



แพลตฟอร์มการส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือภายในโดยใช้เทคโนโลยี

Narrowband-Internet of Things (NB-IoT)

A SOS platform inside automotive vehicles based on Narrowband-Internet of Things (NB-IoT) technology

จิรเดช ศรีพรงาม สุธีรา พึ่งสวัสดิ์* ณัฐพร นันทจิระพงศ์ และ ศิลา เต็มศิริฤกษ์กุล

สาขาวิชาวิทยาการคำนวณและเทคโนโลยีดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยหัวเขี้ยวเฉลิมพระเกียรติ สมุทรปราการ 10540

Jiradet Sripornngam, Suteera Puengsawad*, Nathaphon Nanthajirapong
and Sila Temsiririkkul

Division of Computing Science and Digital Technology, Faculty of Science and Technology,
Huachiew Chalermprakiet University, Samutprakarn 10540

Received: 20 May 2020/ Revised: 23 June 2020/ Accepted: 25 June 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแพลตฟอร์มการส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือ (SOS) เพื่อติดตั้งภายในรถยนต์ โดยใช้เทคโนโลยี Narrow-Band Internet of Things (NB-IoT) ซึ่งใช้พลังงานต่ำ แพลตฟอร์มประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ 1) ส่วนอุปกรณ์ส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือที่อยู่ภายในห้องโดยสารของยานพาหนะ และ 2) ส่วนแอปพลิเคชันรับการแจ้งเตือนรูปแบบ notification ซึ่งติดตั้งบนอุปกรณ์พกพาที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ทำหน้าที่บันทึกและแสดงค่าที่รับมาจากเซนเซอร์ที่อยู่บนอุปกรณ์ส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือ เพื่อใช้ในการแจ้งเตือนบนอุปกรณ์พกพาที่อยู่ภายนอกรถยนต์ได้ เซนเซอร์ที่ติดตั้งบนอุปกรณ์ส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือประกอบด้วยเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและเซนเซอร์วัดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ค่าที่วัดได้จะถูกจัดเก็บและส่งผ่าน AIS Magellan ผลการทดลองเมื่อส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือจากสถานที่ต่าง ๆ ที่มีระยะทางระหว่างอุปกรณ์ส่งสัญญาณกับอุปกรณ์พกพาที่ติดตั้งแอปพลิเคชันระหว่าง 0.24 ถึง 64.0 กิโลเมตร พบว่าแพลตฟอร์มสามารถทำงานเพื่อส่งสัญญาณแจ้งเตือนได้อย่างถูกต้อง แต่มีความล่าช้าของการส่งสัญญาณเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามระยะทาง แพลตฟอร์มต้นแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถพัฒนาต่อยอดเพื่อใช้งานจริงต่อไปได้

คำสำคัญ: การส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือ เครือข่ายพลังงานต่ำ แอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพา อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

Abstract

This article presented the development of the SOS platform for automotive vehicles by using narrowband-Internet of Thing (NB-IoT) technology which using low-power. The platform is including 1) the signal transmission device in the vehicle 2) the android OS based application for retrieved notifications in smartphones. The transmission device will retrieve some data from several sensors inside the vehicle including temperature, the carbon monoxide level inside the cabin room. These data will be recorded, processed, and report Via AIS Magellan cloud service. As a result, the platform is able to transmit the SOS signal in distance 0.24 to 64 Km. The experiment has shown that the signal was transmitted correctly but there is some delay of signal transmitting time increasing linearly due to the distance. The developed prototype platform can be further developed for further practical use.

Keywords: SOS, Low-power network, Mobile application, Internet of things

บทนำ

ปัจจุบันแม้ว่าการใช้งานไวไฟถือเป็นการสื่อสารที่ถูกใช้งานอย่างแพร่หลาย รวมไปถึงการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) แต่ด้วยไวไฟถูกพัฒนาขึ้นเพื่อจุดประสงค์ในการรองรับอุปกรณ์ที่ต้องการสื่อสารด้วยข้อมูลขนาดใหญ่ ซึ่งแตกต่างจากการสื่อสารของอุปกรณ์ IoT ที่สื่อสารด้วยข้อมูลขนาดเล็ก เน้นการใช้พลังงานต่ำ และรองรับอุปกรณ์จำนวนมาก ทำให้การใช้งานไวไฟไม่ตรงกับวัตถุประสงค์เนื่องจากข้อจำกัดของการรองรับอุปกรณ์ IoT [1]

ซิกบี (Zigbee) และ บลูทูธ (Bluetooth) ถือเป็นทางเลือกของเทคโนโลยีที่ใช้รองรับการสื่อสารของ IoT ทั้งสองถูกออกแบบเพื่อให้ใช้พลังงานที่ต่ำ และรองรับการเชื่อมต่อโหนดจำนวนมาก ผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยของภาครัฐ และคณะ [2] เรื่องระบบแจ้งเตือนผู้บุกรุกผ่านเครื่องแม่ข่ายโดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับแบบไร้สาย โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคโนโลยีซิกบีที่เป็นเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (wireless sensor network) ในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์และใช้เซ็นเซอร์ทั้ง 3 ชนิด ในการตรวจจับผู้บุกรุก คือ 1) เซ็นเซอร์แสงอินฟราเรด (passive infrared sensor) ใช้ตรวจจับการเคลื่อนไหวที่ผิดปกติ 2) เซ็นเซอร์เพียโซดิสก์ (Piezo disk vibration sensor) ใช้ตรวจสอบการกระแทก เช่น การพยายามทุบทำลายกระจก 3) สวิตช์แม่เหล็ก (magnetic

switch) ใช้ป้องกันการบุกรุกผ่านทางประตู จากการทดสอบระบบ อุปกรณ์ซิกบีสามารถรับส่งข้อมูลได้ดีภายในระยะไม่เกิน 40 เมตร แต่หากระยะเกิน 40 เมตร การรับส่งข้อมูลจะไม่มีเสถียรขึ้นอยู่กับสัญญาณรบกวนจากภายนอก และระดับในการวางอุปกรณ์ซิกบี และจากรายงานของพงษ์พันธ์ [3] เรื่องระบบตรวจจับการล้มแบบ 2 มิติ ด้วย Bluetooth accelerometer sensor โปรแกรมจะเก็บข้อมูลการล้มและแจ้งเตือนขอความช่วยเหลือในรูปแบบเสียง และข้อความแจ้งเตือนที่อุปกรณ์พกพาของผู้ล้มเพื่อขอความช่วยเหลือ ระบบที่พัฒนายังมีข้อจำกัดเรื่องการส่งข้อมูลที่ล่าช้าจาก Bluetooth accelerometer sensor ไปยังอุปกรณ์พกพา หากกรณีที่อยู่ห่างกันเกินกว่า 10 เมตร เนื่องจากความแรงของสัญญาณบลูทูธลดลง ซึ่งมีเนื้อหาตรงกันจากส่วนของปัญหาที่พบในส่วนของการส่งสัญญาณในระยะที่ไม่ไกล การรับส่งข้อมูลจะไม่มีเสถียร และการถูกรบกวนจากภายนอก

นอกจากเทคโนโลยีดังกล่าวข้างต้นแล้ว Narrow Band Internet of Thing (NB-IoT) เป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่สำคัญในการรองรับการสื่อสารของอุปกรณ์ IoT โดยความโดดเด่นของเทคโนโลยีนี้คือการรองรับการสื่อสารระยะไกล และการใช้พลังงานที่ต่ำ เพื่อรองรับการใช้งานที่ยาวนานขึ้น ซึ่งในประเทศไทย NB-IoT ทำงานอยู่บนเครือข่ายของสอง



ผู้ให้บริการ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยของศิลปินรงค์ และ พรนรินทร์ [4] เรื่อง การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Narrow Band Internet of Thing ในการสร้างต้นแบบสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างต้นแบบการใช้งาน NB-IoT ซึ่งเป็นบอร์ด IoT พลังงานต่ำ โดยงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้งาน IoT กับเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ โดยทำการวัดเก็บข้อมูล และส่งค่าผ่าน AIS Magellan Library และส่งข้อมูลไปแสดงผลที่หน้าเว็บ AIS Magellan และ dweet เครื่องมือที่ใช้วิจัยครั้งนี้ประกอบไปด้วย NB-IoT Shield Arduino เซนเซอร์ตรวจวัดฝุ่นละออง เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น และบริการคลาวด์ AIS Magellan โดยใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็ก ผลการวิจัยพบว่า NB-IoT Shield Arduino และระบบสามารถส่งผลไปแสดงที่เว็บได้

จากการประยุกต์ IoT เข้ากับงานดังกล่าวข้างต้น ยังมีการประยุกต์ร่วมกับระบบการแจ้งเตือนฉุกเฉิน ซึ่งระบบการแจ้งเตือนฉุกเฉินทำได้หลายวิธี วิธีที่นิยมในปัจจุบัน ได้แก่ การใช้โทรศัพท์เพื่อโทรแจ้งเหตุโดยมีหมายเลขโทรศัพท์รับแจ้งเหตุโดยเฉพาะ แต่ในกรณีฉุกเฉินผู้ต้องการแจ้งอาจจะอยู่ในภาวะตกใจไม่สามารถใช้โทรศัพท์มือถือได้สะดวกและรวดเร็ว จึงได้มีผู้วิจัยพัฒนาระบบการแจ้งเตือนฉุกเฉินแบบต่าง ๆ ดังงานวิจัยของ ชีรพงศ์ และคณะ [5] ได้พัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพาสำหรับการร้องขอความช่วยเหลือในกรณีฉุกเฉิน ผู้ร้องขอเป็นกลุ่มคนที่อยู่ในเหตุการณ์ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Nass และคณะ [6] ได้พัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพาชื่อ RESCUER เพื่อที่ประชาชนทั่วไปจะได้มีส่วนร่วมในการแจ้งเตือนฉุกเฉินไปยังศูนย์แจ้งเหตุ และได้รับข้อมูลในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น คณะผู้วิจัยได้พัฒนารูปแบบการปฏิสัมพันธ์ในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน คือ การกดปุ่มเดียว การรับคำแนะนำ และการคุยโต้ตอบระหว่างผู้แจ้งและผู้รับแจ้ง ผลการทดสอบพบว่า ทั้งสามรูปแบบสามารถทำให้ประชาชนทั่วไปปฏิสัมพันธ์ผ่านแอปพลิเคชัน RESCUER ได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามในกรณีฉุกเฉินผู้ต้องการแจ้งอาจจะอยู่ในภาวะตกใจไม่สามารถใช้โทรศัพท์มือถือได้

สะดวกและรวดเร็ว นอกจากนี้บริษัท MobileHelp [7] ได้พัฒนาอุปกรณ์แบบกดปุ่มฉุกเฉินที่เชื่อมต่อกับโทรศัพท์มือถือแบบอุปกรณ์พกพาผ่านทางเครือข่ายแบบบลูทูธ ลักษณะของปุ่มกดจะมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา พกพาได้สะดวก สามารถกดได้ง่ายเมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉิน แต่ผู้ใช้งานยังต้องมีอุปกรณ์พกพาพร้อมด้วย ซึ่งส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น และบริษัท AlertOneServices [8] ได้พัฒนาอุปกรณ์ที่ชื่อว่า AlertOne ซึ่งผู้ใช้สามารถกดปุ่มแจ้งเหตุฉุกเฉิน แล้วข้อความแจ้งเตือนจะถูกส่งไปยังศูนย์รับแจ้งเหตุโดยอัตโนมัติ แต่ในกรณีนี้ผู้ใช้งานไม่สามารถแจ้งขอความช่วยเหลือไปยังญาติหรือผู้ดูแลได้ และด้วยข้อจำกัดของศูนย์รับแจ้งเหตุในประเทศไทยอาจไม่สามารถตอบสนองต่อทุกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้

จากข้อมูลที่ได้ศึกษามาดังกล่าวไว้ข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำเทคโนโลยี NB-IoT มาประยุกต์ใช้สำหรับส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือภายในยานพาหนะที่มีการเคลื่อนที่ โดยระบบมุ่งเน้นใช้ในธุรกิจการขนส่งสินค้า ซึ่งปัจจุบันมีการพัฒนาอุปกรณ์สำหรับติดตามรถยนต์เป็นจำนวนมาก จากการศึกษางานวิจัยของชัยพร [9] ได้ทำการวิจัยเรื่องระบบติดตามตรวจสอบตำแหน่งและเส้นทางรถยนต์ด้วยสัญญาณดาวเทียม มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับติดตามและตรวจสอบตำแหน่งรถยนต์รวมทั้งออกแบบและสร้างซอฟต์แวร์เพื่อตรวจสอบเส้นทางบนแผนที่แบบดิจิทัล ซึ่งในงานวิจัยใช้เทคโนโลยีจีพีเอสในการติดตาม และส่งสัญญาณมายังซอฟต์แวร์ ซึ่งสอดคล้องกับการพัฒนาเครื่องส่งสัญญาณสำหรับขอความช่วยเหลือจากภายในยานพาหนะ หากเกิดกรณีฉุกเฉินต่าง ๆ ผู้ใช้งานสามารถกดปุ่มขอความช่วยเหลือ หรือหากกรณีที่มีค่าอุณหภูมิและปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์เกินมาตรฐาน ระบบจะทำการส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือผ่านเทคโนโลยี NB-IoT ไปยังแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพาของผู้ติดตาม เพื่อให้ผู้ติดตามสามารถคาดการณ์สภาพแวดล้อมในสถานที่ที่มีการขอความช่วยเหลือได้ทันที

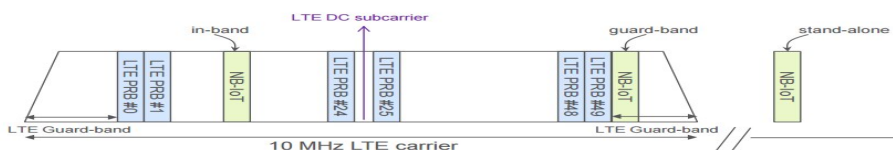
วิธีดำเนินการวิจัย

1. เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

1.1 Narrowband IoT (NB-IoT)

Narrowband IoT หรือ NB-IoT เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบ Low Power Wide Area Network (LPWAN) โดยมีการกำหนดมาตรฐานกลาง 3rd Generation Partnership Project (3GPP) โดย NB-IoT ถือเป็นหนึ่งใน release ที่ 13 ของ 3GPP (LTE-Advanced Pro) และประกาศออกมาเป็นมาตรฐานในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2559 ทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถใช้เครือข่ายเซลลูลาร์ในการรับส่งข้อมูลแบบใช้พลังงานต่ำ ส่งข้อมูล uplink ในขนาดที่เหมาะสมโดยแบตเตอรี่ของอุปกรณ์ IoT มีอายุการใช้งานยาวนาน สามารถพัฒนาเครือข่ายให้เปิดบริการ IoT ได้อย่างสะดวกรวดเร็ว

เนื่องจากใช้ระบบเครือข่ายเซลลูลาร์ในปัจจุบันได้ และสถานีฐานรองรับอุปกรณ์ IoT ได้มากในระดับเสถียรต่อสถานีฐาน NB-IoT ใช้ย่านความถี่อย่างน้อย 180 KHz สามารถทำงานได้ 3 ลักษณะ คือ 1) ใช้ย่านคลื่นความถี่หนึ่งช่องของ GSM 2) ใช้ย่านแถบความถี่ของ LTE 3) ใช้แบนคลื่นความถี่เดียวกับ LTE โดยใช้แบนความถี่หนึ่งบล็อกมีความเร็วในการสื่อสาร 250 kpps มีความเร็วในการรับสัญญาณได้ในระดับ มากกว่า -150 dBm จึงมีระยะทางการสื่อสารที่ไกลมาก โดยมีความเร็วในการรับสัญญาณได้ดีกว่า GSM และ LTE ในระบบเดิม 20 db ผู้ให้บริการโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถติดตั้งระบบสื่อสารข้อมูลกับอุปกรณ์ NB-IoT ได้โดยไม่ต้องมีอินเตอร์เน็ตเกตเวย์ ข้อมูลจะถูกส่งจากอุปกรณ์ NB-IoT ผ่านโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังเครื่องแม่ข่ายได้โดยตรง [10]



ภาพที่ 1 การแบ่งความถี่ของ NB-IoT [11]

นอกจากนี้ในชั้นกายภาพยังต้องพิจารณาถึงแถบความถี่ที่จะใช้งานในการส่งสัญญาณแบบไร้สายด้วย โดยแบ่งแถบความถี่ออกเป็น 2 ประเภท คือ 1) unlicensed band และ 2) licensed band ซึ่งถูกกำหนดการใช้งานในประเทศไทยโดยคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติหรือ กสทช. แถบความถี่ unlicensed band ในประเทศไทยมีการกำหนดให้สามารถใช้งานได้โดยมีค่ากำลังส่งสูงสุดไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ที่ประชุม กสทช. มีมติเห็นชอบให้ใช้คลื่นความถี่ 920-925 MHz เพื่อรองรับเทคโนโลยีไอโอทีตาม (ร่าง) ประกาศ กสทช. เรื่อง มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ไม่ใช่ประเภท Radio Frequency Identification: RFID ซึ่งใช้คลื่นความถี่ 920-925 MHz

ในส่วนของ licensed band จะดำเนินการโดยผู้ให้บริการด้านเครือข่ายโทรคมนาคมที่ได้รับใบอนุญาต

ในการใช้คลื่นความถี่นั้น ๆ เช่น คลื่นความถี่ 3G หรือ ย่านที่ให้บริการ LTE โดยสามารถใช้ได้ทั้งความถี่ในช่วงแถบความถี่คุม (guard band) หรือใช้ในแบนด์ความถี่เดียวกันกับที่ให้บริการ LTE เลยก็ได้ (in band) (ภาพที่ 1) [12]

1.2 โปรโตคอล CoAp

CoAP (Constrained Application Protocol) เป็นมาตรฐานที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใหม่โดย IETF ในปี 2014 โดยถูกออกแบบให้คล้ายกับ HTTP ซึ่งเป็น document transfer protocol แต่มีขนาดเล็กกว่ามาก เพราะตัดส่วนที่ไม่จำเป็นทิ้งและทำงานบน UDP ซึ่งเป็นโปรโตคอลที่ไม่มีการสร้างการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ปลายทาง จึงส่งข้อมูลได้เร็วมาก แต่ไม่การันตีว่าข้อมูลจะถูกส่งไปยังปลายทางอย่างแน่นอน ถูกต้องตามลำดับ การส่งซ้ำและเรียงลำดับข้อมูลต้องไปทำบนระดับแอปพลิเคชัน



โพรโตคอล CoAP เป็นสถาปัตยกรรมแบบ Client/Server โดยเครื่องลูกข่ายจะทำการร้องขอทรัพยากรไปที่เครื่องแม่ข่ายโดยตรง จากนั้นเครื่องแม่ข่ายจะทำการตอบกลับคำร้องพร้อมกับออปชัน 'Content-Type' เพื่อบอกว่าเครื่องลูกข่ายกำลังจะได้รับข้อมูลในรูปแบบไหนกลับไป (เช่น JSON, XML, CBOR เป็นต้น) โดยเครื่องลูกข่ายสามารถ GET, PUT, POST และ DELETE ทรัพยากรบนเครื่องแม่ข่ายด้วย URL และ query string ในการสถาปัตยกรรมแบบ CoAP ที่มีการแลกเปลี่ยนทรัพยากรกันโดยตรง Sensor Node ทำหน้าที่เป็นทั้งเครื่องแม่ข่าย และเครื่องลูกข่ายในเวลาเดียว เพราะต้องทำการตอบรับแพ็กเก็ตที่ถูกส่งมาหาโพรโตคอล CoAP ออกแบบมาสำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบ one-to-one เหมาะสำหรับแอปพลิเคชันแบบกระจายศูนย์ที่มีอุปกรณ์อยู่บนเครือข่ายเดียวกันสามารถติดต่อกันได้โดยตรง [13]

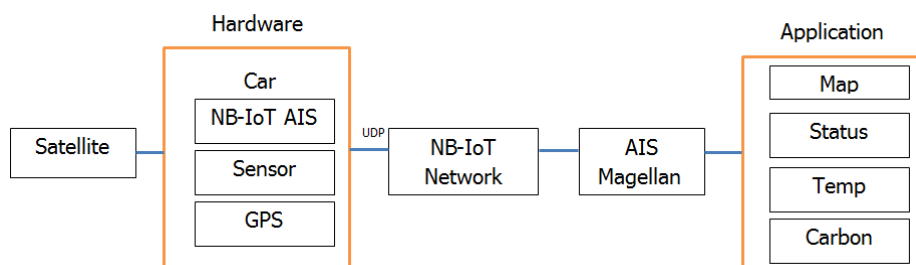
1.3 การบริการของ AIS Magellan

เป็นแพลตฟอร์ม IoT connectivity platform ของผู้ให้บริการโทรศัพท์มือถือจากบริษัท แอดวานซ์ อินโฟร์ เซอร์วิส จำกัด (มหาชน) (AIS) ซึ่งตัวแพลตฟอร์ม IoT Connectivity Platform นั้นมีหน้าที่หลักในการให้บริการเป็น UDP Server ที่สนับสนุนโพรโตคอล CoAP บริการ dashboard ปรับแต่ง การแสดงผลข้อมูลในรูปแบบ widget หรือพัฒนาเชื่อมต่อ API กับแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพา และการใช้ data proxy รองรับการใช้งานจาก NB-IoT

development kit และอุปกรณ์ IoT อื่น ๆ สามารถจัดการอุปกรณ์ ระบบบริการคลาวด์ของ AIS Magellan เป็นแพลตฟอร์ม ที่ถูกออกแบบให้พัฒนาและอำนวยความสะดวกสำหรับนักพัฒนาในการสื่อสารระหว่างเซนเซอร์ อุปกรณ์ผ่านระบบเครือข่ายเซลลูลาร์เข้าสู่ระบบคลาวด์โดยตรง โดยมี Library AIS Magellan เพื่อสนับสนุนนักพัฒนาผลิตภัณฑ์และโซลูชัน IoT ให้สามารถสรุปการออกแบบและทดสอบความเป็นไปได้ (proof of concept) ได้อย่างรวดเร็วก่อนสร้างเป็นผลิตภัณฑ์จริง [14]

2. การวิเคราะห์ระบบและออกแบบระบบ

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการออกแบบและนำเทคโนโลยี NB-IoT เข้ามาช่วยในการส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือจากเครื่องส่งสัญญาณ โดยนำเอาเซนเซอร์ตรวจจับปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ บันทึกลงและแสดงค่าข้อมูลส่งผ่านมาตรฐานโครงข่ายที่ใช้พลังงานต่ำ LPWAN หรือ Low Power Wide Area Network ซึ่งทำให้สามารถรับส่งข้อมูลจากเซนเซอร์ในจุดที่ห่างไกลส่งค่าเข้าสู่ระบบเครือข่ายได้โดยตรงโดยใช้พลังงานต่ำผ่านเครือข่ายโทรศัพท์ [15] ระบบจะส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือจาก 2 กรณี 1) ผู้ใช้งานกดปุ่มขอความช่วยเหลือ 2) เซนเซอร์ตรวจจับความผิดปกติของอุณหภูมิ และปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกินมาตรฐาน ระบบจะแจ้งเตือนในรูปแบบ Notification และส่งข้อมูลไปยัง แอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพาของผู้ติดตาม โดยมีภาพรวมดังภาพที่ 2

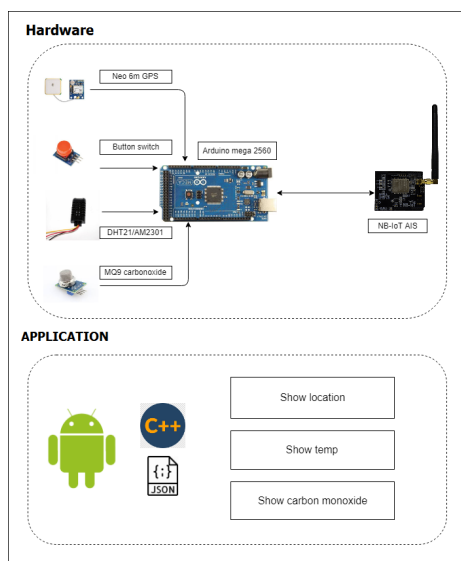


ภาพที่ 2 ภาพรวมการทำงานของระบบ

ส่วนของเครื่องส่งสัญญาณ

จากภาพที่ 1 เครื่องส่งสัญญาณจะทำการติดตั้งไว้ในยานพาหนะ จะทำหน้าที่ในการรับตำแหน่งละติจูด ลองจิจูด จากดาวเทียม และตรวจวัดข้อมูลอุณหภูมิจาก เซนเซอร์ DHT21 ตรวจวัดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์จาก เซนเซอร์ MQ9 จากนั้นทำการส่งข้อมูลอุณหภูมิ และปริมาณ คาร์บอนมอนอกไซด์ไปบริการคลาวด์ AIS Magellan ผ่าน NB-IoT เมื่อเกิดการขอความช่วยเหลือแอปพลิเคชันจะ

ทำการร้องขอข้อมูลบริการคลาวด์ AIS Magellan แล้วนำมาประมวลผลโดยการนำค่าละติจูด ลองจิจูด มารระบุตำแหน่งบนแผนที่ แสดงข้อมูลอุณหภูมิ และปริมาณ คาร์บอนมอนอกไซด์ และนำข้อมูลอุณหภูมิและปริมาณ คาร์บอนมอนอกไซด์มาเปรียบเทียบ เพื่อแสดงสถานะและ ผลกระทบ ซึ่งมีการออกแบบสถาปัตยกรรมระบบโดย สามารถแสดง กระบวนการทำงานของระบบเป็นแผนภาพ ได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 สถาปัตยกรรมระบบ (system architecture)

จากภาพที่ 2 สถาปัตยกรรมระบบ (system architecture) แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) ส่วนเครื่องส่งสัญญาณและ 2) ส่วนของแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพา ในส่วนของเครื่องส่งสัญญาณจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนของเซนเซอร์

1.1 Neo 6mv2 GPS เป็นเซนเซอร์สำหรับการระบุตำแหน่งของเครื่องส่งสัญญาณเมื่อ Neo 6mv2 GPS รับสัญญาณจากดาวเทียมได้จะส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino mega 2560 โดยเซนเซอร์จะรับสัญญาณได้ดีในบริเวณภายนอกอาคาร

1.2 DHT21/AM2301 เป็นเซนเซอร์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์แบบดิจิทัล โดยเชื่อมต่อด้วยสัญญาณเพียงเส้นเดียวแบบสองทิศทาง

1.3 MQ9 carbon monoxide เป็นเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ และตรวจจับความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยจะวัดค่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ ตั้งแต่ 100 ถึง 10,000 ppm ซึ่งเซนเซอร์จะทำงานที่อุณหภูมิตั้งแต่ -10 ถึง 50 องศาเซลเซียส

1.4 Button Switch เป็นปุ่มกดแบบกดติดปล่อยดับทำหน้าที่ส่งสัญญาณแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพา

2. ส่วนของ controller

เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino mega 2560 ในการประมวลผลข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์ต่าง ๆ และส่งไปยังส่วนต่อไป

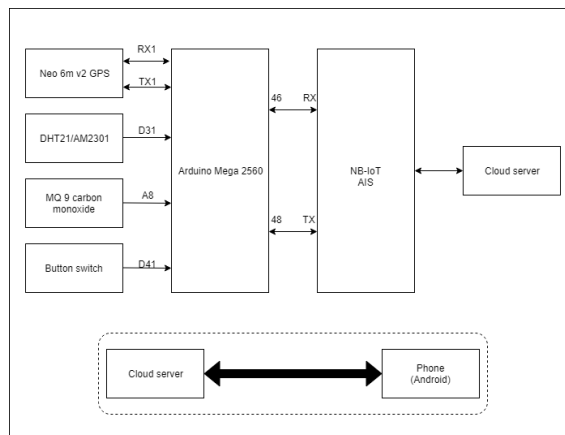


3. ส่วนติดต่อกับ cloud server

เป็น NB-IoT เนื่องจากจากสามารถรองรับการเชื่อมต่อได้หลากหลายรูปแบบ จะทำการรับค่าจากเซนเซอร์ส่งผ่านระบบเครือข่ายเซลลูลาร์ โดยใช้โปรโตคอล CoAp ข้อมูลจะถูกประมวลผลและจัดเก็บไว้ที่บริการคลาวด์ AIS

Magellan ซึ่งสามารถนำแสดงค่าของข้อมูลจากเซนเซอร์มาแสดงที่แอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพา

การออกแบบส่วนเครื่องส่งสัญญาณ สามารถแสดงออกมาได้ในรูปแบบของแผนภาพบล็อก (block diagram) ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แผนภาพบล็อก (block diagram)

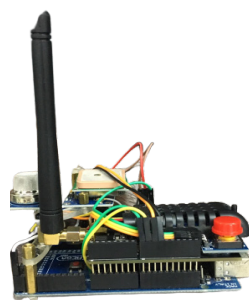
จากภาพที่ 3 แผนภาพบล็อก (block diagram) แสดงถึงการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

1) เป็นส่วนของการทำงานระหว่างเซนเซอร์กับบอร์ด Arduino mega 2560 โดยจะทำการรับส่งค่าต่าง ๆ ผ่านพอร์ต เช่น Neo 6mv2 GPS จะทำการรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ต RX TX และ บอร์ด Arduino mega 2560 จะทำการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์แล้วส่งออกข้อมูลไปบริการคลาวด์ AIS Magellan โดยผ่าน NB-IoT

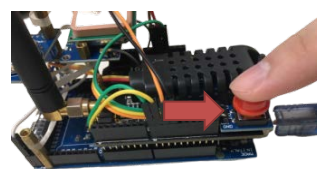
2) เป็นส่วนการรับส่งข้อมูลระหว่าง AIS Magellan กับแอปพลิเคชัน เมื่อมีการขอความช่วยเหลือจะมีการส่งการ

แจ้งเตือนพร้อมค่าละติจูด ลองติจูด ข้อมูลอุณหภูมิ ข้อมูลปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ สถานะและผลกระทบแสดงที่แอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพา

การใช้งานเครื่องส่งสัญญาณต้องทำการต่อแหล่งพลังงานให้กับเครื่องส่งสัญญาณผ่าน USB ใช้กระแสไฟฟ้า DC 5V (ก) โดยเมื่อต้องขอความช่วยเหลือสามารถทำได้โดยการกดที่ปุ่มสีแดงบนอุปกรณ์ (ข) หรือในกรณีที่ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์เกินมาตรฐานเครื่องจะส่งสัญญาณไปยังแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพา แสดงดังภาพที่ 5



(ก)



(ข)

ภาพที่ 5 เครื่องส่งสัญญาณ

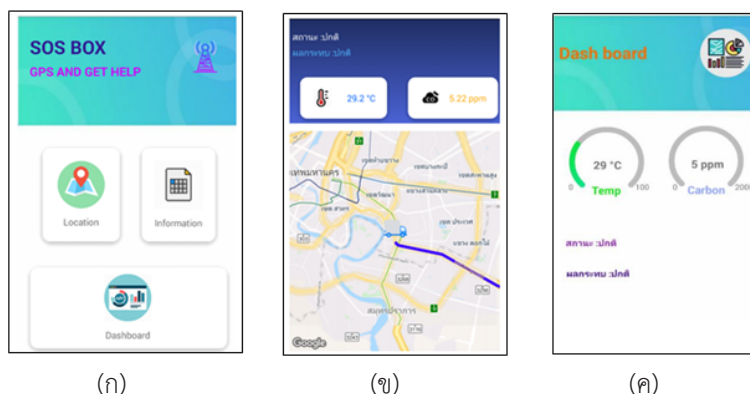
ส่วนของแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพา

เมื่อกดปุ่มจากเครื่องส่งสัญญาณ แอปพลิเคชันจะแจ้งเตือนในรูปแบบ notification พร้อมทั้งแสดงข้อมูลอุณหภูมิ ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ จากบริการคลาวด์ AIS Magellan ผ่าน NB-IoT แล้วนำมาประมวลผล โดยการนำค่าละติจูดและลองจิจูดมาระบุตำแหน่งบนแผนที่ นำข้อมูลอุณหภูมิและปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์มาเปรียบเทียบ เพื่อแสดงสถานะและผลกระทบ แอปพลิเคชันจะแสดงข้อมูลดังนี้

1. ข้อมูลตำแหน่งปัจจุบันของเครื่องส่งสัญญาณบนแผนที่จากค่าละติจูดและลองจิจูดที่ได้มาจากเซนเซอร์ Neo 6mv2 GPS
2. ข้อมูลปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์จากปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้มาจากเซนเซอร์ MQ9
3. ข้อมูลอุณหภูมิจากค่าอุณหภูมิที่ได้มาจากเซนเซอร์ DHT21

4. ข้อมูลสถานะจากการเปรียบเทียบของข้อมูลอุณหภูมิกับปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์

5. ข้อมูลผลกระทบหากคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าสู่ร่างกายจากข้อมูลอุณหภูมิและปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์การใช้งานเมื่อผู้ใช้งานเปิดแอปพลิเคชันจะปรากฏหน้าต่างเวลาเพื่อเริ่มต้นการทำงานของแอปพลิเคชัน (ภาพที่ 5) ระบบจะแสดงหน้าจอทั้งหมด ประกอบไปด้วย 1) เมนู location (ก) จะปรากฏหน้าต่างแสดง สถานะ ผลกระทบ อุณหภูมิ ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ตำแหน่งปัจจุบันของเครื่องส่งสัญญาณและแอปพลิเคชันในรูปแบบแผนที่ 2) เมนู information (ข) จะปรากฏหน้าต่างแสดงข้อมูลปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ และผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อร่างกายหากได้รับในปริมาณที่ไม่ปกติ 3) Dashboard (ค) แสดงสถานะ ผลกระทบ และแสดงข้อมูลอุณหภูมิและปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ในรูปแบบรูปภาพ



ภาพที่ 6 หน้าจอแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพา

ผลการวิจัย

เมื่อเสร็จสิ้นการพัฒนาเครื่องส่งสัญญาณและแอปพลิเคชัน ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบประกอบด้วย 2 ส่วน ประกอบด้วย 1) การทดสอบภาพรวมการทำงานของระบบ

2) การทดสอบประสิทธิภาพของระบบ ผู้วิจัยทำการทดสอบภาพรวมการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณ การเชื่อมต่อเข้ากับบริการคลาวด์ การส่งผ่านข้อมูลไปยังแอปพลิเคชัน และการทำงานของแอปพลิเคชันได้ดังนี้



ตารางที่ 1 สรุปผลทดสอบภาพรวมการทำงานของระบบ

ลำดับ	หน้าที่การทำงาน	ผลการทดสอบ
1	การทำงานของเครื่องส่งสัญญาณ	เมื่อติดตั้งภายในยานพาหนะ เครื่องส่งสัญญาณสามารถจ่ายไฟให้แก่อุปกรณ์เซนเซอร์ได้ตลอด 24 ชั่วโมง
2	การเชื่อมต่อ NB-IoT ผ่านระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่	สามารถเชื่อมต่อได้ทุกครั้งที่เปิดระบบ
3	การเชื่อมต่อเข้ากับบริการคลาวด์ AIS Magellan	สามารถเชื่อมต่อได้โดยสัญญาณจะมีการส่งค่า 2 สถานะคือ connected 5 วินาที สลับกับ disconnect 10 วินาที ทั้งนี้การส่งข้อมูลจะไม่ทันทีทันใด (real-time) แต่จะเป็นส่งข้อมูลต่อเมื่อมีการกดปุ่มระบบจะทำการส่งข้อมูลให้แก่แอปพลิเคชัน ซึ่งเหมาะสมกับงานวิจัย เนื่องจากช่วยประหยัดพลังงาน
4	การส่งค่าวัตถุภูมิ และปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ค่าละติจูด ลองจิจูด	สามารถส่งค่าและแสดงผลบนแอปพลิเคชันได้ทั้ง 4 ค่า
5	การแสดงผลข้อมูลบนแอปพลิเคชัน	สามารถนำข้อมูลที่รับจากเครื่องส่งสัญญาณมาแสดงผลบนแอปพลิเคชันได้อย่างถูกต้อง

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบ ผู้วิจัยได้นำเครื่องส่งสัญญาณติดตั้งภายในรถยนต์เคลื่อนที่ไปยังสถานที่ต่าง ๆ และทำการกดปุ่มขอความช่วยเหลือเพื่อหาเวลาเฉลี่ย โดยเริ่มจากการส่งข้อมูลจากเซนเซอร์ของเครื่องส่งสัญญาณไปยังบริการคลาวด์ AIS Magellan แล้วส่งข้อมูลไปยังแอปพลิเคชันเพื่อแสดงการแจ้งเตือนแบบ notification จากการทดสอบจาก 6 สถานที่ บนถนนบางนา-ตราด ในพื้นที่จังหวัดกรุงเทพฯ สมุทรปราการ และชลบุรี ซึ่งมีระยะทางที่ต่างกันเพื่อทำการทดสอบถึงระยะทางที่รับได้ โดยแต่ละสถานที่ที่มีการทดสอบที่ละ 5 ครั้ง ได้ผลเฉลี่ยดังนี้

ตารางที่ 2 สรุปผลการทดสอบด้านประสิทธิภาพของเครื่องส่งสัญญาณเมื่อขอความช่วยเหลือไปยังแอปพลิเคชัน

สถานที่	ระยะทางระหว่างอุปกรณ์กับแอปพลิเคชัน (กิโลเมตร)	เวลาในการแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชัน (วินาที)
ระหว่าง บริษัท ดี.ที.ซี เอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด กับร้านสะดวกซื้อสาขาซอยสุขุมวิท 68	0.24	11.2
ระหว่าง บางนา-ตราด กิโลเมตรที่ 18 กับ หมู่บ้านนิรันดร์ 10	8.60	13.0
ระหว่าง ห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัล สาขาบางนา กับ บางนา-ตราด กิโลเมตรที่ 18	15.00	16.8
ระหว่าง ถนนสรรพาวุธ กับ ปากซอยวัดศรีวารีน้อย	20.01	24.0
ระหว่าง อาคารกรีฑา ทาวเวอร์แยกบางนา-ตราด กับ ปากซอยมหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ	27.80	31.2
ระหว่าง แยกบางนา-ตราด กับ นิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร	64.00	40.0

จากตารางที่ 2 สามารถสรุปได้ว่าการนำเทคโนโลยี NB-IoT หรือ Narrow Band internet of Thing เข้ามาช่วยในการส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือจากเครื่องส่งสัญญาณสามารถส่งสัญญาณได้จริงในระยะทางที่ไกล โดยในการทดสอบคือ ระยะทางระหว่าง 0.24 ถึง 64.0 กิโลเมตร ซึ่งยังคงสามารถส่งสัญญาณได้เป็นระยะต่อเนื่อง โดยพบว่า การส่งข้อมูลมีความหน่วงของช่วงเวลาเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นตามระยะทางสูงสุด คือ 64 กิโลเมตร ใช้เวลา 40 วินาที แต่ทั้งนี้ระยะเวลาในการส่งสัญญาณแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชันจากพื้นที่ที่ห่างไกล จะใช้ระยะเวลานานกว่าพื้นที่ใกล้อุปกรณ์ และขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อม เช่น อยู่ในที่มีสัญญาณเครือข่ายต่ำ หรืออยู่ภายในอาคารจะทำให้ใช้เวลาในการขอความช่วยเหลือเพิ่มขึ้น

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การพัฒนาเครื่องส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือภายในรถยนต์ผ่านเทคโนโลยี Narrowband-Internet of Things (NB-IoT) สามารถใช้ในการขอความช่วยเหลือได้ทั้งกรณีที่เกิดอุบัติเหตุและไฟไหม้ เป็นต้น โดยเมื่อมีการกดปุ่มเครือข่าย จะทำการส่งข้อมูลอุณหภูมิ ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ จากบริการคลาวด์ AIS Magellan ผ่าน NB-IoT แล้วนำมาประมวลผลโดยการนำค่าสถิติจุดและลองติจูดมาระบุตำแหน่งบนแผนที่ โดยนำข้อมูลอุณหภูมิและปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ มาเปรียบเทียบแสดงสถานะและผลกระทบ เพื่อให้ผู้ติดตามสามารถคาดการณ์สภาพแวดล้อมในสถานที่ที่มีการขอความช่วยเหลือได้ ซึ่งระบบมุ่งเน้นในการติดตั้งภายในยานพาหนะจากผลการทดสอบพบว่าเครื่องส่งสัญญาณและแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพาสามารถทำงานได้จริง ผ่าน NB-IoT จะมีการเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายเซลลูลาร์แบบไม่ต่อเนื่อง ระบบจะทำการส่งข้อมูลหากผู้ใช้งานกดปุ่มขอความช่วยเหลือ หรือเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์เกินมาตรฐาน กล่าวคือ จะแสดงสถานะการเชื่อมต่อ (connect) กับไม่เชื่อมต่อ (disconnect) จึงเหมาะกับการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณ ที่มีการส่งข้อมูลเป็นครั้งคราว ทำให้ใช้พลังงานต่ำ ซึ่งจะไม่เหมาะกับเซนเซอร์ที่ต้องมีการส่งแบบทันทีทันใด นอกจากนี้

ข้อดีที่พบในการประยุกต์ใช้ NB-IoT ที่เห็นได้ชัดเจนคือ การใช้พลังงานต่ำและการรับส่งข้อมูลจากเซนเซอร์ผ่านเครือข่ายเซลลูลาร์ไปยังบริการคลาวด์ AIS Magellan สามารถเชื่อมต่อได้ง่ายสะดวกรวดเร็ว ทำให้ง่ายต่อการการพัฒนา รวมไปถึงข้อจำกัดทางด้านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่ไม่บางสถานที่ไม่สามารถติดตั้งเครือข่ายไร้สายได้โดยความเร็วที่ได้ไม่สูงมาก แต่เพียงพอต่อการใช้งานของงานวิจัยนี้เห็นได้จากการส่งค่ามายังแอปพลิเคชันได้ 4 ค่าพร้อมกัน

นอกจากนี้เทคโนโลยี NB-IoT ถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่ซึ่งมีข้อดีคือ รับส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT เข้าสู่บริการคลาวด์ AIS Magellan เพื่อประมวลผลข้อมูลได้โดยตรงโดยใช้พลังงานต่ำ สามารถติดตั้งอุปกรณ์ในสถานที่ที่มีข้อจำกัดทางด้านพลังงานและข้อจำกัดการเชื่อมระบบการสื่อสารเพราะเทคโนโลยี NB-IoT ใช้ระบบเครือข่ายเซลลูลาร์เป็นช่องทางการสื่อสาร แต่อย่างไรก็ตามเทคโนโลยี NB-IoT ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของการทำงานแบบทันทีทันใด (real-time) และการทำงานภายใต้สภาวะแวดล้อมที่มีขีดเช่น อาคารชั้นใต้ดิน ยังพบปัญหาการส่งสัญญาณที่ล่าช้า

เอกสารอ้างอิง

1. ชัชชัย คุณบัว. IoT: สถาปัตยกรรมการสื่อสาร = Internet of Things. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น; 2562.
2. ภาณุรัฐ เจริญราษฎร์, ภิเศก ภักธเวสสาริช, เจตน์ พวงศิลป์. ระบบแจ้งเตือนผู้บุกรุกผ่านเครื่องแม่ข่ายโดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับแบบไร้สาย. ใน: เอกสารประกอบการประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 7 วันที่ 6 พฤศจิกายน 2557. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ; 2557. หน้า 193-200.
3. พงษ์พันธ์ สมแพง. ระบบตรวจจับการล้มแบบ 2 มิติด้วย Bluetooth Accelerometer Sensor. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต. กรุงเทพฯ; 2561.



4. ศิลป์ณรงค์ฉวีพัฒน์, พรนรินทร์สายกลิ่น. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Narrow Band Internet of Thing ในการสร้างต้นแบบสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร. ใน: เอกสารประกอบการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 5 วันที่ 21 ธันวาคม 2561. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร. กำแพงเพชร; 2561. หน้า 259-70.
5. ชีรพงศ์ ลีลานุภาพ, ธนวัฒน์ กุสูงเนิน, ธัชกร จอมอุดม. การพัฒนาแอปพลิเคชันมือถือสำหรับร้องขอความช่วยเหลือฉุกเฉินจากกลุ่มคน. วารสารวิชาการด้านวิทยาการสารสนเทศและเทคโนโลยีสารสนเทศ 2561;7(2):20-31.
6. Nass C, Jung J, Groen E, Villela K, Holl K. Interaction modes for emergency mobile apps. Hindawi 2018;2018:1-24.
7. MobileHelp. Product-MobileHelp classic. [Internet]. [cited 2020 June 19]. Available from: <https://www.mobilehelp.com/products/mobilehelp-classic>
8. Home Medical Alert. Product-Home Medical Alert. [Internet]. [cited 2020 June 19]. Available from: <https://www.alert-1.com/system/medical-alert-system/504>
8. ชัยพร เขมะภาตะพันธ์. ระบบติดตามตรวจสอบตำแหน่งและเส้นทางรถยนต์ด้วยสัญญาณดาวเทียม. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต; 2555.
9. Wang YPE, Lin X, Adhikary A, Grövlén A, Sui Y, Blankenship Y, et al. A primer on 3GPP Narrowband Internet of Things (NB-IoT). IEEE Commun Mag 2016;55(3):117-23.
10. Link Lab. Narrowband IoT (NB-IoT). [Internet]. [cited 2020 June 19]. Available from: <https://www.link-labs.com/blog/nb-iot-vs-lora-vs-sigfox>
12. ปรีชา กอเจริญ, เพชร นันทิวัฒนา, เต็มพงษ์ศรีเทศ, ณรงค์ อยู่ถนอม. เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายสำหรับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง. วารสารวิชาการ กสทช. 2560;2(2):269-87.
13. Ali AA. Constrained application protocol (CoAP) for the IoT. FUAS 2018;doi:10.13140/RG.2.2.33265.17766:1-5.
14. Advanced Info Service (AIS). What is Magellan. [Internet]. [cited 2020 June 19]. Available from: <https://aiap.ais.co.th/iotdevcenter/platform/Magellan>
15. Munir MW. Different generations of cellular networks system. Karachi: Barrett Hodgson University; 2005.