

บทความวิจัย และบทความวิชาการ



designed by Freepik.com

**เทคโนโลยี Internet of Things
และข้อเสนอแนะในการบริหารคลื่นความถี่
ในประเทศไทย**

**Internet of Things and Regulatory
Guidelines for Spectrum Management
in Thailand**

ดร.กฤษพิรุฬห์ ทองคำวิฑูรย์

เทคโนโลยี Internet of Things และข้อเสนอแนะในการบริหารคลื่นความถี่ในประเทศไทย Internet of Things and Regulatory Guidelines for Spectrum Management in Thailand

ดร.กฤษพิรุณห์ ทองคำวิฑูรย์

บทคัดย่อ

บทความนี้จะกล่าวถึงเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ซึ่งถูกคาดหวังว่าจะเป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างความเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ในอุตสาหกรรมโทรคมนาคม เศรษฐกิจ และสังคมในอนาคต โดยจะกล่าวถึงเฉพาะในด้านการประยุกต์ใช้งาน สถาปัตยกรรม คุณลักษณะทางเทคนิคที่มีผลต่อการใช้งานคลื่นความถี่ การวิเคราะห์ความพร้อมทางการกำกับดูแลของประเทศไทยต่อการพัฒนาระบบ IoT และข้อเสนอแนะเพื่อประกอบการพิจารณากำหนดแผนการบริหารคลื่นความถี่ล่วงหน้าในกรอบเวลา 5 และ 10 ปี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ข้อมูลที่จำเป็นเกี่ยวกับ IoT แก่สาธารณะและใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนภารกิจของสำนักงาน กสทช. ในการสร้างสภาวะแวดล้อมทางการกำกับดูแลกำหนดทิศทางในการบริหารทรัพยากรคลื่นความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัดเพื่อรองรับความต้องการใช้งานที่เติบโตอย่างรวดเร็วของการใช้งานเทคโนโลยี IoT ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสร้างกลไกเพื่อหลีกเลี่ยงความซ้ำซ้อนในการลงทุนและการจัดสรรคลื่นความถี่ รวมถึงสร้างแนวทางให้ระบบใหม่ที่หลากหลายสามารถเชื่อมต่อและทำงานสอดคล้องกันได้

คำสำคัญ : Internet of Things การบริหารคลื่นความถี่ อุปกรณ์สื่อสารระยะใกล้ การกำกับดูแล

ABSTRACT

This paper describes the Internet of Things (IoT) which has been embraced as a key factor to create massive disruptions in telecommunications, economy, and the ways people are living. The aim of the paper is to satisfy two major objectives. First, to present a review and necessary information on state-of-the-art IoT technologies, applications, and technical characteristics related to radio spectrum to the general public.

Second, to provide the Office of the National Broadcasting and Telecommunications Commission (NBTC) the analytical data and recommendations for designing a spectrum management plan for IoT over the 5 and 10 year timeframes. A regulatory status which affects the adoption and development of IoT technologies in Thailand is discussed. The paper aims at supporting the Office of the NBTC to create a regulatory ecosystem and a policy direction that bolster the growth of IoT technologies while ensuring sufficient resources and maintaining spectrum efficiency. The key factors concerned in spectrum planning to avoid investment redundancies and connection incompatibilities are also highlighted in the paper.

Keywords : Internet of Things, IoT, Spectrum Management, Short Range Devices, Regulation

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

Internet of Things (IoT) ตามนิยามของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ หรือ ITU (International Telecommunication Union) หมายถึง โครงข่ายสื่อสารที่มีการเชื่อมต่ออุปกรณ์สื่อสาร เครื่องใช้ไฟฟ้า ยานพาหนะ อาคารสิ่งก่อสร้าง หรือวัตถุอื่น โดยอาศัยการฝังระบบอิเล็กทรอนิกส์ ซอฟต์แวร์ อุปกรณ์เซนเซอร์ และส่วนเชื่อมต่อโครงข่าย ที่จะช่วยให้อุปกรณ์และวัตถุดังกล่าวสามารถ เก็บ หรือแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันได้ (ITU, 2012) ในการประยุกต์ใช้งาน คำว่า “Things” ใน Internet of Things นั้นสามารถมีความหมายครอบคลุมกว้างขวาง ตั้งแต่อุปกรณ์สื่อสารหลากหลายชนิด เครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น พัดลม ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ หม้อหุงข้าว ไปจนถึง ระบบอากาศยาน แผงโซลาร์เซลล์ วาล์วจ่ายน้ำ และแผงวงจรขนาดเล็กที่ฝังลงในปศุสัตว์ ฯลฯ

หากจินตนาการไปถึงอนาคตอันใกล้ ผู้คนจำนวนมากอาจตื่นขึ้นจากการปลุกของแสงสว่างจาก อุปกรณ์สายรัดข้อมือที่สามารถบันทึกข้อมูลการนอนของผู้ใช้งาน เช่น วงจรการนอน ระยะเวลาที่หลับลึก เพื่อช่วยให้ผู้ใช้งานได้วิเคราะห์ประสิทธิภาพการนอนของตน อุปกรณ์ดังกล่าว ยังสามารถเก็บ ข้อมูลการออกกำลังกาย ความดันโลหิต จังหวะการเต้นของหัวใจ พร้อมทั้งข้อมูลการออกกำลังกาย เพื่อใช้ในการสร้างฐานข้อมูลสุขภาพที่สามารถเรียกค้นโดยทีมงานแพทย์ประจำตัว ขณะที่กลับจากการออกกำลังกายตอนเช้า เครื่องอาบน้ำอุ่น เครื่องปรับอากาศ และหม้อหุงข้าวอาจจะเริ่มทำงานเพื่อ

ต้อนรับการกลับมาของเจ้าของบ้าน ในขณะที่ผู้คนบางส่วนในท้องถิ่นอาจกำลังไปทำงานด้วยการโดยสารรถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยตนเอง (Self-Driving Vehicles) รถยนต์ดังกล่าวเคลื่อนที่ผ่านบ้านเรือนที่ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ที่สามารถปรับตามทิศทางของแสงแดดไว้บนหลังคา โดยกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ส่วนหนึ่งจะถูกเก็บไว้ใช้งาน ส่วนหนึ่งจะจ่ายเข้าสู่ระบบสายส่งของการไฟฟ้าเพื่อสร้างรายได้ให้กับเจ้าของบ้านผู้ติดตั้ง โดยอาศัยกลไก อุปสงค์-อุปทาน ของพลังงานไฟฟ้า ณ ขณะนั้น ที่จัดการโดยระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Power Grid) ในอนาคตประเทศไทยอาจยังคงเป็นประเทศผู้ผลิตสินค้าเกษตรกรรมรายใหญ่ของโลก ด้วยการสนับสนุนของเทคโนโลยีเกษตรกรรมอัจฉริยะ (Smart Farming) ที่สามารถจ่ายน้ำ ให้ปุ๋ย และปรับม่านบังแสงแดดอัตโนมัติโดยอาศัยการทำงานร่วมกันของเซนเซอร์วัดความชื้นและแสงแดด ผ่านการควบคุมของระบบฐานข้อมูลที่เก็บสถานะที่เหมาะสมต่อการทำการเกษตรของพืชหลากหลายชนิด และข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาที่ได้รับจากระบบอินเทอร์เน็ต ฯลฯ

ตัวอย่างของสถานการณ์ดังกล่าวอาจฟังดูคล้ายกับนิยายวิทยาศาสตร์ที่ไกลตัว แต่เป็นสิ่งที่กำลังเกิดขึ้นจริงในหลายประเทศของโลกและกำลังเปลี่ยนแปลงโลกอย่างค่อยเป็นค่อยไป ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยี IoT อย่างไรก็ดีตาม ในปัจจุบันเทคโนโลยี IoT นั้นยังอยู่ในขั้นแรกเริ่มการพัฒนา และมีแนวโน้มของการเจริญเติบโตสูงมากในอนาคต มีการประมาณการจากบริษัท Cisco Systems ว่า ในปี 2016 มีอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อผ่านระบบโครงข่ายอินเทอร์เน็ตทั้งสิ้นจำนวนทั้งสิ้น 12.4 พันล้านอุปกรณ์ คาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 50 พันล้านอุปกรณ์ ในปี 2020 ซึ่งจะเป็นจำนวนที่สูงกว่าจำนวนผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่หลายเท่าตัว (Cisco, 2013) การเจริญเติบโตดังกล่าวจะเปิดโอกาสให้มีการสร้างนวัตกรรมและการบริการรูปแบบใหม่ รวมถึงช่วยให้มนุษย์สามารถเข้าถึงข้อมูลอย่างหลากหลายในระดับที่ไม่เคยเป็นมาก่อน ซึ่งจะช่วยสร้างเครื่องมืออำนวยความสะดวกให้กับมนุษย์และสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจอย่างมหาศาลในอนาคต อย่างไรก็ตาม การขยายตัวดังกล่าวต้องการการรองรับของโครงสร้างพื้นฐานทางโทรคมนาคมและทรัพยากรทางโครงข่ายที่เพียงพอและการบริหารจัดการที่มีความยืดหยุ่นสูง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีโอกาสจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและฉับพลัน ซึ่งถ้าขาดการเตรียมการและวางแผนเพื่อให้มีกระบวนการกำกับดูแลที่มีประสิทธิภาพ และการสร้างสถานะแวดล้อม (Ecosystem) ที่มีส่วนช่วยสนับสนุนให้เทคโนโลยี IoT พัฒนาได้อย่างรวดเร็วและเชื่อมต่อกันอย่างทั่วถึงแล้ว อาจส่งผลให้การเจริญเติบโตอยู่ในรูปแบบไร้ทิศทาง เกิดความความซ้ำซ้อน ความไม่เชื่อมโยง และขาดแคลนทรัพยากรคลื่นความถี่ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อทิศทางการพัฒนาประเทศในภายหลัง

บทความนี้เสนอข้อมูลพื้นฐาน ปัจจัยที่ควรคำนึงถึง และข้อเสนอแนะเพื่อใช้ประกอบการพิจารณาในการกำหนดนโยบายและแผนการบริหารคลื่นความถี่เพื่อรองรับการใช้งานเทคโนโลยี IoT พร้อมทั้ง

แนวทางการกำกับดูแลที่เกี่ยวข้องในกรอบระยะเวลา 5 และ 10 ปี ตามลำดับ หัวข้อที่ 2 ในบทความนี้ กล่าวถึงรูปแบบการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยี IoT ที่มีโอกาสจะเกิดขึ้นในประเทศไทย หัวข้อที่ 3 กล่าวถึงเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องและสถานะแวดล้อมที่เอื้อให้เกิดการเจริญเติบโตของเทคโนโลยี IoT ในขณะที่ข้อมูลทางเทคนิคและมาตรฐานเทคโนโลยี IoT ที่สำคัญจะถูกรวบรวมไว้ใน หัวข้อที่ 4 และหัวข้อที่ 5 ซึ่งเป็นหัวข้อสุดท้ายจะกล่าวถึงปัจจัยที่ควรคำนึงถึงในการกำหนดนโยบายและการกำกับดูแล พร้อมทั้งข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้อง

2. การประยุกต์ใช้งาน

การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยี IoT ในช่วงแรกจะเป็นการพัฒนาต่อยอดระบบที่ทำงานเป็นอิสระ (Stand Alone) ไม่เชื่อมกับระบบอื่น หรือ เป็นระบบโครงข่ายภายในที่ไม่ต่อเชื่อมกับระบบอินเทอร์เน็ต ผู้เชี่ยวชาญเรียกระบบเหล่านี้ว่า Intranet of Things อย่างไรก็ตาม การพัฒนาเทคโนโลยีโครงข่ายในรูปแบบใหม่ส่งผลให้ระบบ วัตถุ และอุปกรณ์ทั้งหลายที่เคยทำงานแยกกันสามารถเชื่อมต่อถึงกัน สื่อสารกัน และสร้างช่องทางให้มนุษย์สามารถเข้าถึง ควบคุม เก็บข้อมูล และใช้งานได้ โดยรูปแบบการสื่อสารของแนวคิด IoT นั้น เป็นผลพวงของการพัฒนาต่อยอดระบบอินเทอร์เน็ตที่มีอยู่ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเอื้อให้เกิดการประยุกต์ใช้งานในรูปแบบใหม่ในประเทศไทย ดังต่อไปนี้

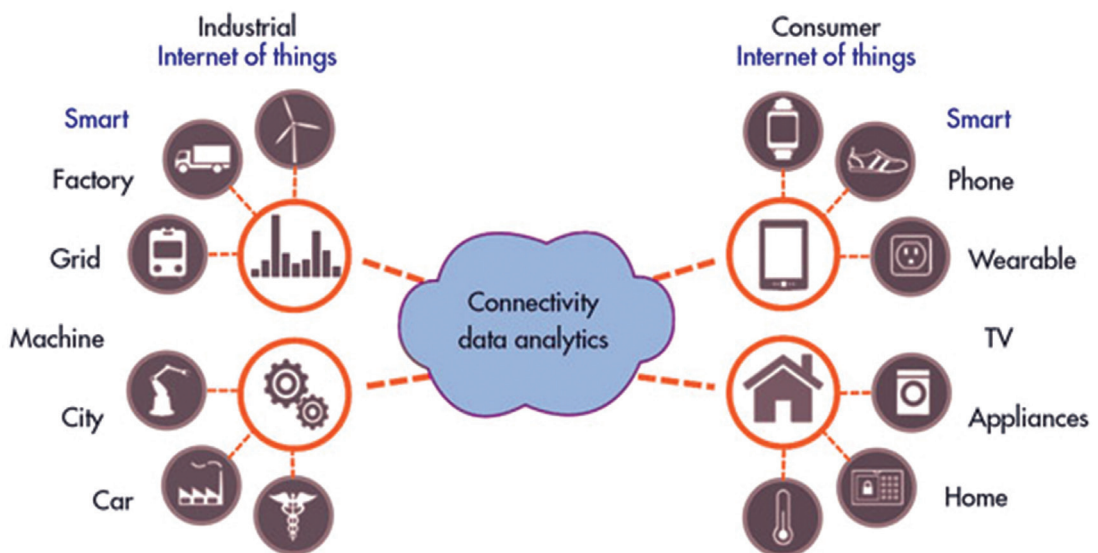
อุตสาหกรรมและการผลิต

ระบบควบคุมเครื่องจักรกลการผลิตโดยอัตโนมัติและการใช้หุ่นยนต์เป็นเครื่องมืออันสำคัญของวงการอุตสาหกรรมของประเทศไทยในปัจจุบัน หัวใจของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT ในอุตสาหกรรม คือการเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนจากการผลิตจำนวนมาก (Mass Production) โดยใช้ข้อมูลและผลของการวัดที่เก็บผ่านโครงข่ายของเซนเซอร์ร่วมกับการทำงานของระบบการตัดสินใจโดยอัตโนมัติ การทำงานในลักษณะที่เครื่องจักร หุ่นยนต์ และเซนเซอร์ทุกตัวสามารถสื่อสารกันได้จะเพิ่มความแม่นยำและช่วยให้ระบบทำงานได้สอดคล้องกันอย่างเป็นอัตโนมัติ

ผลการสำรวจและการวิจัยของ World Economic Forum พบว่า 79% ของผู้ถูกสำรวจจากวงการอุตสาหกรรมทั่วโลกเชื่อมั่นว่าภายในระยะเวลา 5 ปี เทคโนโลยี IoT จะเข้ามาเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงครั้งยิ่งใหญ่ (Disruptive Factor) ต่อการประกอบการอุตสาหกรรม (World Economic Forum, 2015a) โดยในการประชุม IoT World Forum มีการกล่าวถึงการปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 4 (Industry 4.0) และมีการรายงานตัวเลขการลงทุนในเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ต

อุตสาหกรรม (Industrial Internet) ทั่วโลกในปี ค.ศ. 2014 ทั้งสิ้นจำนวน 1.5 พันล้านดอลลาร์สหรัฐฯ (Cisco System, 2014) ซึ่งประเทศไทยมีโอกาสสูงที่จะได้รับผลการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเช่นกัน ในฐานะที่เป็นฐานการผลิตใหญ่ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และยานยนต์

ตัวอย่างของระบบที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตอุตสาหกรรมแสดงในภาพที่ 1 ตามแนวคิดของบริษัท National Instrument ซึ่งระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติและหุ่นยนต์อุตสาหกรรมในโรงงานอัจฉริยะ (Smart Factory) จะสามารถควบคุมอัตราการผลิตให้สอดคล้องกับอุปสงค์และอุปทานของตลาดซึ่งเกิดจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากพฤติกรรมของผู้บริโภค และทรัพยากรที่ได้รับจากสาธารณูปโภคพื้นฐาน เช่น ระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ ระบบส่งน้ำอัจฉริยะ ฯลฯ



ภาพที่ 1 ตัวอย่างของระบบอุตสาหกรรมที่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT เพื่อการควบคุมระบบอุตสาหกรรมให้ทำงานสอดคล้องกับระบบสาธารณูปโภคพื้นฐาน และอุปสงค์-อุปทานของตลาด

ปรับปรุงจาก : เอกสารประกอบการบรรยาย เรื่อง Access to Enabling Technologies for Innovation โดย Eloisa Acha และ Rudi Ngnepi บริษัท National Instruments ปีลิขสิทธิ์ 2015

ระบบจัดการการเกษตรอัจฉริยะ

การเกษตรอัจฉริยะ (Smart Farming) อาศัยการทำงานร่วมกันของระบบเซนเซอร์ที่วัดความชื้น ปริมาณแสงแดด อุณหภูมิ ระบบฐานข้อมูลพืช และระบบให้น้ำ ปรับปริมาณแสง และระบบปรับ อุณหภูมิ ที่ทำงานสอดคล้องกันเพื่อสร้างสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชมากที่สุด ระบบดังกล่าวยังช่วยให้เกษตรกรสามารถประมาณการช่วงเวลาเก็บเกี่ยวและปริมาณพืชผลที่จะได้อีกด้วย

ระบบคมนาคมและการจัดการโลจิสติกส์

หนึ่งในภาคส่วนที่คาดว่าจะเกิดความเปลี่ยนแปลงจากเทคโนโลยี IoT คือ ระบบคมนาคมและการจัดการโลจิสติกส์ โดยเฉพาะแนวคิดคมนาคมขนส่งอัจฉริยะ หรือ Intelligent Transport System (ITS) ซึ่งระบบดังกล่าวจะช่วยให้เกิดการสื่อสารระหว่างพาหนะต่อพาหนะด้วยกัน หรือระหว่างพาหนะและระบบควบคุมการจราจรอื่น เช่น ระบบสัญญาณการจราจร ระบบข้อมูลสภาพจราจร หรือการนำเอา ระบบดังกล่าวมาใช้กับระบบขนส่งมวลชนที่จะช่วยให้การบริการมีความปลอดภัย สะดวก และตรงเวลามากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ การนำระบบดังกล่าวไปใช้ในการขนส่งสินค้าจะทำให้สามารถทราบตำแหน่ง ยานพาหนะ ทราบสถานการณ์รับ-ส่งสินค้า อันส่งผลให้การจัดการสินค้าคงคลังมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ระบบข้อมูลสุขภาพและการแพทย์

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบสวมใส่ได้ (Wearable Devices) เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้อมูลทางสุขภาพและพฤติกรรมมนุษย์สามารถถูกวัดและรวบรวมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์สุขภาพได้ อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถตรวจวัดวงจรการนอน การเต้นของหัวใจ ความดันโลหิต และเก็บข้อมูลกิจกรรมระหว่างวัน เช่น การเดินและวิ่ง นอกจากนี้ อุปกรณ์การแพทย์ระดับผู้บริโภค เช่น เครื่องวัดน้ำตาลในเลือด เครื่องวัดความดันโลหิต เครื่องวัดสายตา เมื่อถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบฐานข้อมูลส่วนบุคคล จะช่วยให้ผู้บริโภค หรือคนไข้ตรวจสอบข้อมูลทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพของตน หรือเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้ทีมงานแพทย์ได้ข้อมูลประกอบการวินิจฉัยโรคได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น

ระบบการจัดการพลังงานและสาธารณูปโภค

ระบบการจัดการพลังงานและสาธารณูปโภคที่มีประสิทธิภาพจะต้องมีการตรวจวัดที่แม่นยำ การประมวลผลในภาพรวม และการประมาณการที่มีความเชื่อถือได้ ระบบ IoT จะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในลักษณะการตรวจวัดระยะไกล (Telemetry) เช่น ระบบ Smart Meter ซึ่งมีความสามารถในการวัดปริมาณการใช้สาธารณูปโภค หรือวัดคุณภาพสาธารณูปโภค ก่อนจะส่งข้อมูลดังกล่าวไปยังหน่วย

ประมวลผลกลางเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในภาพรวมต่อไป ตัวอย่างของการประยุกต์ใช้งานประเภทนี้ คือ บริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) ที่ทำหน้าที่ตรวจวัด ปริมาณการใช้งานพลังงานไฟฟ้า และรวบรวมข้อมูลเพื่อประมาณการค่าอุปสงค์ (Demand Forecast) การใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ อันจะเป็นประโยชน์ต่อการควบคุมการจ่ายไฟฟ้า การวางแผนสร้าง โรงไฟฟ้า จัดการแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า และการคิดราคาค่าไฟฟ้าแบบสอดคล้องกับค่าอุปสงค์-อุปทาน (ETP Smartgrids, 2016) ซึ่งในประเทศไทย ระบบดังกล่าวกำลังได้รับการบุกเบิกพัฒนาภายใต้ ความร่วมมือระหว่างหน่วยงานรัฐ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้าภูมิภาค การไฟฟ้า นครหลวง และมหาวิทยาลัย (กระทรวงพลังงาน, 2558) แนวคิดที่คล้ายคลึงกันสามารถนำมาประยุกต์ ใช้กับการจัดการสาธารณูปโภคชนิดอื่น เช่น ระบบส่งน้ำอัจฉริยะ (Smart Water) และชลประทาน อัจฉริยะ (Smart Irrigation)

การเงินการธนาคาร

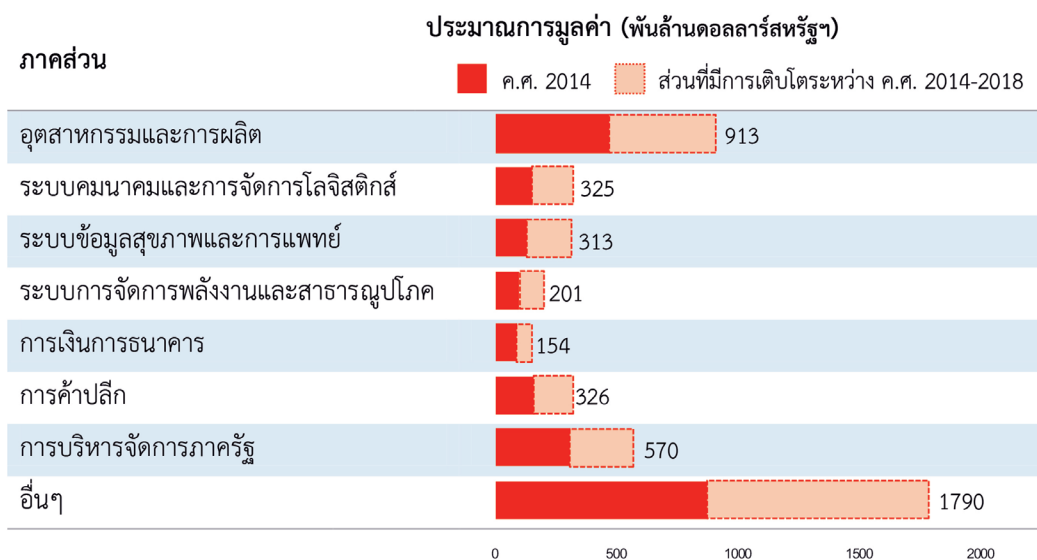
ตลาดการเงินเป็นภาคส่วนที่ถือว่ามี การเชื่อมต่อเข้ากับระบบอินเทอร์เน็ตสูงอยู่แล้วเมื่อเทียบกับภาคส่วนอื่น อย่างไรก็ตาม การเชื่อมต่อนี้มักอยู่ในลักษณะโครงข่ายสารสนเทศของธุรกิจธนาคาร ประกันภัย และการลงทุน การเข้ามาของเทคโนโลยี IoT จะเป็นการเพิ่มช่องทางการเข้าถึงผู้บริโภค ที่ใช้งานอุปกรณ์สื่อสารที่เชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ตที่มีแนวโน้มในการใช้บริการธุรกรรมทาง อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ระบบ e-Banking ระบบ e-Payment การลงทุนและการซื้อขายสินทรัพย์ผ่าน โทรศัพท์เคลื่อนที่ และการซื้อขายอัตโนมัติความถี่สูง (High Frequency Trading) นอกจากนี้ ข้อมูล รูปแบบการทำธุรกรรมและการลงทุนอาจเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์พฤติกรรมผู้บริโภค และการให้ บริการที่ตรงความต้องการของผู้บริโภคมากขึ้นอีกด้วย ผลของการนำเทคโนโลยีการเงิน หรือ Fin Tech (Financial Technologies) ที่มีต่อตลาดการเงินในอนาคตถูกรวบรวมไว้ในรายงานของ World Economic Forum (World Economic Forum, 2015b)

การจัดการภาครัฐ

การลงทุนเทคโนโลยี IoT ในภาคส่วนหน่วยงานรัฐจะอยู่ในรูปแบบการยกระดับการให้บริการ สาธารณะ (Public Service) การยื่นคำร้องและการประมวลผลผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ รวมทั้ง การสนับสนุนโครงสร้างพื้นฐานสาธารณะที่เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อโครงข่ายของภาคเอกชน หน่วยงานรัฐอาจทำหน้าที่ในการวางกลยุทธ์ระดับเมืองและประเทศ และสร้างบริการสาธารณะโดยการ ร่วมมือกับภาคเอกชน (PPP : Public Private Partnership) เพื่อกำหนดทิศทางการพัฒนาและ ลดความซ้ำซ้อน ตัวอย่างของการประยุกต์เทคโนโลยีดังกล่าว ได้แก่ ระบบเมืองอัจฉริยะ (Smart City)

ที่เป็นระบบประสานงานและเชื่อมโยงข้อมูลจากระบบย่อยระบบอื่น เช่น ระบบการคมนาคมอัจฉริยะ (Smart Transportation) ระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ ระบบส่งน้ำอัจฉริยะ ระบบบ้านอัจฉริยะ (Smart Home) เข้าด้วยกัน (IEC, 2014) และทำงานสอดคล้องกัน

จากการวิเคราะห์ของบริษัท Cisco Systems มูลค่าตลาดของธุรกิจโดยรวมทั่วโลกที่ได้รับการสนับสนุนและประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT อาจมีค่าสูงถึง 14.4 ล้านล้านดอลลาร์สหรัฐฯ (Cisco, 2014a) หากพิจารณาแยกออกเป็นภาคส่วน International Data Corporation (IDC) ได้ประมาณการไว้ว่า จากปี 2014 ถึงปี 2018 รายได้จากธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับภาคส่วนหลัก (Major Sectors) จะมีการขยายตัวจาก 2.29 เป็น 4.59 ล้านล้านดอลลาร์สหรัฐฯ ตามลำดับ (Kraus, Monika, & Xiong, 2015) ซึ่งมีการจำแนกรายอุตสาหกรรมหลักดังปรากฏในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ประมาณการการเติบโตของรายได้จากธุรกิจที่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT ระหว่าง ค.ศ. 2014-2018
สร้างแผนภาพขึ้นโดยการอ้างอิงข้อมูลจาก : Worldwide Internet of Things Spending by Vertical Market 2015–2018 โดย Bob Kraus, Monika Kumar และ Suya Xiong ปีลิขสิทธิ์ 2015

จากการประมาณการดังกล่าว ทุกภาคส่วนจะมีการเติบโตของการทำรายได้ถึง 2 เท่าในระยะเวลา 4 ปี โดยภาคส่วนที่มีการขยายตัวอย่างโดดเด่น คือ ภาคอุตสาหกรรมและการผลิต สุขภาพและการแพทย์ และภาคระบบคมนาคมและการจัดการโลจิสติกส์ ซึ่งทั้งสามภาคส่วนถือเป็นภาคส่วนหลักของเศรษฐกิจของประเทศไทยทั้งสิ้น

3. เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

เทคโนโลยี IoT มีความหมายโดยกว้างคือเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลที่เชื่อมต่อ วัตถุ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และผู้คนเข้าเป็นโครงข่ายเดียวกัน อย่างไรก็ตาม หลักการดังกล่าวตั้งอยู่บนพื้นฐานของเทคโนโลยีและวิทยาการที่เกี่ยวข้องหลากหลายสาขาซึ่งได้สร้างสภาวะแวดล้อมทางเทคโนโลยีที่เหมาะสมทำให้เกิดการประยุกต์ใช้งานที่มีการบูรณาการดังที่กล่าวมา เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องและเป็นรากฐานของ IoT มีดังต่อไปนี้

3.1 เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ต (Internet)

แนวคิดแรกเริ่มในการพัฒนาโครงข่ายอินเทอร์เน็ตคือการสร้างโครงข่ายที่สามารถเชื่อมโยงคอมพิวเตอร์จากหลากหลายผู้ผลิตให้ติดต่อสื่อสารกันได้โดยผ่านโพรโทคอล TCP/IP ทั้งนี้ ระบบอินเทอร์เน็ตได้ขยายตัวขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการเชื่อมต่อโครงข่ายย่อยต่างๆ จากทุกมุมโลกเข้าด้วยกัน และทำให้อุปกรณ์หลากหลายชนิดที่มีมาตรฐานแตกต่างกัน ติดต่อสื่อสารกันได้ ไม่ว่าจะอยู่ ณ ตำแหน่งไหนในโลก หลักการดังกล่าว เป็นที่มาของแนวคิดที่ว่า อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อเข้ากับโครงข่ายอินเทอร์เน็ตไม่จำเป็นต้องเป็นคอมพิวเตอร์เท่านั้น แต่ยังสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สมัยใหม่ เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบสวมใส่ได้ อุปกรณ์เซนเซอร์ ฯลฯ หรือ “Things” เข้ากับโครงข่ายอินเทอร์เน็ตดั้งเดิมที่มีอยู่ได้ ด้วยเหตุนี้จะช่วยให้อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถเข้าถึงข้อมูลที่อยู่ในระบบอินเทอร์เน็ต ส่งข้อมูลเพื่อจัดเก็บ และเข้าถึงจากผู้ใช้งานระยะไกลได้

3.2 เทคโนโลยีเซนเซอร์ (Sensor Technology)

เซนเซอร์คืออุปกรณ์ที่ใช้วัดและเปลี่ยนปริมาณทางธรรมชาติที่วัดได้ เช่น ความดัน อุณหภูมิ ปริมาณแสง ความชื้น ความเข้มข้น การเคลื่อนไหว ฯลฯ ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าและข้อมูลเชิงตัวเลข อุปกรณ์เซนเซอร์ถูกใช้ในการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาประมวลผลและใช้ประกอบการตัดสินใจ การใช้งานที่มีการเก็บข้อมูลผ่านโครงข่ายที่มีการเชื่อมต่อเซนเซอร์จำนวนมากเข้าด้วยกัน (Puccinelli & Haenggi, 2005) จะเป็นประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้งานบางประเภทที่ต้องการวัดปริมาณ ณ ตำแหน่งทาง

ภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกัน หรือการสังเคราะห์ข้อมูลในภาพรวมจากการใช้ข้อมูลที่เก็บจากเซนเซอร์จำนวนมาก อุปกรณ์เซนเซอร์เปรียบได้กับหูและตาของระบบ IoT ทั้งนี้ เซนเซอร์ได้ถูกติดตั้งลงในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สมัยใหม่จำนวนมาก เช่น โทรศัพท์สมัยใหม่อาจประกอบด้วยเซนเซอร์ที่ใช้วัดปริมาณของตัวแปรที่แตกต่างกันมากกว่า 13 ชนิด (Andriod, 2016)

3.3 วิทยาการ Machine Learning

Machine Learning คือ สาขาวิทยาการทางคอมพิวเตอร์ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างกระบวนการตัดสินใจอัตโนมัติ หรือสร้างการประมาณการผ่านการเรียนรู้รูปแบบ และค่าทางสถิติของข้อมูลที่น่าสนใจ Machine Learning เป็นเครื่องมืออันสำคัญในการสร้างปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ที่ทำหน้าที่ในการตัดสินใจแทนมนุษย์ ดังนั้น Machine Learning เปรียบเสมือนเป็นมันสมองของระบบ IoT ที่จะประมวลผลข้อมูลทั้ง ณ บริเวณ “Things” หรือ วัตถุที่ต่อเชื่อมเข้ากับระบบอินเทอร์เน็ต และส่วนประมวลผลที่ต่อเชื่อมอยู่กับโครงข่าย ตัวอย่างของบริษัทที่มีการนำเครื่องมือ Machine Learning มาใช้งาน คือ Google Facebook Amazon ฯลฯ

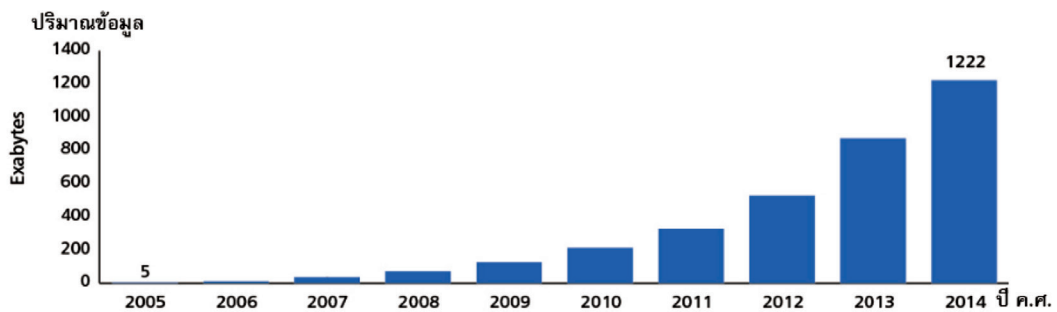
3.4 เทคโนโลยี Machine to Machine

โดยทั่วไปเทคโนโลยี Machine to Machine หรือ M2M หมายถึงระบบสื่อสารสมัยใหม่ระหว่างอุปกรณ์ที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางที่เป็นมนุษย์เข้าไปมีส่วนร่วมในการสื่อสาร เทคโนโลยีดังกล่าวอาจครอบคลุมการทำงานร่วมกันของโครงข่ายเซนเซอร์ (Sensor Network) และ Machine Learning ที่ทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สื่อสารกันได้อย่างอัตโนมัติ การสื่อสารแบบ M2M ถือว่าเป็นกลไกสำคัญของ IoT ในส่วนของการสื่อสารแบบ Thing to Things

3.5 เทคโนโลยี Big Data

เทคโนโลยี Big Data เกิดจากความพยายามที่จะจัดการข้อมูลที่เกิดจากการใช้งานระบบสารสนเทศที่มีขนาดใหญ่ขึ้นมหาศาล มีความหลากหลาย และมีลักษณะแบบไม่มีโครงสร้าง (unstructured) ส่วนหนึ่งของผลการวิจัยจากมหาวิทยาลัย Leipzig ประเทศเยอรมนี (Ngonga, 2013) ปรากฏในภาพที่ 3 บ่งชี้ว่า ปริมาณข้อมูลที่ถูกสร้างขึ้นจากผู้ใช้บริการประเภทองค์กรทั่วโลกได้เพิ่มขึ้น 240 เท่า จาก 5 Exabytes เป็น 1222 Exabytes ระหว่างปี 2005 จนถึงปี 2014 ตามลำดับ การเติบโตดังกล่าวได้สร้างความซับซ้อนและความยุ่งยากให้กับการจัดเก็บ วิเคราะห์ และสืบค้นข้อมูล เทคโนโลยี Big Data ได้เข้ามามีบทบาทในการประมวลผลข้อมูลโดยการจัดการข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบไม่มีโครงสร้างให้เป็นข้อมูลที่มีโครงสร้าง (Structured) นอกจากนี้ เทคนิคการวิเคราะห์ทางสถิติ วิทยาศาสตร์ทาง

ข้อมูล (Data Science) และวิทยาการ Machine Learning ได้ช่วยให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่มีขนาดมหาศาลและสังเคราะห์ความสัมพันธ์หรือค่าทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการตัดสินใจได้ Big Data จะมีบทบาทมากขึ้นในอนาคตเพื่อจัดการข้อมูลที่ได้รับจากโครงข่าย IoT



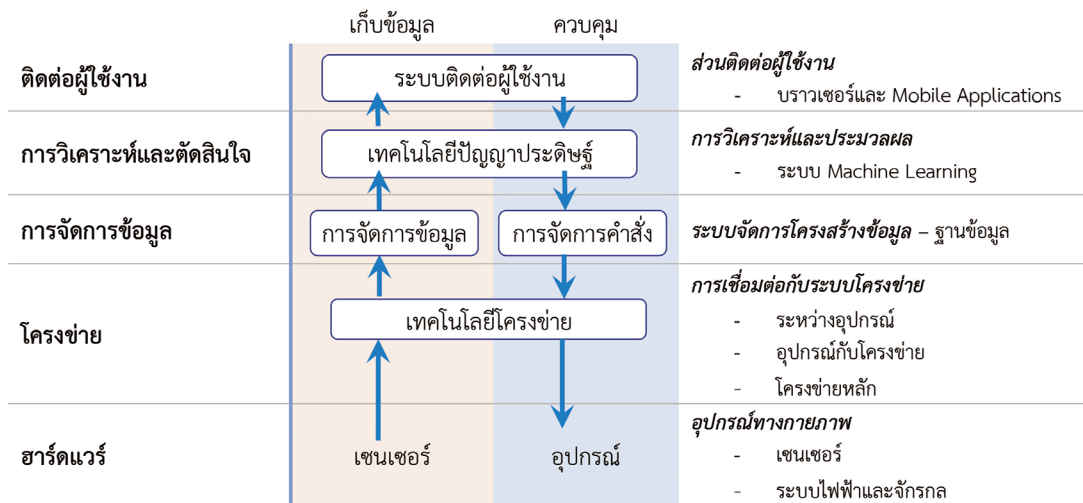
ภาพที่ 3 การเติบโตของจำนวนข้อมูลที่ถูกสร้างขึ้นจากผู้ใช้งานประเภทองค์กรทั่วโลกระหว่าง ค.ศ. 2005-2014

ปรับปรุงจาก : Data acquisition โดย Axel Ngonga, University of Leipzig and AKSW Research Group ปีลิขสิทธิ์ 2013

4. สถาปัตยกรรมและข้อมูลทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้อง

เทคโนโลยี IoT เป็นระบบขนาดใหญ่ที่เกิดจากการทำงานร่วมกันของหลากหลายองค์ประกอบ โดยมีโครงสร้างสถาปัตยกรรมของระบบดังปรากฏในภาพที่ 4

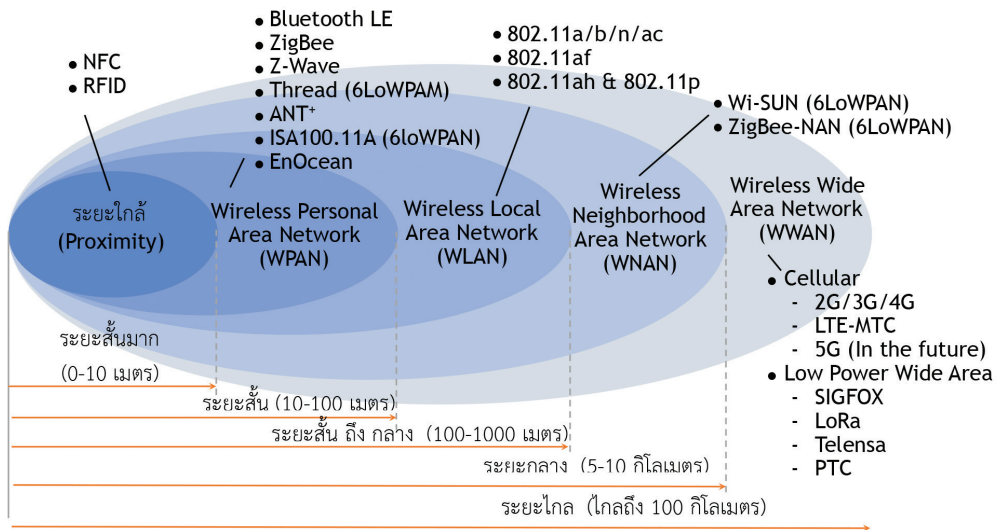
เนื่องจากเทคโนโลยี IoT อยู่ในช่วงแรกเริ่มพัฒนาและประกอบด้วยหลากหลายรูปแบบเทคโนโลยี จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีมาตรฐานกลางที่จะช่วยให้อุปกรณ์หลากหลายที่เชื่อมต่อกับโครงข่าย IoT สื่อสารกันได้ องค์กรที่มีบทบาทในการผลักดันมาตรฐานในภาพกว้างดังกล่าวได้แก่ สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ หรือ International Telecommunication Union (ITU) ภายใต้กลุ่มศึกษาที่ 20 ของ ITU-T (ITU, 2016) สถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ หรือ IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) กลุ่ม IoT (IEEE IoT, 2016) และ IoT World Forum (IoT World Forum, 2014)



ภาพที่ 4 โครงสร้างทางสถาปัตยกรรมของเทคโนโลยี IoT

ปรับปรุงจาก : IoT World Forum Reference Model จากเอกสารประกอบการบรรยาย เรื่อง Building the Internet of Things โดย IoT World Forum 2014

อย่างไรก็ตาม ได้มีการรวมกลุ่มของผู้ผลิตเทคโนโลยีในลักษณะพันธมิตรทางเทคโนโลยี (Technological Alliance) ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อร่วมกันกำหนดมาตรฐานร่วมเพื่อให้อุปกรณ์ที่ผลิตจากบริษัทที่อยู่ในพันธมิตรทางเทคโนโลยีสามารถทำงานร่วมกันได้ เช่น โมเดลอ้างอิง (The Internet of Things Reference Model) ของบริษัท Cisco (Cisco, 2014b) ในบทความฉบับนี้จะมุ่งวิเคราะห์เทคโนโลยีในส่วนโครงข่าย เนื่องจากเป็นส่วนที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการใช้งานคลื่นความถี่ โดยจะเน้นส่วนโปรโตคอลที่เทียบได้กับระดับชั้น Connectivity (Physical Layer) Link Protocol (Datalink Layer) และ Transport (Transport Layer) ของมาตรฐาน OSI Model (International Organization for Standardization, 1994) ซึ่งในบทความนี้จะจำแนกมาตรฐานโครงข่ายออกเป็นกลุ่มโดยแบ่งตามระยะทำการและประเภทของโครงข่ายดังปรากฏในภาพที่ 5 (Zemede, 2015)



ภาพที่ 5 ลำดับชั้นโปรโตคอลที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี IoT แบ่งตามระยะทำการและประเภทของโครงข่าย

ปรับปรุงจาก : Building IoT gateways to the cloud โดย Martha Zemedede, 2015

ความหลากหลายของมาตรฐานการสื่อสารข้อมูลในภาพที่ 5 เกิดจากการพัฒนารูปแบบการสื่อสารเพื่อตอบสนองการประยุกต์ใช้งานที่แตกต่าง โดยมาตรฐานที่ใช้สำหรับการสื่อสารระยะสั้นมาก (Proximity) ถูกออกแบบมาให้ใช้งานในลักษณะการสื่อสารสองทาง (Duplex) ระหว่างอุปกรณ์และเครื่องอ่าน ซึ่งจะมีการสื่อสารระหว่างกันก็ต่อเมื่ออุปกรณ์อยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กับเครื่องอ่านเท่านั้น ตัวอย่างการใช้งานดังกล่าวได้แก่ ระบบ RFID (Angell & Kietzmann, 2006) ที่ใช้สำหรับการระบุและตรวจจับตัวตน (Identification) ของวัตถุที่อาศัยการสื่อสารระหว่างทรานสปอนเดอร์ (Transponder) หรือ ป้ายระบุ (Tag) ที่ติดตั้งอยู่กับตัววัตถุและบรรจุข้อมูลตัวตน กับ เครื่องอ่าน (Reader) ที่ทำหน้าที่ตรวจอ่านข้อมูลของป้ายระบุที่เข้ามาอยู่ในรัศมีทำการของเครื่องอ่าน ก่อนส่งข้อมูลดังกล่าวไปประมวลผลยังระบบคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่ออยู่ต่อไป

มาตรฐานสำหรับการสื่อสารระยะสั้นถูกออกแบบมาให้ถูกใช้งานในลักษณะโครงข่ายไร้สายส่วนตัว (WPAN : Wireless Personal Area Network) หรือโครงข่ายของบ้าน ตัวอย่างเช่น ระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับอุปกรณ์ภายในบ้าน (Home Automation) ที่เชื่อมโยงเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในบ้านเข้าด้วยกัน การสื่อสารในลักษณะการใช้งานดังกล่าวอาจอยู่ในลักษณะการส่งคำสั่งควบคุมที่ต้องการความเร็วข้อมูลต่ำ หรือ การส่งข้อมูลขนาดใหญ่ เช่น ภาพและเสียง ระหว่างอุปกรณ์ก็ได้

มาตรฐานสำหรับการสื่อสารระยะไกลใช้ประโยชน์จากการครอบคลุมบริเวณกว้างมากของโครงข่ายในการเก็บข้อมูลเฉพาะจุดเพื่อนำมาประมวลผลรวมและใช้ส่งเคราะห์ข้อมูลเชิงกระจายตัว อันเป็นประโยชน์ต่อระบบสารสนเทศเชิงภูมิศาสตร์ (GIS : Geographical Information Services) เช่น การวัดอุณหภูมิ ความชื้น การตรวจจับไฟฟ้า ในบริเวณกว้าง ตัวอย่างมาตรฐานสำหรับการใช้งานในลักษณะนี้ ได้แก่ LoRa และ SIGFOX รวมถึงการเก็บข้อมูลผ่านการโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ใช้งาน ในลักษณะ Crowdsourcing อนึ่ง ข้อมูลทางเทคนิคของมาตรฐานโครงข่าย IoT ที่ได้จากการสำรวจจากข้อมูลผู้ผลิตถูกรวบรวมและแสดงใน ตารางที่ 1

เทคโนโลยี	มาตรฐาน	ประเภทโครงข่าย	ความถี่ใช้งาน	Bandwidth	ความเร็วสูงสุด	กำลังส่งสูงสุด
NFC	ISO/IEC 13157	P2P	13.56 MHz	200 kHz	424 kbps	1-2 mW
RFID	หลายมาตรฐาน	Proximity	920-925 MHz	200 kHz	423 kbps	100 mW
Bluetooth LE	IoT Interconnect	WPAN	2.4-2.48 GHz	2 MHz	1 Mbps	10 mW
ZigBee	IEEE 802.15.4	WPAN	920-925 MHz 2.4-2.48 GHz	5 MHz	250 kbps	100 mW
Z-Wave	ITU-T G.9959	Mesh	920-925 MHz	400 kHz	100 kbps	10 mW
Thread (LoWPAN)	IEEE 802.15.4	WPAN	2.4-2.48 GHz	5MHz	250 kbps	100 mW
ANT+	ANT+ Alliance	WPAN	2.4 GHz	1 MHz	1 Mbps	1 mW
WiFi	IEEE 802.11 (a,b,g,n,ac,ad)	WLAN	2.4 GHz, 5GHz	20 MHz	780 Mbps/ 6.75 Gbps	100 mW/1W
2G/3G	3GPP	Cellular	900, 1800, 2100 MHz	200 kHz	0.73-56 Mbps	1-2W
4G/LTE	3GPP	Cellular	900, 1800, 2100 MHz	192 kHz	0.1-1Gbps	1-4W
SIGFOX	SIGFOX	LPWA	920-925 MHz	100 Hz	10-1000 bps	10 mW
LoRa	LoRa Alliance	LPWA	หลายความถี่	125 kHz	0.3-50 kbps	100 mW

ตารางที่ 1 ข้อมูลทางเทคนิคของมาตรฐานโครงข่าย IoT

หมายเหตุ : ผู้เขียนสร้างตารางขึ้นจากการสำรวจข้อมูลของทางเทคนิคของระบบ IoT (NFC Forum, 2011; ITU, 2005, 2012; Bluetooth SIG Regulatory Committee, 2011; Zigbee Alliance, 2012; Z-Wave Alliance, 2014; Thread Group, 2014; ANT+, 2016; IEEE, 2012; ETSI, 2011; Motorola, 2010; Sigfox, 2016; LoRa Alliance, 2015)

5. ปัจจัยทางเทคนิคที่ควรพิจารณา

ปัจจัยหลักในการเลือกใช้งานเทคโนโลยีสำหรับโครงข่าย IoT ได้แก่ พื้นที่ครอบคลุม อัตราเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล การใช้พลังงานของอุปกรณ์ และลักษณะการใช้งานทรัพยากรคลื่นความถี่ หากการใช้งานอยู่ในลักษณะการเก็บข้อมูลจากโครงข่ายเซ็นเซอร์ที่กระจายตัวอยู่ในพื้นที่บริเวณกว้างและไม่มีแหล่งจ่ายพลังงานจากภายนอก มีการส่งข้อมูลขนาดไม่มากนัก หรือมีความถี่ในการส่งต่อวันไม่มากนัก มาตรฐานที่เลือกใช้ควรอยู่ในลักษณะเทคโนโลยีการสื่อสารระยะไกล ที่ต้องการกำลังส่งต่ำ เช่น LoRaWAN และ SIGFOX หากการใช้งานต้องการระยะครอบคลุมที่คล้ายคลึงกัน แต่มีความจำเป็น ต้องมีการรับ-ส่งข้อมูลขนาดใหญ่ เป็นระยะเวลานาน ผู้ออกแบบระบบอาจเลือกใช้โครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือระบบ WLAN ที่มีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายที่มีความเร็วสูงก็ได้

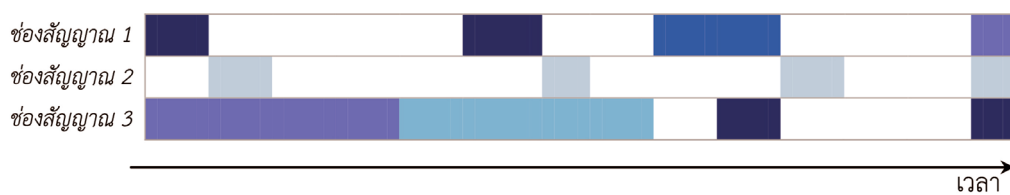
การใช้งานอีกลักษณะที่เป็นที่นิยมก็คือ การใช้เทคโนโลยีโครงข่ายแบบ WPAN ซึ่งมีพื้นที่ครอบคลุมค่อนข้างน้อย แต่มีความเร็วสูงในการรับ-ส่งข้อมูลสูงกว่า 100 kbps ซึ่งเพียงพอที่จะใช้สำหรับการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้งานสาธารณูปโภคในระบบ Smart Metering และการส่งข้อมูลเพื่อควบคุมอุปกรณ์ในลักษณะ Smart Home การใช้งานดังกล่าวอาจมีอุปกรณ์ประมวลผลข้อมูลกลางที่ติดตั้งในบ้านหรืออาคาร ก่อนที่จะถูกต่อเชื่อมกับโครงข่ายภายนอกผ่านระบบอินเทอร์เน็ต

ด้วยคุณสมบัติทางวิศวกรรมของคลื่นความถี่ที่ขนาดของสายอากาศ (Antenna) ในอุดมคติที่เหมาะสมสำหรับการสื่อสารแบบการแพร่ (Far Field Propagation) ควรมีขนาดประมาณครึ่งหนึ่งของขนาดความยาวคลื่น ($\lambda/2$) (Terman & Helliwell, 1955) ข้อจำกัดดังกล่าวส่งผลให้ย่านความถี่ที่เหมาะสมสำหรับใช้กับอุปกรณ์ที่ต้องการคุณสมบัติการพกพา (Mobility) และมีขนาดเล็ก (สั้นกว่า 20 cm) คือ 750 MHz ขึ้นไป ดังนั้น หากมีความต้องการประยุกต์ใช้งานย่านความถี่ที่ต่ำกว่าค่าดังกล่าว สำหรับอุปกรณ์ขนาดเล็ก ต้องใช้การสื่อสารแบบแผ่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าระยะใกล้ เช่น ระบบ NFC (Near Field Communication)

ปัจจัยสำคัญทางเทคนิคที่ควรคำนึงถึงเพิ่มเติมคือ การใช้ทรัพยากรคลื่นความถี่ของแต่ละเทคโนโลยี มาตรฐานที่ออกแบบมาให้ส่งข้อมูลความเร็วสูงหรือข้อมูลแบบสตรีมมิ่ง (Streaming) เช่น WiFi Bluetooth และ ANT+ จะต้องการการใช้ความถี่แบนด์ (Bandwidth) ที่มาก เช่น มากกว่า 1 MHz ขึ้นไป และมีการครอบครองคลื่นความถี่เป็นระยะเวลานาน เทคโนโลยีดังกล่าวจึงถูกออกแบบให้ใช้กับย่านความถี่สูงและมีกำลังส่งต่ำ (High Bandwidth-Low Power) ในลักษณะอุปกรณ์สื่อสาร

ระยะใกล้ (SRD : Short Range Devices) ที่ครอบคลุมพื้นที่ขนาดเล็กเท่านั้นและเปิดโอกาสให้มีการนำช่องความถี่ดังกล่าวไปใช้ซ้ำ (Spectrum Re-use) ในพื้นที่อื่น

ในทางตรงกันข้าม มาตรฐานที่ออกแบบให้ใช้การกับการส่งคำสั่งควบคุม หรือการตรวจวัดที่มีขนาดข้อมูลน้อย เช่น ZigBee Z-Wave และ Thread มักต้องการปริมาณความกว้างแถบน้อยและยังมีช่วงเวลาการครอบครองคลื่นความถี่ (Spectrum Occupancy Period) ที่สั้น อีกทั้งมักมีวงรอบของการรับส่งข้อมูล (Communication Cycle) ที่ห่าง จึงสามารถเปิดให้มีการร่วมใช้คลื่นความถี่ (Frequency Sharing) โดยการเข้าใช้คลื่นความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด ผ่านทางการสลับเข้าใช้ช่องสัญญาณ โดยหลากหลายอุปกรณ์แบบพลวัต (Dynamic Spectrum Access) ภาพที่ 6 แสดงตัวอย่างของการสลับเข้าใช้ 3 ช่องสัญญาณโดย 5 ระบบตลอดระยะเวลาในแนวนอน โดยบริเวณสีขาวยังหมายถึงช่วงเวลาที่ช่องความถี่ว่าง และช่วงที่ช่องสัญญาณมีสีทึบหมายถึงช่วงเวลาที่ช่องความถี่ถูกครอบครอง โดยผู้ใช้งานที่แตกต่างกันจำแนกตามสี จะเห็นได้ว่าระบบ A เข้าใช้ช่องสัญญาณที่ 1 เป็นช่วงและจะคืนช่องสัญญาณให้ระบบอื่นได้ใช้หลังจากส่งข้อมูลเสร็จ หากเมื่อครบวงรอบของการส่งข้อมูลของระบบ A แต่ปรากฏว่าช่องสัญญาณที่ 1 ถูกใช้งานโดยระบบอื่น ระบบ A ก็จะเลือกไปใช้ช่องสัญญาณอื่นที่อยู่ใกล้เคียงหรือรอคอยจนกว่าช่องสัญญาณจะว่างจึงส่งข้อมูลอีกครั้งหนึ่ง ในทางปฏิบัติช่วงระยะเวลาที่ระบบครอบครองช่องสัญญาณจะสั้นมาก (น้อยกว่า 100 ms) เป็นผลให้คลื่นความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด สามารถรองรับการใช้งานจากระบบที่มีคุณลักษณะดังกล่าวจำนวนมาก ในบริเวณใกล้เคียงกันได้



ภาพที่ 6 ตัวอย่างการสลับเข้าใช้ช่องความถี่จากหลากหลายระบบที่มีจำนวนมากกว่าจำนวนช่องความถี่

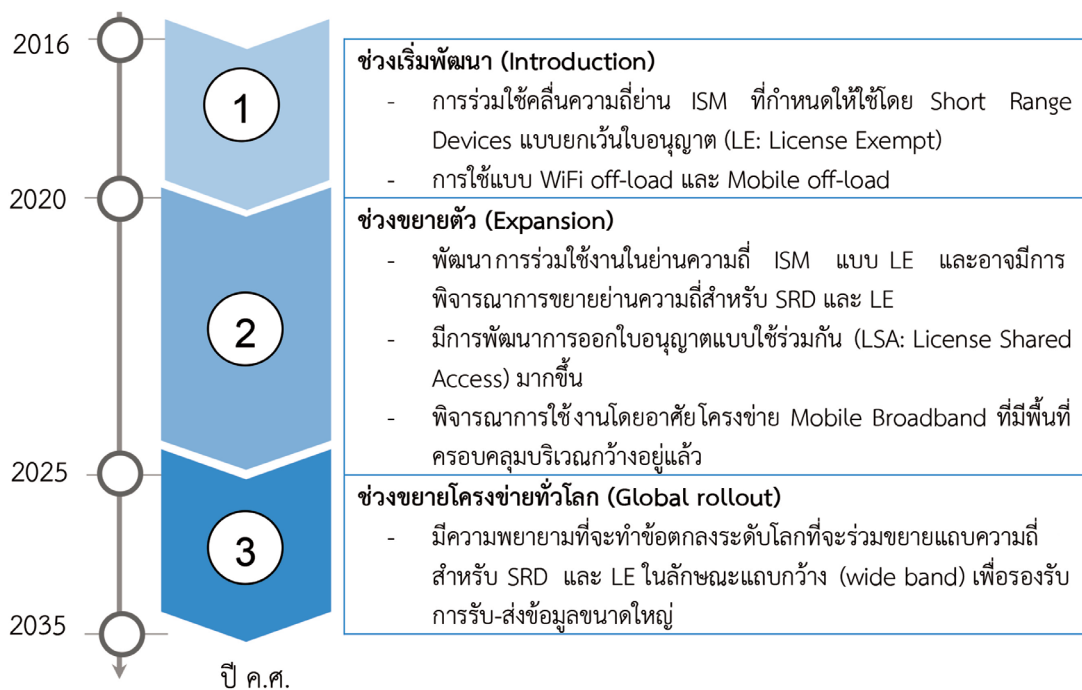
การบริหารคลื่นความถี่และข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้อง

ดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้นเทคโนโลยี IoT ถูกคาดว่าจะเข้ามามีบทบาทมากต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและการยกระดับชีวิตของประชาชนในประเทศไทยในอนาคต อย่างไรก็ตาม ด้วยความหลากหลายของเทคโนโลยีและมาตรฐานดังที่อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4 หากไม่มีการออกแบบนโยบายเชิงยุทธศาสตร์และกระบวนการกำกับดูแลที่มีประสิทธิภาพ การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานทางโครงข่ายสำหรับเทคโนโลยีในประเทศไทยอาจอยู่ในลักษณะไร้ทิศทาง ใช้ทรัพยากรสิ้นเปลือง เกิดความล้มเหลวของตลาด (Market Failure) ที่อาจเป็นอุปสรรคต่อการใช้ประโยชน์ให้ได้ตามศักยภาพสูงสุดของเทคโนโลยี IoT ความสำคัญของการออกแผนยุทธศาสตร์สำหรับเทคโนโลยี IoT ถูกอธิบายไว้อย่างละเอียดในบทความ *Why countries need national strategy for the Internet of Things* (New & Castro, 2015) โดยเฉพาะมุมมองการกำหนดนโยบายภาพรวมและเศรษฐศาสตร์

แม้มีหลากหลายปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดการเติบโตของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT ในประเทศไทย บทความนี้เน้นการวิเคราะห์ปัจจัยทางวิศวกรรมและกลไกทางการบริหารคลื่นความถี่เพื่อสร้างข้อเสนอแนะประกอบการพิจารณากำหนดยุทธศาสตร์และการบริหารทรัพยากรโทรคมนาคมที่เกี่ยวข้องเพื่อรองรับเทคโนโลยี IoT ในกรอบเวลา 5 และ 10 ปี ในอนาคต ทั้งนี้ กรอบเวลาดังกล่าวที่นำเสนอได้อ้างอิงตามบทความวิจัยของ Simon Forge (2016) ซึ่งแบ่งวิวัฒนาการของการใช้งานคลื่นความถี่สำหรับเทคโนโลยี IoT ไว้ 3 ช่วงสำคัญ ได้แก่ ช่วงเริ่มพัฒนา ช่วงขยายตัว และช่วงขยายโครงข่ายทั่วโลก (Global Rollout) ดังปรากฏในภาพที่ 7

1. การบริหารคลื่นความถี่ในช่วงเริ่มพัฒนา (ค.ศ 2016-2020)

ในช่วงเริ่มต้นของการพัฒนาเทคโนโลยี IoT บริษัทผู้ผลิตทั้งหลายมีแนวโน้มที่จะสร้างเทคโนโลยีที่เป็นส่วนต่อขยายของโครงข่ายอินเทอร์เน็ตดั้งเดิม โดยให้อุปกรณ์ใช้คลื่นความถี่ช่วงที่ได้ถูกกำหนดให้มีการใช้งานแบบได้รับการยกเว้นใบอนุญาต (LE : License Exempt) อยู่แล้ว โดยเฉพาะกลุ่มย่านความถี่ ISM (Industrial, Scientific, and Medical Radio bands) ที่ถูกกำหนดให้ใช้แบบยกเว้นใบอนุญาตเป็นมาตรฐานเดียวกันทั่วโลก ตามระบุไว้ในหมายเหตุล่าง (Footnote) 5.138 5.150 และ 5.280 ของข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ (Radio Regulations) ของ ITU (ITU, 2015) ซึ่งการใช้งานดังกล่าวอยู่ในลักษณะร่วมใช้คลื่นความถี่ (Frequency Sharing) ที่ไม่สามารถเรียกร้องการปกป้องสิทธิการใช้งานคลื่นความถี่ได้เมื่อถูกรบกวนและต้องไม่ก่อให้เกิดการรบกวนต่ออุปกรณ์วิทยุคมนาคมอื่นที่ใช้งานอยู่ในย่านความถี่ดังกล่าวอยู่แล้ว



ภาพที่ 7 วิวัฒนาการการใช้คลื่นความถี่ของเทคโนโลยี IoT ระหว่างปี ค.ศ. 2016-2035

หมายเหตุ : ผู้เขียนสร้างแผนภาพขึ้นตามแนวคิดจาก Radio spectrum for the internet of things โดย Simon Forge ปีลิขสิทธิ์ 2016

เมื่อพิจารณา ประกาศ กสทช. เรื่อง เครื่องวิทยุคมนาคมและสถานีวิทยุคมนาคมที่ได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต พ.ศ. 2550 (สำนักงาน กสทช., 2007) และประกาศ กสทช. เรื่อง การใช้ความถี่วิทยุสำหรับอุปกรณ์สื่อสารระยะสั้น ย่านความถี่วิทยุ 5 GHz พ.ศ. 2550 (สำนักงาน กสทช., 2007) จะพบว่าประเทศไทยมีความพร้อมทางกฎระเบียบและการกำกับดูแลที่จะเอื้อให้เกิดการใช้งานเทคโนโลยี IoT จากหลายค่ายผู้ผลิต เนื่องจากมีคลื่นความถี่ที่พร้อมใช้งานทันทีเพื่อรองรับเทคโนโลยี IoT ในส่วนการสื่อสารไร้สายจำนวนทั้งสิ้น 8 ย่านความถี่ ดังปรากฏในตารางที่ 2 โดยไม่ต้องแก้ไขประกาศของสำนักงาน กสทช.

ย่านความถี่	กำลังส่งสูงสุด (e.i.r.p.)	ระบบที่ใช้งานคลื่นความถี่ช่วงนี้
13.553-13.567 MHz	10 mW	NFC
26.965-27.405 MHz	100 mW	
30-50 MHz	10 mW	
54-74 MHz	10 mW	
300-500 MHz	10 mW	Bluetooth LE, ZigBee, Thread, WiFi, ANT+
2400-2500 MHz	100 mW	
5150-5350 MHz	200 mW	
5470-5850 MHz	1 W	LTE-U และ เทคโนโลยี SRD ในอนาคต

ตารางที่ 2 ย่านความถี่ที่สามารถเปิดให้ใช้งานได้ทันทีเพื่อรองรับเทคโนโลยี IoT ตามเงื่อนไขของประกาศ กสทช. เรื่อง เครื่องวิทยุคมนาคมและสถานีวิทยุคมนาคมที่ได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต

หมายเหตุ : สร้างตารางขึ้นจาก ประกาศ กสทช. เรื่อง เครื่องวิทยุคมนาคมและสถานีวิทยุคมนาคมที่ได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต พ.ศ. 2550 (สำนักงาน กสทช., 2007) และประกาศ กสทช. เรื่อง การใช้ความถี่วิทยุสำหรับอุปกรณ์สื่อสารระยะสั้น ย่านความถี่วิทยุ 5 GHz พ.ศ. 2550 (สำนักงาน กสทช., 2007)

การใช้งานอุปกรณ์สื่อสารสำหรับโครงข่าย IoT จะถูกตีความอยู่ในเงื่อนไขการใช้งานอุปกรณ์สื่อสารระยะใกล้ทั่วไปในลักษณะได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต โดยอุปกรณ์ดังกล่าวต้องมีค่าจำกัดกำลังส่งสูงสุด รวมถึงคุณลักษณะทางเทคนิคเป็นไปตามที่ประกาศดังกล่าวกำหนดไว้ ทั้งนี้ เนื่องจากการทำงานของระบบดังกล่าวครอบคลุมพื้นที่น้อย การใช้งานจึงต้องเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ตด้าน Uplink หากต้องการเชื่อมต่อกับระบบที่อยู่ในระยะไกลออกไป

อย่างไรก็ตาม บทความนี้มีข้อเสนอแนะต่อสำนักงาน กสทช. เพื่อประกอบการพิจารณาแก้ไขประกาศ กสทช. เรื่อง เครื่องวิทยุคมนาคมและสถานีวิทยุคมนาคมที่ได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต เพื่อเปิดโอกาสให้มีการใช้งานเทคโนโลยี IoT โดยอุปกรณ์สื่อสารระยะใกล้ทั่วไปในย่านความถี่ 920-925 MHz ที่ในปัจจุบันถูกสงวนให้ใช้ในลักษณะได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาตโดยระบบ RFID เท่านั้น โดยการแก้ไขประกาศดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ต่อการเติบโตทางเศรษฐกิจ เนื่องจากมีเทคโนโลยี IoT จำนวนมากที่ถูกออกแบบให้ใช้งานในย่านความถี่ดังกล่าว ดังปรากฏในตารางที่ 3

ย่านความถี่	กำลังส่งสูงสุด (e.i.r.p.)	เทคโนโลยีที่เปิดให้ใช้งาน ในปัจจุบัน	เทคโนโลยี IoT ที่สามารถร่วม ใช้งานคลื่นความถี่ดังกล่าวได้
920-925 MHz	500 mW	RFID ชนิดอ่านและเขียน	Z-Wave, Sigfox, Zigbee, LoRa, Nuel

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางเทคนิคของเครื่องวิทยุคมนาคมที่กำหนดให้สามารถใช้งานในย่านความถี่ 920-925 MHz ได้ตามเงื่อนไขได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต และเทคโนโลยี IoT ที่ใช้งานย่านความถี่ดังกล่าว

หมายเหตุ : สร้างตารางขึ้นจาก ประกาศ กสทช. เรื่อง การใช้เครื่องวิทยุคมนาคมประเภท (Radio Frequency Identification : RFID) พ.ศ. 2549 (สำนักงาน กสทช., 2006)

เหตุผลที่ผู้เขียนประเมินว่าย่านความถี่ดังกล่าวสามารถรองรับการใช้งานแบบร่วมใช้คลื่นความถี่จากระบบ RFID และอุปกรณ์จากระบบ IoT ในประเทศไทย เนื่องจากเทคโนโลยี IoT ที่ใช้งานในย่านความถี่ 920-925 MHz ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะให้ร่วมใช้งานกับระบบ RFID ในหลายประเทศและมีรูปแบบการสื่อสารที่มีความคล้ายคลึงกับระบบ RFID ดังต่อไปนี้

- มีการใช้งานความกว้างแถบน้อยในลักษณะแถบแคบ (Narrow Band) เช่น น้อยกว่า 400 kHz
- มีการส่งข้อมูลขนาดเล็กจึงมีช่วงครอบครองคลื่นความถี่ (Occupancy Duration) ที่สั้น
- มีวงจรการส่งข้อมูล (Transmission Cycle) ที่มีความถี่น้อย
- มีกำลังส่งต่ำ จึงมีพื้นที่ครอบคลุมขนาดเล็ก ทำให้สามารถนำคลื่นความถี่มาใช้ใหม่ (Spectrum Reuse) ได้ในพื้นที่อื่น

ทั้งนี้ สำนักงาน กสทช. อาจพิจารณาแก้ไขประกาศฯ ดังกล่าวเพื่อให้ใช้งานอุปกรณ์ในระบบ IoT ในย่านความถี่ 920-925 MHz ในขณะที่ยังสามารถปกป้องผู้ใช้งานระบบ RFID ที่เป็นผู้ใช้งานดั้งเดิมอยู่ โดยการพิจารณาประเด็นดังต่อไปนี้

1) คงเงื่อนไขการใช้งานที่ได้รับการยกเว้นใบอนุญาตสำหรับอุปกรณ์วิทยุคมนาคมในระบบ RFID ชนิดอ่านและเขียน (Interrogator/Reader) ที่ใช้งานย่านความถี่ 920-925 MHz และมีกำลังส่งต่ำกว่า 500 mW e.i.r.p. ในประกาศ กสทช. เรื่อง เครื่องวิทยุคมนาคมและสถานวิทยุคมนาคมที่ได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต พ.ศ. 2550 แต่เพิ่มเงื่อนไขให้มีการใช้งานอุปกรณ์วิทยุคมนาคมระยะใกล้ทั่วไป (General SRD) ในย่านความถี่ดังกล่าวได้ โดยมีกำลังส่งออกอากาศไม่เกิน 25 mW e.i.r.p. ซึ่งค่า 25 mW e.i.r.p. เป็นค่าจำกัดกำลังส่งออกอากาศสูงสุดตามข้อเสนอแนะของ ECC Report 200 (ECC, 2013) ว่าเป็นค่าที่เหมาะสมที่จะทำให้อุปกรณ์สื่อสารระยะสั้นทั่วไปสามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ RFID ได้

2) ผลการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC : Electromagnetic Compatibility) ระหว่างอุปกรณ์วิทยุคมนาคมในระบบ RFID และ IoT ที่ใช้ย่านความถี่ 920-925 MHz ที่ได้ทดลองในสภาวะแวดล้อมการใช้งานจริง

3) เงื่อนไขการอนุญาตและผลการศึกษาหลังการเปิดให้ใช้เทคโนโลยี IoT ในลักษณะที่คล้ายคลึงกันจากประเทศอื่น

2. การบริหารคลื่นความถี่ในช่วงขยายตัว (ค.ศ 2021-2025)

เทคโนโลยีที่มีโอกาสถูกนำมาใช้งานในช่วงเริ่มต้นของการพัฒนาโครงข่าย IoT มีลักษณะร่วมคือเป็นเทคโนโลยีแบบแถบความถี่แคบ หรือ เทคโนโลยีแบบแถบความถี่กว้าง (Broadband) ที่มีกำลังส่งต่ำ (Low Power) และมีระยะครอบคลุมที่สั้น เนื่องจาก สามารถนำมาใช้ได้ในลักษณะการได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาตได้ทันทีในหลายประเทศ ซึ่งจะเปิดโอกาสให้กับผู้ให้บริการที่มีทุนต่ำ นำเอาระบบมาใช้งานโดยไม่ต้องเสียต้นทุนด้านสิทธิการครอบครองคลื่นความถี่ การใช้งานในลักษณะดังกล่าวจะอยู่ในลักษณะใช้คลื่นความถี่ร่วมกันโดยไม่สามารถเรียกร้องสิทธิป้องกันการถูกรบกวนได้ เทคโนโลยีดังกล่าว จึงได้รับการออกแบบให้สามารถทำงานในสภาวะแวดล้อมที่มีการทำงานสูงได้

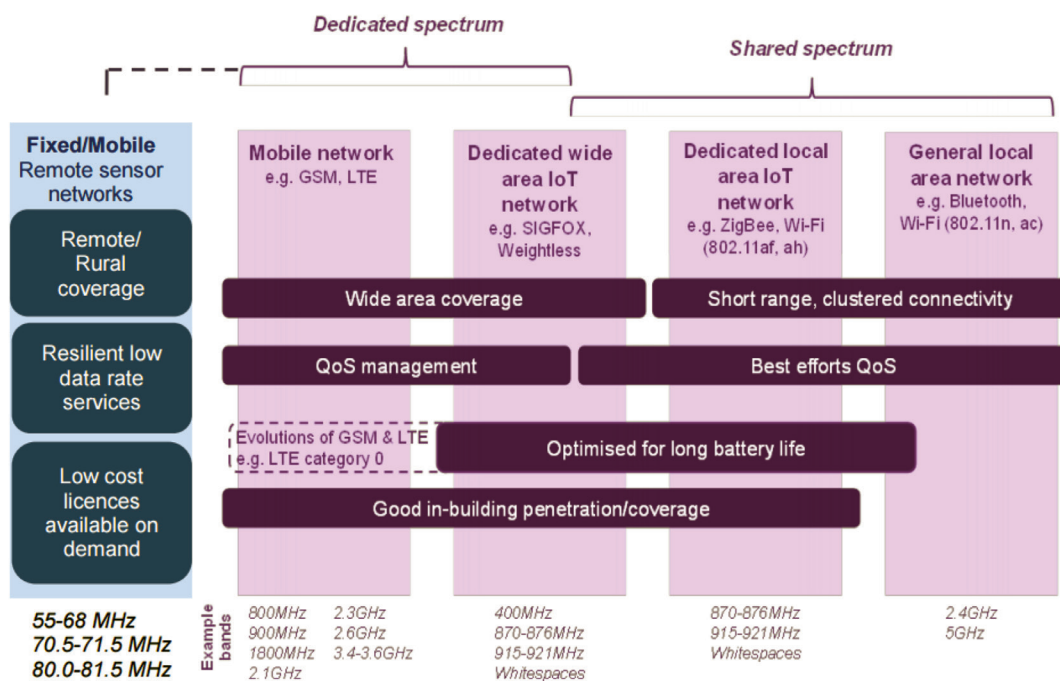
อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการขยายตัวของการใช้งานระบบ Internet of Thing จะทำให้ความต้องการใช้งานคลื่นความถี่มีปริมาณสูงขึ้นและเกิดรูปแบบการใช้งานใหม่ที่ต้องการการสื่อสารในลักษณะแถบความถี่กว้างเพื่อการส่งข้อมูลที่มีความเร็วสูง มีเสถียรภาพสูง (High Reliability) และมีเวลาประวิงที่น้อย (Low Latency) ซึ่งเทคโนโลยีโครงข่าย IoT ในช่วงเริ่มต้นไม่สามารถตอบสนองการใช้งานในลักษณะดังกล่าวได้ การประยุกต์ใช้งานในบางลักษณะจะมีความต้องการสิทธิโดยเด็ดขาดในการใช้งานคลื่นความถี่ (Exclusive Use) เพื่อให้สามารถควบคุมการใช้งานคลื่นความถี่และป้องกันการถูกรบกวนที่ไม่พึงประสงค์ได้

สถานการณ์ดังกล่าวเป็นความท้าทายในอนาคตขององค์กรที่ทำหน้าที่บริหารคลื่นความถี่ที่ต้องจัดหาคลื่นความถี่ใหม่เพื่อรองรับการขยายตัวของการใช้งานดังกล่าว โดยประเด็นข้างต้นได้ถูกกำหนดให้เป็นระเบียบวาระที่ 9.1.8 ของการประชุมใหญ่ระดับโลกว่าด้วยวิทยุคมนาคม ค.ศ. 2019 หรือ WRC-19 (Radiocommunication Bureau, 2015). และ Ofcom (Office of Communications) ซึ่งเป็นองค์กรกำกับดูแลกิจการกระจายเสียงและโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมของสหราชอาณาจักร (United Kingdom) ได้ทำการศึกษาประเด็นดังกล่าวและรวบรวมไว้ในรายงาน More Radio Spectrum for the Internet of Things (Ofcom, 2015) เพื่อใช้กำหนดนโยบายและการกำกับดูแล IoT ใน

สหราชอาณาจักรซึ่งมีกรอบในการกำหนดแผนความถี่โดยแบ่งกลุ่มคลื่นความถี่ออกเป็น 2 กลุ่มตามเงื่อนไขการใช้งานแบบสิทธิโดยเด็ดขาด (Dedicated Spectrum) และเงื่อนไขสิทธิใช้งานร่วมกัน (Shared Spectrum) ตามปรากฏในภาพที่ 8

ทั้งนี้ บทความนี้มีข้อเสนอแนะต่อสำนักงาน กสทช. เพื่อประกอบการพิจารณากำหนดกรอบในการพัฒนาแผนความถี่เพื่อรองรับการเติบโตของการใช้งานเทคโนโลยี IoT เพื่อให้มีการใช้งานคลื่นความถี่อย่างเป็นประโยชน์สูงสุด ดังประเด็นต่อไปนี้

- 1) ศึกษาปริมาณความต้องการ (Demand) ของผู้ประกอบการภายในประเทศที่จะใช้คลื่นความถี่ในรูปแบบสิทธิโดยเด็ดขาดและพิจารณาความจำเป็นในการใช้งานคลื่นความถี่ในลักษณะดังกล่าว
- 2) ศึกษาเทคโนโลยีที่มีอยู่ในตลาดและจะได้รับความนิยมทั่วโลกในอนาคต รวมทั้งโอกาสที่จะเกิดการกำหนดมาตรฐานร่วมและ Spectrum Harmonization สำหรับเทคโนโลยีนั้น



ภาพที่ 8 กรอบในการกำหนดแผนความถี่ของ Ofcom (2015) เพื่อใช้งานสำหรับเทคโนโลยี IoT จาก More Radio Spectrum for the Internet of Things โดย Ofcom ปีลิขสิทธิ์ 2015

3) ศึกษาแนวทางในการกำกับดูแลและโอกาสของการใช้เทคโนโลยีอื่นในการเป็นตัวกลางในการสื่อสารในกรณีการใช้งานที่ครอบคลุมในบริเวณกว้าง เช่น การใช้ WiFi off-load หรือสร้างกลไกที่เปิดโอกาสให้ผู้ประกอบการโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (MNO : Mobile Network Operator) เข้ามามีส่วนร่วมในการให้บริการโครงข่ายข้อมูลให้กับเจ้าของหรือผู้ให้บริการระบบ IoT อีกชั้นหนึ่ง โดยใช้คลื่นความถี่ที่ผู้ประกอบการมีอยู่ หรือประกอบกับการใช้เทคโนโลยีการรวมคลื่นความถี่ปัจจุบันเข้ากับคลื่นความถี่สาธารณะ (LAA : License Assisted Access) ซึ่งจะช่วยให้ลดต้นทุนในการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานที่อาจจะซ้ำซ้อนในภาพรวมจากการประหยัดเชิงขนาด (Economy of Scale) ลดความต้องการใช้งานคลื่นความถี่ในรูปแบบสิทธิโดยเด็ดขาด และเป็นการสนับสนุนให้ใช้คลื่นความถี่ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะดังกล่าวอาจมีความเหมาะสมกับการใช้งานในลักษณะอุปกรณ์ระดับผู้บริโภค (Consumer Products) ที่มีการเชื่อมต่อโครงข่าย Mobile Broadband อยู่แล้ว หรือโครงการประเภท Smart City Smart Grid และ Smart Water ในส่วนที่ดำเนินการโดยหน่วยงานรัฐและองค์กรรัฐวิสาหกิจที่ให้บริการภาคสาธารณะ เนื่องจากจะสามารถใช้ประโยชน์จากระบบโครงสร้างพื้นฐานทางโทรคมนาคมที่มีและลงทุนในระยะยาวอยู่แล้วโดยภาคเอกชนและภาครัฐวิสาหกิจในการกำกับดูแลของกระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร นอกจากนี้ แนวคิดดังกล่าวยังเปิดโอกาสให้ผู้ประกอบการรายเล็กสามารถให้บริการระบบ IoT ผ่านทางการใช้บริการโครงข่ายข้อมูลจากผู้ประกอบการโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ต่างๆ ทำให้ช่วยลดต้นทุนในการริเริ่มธุรกิจในส่วนของคุณค่าใบอนุญาตใช้งานคลื่นความถี่ จึงเป็นการสนับสนุนให้เกิดนวัตกรรมทางธุรกิจในรูปแบบใหม่ให้กับประเทศ

ทั้งนี้ ปัจจัยที่ควรคำนึงถึงประกอบการพิจารณาในข้อเสนอแนะนี้ คือ ความเป็นธรรม สภาพการแข่งขัน และปริมาณคลื่นความถี่ที่ผู้ประกอบการโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ถือครองอยู่ เนื่องจากการเจริญเติบโตของความต้องการใช้งานด้าน Mobile Broadband จะทำให้เกิดความขาดแคลนคลื่นความถี่สำหรับกิจการโทรศัพท์เคลื่อนที่ในอนาคตเช่นกัน อย่างไรก็ตาม ผู้ประกอบการโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถนำเทคโนโลยีโครงข่ายของตนมาให้บริการโดยใช้เทคโนโลยี LTE-U (LTE in Unlicensed Bands) ในย่าน 5 GHz ตามความถี่ปรากฏในตารางที่ 2 ซึ่งจะช่วยให้สามารถแบ่งเบาความต้องการใช้งานคลื่นความถี่ได้

- 4) จัดหาย่านความถี่ที่ว่างต่อการใช้งานและพิจารณาโอกาสในการขอคืนคลื่นความถี่เพื่อทำการจัดสรรใหม่ (Refarming) สำหรับการใช้งาน IoT ที่ต้องการใช้งานคลื่นความถี่ในรูปแบบสิทธิโดยเด็ดขาด
- 5) ศึกษาแนวทางในการปรับปรุงกฎหมายและข้อบังคับเพื่อเอื้อให้เกิดการร่วมใช้งานคลื่นความถี่ในลักษณะใบอนุญาตร่วม (LSA : License Share Access)

3. การบริหารคลื่นความถี่ในช่วงขยายโครงข่ายทั่วโลก (หลัง ค.ศ. 2025)

เป็นที่คาดการณ์ว่าก่อนถึงช่วงการขยายโครงข่าย IoT จะมีความพยายามในระดับนานาชาติที่จะสร้างข้อตกลงหรือมาตรฐานกลางเพื่อให้เทคโนโลยี IoT ใช้คลื่นความถี่ร่วมกับเทคโนโลยีอื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจเกิดจากการหลอมรวมเทคโนโลยี หรือ เกิดจากการพัฒนาและการคัดสรรทางการตลาดทำให้บางเทคโนโลยีหายไป เนื่องจากเทคโนโลยีที่ไม่สามารถใช้ทรัพยากรคลื่นความถี่ร่วมกับเทคโนโลยีอื่นได้จะมีต้นทุนในการวางระบบและการกำกับดูแลที่สูงทำให้ระบบไม่ได้รับความนิยมในที่สุด ในทางตรงกันข้ามเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพและได้รับการยอมรับเป็นมาตรฐานจะถูกพิจารณาและเลือกใช้ในการติดตั้งระบบใหม่ที่จะเกิดขึ้นในภายหลัง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะทำให้หน่วยงานบริหารคลื่นความถี่มีความจำเป็นน้อยลงที่จะจัดเตรียมคลื่นความถี่หลายย่านเพื่อรองรับเทคโนโลยีที่หลากหลาย แต่มีความจำเป็นต้องกำหนดคลื่นความถี่เพิ่มเติมให้กับเทคโนโลยีที่ได้รับคัดเลือกให้เป็นมาตรฐาน

บทความวิจัยของ Simon Forge (2016) ได้วิเคราะห์ว่าจะมีการขยายย่านความถี่และกำหนดย่านความถี่ใหม่สำหรับการใช้งาน IoT เพื่อใช้ร่วมกัน (Spectrum Sharing) ในลักษณะยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต และเป็นแถบความถี่กว้างมาก (UWB : Ultra Wide Band) และการออกใบอนุญาตในลักษณะร่วมใช้คลื่นความถี่มากขึ้น ซึ่งเป็นความรับผิดชอบของหน่วยงานบริหารคลื่นความถี่ที่จะติดตามการเปลี่ยนแปลงทางการกำกับดูแลดังกล่าวอย่างใกล้ชิด

บทสรุป

การพัฒนาอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยี IoT เป็นผลให้เกิดความต้องการใช้งานคลื่นความถี่จำนวนมากและโครงสร้างพื้นฐานทางโทรคมนาคมที่เพียงพอต่อการรองรับการเจริญเติบโตของการใช้งานในอนาคต บทความนี้ได้นำเสนอแนวทางเพื่อประกอบการพิจารณากำหนดกลไกการบริหารคลื่นความถี่ในกรอบเวลาระหว่าง ค.ศ. 2016 -2035 ต่อสำนักงาน กสทช. โดยแบ่งแนวทางการกำหนดแผนบริหารคลื่นความถี่ออกเป็น 3 ช่วงตามพัฒนาการของการใช้งานเทคโนโลยี IoT โดยสรุปดังนี้

ช่วงที่หนึ่ง (ค.ศ. 2016-2020) หรือ ช่วงเริ่มพัฒนา เป็นช่วงที่ไม่มีมาตรฐานกลางของเทคโนโลยี และข้อตกลงร่วมระหว่างประเทศเพื่อกำหนดคลื่นความถี่โดยเฉพาะสำหรับเทคโนโลยีดังกล่าว เทคโนโลยี IoT จำนวนมากได้รับการพัฒนาให้ทำงานในคลื่นความถี่ช่วงที่ได้ถูกกำหนดให้มีการใช้งานในย่านความถี่ ISM ในเงื่อนไขได้รับการยกเว้นใบอนุญาตในหลายประเทศ บทความนี้เสนอแนะให้สำนักงาน กสทช. พิจารณารับรองให้มีการใช้งานเทคโนโลยี IoT ในเงื่อนไขดังกล่าว จำนวน 8 ย่านความถี่ในลักษณะ เครื่องวิทยุคมนาคมระยะใกล้ (SRD) โดยที่ไม่ต้องมีการแก้ไขประกาศ แต่เสนอให้แก้ไขประกาศเพื่อ เปิดให้มีการใช้งานในลักษณะดังกล่าวเพิ่มเติมสำหรับย่านความถี่ 920-925 MHz ซึ่งแต่เดิมสงวนไว้ ให้ใช้ในเงื่อนไขได้รับการยกเว้นใบอนุญาตสำหรับอุปกรณ์ในระบบ RFID เท่านั้น

ช่วงที่สอง (ค.ศ. 2020-2025) หรือ ช่วงขยายตัว เป็นช่วงที่มีการร่วมสร้างมาตรฐานสำหรับ เทคโนโลยี IoT มากขึ้นผ่านการคัดเลือกตามกลไกตลาดและความร่วมมือในการสร้างข้อตกลง บทความ นี้เสนอให้สำนักงาน กสทช. พิจารณาการใช้งานคลื่นความถี่ในลักษณะการออกใบอนุญาตแบบใช้ร่วมกัน หรือการรวมคลื่นความถี่ปัจจุบันเข้ากับคลื่นความถี่สาธารณะ (LAA) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน คลื่นความถี่ การกำหนดแถบความถี่เพิ่มเติมเพื่อรองรับการใช้งานในเงื่อนไขได้รับการยกเว้นใบอนุญาต และพิจารณาแนวทางสร้างกลไกที่มีความเป็นธรรมและเปิดโอกาสให้ผู้ประกอบการโครงข่ายโทรศัพท์ เคลื่อนที่เข้ามามีส่วนร่วมในการให้บริการโครงข่ายข้อมูลเพื่อป้องกันการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานซ้ำซ้อน

ช่วงที่สาม (ค.ศ. 2025-2035) หรือ ช่วงขยายโครงข่ายทั่วโลก เป็นช่วงที่โครงข่าย IoT ได้รับการ พัฒนาให้ใช้งานทั่วโลก ซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้งานจะเป็นเทคโนโลยีที่ผ่านการยอมรับให้เป็นมาตรฐาน กลางในขณะที่เทคโนโลยีอื่นที่ได้รับความนิยมน้อยจะไม่ได้ถูกคัดเลือกให้ใช้งานอีกต่อไป ซึ่งอุปกรณ์ สื่อสารจำนวนมากจะถูกผลิตให้สอดคล้องกับมาตรฐานกลางนั้น บทความนี้ให้ข้อเสนอแนะว่า สำนักงาน กสทช. ควรติดตามการเปลี่ยนแปลงพัฒนาการดังกล่าวอย่างใกล้ชิดเพื่อกำหนดและจัดสรรคลื่นความถี่ ให้สอดคล้องกับแนวทางปฏิบัติในระดับนานาชาติ เพื่อให้อุปกรณ์ IoT ที่ถูกผลิตในหลากหลายประเทศ สามารถนำเข้ามาใช้งานในประเทศไทยได้ตรงกับแผนความถี่ที่ถูกออกแบบรองรับไว้

บรรณานุกรม

- กระทรวงพลังงาน (2558). แผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558 - 2579. (ม.ป.ท.)
- สำนักงาน กสทช. (2006). ประกาศ กสทช. เรื่อง การใช้เครื่องวิทยุคมนาคมประเภท (Radio Frequency Identification: RFID) พ.ศ. 2549. (ม.ป.ท.)
- สำนักงาน กสทช. (2007). ประกาศ กสทช. เรื่อง เครื่องวิทยุคมนาคมและสถานีวิทยุคมนาคมที่ได้รับ ยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต พ.ศ. 2550. (ม.ป.ท.)
- สำนักงาน กสทช. (2007). ประกาศ กสทช. เรื่อง การใช้ความถี่วิทยุสำหรับอุปกรณ์สื่อสารระยะสั้น ย่านความถี่วิทยุ 5 GHz พ.ศ. 2550
- Andriod (2016). Retrieved from https://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_overview.html
- Angell, I., & Kietzmann, J. (2006). RFID and the end of cash? Communications of the ACM 49 (12): 90–96. doi:10.1145/1183236.1183237.
- ANT+ (2016). ANT+ device profiles Retrieved from <https://www.thisisant.com/ant/device-profiles>
- Bluetooth SIG Regulatory Committee (2011). Bluetooth Low Energy Regulatory Aspects.
- Cisco Systems (2013). Cisco Internet of Everything (IoE) Connections Counter.
- Cisco Systems (2014). Embracing the Internet of Everything to Capture Your Share of \$14.4 Trillion.
- Cisco (2014). IoT World Forum. Retrieved from <http://www.iotwf.com>
- Cisco (2014). White Paper on the Internet of Things Reference Model.
- ECC (2013). Co-existence studies for proposed SRD and RFID applications in the frequency band 870-876 MHz and 915-921 MHz. ETSI (2011). GSM.

- European Technology Platform for Smartgrids Forum (2016). *Digital Energy 4.0*.
- Forge, S. (2016). Radio spectrum for the internet of things, (18), 67–84.
- IEC. [n.d.]. Orchestrating infrastructure for sustainable Smart Cities.
- IEEE (2012). IEEE 802.11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.
- IEEE IoT (2016). IEEE Internet of Things. Retrieved from <http://iot.ieee.org>
- International Organization for Standardization (1994). ISO/IEC standard 7498-1:1994.
- IoT World Forum (2014). IoT World Forum Reference Model.
- ITU (2005). Cellular Standards for the Third Generation.
- ITU (2012). ITU-T Recommendation Y.2060.
- ITU (2012). Report ITU-R SM.2255-0 :Technical characteristics, standards, and frequency bands of operation for radio-frequency identification (RFID) and potential harmonization opportunities.
- ITU (2015). *ITU Radio Regulations*, CHAPTER II – Frequencies, ARTICLE 5 Frequency allocations, Section IV – Table of Frequency Allocations.
- ITU (2016). ITU-T SG20: IoT and its applications including smart cities and communities (SC&C). Retrieved from <http://www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/2013-2016/20/>
- Kraus, B., Monika, K., & Xiong, S. (2015). Worldwide Internet of Things Spending by Vertical Market 2015–2018.
- LoRa Alliance (2015). LoRa Specification.
- Motorola (2010). Long Term Evolution (LTE): A Technical Overview.
- New J., & Castro, D. (2015). Why Countries Need National Strategies for the Internet of Things.

- NFC Forum (2011). Technical Specifications. Retrieved from http://members.nfc-forum.org/specs/spec_list/
- Ngonga, A. (2013). Data acquisition, University of Leipzig and AKSW Research Group, presented at Big Data Webina 2013.
- Ofcom (2015). More Radio Spectrum for the Internet of Things.
- Puccinelli, D., & Haenggi, M. (2005). Wireless sensor networks: applications and challenges of ubiquitous sensing. *Circuits and Systems Magazine, IEEE*, 5(3), 19-31.
- Radiocommunication Bureau (2015). Results of the first session of the Conference Preparatory Meeting for WRC-19 (CPM19-1).
- Sigfox (2016). Sigfox Technical Specification. Retrieved from <http://makers.sigfox.com>
- Terman, F. E., & Helliwell, R. (1955). Electronic Radio and Engineering, 4th ed., MacGraw-Hill, ISBN 978-0-07-085795-7
- Thread Group (2014). Thread following IEEE802.15.4 .
- World Economic Forum (2015). Industrial Internet of Things: Unleashing the Potential of Connected Products and Services.
- World Economic Forum (2015). The Future of Financial Services How disruptive innovations are reshaping the way financial services are structured, provisioned and consumed.
- Zemede, M. (2015) Building IoT gateways to the cloud. Retrieved from <http://www.microcontrollertips.com/building-iot-gateways-to-the-cloud/>
- Zigbee Alliance (2012). Zigbee Specification.
- Z-Wave Alliance (2014). Z-Wave Transceivers – Specification of Spectrum Related Components.

