

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ซึ่งแบ่งเป็นทั้งหมด 9 ส่วน ส่วนแรกคือการกล่าวนำเข้าสู่เนื้อหา ส่วนที่สองจะเป็นส่วนของการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ส่วนที่สามเป็นส่วนของทฤษฎีเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network; WSN) ต่อมาในส่วนที่สี่จะเป็นในส่วนของเทคโนโลยีไร้สาย Zigbee ที่ใช้ในการสร้างเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ส่วนที่ห้าเป็นส่วนของการบีบอัดข้อมูล ส่วนที่หกเป็นการกล่าวถึงระบบสมองกลฝังตัวซึ่งจะพูดถึงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32TM ARM 32 bit ซึ่งเป็นบอร์ดควบคุมหลักที่ใช้สำหรับการติดต่อรับข้อมูลจากเซนเซอร์ บอร์ด STM32F4DISCOVERY เป็นบอร์ดหลักที่เชื่อมต่อกับโมดูลโทรศัพท์ และจะกล่าวถึงโมดูลโทรศัพท์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลเข้าสู่เซิร์ฟเวอร์ ส่วนถัดมาจะกล่าวถึงเซนเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ วัดความชื้นสัมพัทธ์ วัดความชื้นในดินและเซนเซอร์วัดความเข้มแสง ส่วนที่แปดกล่าวถึงเครือข่ายประสาทเทียม และส่วนสุดท้ายจะเป็นการสรุปเนื้อหาทั้งหมดในบทนี้

2.2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานวิจัยในการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายได้ถูกคิดค้นกันเป็นจำนวนมาก ซึ่งแต่ละแนวคิดได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและแก้ปัญหาการใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ความคับคั่งของข้อมูลก็เป็นอีกปัญหาหนึ่งที่มีผู้วิจัยได้ให้ความสนใจและทำการศึกษาค้นคว้าโดยใช้เทคนิคการบีบอัดข้อมูลในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ซึ่งผู้วิจัยได้สืบค้นวรรณกรรมในฐานข้อมูลงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวกับการบีบอัดข้อมูลโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมเพื่อนำมาอ้างอิงและประยุกต์ให้เหมาะสมกับงานวิจัยนี้

N. Watthanawisut, (2010) [1] ได้นำเสนอ ระบบฟาร์มอัจฉริยะในขอบข่ายงานเกษตรกรรม ความแม่นยำสูง ซึ่งมีการติดตั้งอุปกรณ์ GPS (Global Positioning System) บนรถไถเพื่อทำการติดตามตำแหน่งรถแทรกเตอร์และส่งข้อมูลตำแหน่งที่ได้ผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย Zigbee โดยมีการสร้างเครือข่ายแบบเมช มีการสร้างระบบสื่อสารครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ โหนดเราเตอร์ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลในเครือข่าย มีการเก็บข้อมูลจากรถแทรกเตอร์และแสดงผลแบบเวลาจริงบนเว็บไซต์ ข้อมูลที่แสดงได้แก่ ละติจูด ลองจิจูด พื้นที่ในวันและเวลาปัจจุบันของข้อมูลครั้งล่าสุด สถานะพลังงาน

และรับสถานะดาวเทียมสื่อสาร ซึ่งจะช่วยให้ทราบวาระถนัดดังกล่าววิ่งหรือทำงานไปได้ระยะทางเท่าใดในแต่ละวันเพื่อความสะดวกในการบริหารจัดการฟาร์ม

แนวทางการพัฒนาเพิ่มเติม นำวิธีการสร้างเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย Zigbee ที่มีเครือข่ายแบบเมช โดยมีการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมในแปลงเกษตรกรรมและแสดงผลทางอินเทอร์เน็ต ซึ่งพลังงานที่ใช้ในการเก็บข้อมูลใช้พลังงานแสงอาทิตย์

Adnan Khashman, (2008) [2] ได้นำเสนอการบีบอัดภาพโดยใช้เวฟเล็ต ซึ่งให้คุณภาพของการบีบอัดที่สูง อัตราการบีบอัดจะขึ้นอยู่กับรายละเอียดของภาพ มีการพิจารณาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non Linear) ระหว่างความละเอียดของภาพและอัตราการบีบอัดเพื่อหาอัตราการบีบอัดภาพที่เหมาะสมที่สุดของการบีบอัดข้อมูลด้วยเวฟเล็ตชนิด Haar (Optimum Haar Compression Ratio; OHCR) ซึ่งมีการกำหนดอินพุตของเครือข่ายประสาทเทียมด้วยอัตราการบีบอัดข้อมูล 10% ถึง 90% ให้เครือข่ายประสาทเทียมได้เรียนรู้และจดจำรูปแบบของอัตราการบีบอัดที่เหมาะสม โดยใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบแพร่กลับ

แนวทางการพัฒนาเพิ่มเติม โดยนำวิธีการบีบอัดข้อมูลด้วยอัตราการบีบอัดที่ 10% ถึง 90% เพื่อหาค่าคุณภาพของแต่ละอัตราการบีบอัดและใช้ข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลคุณภาพของการบีบอัด (*RMSE SNR CR*) เป็นอินพุตให้กับระบบ และกำหนดเอาต์พุตเป็นค่าเปอร์เซ็นต์อัตราการบีบอัด 10% - 90%

A. Kulakov, (2005) [3] ได้นำเสนอวิธีการเก็บข้อมูลแบบชาญฉลาด โดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการลดขนาด การเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อทำการแยกแยะข้อมูลจากโนดเซนเซอร์ต่าง ๆ โดยใช้เครือข่ายแบบปรับตัวได้ (Adaptive Resonance Theory; ART) ซึ่งเป็นการเรียนรู้แบบไม่มีผู้ฝึกสอนประกอบด้วย ART ใช้สำหรับรูปแบบอินพุตที่เป็นไบนารีและ FuzzyART ใช้สำหรับรูปแบบอินพุตที่เป็นแอนะล็อก ทำการเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์ 4 ประเภทคือ เซนเซอร์แสง ไมโครโฟน วัดความเร่ง เซนเซอร์แม่เหล็กและวัดอุณหภูมิ โดยแต่ละโนดจะส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย และทำการประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเล็ตในการบีบอัดข้อมูลเพื่อลดขนาดมิติของข้อมูลที่จะส่งผ่านเครือข่ายไร้สายทำให้สามารถแผ่ระยะและติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แนวทางการพัฒนาเพิ่มเติม นำวิธีการแปลงเวฟเล็ตมาใช้ในการบีบอัดข้อมูล ซึ่งมีการศึกษาเพิ่มเติมจากงานวิจัยนี้ที่ใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบ Haar 1 ระดับ จะทำการศึกษาเกี่ยวกับการแปลงเวฟเล็ตโดยใช้แม่แบบการแปลงแบบอื่น ๆ เพื่อให้เหมาะสมกับงานวิจัยนี้

J. W. Barron, (2008) [4] ได้นำเสนอวิธีการดำเนินการค้นหาข้อผิดพลาดในเวลาจริงสำหรับโนดเซนเซอร์ไร้สายโดยประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทเทียม ซึ่งมีการดำเนินการบนระบบปฏิบัติการ TinyOS โดยมีการเก็บข้อมูลจากเครือข่ายแบบ Tree และส่งข้อมูลไปยังสถานีฐานในรูปแบบ Multi-hopping ใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการจำลองโนดเซนเซอร์ที่เชื่อมต่อกับโนดใกล้เคียงเพื่อวัดค่า

สภาพแวดล้อมเปรียบเทียบข้อมูลในการทำนายและกำหนดค่าเริ่มต้นของข้อผิดพลาดเพื่อพิจารณาข้อผิดพลาดของโนตเซนเซอร์

แนวทางการพัฒนาเพิ่มเติม มีการดำเนินการค้นหาโนตที่ผิดพลาดโดยดำเนินการในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ใช้เครือข่ายแบบเมชซึ่งเป็นเครือข่ายที่ป้องกันการผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ดีที่สุด และใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการค้นหาโนตผิดพลาดที่เกิดขึ้น

A. Goh, (2008) [5] ได้นำเสนอการออกแบบระบบการบันทึกสัญญาณประสาทและการส่งข้อมูลแบบไร้สายโดยผู้วิจัยใช้เทคนิคการบีบอัดสัญญาณแบบเวลาจริง โดยใช้ขั้นตอนของ Linde Buzo-Gray (LBG) ในการแยกสัญญาณและสัญญาณรบกวนเพื่อป้องกันสัญญาณที่มีรูปร่างแหลมขึ้นมาของการกรองสัญญาณรบกวน การดำเนินการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลพลังงานต่ำซึ่งสามารถส่งผ่านเครือข่ายไร้สายได้ และจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของการบันทึก สามารถปรับอัตราการบีบอัดให้เหมาะสมกับข้อมูลเพื่อประหยัดพลังงานและแบนด์วิดธ์ในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายด้วย

แนวทางการพัฒนาเพิ่มเติม นำเทคนิคการบีบอัดข้อมูลแบบเวลาจริงไปใช้กับงานวิจัย โดยทำการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมและบีบอัดข้อมูลในเวลาจริง

J. Wang, (2010) [6] ได้นำเสนอการบีบอัดข้อมูลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยใช้เวฟเล็ตในการแปลงสัญญาณและใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการเลือกค่าพารามิเตอร์ของการแปลงเวฟเล็ตให้เหมาะสมกับการบีบอัดสัญญาณ ECG ซึ่งการบีบอัดข้อมูลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจแบ่งออกเป็นสองประเภทคือ วิธีการบีบอัดในโดเมนเวลาและในโดเมนการแปลง ซึ่งขึ้นอยู่กับความซับซ้อนจากการวิเคราะห์ข้อมูลดิบโดยตรง ข้อดีคือสามารถทำได้ง่าย รวดเร็วและทำงานในเวลาจริง และข้อเสียคือยากที่จะตรวจสอบในเวลาเดียวกันว่ามีการบีบอัดข้อมูลสูง

แนวทางการพัฒนาเพิ่มเติม จากผลการทดลองของงานวิจัยนี้พบว่าการบีบอัดข้อมูลโดยการแปลงเวฟเล็ตและมีการใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการเลือกพารามิเตอร์ให้อัตราการบีบอัดที่สูงกว่าการบีบอัดข้อมูลโดยการแปลงเวฟเล็ต ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการบีบอัดข้อมูลโดยการแปลงเวฟเล็ตและใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมของข้อมูลสภาพแวดล้อม

Mohsen Nasri, (2010) [7] ได้นำเสนอการประหยัดพลังงานในการส่งภาพบนเครือข่ายไร้สายโดยใช้เทคนิคการแปลงเวฟเล็ตแบบ SHPS (Skipped High-Pass Sub-Band) โดยตัดส่วนของภาพที่ความถี่สูงในการลดจำนวนบิตของภาพ ซึ่งมีข้อจำกัดของช่วงความถี่ในเครือข่ายไร้สายและคุณภาพของภาพ ซึ่งการบีบอัดแบบ SHPS มีผลกระทบต่อคุณภาพของภาพ ซึ่งการแปลงเวฟเล็ตเป็นวิธีการบีบอัดภาพที่ไม่ยุ่งยาก ทำให้มีการใช้พลังงานที่เหมาะสมและคุณภาพของภาพสามารถยอมรับได้ แต่การบีบอัดภาพแบบ SHPS ที่ระดับการแปลงเวฟเล็ตที่สูงขึ้น ทำให้คุณภาพของสัญญาณลดลง

แนวทางการพัฒนาเพิ่มเติม จากการบีบอัดข้อมูลโดยการแปลงเวฟเล็ตและใช้เทคนิค SHPS ซึ่งเป็นการตัดสัญญาณด้านความถี่สูงทั้งหมด ซึ่งการตัดข้อมูลด้านความถี่สูงออกทั้งหมดนั้น อาจ

สูญเสียรายละเอียดของข้อมูลบางส่วนไป ผู้วิจัยจึงใช้วิธีการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม

W. R. Heinzelman, (2000) [8] ได้นำเสนอโปรโตคอลการสื่อสารที่ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ซึ่งได้เสนอวิธีการที่เรียกว่า LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) เป็นการจัดกลุ่มลำดับชั้นเพื่อลดการใช้พลังงานให้น้อยลง มีการคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบเทคนิคดังกล่าวกับการส่งข้อมูลแบบทางตรง ซึ่งพบว่าเทคนิคที่ได้นำเสนอนี้สามารถลดการใช้พลังงานได้ถึง 8 เท่า เมื่อเทียบกับการส่งข้อมูลแบบทางตรง (Direct Transmission) และการส่งข้อมูลแบบ MTE (Minimum Transmission Energy) ซึ่งสามารถยืดอายุการใช้งานของเครือข่ายไร้สายได้

แนวทางการพัฒนาเพิ่มเติมโดยการนำสมการการคำนวณค่าพลังงานมาทำการหาค่าพลังงานที่ใช้ในระบบเครือข่ายไร้สายเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างการส่งข้อมูลปกติกับการส่งข้อมูลที่ผ่านการบีบอัดข้อมูล

W. Khunratanasiri, (2010) [9] ได้นำเสนอการเปรียบเทียบคุณภาพของการบีบอัดเสียงพูดโดยใช้เทคนิคการแปลงเวฟเลต โดยทำการเปรียบเทียบคุณภาพของการแปลงเวฟเลต 3 ชนิด คือ Daubachies, Coiflet, Symlets ซึ่งมีการแปลงเวฟเลตตั้งแต่ 1 ระดับ จนถึง 5 ระดับ ทำการเปรียบเทียบค่า SNR (Signal to Noise Ratio) และค่า $PSNR$ (Peak Signal to Noise Ratio) ของแต่ละระดับการแปลงเวฟเลต จากการทดลองพบว่า การแปลงเวฟเลตชนิด Coiflet ที่ 1 ระดับให้ค่า SNR สูงที่สุดคือ 34.12

แนวทางการพัฒนาเพิ่มเติมโดยการประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเลตเพื่อทำการบีบอัดข้อมูล ซึ่งมีการศึกษาคุณภาพของเวฟเลต 5 ชนิด เพื่อเลือกชนิดของเวฟเลตที่เหมาะสมกับการนำไปใช้

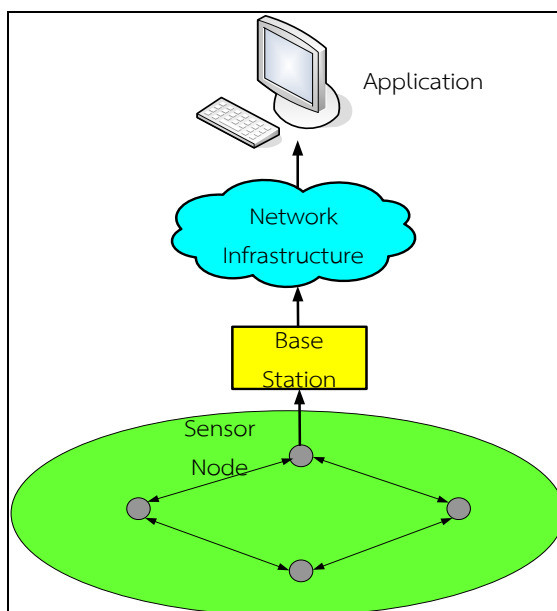
2.3 ทฤษฎีเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

เทคโนโลยีเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network; WSN) เป็นเทคโนโลยีที่กำลังพัฒนาและมีศักยภาพที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ระบบเตือนภัย (Disaster Warning Systems) เพื่อพยากรณ์และเตือนภัยให้สามารถป้องกันและลดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน ระบบเฝ้าตรวจสอบและควบคุมทางด้านเกษตรกรรม (Monitoring and Controlling Systems for Agriculture) เพื่อเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตร ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เป็นระบบที่มีการเชื่อมต่อเป็นเครือข่ายของอุปกรณ์ตรวจวัดหรือเซนเซอร์ (Sensor) ที่ไม่ใช้สายตัวนำสัญญาณ โดยเป็นประเภทหนึ่งของเครือข่ายพื้นที่ส่วนตัว (Personal Area Network; PAN) ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 มีโปรโตคอล (Protocol) ที่มีลักษณะเฉพาะ มุ่งเน้นการเชื่อมต่ออุปกรณ์เซนเซอร์ที่มีความเร็วในการสื่อสารข้อมูลต่ำ มีการใช้พลังงานต่ำ และมีความซับซ้อนน้อย สามารถตรวจวัดสัญญาณเป้าหมายและส่งสัญญาณระหว่างอุปกรณ์เซนเซอร์จำนวนมาก ปัจจุบันมีการคิดค้นและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดสิ่งต่างๆ จากเซนเซอร์ไร้

สายมากมาย เนื่องจากใช้ต้นทุนในการพัฒนาต่ำ อุปกรณ์มีขนาดเล็กเหมาะสำหรับทุกพื้นที่ สภาพแวดล้อม โดยอุปกรณ์เซนเซอร์จะทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารหรือส่งข้อมูลถึงกันตามที่คุณพัฒนาได้ โปรแกรมไว้ เพื่อตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงหรือสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น โดยการนำเซนเซอร์แต่ละตัวไปติดตั้งไว้ในบริเวณพื้นที่ที่ต้องการวัดสัญญาณ และเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายจะติดต่อและส่งข้อมูลถึงกัน เพื่อส่งข้อมูลไปประมวลผลหรือแสดงผลยังเครื่องปลายทาง

เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายมีการพัฒนาในยุคเริ่มต้นจากการใช้งานทางด้านการทหารในการทำสงครามเย็นทางด้านคลื่นเสียง ต่อมาได้รับการพัฒนาทางระบบเรดาร์ทางอากาศ ระบบเครือข่ายในยุคแรกมีรูปแบบเป็นลำดับขั้นการประมวลผลจะทำตามลำดับขั้นและใช้มนุษย์เป็นหลักในการประมวลผลและทำงานยุคที่สองเกิดขึ้นหลังจากการพัฒนาอินเทอร์เน็ต เป็นยุคของการพัฒนาเครือข่ายเซนเซอร์แบบกระจายตัวโดยเน้นที่การพัฒนาการประมวลผลข้อมูลแบบกระจายตัวการประมวลผลสัญญาณการติดตามวัตถุ เครือข่ายใช้โปรโตคอลสื่อสารระดับสูง แต่ด้วยเทคโนโลยีในยุคนั้นทำให้หน่วยร่วมเซนเซอร์มีขนาดใหญ่ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีเซนเซอร์การติดต่อสื่อสารไร้สายเป็นเทคโนโลยีที่มีคุณภาพสูงประหยัดพลังงานและมีขนาดเล็กจึงทำให้เกิดวิธีการวัดและเก็บข้อมูลแบบใหม่โดยใช้หน่วยร่วมเซนเซอร์ขนาดเล็กจำนวนมากกระจายและฝังตัวในสิ่งแวดล้อมเพื่อเก็บข้อมูลหน่วยร่วมเซนเซอร์แต่ละตัวทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของเครือข่ายและสร้างเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายเพื่อสื่อสารและส่งข้อมูลหน่วยร่วมเซนเซอร์และเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายทำงานได้ด้วยตัวเองซึ่งลักษณะการทำงานจะขึ้นอยู่กับแต่ละสถานะที่แตกต่างกันไป

จากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสามด้าน ประกอบด้วย เทคโนโลยีเซนเซอร์ที่มีขนาดเล็กมีความแม่นยำในการวัดสูง เทคโนโลยีหน่วยประมวลผลที่มีขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ ประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว และเทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารไร้สายที่ส่งข้อมูลได้ถูกต้องและใช้พลังงานต่ำ รวมถึงอุปกรณ์ต่อเชื่อมที่มีขนาดเล็ก การรวมกันของสามเทคโนโลยีนี้ทำให้เกิดหน่วยร่วมเซนเซอร์ ที่มีราคาถูก เทคโนโลยีหน่วยประมวลผลที่มีขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ วัดเก็บข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ประมวลผลได้ด้วยตัวเองและติดต่อสื่อสารถึงกันแบบเครือข่ายไร้สาย



รูปที่ 2.1 ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

2.3.1 องค์ประกอบของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายประกอบด้วยสามส่วนได้แก่ หน่วยร่วมเซนเซอร์ (Sensor Unit) เกตเวย์ (Gateway) และสถานีฐาน (Base Station) หน่วยร่วมเซนเซอร์จำนวนมากฝังตัวในสภาพแวดล้อมเพื่อเก็บข้อมูล โดยแต่ละหน่วยร่วมเซนเซอร์ติดต่อสื่อสารแบบไร้สายกับหน่วยร่วมเซนเซอร์ข้างเคียง ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับส่งแบบไร้สาย แต่ละหน่วยร่วมเซนเซอร์ควบคุมและจัดการงานของตัวเองทุกๆ หน่วยร่วมเซนเซอร์ที่ติดต่อถึงกันทำงานร่วมกัน เป็นเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายทำให้แต่ละหน่วยร่วมเซนเซอร์สามารถส่งข้อมูลไปหากันได้ โดยให้หน่วยร่วมเซนเซอร์ระหว่างทางช่วยส่งข้อมูลต่อกันตั้งแต่ต้นทางถึงปลายทาง วิธีการส่งแบบนี้เรียกว่าการส่งแบบมัลติฮอป (Multi-Hop) เกตเวย์ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลระหว่างสถานีฐานและเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายโดยเกตเวย์อาจเป็นหน่วยร่วมเซนเซอร์ธรรมดาหรือเป็นหน่วยร่วมเซนเซอร์ที่มีความสามารถพิเศษในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย สถานีฐานทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่วัดได้จากหน่วยร่วมเซนเซอร์ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ควบคุมการทำงานและติดต่อกับผู้ใช้งาน หรืออาจติดต่อกับเครือข่ายอื่นๆ เช่น อินเทอร์เน็ต เนื่องจากการทำงานแบบไร้สายทำให้แต่ละหน่วยร่วมเซนเซอร์ใช้แหล่งพลังงานภายในหน่วยร่วมเซนเซอร์เองหรือในบางกรณีอาจใช้แหล่งกำเนิดพลังงานเพื่อให้หน่วยร่วมเซนเซอร์ทำงานได้อย่างต่อเนื่องด้วยเหตุนี้ทำให้เครือข่ายมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากข้อมูลหน่วยร่วมเซนเซอร์อาจหยุดทำงานเพราะพลังงานหมดหรือกลับขึ้นมาทำงานได้อีกครั้งเมื่อมีพลังงานเพียงพอ รวมไปถึงในบางเครือข่าย ที่มีหน่วยร่วมเซนเซอร์ที่เคลื่อนที่ได้การเปลี่ยนแปลงของหน่วยร่วมเซนเซอร์นั้นมีผลต่อโครงสร้างของเครือข่ายและส่งผลถึงเส้นทางการส่งข้อมูลของหน่วยร่วม

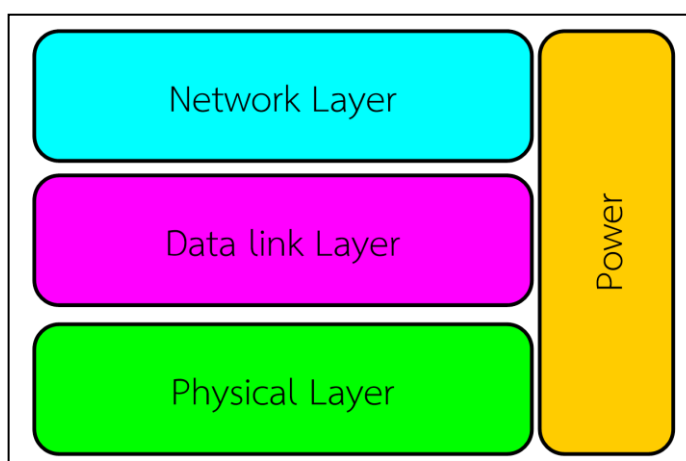
เซนเซอร์โดยเส้นทางในการส่งข้อมูลในแต่ละโครงสร้างนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการหาเส้นทางซึ่งวิธีการหาเส้นทางในแต่ละเครือข่ายจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของเครือข่ายนั้นๆ

2.3.2 หน่วยร่วมเซนเซอร์

การทำงานของหน่วยร่วมเซนเซอร์คือการวัดและเก็บข้อมูลที่ได้จากสภาพแวดล้อมนำข้อมูลไปประมวลผลสร้างเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายและส่งข้อมูล ทำให้หน่วยร่วมเซนเซอร์มีส่วนประกอบหลักดังนี้

- 1) เซนเซอร์ ทำหน้าที่วัดค่าต่างๆ จากสภาพแวดล้อมตามแต่ชนิดของเซนเซอร์ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ ความเข้มแสง แรงสั่นสะเทือน ความเคลื่อนไหว ความลึก เป็นต้น
- 2) หน่วยรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย ทำหน้าที่รับ ส่งข้อมูลแบบไร้สายในย่านความถี่สาธารณะ (ISM Band) เพื่อรับ-ส่งข้อมูลระหว่างหน่วยร่วมเซนเซอร์ข้างเคียง
- 3) หน่วยประมวลผล ติดต่อกับเซนเซอร์เพื่อสั่งงานหรือรับข้อมูลที่วัดได้จากเซนเซอร์เพื่อนำไปประมวลผลเป็นข้อมูล จัดเก็บลงในหน่วยความจำ รอกการร้องขอข้อมูลหรืออาจส่งข้อมูลทันทีผ่านทางหน่วยรับ ส่งข้อมูลไร้สาย หน่วยประมวลผลกลางอาจรับข้อมูลจากระบบระบุตำแหน่งเพื่อช่วยในการประมวลผลต่างๆ หรือหน่วยประมวลผลกลาง อาจทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของหน่วยร่วมเซนเซอร์ผ่านทางระบบเคลื่อนที่ นอกจากนี้หน่วยประมวลผลกลางยังทำหน้าที่ประมวลผลเครือข่ายและหาเส้นทางในการส่งข้อมูลของหน่วยร่วมเซนเซอร์
- 4) แหล่งพลังงาน เก็บสะสมพลังงานและให้พลังงานกับทุกส่วนประกอบบนหน่วยร่วมเซนเซอร์แหล่งพลังงานจะรับพลังงานจากแหล่งกำเนิดพลังงานหากหน่วยร่วมเซนเซอร์มีแหล่งกำเนิดพลังงาน

2.3.3 ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย



รูปที่ 2.2 แสดงระดับชั้นเครือข่ายของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

โปรโตคอลสแตกหรือระดับชั้นเครือข่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ให้ความสำคัญกับพลังงานมากเพราะเซนเซอร์ไร้สายมักมีแหล่งพลังงานที่จำกัดทำให้พลังงานมีผลมากกับเซนเซอร์ไร้สายและเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายในด้านการออกแบบจึงปรับปรุงโปรโตคอลสแตกของ Open Systems Interconnection (OSI) model โดยแบ่งเป็นสามชั้นและหนึ่งระนาบดังรูป แต่ละชั้นจะทำหน้าที่เฉพาะของตัวเองคอยให้ความช่วยเหลือชั้นบนและขอความช่วยเหลือจากชั้นล่างที่ติดกับชั้นตัวเองส่วนระนาบซึ่งเชื่อมโยงกับทุกชั้นจะควบคุมบริหารจัดการในทุกๆ ชั้นให้ทำงานตามวัตถุประสงค์ของระนาบนั้นๆ อย่างไรก็ตาม การใช้งานที่แตกต่างกันก็ส่งผลถึงรูปแบบโปรโตคอลสแตกที่แตกต่างกัน

1) ชั้นกายภาพ (Physical Layer) รับผิดชอบการรับ ส่งสัญญาณไร้สายในด้านกายภาพ เช่นช่วงความถี่สัญญาณ การมอดูเลต การเข้ารหัสระดับช่องสัญญาณ ชั้นกายภาพในประเทศไทยจะใช้เวลาช่วงความถี่สาธารณะและกำลังส่งตามกฎหมายกำหนด

2) ชั้นเชื่อมต่อข้อมูล (Data Link Layer) รับผิดชอบการรับ ส่งข้อมูลระหว่างเซนเซอร์ข้างเคียง การเข้าใช้ช่องสัญญาณ (Medium Access Control; MAC) การควบคุมข้อผิดพลาดของข้อมูล เพื่อให้การสื่อสารระหว่างหน่วยร่วมเซนเซอร์ถูกต้องและเชื่อถือได้ ปัจจุบันการเข้าใช้ช่องสัญญาณของหน่วยร่วมเซนเซอร์จะเป็นแบบสุ่มเข้าใช้งาน ที่เป็นเช่นนี้เพราะการใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายประกอบไปด้วยหน่วยร่วมเซนเซอร์อยู่เป็นจำนวนมากและไม่มีโครงสร้างที่แน่นอนทำให้การควบคุมแบบรวมศูนย์ทำได้ยาก และการใช้ช่องสัญญาณแบบสุ่มทำให้เกิดความเท่าเทียมกันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ

3) ชั้นเครือข่าย (Network Layer) รับผิดชอบการรับ ส่งข้อมูลระดับเครือข่าย เนื่องจากเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายใช้การส่งข้อมูลแบบมัลติฮอปเพื่อส่งข้อมูลจากหน่วยร่วมเซนเซอร์ไปยังสถานีฐานการคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมในการส่งข้อมูลเป็นหน้าที่หลักของชั้นนี้

4) ระนาบพลังงาน (Power Plane) รับผิดชอบควบคุมการใช้พลังงานในชั้นต่างๆของหน่วยร่วมเซนเซอร์และเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายให้มีประสิทธิภาพโดยอาจประสานงานข้ามชั้นเช่นหน่วยร่วมเซนเซอร์ที่เหลืพลังงานน้อย อาจลดพลังงานในการส่งข้อมูลในชั้นกายภาพโดยประสานงานกับชั้นเครือข่ายเพื่อเลือกเส้นทางที่ควรส่งข้อมูลในกรณีที่ระยะส่งข้อมูลลดลงเนื่องจากการลดพลังงานในการส่งข้อมูล

2.3.4 มาตรฐานระบบเครือข่าย

มาตรฐานระบบเครือข่ายที่ใช้ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายจะเป็นมาตรฐานเฉพาะกลุ่มที่พัฒนาขึ้นและเริ่มใช้ในงานวิจัยและงานจริง ซึ่งแตกต่างจากกรณีของอินเทอร์เน็ต

Zigbee ถูกพัฒนาโดย Zigbee Alliance บนมาตรฐานของ IEEE 802.15.4 ความถี่ที่ใช้คือความถี่สาธารณะ 2.4 GHz ความเร็วด้านกายภาพ 250 Kbps และระยะทำการ 10 – 75 เมตร Ultrawide Band มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงสุดถึง 480 Mbps ที่ระยะทาง

ประมาณ 2 เมตร และความเร็ว 110 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 10 เมตร และได้รับการกำหนดให้อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.15.3a โดยมีย่านความถี่ที่ถูกกำหนดโดย Federal Communications Commission (FCC) อยู่ที่ 3.1 - 10.6 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่เดียวกันกับการสื่อสารผ่านดาวเทียม

Bluetooth เป็นมาตรฐานที่แตกต่างจากข้อกำหนดของมาตรฐานชุด IEEE 802.11 โดยเป้าหมายในการพัฒนานี้เพื่อความยืดหยุ่นในการใช้งานและใช้กับระบบเครือข่ายขนาดเล็กๆ ที่เรียกว่า PAN (Personal Area Network) ซึ่งขนาดของ Throughput เท่ากับ 500 Kbps และมีรัศมีการส่งสัญญาณที่ 10 เมตร

2.3.5 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย แบ่งออกเป็น 5 ด้านหลัก

1) ด้านวิศวกรรมทั่วไป

- การติดตั้งเครื่องมือสื่อสารภายในรถยนต์
- การใช้เซนเซอร์โดยมีคีย์บอร์ดเป็นตัวสัมผัสปลายนิ้วมือ
- ตัวตรวจจับและการดูแลรักษาภายในโรงงานอุตสาหกรรม
- สำนักงานอัจฉริยะ
- การตรวจสอบสินค้าภายในร้านค้าหรือห้างสรรพสินค้า
- การรักษาความปลอดภัยด้านที่อยู่อาศัยและทรัพย์สิน

2) การควบคุมด้านเกษตรกรรมและสิ่งแวดล้อม

- การทำการเกษตรกรรมโดยมีความถูกต้องเที่ยงตรง
- การสำรวจพืชผลทางการเกษตร
- การควบคุมภูมิศาสตร์ทางกายภาพ
- การควบคุมคุณภาพน้ำ
- การควบคุมจำนวนที่พังก่ออาศัย
- การตรวจจับภัยพิบัติต่างๆ
- การขนส่งสิ่งเจือปน

3) ด้านวิศวกรรมโยธา

- การควบคุมงานโครงสร้าง
- การวางแผนผังเมือง
- การฟื้นฟูปัญหาภัยพิบัติต่างๆ
- การควบคุมและการจัดการอย่างมีคุณค่า
- ใช้ในการสำรวจและการทำสงคราม
- การป้องกันภัยต่างๆ

4) ด้านควบคุมสุขภาพและการผ่าตัด

ด้านตัวตรวจวัดด้านการแพทย์

- การวัดอุณหภูมิของร่างกาย
- การวัดความดันโลหิต
- การวัดชีพจร

5) ด้านการผ่าตัดขนาดเล็ก

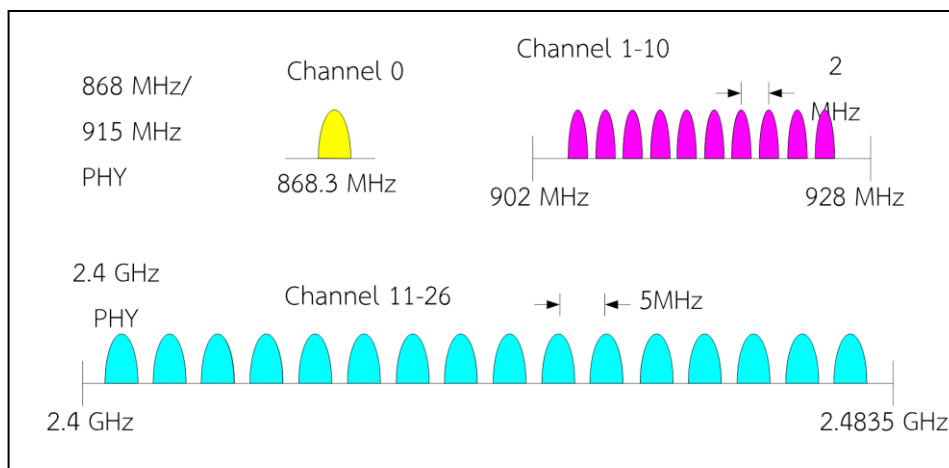
- MEMS-Based Robots

เนื่องจากลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันออกไปเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายจึงมีระบบเครือข่ายที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น ในระบบเตือนภัย ระบบนี้จะต้องการความเร็วในการส่งสูง ระบบวัดและควบคุมทางการเกษตร ระบบนี้เครือข่ายไม่ต้องการความเร็วสูงในการส่งข้อมูล แต่จะส่งข้อมูลตลอดเวลาโดยอาจมีการรวมข้อมูลในระหว่างเส้นทางการเดินทางของข้อมูลเพื่อลดจำนวนครั้งของการสื่อสารและประหยัดพลังงาน รวมทั้งระบบการสื่อสารระยะสั้นเช่นเซนเซอร์ มักมีการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลในระยะสั้นๆไม่ไกลมาก แต่มีประสิทธิภาพในการทำงานได้เป็นอย่างดี จึงมีการศึกษาค้นคว้าพัฒนาระบบขึ้นเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานในชีวิตประจำวันให้เกิดประโยชน์ดังเช่น Bluetooth Zigbee รวมทั้ง Ultrawide Band โดยในส่วนถัดไปจะกล่าวถึง Zigbee ที่ได้ใช้ในงานวิจัยนี้

2.4 เทคโนโลยีไร้สาย Zigbee

Zigbee มาตรฐานสากล กำหนดโดย Zigbee Alliance [14] เป็นการสื่อสารแบบไร้สายที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำ ใช้พลังงานต่ำ ราคาถูก จุดประสงค์ก็เพื่อให้สามารถสร้างระบบที่เรียกว่า Wireless Sensor Network ได้ ซึ่งระบบนี้ จะสามารถทำงาน ในร่ม กลางแจ้ง ฝนแดด ฝน และอยู่ได้ด้วยแบตเตอรี่ก้อนเล็ก (เช่นถ่าน AA 2 ก้อน) นานเป็นเดือน เป็นปี เหมาะสมใช้งานกับพวก Monitoring ต่าง ๆ Zigbee กำหนด ย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐานไว้ 3 ย่านความถี่คือ ย่าน 2.4 GHz, ย่าน 915 MHz และย่าน 868 MHz โดยแต่ละย่านจะมีช่องสัญญาณ 16 ช่อง, 10 ช่อง และ 1 ช่อง ตามลำดับ ดังแสดงรูปที่ 2.3 ส่วนอัตรารับส่งข้อมูล จะอยู่ที่ 250 Kbps, 40 Kbps , 20 Kbps ตามลำดับเช่นกัน โดยในพื้นที่โล่งระยะสื่อสารประมาณ 200 เมตร สำหรับในอาคารมีระยะสื่อสารประมาณ 30 เมตร สามารถเพิ่มระยะสื่อสารได้โดยการเพิ่ม Intermediate Node หรือ Router

Zigbee นำ Physical Layer และ MAC Layer ของ IEEE 802.15.4 ซึ่งเป็นมาตรฐานการกำหนดการสื่อสารไร้สายแบบ WPAN (Wireless Personal Area Network) มาทำงานใน Layer ที่ต่ำกว่า (2 Layer ล่างสุด) เช่น เรื่องของระดับกำลังสัญญาณ Link Quality Access control Security แต่ใน Layer ถัดไปจะเป็นรูปแบบของ Zigbee



รูปที่ 2.3 ย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐาน Zigbee

Zigbee สามารถสร้างเป็นเครือข่ายได้ ทั้งนี้ Zigbee ได้อ้างอิงมาตรฐานตาม IEEE 802.15.4 โดยแบ่งชนิดอุปกรณ์ในเครือข่ายออกเป็น 2 ประเภท คือ FFD (Full Function Device) ซึ่งหมายถึง อุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้ทุกอย่างในเครือข่าย และ RFD (Reduce Function Device) ซึ่งหมายถึง อุปกรณ์ที่ถูกลดความสามารถการทำงานในเครือข่าย IEEE 802.15.4 รูปแบบอุปกรณ์ ดังนี้

Network Coordinator

- รักษาข้อมูลทั้งหมดของระบบ
- มีความซับซ้อนมากที่สุดในกระบวนการแผนภูมิต้นไม้
- ใช้หน่วยความจำและกระบวนการคำนวณมาก

Full Function Device (FFD)

- ใช้โหมดการทำงานของ IEEE 802.15.4 และลักษณะเฉพาะเจาะจงทั้งหมดโดยมาตรฐาน
- เพิ่มความจำ กำลังงานคำนวณทำให้เป็นอุดมคติสำหรับ Network Router Function
- สามารถใช้ใน Network Edge Devices ในขณะที่เครือข่ายติดต่อกับเครือข่ายอื่นๆ หรืออุปกรณ์ที่ไม่ได้ขึ้นอยู่ด้วย IEEE 802.15.4

Reduced Function Device (RFD)

- มีการจำกัดรูปแบบการทำงานที่ควบคุมเรื่องความซับซ้อน
- การใช้งานทั่วไปจะอยู่ใน Network Edge Devices

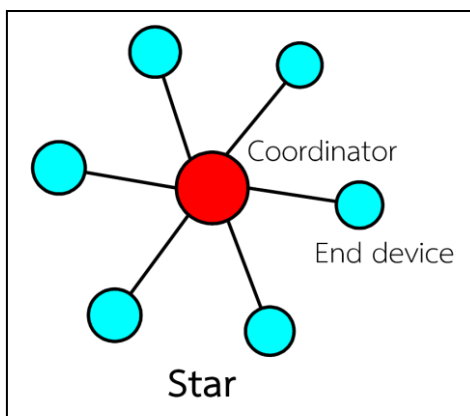
มาตรฐาน IEEE 802.15.4 เป็นมาตรฐานสำหรับการสื่อสารระยะใกล้ที่เน้นการใช้พลังงานต่ำ และเน้นการสื่อสารที่ทนต่อสภาพสัญญาณรบกวนสูงและเน้นที่ความง่ายเพื่อให้ชีพการสื่อสารมีราคาถูก ส่วนมาตรฐาน Zigbee เป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับการติดต่อเครื่องเซนเซอร์ชนิดต่างๆ เพื่อการพัฒนาแอปพลิเคชันเช่นเครื่องเซนเซอร์สำหรับ Home Automation ที่มีการสื่อสาร

ระหว่างเซนเซอร์ประตู่ การสื่อสารแบบ Zigbee กับกล้องเพื่อบันทึกภาพคนที่เข้ามาในบ้านเป็นแบบ Multi-Hop Routing ที่สามารถส่งข้อมูลไปยังเครื่องเซนเซอร์ที่ต้องการโดยผ่านเครื่องเซนเซอร์ตัวอื่นๆ ซึ่งคุณสมบัตินี้ไม่ได้รับการสนับสนุนในบลูทูธ การสื่อสารแบบ Zigbee ช่วยให้ขยายรัศมีการส่งของข้อมูลออกไปได้ Zigbee สำหรับในชั้นเน็ตเวิร์ค (Network Layer) ของ Zigbee จะอยู่บนพื้นฐานของระบบมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ซึ่งในชั้นเน็ตเวิร์ค สามารถรองรับได้ 3 แบบ คือแบบสตาร์ (Star) แบบเมชและวงแหวน (Ring Topology) การค้นหาเส้นทางด้วยตัวเอง (Multiple Routing Algorithms) เมื่อมีการเพิ่มจำนวนของเครื่องเซนเซอร์จากที่ Zigbee รองรับโทโปโลยีแบบเมช ซึ่งในตัว Zigbee นี้จะต้องมีโปรโตคอล (Aodv Protocol) ซึ่งการทำงานของ Aodv Protocol คือ การส่งข้อความ (Message) ผ่านไปยังโนดข้างเคียง (Neighbor Node) เพื่อไปยังโนดที่ต้นทางไม่สามารถติดต่อได้โดยตรง ในระหว่างทางที่ข้อความถูกส่งผ่านไปโปรโตคอล Aodv ก็จะมีการค้นหาเส้นทางไปด้วย โดยเชื่อว่าจะไม่เกิดการวนลูป (Loop) และพยายามหาเส้นทางที่สั้นที่สุด เพื่อประหยัดเวลาในการส่งข้อมูลและโปรโตคอล Aodv (Ad-hoc On-Demand Distance Vector Protocol) ยังสามารถที่จะควบคุมการเปลี่ยนแปลงของเส้นทาง (Route) และสามารถสร้างเส้นทางใหม่ได้หากเกิดข้อผิดพลาด ในงานวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Xbee ซึ่งมีคุณลักษณะสมบัติที่ตรงตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ทุกประการ

2.4.1 โครงสร้างของโปรโตคอล Zigbee

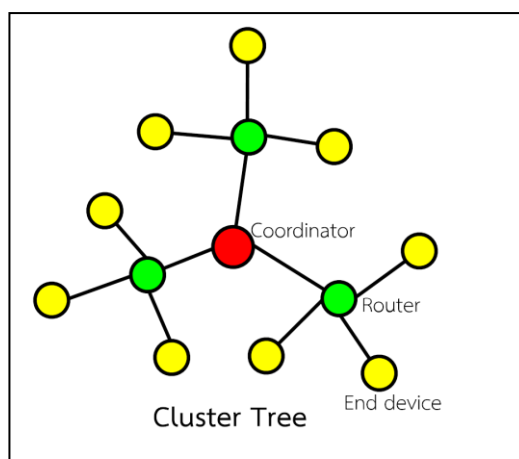
Application Layer เป็นชั้นที่มีส่วนของการทำงานบนเฟรม (Application Framework) ทำหน้าที่จัดการในการเข้าถึงและใช้งานบนเลเยอร์นั้น Application Support Sub-Layer ทำหน้าที่ในการสร้างเฟรม (Frame) และทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูล Network Layer ทำหน้าที่ใช้ในการหาเส้นทาง (Routing) ข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางที่อาจอยู่ภายในเครือข่ายเดียวกันหรือต่างเครือข่ายกัน

เครือข่ายแบบสตาร์ (Star Network) ประกอบด้วยจุดเชื่อมต่อโปรโตคอล Zigbee 1 จุด และอุปกรณ์ปลายทางหลาย ๆ จุด ในเครือข่ายแบบสตาร์ อุปกรณ์ปลายทางทั้งหมดจะสื่อสารกับอุปกรณ์เชื่อมต่อเท่านั้นถ้าอุปกรณ์ปลายทางหนึ่งต้องการสื่อสารกับอุปกรณ์ปลายทางอื่น ๆ ต้องส่งข้อมูลผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ อุปกรณ์เชื่อมต่อทำหน้าที่ส่งข้อมูลไปยังผู้รับ ดังรูปที่ 2.4



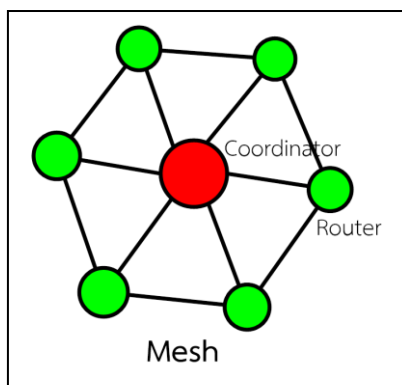
รูปที่ 2.4 เครือข่ายแบบสตาร์

เครือข่ายแบบต้นไม้ (Cluster Tree) ในเครือข่ายนี้อุปกรณ์ปลายทางจะสามารถเชื่อมต่อได้กับอุปกรณ์เชื่อมต่อหรือ Zigbee โปรโตคอลเราท์เตอร์ทำหน้าที่ 2 ประเภท คือเพิ่มจำนวนโหนดที่สามารถเชื่อมต่ออยู่บนเครือข่ายและขยายขนาดของเครือข่ายเนื่องจากเราท์เตอร์จะทำหน้าที่ส่งข้อมูลไปยังจุดต่างๆ ของเครือข่ายได้โดยที่อุปกรณ์ปลายทางไม่จำเป็นต้องอยู่ในระยะการส่งสัญญาณวิทยุ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เครือข่ายแบบต้นไม้

เครือข่ายแบบเมช (Mesh Network) เครือข่ายแบบเมชใช้กับเครือข่ายแบบต้นไม้ ยกเว้นอุปกรณ์ FFD สามารถส่งข้อมูลไปยัง FFD อื่นได้โดยตรงไม่ต้องผ่านโครงสร้างต้นไม้ ข้อมูลที่ส่งไปยัง RFD จะต้องทำการต่อผ่านอุปกรณ์ RFD ก่อนหน้าข้อดีของการเชื่อมต่อแบบนี้คือช่วยลดอัตราความล่าช้าของการส่งและเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 เครือข่ายแบบเมช

เครือข่ายแบบต้นไม้และเครือข่ายแบบเมช มีอีกชื่อว่า เครือข่ายหลายจุด (Multi-Hop) ขณะที่เครือข่ายแบบสตาร์เป็น เครือข่ายจุดเดียว (Single-Hop) เครือข่ายโปรโตคอล Zigbee เป็นเครือข่ายแบบเชื่อมต่อได้หลายอุปกรณ์พร้อมกันซึ่งหมายความว่าจุดเชื่อมต่อในเครือข่ายทุกจุดมีสิทธิในการเข้าถึงตัวกลางที่ใช้ในการสื่อสารเท่าๆกัน มีวิธีการเชื่อมต่อแบบหลายอุปกรณ์พร้อมกัน 2 วิธี ได้แก่ Beacon และ Non-Beacon การเชื่อมต่อแบบ Non-Beacon ทุกจุดเชื่อมต่อในเครือข่ายส่งข้อมูลได้ตลอดเวลาที่ช่องสัญญาณว่างอยู่ในเครือข่ายแบบ Beacon จุดเชื่อมต่อจะสามารถส่งข้อมูลได้ในช่วงเวลาที่ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าเท่านั้น

2.4.2 การทำงานของ Zigbee

แบ่งได้เป็น 3 แบบ ดังนี้

- 1) Coordinator มีหน้าที่สร้างการสื่อสาร เชื่อมโยงเครือข่าย ระหว่าง End Device กับ Router หรือ Coordinator กับ Coordinator ด้วยกัน หรือ Coordinator กับ Router กำหนดตำแหน่งที่อยู่ ให้กับอุปกรณ์ที่อยู่ในเครือข่าย ไม่ให้ซ้ำกัน ดูแลจัดการเรื่องการจัดการ เส้นทาง ซึ่งเทียบได้กับ FFD
- 2) End Device เป็นอุปกรณ์ปลายทางสุด ซึ่งจะใช้รับสัญญาณจากเซนเซอร์ที่ปลายทาง โดยที่ใช้พลังงานต่ำในการทำงาน เทียบได้กับ RFD หรือ FFD บางกรณี ขึ้นอยู่กับเซนเซอร์ที่ใช้
- 3) Router มีหน้าที่ รับส่งข้อมูล ในเส้นทางต่าง ๆ ของเครือข่ายและหาเส้นทางที่ใกล้ที่สุดซึ่งจะต้องใช้เวลาน้อยที่สุด

2.5 การบีบอัดข้อมูล

การบีบอัดข้อมูล (Data Compression) เป็นวิธีการลดขนาดของข้อมูลให้มีขนาดเล็กลง เพื่อช่วยลดความคับคั่งในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย และสามารถลดพลังงานในการส่งข้อมูลทำให้อุปกรณ์ของระบบสามารถใช้งานได้เป็นเวลานาน ซึ่งการแปลงเวฟเลิตเป็นอีคิวีการหนึ่งที่ช่วยลด

ขนาดของข้อมูล ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาวิธีการดังกล่าว เนื่องจากการบีบอัดข้อมูลในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ได้มีการทำงานในระบบสมองกลฝังตัว ซึ่งมีหน่วยความจำและพลังงานที่จำกัด การแปลงเวฟเลตจึงเหมาะกับการนำมาใช้ในงานวิจัยนี้

2.5.1 การแปลงเวฟเลต (Wavelet Transform)

การแปลงเวฟเลต [10] เป็นแนวความคิดใหม่ที่เพิ่งเกิดขึ้น ซึ่งถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อใช้กับสัญญาณหรือสัญญาณภาพที่ต้องการข้อมูลทางด้านเวลาและความถี่ โดยใช้หลักในการแทนคลื่นใด ๆ ด้วยคลื่นเล็ก ๆ ที่มีความยาวและพลังงานจำกัดทำให้ได้ทั้งเวลาและความถี่ของคลื่นใด ๆ นั้น การแปลงเวฟเลตได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาที่ไม่สามารถกระทำได้ในการแปลงฟูริเยร์ (Fourier Transform) บ่อยครั้งที่การแปลงเวฟเลตถูกนำไปเปรียบเทียบกับ การแปลงฟูริเยร์ จุดแตกต่างหลักของการแปลงทั้งสอง คือ การแปลงเวฟเลตเป็นการพิจารณาความถี่ที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา ทำให้ผลลัพธ์การแปลงที่ได้ให้ข้อมูลทั้งในแกนเวลาและแกนความถี่ ในขณะที่การแปลงฟูริเยร์เป็นการพิจารณาความถี่โดยรวมตลอดสัญญาณอินพุต อย่างไรก็ตามมีความพยายามที่จะเปรียบเทียบการแปลงเวฟเลตกับการแปลงฟูริเยร์ในช่วงเวลาสั้นๆ (Short Time Fourier Transform; STFT) ซึ่งพิจารณาข้อมูลทั้งเวลาและความถี่โดยอาศัยการเลื่อนหน้าต่างเพื่อทำการแปลง เมื่อเปรียบเทียบผลการแปลงสัมประสิทธิ์ด้วยเทคนิคทั้งสองแล้ว การแปลงเวฟเลตจะให้ผลลัพธ์การเป็นตัวแทนสัญญาณได้ดีกว่าโดยผ่านทางทฤษฎีการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายความละเอียด (Multiresolution Analysis)

เวฟเลต เป็นการวิเคราะห์สัญญาณแบบ Multiresolution โดยการแปลงเวฟเลตจะได้ผลลัพธ์เป็นค่าสัมประสิทธิ์เวฟเลต (Wavelet Coefficient) การแปลงเวฟเลตจะเป็นการแปลงค่าสัมประสิทธิ์ผ่านฟังก์ชันหน้าต่าง แต่ฟังก์ชันหน้าต่างนี้สามารถเลื่อนตำแหน่งและปรับเปลี่ยนช่วงเวลาให้เหมาะสมกับความถี่ที่จะวิเคราะห์ โดยเรียกฟังก์ชันหน้าต่างนี้ว่า ฟังก์ชันเวฟเลต (Wavelet Function)

ทฤษฎีเวฟเลตใช้ในการอธิบายสิ่งใดสิ่งหนึ่งที่เสมือนกับการแยกสิ่งเหล่านั้นออกเป็น ส่วนประกอบเล็ก ๆ ที่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งอยู่ในรูปของเวฟเลตที่ถูกปรับขนาดและเลื่อนตำแหน่งและมีค่าถ่วงน้ำหนัก (สัมประสิทธิ์เวฟเลต) ต่างๆ กันขึ้นอยู่กับเวฟเลตแต่ละตัว การทำส่วนการแปลงกลับเวฟเลต (Inverse Wavelet Transform; IWT) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การแปลงกลับเวฟเลต (Wavelet Reconstruction)

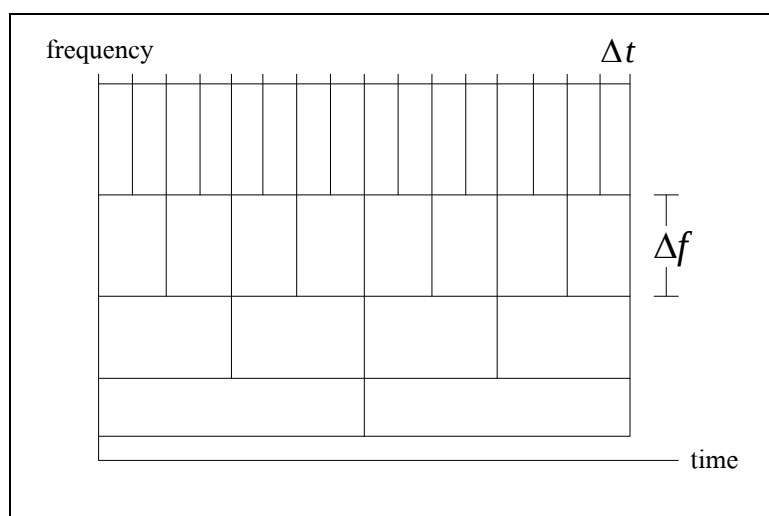
ให้ $f(t)$ เป็นสัญญาณที่ประกอบด้วยหลายความถี่ ถ้าเราพิจารณาในรูปแบบ 2 มิติ โดยแกนหนึ่งเป็นแกนเวลา และอีกแกนหนึ่งเป็นแกนของความถี่ ดังนั้นสามารถเขียนสมการสำหรับการแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่อง (CWT) ที่ใช้ในการแตกกระจายเวฟเลตของสัญญาณของฟังก์ชันใดๆ $f(t)$ ด้วยเวฟเลตแม่ $M(t)$ เป็นดังนี้

$$W_M(a, b) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) M^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad (2.1)$$

โดย * คือ Complex Conjugate ของ $M(t)$

$M(t)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตที่ได้เป็นผลลัพธ์

ค่า $M(t)$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้เป็นผลลัพธ์ ซึ่งอาจมองได้ว่าเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Cross-Correlation) ระหว่างสัญญาณที่พิจารณา $f(t)$ และฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ (Mother Wavelet) โดย $M(t)$ ที่ถูกเลื่อนตำแหน่งด้วยพารามิเตอร์ b และสเกลความถี่ด้วยพารามิเตอร์ a ซึ่งจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเป็นช่วงเวลาและความถี่ที่สัมพันธ์กันคือ ในช่วงเวลาความถี่สูงจะใช้ช่วงเวลาการวิเคราะห์สั้นและในช่วงความถี่ต่ำจะมีช่วงเวลาในการวิเคราะห์ที่ยาวนานขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.7 ซึ่งเหมาะสมกับลักษณะสัญญาณในทางปฏิบัติ



รูปที่ 2.7 ระบายและความถี่การเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาและความถี่ที่สัมพันธ์กันของการแปลงเวฟเล็ต [10]

2.5.2 การแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Wavelet Transform; DWT)

การแปลงเวฟเล็ตสามารถทำได้ทั้งแบบต่อเนื่อง (Continuous Wavelet Transform; CWT) และแบบไม่ต่อเนื่อง แต่ในที่นี้กล่าวเฉพาะการแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่องเท่านั้น ฟังก์ชันการแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่องนี้เป็นการปรับสเกลความถี่ (Scale) และค่าการเลื่อนตำแหน่ง (Translate) ที่ไม่ต่อเนื่องด้วย โดยการแปลงเวฟเล็ตจะทำการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแปลง $DWT_{j,k}$ จากการหาความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุต $f(x)$ กับฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ $M(x)$ ที่เลือกใช้ในแต่ละสเกล (j) และการเลื่อนตำแหน่ง (k) ดังสมการที่ 2.2 และสมการที่ 2.3

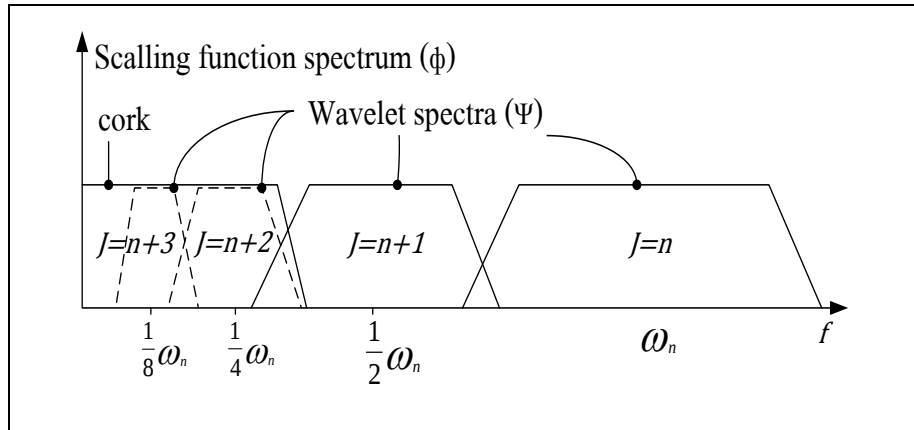
การเลื่อนตำแหน่ง (k) ของฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ ซึ่งแน่นอนย่อมถูกจำกัดด้วยช่วงของสัญญาณที่ทำการวิเคราะห์ $[0, N - 1]$ แต่เมื่อพิจารณาขอบเขตการปรับความถี่ของฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ จะพบว่าเมื่อเราทำการปรับขนาดของฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ในแกนเวลาด้วยน้ำหนักกำลังสอง (2^j) เทียบได้กับการลดขอบเขตช่วงของความถี่ลงครึ่งหนึ่ง จากคุณสมบัติฟูรีเยร์ในสมการที่ 2.4

$$DWT_{j,k} = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[2^j \sum_{x=0}^{N-1} f(x) W_{j,k}(x) \right] \quad (2.2)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{N}} \left[2^j \sum_{x=0}^{N-1} f(x) M(2^j x - k) \right] \quad (2.3)$$

$$F\{f(at)\} = \frac{1}{|a|} F\left(\frac{\omega}{a}\right) \quad (2.4)$$

ดังนั้นการยืดขยายฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ไปสองเท่าจะเป็นการลดช่วงกว้างของความถี่ที่วิเคราะห์ลงครึ่งหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การลดช่วงกว้างของความถี่ทีละครึ่งหนึ่งสำหรับค่าแต่ละค่าสเกล [10]

ดังนั้นหากต้องการวิเคราะห์สมบัติความถี่เวฟเล็ตย่อยลงไปในลักษณะที่ความถี่ถูกปรับลดลงทีละครึ่ง และต้องการวิเคราะห์ความถี่ต่ำที่ความถี่ศูนย์ $f = 0$ จำเป็นต้องทำการแบ่งช่วงความถี่ย่อยลงไปถึงจำนวนอนันต์ค่า จึงจะสามารถวิเคราะห์ความถี่ต่ำลงไปจนครอบคลุมถึงความถี่ศูนย์ได้ ซึ่งในทางปฏิบัตินั้นใช้เวลานานเกินไป และถ้าเป็นในกรณีของสัญญาณไม่ต่อเนื่องนั้นเป็นไปได้เลยที่จะทำการวิเคราะห์ความถี่ศูนย์ได้ ดังนั้นสามารถวิเคราะห์ความถี่ต่ำที่ผ่านตำแหน่งความถี่

ศูนย์ (Low Pass Spectrum) แยกออกจากช่วงความถี่สูง (High Pass Spectrum) แทนการพยายามวิเคราะห์ความถี่ย่อยลงเป็นจำนวนอนันต์ครั้ง โดยฟังก์ชันที่วิเคราะห์ช่วงความถี่ต่ำเรียกว่า สเกลลิงฟังก์ชัน (Scaling Function; $S(f)$) และฟังก์ชันที่วิเคราะห์ช่วงความถี่สูงจะเรียกว่า เวฟเล็ตฟังก์ชัน (Wavelet Function; $W(t)$)

สเกลลิงฟังก์ชัน (Scaling Function)

คุณสมบัติของสเกลลิงฟังก์ชันค่าโมเมนต์ที่ศูนย์จะต้องไม่เป็นศูนย์ ดังแสดงในสมการที่

2.5

$$\int_{-\infty}^{\infty} S(t)dt = 1 \quad (2.5)$$

สามารถทำการแปลงสัมประสิทธิ์ความถี่ต่ำของเวฟเล็ต (Scaling Coefficients; DWT_s) ด้วยสเกลลิงฟังก์ชัน $S(t)$ ดังแสดงในสมการที่ 2.6

$$DWT_s(j_0, k) = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[2^{j_0/2} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) S(2^{j_0}x - k) \right] \quad (2.6)$$

โดย j_0 คือ ค่าสเกลความถี่สิ้นสุดของสเกลลิงฟังก์ชัน

k คือ ค่าตำแหน่งการเลื่อน

เวฟเล็ตฟังก์ชัน (Wavelet Function)

$$DWT_w(j, k) = \frac{1}{\sqrt{N}} [2^{j/2}] \sum_{x=0}^{N-1} f(x) W(2^j x - k) \quad (2.7)$$

โดย j คือ ค่าสเกลความถี่เริ่มต้นที่ j_0

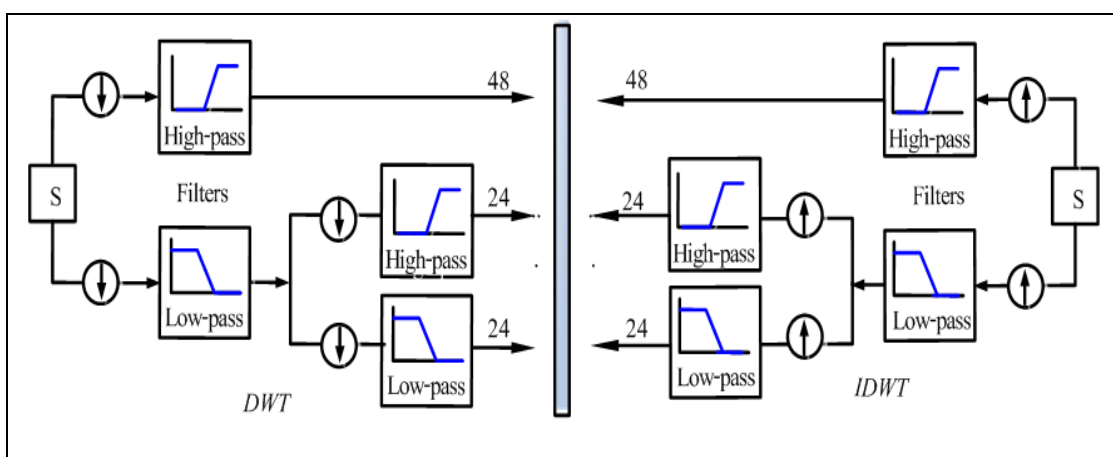
k คือ ค่าตำแหน่งการเลื่อน

การแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตด้วยสเกลลิงฟังก์ชันและเวฟเล็ตฟังก์ชัน และบางครั้งถูกเรียกว่า การแยกองค์ประกอบความถี่ของเวฟเล็ต (Wavelet Decomposition) ในบางครั้งสเกลลิงฟังก์ชันอาจเรียกว่า ฟังก์ชันการประมาณค่า (Approximation Function) ในขณะที่เวฟเล็ตฟังก์ชันอาจเรียกว่า ฟังก์ชันรายละเอียด (Detail Function) ได้เช่นกัน

2.5.3 การแปลงกลับเวฟเลต (Inverse Discrete Wavelet Transform)

การแปลงเวฟเลตเพื่อทำการสร้างคืน (Reconstruction) สัญญาณอินพุตต้นฉบับ $f(x)$ โดยการคำนวณผลรวมของความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์เวฟเลตและฟังก์ชันการแปลงสัมประสิทธิ์จากทางสเกลถึงฟังก์ชันและเวฟเลตฟังก์ชันของแต่ละสเกล (j) และการเลื่อนตำแหน่ง (k) ดังแสดงในสมการที่ 2.8

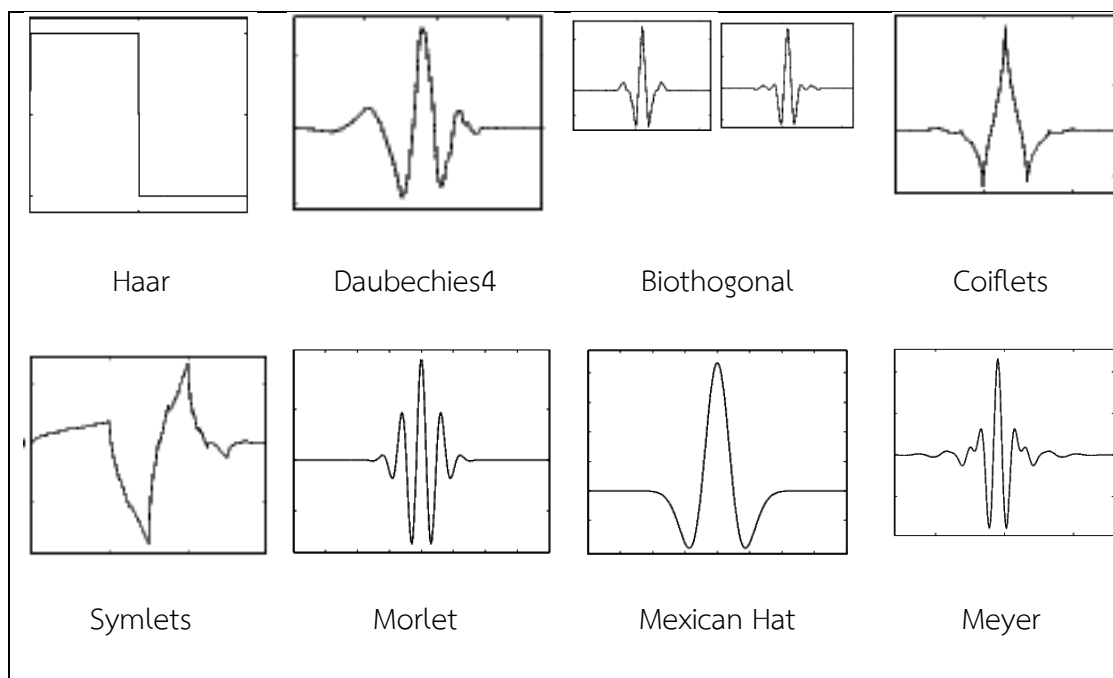
$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_k DWT_s(j_0, k) 2^{j_0/2} S_{j_0, k}(2^{j_0} x - k) + \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{j=j_0}^{\infty} \sum_k DWT_w(j, k) 2^{j/2} W_{j, k}(2^j x - k) \quad (2.8)$$



รูปที่ 2.9 การแตกกระจายสัญญาณและการรวมกลับสัญญาณของเวฟเลต

2.5.4 ฟังก์ชันเวฟเลตแม่ (Mother Wavelet)

ฟังก์ชันเวฟเลตแม่เป็นฟังก์ชันต้นแบบที่จะถูกนำไปใช้เพื่อแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเลตสำหรับแต่ละสเกลและตำแหน่ง โดยมีผู้นำเสนอฟังก์ชันเวฟเลตแม่หลากหลายฟังก์ชัน ตัวอย่างเช่น Haar, Daubachies, Gaussian or Spline, Biorthogonal, Mexican Hat, Coiflet Wavelet เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.10



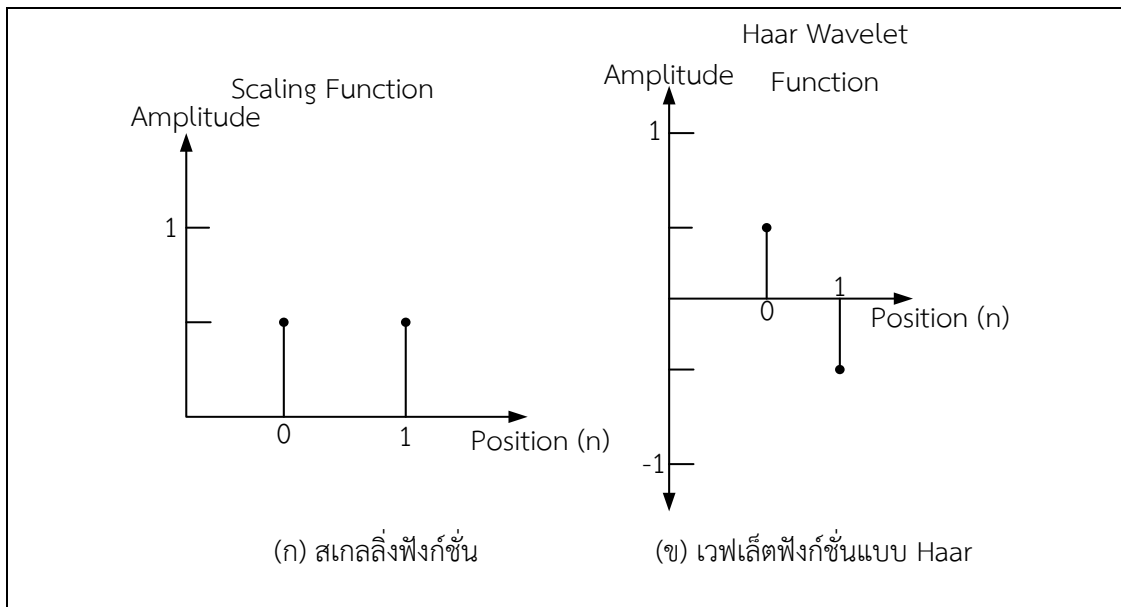
รูปที่ 2.10 ฟังก์ชันเวฟเลตแม่ชนิดต่างๆ

1) ฟังก์ชันเวฟเลตแม่แบบ Haar (Haar Mother Wavelet)

ฟังก์ชันเวฟเลตแม่แบบ Haar เป็นฟังก์ชันเวฟเลตที่นำมาประยุกต์ใช้ได้ง่ายที่สุด ใช้เวลาในการประมวลผลสั้นและใช้หน่วยความจำในการคำนวณอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้อะเรย์ชั่วคราว (Temporary Array) ในการเก็บข้อมูลระหว่างการประมวลผล ดังเช่น ฟังก์ชันเวฟเลตแม่ตัวอื่นๆ นอกจากนี้ฟังก์ชันเวฟเลตแม่แบบ Haar ยังมีคุณสมบัติตั้งฉาก (Orthogonality) นั่นคือ ฟังก์ชันเวฟเลตทุกฟังก์ชันจะตั้งฉากกันทั้งหมด โดยค่าของฟังก์ชันเวฟเลตแม่แบบ Haar เป็นดังสมการที่ 2.9

$$gH(t) = \begin{cases} 1 & 0 < t < 1/2 \\ -1 & 1/2 < t < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.9)$$

ค่าของฟังก์ชันเวฟเลตแม่แบบ Haar จะทำการหาค่าเฉลี่ยและค่าผลต่างของข้อมูลในตำแหน่งข้างเคียง โดยค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลตในช่วงความถี่ต่ำ และค่าผลต่างที่คำนวณได้จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลตในช่วงความถี่สูง



รูปที่ 2.11 คุณสมบัติของเวฟเลตแบบ Haar [10]

2) ฟังก์ชันเวฟเลตแม่แบบ Daubechies (Daubechies Mother Wavelet)

ฟังก์ชันแม่ของการแปลงเวฟเลตแบบนี้ เรียกชื่อนักคณิตศาสตร์ผู้คิดค้นคือ Ingrid Daubechies เป็นหนึ่งในกลุ่มของฟังก์ชันเวฟเลตแม่ที่มีคุณสมบัติตั้งฉาก (Orthogonal Wavelet) โดยเป็นฟังก์ชันไม่ต่อเนื่อง (Discrete Function) ที่คุณสมบัติของฟังก์ชันถูกกำหนดด้วยจำนวนค่าของโมเมนต์ที่หายไป (Vanishing Moment) สูงสุด ตามเงื่อนไขต่อไปนี้

1. ฟังก์ชันพื้นฐาน D_M มีคุณสมบัติมีค่ากระชับ (Compact Support) ในช่วง $[0, 2r+1]$ และจะเข้าสู่ศูนย์เมื่อออกนอกช่วง
2. ค่าโมเมนต์ลำดับที่ $0 - r$ มีค่าเป็นศูนย์

$$\int_{-\infty}^{\infty} D_M(x) dx = \dots = \int_{-\infty}^{\infty} x^r D_M(x) dx = 0 \quad (2.10)$$

3. ฟังก์ชันพื้นฐาน D_M มีค่าอนุพันธ์ต่อเนื่องได้ถึงอนุพันธ์อันดับที่ $r/5$

ฟังก์ชันเวฟเลตแบบ Daubechies มีตั้งแต่ $D_2 - D_{20}$ โดยค่าตัวเลขจะกำหนดจำนวนของสัมประสิทธิ์ทั้งหมดของฟังก์ชันเวฟเลต Daubechies แต่ละฟังก์ชันจะมีค่าโมเมนต์ที่หายไปเป็นจำนวนครึ่งหนึ่งของจำนวนค่าสัมประสิทธิ์ ตัวอย่างเช่น D_2 หรือเทียบได้กับฟังก์ชันเวฟเลตแบบ Haar ซึ่งมีจำนวนโมเมนต์ที่หายไป 1 ค่า และเช่นเดียวกันกับ D_4 จะมีจำนวนโมเมนต์ที่หายไป 2 ค่า

จำนวนค่าโมเมนต์ที่หายไปเป็นตัวกำหนดความสามารถในการแทนค่าสมการที่มีความสัมพันธ์แบบพหุนาม (Polynomial) ของพฤติกรรมหรือข้อมูลของสัญญาณที่ต้องการ

พิจารณา ตัวอย่างเช่น D_2 ที่มีเพียงโมเมนต์ค่าเดียวสามารถสร้างเป็นตัวแทนฟังก์ชันโพลิโนเมียลสำหรับหนึ่งสัมประสิทธิ์หรือแทนค่าได้เพียงองค์ประกอบที่คงที่ของสัญญาณเท่านั้น ในขณะที่ D_4 สามารถเข้ารหัสฟังก์ชันโพลิโนเมียลได้ 2 สัมประสิทธิ์ คือ ค่าคงที่และสัมประสิทธิ์เชิงเส้นขององค์ประกอบของสัญญาณและ D_6 ทำให้เราสามารถประมาณสัญญาณที่อยู่ในรูปของฟังก์ชันโพลิโนเมียล 3 สัมประสิทธิ์ คือ ค่าคงที่ ค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้น และความสัมพันธ์เชิงซ้อนกำลังสอง (Second Order Polynomial) ขององค์ประกอบของสัญญาณที่ทำการวิเคราะห์

Daubechies สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นฟังก์ชันการกรองความยาวจำกัด (Finite Length Filter) ได้ง่าย ด้วยฟังก์ชันการกรองความยาวจำกัดนี้เป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงตำแหน่งเฉพาะพื้นที่ได้ (Spatial Domain Localization) และยังมีคุณสมบัติที่สามารถวิเคราะห์ความต่อเนื่องของการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันต่อการหาอนุพันธ์ต่อเนื่อง (Continuous Derivatives Analyze) และสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาการเกิดสัญญาณรบกวนบริเวณขอบของการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลหรือเส้นขอบของวัตถุ (Edge Artifacts) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต มีลักษณะคล้ายกับการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลด้วยตัวถ่วงน้ำหนักซึ่งค่าตัวถ่วงน้ำหนัก คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันเวฟเล็ตที่เลือกใช้นั่นเอง และด้วยการออกแบบที่เหมาะสมของค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่แบบ Daubechies ทำให้สามารถรักษาแนวโน้มของข้อมูลได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตที่ความถี่ต่ำถึงแม้ว่าการแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตแบบ Daubechies อาจไม่สามารถให้ผลดีกว่าเวฟเล็ตแบบ Haar ได้ทุกรูปแบบของการประยุกต์ใช้งาน แต่มิงานวิจัยที่ศึกษาพบว่า การแปลงสัมประสิทธิ์ด้วยเวฟเล็ตแบบ Daubechies ให้ผลการวิเคราะห์สัญญาณได้ดีในหลากหลายรูปแบบการทดลอง จากการพิจารณารูปร่างของฟังก์ชันเวฟเล็ตแบบ Haar เทียบกับฟังก์ชันเวฟเล็ตแบบ Daubechies พบว่าสัญญาณที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด (Sharp Spike) สามารถวิเคราะห์ได้ดีกว่าด้วยเวฟเล็ตแบบ Daubechies นอกจากนี้ยังสามารถถ่ายโอนพลังงาน (Energy) ส่วนใหญ่ของสัญญาณไว้ในช่วงความถี่ต่ำและเหลือพลังงานปริมาณน้อยอยู่ในช่วงความถี่สูง ซึ่งแตกต่างจากฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่แบบอื่น มีการถ่ายโอนพลังงานไปยังช่วงความถี่สูงมากกว่าเมื่อข้อมูลถูกบีบอัดในช่วงความถี่สูงนี้ มักจะถูกตัดทิ้งเพื่อลดขนาดของข้อมูล

3) ฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่แบบ Biorthogonal (Biorthogonal Mother Wavelet)

ในการแยกองค์ประกอบหรือการหาสัมประสิทธิ์การแปลงฟังก์ชันพื้นฐานส่วนใหญ่ มักจะมีคุณสมบัติตั้งฉาก แต่ในความเป็นจริงฟังก์ชันพื้นฐานการแปลงไม่จำเป็นต้องมีคุณสมบัติตั้งฉากเสมอไป ดังนั้นเพื่อความยืดหยุ่นในการสร้างฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ที่จะใช้เป็นพื้นฐานในการแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตสามารถลดเงื่อนไขการตั้งฉาก เนื่องจากการออกแบบให้ฟังก์ชันเวฟเล็ตมีคุณสมบัติทั้งตั้งฉาก (Biorthogonal) กระชับ (Compactly Support) และสมมาตร (Symmetric) พร้อมๆ กันนั้นเป็นไปได้ยาก ส่วนใหญ่แล้วฟังก์ชันที่มีคุณสมบัติกระชับและสมมาตรมักจะต้องสูญเสีย

คุณสมบัติดังกล่าวไป แต่การสูญเสียนี้อาจไม่ทำให้ผลร้ายแรงนัก ถ้าสามารถออกแบบฟังก์ชันการแปลงหลายระดับความละเอียด (Multi Resolution) เป็นฟังก์ชันชุดคู่ที่ประกอบด้วยฟังก์ชันหลัก (Primary Basic Function) และฟังก์ชันคู่เทียบ (Dual Basic Approximation) 2 ชุด คือ $A_w(j), \tilde{A}_w(j)$ และฟังก์ชันเวฟเล็ตที่ใช้กรองสัญญาณความถี่สูง (Detail Wavelet; $D_w(j)$) 2 ชุด คือ $D_w(j), \tilde{D}_w(j)$ โดยเป็นฟังก์ชันชุดคู่

1. มีคุณสมบัติการตั้งฉากระหว่างฟังก์ชันคู่เทียบของตัวเอง

$$\langle A_w(t), \tilde{A}_w(t - k) \rangle = \delta(k) \quad (2.11)$$

$$\langle D_w(t), \tilde{D}_w(t - k) \rangle = \delta(k) \quad (2.12)$$

2. มีคุณสมบัติตั้งฉากระหว่างฟังก์ชันหลักของฟังก์ชันเวฟเล็ตกรองความถี่ต่ำ $A_w(j)$ และฟังก์ชันคู่เทียบของฟังก์ชันเวฟเล็ตกรองความถี่สูง $\tilde{D}_w(j)$

$$\langle A_w(t), \tilde{D}_w(t - k) \rangle = 0 \quad (2.13)$$

3. มีคุณสมบัติตั้งฉากระหว่างฟังก์ชันหลักของฟังก์ชันเวฟเล็ตกรองความถี่สูง $D_w(j)$ และฟังก์ชันคู่เทียบของฟังก์ชันเวฟเล็ตกรองความถี่ต่ำ $\tilde{A}_w(j)$

$$\langle D_w(t), \tilde{A}_w(t - k) \rangle = 0 \quad (2.14)$$

ฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ที่มีคุณสมบัติ Biorthogonal มีความสามารถในการรวบรวม (Capturing) ค่ากำลังของสัญญาณที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วด้วยการใช้จำนวนของค่าสัมประสิทธิ์ที่น้อย ดังนั้นเทคนิคของการแปลงเวฟเล็ตแบบนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานทางด้านการประมวลผลสัญญาณ สำหรับการประมาณสัญญาณ (Signal Approximation) นี่เป็นปัญหาที่สำคัญของการแทนสัญญาณด้วยองค์ประกอบจำนวนน้อยที่สุดเท่าที่มีความเป็นไปได้ ซึ่งคุณสมบัติการลดขนาดของข้อมูลภาพด้วยการแทนสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตจำนวนน้อย เป็นพื้นฐานการบีบอัดภาพด้วยเวฟเล็ต ตัวอย่างฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ เช่น Daubechies 9/7 ซึ่งนิยมใช้ในการแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตเพื่อบีบอัดไฟล์รูปภาพแบบสูญเสียข้อมูล (Lossy Compression) และ LeGall 5/3 ซึ่งนิยมเพื่อบีบอัดไฟล์รูปภาพแบบไม่มีการสูญเสียข้อมูล (Lossless Compression) ในมาตรฐาน JPEG2000 และได้รับการยอมรับว่าเป็นฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ที่ให้ผลการบีบอัดข้อมูลที่ดี

จะสังเกตได้ว่าสัมประสิทธิ์ในการแปลงเวฟเล็ตของฟังก์ชันแม่แบบ Biorthogonal นี้จะมีจำนวนค่าสัมประสิทธิ์ในการกรองสำหรับฟังก์ชันหลักและฟังก์ชันคู่เทียบไม่เท่ากัน เช่น ฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่แบบ Daubechies 9/7 โดยจำนวนค่าสัมประสิทธิ์การกรองมีจำนวน 9 และ 7 ค่า เพื่อใช้ในการแปลงเวฟเล็ต (Decomposition Wavelet; Analysis Filter) และค่าสัมประสิทธิ์ในการแปลงกลับเวฟเล็ต (Reconstruction Wavelet; Synthesis Filter)

นอกจากนี้ฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่แบบ Biorthogonal ยังมีคุณสมบัติสมมาตรและกระชับ คุณสมบัติสมมาตรนี้เป็นคุณสมบัติที่ต้องการในการสร้างฟังก์ชันการกรองเนื่องจากให้ผลลัพธ์ของฟังก์ชันการแปลงที่ให้ความสัมพันธ์ของเฟสเชิงเส้น (Linear Phase)

4) การสร้างเวฟเล็ตแม่แบบจากฟังก์ชันพัลส์สี่เหลี่ยม (Two Scale Relation from Rectangular Pulse)

การสร้างฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่แบบสามารถสร้างได้จากการถ่วงน้ำหนักของลำดับของพัลส์สี่เหลี่ยมที่มีการสเกลและเลื่อนตำแหน่ง ซึ่งการออกแบบค่าถ่วงน้ำหนักสามารถออกแบบได้เช่นเดียวกับการออกแบบสัมประสิทธิ์การกรองสัญญาณ สมการฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ ดังสมการที่ 2.15

$$M(x) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h_k P\left(\frac{2x}{s} - k\right) \quad (2.15)$$

$$P(x) = \begin{cases} 1 & ; 0 \leq t \leq 1 \\ 0 & ; otherwise \end{cases} \quad (2.16)$$

1. ทำการแทนค่าฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ซึ่งอยู่ในรูปแบบของผลรวมของการถ่วงน้ำหนักฟังก์ชันพัลส์สี่เหลี่ยมในสมการแปลง

$$W_M(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_n \sqrt{2} P(2t - n)$$

$$W_M(2^j x - k) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_n \sqrt{2} P(2(2^j x - k) - n)$$

$$= \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_n \sqrt{2} P(2^{j+1} x - 2k - n); k = 2k + n$$

$$= \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_{m-2k} \sqrt{2} P(2^{j+1}x - m); \quad n = m - 2k \quad (2.17)$$

2. นำฟังก์ชันเวฟเลตแม่มาทำการแปลงเวฟเลต

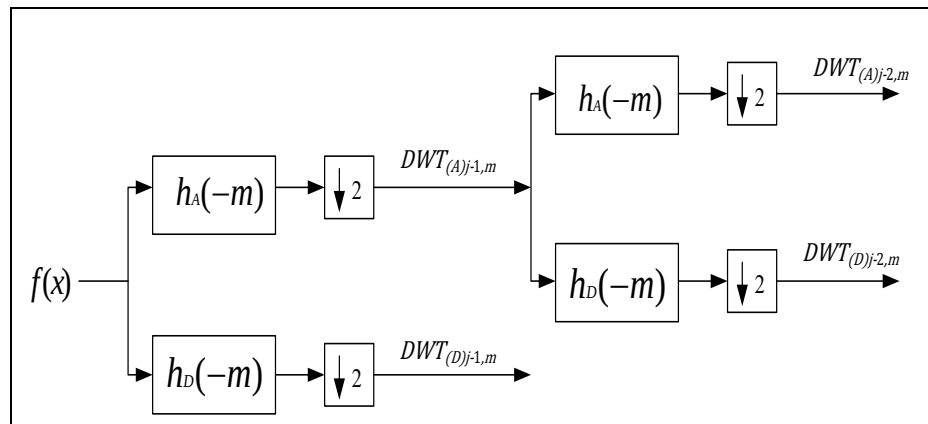
$$DWT_{j,k} = \frac{2^{j/2}}{\sqrt{N}} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_{m-2k} \sqrt{2} P(2^{j+1}x - m) \quad (2.18)$$

3. ทำการจัดเรียงสมการใหม่จะพบว่าการแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเลตเป็นการแปลงแบบเป็นลำดับที่เกิดจากการคอนโวลูชัน (Convolution) ระหว่างสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันเวฟเลตแม่กับสัมประสิทธิ์เวฟเลตที่สเกลก่อนหน้า และทำการลดการสุ่มตัวอย่าง (Down Sampling) ด้วยองค์ประกอบ (Factor)

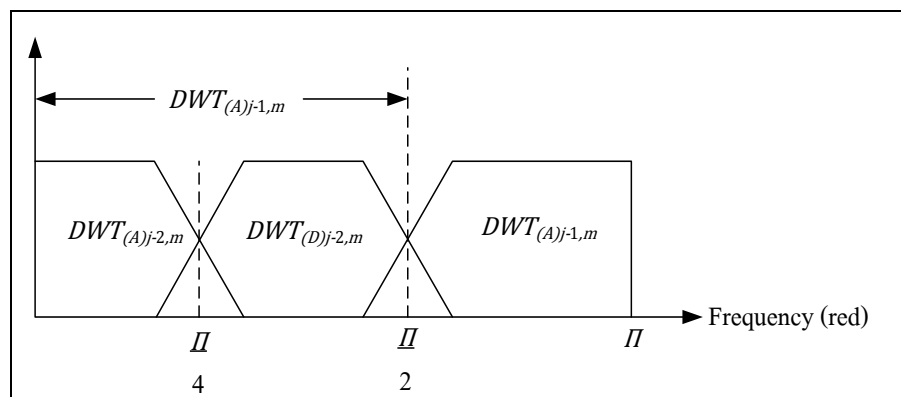
$$\begin{aligned} DWT_{j,k} &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{n=-\infty}^{\infty} 2^{\frac{j+1}{2}} f(x) h_{m-2k} P(2^{j+1}x - m) \\ &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} h_{m-2k} \frac{2^{\frac{j+1}{2}}}{\sqrt{N}} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) P(2^{j+1}x - m) \\ &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} h_{m-2k} DWT_{j+1,m} \\ &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} h_{(-2k-(-m))} DWT_{j+1,m} \\ &= h_{-m} * DWT_{j+1,m} |_{m=2k, k \geq 0} \end{aligned} \quad (2.19)$$

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ของตัวถ่วงน้ำหนักในฟังก์ชันเวฟเลตแม่นี้จึงเป็นค่าสัมประสิทธิ์ตัวกรองสัญญาณนั่นเอง และการแปลงสัมประสิทธิ์จะทำการหาความสัมพันธ์ของสัญญาณกับตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (Approximation Function; $h_A(-m)$) และตัวกรองความถี่สูง (Detail Function; $h_D(-m)$) ซึ่งผลลัพธ์เหลือเพียงครึ่งหนึ่งของสัญญาณที่นำมาวิเคราะห์ และสามารถทำ

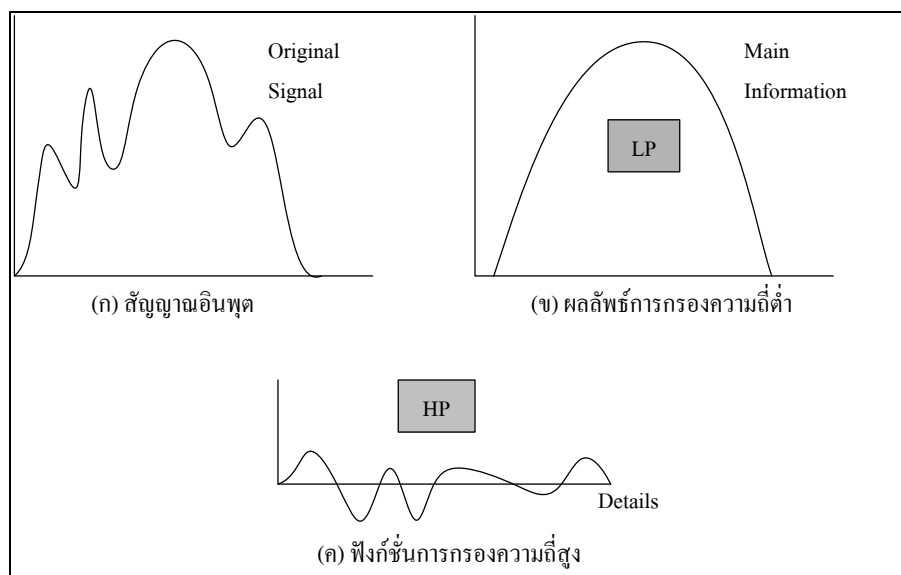
การแปลงต่อไปอย่างเป็นลำดับของความละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 2.12 - 2.14 ทำให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ละเอียดขึ้นในช่วงความถี่เฉพาะที่สนใจ



รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการแปลงสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตแบบ Multi Resolution [10]



รูปที่ 2.13 การแบ่งสัดส่วนความถี่ในการกรองแต่ละลำดับชั้น [10]



รูปที่ 2.14 ขั้นตอนการแปลงเวฟเล็ดแบบหลายระดับ [10]

2.5.5 การวัดคุณภาพของการบีบอัดข้อมูล

การพิจารณาคุณภาพของข้อมูลสภาพแวดล้อมที่ผ่านการบีบอัดมีการใช้สมการต่างๆเพื่อหาคุณภาพ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในการหาคุณภาพของข้อมูลจะพิจารณาค่าสัญญาณต้นฉบับหรือข้อมูลต้นฉบับเทียบกับค่าของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น ซึ่งในกระบวนการบีบอัดข้อมูลสภาพแวดล้อมจะเกิดการสูญเสียขึ้นทำให้ต้องหาคุณภาพของสัญญาณ โดยในการประมวลผลสัญญาณนิยมใช้อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) ในการหาคุณภาพของสัญญาณ มีการหาค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการบีบอัดข้อมูล เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่สร้างกลับกับข้อมูลต้นฉบับจากค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง ($RMSE$) และการหาค่าอัตราการบีบอัดข้อมูล (Compression Ratio; CR)

2.5.5.1 อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR)

SNR คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน มีหน่วยเป็นเดซิเบล ซึ่งค่า SNR นิยมใช้ในการหาคุณภาพของสัญญาณประเภทต่างๆ เนื่องจากง่ายต่อการหาคุณภาพของสัญญาณ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.20 มีที่มาจากงานวิจัยของ Weerayuth Khunrattanasiri, (2010) [9]

$$SNR = 10 \log_{10} \left| \frac{\sigma_x^2}{\sigma_e^2} \right| \quad (2.20)$$

โดยที่ σ_x^2 = ค่าเฉลี่ยกำลังสองของข้อมูล

σ_e^2 = ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความแตกต่างระหว่างข้อมูลต้นฉบับกับข้อมูลที่ถูกสร้างกลับ

2.5.5.2 ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (*RMSE*)

RMSE คือค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองของข้อมูลต้นฉบับ (Original Data; $Data_o$) กับข้อมูลที่ถูกสร้างกลับ (Reconstruction Data; $Data_R$) ซึ่งถ้ามีค่าน้อยจะแสดงว่ามีความถูกต้องของข้อมูลมาก สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.22

$$Error = Data_o - Data_R \quad (2.21)$$

และ

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Data_{o_i} - Data_{R_i})^2}{n}} \quad (2.22)$$

เมื่อ i คือ ตำแหน่งของ Sample Data

n คือ จำนวนของ Sample Data ทั้งหมด

2.5.5.3 อัตราการบีบอัดข้อมูล (*CR*)

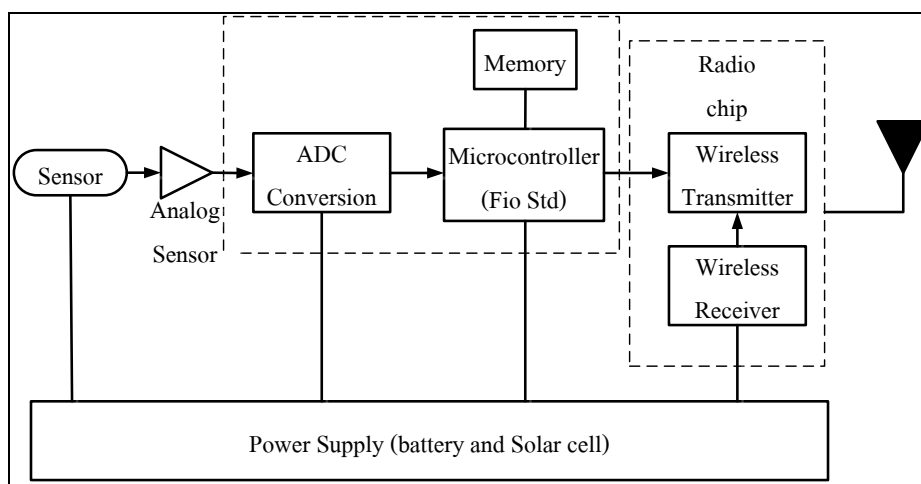
CR คือ อัตราส่วนระหว่างข้อมูลก่อนการบีบอัดกับข้อมูลที่ถูกสร้างกลับจากการบีบอัดข้อมูล ในการคำนวณหาอัตราการบีบอัดข้อมูล ซึ่งหาได้จากสมการ 2.23 [9]

$$CR = \frac{\text{Size of Original Signal}}{\text{Size of Compress Data}} \quad (2.23)$$

2.6 ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System)

ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System) เปรียบเสมือนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) หรือคอมพิวเตอร์วางตั้ง (Notebook) ที่คนส่วนใหญ่รู้จักและใช้งานทุกวันนี้ แต่ระบบสมองกลฝังตัวจะเป็นการย่อเครื่องคอมพิวเตอร์ให้เล็กลงโดยเหลือเพียงแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กและมีขีดความสามารถน้อยกว่า วัตถุประสงค์หลักของการใช้งานระบบสมองกลฝังตัวคือนำไปใส่ในอุปกรณ์ที่ต้องการให้ทำงานได้เองโดยอัตโนมัติเสมือนมีสมองกลฝังตัวอยู่ภายใน ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์พื้นฐานในชีวิตประจำวันเช่น หม้อหุงข้าว เครื่องซักผ้าตู้เย็น (รุ่นอัจฉริยะ) โทรศัพท์มือถือ กล้องดิจิทัล กล้องวิดีโอ หรืออุปกรณ์ควบคุมที่มีความซับซ้อนเช่นระบบควบคุมการจ่ายน้ำมันหรือก๊าซในรถยนต์ อากาศยานไร้คนขับ เป็นต้น ซึ่งเห็นได้ว่าระบบสมองกลฝังตัวได้รับความนิยมในการประยุกต์ใช้กับระบบควบคุมต่าง ๆ เนื่องจากมีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำระบบสมองกลฝังตัวมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบควบคุมต่าง ๆ ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ระบบสมองกลฝังตัวในการประยุกต์ใช้ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายแสดงในรูปที่ 2.15 ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้ระบบสมองกลฝังตัวในการรับข้อมูล

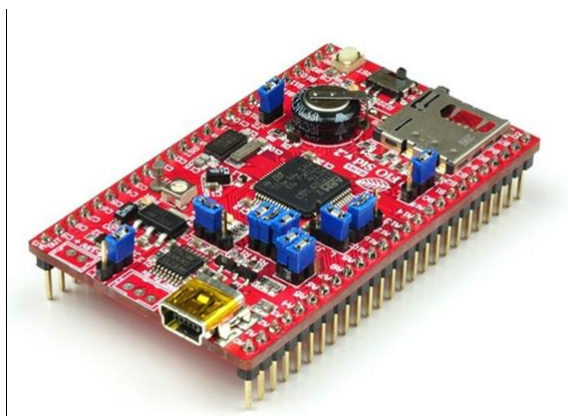
สภาพแวดล้อมและส่งข้อมูลสภาพแวดล้อมที่ได้ไปยังเซิร์ฟเวอร์ ระบบมองกลฝังตัวที่ใช้งานมี 3 บอร์ด คือ บอร์ด FiO Std บอร์ด Waijung และโมดูล SIM300CZ



รูปที่ 2.15 ระบบมองกลฝังตัวในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย [7]

2.6.1 บอร์ด FiO Std

บอร์ด FiO Std [15] เป็นชุดทดลองโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32TM ARM 32-bits Cortex TM M3 Processors บอร์ด FiO Std นี้เป็นชุดทดลองที่สามารถทำงานร่วมกับโปรแกรม MATLAB Simulink ได้ FiO Std เป็นบอร์ดทดลองอิเล็กทรอนิกส์ จุดเด่นของบอร์ด FiO Std คือ การใช้งานที่ง่ายโดยเฉพาะด้านการเขียนโปรแกรมเนื่องจากการเขียนโปรแกรมแบบ Graphic Programming ผ่าน Simulink ซึ่งติดตั้งมาพร้อมกัน MATLAB เป็น Module หนึ่งที่อยู่ในโปรแกรม MATLAB ทำให้สามารถทำความเข้าใจการทำงานของโครงงานทั้งในส่วนการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ การติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์อัลกอริทึมการเขียนโปรแกรมและอื่นๆ



รูปที่ 2.16 บอร์ด FiO Std [15]

คุณสมบัติหลักของบอร์ด FiO Std มีดังนี้

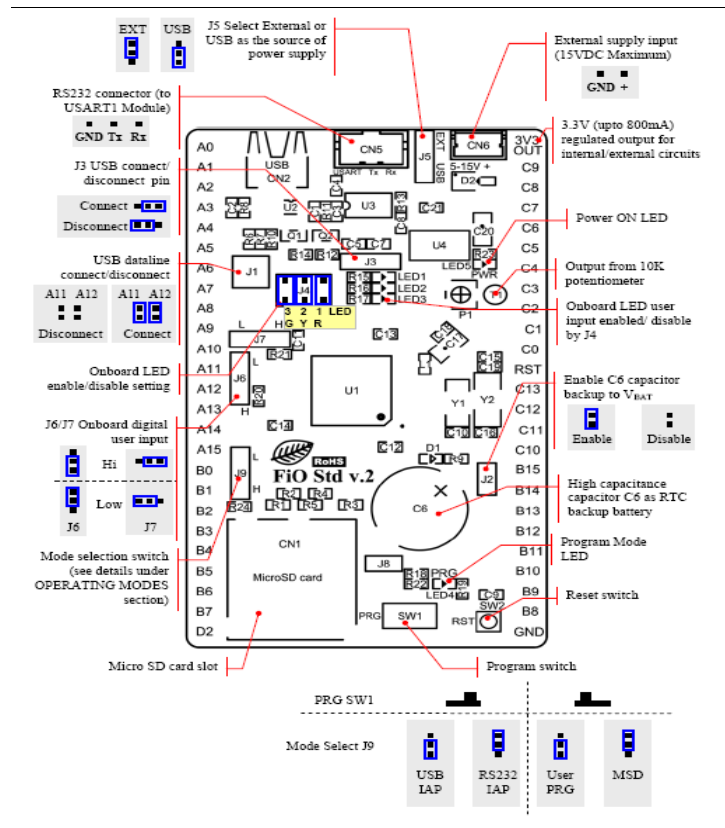
- 1) Built-in RapidSTM32 Native-Support Bootloader
- 2) ARM 32-bit CortexTM-M3 Processor (STM32F103RET6)
- 3) ออสซิลเลเตอร์ 2 ตัว
- 4) แรงดันภายในบอร์ด 3.3 V regulator up to 800mA
- 5) หน่วยความจำ 496Kbytes available flash memory
- 6) คอมไพล์และดาวโหลดอัตโนมัติเมื่อใช้ Blockset
- 7) หลอด LED 3 ตัว คือ สีแดง สีเหลือง สีเขียว
- 8) 2 user logic (H/L) input jumpers Mode selection switch
- 9) ความต้านทานปรับค่าได้ 10 K
- 10) IC เทียบสัญญาณเวลามาตรฐาน (0.33F) capacitor as RTC backup battery
- 11) ช่องใส่ Micro SD
- 12) Four built-in operating modes selectable via jumper settings
- 13) RoSH compliant (Real Time Operating System)

จุดเด่นของบอร์ด FiO Std และ RapidSTM32Blockset

- 1) มีการเขียนโปรแกรมที่ง่ายเนื่องจากการเขียนโปรแกรมแบบกราฟิก (Graphical Programming)
- 2) มีการสร้างต้นแบบการจำลองได้อย่างรวดเร็ว (Rapid Prototyping, Simulation & Model Based Design)
- 3) ในการผลิตมีการใช้ต้นทุนต่ำ
- 4) มีการใช้งานซอฟต์แวร์ที่เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรม (MATLAB, Keil)
- 5) มีการใช้งานฮาร์ดแวร์ที่เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรม (ARM-Architecture Processor)

ซอฟต์แวร์ที่ใช้งาน

- 1) RapidSTM32 Blockset version 0.3.6.1beta หรือเวอร์ชันที่ใหม่กว่า
- 2) Matlab 32-bits 2009a (Version 7.8) หรือเวอร์ชันที่ใหม่กว่า
- 3) Simulink 2009 (Version 7.3) หรือเวอร์ชันที่ใหม่กว่า
- 4) Real-Time Workshop 2009 (Version 7.3) หรือเวอร์ชันที่ใหม่กว่า
- 5) Real-Time Workshop Embedded Coder 2009 (Version 5.3) หรือเวอร์ชันที่ใหม่กว่า
- 6) RealView MDK for ARM version 4.0 หรือเวอร์ชันที่ใหม่กว่า
- 7) Microsoft Windows XP SP2 หรือเวอร์ชันที่ใหม่กว่า
- 8) Microsoft .Net Framework version 3.5 หรือเวอร์ชันที่ใหม่กว่า



รูปที่ 2.17 FIO Std PCB LAYOUT [15]

โปรแกรม MATLAB สำหรับพัฒนาบอร์ด FIO Std

MATLAB เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ขั้นสูง (High-level Language) สำหรับการคำนวณทางเทคนิคที่ประกอบด้วยการคำนวณเชิงตัวเลข กราฟฟิคที่ซับซ้อน และแบบจำลองเพื่อให้มองเห็นภาพได้ง่ายและชัดเจนชื่อของ MATLAB ย่อมาจาก Matrix Laboratory เดิมโปรแกรม MATLAB ได้เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณทาง Matrix หรือเป็น Matrix Software ที่พัฒนาจาก Project ที่ชื่อ LINKPACK และ EISPACK

โปรแกรม MATLAB จะมีกล่องเครื่องมือที่ใช้ในการหาคำตอบเรียกว่า Toolbox โดยโปรแกรม MATLAB จะมี Toolbox ในแต่ละสาขา เช่น การประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing Toolbox) การประมวลผลภาพ (Image Processing Toolbox) ระบบควบคุม (Control System Toolbox) โครงข่ายประสาท (Neural Networks Toolbox) ฟัชชีลอจิก (Fuzzy Logic Toolbox) เวฟเลท (Wavelet Toolbox) การติดต่อสื่อสาร (Communication Toolbox) สถิติ (Statistics Toolbox) และสาขาอื่นๆ มากมาย ภายใน Toolbox แต่ละสาขาก็จะมีฟังก์ชันต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาในสาขานั้นๆ ให้เลือกประยุกต์ใช้งานเป็นจำนวนมาก

Simulink

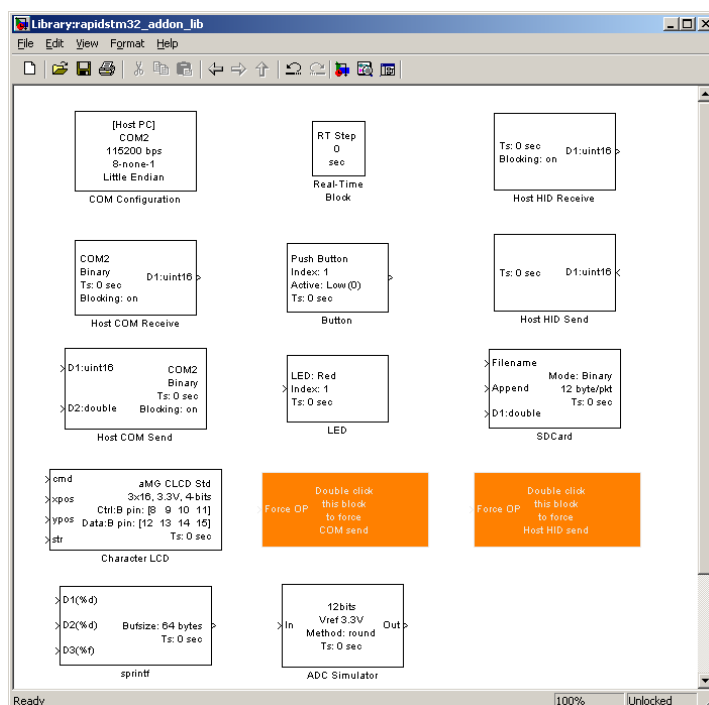
โปรแกรม MATLAB มีเครื่องมือที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์และทดสอบระบบโดยการจำลองขึ้นมาซึ่งก็คือ Simulink เป็นโปรแกรมที่ควบคู่กับ MATLAB ซึ่งเป็นระบบ Interactive สำหรับการจำลองและวิเคราะห์ระบบไดนามิกต่าง ๆ ที่เป็นระบบเชิงเส้น (Linear) ระบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear) Simulink เป็นโปรแกรม Mouse-Driver ที่ใช้ระบบโมเดลโดยการวาดบล็อกไดอะแกรมบนจอภาพด้วยการใช้เมาส์ทำให้โปรแกรม MATLAB สามารถทำการจำลองระบบได้หลายรูปแบบเช่น แบบที่เป็นเชิงเส้น (Linear) ไม่เชิงเส้น (Nonlinear) เวลาต่อเนื่อง (Continuous-Times) เวลาไม่ต่อเนื่อง (Discrete-Time) และระบบหลายอัตรา (Multi-Rate) ซึ่งแต่ละรูปแบบที่นำมาสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์นี้ผู้ใช้จะต้องมีความเข้าใจพื้นฐานการทำงานของบล็อกแต่ละบล็อกได้เป็นอย่างดี ตลอดจนเข้าใจระบบโดยรวมของงานที่จะกระทำ

Blocksets เป็นสิ่งที่เพิ่มเติมใน Simulink โดยจะเป็นไลบรารีของบล็อกสำหรับการประยุกต์เฉพาะ เช่น การติดต่อสื่อสาร (Communications) การประมวลผลข้อมูล (Signal Processing) และระบบไฟฟ้ากำลัง (Power Systems)

Real-Time Workshop เป็นโปรแกรมที่สร้าง C Code จากบล็อกไดอะแกรมและสามารถกระทำกับบล็อกไดอะแกรมได้หลากหลายด้วยระบบเวลาจริง (Real-Time Systems) โปรแกรม MATLAB มีอยู่หลาย Version ซึ่ง Version ดั้งเดิมของโปรแกรม MATLAB จะใช้งานบน DOS ที่มีการคำนวณไม่ยุ่งยากเหมาะสำหรับผู้เริ่มศึกษา คอมพิวเตอร์ที่ใช้ก็ไม่จำเป็นต้องมีพื้นที่หน่วยความจำมาก ใช้ได้กับ CPU ที่มีความเร็วต่ำ แต่มีข้อเสียคือฟังก์ชันที่นำมาใช้งานมีน้อยทำให้เขียนโปรแกรมที่มีความซับซ้อนได้ไม่ดีเท่าที่ควรเพราะมีประสิทธิภาพและความเร็วในการประมวลผลต่ำ ต่อมาเมื่อระบบเลือกใช้ได้มากมายจึงทำให้โปรแกรม MATLAB มีประสิทธิภาพและมีความสามารถในการประมวลผลที่เร็วขึ้น Version ใหม่ที่ได้ทำการปรับปรุงใหม่ให้ดีขึ้นนี้จะใช้งานบน Windows ทำให้ผู้ใช้มีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น ข้อดีของ Version ใหม่ก็คือมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น การประมวลผลโปรแกรมที่ซับซ้อนมีความเร็วสูงขึ้น และมีฟังก์ชันต่างๆ ให้เลือกใช้ในสาขาต่างๆ มากมาย แต่ก็ต้องใช้กับคอมพิวเตอร์ที่มีพื้นที่หน่วยความจำมาก CPU มีความเร็วสูง ใน Simulink จะมี Blocksets หลายรูปแบบ ซึ่งจะแบ่งได้เป็นดังนี้

- Add-On Modules

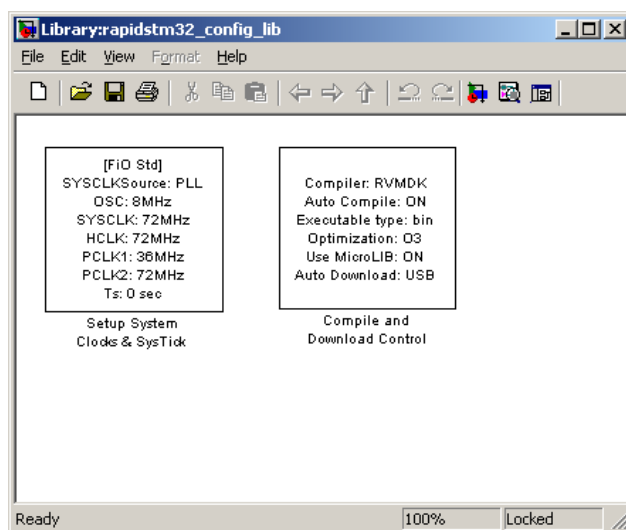
บล็อก Simulink ที่อยู่ในหมวดหมู่นี้ประกอบด้วย COM Configuration Real-Time Block Host HID Receiver Host COM Send LED SDCard Character LCD sprintf และ ADC Simulator แสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 Add-On Modules [15]

- List of Add-On Modules Blocks

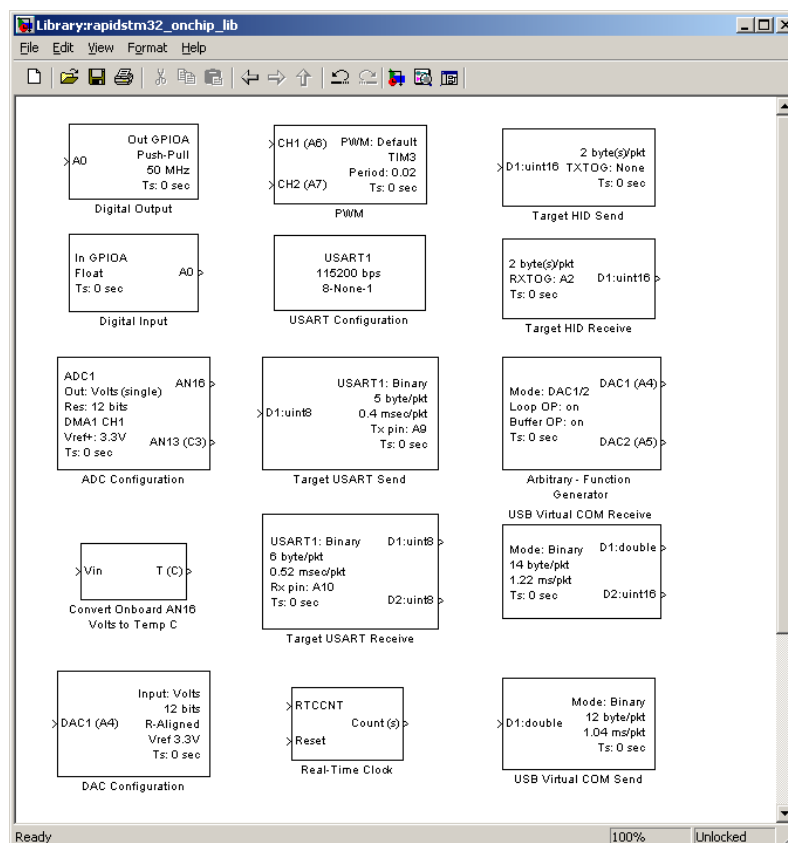
บล็อก Simulink ที่อยู่ในหมวดหมู่นี้จะประกอบด้วย Setup System Clock & SysTick และ Compile and Download Control ซึ่งทั้ง 2 บล็อก จำเป็นต้องใช้งานทุกครั้งที่มีการทำงานบนบอร์ด FIO Std เนื่องจากการกำหนดค่าต่างๆ ให้กับระบบ



รูปที่ 2.19 List of Add-On Modules Blocks [15]

- On-Chip Peripherals

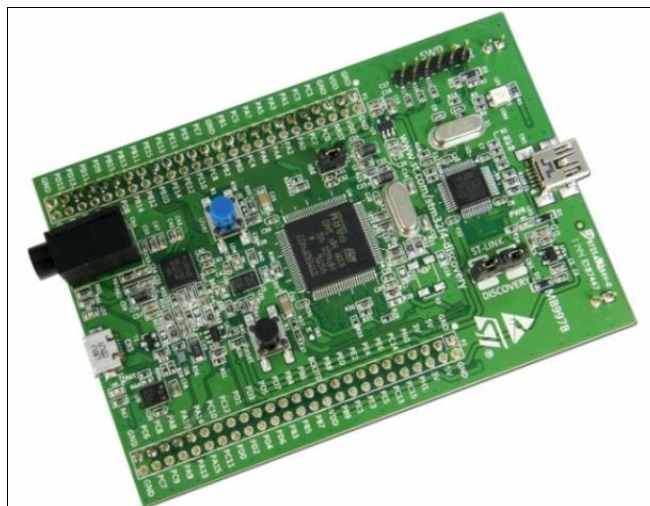
บล็อก Simulink ที่อยู่ในหมวดหมู่นี้จะประกอบด้วย Digital Output PWM Target HID Send Digital Input USART Configuration Target HID Receive ADC Configuration Target USART Send Arbitrary-Function Generator USB Virtual COM Receive Convert Onboard AN16 Volts to Temp C Target USART Receive DAC Configuration Real-Time Clock และ USB Vertical COM Send ซึ่งสามารถเลือกไปใช้งานให้เหมาะสมกับงานวิจัยได้



รูปที่ 2.20 แสดง On-Chip Peripherals [15]

2.6.2 บอร์ด Waijung

บอร์ด Waijung หรือ STM32F4DISCOVERY [13] เป็นชุดพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ ขนาด 32 บิต ของบริษัท ST ในตระกูลใหม่ STM32 ARM CORTEX-M4F โดยในบอร์ดจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ชุด ST-LINK/V2 ใช้ในการดาวน์โหลดโปรแกรมและดีบั๊กไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F407VGT6 ที่อยู่ในบอร์ด ผ่านทางพอร์ต USB



รูปที่ 2.21 บอร์ด STM32F4DISCOVERY [15]

คุณสมบัติของบอร์ด

ในบอร์ดจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

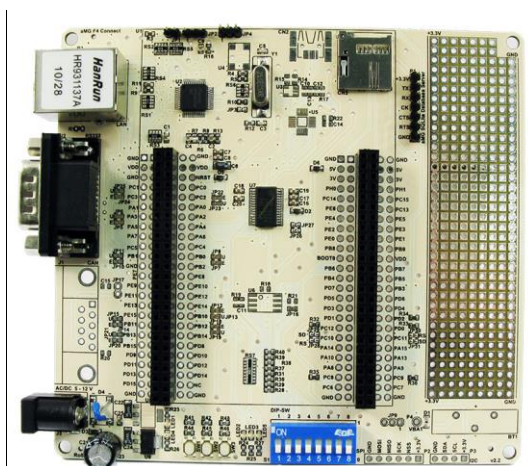
1) ส่วน ST-LINK/V2 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ STM32F103 เป็นตัวเชื่อมต่อการทำงานกับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต USB สามารถทำการ IN-CIRCUIT DEBUG และ PROGRAM กับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 ที่อยู่บนบอร์ดได้ ขั้วต่อ 6 PIN SWD ต่อออกใช้งาน DEBUG และ PROGRAM ภายนอกบอร์ดได้

2) ส่วนบอร์ดใช้งาน STM32F4 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ STM32F407VGT6, 32BIT ARM CORTEX-M4F 1MB FLASH, 192KB RAM, LQFP100 TYPE บอร์ดสามารถใช้ไฟ +5V จากขั้วต่อ USB หรือจาก POWER 5V ภายนอกในการใช้งานได้ มี Accelerometer ระบบเสียง ไมค์ และ USB OTG สามารถเชื่อมต่อกับ Base Board เพื่อใช้งาน Ethernet หรือ SD Card ได้

บอร์ด Waijung มีลักษณะเป็น Expansion บอร์ด ซึ่งเหมาะกับการนำไปเสียบกับ Base Board เพื่อใช้งานโดยเฉพาะบอร์ด aMG F4Connect เป็น Base Board ที่ถูกนำมาใช้งานกับบอร์ด STM32F4DISCOVERY ทำให้สามารถเชื่อมต่อการใช้งานได้มากขึ้น ดังนี้

- 1) การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์
 - Ethernet 10/100 (with LAN/RJ45 Connector)
 - RS232 (with dedicated RS232 Transceiver + Male DB9 Connector)
 - SPI and I2C Port Pinout
- 2) Micro SDCard Socket
- 3) การเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน
 - 8 DIP Switchs
 - 3 Push Buttons

- 3 LEDs (Red, Yellow, Green)
- 4) Onboard 3.3 V 800 mA LDO Regulator
- 5) มี Socket สำหรับเสียบบอร์ด STM32F4DISCOVERY
- 6) 5VDC 2.0 mm Main Power Socket
- 7) Prototyping Area



รูปที่ 2.22 aMG F4Connect without STM32F4DISCOVERY [15]

2.6.3 โมดูลสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

โมดูลสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (GSM Module) หรือบอร์ด ET-GSM SIM300CZ [15] เป็นชุดเรียนรู้และพัฒนาระบบการสื่อสารไร้สาย โดยใช้โมดูล GSM/GPRS รุ่น SIM300CZ ของ “SIM Com Ltd.” เป็นอุปกรณ์หลัก ซึ่ง SIM300CZ เป็นโมดูลสื่อสารระบบ GSM/GPRS ขนาดเล็ก รองรับระบบสื่อสาร GSM ความถี่ 900/1800/1900 MHz โดยส่งงานผ่านทางพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS232 ด้วยชุดคำสั่ง AT Command สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ ยกตัวอย่างเช่น การรับส่งสัญญาณแบบ Voice, SMS, Data, FAX และยังรวมถึงการสื่อสารด้วย Protocol TCP/IP ด้วย



รูปที่ 2.23 บอร์ด ET-GSM SIM300CZ [16]

คุณสมบัติของโมดูล SIM300CZ

- 1) รองรับความถี่ GSM/GPRS 900/1800/1900MHz
- 2) รองรับ GPRS Multi-Slot Class10 และ GPRS Mobile Station Class B
- 3) รองรับมาตรฐานคำสั่ง AT Command
- 4) รองรับ SIM Applications Toolkit
- 5) ทำงานที่ย่านแรงดัน 3.4V ถึง 4.5V
- 6) รองรับการเชื่อมต่อภายนอก
 - ใช้ได้กับ SIM 3V และ 1.8V
 - มีวงจร Analog Audio (MIC & Speaker) จำนวน 2 ชุด
 - รองรับ 5x5 Keypad Interface & SPI LCD Interface
 - มีระบบ RTC พร้อมวงจร Backup
 - มีขั้วต่อเสาอากาศภายนอกแบบ Connector และจุดเชื่อมต่อแบบ PAD
 - มีระบบ Battery Charge ในตัว

2.7 อุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor)

เซนเซอร์ (Sensor) คืออุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณหรือปริมาณทางฟิสิกส์ต่างๆ เช่น อุณหภูมิ เสียง แรงทางกล (Force) ความดันบรรยากาศ (Pressure) ระยะกระจัด (Displacement) ความเร็ว (Speed) ความเร่ง (Acceleration) ระดับของของเหลว (Liquid Level) และอัตราการไหล (Flow Rate) จากนั้นจะทำหน้าที่เปลี่ยนเป็นสัญญาณออกหรือปริมาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดในอีกรูปแบบหนึ่งที่สามารถนำไปประมวลผลต่อได้

ปัจจัยในการเลือกเซนเซอร์ใช้งานขึ้นอยู่กับปริมาณธรรมชาติของปริมาณทางฟิสิกส์ที่จะทำการวัดและควบคุมค่าเป็นสำคัญ รวมถึงราคาและความน่าเชื่อถือตลอดจนคุณภาพของข้อมูลที่ทำกรวัด นอกจากนี้ยังมีปัจจัยสำคัญอื่นที่ควรพิจารณาอีกเช่น ความเหมาะสมของเซนเซอร์ที่จะนำไปใช้ในสภาพแวดล้อมนั้นๆ ยกตัวอย่างเช่น เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิที่ถูกออกแบบให้ใช้งานในบ้านพักอาศัยทั่วไปจะมีความแตกต่างและไม่สามารถนำไปใช้แทนเซนเซอร์วัดอุณหภูมิในโรงงานผลิตรถยนต์ได้ ทั้งนี้เนื่องจากเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิซึ่งใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ ในโรงงานนั้นจำเป็นต้องมีอัตราความสามารถในการทนต่อสภาวะที่อุณหภูมิสูง ความดันสูง หรือสามารถทนต่อการกัดกร่อนได้สูงกว่าเซนเซอร์ที่ถูกออกแบบให้ใช้งานทั่วไป

โดยทั่วไปเทคโนโลยีของเซนเซอร์ได้ถูกนำไปใช้เป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญในลักษณะงาน 2 ประเภท

1) ใช้ตรวจวัดปริมาณทางฟิสิกส์ เพื่อนำไปแสดงผลการตรวจวัดหรือจัดเก็บบันทึกเป็นข้อมูลในระบบการวัด

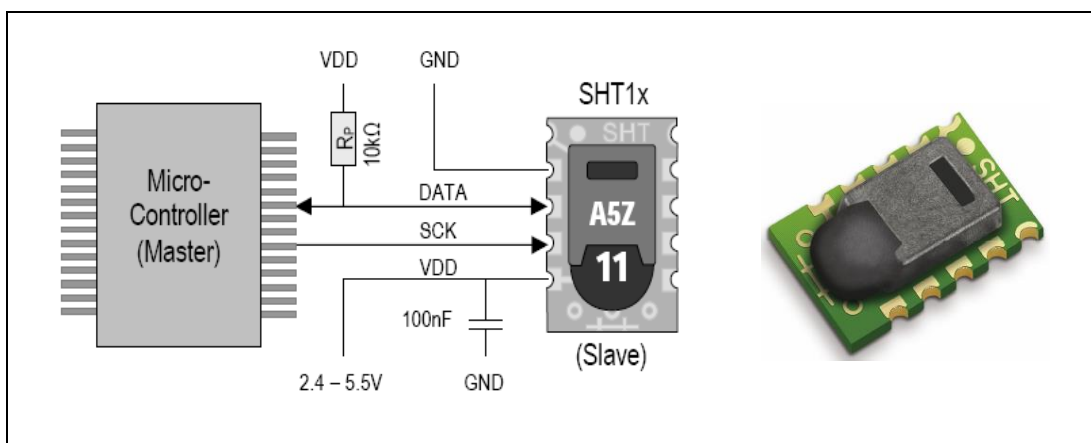
2) ใช้ตรวจสอบสภาพแวดล้อมกระบวนการในระบบการควบคุม เซนเซอร์สำหรับการตรวจวัดข้อมูลที่เป็นตัวแปรทางฟิสิกส์ โดยมากจะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลเพื่อแสดงสถานะสภาพของระบบในขณะนั้น เช่น เซนเซอร์วัดความเร็วในรถยนต์ และมีเตอร์วัดความเร็ว เป็นต้น

เซนเซอร์คือส่วนที่รับสัญญาณจากกระบวนการในตอนแรกซึ่งเป็นอุปกรณ์แปลงสัญญาณสำหรับเครื่องมือวัดหนึ่ง ๆ ทำหน้าที่เปลี่ยนปริมาณทางฟิสิกส์ เช่น การสั่นสะเทือน หรือปริมาณทางเคมี เช่น ปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ให้เป็นปริมาณทางไฟฟ้า หรืออาจจะเรียกได้ว่า อินพุตทรานสดิวเซอร์ โดยเซนเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ โมดูล SHT-11 ใช้วัดความชื้นสัมพันธ์กับอุณหภูมิ เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน EC-5 และเซนเซอร์วัดความเข้มแสง Photocell ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.7.1 โมดูลวัดความชื้นสัมพันธ์และอุณหภูมิ (SHT11)

เป็นโมดูลวัดความชื้นสัมพันธ์และอุณหภูมิ [17] มีขนาดเล็กและเพื่อความสะดวกในการใช้งานจึงได้ติดตั้งลงบนแผ่นวงจรพิมพ์และต่อคอนเน็คเตอร์ 8 ขา เพื่อให้สามารถติดตั้งลงบนแผงต่อวงจรหรือบอร์ดเพื่อทำการทดลองได้ง่าย รวมไปถึงการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงด้วย ในรูปที่ 2.24 แสดงรูปร่างของโมดูล SHT11 การจัดขาและการต่อใช้งาน ส่วนคุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญมีดังนี้

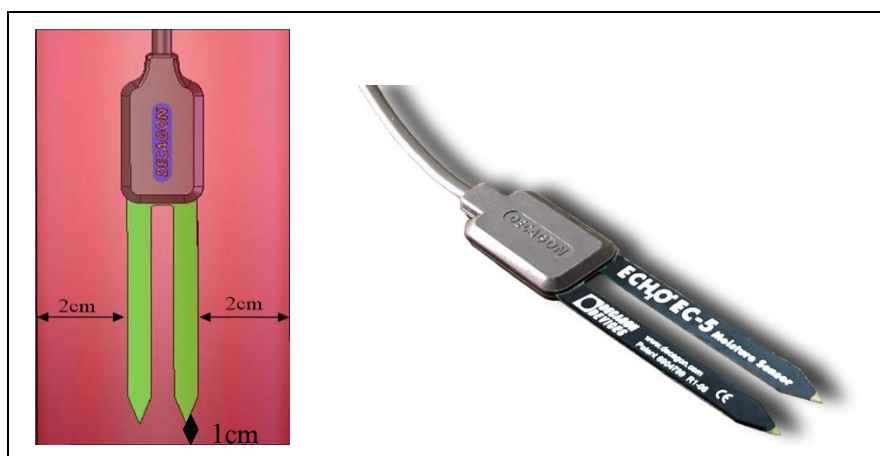
- 1) ทำหน้าที่เป็นทั้งตัววัดความชื้นและอุณหภูมิในตัวเดียวกัน
- 2) สามารถกำหนดความละเอียดของย่านการวัดได้
- 3) มีขนาดเล็กและกินพลังงานต่ำ ทำงานในย่านแรงดันไฟเลี้ยง +2.4 ถึง +5.5 V
- 4) เสถียรภาพในการทำงานสูง



รูปที่ 2.24 วงจรที่ใช้ในการเชื่อมต่อเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น SHT11

2.7.2 เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน (Soil Moisture Sensor)

เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน หรือ EC-5 [18] มีลักษณะเป็นโพรบใช้วัดระดับความชื้นโดยปริมาตร (Volume Water Content; VWC) ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างปริมาตรของน้ำในดินกับปริมาตรรวมของดิน เซนเซอร์สามารถวัดค่า VWC ได้ตั้งแต่ 0 - 100% (VWC ของดินอิ่มตัวโดยทั่วไป 40 - 60% ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน) สัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดเป็นสัญญาณแอนะล็อก โดยผ่านกระบวนการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ใช้การเข้ารหัสข้อมูลขนาด 12 บิตใช้แรงดันไฟฟ้า 2.5V – 3.6V ที่ 10 mA สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิ -40°C ถึง 60°C ขนาดของเซนเซอร์ 8.9 cm × 1.8 cm × 0.7 cm ความยาวของสายเซนเซอร์ 5 เมตร มีการเชื่อมต่อปลั๊ก 3.5 mm ความไวต่อการวัดของเซนเซอร์ด้านตั้งฉากกับโพรบ 2 cm และด้านขนานกับโพรบ 1 cm

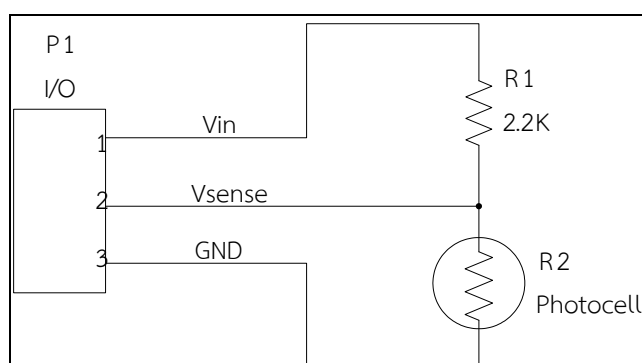


รูปที่ 2.25 เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน

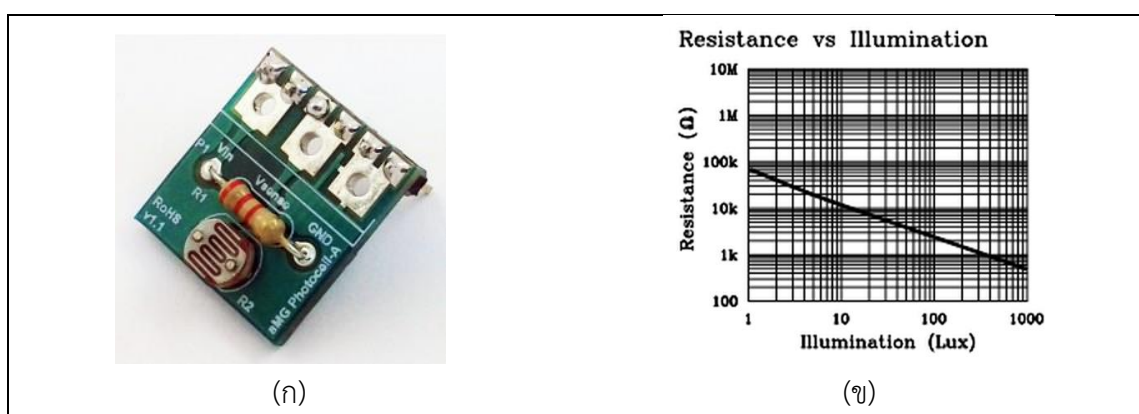
2.7.3 เซนเซอร์วัดความเข้มแสง

เซนเซอร์วัดความเข้มแสง [15] เป็นเซนเซอร์ที่ใช้วัดปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์ โดยใช้อุปกรณ์โฟโตเซลล์ (Photocell) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยค่าความต้านทานขึ้นอยู่กับแสงที่ตกกระทบบนตัวโฟโตเซลล์ถ้ามีแสงมากระทบบจะทำให้ค่าความต้านทานต่ำ (หรือได้ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำ) แต่ถ้าไม่มีแสงมาตกกระทบบจะทำให้ค่าความต้านทานสูง (ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูง) สัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดเป็นสัญญาณแอนาล็อก โดยผ่านกระบวนการแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ใช้การเข้ารหัสข้อมูลขนาด 12 บิต จะได้ข้อมูลความเข้มแสงที่เป็นค่าของแรงดันไฟฟ้า สามารถหาค่า V_{sense} ได้จากการแบ่งแรงดันดังสมการ

$$V_{sense} = V_{in} \times \frac{R}{R + 2200} \quad (2.24)$$



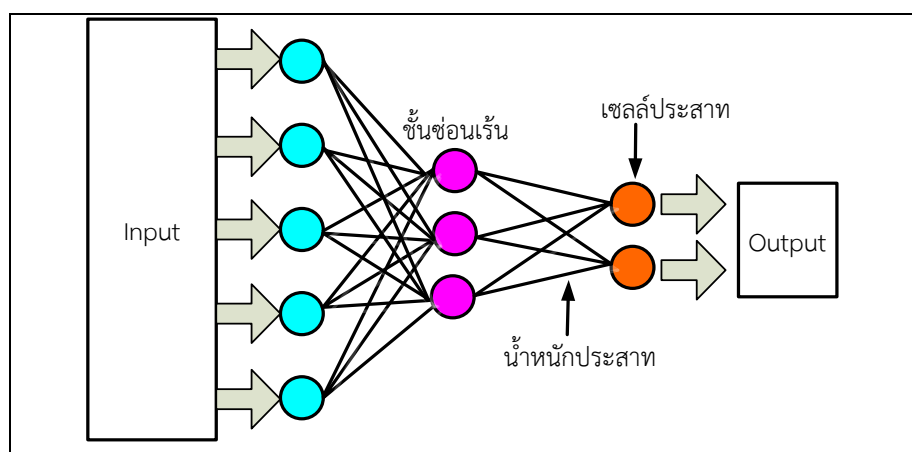
รูปที่ 2.26 วงจรเซนเซอร์วัดความเข้มแสง



รูปที่ 2.27 (ก) เซนเซอร์วัดความเข้มแสง (ข) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับความเข้มแสง

2.8 เครือข่ายประสาทเทียม (Neural Network)

เครือข่ายประสาทเทียม หรือ Artificial Neural Network [11] เป็นการคำนวณที่มีความสามารถคล้ายคลึงในระดับหนึ่งกับระบบประสาทในสมองของสิ่งมีชีวิตได้ โดยเฉพาะในเรื่องของการเรียนรู้ของเครือข่าย การคำนวณเชิงนิเวศ (Neural Computing) เป็นกระบวนการคำนวณหรือประมวลผลข้อมูลที่มีขั้นตอนของการเรียนรู้ โดยใช้โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมในการตอบสนองเชิงปรับตัวได้กับอินพุตของระบบตามกฎการเรียนรู้ของเครื่อข่ายนั้นๆ หลังจากเครือข่ายได้เรียนรู้สิ่งที่ต้องรู้แล้ว เครือข่ายสามารถทำงานตามที่ตั้งไว้ได้ เครือข่ายประสาทเทียมเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายทั้งในอดีตจนกระทั่งปัจจุบัน ในด้านการเป็นเทคโนโลยีสำหรับการแก้ปัญหาที่ยากซับซ้อน และใช้กับปัญหาการไม่เป็นเชิงเส้นของข้อมูล รวมทั้งสามารถที่จะเรียนรู้ข้อมูลตัวแปรอิสระที่ได้ใหม่ในการพยากรณ์ตัวแปรตาม จากนักวิจัยหลากหลายสาขาวิชาไม่ว่าจะเป็น วิศวกรรม ฟิสิกส์ ประสาทวิทยา การเงิน แพทย์ศาสตร์ เป็นต้น การประยุกต์ใช้งานต่างๆ เช่น การทำนาย การจดจำรูปแบบ การประมาณฟังก์ชัน การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ทำให้เครือข่ายประสาทเทียมถูกยอมรับในความสำเร็จ นอกเหนือไปจากความสามารถในการเรียนรู้แล้ว ความทนทานของเครือข่ายประสาทเป็นอีกจุดเด่นอย่างหนึ่ง อันเนื่องมาจากโครงสร้างที่มีการเชื่อมต่อของนิวรอนจำนวนมากอยู่ ระบบภายในเครือข่ายจะยังคงทำงานได้แม้วานิวรอนบางส่วนจะเสียหาย โดยทั่วไปแล้วเครือข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วยจำนวนของการดำเนินการในขั้นแรกๆ ที่เรียกว่า นิวรอน (Neurons) เป็นคอนเนกชันระหว่างค่าน้ำหนักที่เชื่อมกันคือไซแนปส์ (Synapses) ค่าน้ำหนักที่เชื่อมต่อกันต้องมีการเรียนรู้และปรับค่าน้ำหนักตามฟังก์ชันของเครือข่าย (Network Function) ในเนื้อหาส่วนนี้จะกล่าวถึงการนำเอาการเรียนรู้ด้วยเครือข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้งานรวมไปถึงโครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมที่รองรับการเรียนรู้ต่างๆ เนื้อหาในที่นี่จะเน้นการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียมแบบการเรียนรู้แบบแพร่กลับ (Back Propagation Learning) ถือเป็นการเรียนรู้ที่มีผู้นำไปประยุกต์ใช้งานมากที่สุด การเรียนรู้แบบแพร่กลับสามารถใช้ฝึกสอนเครือข่ายแบบหลายชั้นได้



รูปที่ 2.28 โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียม [11]

เครือข่ายประสาทเทียมได้ถูกพัฒนาคิดค้นจากการทำงานของสมองมนุษย์โดยสมองมนุษย์ประกอบไปด้วยหน่วยประมวลผลเรียกว่านิวรอน จำนวนนิวรอนในสมองมนุษย์มีอยู่ประมาณ 10^{11} โหนดและมีการเชื่อมต่อกันอย่างมากมาย สมองมนุษย์จึงสามารถกล่าวได้ว่าเป็นคอมพิวเตอร์ที่มีการปรับตัวเอง (Adaptive) ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) และทำงานแบบขนาน (Parallel) ความสามารถในการเรียนรู้จากตัวอย่างและการทำให้เป็นทั่วไป (Generalize) ถือเป็นคุณลักษณะสำคัญของเครือข่ายประสาทเทียม ตัวเครือข่ายจะถูกฝึกสอนโดยการแสดงรูปแบบต่างๆ ที่ต้องการให้เครือข่ายเรียนรู้ด้วยกฎการเรียนรู้ (Learning Rule) ความสามารถในการเรียนรู้ได้ของเครือข่ายนี้ทำให้มีความแตกต่างไปจากการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การที่เครือข่ายถูกทำให้เป็นกรณีทั่วไปจะทำให้ตัวเครือข่ายสามารถที่จะจำแนกแยกแยะรูปแบบของอินพุตแบบใหม่ๆ ที่ตัวเครือข่ายไม่รู้จำมาก่อนได้ ในระดับที่เป็นที่ยอมรับ ตัวเครือข่ายทำการเก็บข้อมูลความรู้ในระหว่างขั้นตอนของการเรียนรู้โดยทำการเก็บไว้ที่น้ำหนักประสาท (Synaptic Weights) โครงสร้างของตัวนิวรอน ภายในเครือข่ายมีอยู่มากมายหลายชนิด โครงสร้างดังกล่าวเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้คุณลักษณะต่างๆ ของเครือข่ายแตกต่างกันออกไป ไม่ว่าจะเป็นการจัดวางเรียงตัวของนิวรอน กฎการเรียนรู้ที่ทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนค่าของน้ำหนักประสาทหรือแม้กระทั่งเงื่อนไขในการฝึกฝนของเครือข่าย สิ่งแรกในการพิจารณาใช้งานเครือข่ายประสาทเทียมคือศึกษารูปแบบของเครือข่าย เครือข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างแตกต่างกันจะมีคุณลักษณะและพฤติกรรมที่แตกต่างกันด้วย โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมทั่วไปประกอบ ด้วยสองส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

- แบบจำลองของนิวรอน
- ฟังก์ชันถ่ายโอน เป็นส่วนที่ทำหน้าที่รวมค่าเชิงตัวเลขจากเอาต์พุตของนิวรอนแล้วทำการตัดสินใจว่าจะยังสัญญาณเอาต์พุตออกไปในรูปแบบใดฟังก์ชันถ่ายโอนสามารถเป็นได้ทั้งแบบเชิงเส้นหรือไม่เป็นเชิงเส้นการเลือกใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนจะขึ้นกับลักษณะของระบบที่นำเอาเครือข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้

ในการจัดกลุ่มชนิดของเครือข่ายประสาทเทียม เมื่อพิจารณาสถาปัตยกรรมเครือข่ายประสาทเทียมแล้วจะสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

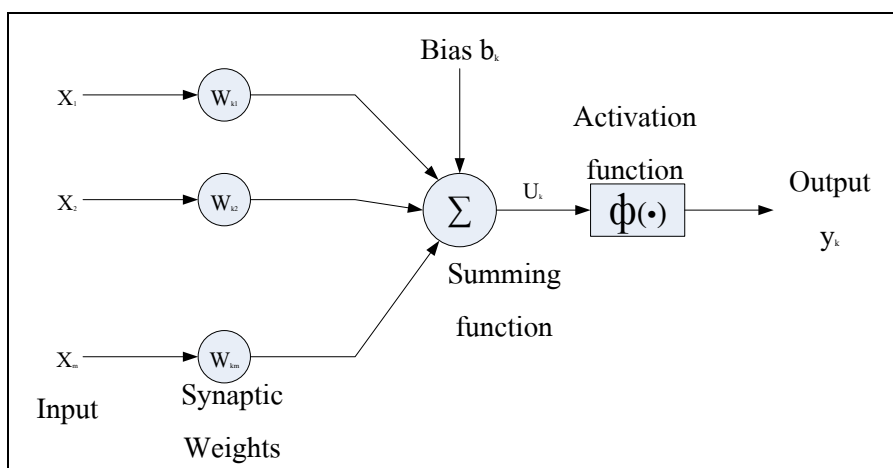
1) เครือข่ายแบบไปข้างหน้า (Feed Forward Network)

โดยปกติแล้วเครือข่ายประสาทเทียมจะประกอบไปด้วยนิวรอนหลายๆ ตัวและเชื่อมต่อกันแบบขนานหลายๆ ชั้นหรือเรียกว่า Layer โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมที่มีรูปแบบการไหลของอินพุตไปยังเอาต์พุต และไม่มีการป้อนกลับแต่อย่างใด เราจึงเรียกเครือข่ายประเภทนี้ว่าเป็นแบบไปข้างหน้า (Feed Forward Network) ดังแสดงในรูปที่ 2.29 ขั้นตอนแรกในการนำเครือข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้นั้นจะต้องทำการออกแบบพารามิเตอร์ต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น จำนวนนิวรอนในแต่ละชั้น จำนวนอินพุต จำนวนเอาต์พุต ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน เป็นต้น

2) เครือข่ายแบบป้อนกลับ (Recurrent Network)

เครือข่ายป้อนกลับแตกต่างจากเครือข่ายไปข้างหน้าตรงที่มีการวนรอบแบบป้อนกลับภายในเครือข่าย ซึ่งเอาต์พุตของแต่ละนิวรอนถูกป้อนกลับไปยังอินพุตของทุกๆ นิวรอน ในบางเครือข่ายมีการป้อนกลับให้ตนเองของนิวรอนด้วย เครือข่ายป้อนกลับสามารถมีชั้นซ่อนเร้นของนิวรอน การป้อนกลับในเครือข่ายป้อนกลับนี้เป็นส่วนสำคัญของการเรียนรู้ของเครือข่าย นอกไปจากนั้นแล้วในเครือข่ายป้อนกลับนี้ยังมีการใช้หน่วยหน่วงในโครงสร้าง ซึ่งเป็นส่วนที่ก่อให้เกิดพฤติกรรมไม่เป็นเชิงเส้นของเครือข่ายป้อนกลับ

เครือข่ายไปข้างหน้าแบบหลายชั้น (Multilayer Feed Forward Network) โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นโดยปกติแล้วชั้นแรกจะเป็นชั้นของอินพุต และชั้นสุดท้ายจะเป็นชั้นของเอาต์พุตโดยระหว่างชั้นแรกและชั้นสุดท้ายสามารถมีชั้นซ่อนได้ (Hidden Layer) โดยในแต่ละชั้นมีน้ำหนักประสาท (W) ไบอัส (b) เน็ตเอาต์พุต (n) และเอาต์พุต (y) ของชั้นนั้น เครือข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นที่มีการฝึกสอนโดยอัลกอริทึมแบบแพร่กลับ (Back-Propagation) เป็นเครือข่ายประสาทเทียมที่มีการใช้แพร่หลายที่สุด การเรียนรู้แบบแพร่กลับ (Back-Propagation Feed Forward Network) เป็นการเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอนโดยมีคุณลักษณะการเรียนรู้ที่จะสร้างผลลัพธ์ที่ต้องการให้ได้ตามตัวอย่างที่ได้รับ หรือตามเป้าหมายที่กำหนดให้ โดยที่กฎการเรียนรู้ จะมีวิธีการแก้ค่าความผิดพลาดโดยการลดค่าความผิดพลาดของเอาต์พุตให้น้อยที่สุด



รูปที่ 2.29 เครือข่ายประสาทเทียมแบบไปข้างหน้า [11]

2.9 สรุป

บทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่นำมาใช้ในการทำงานวิจัยนี้ จะเห็นว่าระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายมีประโยชน์อย่างมากในปัจจุบัน สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลายด้าน โดยงานวิจัยนี้ได้สร้างเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายเพื่อใช้งานเกษตรกรรมมีการใช้งานร่วมกับเทคโนโลยี Zigbee ในการสร้างเครือข่าย การติดต่อสื่อสารกันกับบอร์ดหลักและหน่วยเซนเซอร์ เพื่อตรวจสอบสภาพแวดล้อมที่เวลานั้นๆ โดยระบบได้มีการส่งข้อมูลเข้าสู่เซิร์ฟเวอร์เพื่อติดตามผล ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการแบบเวลาจริง เพื่อให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังนำเสนอการแปลงเวฟเล็ตซึ่งผู้วิจัยจะได้นำไปประยุกต์ใช้ในการบีบอัดข้อมูล นำเสนอทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของเครือข่ายประสาทเทียมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการหาอัตราการบีบอัดที่เหมาะสมซึ่งผู้วิจัยจะนำเสนอวิธีการดำเนินงานวิจัยในบทถัดไป