บทวิเคราะห์แนวโน้มทางเทคโนโลยี

เซนเซอร์อัจฉริยะ:

เบื้องหลังความสำเร็จเทคโนโลยีแห่งอนาคต

โดย

ฝ่ายวิจัยนโยบาย

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

ตุลาคม – ธันวาคม 2560

เซนเซอร์อัจฉริยะ: เบื้องหลังความสำเร็จเทคโนโลยีแห่งอนาคต

ตุลาคม – ธันวาคม 2560

ฝ่ายวิจัยนโยบาย
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

สารบัญ

หน้า

สารบัญ 2

1. บทนำ 3

2. “ทรานสดิวเซอร์” กับ “เซนเซอร์” เหมือนหรือต่างกันอย่างไร? 4

3. แนวโน้มการใช้งานเซนเซอร์ในอนาคต 5

4. การศึกษา วิจัยและพัฒนา เซนเซอร์ 9

5. สถานภาพการพัฒนาเทคโนโลยีเซนเซอร์ในไทย 17

6. บทสรุปการพัฒนาเทคโนโลยีเซนเซอร์ 26

บรรณานุกรม 29

ภาคผนวก 31

ภาคผนวก ก. ตัวแปรที่ตั้งไว้ (Out of Range) ของเซนเซอร์อัจฉริยะ (Smart Sensor) 32

ภาคผนวก ข. จำนวนบทความวิจัย 10 ปีย้อนหลังที่เกี่ยวข้องกับเซนเซอร์ จำแนกรายประเทศ (ปี 2008 – กันยายน 2017) 34

ภาคผนวก ค. จำนวนบทความวิจัย 10 ปีย้อนหลังที่เกี่ยวข้องกับเซนเซอร์ จำแนกรายหน่วยงานในประเทศ (ปี 2008 – กันยายน 2017) 37

ภาคผนวก ง. ตัวอย่างสิทธิบัตรสำคัญที่นำไปสู่การใช้งานจริงในอุตสาหกรรมต่าง ๆ 41

1. บทนำ

ปัจจุบันนวัตกรรมทางด้านเทคโนโลยีรุดหน้าก้าวไกลอย่างรวดเร็วกว่าในอดีตมาก และเทคโนโลยีจำนวนมากจากห้องปฏิบัติการวิจัยแทรกซึมเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในวิถีชีวิตที่เชื่อมโยงโลกในปัจจุบัน โดยเข้ามามีบทบาทมากขึ้นในชีวิตเราทั้งในการเพิ่มคุณภาพสินค้า เพิ่มคุณภาพชีวิตอย่างการรักษาพยาบาล การรักษาความปลอดภัย ไปจนถึงการสร้างความบันเทิง เช่น เทคโนโลยีที่เปลี่ยนนาฬิกาข้อมือธรรมดาให้กลายเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดการเต้นของชีพจร การนับจำนวนก้าวเดิน รวมถึงการคำนวณอัตราการเผาผลาญพลังงาน ไปจนถึงการสร้างรายได้เชิงธุรกิจ เช่น การปล่อย Pokemon Go หายากเพื่อดึงดูดให้นักล่า Pokemon Go เข้ามาตามหาในร้านค้า ซึ่งภายใต้ความสำเร็จของเทคโนโลยีต่าง ๆ นั้น ได้มีการนำเซนเซอร์เข้ามาใช้ในการกระบวนการตรวจจับและส่งข้อมูล จนผลักดันทำให้เทคโนโลยีต่าง ๆ เหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งที่สามารถส่งผลให้เกิดการพัฒนาศักยภาพทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคม และการศึกษาให้ดีขึ้นได้ต่อไป

ในปัจจุบัน ไทยมีแนวโน้มในการใช้งานระบบ/อุปกรณ์อัตโนมัติต่าง ๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่สำคัญของเทคโนโลยีไทย คือ การขาดตลาดภายในประเทศ เพราะผู้ใช้งานมักไม่ได้ให้ความสำคัญกับเทคโนโลยีที่พัฒนาในประเทศเท่าที่ควร จากการที่ผู้ผลิตรายใหญ่ทั้งในส่วนของการผลิตและการบริการมักนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ นอกจากนี้ ยังขาดการส่งเสริมผู้ประกอบการรุ่นใหม่ ที่มีศักยภาพในการคิดค้นนวัตกรรมให้เติบโตจนกลายเป็นวิสาหกิจเริ่มต้นทางด้านเทคโนโลยีในส่วนนี้ (Tech Startup) ที่เป็นฐานเศรษฐกิจใหม่ของประเทศในอนาคต ทำให้ไทยยังต้องอาศัยการนำเข้าเซนเซอร์และระบบ/อุปกรณ์อัตโนมัติที่มีมูลค่าสูงจากต่างประเทศเป็นหลัก ดังนั้น เพื่อเป็นการสร้างความแข็งแกร่งให้กับประเทศจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเตรียมความพร้อมในด้านต่างๆ เพื่อส่งเสริมให้เกิดการวิจัย พัฒนา ตลอดจนส่งเสริมเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อไป

บทวิเคราะห์แนวโน้มทางเทคโนโลยี เรื่อง “เซนเซอร์อัจฉริยะ: เบื้องหลังความสำเร็จเทคโนโลยีแห่งอนาคต” นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ข้อมูลและองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเซนเซอร์อัจฉริยะ สถานภาพของเทคโนโลยีและอุตสาหกรรม ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ รวมถึงของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สวทช.) เพื่อเป็นการเผยแพร่ความรู้แก่บุคคลทั่วไป

2. “ทรานสดิวเซอร์” กับ “เซนเซอร์” เหมือนหรือต่างกันอย่างไร?

หลายท่านอาจเคยได้ยินชื่อส่วนประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณสมบัติในการรับข้อมูลทั้ง “ทรานสดิวเซอร์” กับ “เซนเซอร์” ที่ทำงานหลังม่านความสำเร็จของอุปกรณ์อัจริยะต่าง ๆ หากแต่อาจจะยังมีความคลางแคลงสงสัยถึงความเหมือนและความแตกต่าง ซึ่งเราควรเข้าใจถึงความหมายและหลักการทำงานเบื้องต้นเสียก่อน

ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) เป็นอุปกรณ์แปลงพลังงาน (Mechanical Device) จากรูปแบบหนึ่ง (Lead Across) เป็นพลังงานในรูปแบบอื่น เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานกล พลังงานแสง ซึ่งโดยทั่วไปมักแปลงพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า เช่น ใช้ในการขยายสัญญาณ หรือการปรับแต่งสัญญาณเป็นต้น[1]

เซนเซอร์ (Sensor) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการตรวจจับหรือรับรู้ การเปลี่ยนแปลงปริมาณทางกายภาพ หรือพลังงานของตัวแปรต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น พลังงานแสง พลังงานเสียง ความร้อน ระยะทาง การเคลื่อนที่ การเคลื่อนไหว การไหล เป็นต้น แล้วส่งให้ทรานสดิวเซอร์แปลงเป็นพลังงานในรูปแบบที่เซนเซอร์สามารถส่งข้อมูลออกมาในรูปแบบดิจิทัลที่ส่งให้อุปกรณ์อัจฉริยะต่าง ๆ ใช้ในการประมวลผลการทำงานต่อไป[2]

เซนเซอร์อัจฉริยะ (Smart Sensor) เป็นอุปกรณ์ชิ้นเดียวที่รวมกระบวนการตั้งแต่การตรวจจับ/รับข้อมูล ไปจนถึงการแสดงผลข้อมูล ซึ่งจะทำการประมวลผลเมื่อสิ้นสุดการรับข้อมูลตามตัวแปรที่ตั้งไว้แล้ว (Out of Range) [3] โดยตัวแปรต่าง ๆ[4] ประกอบด้วย คลื่นเสียง พลังงานไฟฟ้า แม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นแสง ความร้อน พลังงานกล[5]

หากมองในมุมของการใช้งานแล้ว โดยทั่วไปอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สามารถวัดค่าได้มากกว่า 1 ค่ามักจะมีทั้งทรานสดิวเซอร์และเซนเซอร์มากกว่า 1 แบบประกอบกัน ซึ่งอุปกรณ์อัจฉริยะชิ้นหนึ่งมักประกอบไปด้วยทั้งเซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์หลายตัว เพื่อให้สามารถตรวจวัดและแปลงค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่หลากหลาย โดยสามารถกล่าวได้ว่า ทรานสดิวเซอร์เป็นส่วนหนึ่งของเซนเซอร์ได้เช่นกัน

---

[1] เผด็จ เผ่าละออ, Sensors and Transducers I, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2558

[2] IEEE, IEEE P1451.6 Terms and Definitions, 2005.

[3] IEEE, IEEE P1451.6 Terms and Definitions, 2005.

[4] John W. Sutherland, An Introduction to Sensors and Transducers, Department of Mechanical Engineering at Michigan Technological University, 2012.

[5] รายละเอียดในภาคผนวก ก. ตัวแปรที่ตั้งไว้ (Out of Range) ของเซนเซอร์อัจฉริยะ (Smart Sensor)

3. แนวโน้มการใช้งานเซนเซอร์ในอนาคต

ปัจจุบันอุปกรณ์อัจฉริยะได้แทรกซึมเข้ามาอยู่ในกิจวัตรทุกวันของเรา และในอนาคตอันใกล้หุ่นยนต์ก็จะกลายเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวัน การพัฒนาเซนเซอร์จึงเป็นจุดเปลี่ยนเริ่มต้นสำคัญที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของเทคโนโลยีต่าง ๆ โดยบริษัท Tractica ซึ่งเป็นบริษัทศึกษาคาดการณ์อุตสาหกรรมของสหรัฐคาดว่า ระบบอัจฉริยะและปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence (AI) and Smart System) จะกำหนดรูปแบบของทศวรรษหน้าที่จะมีผู้ประกอบการและตลาดใหม่ ๆ เกิดขึ้นทั่วโลก ซึ่งเทคโนโลยีที่จะมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาอย่างต่อเนื่องซึ่งจะทำให้ความสามารถของการทำงานโดยอัตโนมัติสูงขึ้นกว่าในปัจจุบัน เช่น[6]

- Artificial Intelligence Machine Vision เป็นชุดประมวลผลภาพอัตโนมัติ ด้วยการรับข้อมูลจากระบบเซนเซอร์ต่าง ๆ แล้วนำสัญญาณที่ได้แสดงออกทางจอภาพ เช่น ใช้ตรวจเช็คตำแหน่งของวัตถุ ตรวจสอบความผิดพลาดของชิ้นงาน เป็นต้น
- Voice and Speech Recognition เป็นระบบการรับรู้และจดจำเสียงได้อย่างอัตโนมัติ โดยระบบจะนำข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์รับเสียงเข้าสู่ระบบการประมวลผลและแสดงผลเป็นอักษร เช่น การใช้โปรแกรมค้นหาได้ด้วยการพูด เป็นต้น
- Tactile Sensors เป็นเซนเซอร์รับสัมผัส ที่จะทำการส่งข้อมูลที่ได้จากการรับรู้การสัมผัส เช่น ใช้ในอุปกรณ์ตรวจวัดสภาวะทางสุขภาพ เป็นต้น
- Gesture Control เป็นระบบสั่งงานด้วยการเคลื่อนไหว โดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวต่าง ๆ เช่น การสั่งให้อุปกรณ์เคลื่อนที่สามารถถ่ายรูปได้เอง ด้วยการจดจำการเคลื่อนไหวของร่างการที่จดจำไว้ในการติดตั้ง เป็นต้น

การคาดการณ์ข้างต้นสอดคล้องกับ 10 แนวโน้มเทคโนโลยียุทธศาสตร์ ของ Gartner ซึ่งได้คาดการณ์เทคโนโลยีที่น่าจับตามองในปี 2017 และ 2018[7] ดังนี้

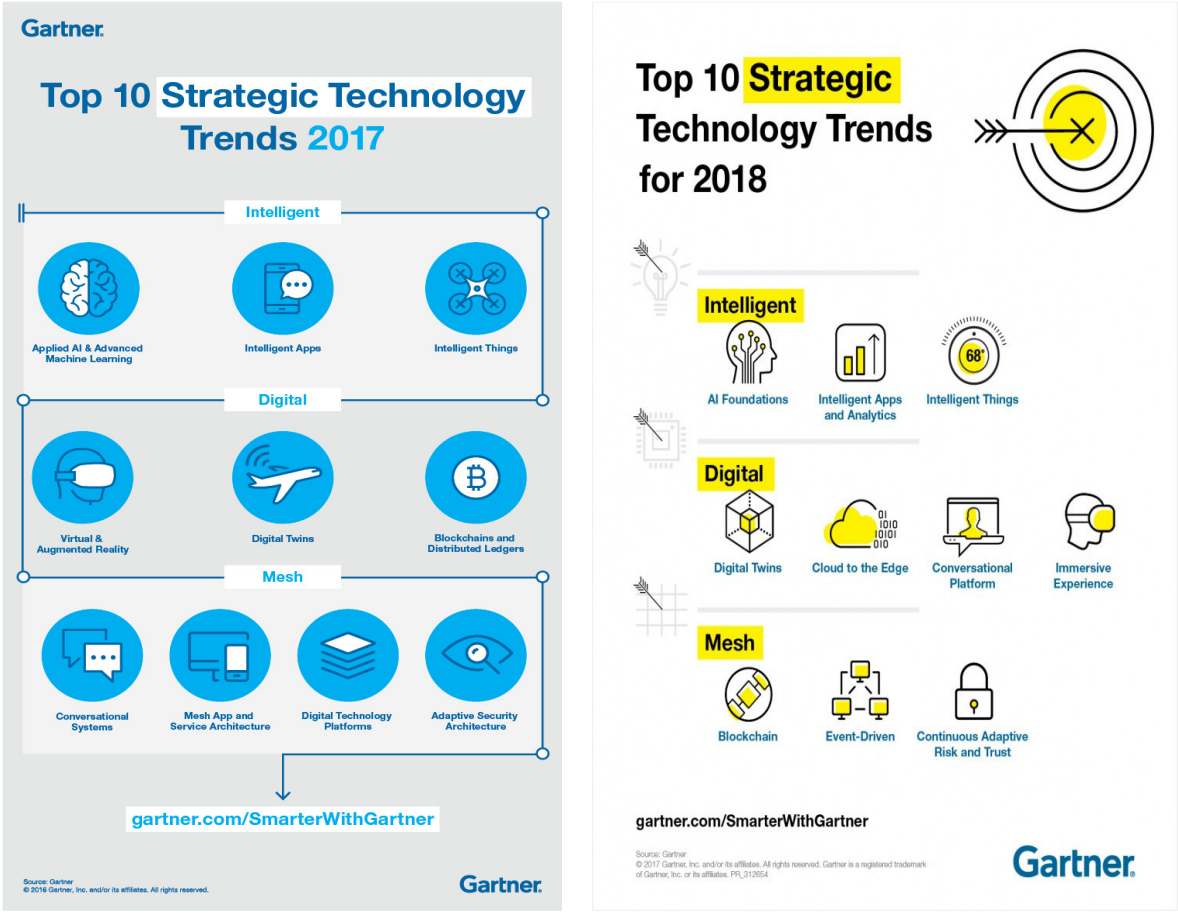
- Artificial Intelligence (AI) คือ ปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งเป็นศาสตร์ที่ทำให้ระบบคอมพิวเตอร์มีความสามารถคล้ายมนุษย์จากการเลียนแบบพฤติกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ โดยการนำข้อมูลจากเซนเซอร์มาประมวลผลและแสดงข้อมูลเป็นการกระทำ (Acting Humanly) คิดเลียนแบบมนุษย์ (Thinking Hunmanly, Thinking Rationally, Acting Rationally) เช่น การนำระบบ AI มาใช้ในการประดิษฐ์หุ่นยนต์ดูดฝุ่น จากการนำข้อมูลภาพที่ได้รับจากเซนเซอร์เข้ามาประมวลผลในการทำงาน เป็นต้น[8]

[6] Tractica LLC., 2017.

[7] Gartner, Top 10 strategic technology trends, 2017.

[8] สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้, AI - ปัญญาประดิษฐ์, มหาวิทยาลัยมหิดล, 2557.

รูปที่ 1 แสดง 10 แนวโน้มเทคโนโลยียุทธศาสตร์ของ Gartner ปี ค.ศ. 2017-2018



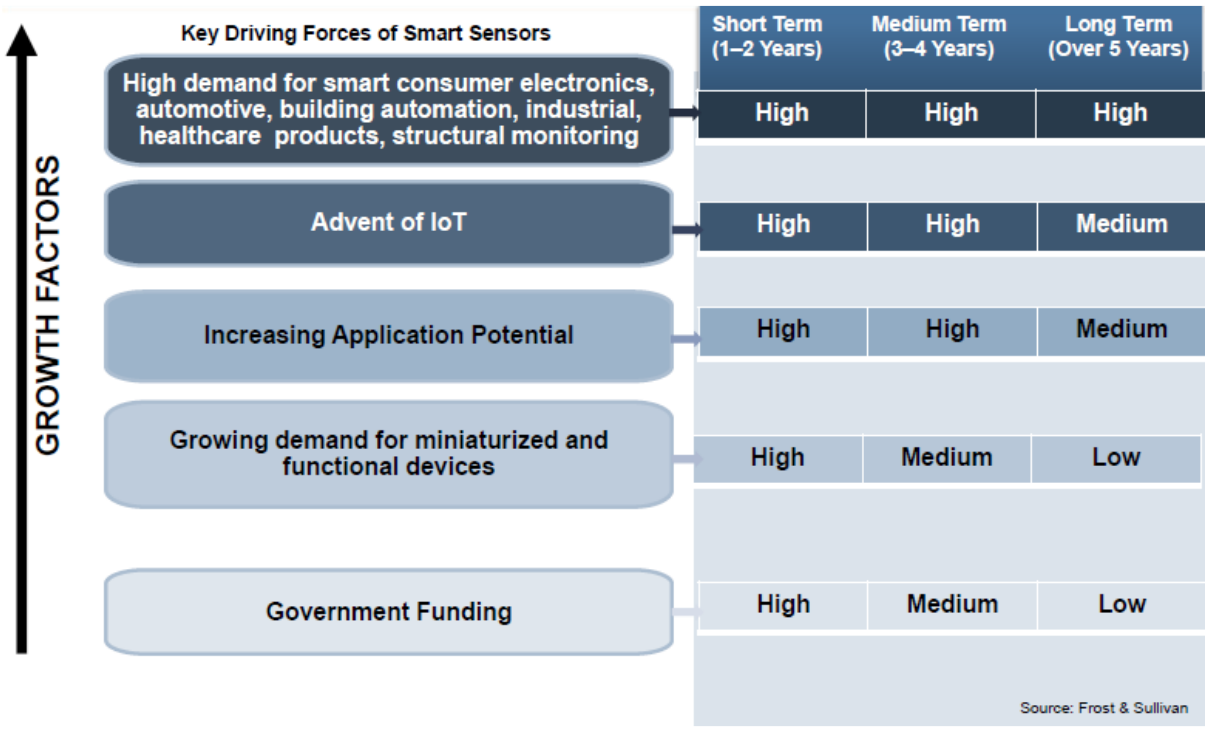
ที่มา: Gartner, 2016-2017.

- Intelligent Applications เป็นแอปพลิเคชันที่มีความสามารถในการแนะนำผู้ใช้ในการทำงานต่าง ๆ ได้ โดยการเชื่อมต่อข้อมูลของระบบเซนเซอร์ระหว่างอุปกรณ์เคลื่อนที่ อุปกรณ์สวมใส่อัจฉริยะ และระบบ IoT เพื่อการใช้งานด้านต่าง ๆ เช่น การจัดการอีเมล การช่วยโต้ตอบข้อมูลอัตโนมัติ
- Intelligent Things อุปกรณ์ที่มีความอัจฉริยะเหนือกว่าความสามารถในการทำงานตามคำสั่งตามโปรแกรมโดยทั่วไป ด้วยการฝังระบบเซนเซอร์เชื่อมโยงกับโปรแกรมคำสั่งแบบ AI และ Machine Learning (ML) เช่น โดรน รถยนต์ไร้คนขับ เครื่องใช้ไฟฟ้าอัจฉริยะต่าง ๆ
- Digital Twins เป็นการบันทึกข้อมูลของสิ่งต่าง ๆ ในรูปแบบดิจิทัล ด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลจากเซนเซอร์ในการใช้วัดสถานะปัจจุบันและความเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ เช่น ใช้ในการคาดการณ์การซ่อมบำรุงอุปกรณ์ต่าง ๆ ล่วงหน้า

- Blockchains เป็นระบบโครงข่ายในการเก็บข้อมูลออนไลน์ เช่น ข้อมูลสถิติการทำธุรกรรมทางการเงิน นอกจากนี้ยังสามารถใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ผ่านระบบ IoT และเซนเซอร์ เพื่อใช้วิเคราะห์สภาพอากาศ คุณภาพน้ำอากาศ แจ้งเตือนมลภาวะ เตือนภัยซึนามิ รวมถึงควบคุมการผลิต[9]

จากบทบาทของเซนเซอร์ที่มีการใช้งานในการพัฒนาระบบต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง และการที่อุปกรณ์ในปัจจุบันถูกออกแบบให้มีขนาดเล็กลงและมีแนวโน้มผนวกหลากหลายการใช้งานไว้ในอุปกรณ์เดียวเพิ่มขึ้น เป็นผลให้เกิดการใช้งานเซนเซอร์อัจฉริยะมากขึ้นในระยะแรก โดยปัจจัยหลักที่ขับเคลื่อนให้เกิดการขยายตัวของเซนเซอร์อัจฉริยะสูงสุดในปัจจุบันต่อเนื่องมากกว่า 5 ปีต่อจากนี้ จะมาจากความต้องการใช้อุปกรณ์อัจฉริยะต่าง ๆ ที่สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติในอุตสหากรรมอิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ การก่อสร้าง การผลิต ผลิตภัณฑ์สุขภาพ รวมถึงการติดตามประเมินและเฝ้าระวังโครงสร้าง เป็นต้น โดยในระยะแรกอาจเกิดจากการได้รับเงินสนับสนุนของภาครัฐ เพื่อเป็นการส่งเสริมให้เกิดโครงการนำร่องในการลงทุนปรับระบบโครงสร้างพื้นฐานเดิมเข้าสู่ระบบอัตโนมัติที่ใช้การส่งข้อมูลแบบทันกาลผ่านระบบเซนเซอร์เพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 2)

รูปที่ 2 แนวโน้มการประยุกต์ใช้งานเซนเซอร์ในอนาคต



ที่มา: Frost & Sullivan, 2017.

[9] Don Tapscott and Alex Tapscott, Blockchain revolution: How the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world, Penguin Random House LLC, 2016.

จากแนวโน้มเทคโนโลยีและการนำไปใช้งานข้างต้นนั้น บทบาทของเซนเซอร์ในอนาคตจะแฝงตัวเข้ามาในรูปแบบของอุปกรณ์พกพาต่าง ๆ รวมถึงการเป็นส่วนหนึ่งของระบบอุปกรณ์อัตโนมัติ เพื่อใช้อำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวันมากขึ้น ทั้งผ่านทางระบบตรวจสอบสุขภาพให้กับโครงสร้างพื้นฐานที่มีผลกระทบต่อประชาชนสู่แอพพลิเคชั่นอัจฉริยะในยานยนต์แห่งอนาคต รวมถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับผู้บริโภคที่เป็นอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าอัจฉริยะต่าง ๆ เช่น สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต อุปกรณ์สวมใส่อัจฉริยะ หรืออุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่อ IoT ได้นั่นเอง

4. การศึกษา วิจัยและพัฒนา เซนเซอร์

การศึกษาวิจัยด้านเซนเซอร์ของโลกในปัจจุบันและอนาคตนั้น มีแนวโน้มมุ่งเน้นในการพัฒนาเกี่ยวกับการผลิตเซนเซอร์ต้นทุนต่ำด้วยซิลิกอนและนาโนเทคโนโลยี การเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับ โดยเซนเซอร์สามารถปรับตั้งค่าสอบเทียบวัดได้เองโดยอัตโนมัติ ทำให้เพิ่มความฉลาดของระบบการตัดสินใจในอุปกรณ์ต่าง ๆ และสามารถนำเซนเซอร์ไปใช้งานในรูปแบบที่หลากหลายมากขึ้น เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือน ยานยนต์ และการแพทย์

ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ประเทศจีนได้กลายเป็นประเทศผู้นำที่มีผลการตีพิมพ์สูงสุดแทนที่ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยจีนมุ่งเน้นการพัฒนาระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย[10] เพื่อนำมาปรับใช้ในส่วนของหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติพลังงานต่ำ สหรัฐอเมริกาที่เป็นผู้นำอันดับที่ 2 มุ่งเน้นให้การสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับเซนเซอร์อัจฉริยะ โดยเฉพาะกระทรวงพลังงานสหรัฐฯ และมูลนิธิวิทยาศาสตร์แห่งชาติสหรัฐ (National Science Foundation - NSF) คล้ายกับรัฐบาลแห่งชาติสิงคโปร์ โดยการสนับสนุนงบประมาณในการศึกษาวิจัยร่วมกันทั้งในส่วนของภาคการศึกษา ภาครัฐ และภาคเอกชน เพื่อพัฒนาเกี่ยวกับระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนทางสุขภาพแบบทันกาล และอาคารอนุรักษ์พลังงาน โดยการส่งเสริมการออกแบบเมืองอัจฉริยะ สิ่งปลูกสร้างอัจฉริยะ การปรับปรุงประสิทธิภาพโครงสร้างพื้นฐาน รวมถึงการนำไปปรับใช้กับยานยนต์อัจฉริยะในอนาคตอันใกล้ นอกจากนี้ หน่วยงานให้ทุนของสหรัฐฯ ยังให้ทุนแก่ Startups และหน่วยวิจัย/ห้องปฏิบัติการวิจัยต่าง ๆ ของภาคเอกชน และเปิดรับข้อเสนอโครงการจากทั่วโลกเพื่อให้ทุนวิจัยตั้งแต่ขั้นตอนการพัฒนาเทคโนโลยีไปจนถึงการผลิตในเชิงพาณิชย์ร่วมกับบริษัทเอกชน เช่น บริษัท Kleiner Perkins Caufield & Byers บริษัท RockPort Capital Partners บริษัท Draper Fisher Jurvetson บริษัท Khosla Ventures เป็นต้น ซึ่งแม้ว่าใน 10 ปีย้อนหลังภาพรวมของสหรัฐจะยังคงรั้งอันดับที่ 2 ของโลก แต่ก็สามารถขยับเพิ่มจำนวนผลงานตีพิมพ์ที่ห่างกับจีนร้อยละ 5.83 จนสามารถตีตื้นจีนขึ้นมาห่างกับจีนอยู่ที่ 2.21 ในช่วง 5 ปีย้อนหลังได้ (ตารางที่ 1)

[10] เป็นเครือข่ายไร้สายที่ประกอบไปด้วย หน่วยร่วมเซนเซอร์ที่ทำงานร่วมกัน เพื่อวัด เก็บข้อมูล และประมวลผลข้อมูลเป็นเครือข่าย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวัดและเก็บข้อมูล

ตารางที่ 1 ประเทศ 10 อันดับแรกที่มีบทความวิจัยเกี่ยวกับเซนเซอร์สูงสุด ปี ค.ศ. 2008 –2017*

ประเทศ	จำนวนบทความวิจัย (ฉบับ)	สัดส่วนบทความวิจัยของประเทศ/โลก (ร้อยละ)	การเปลี่ยนแปลงอันดับ
1. จีน	134,117	22.62	อันดับคงที่
2. สหรัฐ	121,029	20.41	อันดับคงที่
3. เยอรมัน	39,128	6.60	อันดับเพิ่มขึ้นใน 5 ปีที่ผ่านมา
4. ญี่ปุ่น	34,073	5.75	อันดับขึ้นลงประมาณ 1 อันดับ
5. อินเดีย	31,866	5.37	อันดับลดลงใน 5 ปีที่ผ่านมา
6. เกาหลีใต้	27,706	4.67	อันดับคงที่
7. สหราชอาณาจักร	26,848	4.53	อันดับเพิ่มขึ้นใน 5 ปีที่ผ่านมา
8. อิตาลี	24,578	4.15	อันดับคงที่
9. ฝรั่งเศส	24,063	4.06	อันดับคงที่
10. แคนาดา	18,948	3.20	อันดับลดลงใน 5 ปีที่ผ่านมา
รวม	**482,356**	**81.36**	

ที่มา: ฐานข้อมูล Scopus เข้าถึงเมื่อเดือนกันยายน 2560

*หมายเหตุ: ข้อมูลตั้งแต่ ปี ค.ศ. 2008 – กันยายน 2017

ตารางที่ 2 หน่วยงาน 10 อันดับแรกที่มีบทความวิจัยเกี่ยวกับเซนเซอร์สูงสุด ปี ค.ศ. 2008 –2017*

หน่วยงาน	จำนวนบทความวิจัย (ฉบับ)	สัดส่วนบทความวิจัยของหน่วยงาน/โลก (ร้อยละ)	การเปลี่ยนแปลงอันดับ
1. Chinese Academy of Sciences (China)	12,600	2.13	อันดับคงที่
2. Ministry of Education China (China)	10,700	1.80	อันดับคงที่
3. Centre National de la Recherche Scientifique (France)	5,657	0.95	อันดับคงที่
4. Tsinghua University (China)	4,394	0.74	อันดับคงที่
5. Zhejiang University (China)	4,084	0.69	อันดับคงที่
6. Harbin Institute of Technology (China)	3,825	0.65	อันดับคงที่
7. University of Tokyo (Japan)	3,433	0.58	อันดับเพิ่มขึ้นใน 5 ปีที่ผ่านมา
8. Nanyang Technological University (Singapore)	3,133	0.53	อันดับขึ้นลงประมาณ 1 อันดับ
9. Consiglio Nazionale delle Ricerche (Italy)	3,125	0.53	อันดับลดลงใน 5 ปีที่ผ่านมา
10. Beihang University (China)	3,121	0.53	อันดับคงที่
รวม	**54,072**	**9.12**	

ที่มา: ฐานข้อมูล Scopus เข้าถึงเมื่อเดือนกันยายน 2560

*หมายเหตุ: ข้อมูลตั้งแต่ ปี ค.ศ. 2008 – กันยายน 2017

ในระดับองค์กร สถาบันที่มีผลงานตีพิมพ์สูง เช่น สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์จีน (Chinese Academy of Sciences: CAS) กระทรวงศึกษาธิการสาธารณรัฐจีน มหาวิทยาลัยชิงหวา (Tsinghua University) มหาวิทยาลัยเจ้อเจียง (Zhejiang University) สถาบันเทคโนโลยีแห่งฮาร์บิน (Harbin Institute of Technology) และมหาวิทยาลัย เป่ยหาง (Beihang University) ซึ่งนอกจากนี้ การศึกษาเกี่ยวกับเซนเซอร์ด้านเคมี (Chemical Sensor)[11] เซนเซอร์ชีวภาพ (Biosensors)[12] และเซนเซอร์ก๊าซ (Gas Sensors)[13] รวมถึงหน่วยร่วมเซนเซอร์ (Sensor Node)[14] และเซนเซอร์ใยแก้วนำแสง (Fiber Optic Sensors)[15] ยังถือเป็นอีกแนวทางการวิจัยที่ได้รับความสนใจในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ซึ่งมีหน่วยงานอื่น ๆ ที่มีผลงานตีพิมพ์ทางวิชาการที่เกี่ยวข้องอยู่ในอันดับต้น ๆ ของโลก เช่น ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์แห่งชาติ ประเทศฝรั่งเศส (Centre National de la Recherche Scientifique: CNRS) มหาวิทยาลัยแห่งโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น (University of Tokyo) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีหนานหยาง ประเทศสิงคโปร์ (Nanyang Technological University) สภาวิจัยแห่งชาติ ประเทศอิตาลี (Consiglio Nazionale delle Ricerche) ดังตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่า ในช่วงตลอดทศวรรษนี้ทั้ง 10 หน่วยงานสามารถตีพิมพ์ผลงานวิจัยด้านเซนเซอร์อยู่ใน 10 อันดับแรกของโลกได้เสมอมา โดยเฉพาะ CAS ที่สามารถตีพิมพ์ผลงานวิจัยอยู่ในอันดับสูงสุดของโลกได้อย่างต่อเนื่อง ด้วยการมีผลงานตีพิมพ์เฉลี่ย 1,373 ฉบับ หรือร้อยละ 2.19 ของผลงานตีพิมพ์ด้านเซนเซอร์ทั้งหมดทั่วโลกทุกปี ในส่วนของสภาพยุโรป CNRS เป็นหน่วยงานที่สามารถอยู่ใน 3 อันดับแรกของโลกตลอดช่วง 10 ปีได้ โดยมีผลงานตีพิมพ์เฉลี่ย 636 ฉบับ หรือร้อยละ 0.95 ของผลงานตีพิมพ์ด้านเซนเซอร์ทั้งหมดทั่วโลกทุกปี นอกจากนี้ สภาวิจัยแห่งชาติ ประเทศอิตาลี (Consiglio Nazionale delle Ricerche) สามารถพัฒนาการวิจัยเกี่ยวกับเซนเซอร์จนสามารถขยับอันดับขึ้นมาสูงขึ้นได้ ด้วยการมีผลงานตีพิมพ์เฉลี่ย 354 ฉบับ หรือร้อยละ 0.56 ของผลงานตีพิมพ์ด้านเซนเซอร์ทั้งหมดทั่วโลกทุกปี ในขณะที่มหาวิทยาลัยแห่งโตเกียว ที่เคยอยู่ใน 5 อันดับแรกนั้น เริ่มมีอันดับที่เพิ่มขึ้นในช่วง 5 ปีย้อนหลัง แต่ยังคงสามารถรักษาอันดับให้อยู่ในหน่วยงาน 10 อันดับแรกของโลกได้ โดยการมีผลงานตีพิมพ์เฉลี่ย 309 ฉบับ หรือร้อยละ 0.54 ของผลงานตีพิมพ์ด้านเซนเซอร์ทั้งหมดทั่วโลกทุกปี ซึ่งอีกหน่วยงานในเอเชียที่น่าจับตามอง คือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีหนานหยาง และมหาวิทยาลัยเป่ยหาง (Beihang University) ที่เป็นมหาวิทยาลัยด้าน

[11] เป็นเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดสารเคมีต่าง ๆ โดยอาศัยปฏิกิริยาจำเพาะทางเคมี และมีการแปลงเป็นข้อมูลหรือสัญญาณที่สามารถอ่านวิเคราะห์ได้ เช่น เซนเซอร์ตรวจวัดสารเคมีปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม หรือดินและน้ำ

[12] เป็นเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจวัดทางชีวภาพ เพื่อให้ติดตามสารที่ต้องการตรวจวัด โดยใช้สารชีวภาพที่มีความจำเพาะเจาะจงต่อสารที่ต้องการวิเคราะห์ เช่น เอนไซม์ แอนติบอดี กรดนิวคลีอิก หรือดีเอ็นเอ ในการตรวจวัดปัจจัยต่างๆ เช่น เช่น การผลิตสารที่เป็นตัวกลางทางไฟฟ้า ไอออน อิเล็กตรอน ความชื้น ออกซิเจน ความร้อน และสี เป็นต้น

[13] เป็นเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจจับและแยกชนิกของก๊าซ โดยการแยกความหนาแน่นของก๊าซที่อยู่ในอากาศ

[14] เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยเซนเซอร์ หน่วยประมวลผล หน่วยส่งสัญญาณ ทำหน้าที่เก็บข้อมูล ประมวลผลข้อมูล และรับ-ส่งข้อมูลภายในเครือข่ายเซนเซอร์

[15] เป็นเซนเซอร์ชนิดใช้แสงในการตรวจสอบขนาดรูปร่างของวัตถุที่มีขนาดเล็กหรือในที่แคบได้

อากาศยานและอวกาศแห่งชาติของจีน โดยมีผลงานตีพิมพ์เฉลี่ยร้อยละ 0.53 ของผลงานตีพิมพ์ด้านเซนเซอร์ทั้งหมดทั่วโลกทุกปีเท่ากัน ซึ่งแม้ว่ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีหนานหยางของสิงคโปร์จะมีอันดับที่สูงกว่ามหาวิทยาลัยเป่ยหางของจีนมาโดยตลอด แต่ยังคงไม่สามารถขยับอันดับให้สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องได้ ซึ่งหากสภาวิจัยแห่งชาติอิตาลีและมหาวิทยาลัยเป่ยหางของจีนสามารถพัฒนาให้มีผลงานศึกษาวิจัยรุดหน้ามากกว่าภายใน 5 ปีข้างนอกได้ หน่วยงานของสิงคโปร์อาจจะหลุดจาก 10 หน่วยงานแรกของโลกด้านเซนเซอร์เช่นเดียวกับหน่วยงานอื่น ๆ ในสหรัฐเมื่อ 10 ปีที่ผ่านมา

ทั้งนี้ จากภาพรวมของทุกหน่วยงานระดับประเทศ ผู้นำของโลกทางด้านการพัฒนาเซนเซอร์อัจฉริยะ 10 ประเทศแรก ซึ่งมีผลงานตีพิมพ์รวมกันมากถึงร้อยละ 81.36 ของผลงานตีพิมพ์ทั่วโลกนั้น ส่วนใหญ่ยังคงเป็นประเทศพัฒนาแล้วในกลุ่มสหภาพยุโรปและอเมริการเหนือ อย่างสหรัฐ เยอรมัน สหราชอาณาจักร อิตาลี ฝรั่งเศส และแคนาดาที่สามารถวิจัยและพัฒนาระบบเซนเซอร์ให้ขึ้นนำแทนที่สเปน ออสเตรเลีย และไต้หวันได้ นอกจากนี้ ยังมีประเทศพัฒนาแล้วและประเทศอุตสาหกรรมใหม่ในภูมิภาคเอเชียที่ได้ก้าวเข้ามามีบทบาทเชิงเศรษฐกิจโลกสูงขึ้น อย่างจีน ญี่ปุ่น และโดยเฉพาะอินเดียและเกาหลีใต้ที่เริ่มขยับเข้ามามีบทบาทมากขึ้นในการวิจัยและพัฒนาเซนเซอร์อัจฉริยะคุณภาพสูงได้สำเร็จ

ในด้านการจดสิทธิบัตรด้านการพัฒนาเซนเซอร์อัจฉริยะ 10 ปีที่ผ่านมา ประเทศพัฒนาแล้วและประเทศอุตสาหกรรมใหม่ในภูมิภาคเอเชียเหล่านี้ ยังคงรั้งตำแหน่งบทบาทผู้นำทางวิชาการและอุตสาหกรรมที่นำโดยจีน ด้วยการมีจำนวนการขึ้นทะเบียนสิทธิบัตรสูงสุดถึงร้อยละ 19.28 ของโลก ซึ่งมีจำนวนการขึ้นทะเบียนมากกว่าสหรัฐฯ ที่มาเป็นอันดับ 2 ถึง 3 เท่าตัว ตามมาด้วยญี่ปุ่น เกาหลีใต้ ไต้หวัน และอินเดีย ทั้งนี้ในส่วนของประเทศผู้นำด้านการพัฒนาเซนเซอร์อัจฉริยะเดิมที่ให้ความสำคัญต่อผลงานวิชาการทั้งในส่วนของการตีพิมพ์ผลงานวิจัยและการขึ้นทะเบียนสิทธิบัตรควบคู่กันไป ได้แก่ เยอรมัน ออสเตรเลีย และแคนาดา โดยเซนเซอร์ที่ได้รับการจดทะเบียนส่วนใหญ่เป็นกลุ่มที่ใช้ในทางไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์ ทั้งเซนเซอร์แปลงสัญญาณเพื่อใช้ในการถ่ายโอนข้อมูลด้วยระบบหน้าจอแบบสัมผัส เซนเซอร์ที่ใช้ในการรวบรวมและประมวลผลข้อมูลเพื่อใช้ในการโต้ตอบระหว่างผู้ใช้งานและคอมพิวเตอร์ เซนเซอร์ควบคุมการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และเซนเซอร์รับข้อมูลภาพ เสียง อักษร เพื่อใช้ในการแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าในการจดจำและแสดงผลในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การรู้จำเสียงพูด การระบุตัวตนด้วยลายนิ้วมือ เป็นต้น รวมถึงเซนเซอร์ที่มักใช้ทางการแพทย์เพื่อใช้วัดในการวินิจฉัยด้วยรังสี คลื่นอัลตราโซนิค คลื่นเสียง หรือคลื่นอินฟราโซนิค เพื่อใช้ระบุคุณสมบัติทางเคมีหรือทางกายภาพอีกด้วย (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 1 ประเทศ 10 อันดับแรกที่มีจำนวนสิทธิบัตรเกี่ยวกับเซนเซอร์สูงสุด ปี ค.ศ. 2008 – 2017*

ประเทศ	จำนวนสิทธิบัตร (ฉบับ)	สัดส่วนสิทธิบัตรของประเทศ/โลก (ร้อยละ)
1. จีน	460,257	19.28
2. สหรัฐ	154,022	6.45
3. ญี่ปุ่น	99,043	4.15
4. เกาหลีใต้	63,332	2.65
5. เยอรมัน	23,999	1.01
6. ไต้หวัน	14,192	0.59
7. อินเดีย	10,988	0.46
8. ออสเตรเลีย	9,313	0.39
9. แคนาดา	8,507	0.36
10. บราซิล	8,106	0.34
รวม	**851,759**	**35.67**

ที่มา: ฐานข้อมูล Scopus เข้าถึงเมื่อเดือนกันยายน 2560

*หมายเหตุ: ข้อมูลตั้งแต่ ปี ค.ศ. 2008 – กันยายน 2017

ในมุมมองด้านนวัตกรรมนั้น จากการสำรวจการพัฒนานวัตกรรมด้านเซนเซอร์อัจฉริยะของบริษัท Frost & Sullivan ซึ่งเป็นบริษัทชั้นนำของโลกที่ศึกษาวิจัยแนวโน้มทางเทคโนโลยีที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งอุตสาหกรรมและการตลาดของโลก ได้พบมุมมองที่ต่างออกไปจากแง่มุมด้านวิชาการที่นอกเหนือจากปัจจัยด้านจำนวนผลงานตีพิมพ์ในระดับสากลสรุปได้ว่า หน่วยงานที่เป็นผู้นำในการศึกษาวิจัยระบบเซนเซอร์อัจฉริยะที่ได้มุ่งเป้าในการพัฒนานวัตกรรมด้านเซนเซอร์อัจฉริยะเกี่ยวกับระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย อุปกรณ์สวมใส่อัจฉริยะ อิเล็กทรอนิกส์งอได้ และสิ่งทออัจฉริยะ เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาระบบการประเมินภาวะสุขภาพ การติดตามประเมินและเฝ้าระวังเชิงโครงสร้าง การติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม อุปกรณ์สุขภาพเคลื่อนที่ และโทรเวชกรรม (Telemedicine)[16] ได้แก่ สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติอุลซาน (Ulsan National Institute of Science and Technology - UNIST) ประเทศเกาหลีใต้ สถาบันเทคโนโลยีแมสซาชูเซตส์ (Massachusetts Institute of Technology) ประเทศสหรัฐ และมหาวิทยาลัยเฮลซิงกิ (University of Helsinki) ประเทศฟินแลนด์ ที่มุ่งเน้นในการพัฒนาระบบเซนเซอร์ รวมถึงศูนย์วิจัยโครงสร้างทางวิศวกรรม (CSIR-Structural Engineering Research Centre - CSIR-SERC)

[16] เป็นการรักษาทางการแพทย์แบบทางไกล ด้วยการนำเทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคมมาใช้ในการเชื่อมโยงให้บริการทางการแพทย์จากต่างสถานที่ระหว่างผู้ป่วยและแพทย์ผู้ทำการรักษาให้สามารถตรวจวินิจฉัยได้โดยสะดวกและรวดเร็วขึ้น

ประเทศอินเดีย มหาวิทยาลัยวินเซอร์ (University of Windsor) ประเทศแคนาดา ส่วนบัญชาการยุทโธปกรณ์กองทัพอากาศสหรัฐ (Air Force Materiel Command - AFMC) ที่มุ่งเน้นในส่วนของการพัฒนาการนำไปใช้งานเป็นหลัก

ในส่วนการผลิตในเชิงพาณิชย์ของผู้ผลิตและพัฒนาเซนเซอร์อัจฉริยะชั้นนำของโลกนั้น ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มประเทศสหภาพยุโรปและสหรัฐ โดยมีบริษัทในภูมิภาคเอเชียคือ เกาหลีใต้ที่เป็นผู้นำร่วมในการพัฒนาเซนเซอร์อัจฉริยะระดับโลก เช่น

- ABB Ltd. สวิตเซอร์แลนด์: เป็นบริษัทผู้พัฒนาระบบเซนเซอร์อัจฉริยะ ABB Ability™ พลังงานต่ำที่สามารถเฝ้าระวังและแจ้งเตือนทางสุขภาพแบบทันกาลผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่
- Analog Devices Inc. สหรัฐ: เป็นบริษัทผู้พัฒนาเครื่องวัดความเร่งประจุไฟฟ้าอัจฉริยะ เซนเซอร์วัดเชิงมุม และเซนเซอร์วัดความเร่งของการหมุนแบบ 3 แกน นอกจากนี้ยังได้พัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์แม่นยำสูง โดยใช้เซนเซอร์อัจฉริยะ ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ ADUCM350 ใช้ในการวัดกระแสต่าง ๆ เครื่องตรวจวินิจฉัยทางการแพทย์ (Point-of-care Diagnostics) และอุปกรณ์เพื่อตรวจวัดสัญญาณชีพ (Wearable Vital Signs Monitoring) และไมโครคอนโทรลเลอร์ ADUCM360 ใช้ในระบบควบคุมกระบวนการอัตโนมัติในอุตสาหกรรมการผลิต และใช้ในการตรวจวัดสัญญาณชีพผู้ป่วย รวมถึงระบบตรวจจับแม่นยำสูง (Precision Sensing) อีกด้วย
- Eaton Corporation Plc สหรัฐ: เป็นบริษัทผู้พัฒนาระบบเซนเซอร์อัจฉริยะ GridAdvisor™ Series II ที่มีระบบส่งข้อมูลความสำคัญสูงแบบทันกาลเกี่ยวกับการตรวจวัดสายกำลังกระแสไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้า และเครื่องเก็บประจุไฟฟ้า ซึ่งสามารถช่วยในการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าเพื่อลดปัญหาไฟตกและไฟดับได้
- NXP Semiconductors N.V. เนเธอร์แลนด์: เป็นบริษัทผู้พัฒนาเซนเซอร์อัจฉริยะ NTAG® ที่ออกแบบให้สามารถทำหน้าที่หลากหลายได้ในชิปเดียว โดยผนวกเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายระยะสั้น (Near Field Communications - NFC) ที่ช่วยให้โทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟนสามารถเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบในการตรวจจับสัญญาณและรับส่งข้อมูลต่างๆ ได้อย่างอัตโนมัติ รวมถึงสามารถแปลงข้อมูลที่เก็บไว้ในรูปแบบ

ข้อมูลที่แลกเปลี่ยนได้ ที่สามารถใช้สื่อสารข้อมูลกับอุปกรณ์อ่าน reader ICs เพื่อใช้ในการตรวจจับอุณหภูมิ และเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ IoT นอกจากนี้ยังนำส่งข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผ่านระบบคลาวด์อีกด้วย

- STMicroelectronics สวิตเซอร์แลนด์: เป็นบริษัทผู้พัฒนา LIS2DS12 เซนเซอร์วัดความเร่งของการเคลื่อนไหวแบบ 6 แกน โดยการตรวจจับการเคลื่อนไหวที่มีรังสีอินฟราเรดด้วยเซนเซอร์ปรับมุมมองการแสดงผล ซึ่งสามารถใช้ในการแสดงผลข้อมูลต่างๆ ผ่านทางจอภาพของสมาร์ทโฟน อุปกรณ์สวมใส่อัจฉริยะ เครื่องมือตรวจวัดทางการแพทย์ ระบบเพื่อช่วยในการนำทาง PND (Personal Navigation Device) และอุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่อ IoT ได้

- Samsung Electronics Co., Ltd. เกาหลีใต้: เป็นบริษัทผู้พัฒนาชุดเซนเซอร์อัจฉริยะที่สามารถใช้ตรวจจับการเคลื่อนไหวเพียงเล็กน้อยอย่างลมหายใจได้ จากการรวมเซนเซอร์ตรวจจับความร้อนจากรังสีอินฟราเรด เซนเซอร์ตรวจวัดสภาพแสง ตัววิเคราะห์บริหารจัดการอุณหภูมิและความชื้นโดยรวมของอุปกรณ์ รวมถึงเทคโนโลยีเรดาร์ขั้นสูง เพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพโครงสร้างพื้นฐานเกี่ยวกับการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าส่องสว่าง ตามเส้นทางจราจรในการรองรับเมืองอัจฉริยะและสิ่งปลูกสร้างอัจฉริยะ

การศึกษาวิจัยด้านเซนเซอร์จากสถาบันชั้นนำของโลกเหล่านี้ ได้เปิดโอกาสแห่งการเชื่อมโยงสู่อนาคต ตั้งแต่การตรวจวินิจฉัยและการรักษาแบบแม่นยำสูง (Smart Healthcare) การอยู่อาศัยที่สะดวกสบายมากขึ้น (Smart Homes) มียานพาหนะที่ประหยัดพลังงาน (Smart Vehicles) ในเมืองที่ปลอดภัยสูง (Smart City) ไปจนถึงการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีการบริหารจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ (Smart Industrial Services) ก่อให้เกิดการพัฒนาคุณภาพชีวิตแบบองค์รวม (Smart Wellness) ต่อไป

5. สถานภาพการพัฒนาเทคโนโลยีเซนเซอร์ในไทย

ในการพัฒนาเทคโนโลยีเซนเซอร์ของประเทศไทยนั้น จากการรวบรวมข้อมูลผลงานตีพิมพ์ทางวิชาการของไทยย้อนหลัง 10 ปี (ปี ค.ศ. 2008-2017) จากฐานข้อมูล Scopus เมื่อเดือนกันยายน 2560 พบว่าไทยยังมีการตีพิมพ์ผลงานวิจัยเกี่ยวกับเซนเซอร์ไม่มากนัก ซึ่งมีสัดส่วนบทความวิจัยเฉลี่ยร้อยละ 0.41 อยู่ในอันดับที่ 39 ของโลก หรือมีอัตราตีพิมพ์เฉลี่ยเพิ่มขึ้น 9 ฉบับต่อปี แต่ยังคงมีแนวโน้มจำนวนการตีพิมพ์ผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับเซนเซอร์ที่สอดคล้องกับแนวโน้มความสนใจตีพิมพ์ผลงานวิจัยโดยรวมของโลกในหัวข้อเกี่ยวกับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย หน่วยร่วมเซนเซอร์ เซนเซอร์ใยแก้วนำแสง และเซนเซอร์ด้านเคมีอีกด้วย (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 2 จำนวนบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเซนเซอร์ของประเทศไทย ปี ค.ศ. 2008-2017*

ปี	จำนวนบทความวิจัยทั่วโลก (ฉบับ)	จำนวนบทความวิจัยของประเทศไทย (ฉบับ)	สัดส่วนบทความวิจัยของประเทศไทย/โลก (ร้อยละ)
2008	49,059	168	0.34
2009	51,430	167	0.32
2010	53,800	233	0.43
2011	57,277	232	0.41
2012	59,263	247	0.42
2013	63,647	254	0.40
2014	65,199	273	0.42
2015	66,484	286	0.43
2016	67,748	288	0.43
2017*	58,986	258	0.44
รวม	**592,893**	**2,406**	**0.41**

ที่มา: ฐานข้อมูล Scopus เข้าถึงเมื่อเดือนกันยายน พ.ศ. 2560

*หมายเหตุ: ข้อมูลตั้งแต่ ปี ค.ศ. 2008 – กันยายน ค.ศ. 2017

ตารางที่ 3 หน่วยงานของไทย 10 อันดับแรกที่มีบทความวิจัยเกี่ยวกับเซนเซอร์สูงสุด ปี ค.ศ. 2008 – 2017*

หน่วยงาน	จำนวนบทความวิจัย (ฉบับ)	สัดส่วนบทความวิจัยของหน่วยงาน/ประเทศ (ร้อยละ)	การเปลี่ยนแปลงอันดับ
1. ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ	389	16.17	อันดับขึ้นลงประมาณ 1 อันดับ
2. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	374	15.54	อันดับขึ้นลงประมาณ 1 อันดับ
3. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	319	13.26	อันดับคงที่
4. มหาวิทยาลัยมหิดล	295	12.26	อันดับคงที่
5. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	187	7.77	อันดับคงที่
6. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	162	6.73	อันดับคงที่
7. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	156	6.48	อันดับเพิ่มขึ้นใน 5 ปีที่ผ่านมา
8. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	153	6.36	อันดับขึ้นลงประมาณ 1 อันดับ
9. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	119	4.95	อันดับขึ้นลงประมาณ 1 อันดับ
10. มหาวิทยาลัยขอนแก่น	106	4.41	อันดับลดลงใน 5 ปีที่ผ่านมา
รวม	**2,260**	**93.93**	

ที่มา: ฐานข้อมูล Scopus เข้าถึงเมื่อเดือนกันยายน 2560

*หมายเหตุ: ข้อมูลตั้งแต่ ปี ค.ศ. 2008 – กันยายน 2017

จากตารางที่ 3 ผลงานตีพิมพ์ส่วนใหญ่ร้อยละ 65 มาจากหน่วยงานที่มีผลงานตีพิมพ์สูงสุด 5 อันดับแรก ได้แก่ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยมหิดล และมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยหากนับรวมหน่วยงานที่มีผลงานตีพิมพ์สูงสุด 10 อันดับแรกแล้ว จะเป็นผลงานรวมมากถึงร้อยละ 93.93 ของผลงานตีพิมพ์เกี่ยวกับเซนเซอร์ทั้งหมดของประเทศไทย โดยมุ่งเน้นศึกษาในหัวข้อเกี่ยวกับการนำหน่วยร่วมเซนเซอร์มาใช้ในการเชื่อมต่อเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เพื่อให้สามารถใช้ในการตรวจจับข้อมูลเชิงเคมี เช่น การ

เปลี่ยนแปลงของสี และการก่อเกิดก๊าซต่างๆ เป็นต้น โดยส่วนใหญ่เป็นความร่วมมือในการวิจัยและพัฒนากับสหรัฐและญี่ปุ่น นอกจากนี้ยังมีความร่วมมือกับมาเลเซียที่ไทยสร้างความร่วมมือวิจัยและพัฒนาร่วมกันภายในกลุ่มประเทศประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนสูงสุด และในช่วง 5 ปีย้อนหลังหน่วยงานภายในประเทศยังมีแนวโน้มศึกษาวิจัยร่วมกับหน่วยงานของจีนเพิ่มขึ้นอีกด้วย

นอกเหนือจากผลงานวิชาการ ประเทศไทยยังมีจำนวนการจดทะเบียนสิทธิบัตรเกี่ยวกับเซนเซอร์ไม่มากนัก เมื่อพิจารณาในระดับภูมิภาคระหว่างประเทศในกลุ่มประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนที่มีข้อมูลการขึ้นทะเบียนสิทธิบัตรสากลแล้ว ประเทศไทยมีจำนวนสิทธิบัตรใน 10 ปีที่ผ่านมา เพียงร้อยละ 0.01 ของโลก ใกล้เคียงกับอินโดนีเซียและมาเลเซีย แต่ไทยมีจำนวนสิทธิบัตรน้อยกว่า (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 จำนวนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเซนเซอร์ในประเทศภูมิภาคเอเชีย ปี ค.ศ. 2008-2017*

ประเทศ	จำนวนสิทธิบัตร (ฉบับ)	สัดส่วนจำนวนสิทธิบัตรของประเทศ/โลก (ร้อยละ)
1. จีน	460,257	19.28
2. ญี่ปุ่น	99,043	4.15
3. เกาหลีใต้	63,332	2.65
4. ไต้หวัน	14,192	0.59
5. อินเดีย	10,988	0.46
6. ฮ่องกง	2,476	0.10
7. สิงคโปร์	2,192	0.09
8. ฟิลิปปินส์	654	0.03
9. อินโดนีเซีย	357	0.01
10. มาเลเซีย	298	0.01
11. ไทย	232	0.01
รวมจำนวนสิทธิบัตรโลก	**2,387,582**	**100.00**

ที่มา: ฐานข้อมูล Scopus เข้าถึงเมื่อเดือนกันยายน พ.ศ. 2560

*หมายเหตุ: ข้อมูลตั้งแต่ ปี ค.ศ. 2008 – กันยายน ค.ศ. 2017

อย่างไรก็ตาม การจดสิทธิบัตรเกี่ยวกับเซนเซอร์ของไทยนั้น ส่วนใหญ่เป็นการขึ้นทะเบียนของผู้ประกอบการร่วมทุนสัญชาติญี่ปุ่นในกลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์ เพื่อใช้ในการควบคุมการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ รวมถึงใช้ในการจัดตำแหน่งหรือการติดตั้งอุปกรณ์ปรับแต่งแรงดันเฉพาะ/แรงดันคงที่ ระบบบีบอัดที่ไม่มีวงจรย้อนกลับ ระบบควบคุมไฟฟ้า ระบบการทำความเย็น ระบบระบายความร้อน และการจัดการเชื้อเพลิงยานยนต์ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 หน่วยงาน 5 อันดับแรกที่มีจำนวนสิทธิบัตรเกี่ยวกับเซนเซอร์สูงสุด ปี ค.ศ. 2008 – 2017*

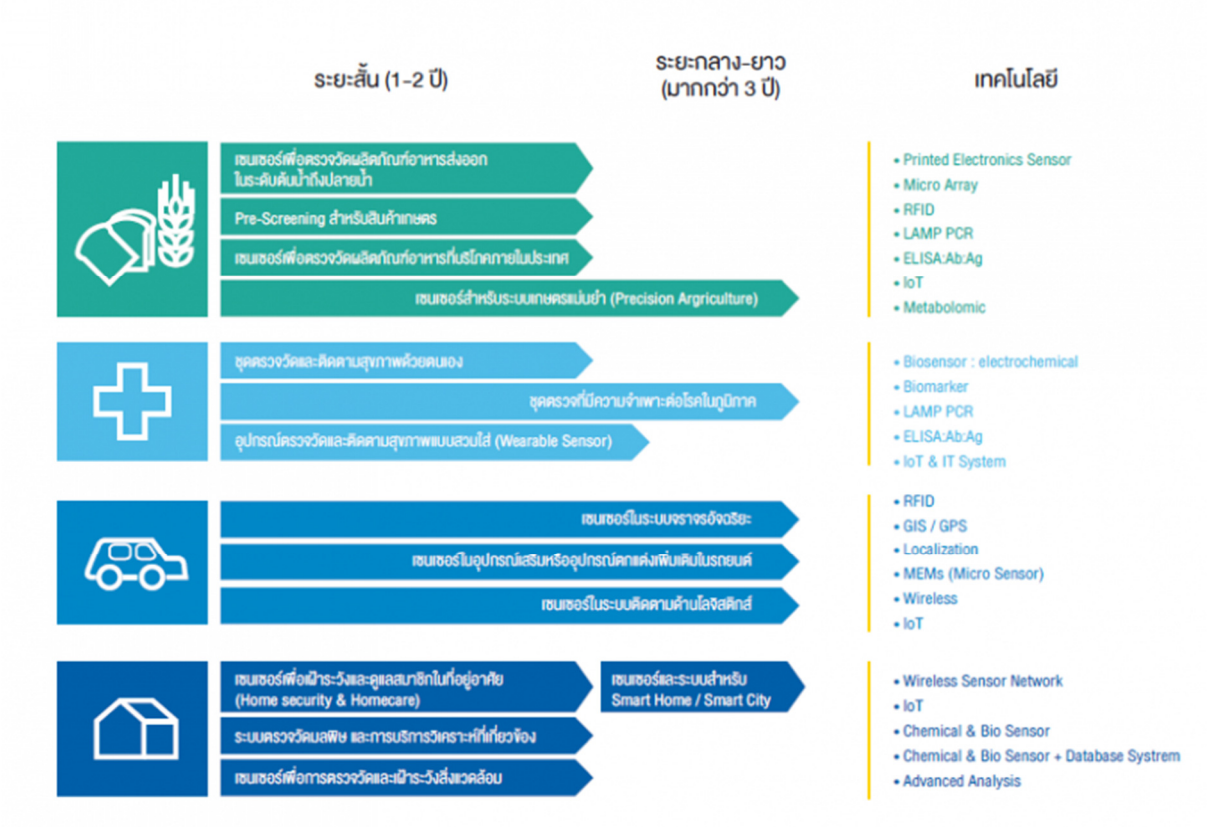
บริษัท	จำนวนสิทธิบัตร (ฉบับ)	สัดส่วนสิทธิบัตรของบริษัท/ประเทศ (ร้อยละ)
1. HONDA MOTOR CO., LTD.	17	7.33
2. YAMAHA HATSUDOKI KABUSHIKI KAISHA	4	1.72
3. MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION	4	1.72
4. KABUSHIKI KAISHA SAGINOMIYA SEISAKUSHO	2	0.86
5. MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES LTD.	2	0.86
รวม	**29**	**12.50**

ในส่วนของแผนการสนับสนุนส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีเซนเซอร์ ภาครัฐได้มีการประกาศแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาเทคโนโลยีเซนเซอร์ของไทย ในปี 2558 (ปี ค.ศ. 2015) เพื่อส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาเซนเซอร์ไทยในด้านอาหารและการเกษตร การแพทย์และสุขภาพ ยานยนต์และระบบโลจิสติกส์ และสิ่งแวดล้อมและที่อยู่อาศัย โดยมีเป้าหมายในการแก้ไขปัญหาเฉพาะพื้นที่ ทั้งในส่วนของการทำเกษตรและอาหาร ปัญหาสิ่งแวดล้อม การตรวจรักษาโรค รวมถึงการดำเนินชีวิตให้สอดรับกับการพัฒนาของชาติและให้ก้าวเท่าทันการเปลี่ยนแปลงของโลกในอนาคต โดยได้มุ่งเน้นการพัฒนาเซนเซอร์ทางชีวภาพเพื่อใช้ในการตรวจวิเคราะห์หรือตรวจวินิจฉัย และพัฒนาเซนเซอร์ทางกายภาพและทางเคมีที่มีความต้องการเฉพาะด้านสำหรับอุตสาหกรรมจำเป็น เพื่อใช้ในเทคโนโลยีต่างๆ อาทิเช่น

- IoT หรือ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เป็นระบบที่ใช้ในการเชื่อมโยงการสื่อสารข้อมูล การตรวจสอบแบบทันกาล และการเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์ต่างๆ เป็นโครงข่าย รวมถึงการแลกเปลี่ยนข้อมูลต่างๆ ได้

- RFID (Radio Frequency Identification) เป็นการระบุข้อมูลเพื่อตรวจติดตามและบันทึกข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุได้โดยที่ไม่ต้องมีการสัมผัส
- LAMP PCR (Loop-mediated Isothermal Amplification by Polymerase Chain Reaction) เป็นเทคนิคการเพิ่มขยายยีนที่สามารถตรวจสอบยีนที่มีความจำเพาะหรือยีนเป้าหมายได้ มักถูกนำมาใช้ในการตรวจหาสารพันธุกรรมของเชื้อต่างๆ ในเลือด
- ELISA Ab/Ag (Enzyme-linked Immunosorbent Assay by Antibody or Antigen) เป็นวิธีการใช้แอนติเจนหรือแอนติบอดีในการติดฉลากด้วยเอนไซม์ เพื่อใช้ในการกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกัน
- Wireless Sensor Network เป็นเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายในการตรวจวัดคุณสมบัติเป้าหมายต่างๆ โดยการใช้เซนเซอร์ขนาดเล็กจำนวนมากเชื่อมโยงเป็นโครงข่ายในการประมวลผลข้อมูลที่สามารถตอบสนองกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้โดยอัตโนมัติ

รูปที่ 3 แผนที่การพัฒนาผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยีเซนเซอร์และเครือข่ายเซนเซอร์สำหรับประเทศไทย



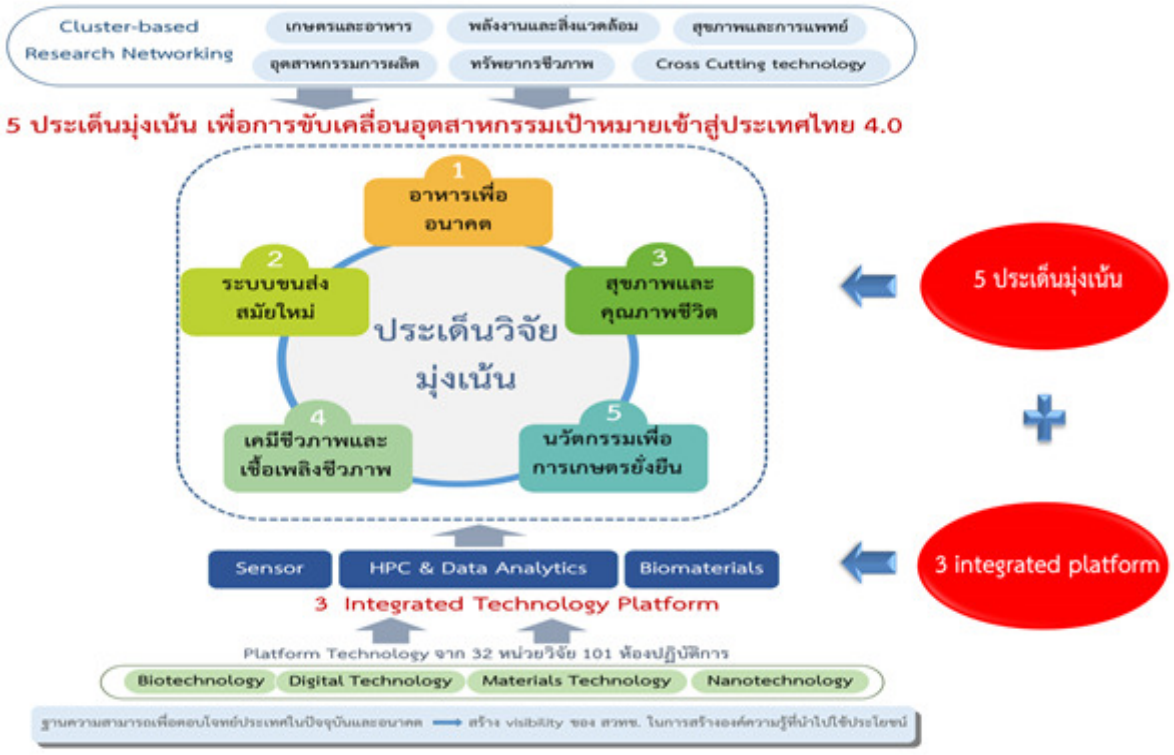
ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ, 2558.

ตามแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาเทคโนโลยีเซนเซอร์ดังกล่าวนี้ มีแผนการส่งเสริมการศึกษาในระยะ 1-2 ปีแรก ได้แก่ ชุดตรวจที่มีความจำเพาะต่อโรคในภูมิภาค ชุดตรวจทางพันธุกรรมเฉพาะ เช่น โรคมะเร็งลำไส้

มะเร็งเต้านม การตรวจยีนที่พบปัญหามากในประเทศ ตรวจอาการแพ้ เป็นต้น ชุดตรวจและติดตามสุขภาพโดยเฉพาะโรคอุบัติใหม่ ชุดตรวจติดตามสุขภาพสำหรับดูแลผู้สูงวัยด้วยตนเอง และระบบและอุปกรณ์เซนเซอร์สำหรับระบบเกษตรแม่นยำ ที่ถือว่ากำลังเป็นแผนระยะสั้นของไทยในปัจจุบัน

ในขณะที่ประเทศไทยมียุทธศาสตร์ชาติระยะ ๒๐ ปี เพื่อเข้าสู่ประเทศไทย 4.0 นั้น สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ได้ขานรับการปฏิรูปประเทศด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อตอบโจทย์ประเทศในปัจจุบันและอนาคต ให้ก้าวสู่การสร้างวิสัยทัศน์ใหม่ในการสร้างองค์ความรู้ที่นำไปใช้ประโยชน์แก่ภาคอุตสาหกรรม ด้วยการจัดทำแผนกลยุทธ์ สวทช. ฉบับที่ 6.1 (2561-2565) โดยการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมไทยตาม 5 ประเด็นมุ่งเน้น ได้แก่ อาหารเพื่ออนาคต ระบบขนส่งสมัยใหม่ สุขภาพและคุณภาพชีวิต เคมีชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพ และนวัตกรรมเพื่อการเกษตรยั่งยืน จากเทคโนโลยีฐานภายใต้การวิจัยและพัฒนาของหน่วยวิจัยของ สวทช. ด้านเทคโนโลยีชีวภาพ เทคโนโลยีดิจิทัล เทคโนโลยีวัสดุ และนาโนเทคโนโลยี และได้ริเริ่มการพัฒนาเทคโนโลยีฐานแบบบูรณาการ ได้แก่ เซนเซอร์ การพัฒนาคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูงและการวิเคราะห์ข้อมูล (High-Performance Computing & Data Analytics - HPC & DA) และวัสดุชีวภาพ ดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 ประเด็นมุ่งเน้น ตามแผนกลยุทธ์ สวทช. ฉบับที่ 6.1 (2561-2565)



ที่มา: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2560.

ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ภายใต้ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ มีพันธกิจหลักในการเป็นศูนย์การวิจัยและพัฒนาด้านไมโครอิเล็กทรอนิกส์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง โดยเน้นตอบสนองความต้องการในการผลิตวงจรรวมต้นแบบที่มีเป้าหมายเพื่อติดตั้งสายการผลิตและดำเนินการผลิตวงจรรวมเพื่อประยุกต์ใช้งานเฉพาะด้าน ได้มีผลงานวิจัยและพัฒนาด้านเทคโนโลยีเซนเซอร์อย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลงานวิจัยและพัฒนาด้านเทคโนโลยีเซนเซอร์ของศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

ปี	เซนเซอร์	รายละเอียด
2012	TMPSI เซนเซอร์ตรวจวัดความดัน (Pressure Sensor)	เป็น Piezo-resistive Micro-machine Pressure Sensor เพื่อตรวจวัดความดันของก๊าซหรือของเหลวแบบแม่นยำสูง สามารถใช้ตรวจวัดแรงดันโลหิตในเส้นเลือด แรงดันน้ำ แรงดันลมที่มีความละเอียดสูงสำหรับงานอุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศและการเกษตร อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ได้อีกด้วย
2013	ISFET-New	เป็นอุปกรณ์ ISFET (Ion-Sensitive Field Effect Transistor) ที่เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีแผ่นเซนเซอร์ตรวจจับ (Sensing Membrane) สามารถตรวจวัดปริมาณไฮโดรเจนไอออน หรือค่า pH ในปริมาณสารตัวอย่างจำนวนเล็กน้อยได้ นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์เป็นเซนเซอร์ทางชีวภาพในการตรวจวัดเชื้อต่างๆ เช่น ตรวจวัดกลุ่มเลือด ไมโครอัลบูมิน อีโคไล กลูโคส เป็นต้น และยังเป็นเซนเซอร์ทางเคมีในการใช้ตรวจวัดสารเคมีชนิดต่างๆ เช่น ไนเตรท ฟอสเฟส โพแทสเซียม (N-P-K sensor) เพื่อประยุกต์ใช้ในการเกษตรได้อีกด้วย
2013	Solar Tracker Sensor	เป็นเซนเซอร์วัดแสง ใช้ในการปรับแผงโซลาเซลล์หรือระบบทำความร้อนจากแสงอาทิตย์ให้มีมุมตั้งฉากกับดวงอาทิตย์เสมอ เพื่อให้สามารถรับพลังงานแสงแดดสูงสุดอยู่เสมอ
2015	หัววัดความชื้นในอากาศ (Humidity Sensor)	เป็นหัววัดความชื้นในอากาศที่ทนทานและแม่นยำสูง ซึ่งผลิตด้วยเทคโนโลยีมาตรฐาน CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)[17] ได้เพียงแห่งเดียวในประเทศ เพื่อ

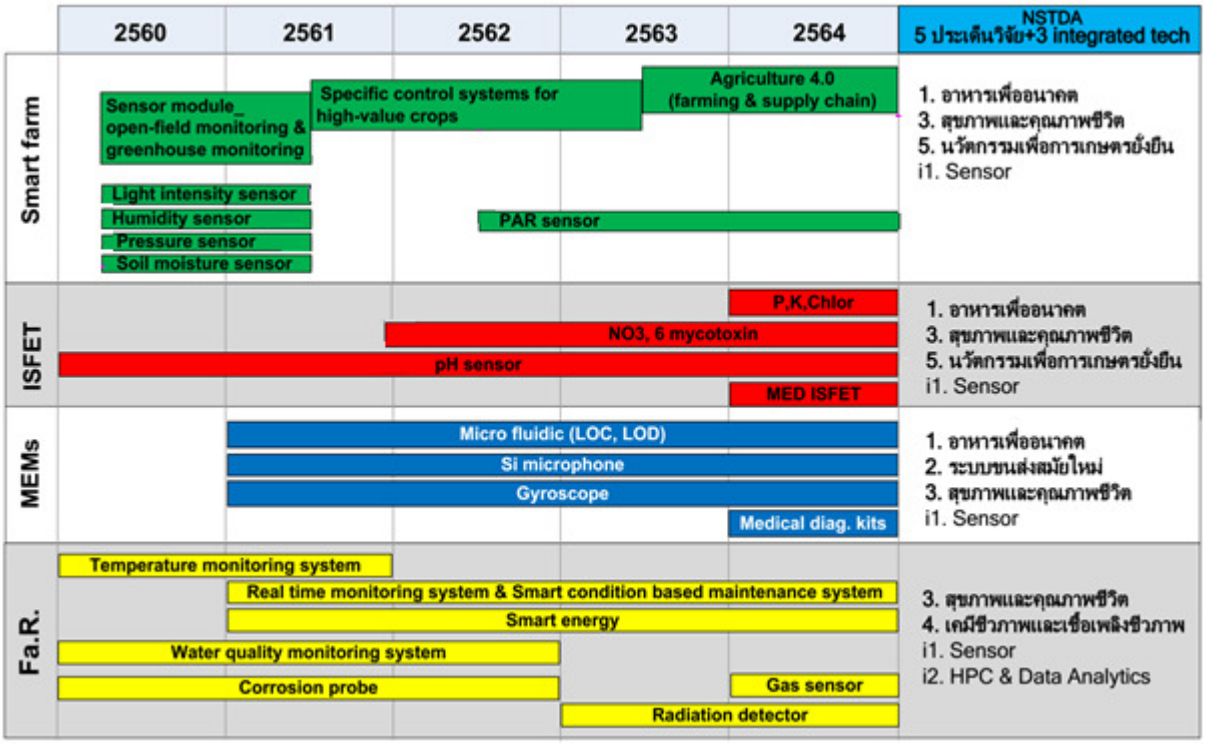
[17] ชิปเซนเซอร์ไวแสงสำหรับการจับภาพในระบบดิจิทัล สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วและใช้พลังงานต่ำ

ปี	เซนเซอร์	รายละเอียด
		ใช้วัดความสัมพัทธ์อากาศ วัดอุณหภูมิ จุดกลั่นตัว อุณหภูมิจุดน้ำค้าง เป็นต้น
2016	ระบบเซนเซอร์เพื่อการเกษตร (ระบบเกษตรยุคใหม่)	เป็นการนำเซนเซอร์ชนิดต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นก่อนหน้ามาประยุกต์ใช้เป็นเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) เพื่อใช้ในการเกษตร เช่น การบริหารจัดการแบบเกษตรอัจฉริยะ (Smart Farm) ด้วยระบบท่อน้ำหยดใต้ดินที่มีการเฝ้าระวังแบบทันกาล (Real-time Irrigation Monitoring System) ด้วยการใช้เซนเซอร์ตรวจวัดความดัน (Pressure Sensor) ซึ่งควบคุมระบบจ่ายน้ำด้วยเซนเซอร์วัดความชื้น (Humidity Sensor) และใส่ปุ๋ยผ่านเซนเซอร์ตรวจวัดสารไนเตรท ฟอสเฟส โพแทสเซียม (N-P-K Sensor) ซึ่งได้รับพลังงานไฟฟ้าจากระบบโซลาเซลล์ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบสื่อสารเซนเซอร์ ระบบปั๊มน้ำ และระบบกลไกอื่นๆ อย่างมีประสิทธิภาพด้วยเซนเซอร์วัดแสง (Solar Tracker Sensor) เป็นต้น

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์, 2559.

ในการพัฒนาระบบเซนเซอร์ในอนาคตนั้น ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ได้มีแผนที่นำทางเทคโนโลยีในการวิจัยและพัฒนา เพื่อส่งเสริมให้สามารถนำเทคโนโลยีเซนเซอร์ไปประยุกต์ใช้กับ 5 ประเด็นมุ่งเน้นของ สวทช. ในอีกปี 5 ปีข้างหน้า ด้วยการมีพันธกิจทำงานร่วมกันของห้องปฏิบัติการวิจัย หน่วยงานภายใต้ สวทช. ภาคเอกชน และหน่วยงานต่างประเทศ

รูปที่ 5 แผนที่นำทางเทคโนโลยีของศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (ปี 2560 - 2564)



ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์, 2560.

ในส่วนของการพัฒนาเซนเซอร์ของศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์นั้น เป็นการสร้างองค์ความรู้ที่เน้นการพัฒนาสารหรือวัสดุตั้งต้น และการอ่านผลและจัดการข้อมูลให้มีเซนเซอร์หลากหลายชนิดที่มีความแม่นยำสูง โดยระยะแรกจะเป็นการนำเทคโนโลยีเซนเซอร์ต่างๆ ที่ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ได้พัฒนามาส่งเสริมให้เกิดเกษตรอัจฉริยะในการบริหารจัดการเกษตรในพื้นที่กลางแจ้งและการเพาะปลูกในเรือนกระจก ด้วยเทคโนโลยี Light Intensity Sensor, Humidity Sensor และ Soil Moisture Sensor

ในระยะกลางของแผน จะเน้นการวิจัยเทคโนโลยีเซนเซอร์ เพื่อการเกษตรมูลค่าสูงในการเพิ่มนวัตกรรมด้านการเกษตรและอาหารให้เกิดความยั่งยืนในอนาคต ด้วยเทคโนโลยี pH mysensor และ PAR Sensor นอกจากนี้ ยังมีแผนการพัฒนาเซนเซอร์ในเชิงเคมีและชีวภาพร่วมกับหน่วยงานอื่นๆ มากขึ้น เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ ระบบขนส่ง เชื้อเพลิงชีวภาพ รวมถึงนำไทยเข้าสู่ยุคเกษตรกรรม 4.0 (Agriculture 4.0) ด้วยเทคโนโลยีเกี่ยวกับระบบเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค (Micro Electro Mechanical Systems - MEMs) และอุปกรณ์ ISFET

ในช่วงท้ายของแผน จะมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูงและการวิเคราะห์ข้อมูล (High-Performance Computing & Data Analytics - HPC & DA) เพื่อสามารถนำไปใช้เพิ่มประสิทธิภาพได้อย่างรอบด้านทั้งในส่วนของการเกษตร อุตสาหกรรมอาหาร การแพทย์ สิ่งแวดล้อม รวมถึงด้านความมั่นคงของประเทศต่อไปในอนาคต

6. บทสรุปการพัฒนาเทคโนโลยีเซนเซอร์

ในโลกแห่งอนาคตที่เต็มไปด้วยระบบอัจฉริยะ การพัฒนาเทคโนโลยีเซนเซอร์ทั่วโลกมุ่งไปสู่ระบบสั่งการผ่านการเคลื่อนไหว การสัมผัส หรือแม้แต่การพูด ที่ทำให้อุปกรณ์รวมไปถึงเครื่องจักรต่างๆ สามารถตอบสนองอย่างถูกต้องแม่นยำได้อย่างหลากหลายในเครื่องเดียว ในขณะเดียวกันยังมีขนาดที่เล็กลงและมีน้ำหนักเบาขึ้น เพื่อใช้ในงานเกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ การก่อสร้าง อุตสาหกรรมการผลิต ผลิตภัณฑ์สุขภาพ รวมถึงการติดตามประเมินและเฝ้าระวังโครงสร้างอีกด้วย

จากความต้องการเพิ่มความชาญฉลาดแก่อุปกรณ์และเครื่องมือด้วยการประกอบเซนเซอร์หลากหลายชนิดแล้ว จึงก่อเกิดประเด็นในการสร้างความคุ้มทุนเชิงเศรษฐกิจในการผลิต รวมถึงการคำนึงถึงการอนุรักษ์เชิงพลังงานที่เป็นอีกหนึ่งเงาปัญหาสำคัญของการพัฒนาโลกในอนาคต ซึ่งการบูรณาการมิติทางวิทยาศาสตร์จนกลายเป็นนาโนเทคโนโลยีถือได้ว่า เป็นการจุดประกายนวัตกรรมด้านเซนเซอร์ที่สามารถช่วยตอบโจทย์ได้อย่างลงตัว ด้วยการเพิ่มความสามารถในการผลิตเซนเซอร์ขนาดจิ๋วคุณภาพสูงได้บนต้นทุนต่ำ เช่น เซนเซอร์ด้านเคมี เซนเซอร์ชีวภาพ ก๊าซเซนเซอร์ หน่วยร่วมเซนเซอร์ และเซนเซอร์ใยแก้วนำแสง รวมเข้าเป็นระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เพื่อรองรับการทำงานแบบอัตโนมัติที่จะพลิกโฉมหน้าหลากหลายอุตสาหกรรมในอนาคตอันใกล้ ที่เริ่มต้นจากการผลิตด้วยระบบอัตโนมัติทั้งระบบในโรงงานอุตสาหกรรม การบริโภคในครัวเรือนผ่านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ (Consumer Electronics) ที่ผู้บริโภคจะได้รับการตอบสนองแบบมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกับอุปกรณ์พกพา การสร้างสิ่งก่อสร้างด้วยระบบอัตโนมัติ รวมถึงการติดตามประเมิน คาดการณ์ความเสื่อมสภาพหรือความเสียหายเชิงโครงสร้าง และการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ ยังใช้ในการเฝ้าระวัง ติดตาม ประเมินความเสี่ยงในการเจ็บป่วยที่จะเกิดขึ้นภายในร่างกายอีกด้วย

ความก้าวหน้าเชิงวิชาการถือเป็นหนึ่งในกระจกสะท้อนภาพของการพัฒนาเซนเซอร์ที่ได้กระเพื่อมไปทั่วโลก ซึ่งสหรัฐยังคงเป็นผู้นำด้านการพัฒนาเซนเซอร์อัจฉริยะที่แม้ว่าจะถูกจีนชิงอันดับการตีพิมพ์ผลงานวิจัยสูงสุดไปเมื่อ 10 ปีที่ผ่านมา ซึ่งปัจจุบันทั้งภาครัฐและเอกชนของสหรัฐฯ ได้ให้การสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับเซนเซอร์อัจฉริยะแก่ภาคการศึกษา หน่วยงานวิจัยภาครัฐ บริษัทเอกชน รวมถึง Startup จากทั่วโลกในการพัฒนาเซนเซอร์ร่วมกับสหรัฐฯ อีกด้วย หากแต่มองในมุมการสร้างสรรค์เทคโนโลยีใหม่ ๆ จากการพัฒนานวัตกรรมแล้ว คู่แข่งที่สหรัฐฯ และกลุ่มประเทศผู้นำด้านเทคโนโลยีเซนเซอร์เดิม เช่น เยอรมัน สวิสเซอร์แลนด์ และญี่ปุ่น ควรจับตามองกลายเป็นเกาหลีใต้ที่มีทั้งผลงานวิจัยตีพิมพ์และเซนเซอร์ในเชิงพาณิชย์ขึ้นมาเป็นระดับแนวหน้าของโลกได้ แต่จากจำนวนผลงานตีพิมพ์เชิงวิชาการที่สูงเป็นอันดับ 1 ตลอดในช่วงหนึ่งทศวรรษที่ผ่านมาของจีนที่ได้มุ่งเน้นในการพัฒนาระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เพื่อนำมาปรับใช้ในส่วนของหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติพลังงานต่ำ อาจกล่าวได้ว่าจีนกำลังรอโอกาสก้าวขึ้นสู่การเป็นผู้นำของโลกด้านเซนเซอร์อัจฉริยะในอนาคต

ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สิงคโปร์เป็นอีกประเทศผู้นำระดับโลกในการศึกษาวิจัยด้านเซนเซอร์ ซึ่งรัฐบาลสิงคโปร์ได้ให้ความสำคัญในการสนับสนุนด้านงบประมาณ เพื่อส่งเสริมให้เกิดการศึกษาวิจัยร่วมกันของภาคการศึกษา ภาครัฐ และภาคเอกชน ด้านระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนทางสุขภาพแบบทันกาล และพัฒนาอาคารอนุรักษ์พลังงาน ในการเสริมสร้างการออกแบบเมืองอัจฉริยะ สิ่งปลูกสร้างอัจฉริยะ รวมถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพโครงสร้างพื้นฐาน เพื่อส่งเสริมให้ประเทศเป็นเมืองปลอดภัยสูง มีที่อยู่อาศัยสะดวกสบาย มียานพาหนะที่ประหยัดพลังงาน ไปจนถึงการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดการพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชากรที่ดีแบบองค์รวมในอนาคต

ในการพัฒนาเทคโนโลยีระดับประเทศ มีการผลักดันให้เกิดการขับเคลื่อนเทคโนโลยีเซนเซอร์ของไทยผ่านแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาเทคโนโลยีเซนเซอร์ของไทยในปี 2558 เพื่อให้ก้าวเท่าทันการเปลี่ยนแปลงของโลกและสอดรับกับเป้าหมายในการแก้ไขปัญหาของชาติด้านอาหารและการเกษตร การแพทย์และสุขภาพ ยานยนต์และระบบโลจิสติกส์ และสิ่งแวดล้อมและที่อยู่อาศัย โดยได้มุ่งเน้นการพัฒนาเซนเซอร์ทางชีวภาพเพื่อใช้ในการตรวจวิเคราะห์หรือตรวจวินิจฉัย และพัฒนาเซนเซอร์ทางกายภาพและทางเคมีที่มีความต้องการเฉพาะด้านสำหรับอุตสาหกรรม ซึ่งในภาพรวมการตีพิมพ์ผลงานวิจัย 10 ปีย้อนหลังของไทยมีความสอดคล้องกับแนวโน้มความสนใจในการวิจัยและพัฒนาโดยรวมของโลกและแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาเทคโนโลยีเซนเซอร์ของประเทศในหัวข้อเกี่ยวกับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย หน่วยร่วมเซนเซอร์ เซนเซอร์ใยแก้วนำแสง และเซนเซอร์ด้านเคมี โดยยังคงมีการศึกษาวิจัยด้านเซนเซอร์ทางชีวภาพไม่มากนัก

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ในฐานะหน่วยงานที่ขับเคลื่อนประเทศด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้จัดทำแผนกลยุทธ์ สวทช. ฉบับที่ 6.1 (2561-2565) โดยการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมไทยตาม 5 ประเด็นมุ่งเน้น ได้แก่ อาหารเพื่ออนาคต ระบบขนส่งสมัยใหม่ สุขภาพและคุณภาพชีวิต เคมีชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพ และนวัตกรรมเพื่อการเกษตรยั่งยืน ด้วยการพัฒนาเซนเซอร์เป็นเทคโนโลยีฐานบูรณาการร่วมกับการพัฒนาคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูงและการวิเคราะห์ข้อมูล โดยศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ภายใต้ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ที่มีพันธกิจหลักในการเป็นศูนย์การวิจัยและพัฒนาด้านไมโครอิเล็กทรอนิกส์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องของ สวทช. และมีผลการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีเซนเซอร์มาอย่างต่อเนื่อง จึงได้มีแผนที่นำทางเทคโนโลยีของศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (ปี 2560 - 2564) เพื่อสามารถนำเทคโนโลยีเซนเซอร์ในการเพิ่มประสิทธิภาพของการเกษตร อุตสาหกรรมอาหาร การแพทย์ สิ่งแวดล้อม รวมถึงส่งเสริมความมั่นคงของประเทศ ที่จะครอบคลุมการพัฒนาเซนเซอร์เชิงกายภาพ รวมถึงการร่วมวิจัยกับหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งจากภายในและต่างประเทศด้านเซนเซอร์เชิงเคมีและชีวภาพอีกด้วย จึงถือเป็นการพัฒนาสำคัญที่สามารถเป็นรากฐานรองรับการพัฒนาเพื่อคุณภาพชีวิตของประชากรทุกช่วงวัยได้ในอนาคต

ในทศวรรษหน้า ภาพอนาคตของไทยคงไม่แตกต่างกับประเทศอื่นๆ ที่มุ่งหวังในการยกระดับให้คนในชาติมีคุณภาพชีวิตที่สูงขึ้น (Smart Wellness) ดังนั้น วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของไทยจึงยิ่งทวีความเข้มข้น เพื่อสามารถนำประเทศก้าวข้ามเข้าสู่แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของโลกได้อย่างสมบูรณ์ ทั้งบ้านอัจฉริยะ ยานยนต์อัจฉริยะ เมืองอัจฉริยะ ระบบการรักษาสุขภาพอัจฉริยะ และกลายสามารถเป็นประเทศอุตสาหกรรมบริการอัจฉริยะได้ โดยภาครัฐควรขยายการส่งเสริมการพัฒนาเซนเซอร์อัจฉริยะแก่ Startup ที่มีศักยภาพในการพัฒนาสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์ป้อนให้กับตามอุตสาหกรรมเป้าหมายในประเทศ ในเบื้องต้น และอาจสามารถขยายกำลังการผลิตไปสู่ตลาดต่างประเทศได้ ซึ่งด้วยแรงขับเคลื่อนจากการตรวจจับข้อมูลอันถูกต้องแม่นยำของเทคโนโลยีเซนเซอร์ ประกอบการวิเคราะห์ประมวลผลด้วยระบบ AI, Big Data และ IoT สามารถก่อให้เกิดโครงสร้างทางสังคมรูปแบบใหม่ที่ผู้บริโภคไทยเป็นผู้ทรงอิทธิพลต่อการพัฒนาเทคโนโลยีของประเทศ (End User Driven Innovation) ได้ในอนาคต

ทั้งนี้ เพื่อให้การพัฒนาเซนเซอร์ของประเทศไทยสามารถดำเนินงานได้บรรลุตามเป้าหมายนั้น จึงควรมีการพัฒนาหลักสูตรสหสาขาวิชา และหลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับเซนเซอร์ หรือรูปแบบการเรียนการสอนอื่นๆ เพื่อให้เกิดองค์ความรู้แบบสหสาขาวิชา จัดทำฐานข้อมูลและระบบสืบค้นข้อมูลที่ทันสมัย รวมถึงการสร้างเครือข่ายสนับสนุนให้เกิดกิจกรรมในลักษณะศูนย์ประสานงานการทดสอบด้านผลิตภัณฑ์เซนเซอร์ที่เชื่อมโยงกับศูนย์เชี่ยวชาญการทดสอบที่มีอยู่แล้วในประเทศให้สามารถขยายผลไปสู่การพัฒนาความเข้มแข็งอย่างเป็นรูปธรรมต่อไปในอนาคต

บรรณานุกรม

ABB Group. (2017, October) [Online]. Available: www.abb.com

Analog Devices Inc. (2017, October) [Online]. Available: www.analog.com/en/index.html

Clarivate Analytics. (2017, September) [Online]. Available: https://clarivate.com/products/derwent-innovation

Don Tapscott and Alex Tapscott, Blockchain revolution: How the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world, Penguin Random House LLC, 2016.

Eaton Corporation Plc (2017, October) [Online]. Available: www.eaton.com

Gartner, Top 10 strategic technology trends for 2017, 2016.

Gartner, Top 10 strategic technology trends for 2018, 2017.

IEEE, IEEE P1451.6 Terms and Definitions, 2005.

John W. Sutherland, An Introduction to Sensors and Transducers, Department of Mechanical Engineering at Michigan Technological University, 2012.

Kamonmal Sawatwong, Near Field Communication (NFC) and QR Code Technology for Libraries Using Smart Poster, PULINET Journal Vol. 1, No. 1, January-April 2014 : pp. 27-31.

NXP Semiconductors N.V. (2017, October) [Online]. Available: www.nxp.com

Samsung Electronics Co., Ltd. (2017, October) [Online]. Available: www.samsung.com

Scopus. (2017, September) [Online]. Available: www.scopus.com

STMicroelectronics. (2017, October) [Online]. Available: www.st.com/content/st_com/en.html

Suwin Wongwajana, in vitro Antigen and Antibody Interaction, Faculty of medicine Khon Kaen University, 2013.

TechVision Group, Innovations in Smart Sensors, Frost & Sullivan, 2017.

Thai Microelectronics Center. (2017, September) [Online]. Available: http://tmec.nectec.or.th

Tractica LLC. (2017, September) [Online]. Available: www.tractica.com

เผด็จ เผ่าละออ, Sensors and Transducers I, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2558.

ภาควิชาศาสตร์คอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์, Wireless Sensor Networks, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2547.

ภาณิศา หาญพัฒนนันท์, การประยุกต์ใช้เซนเซอร์สำหรับอุปกรณ์ในการตรวจวิเคราะห์ทดสอบ, สำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ, 2015.

มหศักดิ์ เกตุฉ่ำ, Internet of Things (IoT), คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2555.

สุชา สุพิทยภรณ์พงศ์, เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network), สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย, 2537.

สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้, AI - ปัญญาประดิษฐ์, มหาวิทยาลัยมหิดล, 2557.

สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีขั้นสูง, แผนยุทธศาสตร์การพัฒนาเทคโนโลยีเซนเซอร์, สำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ, 2558.

ฝ่ายกลยุทธ์องค์กร, แผนกลยุทธ์ สวทช. ฉบับทบทวน 6.1 (2561-2565), สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2560.

อมรรัตน์ ร่มพฤกษ์, เทคนิค Loop-mediated Isothermal Amplification (LAMP), คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, วารสารโลหิตวิทยาและเวชศาสตร์บริการโลหิต ปีที่ 21 ฉบับที่ 3 กรกฎาคม-กันยายน 2554.

อัญชลี สำเภา, Biosensor: fabrication, operation and its applications, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2554.

อลงกรณ์ พิมพ์พิณ และวีระยุทธ ศรีธุระวานิช, ระบบเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค (Micro Electro Mechanical Systems : MEMs), จุฬาวิทยานุกรม, 2554.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. ตัวแปรที่ตั้งไว้ (Out of Range) ของเซนเซอร์อัจฉริยะ (Smart Sensor)

ตัวแปรหลัก	รายละเอียด
คลื่นเสียง (Acoustic)	• คลื่นความถี่ (Wave) เช่น แอมพลิจูด (Amplitude) เฟส (Phase) การแทรกสอดและการเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง (Polarization) • แถบคลื่นเสียง (Spectrum) • ความเร็วคลื่น (Wave Velocity)
พลังงานไฟฟ้า (Electric)	• ประจุไฟฟ้า (Charge) กระแสไฟฟ้า (Current) ศักย์ไฟฟ้า (Potential) แรงดันไฟฟ้า (Voltage) • สนามไฟฟ้า (Electric field) เช่น แอมพลิจูด (Amplitude) เฟส (Phase) การแทรกสอดและการเลี้ยวเบนของแสง (Polarization) แถบคลื่นแสง (Spectrum) • การนำไฟฟ้า (Conductivity) • ความนำสนามไฟฟ้า (Permittivity)
แม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic)	• สนามแม่เหล็ก (Magnetic field) เช่น แอมพลิจูด (Amplitude) เฟส (Phase) การแทรกสอดและการเลี้ยวเบนของสนามแม่เหล็ก (Polarization) แถบคลื่นสนามแม่เหล็ก (Spectrum) • ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux) • ความนำสนามแม่เหล็ก (Permittivity)
คลื่นแสง (Optical)	• คลื่นแสง (Wave) เช่น แอมพลิจูด (Amplitude) เฟส (Phase) การแทรกสอดและการเลี้ยวเบนของคลื่นแสง (Polarization) แถบคลื่นแสง (Spectrum) • ความเร็วคลื่น (Wave Velocity) • ดัชนีการหักเหของแสง (Refractive Index) • การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) • การสะท้อนของแสง (Reflectivity) • การดูดกลืนคลื่นแสง (Absorption)
ความร้อน (Thermal)	• อุณหภูมิ (Temperature) • ฟลักซ์ (Flux) • ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) • การนำความร้อน (Thermal Conductivity)

ตัวแปรหลัก	รายละเอียด
พลังงานกล (Mechanical)	• ตำแหน่ง (Position) เช่น เชิงเส้น (Linear) เชิงมุม (Angular) • ความเร่ง (Acceleration) • แรง (Force) ความเค้น (Stress) ความดัน (Pressure) ความเครียด (Strain) มวล (Mass) ความหนาแน่น (Density) โมเมนต์ (Moment) แรงบิด (Torque) รูปร่าง (Shape) ความหยาบ (Roughness) การกำหนดทิศทางหรือตำแหน่ง (Orientation) ความแข็งแกร่งอันเกิดจากแรงต้านภายใน (Stiffness) ความยืดหยุ่น (Compliance) ความเป็นผลึก (Crystallinity) โครงสร้าง (Structural)

ภาคผนวก ข. จำนวนบทความวิจัย 10 ปีย้อนหลังที่เกี่ยวข้องกับเซนเซอร์ จำแนกรายประเทศ (ปี 2008 – กันยายน 2017)

อันดับ	ประเทศ	จำนวน (ฉบับ)	ร้อยละ	อันดับ	ประเทศ	จำนวน (ฉบับ)	ร้อยละ
1	China	134,117	22.62	31	Saudi Arabia	3,609	0.61
2	United States	121,029	20.41	32	Mexico	3,570	0.60
3	Germany	39,128	6.60	33	Ireland	3,533	0.60
4	Japan	34,073	5.75	34	Romania	3,450	0.58
5	India	31,866	5.37	35	Israel	3,255	0.55
6	South Korea	27,706	4.67	36	Norway	3,018	0.51
7	United Kingdom	26,848	4.53	37	Denmark	3,015	0.51
8	Italy	24,578	4.15	38	Egypt	2,535	0.43
9	France	24,063	4.06	**39**	**Thailand**	**2,407**	**0.41**
10	Canada	18,948	3.20	40	Pakistan	2,351	0.40
11	Spain	17,378	2.93	41	New Zealand	2,022	0.34
12	Taiwan	14,349	2.42	42	Tunisia	1,624	0.27
13	Australia	13,271	2.24	43	Ukraine	1,612	0.27
14	Switzerland	9,095	1.53	44	South Africa	1,586	0.27
15	Iran	8,927	1.51	45	Indonesia	1,585	0.27
16	Netherlands	8,613	1.45	46	Hungary	1,566	0.26
17	Brazil	8,310	1.40	47	Algeria	1,536	0.26
18	Malaysia	7,379	1.24	48	Argentina	1,268	0.21
19	Russian Federation	7,243	1.22	49	Slovakia	1,216	0.21
20	Poland	6,735	1.14	50	Serbia	1,201	0.20
21	Singapore	6,465	1.09	51	Slovenia	1,174	0.20
22	Sweden	6,246	1.05	52	United Arab Emirates	1,144	0.19
23	Austria	5,632	0.95	53	Chile	1,073	0.18
24	Portugal	5,628	0.95	54	Colombia	1,055	0.18
25	Turkey	5,581	0.94	55	Viet Nam	964	0.16
26	Belgium	5,442	0.92	56	Morocco	922	0.16
27	Hong Kong	5,011	0.85	57	Croatia	811	0.14
28	Greece	4,351	0.73	58	Bangladesh	802	0.14
29	Czech Republic	4,103	0.69	59	Bulgaria	801	0.14
30	Finland	4,002	0.67	60	Cyprus	651	0.11
61	Lithuania	634	0.11	91	Malta	88	0.01

อันดับ	ประเทศ	จำนวน (ฉบับ)	ร้อยละ	อันดับ	ประเทศ	จำนวน (ฉบับ)	ร้อยละ
62	Qatar	600	0.10	92	Kenya	80	0.01
63	Jordan	524	0.09	93	Brunei Darussalam	77	0.01
64	Estonia	482	0.08	94	Costa Rica	77	0.01
65	Iraq	476	0.08	95	Senegal	77	0.01
66	Lebanon	459	0.08	96	Bahrain	71	0.01
67	Latvia	386	0.07	97	Tajikistan	70	0.01
68	Luxembourg	300	0.05	98	Albania	68	0.01
69	Philippines	298	0.05	99	Montenegro	68	0.01
70	Belarus	280	0.05	100	Ghana	66	0.01
71	Nigeria	259	0.04	101	Ethiopia	65	0.01
72	Kuwait	248	0.04	102	Azerbaijan	58	0.01
73	Macao	246	0.04	103	Libyan Arab Jamahiriya	58	0.01
74	Oman	246	0.04	104	Syrian Arab Republic	53	0.01
75	Ecuador	236	0.04	105	Cameroon	45	0.01
76	Sri Lanka	228	0.04	106	Panama	39	0.01
77	Puerto Rico	218	0.04	107	Yemen	39	0.01
78	Kazakhstan	184	0.03	108	Tanzania	38	0.01
79	Macedonia	180	0.03	109	Jamaica	37	0.01
80	Venezuela	164	0.03	110	Trinidad and Tobago	37	0.01
81	Cuba	154	0.03	111	Fiji	36	0.01
82	Iceland	139	0.02	112	Liechtenstein	33	0.01
83	Bosnia and Herzegovina	136	0.02	113	Nepal	33	0.01
84	Moldova	130	0.02	114	Botswana	31	0.01
85	Palestine	121	0.02	115	Mongolia	28	0.00
86	Peru	120	0.02	116	Paraguay	26	0.00
87	Uruguay	116	0.02	117	Zimbabwe	21	0.00
88	Armenia	114	0.02	118	Greenland	19	0.00
89	Sudan	91	0.02	119	Kyrgyzstan	18	0.00
90	Georgia	88	0.01	120	Namibia	18	0.00
121	New Caledonia	17	0.00	141	Guatemala	8	0.00

อันดับ	ประเทศ	จำนวน (ฉบับ)	ร้อยละ	อันดับ	ประเทศ	จำนวน (ฉบับ)	ร้อยละ
122	Uzbekistan	17	0.00	142	Madagascar	8	0.00
123	Bolivia	16	0.00	143	Swaziland	8	0.00
124	Congo	16	0.00	144	Zambia	8	0.00
125	Mauritius	16	0.00	145	Faroe Islands	7	0.00
126	Uganda	16	0.00	146	Honduras	7	0.00
127	French Polynesia	15	0.00	147	Niger	7	0.00
128	El Salvador	13	0.00	148	Afghanistan	6	0.00
129	Myanmar	13	0.00	149	French Guiana	6	0.00
130	Cote d'Ivoire	12	0.00	150	Grenada	6	0.00
131	North Korea	12	0.00	151	Mozambique	6	0.00
132	Cambodia	11	0.00	152	Papua New Guinea	6	0.00
133	Malawi	11	0.00	153	Bahamas	5	0.00
134	Burkina Faso	10	0.00	154	Bermuda	5	0.00
135	Laos	10	0.00	155	Martinique	5	0.00
136	Rwanda	10	0.00	156	Nicaragua	5	0.00
137	Angola	9	0.00	157	Reunion	5	0.00
138	Benin	9	0.00	158	Burundi	4	0.00
139	Monaco	9	0.00	159	Guadeloupe	4	0.00
140	Barbados	8	0.00		**รวม**	**592,893**	**100.00**

ที่มา: ประมวลจากฐานข้อมูล Scopus ณ เดือนกันยายน 2560

ภาคผนวก ค. จำนวนบทความวิจัย 10 ปีย้อนหลังที่เกี่ยวข้องกับเซนเซอร์ จำแนกรายหน่วยงานในประเทศ (ปี 2008 – กันยายน 2017)

อันดับ	หน่วยงาน	จำนวน (ฉบับ)	ร้อยละ	อันดับ	หน่วยงาน	จำนวน (ฉบับ)	ร้อยละ
1	Thailand National Electronics and Computer Technology Center	389	16.17	11	Asian Institute of Technology Thailand	97	4.03
2	Chulalongkorn University	374	15.54	12	King Mongkut's University of Technology North Bangkok	92	3.82
3	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	319	13.26	13	Suranaree University of Technology	83	3.45
4	Mahidol University	295	12.26	14	Srinakharinwirot University	60	2.49
5	Chiang Mai University	187	7.77	15	Silpakorn University	53	2.20
6	Kasetsart University	162	6.73	16	Naresuan University	53	2.20
7	Thammasat University	156	6.48	17	Thailand National Nanotechnology Center	40	1.66
8	King Mongkuts University of Technology Thonburi	153	6.36	18	Mahasarakham University	34	1.41
9	Prince of Songkla University	119	4.95	19	Ubon Rajathanee University	30	1.25

อันดับ	หน่วยงาน	จำนวน (ฉบับ)	ร้อยละ	อันดับ	หน่วยงาน	จำนวน (ฉบับ)	ร้อยละ
10	Khon Kaen University	106	4.41	20	Rajamangala University of Technology	30	1.25
21	Maejo University	29	1.21	32	Asian University of Science and Technology	12	0.50
22	Burapha University	27	1.12	33	Thailand Ministry of Science and Technology	11	0.46
23	Thailand National Center for Genetic Engineering and Biotechnology	27	1.12	34	Nakhon Pathom Rajabhat University	11	0.46
24	Bangkok University	25	1.04	35	Assumption University, Bangkok	11	0.46
25	Thailand National Metal and Materials Technology Center	22	0.91	36	University of the Thai Chamber of Commerce	11	0.46
26	Walailak University	22	0.91	37	University of Phayao	10	0.42
27	Rangsit University	17	0.71	38	Rajamangala University of Technology Isan	10	0.42
28	Mahanakorn University of Technology	12	0.50	39	Synchrotron Light Research Institute	9	0.37
29	Mae Fah Luang University	12	0.50	40	Ramkhamhaeng University	9	0.37
30	Chulabhorn Research Institute	12	0.50	41	National Institute of Metrology Thailand	7	0.29

อันดับ	หน่วยงาน	จำนวน (ฉบับ)	ร้อยละ	อันดับ	หน่วยงาน	จำนวน (ฉบับ)	ร้อยละ
31	Chulabhorn Graduate Institute	7	0.29	42	RMIT University	7	0.29
43	Rajamangala University of Technology Thanyaburi RMUTT	7	0.29	52	Thai-Nichi Institute of Technology	5	0.21
44	Thai Red Cross Agency	7	0.29	53	Krirk University	5	0.21
45	Rajamangala University of Technology Lanna	7	0.29	54	Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology	5	0.21
46	Suan Sunandha Rajabhat University	7	0.29	55	Thailand Institute of Scientific and Technological Research TISTR	5	0.21
47	Defence Technology Institute	6	0.25	56	Geo-Informatics and Space Technology Development Agency Public Organization	4	0.17
48	Thailand National Institute of Development Administration	6	0.25	57	Thailand Ministry of Education	4	0.17
49	Rajamangala University of	6	0.25	58	Kasem Bundit University	4	0.17

อันดับ	หน่วยงาน	จำนวน (ฉบับ)	ร้อยละ	อันดับ	หน่วยงาน	จำนวน (ฉบับ)	ร้อยละ
	Technology Phra Nakhon						
50	Uttaradit Rajabhat University	5	0.21	59	Phetchaburi Rajabhat University	4	0.17
51	Rambhai Barni Rajabhat University	5	0.21	60	Sripatum University	4	0.17
					รวม	**2,406**	**100.00**

ที่มา: ประมวลจากฐานข้อมูล Scopus ณ เดือนกันยายน 2560

ภาคผนวก ง. ตัวอย่างสิทธิบัตรสำคัญที่นำไปสู่การใช้งานจริงในอุตสาหกรรมต่าง ๆ

1. Networked Environmental Sensor and Multi-Functional Speed Sensor

1.1 HIGH SENSITIVITY ENVIRONMENTAL SENSOR NETWORK AND NETWORK SERVICES FOR STRUCTURAL HEALTH MONITORING

Assignee: The Board of Trustees of the University of Illinois, United States

Patent No.: US20170184470

Publication Date: 29.06.2017

Summary:

A high sensitivity structural health monitoring network includes a plurality of sensor nodes disposed apart from each other and communicating through one or more sensor channels. The nodes include smart sensor circuit boards with an interface to a wireless smart sensor board platform, a multi-axis accelerometer having a measurement range and resolution set to provide sensitivity to measure ambient structural vibrations an analog to digital converter for converting signals that includes a plurality of individual channels being individually programmable for signal conditioning for providing data to the interface. A network framework provides network services including a time synchronization service with network-wide global timestamps for sensor data and a unified sensing service that supports collection of data for all sensor channels from all nodes together with a single set of associated time stamps.

1.2 MULTI-FUNCTION SPEED SENSOR

Assignee: AISIN TECHNICAL CENTER OF AMERICA INC., United States

Patent No.: US20170113698

Publication Date: 27.04.2017

Summary:

A smart sensor system and method for a vehicle are described. The smart sensor includes at least one sensing element installed on a suspension of the vehicle and coupled with a wheel of the vehicle, and a digital signal processing circuitry configured to receive signal from the at least one sensing element in the form of a digital signal, correlate the digital signal to an air gap data, and determine a vehicle speed, a vehicle acceleration, a suspension condition, a tire condition, a brake condition, a wheel condition, and a road condition.

2. Smart Sensors for Wound Healing Monitoring and Location Tracking Services

2.1 SYSTEM AND METHOD FOR MONITORING EXTENT OF WOUND HEALING

Assignee: SHENZHEN QIANHAIYILAO SCIENCE AND TECHNOLOGY CO., LTD., China

Patent No.: WO/2017/041385

Publication Date: 16.03.2017

Summary:

Provided are a system and method for monitoring the extent of wound healing. The method comprises the following steps: generating light of a first wavelength; sending by means of a fiber optic coupler (14) the light of a first wavelength to a first multi-mode optical fiber (201) of a smart sensor (20); while the light of first wavelength is received, the light of first wavelength illuminating a photodiode (10) to produce a photocurrent; according to the photocurrent produced by the light of first wavelength illuminating the photodiode (10), calculating the absorption of the light of first wavelength by a matrix metalloproteinase sensing membrane (2020) and according to a preset correlation between the activity level and absorption of the matrix metalloproteinase sensing membrane (2020), determining the activity level of the matrix metalloproteinase sensing membrane (2020) of a current wound; according to a preset correlation between the activity level of the matrix metalloproteinase sensing membrane (2020) and the extent of healing of the wound, determining the extent of healing of the wound. In the method, it is possible to monitor the extent of healing of a wound and according to the extent of healing, remind the patient to change the dressing, which is advantageous to the timely treatment of the wound.

2.2 METHOD FOR PROVIDING LOCATION TRACKING SERVICE USING SMART SENSOR

Assignee: PLNC TECHNOLOGY LNC., South Korea

Patent No.: KR1020160123794

Publication Date: 26.10.2016

Summary:

Disclosed is a method for providing a location tracking service using a smart sensor. A relay device includes a gyro sensor, an acceleration sensor, and a terrestrial magnetism sensor. Sensor values and RSSI signals measured by the gyro sensor, the acceleration sensor, and the terrestrial magnetism sensor are received from a beacon using a low power Bluetooth (BLE).

A device of providing a location tracking service calculates a separation distance between the beacon and the relay device from the RSSI signals, and calculates the movement distance and movement direction of the beacon from the sensor values. So, the separation of objects or children from a protection area can be prevented.

3. Smart Sensor Network for Power Grid Health Monitoring and Line Alarm System

3.1 SMART SENSOR NETWORK FOR POWER GRID HEALTH MONITORING

Assignee: The University of Akron, United States

Patent No.: EP3137914

Publication Date: 08.03.2017

Summary:

A smart sensor network for power grid health monitoring includes a plurality of spaced sensors that are magnetically coupled to the power transmission line to be monitored. The sensors include a signal injection unit and a signal sensing unit. As such, one of the sensors acts to inject, via its signal injection unit, a high frequency signal through the magnetic coupling into the power transmission line, while sensors on either side of the signal injecting sensor act to block the injected signal, which is then detected by the signal sensing unit of the injecting sensor, and is used to measure the impedance of the power transmission line segment being analyzed. Based on the difference between a pre-measured impedance of the power transmission line being monitored and the actual impedance value of the power transmission line being measured by the sensor, the health of the power line can be obtained.

3.2 SMART SENSOR LINE ALARM SYSTEM

Assignee: InVue Security Products Inc., United States

Patent No.: US20160343219

Publication Date: 24.11.2016

Summary:

Embodiments of the present invention are directed to systems and methods for monitoring a status of a plurality of a merchandise display devices for displaying items of merchandise at respective display positions. For example, the method includes monitoring for a change in a preselected characteristic of a circuit defined by an electrical connection between the security

devices and a plurality of nodes and between the nodes and an alarm unit. The method also includes determining whether an item of merchandise has been added to or removed from a respective display position based on a change in the preselected characteristic.

4. Smart Sensor for Auto-Commissioning and Door Locking

4.1 System and Method for Auto-Commissioning based on Smart Sensors

Assignee: Cooper Technologies Company, United Kingdoms

Patent No.: US20160353549

Publication Date: 01.12.2016

Summary:

An imaging sensor determines an influence of artificial light from one or more artificial light sources and an influence of natural light in an area associated with a lighting system. On the basis of the influence of the natural light and the influence of the artificial light, the imaging sensor determines the location of the one or more artificial light sources with respect to the location of the imaging sensor. Further, the imaging sensor allocates a portion of the area as an area of influence of the imaging sensor based on a threshold change in luminescence of the area associated with switching on or switching off of the one or more artificial light sources. Responsively, the imaging sensor associates at least one artificial light source of the one or more light sources and occupancy sensors corresponding to the at least one artificial light source with the allocated area of influence.

4.2 SYSTEMS AND METHODS FOR ANTICIPATORY LOCKING AND UNLOCKING OF A SMART-SENSOR DOOR LOCK

Assignee: GOOGLE INC., United States

Patent No.: US20160350988

Publication Date: 01.12.2016

Summary:

An electronic device associated with a lock device obtains a number of users detected within a premises, and detects a trigger event related to a lock device and premises. When the trigger event is detected, a target state of the lock device is determined based on: (1) the number of users within the premises, and (2) user security profiles indicating a desired target state of the

lock device when a respective user is within the premises. A current state of the lock device is determined, and if the current state and the target state of the lock device are not the same, instructions are provided to the lock device based on the target state.

คณะผู้จัดทำ

ที่ปรึกษา

1. ดร. ณรงค์ ศิริเลิศวรกุล ผู้อำนวยการสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
2. ดร. จุฬารัตน์ ตันประเสริฐ รองผู้อำนวยการสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
3. ดร. กรัณฑรัตน์ นาขวา รักษาการผู้อำนวยการฝ่ายวิจัยนโยบาย

ผู้เขียน

1. นางสาวจีรนันท์ ดวงคำ ผู้ช่วยวิจัยนโยบาย ฝ่ายวิจัยนโยบาย

สถานที่ติดต่อ

ฝ่ายวิจัยนโยบาย
สำนักงานกลาง
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
111 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย
ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง
อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
12120
โทรศัพท์: 02 564 7000 ต่อ 71862
โทรสาร: 02 564 7060
อีเมล: prs@nstda.or.th

ฝ่ายวิจัยนโยบาย
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
111 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน
ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120