตั้งไม่ทั่วถึง อาจทำให้ผู้ใช้หลงทาง และเสียเวลาในการเดินทางแผนที่เหล่านั้น

- **การใช้ป้ายบอกทางที่ติดตั้งตามจุดต่าง ๆ ภายในอาคาร** เป็นการนำป้ายชี้บอกทาง ติดตั้งไว้เป็นระยะ ๆ ตามทางร่วม ทางแยก ระหว่างทาง ในจุดที่ผู้ใช้สามารถสังเกตเห็นได้ง่าย เช่น แขนงจากข้างบน หรือติดตั้งตามเสา เป็นต้น

ข้อดี สามารถแสดงทิศทางการเดินเพื่อนำทางผู้ใช้งานเป็นระยะ ๆ ตลอดทางที่เดินไปได้

ข้อจำกัด ป้ายบอกทางจะแสดงเฉพาะจุดสำคัญเท่านั้น เพื่อให้มีปริมาณมากเกินไป ผู้ใช้จึงต้องทราบก่อนว่าจุดหมายของตนอยู่ใกล้บริเวณจุดสำคัญใด

โดยทั่วไป ในอาคารขนาดใหญ่ จะมีการใช้ทั้ง 3 รูปแบบข้างต้นในการนำทาง เพื่อแก้ไขข้อจำกัดของแต่ละวิธี แต่การผสมผสานทั้ง 3 รูปแบบนี้ ก็ยังไม่สามารถแก้ไขปัญหาการหลงทางที่เกิดขึ้นระหว่างการเดินในจุดที่ไม่มีแผนที่และป้ายบอกทางติดตั้งไว้ รวมถึงปัญหาของผู้ใช้งานที่ไม่สันทัดในการใช้งานแผนที่

2.2 เทคโนโลยีการนำทางในอาคารแบบใหม่

การนำทางในอาคารโดยใช้เทคโนโลยีช่วยนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งาน โดยผู้ใช้งานจะต้องพกพาอุปกรณ์ช่วยนำทาง (เช่น สมาร์ทโฟน ฯลฯ) ติดตัวไว้ ส่วนมากมักจะมีส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งาน 2 ส่วน ได้แก่ การรับเข้าข้อมูลเพื่อใช้ในการประมวลผลเส้นทาง และการแสดงผลเพื่อช่วยนำทางให้ผู้ใช้งานสามารถเดินไปยังจุดหมายปลายทางได้ นอกจากส่วนที่มีการติดต่อกับผู้ใช้งานแล้ว ระบบนำทางในอาคารแบบใหม่ จะต้องมีส่วนประกอบภายใน

ที่สำคัญอีก 3 ส่วน ได้แก่ การระบุพิกัดปัจจุบันของผู้ใช้ในอาคาร (Indoor positioning) การคำนวณหาเส้นทางจากตำแหน่งปัจจุบันไปยังจุดหมายปลายทาง (Route calculation) และการประมวลข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการแสดงผล (เช่น ทิศทางของลูกศรชี้ทาง ข้อความและเสียงนำทาง เป็นต้น) ปัจจุบันมีการนำเสนอระบบนำทางในอาคารโดยใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกันหลายวิธี ในที่นี้จะแบ่งระบบนำทางออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้

2.2.1 ระบบที่ใช้อุปกรณ์เสริมภายนอก

ผู้ใช้งานระบบประเภทนี้ นอกจากจะต้องพกพาอุปกรณ์ช่วยนำทางแล้ว ผู้พัฒนาระบบจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณไว้ตามตำแหน่งต่าง ๆ ในอาคารด้วย เพื่อช่วยในการระบุพิกัดของผู้ใช้งานที่ถืออุปกรณ์นำทางไว้ (หลักการเกี่ยวกับการใช้ดาวเทียมระบุพิกัด) ปัจจุบันมีการนำเสนอการใช้งานอุปกรณ์ภายนอกประเภทต่าง ๆ หลายประเภท เช่น

- **การใช้ดาวเทียม GPS (Global Positioning System)** เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ดาวเทียมของกระทรวงกลาโหม ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งโคจรรอบโลก ในการช่วยระบุตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณบนพื้นโลก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการนำทางภายนอกอาคารเป็นหลัก แต่ก็สามารถใช้นำทางในอาคารบางแห่งที่สามารถรับสัญญาณของดาวเทียมได้ โดยจะต้องสามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้อย่างน้อย 3-4 ดวง ข้อมูลตำแหน่งของดาวเทียมและเวลาที่สัญญาณดาวเทียมใช้ในการเดินทางมาถึงอุปกรณ์รับสัญญาณ จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณตำแหน่งปัจจุบันของอุปกรณ์รับสัญญาณ ปัจจุบัน มีการใช้เทคโนโลยี A-GPS (Assisted GPS) ซึ่งใช้สัญญาณจากสถานีฐานหรือเสาส่งสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่ มาช่วยระบุตำแหน่งด้วย ซึ่งจะมีประโยชน์มากเมื่ออยู่ในที่อับสัญญาณดาวเทียม

ข้อดี โทรศัพท์เคลื่อนที่ส่วนใหญ่จะมีอุปกรณ์รับสัญญาณ

จากดาวเทียม GPS จึงไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ใด ๆ เพิ่มเติม

ข้อจำกัด หากอยู่ในพื้นที่ที่รับสัญญาณดาวเทียมได้ไม่ดี แม้จะมีการใช้งาน A-GPS ก็อาจเกิดปัญหาในการระบุตำแหน่ง ทำให้ไม่สามารถใช้ระบบนำทางได้

- **การใช้อุปกรณ์กระจายสัญญาณ Wi-Fi** ในขั้นตอนของการติดตั้งระบบ ผู้พัฒนาระบบจะต้องวัดความแรงของสัญญาณ Wi-Fi ที่ได้รับจากอุปกรณ์กระจายสัญญาณ (Wi-Fi Access

Point) ต่าง ๆ ที่ได้ติดตั้งไว้แล้วภายในอาคาร โดยทำการวัดตำแหน่งต่าง ๆ ในอาคาร เพื่อสร้างแผนที่ร่องรอยสัญญาณ (Footprint map) ของอุปกรณ์กระจายสัญญาณ Wi-Fi แผนที่ร่องรอยสัญญาณดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ในการระบุตำแหน่งของผู้ใช้งาน โดยทั่วไป จะสามารถคำนวณหาตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้งานได้ เมื่อสามารถตรวจพบสัญญาณ Wi-Fi จากอุปกรณ์กระจายสัญญาณอย่างน้อย 4 จุด ตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้อุปกรณ์กระจายสัญญาณ Wi-Fi ช่วยในการระบุตำแหน่ง ได้แก่ งานวิจัยที่นำเสนอโดย Evennou และคณะ [2] ซึ่งใช้สัญญาณ Wi-Fi ร่วมกับค่าความถี่ในการระบุตำแหน่งในอาคารของอุปกรณ์พกพา และงานวิจัยที่นำเสนอโดย ลัมฉนิ ชะนะมา และคณะ [3] ซึ่งทำการศึกษาวิธีการปรับปรุงการระบุตำแหน่งภายในอาคารด้วยสัญญาณ Wi-Fi

ข้อดี หากมีการติดตั้งอุปกรณ์กระจายสัญญาณ Wi-Fi ภายในอาคารอยู่แล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องซื้ออุปกรณ์ใด ๆ เพิ่มเติมสามารถใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วภายในอาคารได้ทันที

ข้อจำกัด ในปัจจุบันระบบปฏิบัติการ iOS ยังไม่อนุญาตให้เข้าถึงข้อมูลของจุด Access Point ทำให้ไม่สามารถใช้วิธีนี้กับอุปกรณ์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ได้ นอกจากนี้ ความแรงของสัญญาณ Wi-Fi ที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รับได้ ยังขาดความเสถียร เนื่องจากได้รับผลกระทบจากการบดบังโดยวัตถุที่เคลื่อนไหว (เช่น คนที่เดินไปมา) การบดบังโดยร่างกายของผู้ถืออุปกรณ์ และทิศทางกีดขวางของอุปกรณ์

- **การใช้สัญญาณกระจายสัญญาณ Bluetooth** ระบบนำทางที่ใช้สัญญาณกระจายสัญญาณบลูทูธ มีลักษณะคล้ายคลึงกับระบบนำทางที่ใช้สัญญาณกระจายสัญญาณ Wi-Fi สิ่งที่แตกต่างกัน คือ สัญญาณที่ใช้ในการคำนวณตำแหน่ง ซึ่งเปลี่ยนจากสัญญาณ Wi-Fi เป็นสัญญาณบลูทูธ ตัวอย่างเช่น งานวิจัยและพัฒนาของ กฤษณา ทองเชื้อ และทินกฤต งามดี [4] ซึ่งนำอุปกรณ์กระจายสัญญาณบลูทูธประเภทใช้พลังงานต่ำ ไปติดตั้งตามตำแหน่งต่าง ๆ ภายในอาคาร และใช้สมาร์ทโฟนแอนดรอยด์สร้างแผนที่ร่องรอยสัญญาณ (Fingerprint map) ของบลูทูธ เพื่อนำไปใช้ในการระบุตำแหน่งของผู้ใช้งานต่อไป ผู้วิจัยได้พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อช่วยอำนวยความสะดวกให้กับผู้ติดตั้งระบบ สามารถสร้างแผนที่มุมบนของอาคารได้โดยง่าย ในการนำทาง จะใช้สมาร์ทโฟนที่มีอุปกรณ์รับสัญญาณบลูทูธเป็นเครื่องมือ

ช่วยในการนำทาง โดยจะตรวจวัดค่าความแรงของสัญญาณจากอุปกรณ์กระจายสัญญาณบลูทูธอย่างน้อย 4 ตัว แล้วส่งข้อมูลดังกล่าวไปให้เซิร์ฟเวอร์ทำการประมวลผลหาตำแหน่งให้

ข้อดี สามารถประหยัดการใช้พลังงานได้ หากเลือกใช้สัญญาณกระจายสัญญาณประเภทที่ใช้พลังงานต่ำ

ข้อจำกัด ความแรงของสัญญาณบลูทูธ ที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รับได้ ยังขาดความเสถียร เช่นเดียวกับกรณีการใช้สัญญาณกระจายสัญญาณ Wi-Fi นอกจากนี้ การคำนวณเพื่อระบุทิศทางกีดขวางของอุปกรณ์ ยังทำได้ยาก

- **การใช้ iBeacon** เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนาโดยบริษัทแอปเปิล [5] เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลและตำแหน่งในอาคารให้กับผู้ใช้งานสมาร์ทโฟนที่รองรับเทคโนโลยีนี้ อุปกรณ์ iBeacon อาศัยเทคโนโลยีบลูทูธในการระบุตำแหน่งของผู้ใช้งาน เจ้าของสถานที่จะต้องนำอุปกรณ์กระจายสัญญาณที่เรียกว่า iBeacon ไปติดตั้งในจุดต่าง ๆ ตามอาคาร จุดที่ติดตั้งควรอยู่ในบริเวณที่ส่งสัญญาณได้ดี เช่น บริเวณทางแยก เป็นต้น อุปกรณ์ iBeacon แต่ละตัวจะติดตั้งในบริเวณที่ใกล้กัน และอยู่ในระยะที่สามารถส่งสัญญาณครอบคลุมไปถึง iBeacon ตัวที่อยู่ใกล้เคียงได้ เมื่อผู้ใช้เปิดการใช้งาน iBeacon บนมือถือ และเดินมาที่จุดใด ๆ ในอาคาร อุปกรณ์กระจายสัญญาณ iBeacon จะส่งสัญญาณบลูทูธไปยังสมาร์ทโฟนของผู้ใช้ สมาร์ทโฟนจะตรวจวัดความแรงของสัญญาณ แปลงค่าความแรงให้เป็นค่าระยะห่าง และนำค่าเหล่านั้นมาคำนวณรวมกับค่าที่ได้จากอุปกรณ์กระจายสัญญาณ iBeacon ตัวอื่น เพื่อให้ได้พิกัดของผู้ใช้ที่แม่นยำขึ้น จากนั้น จึงนำพิกัดของผู้ใช้มาระบุสถานที่ที่ผู้ใช้อยู่ หากมีการเพิ่มความสามารถให้แอปพลิเคชันแสดงตำแหน่งบนแผนที่ได้ ก็จะทำให้ผู้ใช้งานสามารถใช้ข้อมูลตำแหน่งในการเลือกเส้นทาง เพื่อเดินทางไปยังจุดหมายที่ต้องการได้ ตัวอย่างเช่น งานวิจัยและพัฒนาของ I.Gorovyi และคณะ [6] ซึ่งได้ทดสอบความแม่นยำของการคำนวณหาตำแหน่งของสมาร์ทโฟน เมื่อได้รับสัญญาณบลูทูธจากอุปกรณ์กระจายสัญญาณ iBeacon จำนวน 4 ตัว ผลการทดสอบพบว่ามีความแม่นยำค่อนข้างสูง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 เมตร
- ข้อดี** ระบบนี้มีความแม่นยำสูง สามารถนำไปใช้ในเชิงธุรกิจได้จริง และยังสามารถใช้ได้ทั้งบนระบบปฏิบัติการ iOS และ Android

ข้อจำกัด อุปกรณ์กระจายสัญญาณ iBeacon แต่ละตัว มีราคาประมาณ 400-500 บาท หากต้องการติดตั้งใช้งานในอาคารหรือสถานที่ที่มีอาณาบริเวณกว้าง ต้องคำนึงถึงปริมาณการใช้งานและผลตอบแทนที่ได้รับว่าคุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายในด้านอุปกรณ์ที่มากขึ้นหรือไม่

2.2.2 ระบบที่ไม่ใช้อุปกรณ์เสริมภายนอก

ผู้ใช้งานระบบประเภทนี้ จะต้องพกพาอุปกรณ์ช่วยนำทางที่สามารถคำนวณตำแหน่งของอุปกรณ์ได้ด้วยตัวเอง โดยผู้พัฒนาระบบไม่จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมอื่นใดไว้ในอาคาร (หลักการเดียวกับการที่มนุษย์สามารถรับรู้ตำแหน่งของตนเองได้จากสภาวะแวดล้อมและ/หรือการเคลื่อนไหวของตนเอง) ตัวอย่างเช่น

- **Inertial navigation system (INS)** หรือระบบนำทางด้วยความเฉื่อย เป็นระบบนำทางซึ่งใช้ค่าความเฉื่อยที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ความเฉื่อย (Inertial sensor) มาทำการคำนวณค่าความเร็วและทิศทางการหันของผู้ใช้อย่างต่อเนื่อง ทำให้สามารถระบุตำแหน่งและทิศทางการหันที่อ้างอิงกับตำแหน่งและทิศทางการหันก่อนหน้านี้ได้ โดยทั่วไปจะใช้ตัววัดความเร่ง (Accelerometer) และตัววัดการหมุน (Gyroscope) ควบคู่กัน โดยอาจใช้ร่วมกับตัววัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก (Magnetometer) [7] อุปกรณ์เหล่านี้เริ่มถูกสร้างขึ้นมาเพื่อนำมาใช้ทางการทหารและดาวเทียมบนอวกาศ ตัวอย่างเช่น งานวิจัยและพัฒนาของฐา กุล เทพศิริ และคณะ [8] ซึ่งใช้ส่วนเสริม IndoorAtlas และเซ็นเซอร์หลายประเภท รวมถึงเซ็นเซอร์วัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก (Magnetometer) ในการสร้างแผนที่อาคารที่มีร่องรอยความความเข้มของสัญญาณต่าง ๆ รวมถึงความเข้มของสนามแม่เหล็กโลก เพื่อนำมาใช้ในการระบุตำแหน่งและนำทางในอาคาร โดยผลการทดสอบพบว่ายังมีค่าความผิดพลาดสูงถึง 20% ส่วนงานวิจัยและพัฒนาของ V. Shivam และคณะ [9] นำเสนอการใช้ตัววัดความเข้มสนามแม่เหล็ก (Magnetometer) ในการตรวจสอบทิศทางการหัน ควบคู่กับตัววัดความเร่ง (Accelerometer) ในการตรวจสอบระยะทางในการก้าวเดินของผู้ใช้

ข้อดี ระบบนี้ไม่จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์เสริมจากภายนอก ทำให้ไม่จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ใด ๆ ในอาคาร

ข้อจำกัด มีสมาร์ตโฟนในอัตราส่วนเพียง 1 ใน 5 รุ่นเท่านั้นที่มีตัววัดการหมุน Gyroscope นอกจากนี้การหาการกระจัด (Displacement) ด้วยตัววัดความเร่ง (Accelerometer) นั้น จะใช้การคำนวณทางปริพันธ์ (Integration) อย่างต่อเนื่อง หากมีความคลาดเคลื่อนในการคำนวณการกระจัดแต่ละครั้ง แม้จะมีค่าเพียงเล็กน้อย แต่ค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวจะถูกสะสมอยู่ในค่าตำแหน่งที่คำนวณได้ ทำให้ค่าตำแหน่งที่คำนวณได้แตกต่างไปจากค่าความจริงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เกิดปัญหาที่เรียกว่า Tracking drift หากไม่มีการอ้างอิงข้อมูลจากภายนอก ก็จะไม่สามารถขจัดปัญหา Tracking drift นี้ให้หมดไปได้

- **Vision based system** หรือระบบนำทางด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่ายของสภาวะแวดล้อม เป็นระบบนำทางซึ่งใช้กล้อง (Image sensor) บันทึกภาพวิดีโอของสภาวะแวดล้อม และนำค่าข้อมูลทีวิเคราะห์ได้จากภาพวิดีโอเหล่านั้น มาทำการคำนวณหาตำแหน่งและทิศทางการหันของผู้ใช้ โดยทั่วไประบบจะต้องทำการบันทึกภาพถ่าย ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในอาคารไว้ล่วงหน้า และทำการระบุตำแหน่งและทิศทางที่ได้บันทึกภาพถ่ายแต่ละภาพไว้ในระบบ ส่วนในขั้นตอนของการนำทางนั้น ผู้ใช้งานจะต้องส่งกล้องที่ติดตั้งอยู่กับอุปกรณ์นำทาง เพื่อให้ระบบทำการคำนวณหาตำแหน่งและทิศทางการหันของกล้อง โดยอาศัยผลลัพธ์จากการจับคู่ (matching) ข้อมูลในภาพปัจจุบันกับภาพถ่ายที่บันทึกไว้ล่วงหน้า ตัวอย่างเช่น การระบุทิศทางของผู้ใช้งานด้วยกล้องสมาร์ตโฟน ซึ่งนำเสนอโดย E. Deretey และคณะ [10] ที่ใช้กล้อง Kinect เก็บภาพโดยรอบของห้องหรืออาคารไว้ล่วงหน้า แล้วนำมาประมวลผลเพื่อสร้างแผนที่สามมิติเก็บไว้ในฐานข้อมูลของระบบ โดยในการคำนวณหาตำแหน่งของผู้ใช้งานนั้น จะใช้กล้องในสมาร์ตโฟนรับภาพเข้ามาเพื่อทำการค้นคืนตำแหน่ง ผลการทดสอบพบว่าสามารถคำนวณหาตำแหน่งปัจจุบันได้ค่อนข้างแม่นยำ นอกจากนี้ยังมีอีกหนึ่งงานวิจัยและพัฒนาที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง ได้แก่ แอปพลิเคชัน Travi-Navi ที่นำเสนอโดย Y. Zheng และคณะ [11] ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันที่ใช้ข้อมูลภาพจากกล้องร่วมกับข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ความเฉื่อย (Inertial sensor) ในการเก็บเส้นทางการเดินของผู้ใช้งานที่เคยเดินผ่านสถานที่นั้นมาก่อน เพื่อนำมาเป็นฐานข้อมูลสำหรับการนำทางในอนาคต โดยทุกครั้งที่ผู้ใช้ใช้งานเดินผ่านเส้นทางใหม่ภายใน

อาคาร ระบบจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเส้นทางใหม่ ๆ เหล่านั้น ทำให้ได้รับข้อมูลแผนที่ในอาคารเพิ่มขึ้น ระบบจะนำข้อมูลเส้นทางที่เพิ่มขึ้นเหล่านี้ มาใช้ในการคำนวณหาเส้นทางนำทางที่เหมาะสมยิ่งขึ้นให้กับผู้ใช้งานอื่นต่อไป

ข้อดี ผู้ดูแลระบบไม่จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์เสริมในอาคารที่ต้องการนำทาง

ข้อจำกัด หากระบบใดมีการคำนวณที่ซับซ้อน (เช่น การวิเคราะห์ข้อมูลภาพ เป็นต้น) และอุปกรณ์นำทางมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ อาจทำให้ไม่สามารถประมวลผลบนอุปกรณ์นำทางนั้นได้ทั้งหมด จำเป็นต้องมีการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไปยังเครื่องแม่ข่ายเพื่อทำการคำนวณให้

2.2.3 ระบบแบบผสมผสาน

ระบบนำทางบางระบบจะผสมผสานข้อมูลที่ได้จากตัวอุปกรณ์นำทางและจากอุปกรณ์เสริมที่ติดตั้งไว้ตามตำแหน่งต่าง ๆ ของอาคาร มาช่วยในการคำนวณหาตำแหน่งและทิศทางการหันของผู้ใช้งาน ตัวอย่างเช่น

- ระบบ CAViAR ที่นำเสนอโดย B. A. Delail และคณะ [12] ซึ่งใช้กล้องที่ติดตั้งอยู่ในสมาร์ทโฟนในการระบุตำแหน่งเริ่มต้น และใช้เซ็นเซอร์ความเฉื่อย (Inertial sensor) ในการเฝ้าติดตามการเดินของผู้ใช้งาน เพื่อคำนวณตำแหน่งปัจจุบันโดยมีการใช้ความเป็นจริงเสริม (Augmented reality) ในการแสดงผลข้อมูลของห้องต่าง ๆ ที่ปรากฏอยู่ในกล้อง
ข้อดี สามารถใช้ข้อมูลจากส่วนอื่นในการคำนวณหาผลลัพธ์ของอีกส่วน ทำให้ได้ตำแหน่งที่แม่นยำมากขึ้น
ข้อจำกัด หากมีการผสมผสานข้อมูลเป็นจำนวนมาก ระบบจะมีความซับซ้อนมากขึ้น ทำให้ผู้พัฒนาและผู้ดูแลระบบต้องใช้เวลาในการพัฒนาและบำรุงรักษาระบบมากขึ้น
- ระบบ Google Tango ที่พัฒนาขึ้นโดยทีมวิจัยจาก Cologne Intelligence [13] ซึ่งใช้เซ็นเซอร์ประเภทต่าง ๆ รวมถึงกล้องที่ติดตั้งอยู่ในสมาร์ทโฟนในการประมวลผลที่สำคัญ 3 ประการ คือ (1) การเรียนรู้และรู้จำสถานที่ (Area learning) เพื่อช่วยระบุตำแหน่งตั้งต้นและแก้ไขปัญหาคือ sensor drift (2) การเฝ้าติดตามการเคลื่อนไหว (Motion tracking) เพื่อช่วยระบุตำแหน่งและทิศทางการหันในปัจจุบัน และ (3) การรับรู้ความลึก (Depth perception) ด้วยอุปกรณ์พิเศษในระบบนำทาง เพื่อช่วยให้การคำนวณตำแหน่งและทิศทางมีความแม่นยำมากขึ้น โดยในการแสดงผล จะมีการใช้ความ

เป็นจริงเสริม (Augmented reality) เช่น เส้นสมมุติที่ลากลงไปตามพื้นทางเดินในมุมมอง 3 มิติ ฯลฯ เพื่อช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเดินไปยังจุดหมายปลายทางได้โดยง่าย ทั้งนี้ ผู้ดูแลระบบจะต้องถืออุปกรณ์นี้ ทำการเดินสำรวจอาคารเพื่อเก็บข้อมูลภาพและความลึก และให้ระบบทำการประมวลผลไว้ก่อนล่วงหน้า จึงจะสามารถใช้นำทางต่อไปได้

ข้อดี สามารถระบุตำแหน่งและทิศทางการหันได้แม่นยำ เนื่องจากมีการใช้เซ็นเซอร์วัดความลึก (Depth sensor)

ข้อจำกัด อุปกรณ์ที่ใช้งานได้มีเพียงไม่กี่รุ่น เนื่องจากต้องมีคุณสมบัติที่จำเป็น เช่น มีเซ็นเซอร์วัดความลึก มีฮาร์ดแวร์ที่ประมวลผลแบบซับซ้อนได้ ฯลฯ ปัจจุบันจึงมีการวิจัยและพัฒนา ARCore และ ARKit เพื่อให้สำหรับใช้งานกับสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์และ iOS ได้ [14]

ขณะผู้พัฒนาต้องการพัฒนาระบบนำทางในอาคาร ที่ใช้ต้นทุนต่ำ และสามารถใช้งานได้ง่าย โดยผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องถืออุปกรณ์อื่นหรือพกพาอุปกรณ์พิเศษเพิ่มเติม จึงเลือกใช้วิธีการนำทางที่ใช้กล้องเป็นเซ็นเซอร์ในการรับข้อมูลสถานะแวดล้อม และคำนวณหาตำแหน่งรวมถึงทิศทางการหันของผู้ใช้งานได้ โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์เสริมอื่นในอาคารอีก ทั้งนี้ เนื่องจากวิธีการนี้ ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถนำสมาร์ตโฟนซึ่งส่วนใหญ่มีกล้องติดตั้งอยู่ด้วย มาเป็นอุปกรณ์นำทางได้เมื่อเปรียบเทียบกับระบบแบบผสมผสานซึ่งใกล้เคียงกับระบบการนำทางที่จะพัฒนา ซึ่งได้แก่ระบบ CAViAR และ Google Tango ระบบที่จะนำมาพัฒนานี้มีจุดเด่นที่เห็นได้ชัดคือการที่ไม่ใช้อุปกรณ์เสริมหรือเซ็นเซอร์มากนัก แต่ก็ยังมีข้อเสียอย่างเช่นหากผู้ใช้ไม่พบมาร์กเกอร์ จะไม่สามารถระบุตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้และไม่สามารถนำทางต่อไปได้เลย (ข้อมูลในระบบจะมีเพียงตำแหน่งล่าสุดที่พบมาร์กเกอร์) เมื่อเทียบกับ CAViAR ซึ่งได้ใช้ Vuforia ในการระบุตำแหน่งครั้งแรกเช่นกัน ระบบนี้มีถ้าการส่องกล้องครั้งแรกแล้วจะใช้ INS ในการติดตามการเดินของผู้ใช้ และประเมินเส้นทางการเดินต่อเนื่องแบบคร่าวๆได้ ส่วนในระบบนำทางโดยใช้ Google Tango นั้น เป็นระบบที่ต้องใช้เซ็นเซอร์มากที่สุด แต่ก็มีความสามารถในการติดตามผู้ใช้อย่างแม่นยำเช่นกัน เนื่องจากจะใช้เซ็นเซอร์ทั้งหมดในการจำลองสภาพแวดล้อมในรูปแบบสามมิติ ทำให้ได้ตำแหน่งปัจจุบันที่ค่อนข้างแม่นยำ การเปรียบเทียบระบบทั้ง 3 ระบบนั้นสามารถสรุปได้ตามตารางด้านล่าง

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบระบบนำทางในอาคารที่คล้ายคลึงกัน

ชื่อระบบ	CAViAR	Google tango	ระบบที่จะพัฒนา
ระบบปฏิบัติการ	iOS	Android	Android
Shortest path	A* algorithm	ไม่ทราบข้อมูล	Dijkstra algorithm
อุปกรณ์หรือเซ็นเซอร์เสริมอื่น ๆ ที่ต้องใช้	Gyro Scope, Accelerometer, กล้องหลัง	Motion tracking, Depth sensor, กล้องหลัง 2 ตัว	กล้องหลัง
การติดตามตำแหน่งผู้ใช้	เมื่อพบมาร์กเกอร์แรก และใช้ INS ในการติดตามต่อ	ติดตามได้ตลอดเวลา โดยใช้เซ็นเซอร์มาคำนวณสภาพแวดล้อม	ใช้กล้องหลังตรวจจับภาพมาร์กเกอร์
การระบุตำแหน่งของผู้ใช้	ส่องหามาร์กเกอร์ แล้วใช้ Inertial navigation	ใช้กล้องส่องไปรอบ ๆ เพื่อเรียนรู้สภาพแวดล้อม	ใช้กล้องส่องหามาร์กเกอร์เพื่ออัปเดตตำแหน่งผู้ใช้
อัตราสิ้นเปลืองพลังงาน	สูง	สูง	ต่ำ

3. ระบบนำทางภายในอาคารด้วยความเป็นจริงเสริม

จากการศึกษาและเปรียบเทียบรูปแบบการนำทางภายในอาคารที่มีการใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน ทั้งแบบดั้งเดิมและแบบที่มีการนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วย คณะผู้วิจัยและพัฒนาจึงทำการออกแบบระบบ ดังนี้

3.1 ข้อกำหนดและความต้องการพื้นฐานของระบบ

ระบบนำทางในอาคารด้วยความเป็นจริงเสริมที่คณะผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นและนำเสนอในบทความนี้ มีข้อกำหนดและความต้องการพื้นฐาน ดังนี้

- สามารถระบุตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้และทิศทางการหันของผู้ใช้ได้ โดยผู้ใช้งานจะต้องส่องกล้องไปยังบริเวณที่มีจุดสำคัญหรือมาร์กเกอร์ (Marker) ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เช่น ป้ายบอกทาง หมายเลขห้อง เป็นต้น เพื่อให้ระบบทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพที่ได้ และคำนวณหาตำแหน่งและทิศทางการหันของผู้ใช้ในปัจจุบัน การแสดงตำแหน่งและทิศทางการหันปัจจุบันของผู้ใช้งาน จะแสดงบนแผนที่มุมมองของชั้นอาคารนั้น ๆ
- เมื่อผู้ใช้ระบุจุดหมายปลายทางที่ต้องการไป ระบบจะคำนวณหาเส้นทางที่สั้นที่สุด ในที่นี้ จะใช้ Dijkstra's algorithm [15] ซึ่งเป็นอัลกอริทึมสำหรับค้นหาเส้นทางที่สั้น

ที่สุดจากโหนดหนึ่งไปยังอีกโหนดหนึ่งในโครงสร้างข้อมูลประเภทกราฟ โดยจะต้องมีเส้นทาง (path) เชื่อมโยงระหว่างโหนดทั้งสอง

- การแสดงเส้นทางที่สั้นที่สุดไปยังจุดหมายปลายทางแบบ 3 มิติ จะแสดงในรูปแบบของลูกศร ซึ่งจะถูกเสริมเข้าไป (augment) ในภาพที่กำลังแสดงอยู่บนหน้าจอ บนตำแหน่งที่ตรวจพบมาร์กเกอร์ เสมือนกับเป็นส่วนหนึ่งของสถานที่นั้น หัวลูกศรจะชี้ไปตามเส้นทางที่คำนวณได้ ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้สามารถเดินไปในทิศทางได้อย่างถูกต้อง
- ผู้ใช้งานสามารถเลือกแสดงเส้นทางแบบ 2 มิติ บนแผนที่มุมมองของชั้นอาคารได้ เพื่อมองภาพรวมของเส้นทางที่จะไปยังจุดหมายปลายทาง โดยระบบจะวาดเส้นแสดงเส้นทางจากตำแหน่งปัจจุบันที่คำนวณได้ล่าสุด ไปยังจุดหมายปลายทาง
- ระบบนำทางที่นำเสนอ ไม่ใช่ระบบที่นำทางตลอดเวลา กล่าวคือ ระบบจะไม่ปรับปรุง (update) ตำแหน่งปัจจุบันที่แสดงบนแผนที่มุมมอง และไม่สามารถแสดงลูกศรชี้ทิศทางบนภาพที่รับจากกล้องตลอดระยะทางที่เดินไปได้ แต่เป็นระบบที่ให้ผู้ใช้งานเดินไปในทิศทางที่ระบบได้แนะนำไว้ก่อนหน้า จนถึงจุดที่ต้องตัดสินใจ (เช่น ทางแยก) หากผู้ใช้เกิดความไม่แน่ใจ ก็สามารถนำสมาร์ตโฟนส่องกล้องไปยังมาร์กเกอร์ธรรมชาติ เพื่อให้ระบบแสดงทิศทางที่จะเดินต่อไป
- ผู้ติดตั้งและดูแลระบบ จะต้องจัดเตรียมข้อมูลรูปภาพของบริเวณที่มีจุดสำคัญหรือมาร์กเกอร์ตามธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่เป็นทางแยก เพื่อให้ระบบทำการรู้จำไว้ล่วงหน้า และจะต้องระบุตำแหน่งและทิศทางการหันของมาร์กเกอร์ทุกจุด ไว้บนแกนพิกัดของแผนที่มุมมองของชั้นอาคาร ในที่นี้ จะใช้เครื่องมือที่ชื่อว่า Vuforia [16] ซึ่งเป็นชุดเครื่องมือพัฒนาซอฟต์แวร์ความเป็นจริงเสริม (Augmented Reality SDK) ที่มีความสามารถในการรู้จำมาร์กเกอร์ และสามารถคำนวณตำแหน่งและทิศทางการหันของกล้องเทียบกับตัวมาร์กเกอร์นั้น ๆ ได้ โดยชุดเครื่องมือ Vuforia นั้นผู้ใช้งานจะต้องนำรูปภาพมาร์กเกอร์อัปโหลดขึ้นบนเว็บไซต์เพื่อสร้างเป็นฐานข้อมูลและดาวน์โหลดมาสร้างเป็นแอปพลิเคชันลงบนโปรแกรม unity เมื่อเปิดโปรแกรมแล้วนำกล้องไปส่องยังรูปภาพต่างๆ เครื่องมือของ Vuforia จะตรวจจับจุดสำคัญต่างๆ (Feature point) จากรูปภาพที่ได้รับและนำมาเปรียบเทียบกับรูปที่อยู่ในฐานข้อมูล โดยรูปที่มี

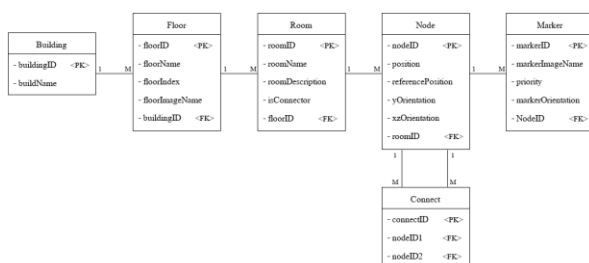
รายละเอียดมากจะมี feature point อยู่มาก จะทำให้สามารถตรวจจับได้ง่ายขึ้น

เมื่อระบบสามารถคำนวณตำแหน่งและทิศทางการหันของกล้องเทียบกับตัวมาร์กเกอร์ได้แล้ว ระบบก็จะสามารถนำวัตถุเสมือนไปจัดวางบริเวณมาร์กเกอร์นั้น ณ ตำแหน่งและทิศทางที่ต้องการได้ ภาพที่ได้จึงมีความเสมือนจริง หากผู้ใช้ขยับหรือหมุนกล้อง วัตถุเสมือนที่แสดงก็จะปรับขนาดและทิศทางให้สอดคล้องกับมุมมองเสมือนว่ามีวัตถุนั้นอยู่ในโลกแห่งความเป็นจริง Vuforia นั้นสนับสนุนมาร์กเกอร์ได้หลากหลาย เช่น Image Targets, 3D Multi-Target, และ Frame Marker เป็นต้น นอกจากนี้ ยังสนับสนุนการพัฒนาแอปพลิเคชันทั้งบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์และ iOS

3.x สถาปัตยกรรมของระบบ

ในด้านสถาปัตยกรรมระบบ ระบบนี้ได้พัฒนาบนโปรแกรม Unity ละใช้ภาษา C# ซึ่งเป็นภาษาเชิงวัตถุ การทำงานของข้อมูลจะอยู่ในรูปแบบของ MVC ได้แก่

Model หรือส่วนโครงสร้างข้อมูล และส่วนที่เก็บข้อมูลไฟล์อาคารในรูปแบบ json ผู้พัฒนาได้พัฒนาให้มีรูปแบบของข้อมูลไล่จากใหญ่ไปเล็ก ได้แก่ ข้อมูลของ อาคาร ชั้น ห้อง โหนด และมาร์กเกอร์ มีความสัมพันธ์แบบ one-to-many ในหน่วยของข้อมูลที่ใหญ่กว่าสามารถมีข้อมูลที่เล็กกว่าได้หลายอัน ส่วนข้อมูลที่เล็กกว่าจะมีข้อมูลที่ใหญ่กว่าได้เพียง 1 ข้อมูลเท่านั้น (ใน 1 ชั้นมีได้หลายห้อง แต่ใน 1 ห้องสามารถอยู่ได้เพียงชั้นเดียว) ส่วนข้อมูลของจุดเชื่อมต่อใช้เก็บข้อมูลการเชื่อมต่อระหว่างโหนด มีความสัมพันธ์แบบ recursive



รูปที่ x โครงสร้างฐานข้อมูลในรูปแบบ ER Diagram

View หรือส่วนของการแสดงผล ได้แก่การแสดงผลของยูสเซอร์อินเตอร์เฟซบนหน้าจอ และการกำหนดการแสดงผลของวัตถุความเป็นจริงเสริมตามการสั่งงานจากหน่วยประมวลผลกลาง เมื่อผู้ใช้สั่งงาน โปรแกรมโดยการเลือกจุดปลายทาง ระบบจะนำข้อมูลเข้าไปเก็บในส่วนควบคุม และรอคำสั่งการแสดงผล เมื่อระบบมีทั้งต้นทางและปลายทาง การ

แสดงผลหน้าจอก็จะเปลี่ยนไปเพื่อแสดงสถานะของระบบ และเปลี่ยนการแสดงผลรูปแบบมาร์กเกอร์ที่เจอจากการแสดงข้อมูลของห้องมาเป็นลูกศรนำทางซึ่งไปยังตำแหน่งของมาร์กเกอร์ตัวจนกว่าจะเจอจุดหมายปลายทางจึงจะเปลี่ยนแหล่งการแสดงผลอีกครั้งถัดไป

Controller หรือส่วนของการควบคุม, คำนวณเส้นทาง



รูปที่ 1 ตัวอย่างมาร์กเกอร์

และเก็บค่าตัวแปรของระบบ โดยส่วนควบคุมหลักเป็นคลาสชื่อว่า MainController เป็นคลาสที่ใช้ Singleton Design pattern เพื่อให้คลาสนี้ถูกสร้างมาเพียงวัตถุเดียวต่อโปรแกรม เมื่อได้รับข้อมูลจากการสั่งงานของผู้ใช้ ก็จะนำข้อมูลมาประมวลผลตามเงื่อนไข หาเส้นทาง และสั่งการแสดงผลไปยังส่วนแสดงผล

3.2 โครงสร้างของแผนที่

ข้อมูลเบื้องต้นที่ระบบต้องการนำมาทำเป็นแผนที่ มีอยู่ 3 สิ่ง ได้แก่ รูปแผนผังภาพมุมมองของแต่ละชั้นในอาคาร, ฐานข้อมูลรูปภาพที่ได้อัปโหลดในเว็บไซด์ของ Vuforia และข้อมูลไฟล์ในรูปแบบ json ซึ่งเป็นข้อมูลที่กำหนดลักษณะและให้ข้อมูลต่างๆของอาคาร เช่น ชั้น ชื่อห้อง ข้อมูลของห้อง หรือตำแหน่งของโหนด โดยผู้ใช้งานจะเป็นผู้กำหนดข้อมูลเหล่านี้เอง ในขั้นตอนการพัฒนานั้น เริ่มจากการนำแผนที่ที่กำหนดโหนด (Node) ไว้ตามตำแหน่งต่าง ๆ โดยสามารถแบ่งประเภทของโหนดได้ดังนี้

- โหนดหน้าห้อง โหนดประเภทนี้จะอยู่ในรายชื่อสถานที่ที่สามารถค้นหาได้ มักจะใช้เลขหน้าห้องเป็นมาร์กเกอร์
- โหนดทางเลี้ยวหรือทางแยก ใช้ในการคำนวณหาเส้นทางที่สั้นที่สุดไปยังจุดหมายปลายทาง โดยจะมีการกำหนดสิ่งที่มีอยู่ตามธรรมชาติในบริเวณนั้นเป็นมาร์กเกอร์ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถส่องมาร์กเกอร์เหล่านี้ได้
- โหนดป้ายบอกทาง เป็นตำแหน่งที่มีการกำหนดมาร์กเกอร์เพิ่มเติม โหนดนี้ทำหน้าที่เสมือนเป็นป้ายบอกทางในระหว่างทางที่เดินไป โหนดประเภทนี้มีความสำคัญน้อยกว่าโหนด 2 ประเภทข้างต้น

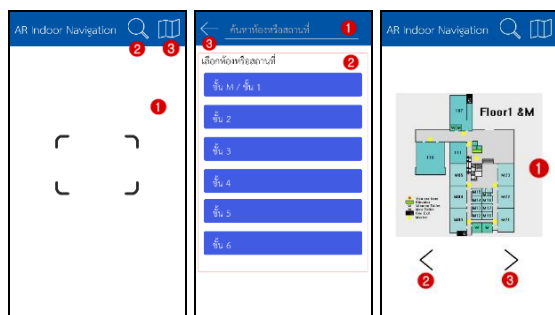
เมื่อกำหนดข้อมูลโหนดต่าง ๆ เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การสร้างเส้นทาง (Path) เชื่อมโยงระหว่างโหนด ต่อจากนั้น คือการนำเข้ามาร์กเกอร์และกำหนดตำแหน่ง และทิศทางการหันของมาร์กเกอร์บนโหนดต่าง ๆ ในที่นี้ ผู้พัฒนาได้เลือกใช้ Unity3D เป็นเครื่องมือในการสร้างแผนที่

ในการนำเข้ามาร์กเกอร์นั้น ผู้พัฒนาทำการเดินสำรวจสถานที่จริง และถ่ายภาพมาร์กเกอร์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ณ ตำแหน่งโหนดต่าง ๆ (รูปที่ 1) โดยในการใช้งานจริงนั้น ระบบจะต้องสามารถรู้จำ (recognize) มาร์กเกอร์แต่ละตัวได้ กระบวนการรู้จำเหล่านี้ จะใช้ความสามารถของ Vuforia เพื่อสร้างโมเดลสำหรับการรู้จำมาร์กเกอร์ทั้งหมดที่ใช้งานในอาคารนั้น ๆ

3.3 ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้

ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (User interface) และหน้าที่การทำงานของแต่ละส่วน มีรายละเอียดดังนี้

● หน้าต่างหลัก



(ก) หน้าต่างหลัก (ข) หน้าต่างค้นหา (ค) แผนที่มุมบน

รูปที่ 2 ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้

รูปที่ 2(ก) แสดงส่วนของหน้าต่างหลัก ประกอบไปด้วย

- หมายเลข 1 คือ ส่วนแสดงภาพจากกล้อง
- หมายเลข 2 คือ ปุ่มค้นหา ใช้สำหรับค้นหาจุดหมายปลายทางที่ต้องการจะไป เมื่อกดปุ่มนี้ จะเปลี่ยนหน้าแสดงผลเป็นหน้าต่างค้นหา ดังรูปที่ 2(ข)
- หมายเลข 3 คือ ปุ่มแผนที่ สำหรับเปลี่ยนการแสดงผลเป็นโหมดดูแผนที่มุมบนของแต่ละชั้นภายในอาคาร

● หน้าต่างค้นหา

รูปที่ 2(ข) แสดงส่วนของหน้าต่างค้นหา ซึ่งประกอบไปด้วย

- หมายเลข 1 คือ แถบค้นหา ผู้ใช้สามารถพิมพ์หมายเลขห้อง หรือชื่อห้อง/สถานที่ที่ต้องการค้นหา และกดเลือกผลลัพธ์เพื่อกำหนดเป็นจุดหมายปลายทาง
- หมายเลข 2 คือ ลิสต์รายชื่อของชั้นภายในอาคาร เมื่อผู้ใช้กดเลือกชั้นใดชั้นหนึ่ง ระบบจะแสดงรายชื่อห้อง/สถานที่ในชั้นอาคารนั้น ผู้ใช้สามารถกดเลือกเป็นจุดหมายปลายทาง
- หมายเลข 3 คือ ปุ่มย้อนกลับ กดเพื่อย้อนกลับไปยังหน้าต่างก่อนหน้านี้ได้

● หน้าต่างแผนที่มุมบน

รูปที่ 2(ค) แสดงหน้าต่างแผนที่มุมบน ประกอบไปด้วย

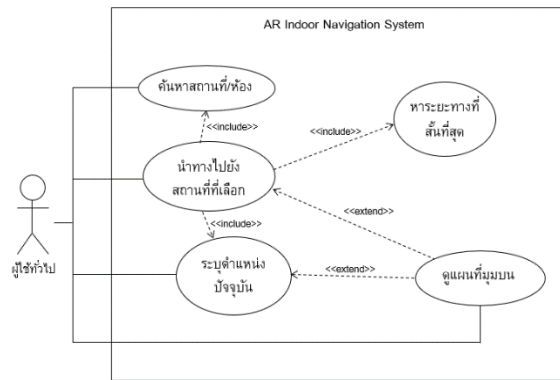
- หมายเลข 1 คือ แผนที่มุมบนของแต่ละชั้น โดยระบบจะแสดงตำแหน่งและทิศทางการหันของผู้ใช้
- หมายเลข 2 คือ ปุ่มก่อนหน้า ผู้ใช้งานสามารถเลื่อนดูแผนที่มุมบนของชั้นอาคารที่อยู่ในระดับก่อนหน้า
- หมายเลข 3 คือ ปุ่มถัดไป ผู้ใช้งานสามารถเลื่อนดูแผนที่มุมบนของชั้นอาคารที่อยู่ในลำดับถัดไป

3.4 การทำงานของระบบ

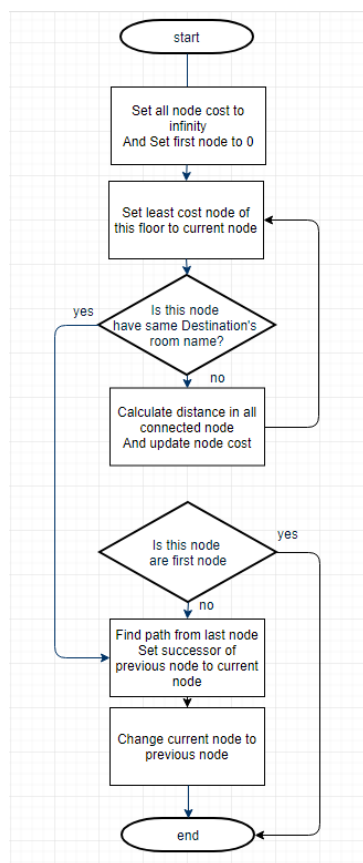
ผู้พัฒนาใช้ Unity3D engine ในการสร้างแผนที่ และใช้ภาษา C# ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน โดยมีการใช้งานส่วนเสริม Vuforia SDK เพื่อช่วยในการรู้จำมาร์กเกอร์ที่ปรากฏอยู่ในกล้อง และใช้ Unity3D engine เพื่อสร้างภาพลูกศรที่เป็นความเป็นจริงเสริม ซึ่งจะถูกใส่เข้าไปในจุดที่ตรวจพบมาร์กเกอร์

ฟังก์ชันการทำงานหลัก ๆ สามารถแสดงได้ด้วย Use Case Diagram ในรูปที่ 3 รายละเอียดการทำงานของ Use Case ของผู้ใช้ทั่วไป ได้แก่

- ค้นหาสถานที่/ห้อง ภายในอาคาร เป็นการค้นหาและตอบโต้ของระบบโดยอัตโนมัติ เมื่อป้อนค่า เช่น คำว่า “ห้องพัก” เข้าไป ระบบจะคัดเลือกรายชื่อสถานที่ทั้งหมดในอาคารที่ประกอบไปด้วยคำว่า “ห้องพัก” มาแสดงทั้งหมด
- นำทางไปยังสถานที่ที่เลือก เป็นการสั่งงานให้ระบบเริ่มการนำทางไปยังสถานที่ที่เลือกไว้ เมื่อผู้ใช้เลือกสถานที่ที่ต้องการแล้ว ระบบจะสร้างเส้นทางที่สั้นที่สุดจากตำแหน่งปัจจุบันที่คำนวณได้จากมาร์กเกอร์ที่ตรวจพบล่าสุด



รูปที่ 3 แผนภาพ Use Case Diagram ของระบบ



รูปที่ 4 ขั้นตอนวิธีในการค้นหาเส้นทาง

- **ดูแผนที่มุมบน** แผนที่มุมบนสามารถแสดงตำแหน่งและทิศทางการหันล่าสุดของผู้ใช้งาน ที่ระบบคำนวณได้จากมาร์กเกอร์ตัวสุดท้ายที่ตรวจพบ และจะแสดงเส้นทางสำหรับการนำทาง หากผู้ใช้งานได้กำหนดจุดหมายปลายทางและเริ่มการนำทางแล้ว

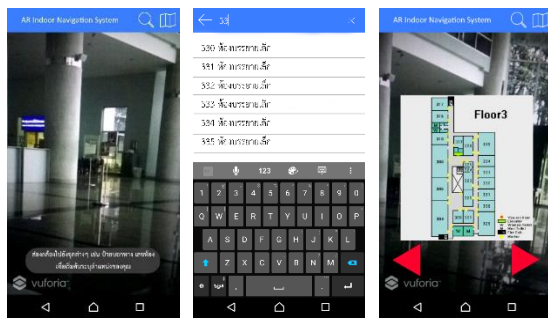
- **ระบุตำแหน่งปัจจุบัน** หากผู้ใช้งานต้องการทราบตำแหน่งปัจจุบันที่ ผู้ใช้งานต้องส่งกล้องไปยังมาร์กเกอร์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ แล้วระบบจะทำการรู้จำมาร์กเกอร์ โดยจะให้ค่าของมาร์กเกอร์ที่มีความคล้ายคลึงกันมากที่สุดและมีค่าความคล้ายคลึงเกินกว่าค่าที่กำหนด (threshold) จากนั้นระบบจะคำนวณตำแหน่งและทิศทางการหันของผู้ใช้ให้โดยอัตโนมัติ การแสดงผล จะมี 2 ลักษณะ ดังนี้

- หากในขณะนั้นผู้ใช้งานไม่ได้เลือกจุดหมายปลายทาง ระบบจะแสดงข้อมูลของสถานที่นั้น ๆ
- หากผู้ใช้เลือกจุดหมายปลายทางแล้ว ระบบจะแสดงลูกศรความเป็นจริงเสริม โดยหัวลูกศรจะชี้ไปในทิศทางที่สั้นที่สุด ที่จะนำทางไปสู่จุดหมายปลายทางที่เลือกไว้

4. ผลการทดสอบและการอภิปราย

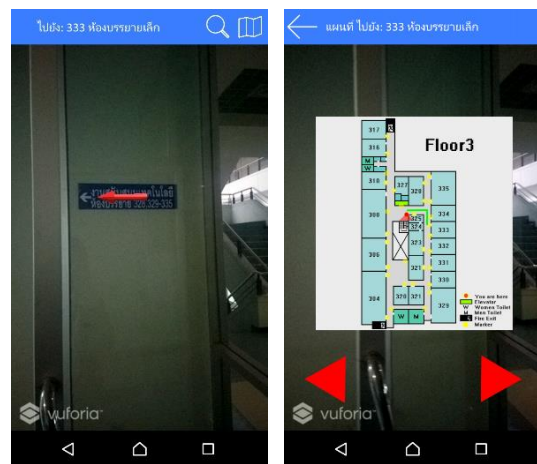
ระบบนำทางภายในอาคารด้วยความเป็นจริงเสริม เป็นระบบการนำทางที่ทำงานบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์เสริมอื่นใด ระบบจะใช้ข้อมูลภาพมาร์กเกอร์ที่ได้จากกล้องบนสมาร์ตโฟนแบบ Real-time ในการค้นหาว่าผู้ใช้ขยับบริเวณใดในอาคาร อาศัยข้อมูลตำแหน่งและทิศทางการหันของมาร์กเกอร์นั้นในการคำนวณตำแหน่งและทิศทางการหัน นอกจากนี้หากผู้ใช้งานเลือกจุดหมายปลายทางที่ต้องการให้ระบบนำทางไว้แล้ว ระบบก็จะแสดงความเป็นจริงเสริม ซึ่งก็คือ ลูกศรชี้ทาง ทาบทับลงบนบริเวณที่ตรวจพบมาร์กเกอร์ เพื่อช่วยให้ผู้ใช้งานทราบว่า จะต้องเดินไปในทิศทางใดจึงจะไปสู่จุดหมายปลายทางที่ต้องการ

ผู้พัฒนาได้แบ่งการทดสอบระบบเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกจะเป็นการทดสอบการทำงานของแอปพลิเคชัน และส่วนที่สองเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของการรู้จำสถานที่ด้วยมาร์กเกอร์ โดยวัดค่าความแม่นยำในการรู้จำเมื่อถ่ายภาพมาร์กเกอร์จากระยะและมุมที่แตกต่างกัน ผลการทดสอบ มีดังนี้

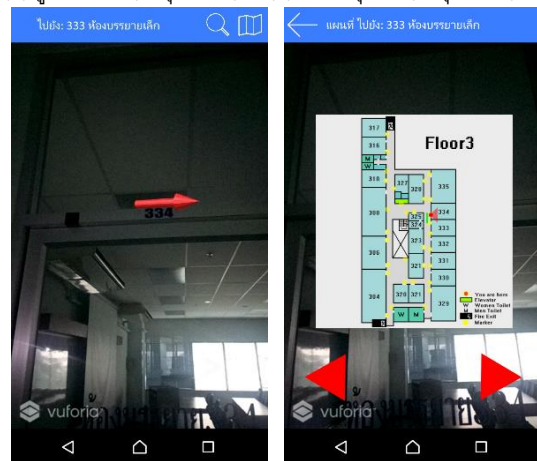


(ก) หน้าต่างหลัก (ข) หน้าต่างค้นหา (ค) แผนที่มุมบน

รูปที่ 5 ส่วนแสดงผลหน้าจอพื้นฐาน



(ก) ลูกศรชี้ทาง (ณ จุดตั้งต้น) (ข) แผนที่มุมบน (ณ จุดตั้งต้น)



(ค) ลูกศรชี้ทาง (ระหว่างทาง) (ง) แผนที่มุมบน (ระหว่างทาง)

รูปที่ 6 ส่วนแสดงผลในโหมดของการนำทาง รูป (ก) และ (ค) แสดงลูกศรชี้ทางที่วาดซ้อนทับลงบนมาร์กเกอร์ ส่วนรูป (ข) และ (ง) แสดงเส้นทางในภาพมุมบน พร้อมตำแหน่งและทิศทางการหันล่าสุดของผู้ใช้งาน และเส้นทางไปสู่จุดหมายปลายทาง

4.1 การทดสอบการทำงานของแอปพลิเคชัน

ในส่วนนี้จะเป็นการทดสอบขั้นตอนการทำงานของแอปพลิเคชัน เพื่อทดสอบว่าระบบสามารถทำงานได้ตามข้อกำหนดและความต้องการพื้นฐานที่กำหนดไว้หรือไม่ (validation) โดยได้ทดสอบการทำงานในหน้าต่างของแอปพลิเคชัน ดังนี้

1) หน้าต่างหลัก

ในหน้าต่างหลักสามารถแสดงผลข้อมูลภาพจากกล้องหลังบนสมาร์ทโฟนของผู้ใช้งาน เมื่อเริ่มต้นการใช้งาน ระบบจะแสดงคำแนะนำให้ผู้ใช้งานส่องกล้องไปยังจุดต่าง ๆ รอบตัวเพื่อให้ระบบรับภาพของมาร์กเกอร์ และนำข้อมูลไปคำนวณหาตำแหน่งและทิศทางการหันของผู้ใช้งานต่อไป ดังรูปที่ (ก)

2) หน้าต่างค้นหาสถานที่

ผู้ใช้งานสามารถค้นหาสถานที่ที่ต้องการไปได้ เมื่อผู้ใช้งานพิมพ์คำค้นลงในช่องค้นหา ระบบสามารถคัดกรองและแสดงเฉพาะชื่อสถานที่ที่มีคำค้นหานั้น ผู้ใช้งานสามารถล้างคำค้นเพื่อให้กลับมาแสดงชื่อสถานที่ทั้งหมดได้ด้วยปุ่มกากบาทด้านขวา ดังรูปที่ (ข)

3) หน้าต่างแผนที่มุมบน

ปุ่มรูปแผนที่ที่อยู่มุมบนขวาของหน้าต่าง ใช้สำหรับแสดงแผนที่มุมบนของอาคาร

- เมื่อผู้ใช้งานกดปุ่มดังกล่าวโดยยังไม่ได้เริ่มต้นการนำทาง ระบบสามารถแสดงแผนที่มุมบนของแต่ละชั้นอาคาร โดยผู้ใช้งานสามารถกดปุ่มลูกศรซ้ายหรือขวา เพื่อเลื่อนดูแผนที่มุมบนของชั้นอาคารก่อนหน้าหรือถัดไปได้ ดังรูปที่ (ค)

- ในกรณีที่ผู้ใช้งานกดปุ่มดังกล่าวโดยที่ผู้ใช้งานได้เลือกสถานที่ปลายทางและเริ่มการนำทางแล้ว ระบบสามารถแสดงแผนที่มุมบนเฉพาะชั้นอาคารที่ผู้ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน และชั้นอาคารที่จุดหมายปลายทางอยู่ได้ และสามารถแสดงตำแหน่งและทิศทางการหันล่าสุด รวมถึงเส้นทางไปสู่ปลายทางได้ ดังรูปที่ 5(ข) และรูปที่ 5(ง)

4) หน้าต่างนำทาง

เมื่อผู้ใช้งานเลือกสถานที่ที่ต้องการไป และนำกล้องส่องไปยังบริเวณที่มีมาร์กเกอร์อยู่ ระบบสามารถแสดงลูกศรที่เป็นวัตถุความจริงเสริมไว้เหนือมาร์กเกอร์ โดยหัวลูกศรสามารถชี้ไปยังทิศทางที่ผู้ใช้งานควรเดินต่อไป และเมื่อผู้ใช้งานกดปุ่มเพื่อแสดงแผนที่มุมบน ระบบสามารถแสดงแผนที่มุมบนพร้อมตำแหน่ง ทิศทางการหันล่าสุดของผู้ใช้งาน และเส้นทางไปยังจุดหมายปลายทางไว้บนแผนที่มุมบนได้ ดังรูปที่ 5

4.2 การทดสอบประสิทธิภาพของการรู้จำสถานที่ด้วย มาร์กเกอร์ ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง

ในการทดสอบประสิทธิภาพของการรู้จำสถานที่ โดยตรวจหา มาร์กเกอร์ธรรมชาติภายใต้สภาวะการใช้งานจริงนั้น ผู้วิจัยและพัฒนาได้เลือกใช้สิ่งที่มีอยู่หรือติดตั้งอยู่แล้วภายใน อาคารคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มากำหนดเป็นมาร์กเกอร์ให้กับ ระบบนำทาง จากนั้นทำการทดสอบประสิทธิภาพในการรู้จำ มาร์กเกอร์แต่ละตัว โดยกำหนดตัวแปรในการทดสอบ 3 ตัว แปร ได้แก่ (1) ระยะถ่ายภาพ (เทียบกับระยะถ่ายภาพมาร์ก เอร์เกอร์ที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลของระบบ) (2) มุมมองของกล้อง เทียบกับเส้นตั้งฉากที่ลากออกจากกระนาบของมาร์กเกอร์ และ (3) รุ่นของสมาร์ทโฟนที่ใช้ทดสอบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

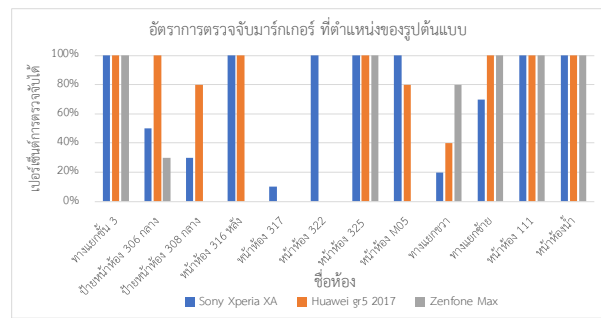
- ในส่วนของระยะถ่ายภาพนั้น ผู้วิจัยได้กำหนดระยะถ่ายภาพ หน้าตรงของมาร์กเกอร์ในการทดสอบที่ 0 เมตร ± 1 เมตร และ ± 2 เมตร โดยเทียบจากตำแหน่งที่ถ่ายภาพต้นแบบเพื่อ ทำการรู้จำและเก็บไว้ในฐานข้อมูลของระบบ
- ในส่วนของมุมมองกล้อง ผู้วิจัยได้กำหนดมุมทดสอบที่ 0° , $\pm 30^\circ$ และ $\pm 45^\circ$ โดยวัดจากเส้นตั้งฉากที่ลากออกจากกระนาบ ของมาร์กเกอร์
- ในส่วนของรุ่นของสมาร์ทโฟนนั้น ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบ กับสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์จำนวน 3 รุ่น ที่ มีความละเอียดของกล้องใกล้เคียงกัน ได้แก่ Sony Xperia XA (13MP), Huawei gr5 2017 (12MP) และ Zenfone Max (13MP)

ในแต่ละครั้งของการทดสอบ จะทำการส่องกล้องไปยังมาร์ก เอร์เกอร์แต่ละตัวจำนวน 10 ครั้ง และคำนวณค่าเฉลี่ยของการจับคู่ (matching) ได้อย่างถูกต้อง โดยแสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์

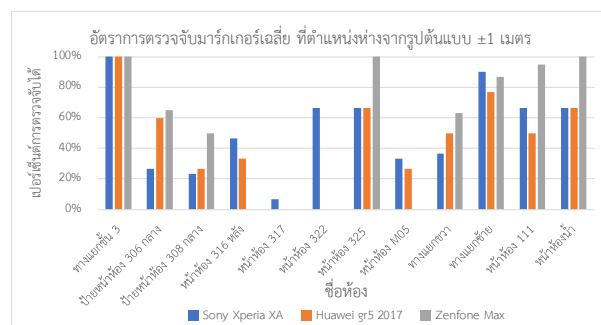
4.2.1 การรู้จำมาร์กเกอร์เมื่อระยะถ่ายภาพต่างกัน

รูปที่ 7 แสดงผลลัพธ์ของการทดสอบการจับคู่มาร์กเกอร์ 12 แบบ ณ ตำแหน่งถ่ายภาพที่ระยะ 0, ± 1 และ ± 2 เมตรจาก ตำแหน่งที่ถ่ายภาพต้นแบบ โดยเป็นการทดสอบภายใต้สภาวะ การใช้งานจริง ผลการทดสอบพบว่า ความถูกต้องในการรู้จำ มาร์กเกอร์ที่ระยะถ่ายภาพที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะของมาร์ก เอร์เกอร์ที่นำมาใช้ โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

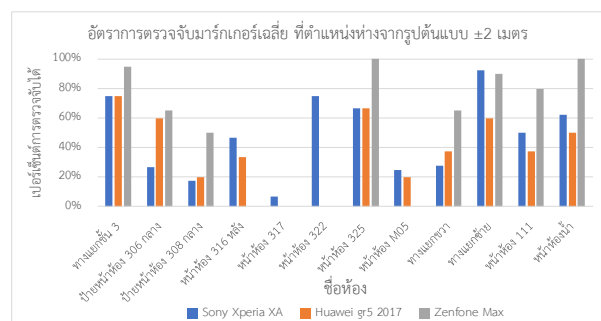
- (1) มาร์กเกอร์ที่สามารถรู้จำได้ดีมากในช่วงระยะ ถ่ายภาพที่แตกต่างกัน คือ มีความถูกต้องมากกว่า 70% ในทุก



(ก) ระยะห่างจากตำแหน่งถ่ายภาพต้นแบบ



(ข) ระยะถ่ายภาพ ± 1 เมตร จากตำแหน่งถ่ายภาพต้นแบบ



(ค) ระยะถ่ายภาพ ± 2 เมตร จากตำแหน่งถ่ายภาพต้นแบบ

รูปที่ 7 ความถูกต้องในการจับคู่มาร์กเกอร์ 12 แบบ ณ ตำแหน่ง ถ่ายภาพที่แตกต่างกัน ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง โดยใช้ สมาร์ทโฟน Sony Xperia XA กล้อง 13MP (สีน้ำเงิน), Huawei gr5 2017 กล้อง 12MP (สีส้ม) และ Zenfone Max กล้อง 13MP (สีเทา)

อุปกรณ์ ในที่นี้ ได้แก่ ทางแยกชั้น 3, หน้าห้อง 325, หน้า ห้อง 111, หน้าห้องน้ำ, และทางแยกซ้าย ดังแสดงตัวอย่างใน รูปที่ 7(ก) เมื่อสังเกตมาร์กเกอร์เหล่านี้ จะพบว่าป็นป้าย ข้อความและ/หรือรูปภาพสัญลักษณ์ที่มีรายละเอียด หาก ต้องการให้การรู้จำสถานที่ที่มีความถูกต้องแม่นยำ ก็ควรที่จะ เลือกใช้มาร์กเกอร์เหล่านี้ในระบบนำทาง ในกรณีที่ไม่มีการ มาร์กเกอร์เหล่านี้ในบริเวณที่ต้องการ ผู้ดูแลระบบอาจพิจารณาเพิ่ม

รายละเอียดข้อความหรือสัญลักษณ์ที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มความแม่นยำและลดข้อผิดพลาดให้กับการรู้จำสถานที่ของระบบ

(2) มาร์กเกอร์ที่สามารถรู้จำได้ดีปานกลางในช่วงระยะถ่ายภาพที่แตกต่างกัน คือ มาร์กเกอร์ประเภทนี้ส่วนใหญ่สามารถตรวจจับได้ถูกต้องด้วยอุปกรณ์ทั้ง 3 รุ่น ในที่นี้ ได้แก่ ทางแยกขวา, ป้ายหน้าห้อง 306 กลาง, และป้ายหน้าห้อง 308 กลาง ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 7(ข) มาร์กเกอร์เหล่านี้แม้จะมีรายละเอียดชัดเจน แต่มีลักษณะคล้ายคลึงกับมาร์กเกอร์อื่น ทำให้การตรวจจับผิดพลาดในบางครั้ง โดยรู้จำว่าเป็นมาร์กเกอร์อื่นที่มีลักษณะใกล้เคียง แนวทางการแก้ไข คือ ผู้ดูแลระบบอาจเพิ่มสัญลักษณ์บางอย่างเพื่อทำให้เกิดความแตกต่าง หรือพัฒนาระบบให้มีความสามารถในการแยกแยะรายละเอียดที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยได้

(3) มาร์กเกอร์ที่มีความผิดพลาดในการรู้จำมาก แม้จะใช้อุปกรณ์รุ่นเดียวกันถ่ายภาพในระยะใกล้เคียงกับระยะถ่ายภาพต้นแบบ โดยจะมีความแม่นยำลดลงมากหรือไม่สามารถตรวจจับได้เลย เมื่อถ่ายภาพที่ระยะต่างจากระยะถ่ายภาพต้นแบบและ/หรือใช้อุปกรณ์รุ่นอื่น ได้แก่ หน้าห้อง 316 หลัง, หน้าห้อง 317, หน้าห้อง M05, และหน้าห้อง 322 ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 7(ค) มาร์กเกอร์เหล่านี้มีผลกระทบเป็นส่วนประกอบ ทำให้สิ่งที่อยู่หลังกระจกหรือภาพที่สะท้อนอยู่ในกระจกถูกนำมาเป็นส่วนหนึ่งของมาร์กเกอร์ด้วย วัตถุที่นำมาใช้เป็นมาร์กเกอร์จึงมีลักษณะเป็น 3 มิติ เมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งของการถ่ายภาพเพื่อทำการรู้จำ องค์ประกอบภายในของมาร์กเกอร์จึงเปลี่ยนไป ทั้งในแง่ของตำแหน่งและตัวองค์ประกอบเอง การเปลี่ยนแปลงนี้มีมากขึ้นเมื่อสภาวะแสงเปลี่ยน (เวลาที่ถ่ายภาพเพื่อรู้จำต่างจากเวลาที่ถ่ายภาพต้นแบบ) จนทำให้กระจกที่เคยมองทะลุเข้าไปเห็นสิ่งที่อยู่เบื้องหลังกลายเป็นกระจกเงาที่สะท้อนภาพบางส่วนหรือทั้งหมดจนมองไม่เห็นภาพเบื้องหลัง (หรือกลับกัน) ในกรณีที่วัตถุที่อยู่หลังกระจกหรือวัตถุที่อยู่หน้ากระจกและสะท้อนเป็นเงาบนกระจกมีการเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนไป ก็จะทำให้การรู้จำผิดพลาดหรือไม่สามารถรู้จำได้เลย ผู้ดูแลระบบจึงไม่ควรเลือกมาร์กเกอร์ที่มีกระจกเป็นส่วนประกอบ ในกรณีที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ก็ควรจะทำการจำกัดขอบเขตให้มีส่วนของกระจกอยู่ในภาพที่นำไปทำมาร์กเกอร์น้อยที่สุด โดยการตัดขอบภาพส่วนที่มีกระจกออกไป



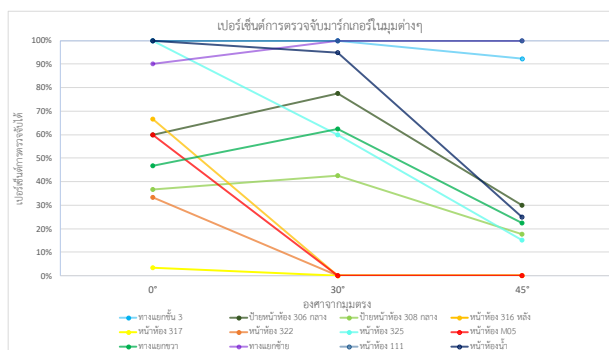
(ก) มาร์กเกอร์ที่สามารถรู้จำได้ดีมาก



(ข) มาร์กเกอร์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน



(ค) มาร์กเกอร์ที่มีผลกระทบเป็นส่วนประกอบ
รูปที่ 8 มาร์กเกอร์ 3 ประเภท



รูปที่ 9 ความแม่นยำในการตรวจจับ (รู้จำ) มาร์กเกอร์ในมุมต่าง ๆ
ของ (1) กลุ่มมาร์กเกอร์ที่สามารถรู้จำได้ดีมากในช่วงระยะภาพที่แตกต่างกัน (เส้น โทนสีน้ำเงิน) (2) กลุ่มมาร์กเกอร์ที่มีส่วนคล้ายคลึงกับมาร์กเกอร์อื่น (เส้น โทนสีเขียว) (3) กลุ่มมาร์กเกอร์ที่มีกระจกเป็นส่วนประกอบ (เส้น โทนสีแดง)

4.2.2 การรู้จำมาร์กเกอร์เมื่อมุมถ่ายภาพต่างกัน

ผลการทดสอบความสามารถในการรู้จำมาร์กเกอร์ เมื่อถ่ายภาพจากมุมที่แตกต่างกัน แสดงในรูปที่ 8 โดยเป็นการทดสอบถ่ายภาพจากมุมที่เบี่ยงออกจากมุมตั้งฉากกับระนาบของมาร์กเกอร์ (ซึ่งเป็นมุมที่ใช้ถ่ายภาพต้นแบบเพื่อสร้างมาร์กเกอร์ในฐานข้อมูล) ในที่นี้ทดสอบที่มุม 0° (ตั้งฉากกับมาร์กเกอร์), $\pm 30^\circ$ และ $\pm 45^\circ$ ที่ระยะห่างจากมาร์กเกอร์เท่ากับระยะถ่ายภาพต้นแบบ การทดสอบจะถ่ายภาพจากอุปกรณ์แต่ละรุ่นในแต่ละมุมจำนวน 10 ครั้ง และแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการตรวจจับ ผลการทดสอบแสดงด้วยเส้นสีต่าง ๆ โดยแบ่งกลุ่มโทนสีตามประเภทของมาร์กเกอร์ในรูปที่ 7

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ามุมที่ใช้ในการถ่ายภาพมีผลต่อความแม่นยำในการตรวจจับมาร์กเกอร์ โดยองศาที่เบี่ยงเบนจากทิศทางที่ใช้ถ่ายภาพต้นแบบ (ทิศทางตั้งฉากกับระนาบของมาร์กเกอร์) ยิ่งมีค่ามาก ก็จะยิ่งทำให้ความถูกต้องในการตรวจจับมาร์กเกอร์ลดลง การลดลงของความแม่นยำตามขนาดของมุมที่เบี่ยงเบนไป จะยังไม่เด่นชัดในกลุ่มมาร์กเกอร์ที่มีรายละเอียดและสามารถรู้จำได้ดีมาก (เส้นกราฟโทนสีน้ำเงิน) ยกเว้นหน้าห้องน้ำและหน้าห้อง 325 ที่ความแม่นยำลดลงมากเมื่อมุมถ่ายภาพเบี่ยงเบนไป $\pm 45^\circ$ และ $\pm 30^\circ$ ตามลำดับ เนื่องจากมีส่วนประกอบอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องเข้ามาในมุมมองส่วนมาร์กเกอร์กลุ่มที่มีส่วนคล้ายกับมาร์กเกอร์อื่น (เส้นกราฟโทนสีเขียว) ความแม่นยำในการรู้จำจะลดลงไปมากอย่างเห็นได้ชัดเมื่อต้องตรวจจับจากมุมที่ไม่ใช่มุมตรง และกลุ่มสุดท้ายคือมาร์กเกอร์ที่มีกระจกเป็นส่วนประกอบ (เส้นกราฟโทนสีแดง) จะไม่สามารถตรวจจับจากมุมเอียงตั้งแต่ $\pm 30^\circ$ ได้เลยเนื่องจากองค์ประกอบในมาร์กเกอร์เป็นวัตถุที่อยู่หลายระนาบ (มีทั้งวัตถุหลังกระจกและวัตถุที่สะท้อนเป็นเงาในกระจก) ทำให้ลักษณะที่ปรากฏเปลี่ยนไปจากรูปภาพต้นแบบ โดยสภาพแสงที่เปลี่ยนไปก็เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้เกิดความแตกต่างมากยิ่งขึ้นเช่นกัน (กล่าวคือ กระจกเปลี่ยนสภาพจากการมองเห็นเป็นกระจกสะท้อน หรือกลับกัน)

4.2.3 การรู้จำมาร์กเกอร์เมื่อใช้งานสมาร์ทโฟนต่างรุ่นกัน

ผลการทดลองในรูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่าสมาร์ทโฟนที่ต่างกันมีผลต่อความแม่นยำในการรู้จำมาร์กเกอร์ ความแม่นยำที่ลดลงนี้ จะไม่มีผลต่อการรู้จำสถานที่หากไม่เกิดการรู้จำผิดพลาดไปเป็นสถานที่อื่น (mismatching) เนื่องจากในการใช้งานจริง

ระบบจะทำการตรวจจับเพื่อค้นหามาร์กเกอร์ที่เหมือนกับมาร์กเกอร์ในฐานข้อมูลอยู่ตลอดเวลา จนกว่าจะพบ และเมื่อตรวจพบก็จะสามารถแสดงข้อมูลตำแหน่งและทิศทางการหันปัจจุบันได้อย่างถูกต้อง

5. สรุปผลการดำเนินงาน

ระบบนำทางภายในอาคารด้วยความเป็นจริงเสริม สามารถแสดงตำแหน่งและทิศทางการหันของผู้ใช้งานได้เมื่อผู้ใช้ต้องกล้องไปยังมาร์กเกอร์ธรรมชาติที่ได้ทำการรู้จำและกำหนดค่าไว้ในระบบแล้ว และเมื่อระบุจุดหมายปลายทางที่ต้องการไป ระบบสามารถแสดงเส้นทางในภาพมุมมอง และแสดงลูกศรเสมือนซ้อนทับไปบนภาพมุมมอง เพื่อแสดงทิศทางไปยังจุดหมายปลายทาง โดยมีข้อความชี้แนะ และสามารถส่งเสียงเพื่อนำทางได้ การค้นหาสถานที่ที่ต้องการไป ทำได้โดยพิมพ์ตัวอักษรบางส่วน ระบบจะอำนวยความสะดวกโดยแสดงชื่อห้องที่มีส่วนของตัวอักษรนั้น ระบบนำทางที่นำเสนอในบทความนี้ แตกต่างจากระบบนำทางแบบต่อเนื่อง คือ เมื่อผู้ใช้ทราบเส้นทางไปยังจุดหมายแล้ว ผู้ใช้จะต้องเดินตามทางไปด้วยตนเอง แต่หากผู้ใช้เกิดความสับสนเมื่อใด ก็สามารถส่งกล้องไปยังมาร์กเกอร์ธรรมชาติเพื่อให้ระบบชี้แนะทางได้เป็นระยะ ๆ

ระบบนำทางที่พัฒนาขึ้นสามารถนำทางได้ในอาคารที่มีการสร้างแผนที่ไว้แล้ว หากต้องการนำระบบไปใช้กับอาคารอื่น ผู้ดูแลระบบจะต้องจัดทำแผนที่ขึ้นมา และนำเข้าสู่ระบบขั้นตอนการจัดทำและนำเข้าแผนที่ซึ่งต้องอาศัยทักษะในการดำเนินการ คณะผู้วิจัยและพัฒนา มีแนวคิดที่จะเพิ่มขีดความสามารถของระบบ โดยจะพัฒนาระบบเสริมที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการจัดทำและนำเข้าแผนที่ต่อไปในอนาคต นอกจากนี้ การเพิ่มส่วนตรวจสอบรูปภาพที่จะนำมาใช้ทำมาร์กเกอร์ และแจ้งเตือนมาร์กเกอร์ที่ไม่เหมาะสม เพื่อป้องกันการรู้จำผิดพลาด ก็เป็นสิ่งที่ผู้พัฒนาวางแผนที่จะดำเนินการ ควบคู่กับการเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในการรู้จำ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Statista, "Number of Smartphone Users Worldwide from 2014 to 2020 (in Billions)," Statista, 2017. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/330695/>

- number-of-smartphone-users-worldwide/. [Accessed: Sep. 13, 2017].
- [2] F. Evennou and F. Marx, "Advanced Integration of WiFi and Inertial Navigation Systems for Indoor Mobile Positioning," *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, Vol. 2006, pp. 1-11, 2006.
- [3] ล้ามฉวี ชะนะมา, ศุภกิจ ชยชส, และโอฬาร วงศ์วิรัตน์, "การศึกษาแนวทางปรับปรุงวิธีการระบุตำแหน่งภายในอาคาร," ใน รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการระดับประเทศทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 8, ตุลาคม 2559, หน้า 374-377.
- [4] กฤษณา ทองเชื้อ และ ทินกฤต งามดี, "ระบบกำหนดตำแหน่งในร่มด้วยเทคโนโลยีบลูทูธ," ปรินญาณพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2557.
- [5] Blognone, "รู้จักกับ iBeacon เทคโนโลยีบอกพิกัดแห่งอนาคตที่กำลังมาถึง," *blognone.com*, Jun. 14, 2014. [Online]. Available: <https://www.blognone.com/node/57349>. [Accessed: Sep. 13, 2017].
- [6] I. Gorovyi, A. Roenko, A. Pitertsev, I. Chervonyak, and V. Vovk. "Real-Time System for Indoor User Localization and Navigation Using Bluetooth Beacons," In Proc. IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2017. pp. 1025-1030
- [7] V. Renaudin and C. Combettes, "Magnetic, Acceleration Fields and Gyroscope Quaternion (MAGYQ)-Based Attitude Estimation with Smartphone Sensors for Indoor Pedestrian Navigation," *Sensors*, vol. 14, pp. 22865-22890, 2014.
- [8] ฐาตุล เทพศิริ, ธนบูรณ์ ยงทัศนีย์กุล, และศรัณย์ อินโกสม. "โปรแกรมสร้างแผนที่ในอาคารบนสมาร์ตโฟน," ปรินญาณพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2557
- [9] V. Shivam, O. Rohit, V. Sreejith, and G.S. Meera, "A Smartphone Based Indoor Navigation System," In Proc. 28th International Conference on Microelectronics (ICM), 2016. pp.345-348
- [10] E. Deretey, M. T. Ahmed, J. A. Marshall, and M. Greenspan, "Visual Indoor Positioning with a Single Camera Using PnP," In Proc. International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2015, pp 1-9
- [11] Y. Zheng, G. Shen, L. Li, C. Zhao, M. Li, and F. Zhao, "Travi-Navi: Self-Deployable Indoor Navigation System," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 25, no. 5, pp. 2655 – 2669, Oct. 2017.
- [12] B. A. Delail, L. Weruaga, and M. J. Zemerly, "CAViAR: Context Aware Visual Indoor Augmented Reality for a University Campus," in Proc. IEEE/WIC/ACM International Conferences on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology, vol. 3, pp. 286-290, 2012.
- [13] Cologne Intelligence, "Google Tango: Augmented Reality Indoor Navigation," *Cologne Intelligence*. [Online]. Available: <https://www.cologne-intelligence.de/english/augmented-reality-indoor-navigation/>. [Accessed: Sep. 15, 2017].
- [14] Cologne Intelligence, "ARCore, ARKit: Augmented Reality for everyone, everywhere!," *Cologne Intelligence*. [Online]. Available: <https://www.cologne-intelligence.de/blog/arcore-arkit-augmented-reality-for-everyone-everywhere/>. [Accessed: Dec. 15, 2017].
- [15] Wikipedia, "Dijkstra's algorithm," *wikipedia.org*. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstra's_algorithm. [Accessed: Sep. 15, 2017].
- [16] Qualcomm Inc., "Vuforia SDK," *vuforia.com*, 2017. [Online]. Available: <https://developer.vuforia.com/>. [Accessed: Sep. 14, 2017].