

บทที่ 2

หลักการและเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ โดยนำเทคโนโลยี “เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย” (WSN: Wireless Sensor Network) มาเป็นแกนกลางสำหรับการมอนิเตอร์ และใช้การสื่อสารอื่น เช่น MOD-bus และ LAN/WiFi/Internet มาช่วยเสริมการทำงาน เพื่อขยายขอบเขตการวัด และนำข้อมูลจากเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายขึ้นมานับที่เว็บไซต์สำหรับให้ผู้ใช้เข้าถึงได้อย่างสะดวก

2.1 เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

ปัจจุบันเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายถูกนำมาใช้งานเพิ่มมากขึ้น เพราะมีข้อดีหลายประการที่ทำให้ประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายแขนง, เหตุที่ทำให้เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายพัฒนาขึ้นมามีข้อได้เปรียบสูงนั้น ก็ด้วยการเกื้อหนุนของการพัฒนาเทคโนโลยีด้านต่างๆ ดังนี้

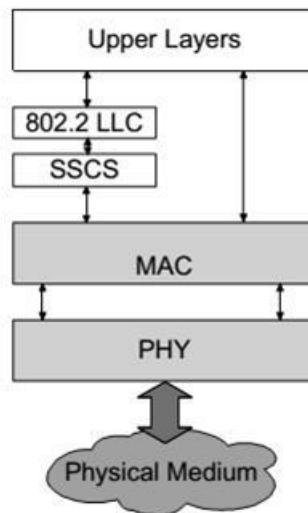
- Wireless communication: เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย, เทคนิคการมอดูเลต
- การเข้าถึงตัวกลาง, การใช้ช่องสัญญาณ เป็นต้น
- Networking: เทคนิคด้านเครือข่าย เช่น การสร้างเครือข่าย, การหาเส้นทาง
- Embedded systems: เทคโนโลยีระบบฝังตัว ช่วยให้สร้างระบบที่มีฟังก์ชันซับซ้อนได้มากขึ้น ในขนาดที่เล็กลง และ ใช้พลังงานต่ำลง องค์ประกอบของระบบฝังตัวคือ
 - Hardware: ไมโครคอนโทรลเลอร์, ไอซีบิรารีอื่นๆ
 - Software: ภาษา และ ตัวแปลภาษา (Compiler)
 - Energy harvesting: เทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อม เช่น PV (Photovoltaic) ใช้เพื่อเก็บเกี่ยวพลังงานจากแสงอาทิตย์
- Distributed systems and algorithms: เทคนิคด้านระบบแบบกระจาย
- Data management: การจัดการข้อมูล

จากเทคโนโลยีและองค์ความรู้ด้านต่างๆ ที่กล่าวมาส่งเสริมให้มีเครื่องมือสำหรับ ออกแบบและสร้างเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายได้สะดวกมากขึ้น และส่งเสริมข้อได้เปรียบของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เมื่อเทียบกับเทคโนโลยีอื่นในแง่ต่างๆ ดังนี้

- ต้นทุนต่อโหนดไม่สูง ทำให้เพิ่มจำนวนโหนดได้มากพอที่จะครอบคลุมบริเวณที่ต้องการมอนิเตอร์ได้อย่างทั่วถึง
- โหนดใช้กำลังไฟฟ้าต่ำ เปิดโอกาสให้บางแอปพลิเคชันใช้แบตเตอรี่ขนาดเล็กเป็นต้นกำลังได้ เป็นผลให้การติดตั้งโหนดสะดวกมากขึ้น และไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแบตเตอรี่บ่อยซึ่งเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง
- ใช้ตัวรับส่งวิทยุที่มีกำลังต่ำ และส่งสัญญาณแบบ Spread Spectrum ในย่านความถี่ 2.4 GHz ซึ่งสามารถนำมาใช้งานได้โดยไม่ต้องขออนุญาตจาก กสทช. และสามารถใช้งานได้ในพื้นที่ที่มีเครือข่าย WiFi อยู่ด้วยได้
- มีอัตราการส่งข้อมูลต่ำแต่ยังเพียงพอกับการมอนิเตอร์, การใช้อัตราข้อมูลที่สูงเกินไปจะนำไปสู่การใช้กำลังไฟฟ้าสูงตามไปด้วย
- โหนดไร้สายติดตั้งสะดวก เคลื่อนย้ายจุดติดตั้งได้ และในกรณีที่ต้องวัดปริมาณทางไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าจะไม่มีปัญหาเรื่องกราวด์ (Grounding) เหมือนระบบที่ใช้สาย
- สามารถเพิ่มหรือลด จำนวนโหนดได้สะดวก

2.1.1 มาตรฐาน IEEE 802.15.4

การพัฒนาทางด้านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายมีมาอย่างต่อเนื่อง แต่มาตรฐาน IEEE ที่ประกาศออกมาใช้สำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายโดยเฉพาะได้แก่ IEEE 802.15.4 ประกาศออกมาครั้งแรกในปี 2003 [1] “Part 1 5.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)” ซึ่งกำหนดโปรโตคอลไว้ 2 ชั้นคือ PHY (Physical Layer) และ MAC (Medium Access Control) ตามภาพที่ 2.1, แต่ในการใช้งานจริงจำเป็นต้องมีชั้นโปรโตคอลชั้นสูงขึ้น (Upper Layers) รวมอยู่ด้วย เช่น ชั้นเครือข่าย (NWK: Network layer) ซึ่งไม่ได้อยู่ในขอบเขตของมาตรฐานนี้



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างชั้นโพรโทคอล IEEE 802.15.4 [1]

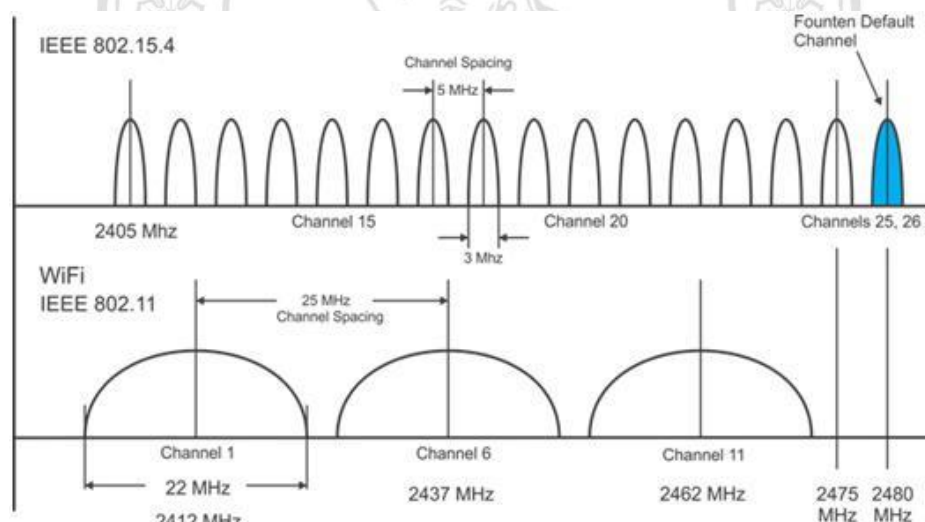
งานของชั้น PHY เกี่ยวข้องกับ ตัวรับส่งวิทยุ และ ช่องสัญญาณไร้สาย เป็นหลัก ได้แก่

- ควบคุมการ เปิด-ปิด ตัวรับส่งวิทยุ
- ตรวจสอบระดับพลังงานในช่องสัญญาณ ซึ่งสะท้อนความหนาแน่นการใช้งานช่องสัญญาณนั้นๆ
- คำนวณ คุณภาพลิงก์ (LQI: Link Quality Index) จากเฟรมที่ได้รับได้ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์เพื่อสร้างเครือข่ายที่เหมาะสมได้โดยชั้น NWK
- ดำเนินการประเมินช่องสัญญาณ CCA (Clear Channel Assessment) เพื่อที่จะสร้างขบวนการ CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) สำหรับตรวจสอบช่องสัญญาณก่อนที่จะส่งเฟรมออกไป เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของเฟรม
- กระบวนการเลือกช่องความถี่ (Channel frequency selection)

ตารางที่ 2.1 ย่านความถี่และอัตราข้อมูล [1]

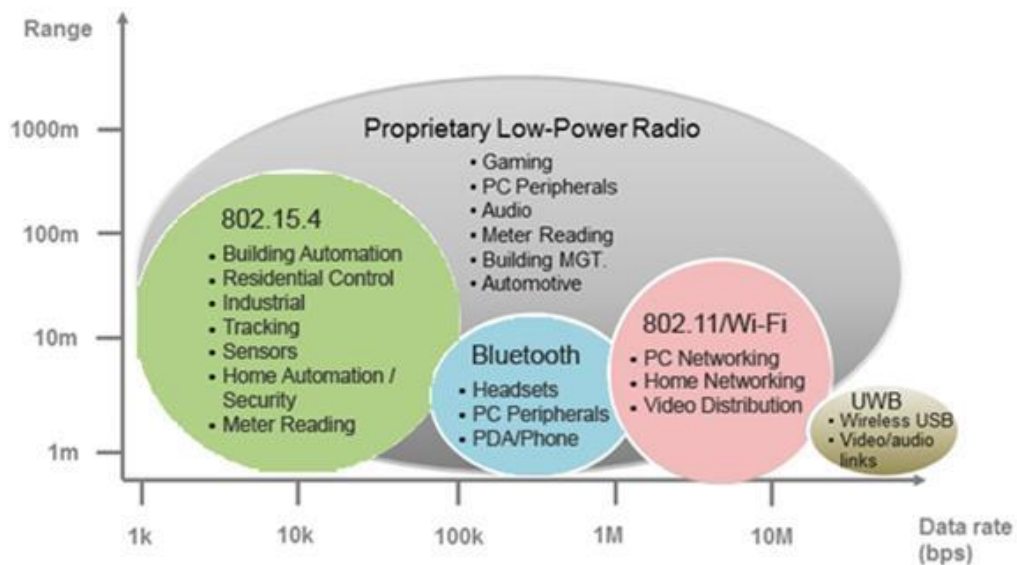
PHY (MHz)	Frequency band (MHz)	Spreading parameters		Data parameters		
		Chip rate (kchip/s)	Modulation	Bit rate (kb/s)	Symbol rate (ksymbol/s)	Symbols
868/915	868–868.6	300	BPSK	20	20	Binary
	902–928	600	BPSK	40	40	Binary
2450	2400–2483.5	2000	O-QPSK	250	62.5	16-ary Orthogonal

ตารางที่ 2.1 แสดงย่านความถี่ของมาตรฐาน มีทั้งหมด 3 ย่าน คือ 868, 915 MHz และ 2.4 GHz ซึ่งทั้ง 3 ย่านมีการมอดูเลต (Modulation) และ อัตราข้อมูล (Data rate) ที่แตกต่างกัน, ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวรับส่งวิทยุที่ทำงานในย่าน 2.4 GHz ซึ่งมีอัตราข้อมูลสูงที่สุดคือ 250 kbps อัตราสัญลักษณ์ 62.5 kSymbol/s (4 บิตต่อ 1 สัญลักษณ์), ใช้การมอดูเลตแบบ O-QPSK และในย่าน 2.4 GHz นี้ มีจำนวนช่องทั้งหมด 16 ช่อง คือช่องที่ 11 ถึง ช่องที่ 26 ส่วนช่องที่ 1-10 อยู่ที่ย่านความถี่อื่น



ภาพที่ 2.2 แถบความถี่ในย่าน 2.4 GHz เทียบกับ WiFi [10]

ภาพที่ 2.2 แสดงแถบความถี่ของ IEEE 802.15.4 ในย่าน 2.4 GHz เทียบกับ WiFi (IEEE 802.11) ซึ่งใช้แถบความถี่ในย่านเดียวกัน แบนด์วิธของแต่ละช่องของ IEEE 802.15.4 เท่ากับ 3 MHz แต่ละระยะห่างของช่องที่อยู่ติดกันเท่ากับ 5 MHz แถบความถี่ของ IEEE 802.15.4 เกือบทุกช่องทับกับช่องของ WiFi มีเพียงช่อง 25 และ 26 เท่านั้นที่ไม่ตรงกับ WiFi, ช่อง 26 จึงถูกใช้เป็นช่องปริยาย (Default) ของมาตรฐาน IEEE 802.15.4 แม้ว่าแถบความถี่ของช่อง 26 ไม่ทับกับ WiFi แต่ในการใช้งานจริงย่อมมีการส่งผลกระทบกันอยู่ระหว่างมาตรฐานทั้งสอง [11]



ภาพที่ 2.3 ผังเปรียบเทียบ IEEE 802.15.4 กับมาตรฐานอื่นในเชิงอัตราข้อมูลและระยะ [12]

ภาพที่ 2.3 แสดงอัตราข้อมูล, ระยะทาง (Range) และแอปพลิเคชัน เทียบกับมาตรฐานไร้สายอื่น ๆ เช่น Bluetooth (IEEE 802.15.1), WiFi (IEEE 802.11), และ UWB (IEEE 802.15.3) โดยภาพรวมมาตรฐานที่มีอัตราข้อมูลสูงจะใช้ในระยะทางสั้น, WiFi และ UWB มีอัตราข้อมูลสูง จึงสามารถใช้ในแอปพลิเคชันประเภท Video และ Audio ได้ ในขณะที่แอปพลิเคชันของ IEEE 802.15.4 จะเป็นจำพวกที่มีปริมาณข้อมูลไม่มาก (เมื่อเทียบกับ มัลติมีเดีย) เช่น เซนเซอร์, อาคารอัตโนมัติ และ มิเตอร์ เป็นต้น ลักษณะเด่นของแอปพลิเคชันในกลุ่มนี้คือ ไม่ต้องการปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้มากนัก ระบบส่วนมากทำงานอัตโนมัติ, จากภาพนี้จึงเห็นได้ว่า IEEE 802.15.4 ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายโดยเฉพาะ เมื่อเทียบกับมาตรฐานอื่น, นอกจากนี้ยังมีโพรโทคอล แบบโพรพริเอทรี (Proprietary) ที่ออกแบบมาใช้เฉพาะแอปพลิเคชัน เพื่อเติมเต็มส่วนที่ไม่ครอบคลุม โดยมาตรฐานต่างๆ เพื่อขยายระยะทาง หรือไม่ก็อัตราข้อมูล ให้ตอบสนองความต้องการของแอปพลิเคชันนั้นๆ ได้

ต่อไปเราพิจารณาการทำงานชั้น MAC ซึ่งมีหน้าที่เกี่ยวกับ กลไกการเข้าถึงตัวกลาง (ในที่นี้ คือ อากาศ) แบ่งได้คร่าวๆ ต่อไปนี้

- ตั้งแคราะห์เฟรม Beacon สำหรับกรณีที่มีโหนดนั้นเป็นโคออร์ดิเนเตอร์และเครือข่ายนั้นอนุญาตให้ใช้งาน Beacon เรียกว่า Beacon-Enabled Network
- จัดลำดับการส่งเฟรมให้ประสานกับ Beacon
- สนับสนุนการเข้าร่วมเครือข่าย

- สนับสนุนการเข้ารหัสเฟรมเพื่อความปลอดภัย
- ใช้กลไก CSMA-CA ก่อนส่งเฟรมเข้าไปในช่องสัญญาณ เพื่อป้องกันการชนกันของเฟรม
- สร้างความน่าเชื่อถือของลิงค์ ระหว่างโหนด 2 โหนดในระดับ MAC

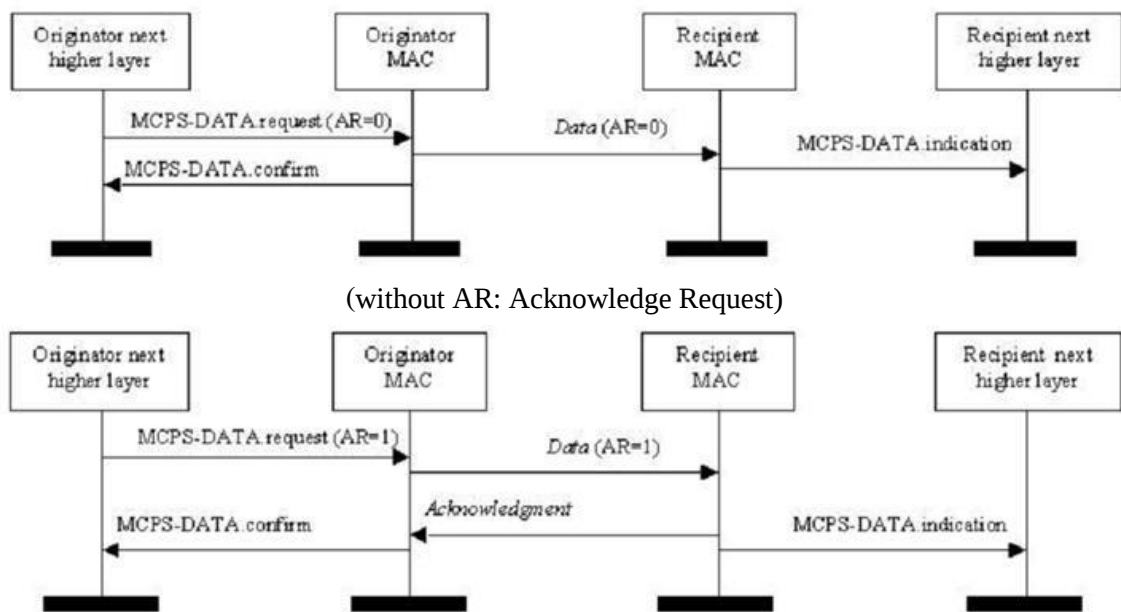
Octets: 2	1	0/2	0/2/8	0/2	0/2/8	variable	2
Frame control	Sequence number	Destination PAN identifier	Destination address	Source PAN identifier	Source address	Frame payload	FCS
		Addressing fields					
MHR						MAC payload	MFR

ภาพที่ 2.4 รูปแบบเฟรมชั้น MAC

ภาพที่ 2.4 แสดงรูปแบบเฟรมชั้น MAC โดยเฉพาะ ส่วนหัวเฟรม (MHR: MAC Header) ซึ่งประกอบด้วยฟิลด์ย่อย Frame control, Sequence number, และ Addressing fields, สำหรับฟิลด์ Frame control มีความยาว 2 ไบต์ ใช้เพื่อระบุประเภทของเฟรม และ ตัวเลือก (Option) ต่างๆ รวมทั้ง ระบุโหนดตำแหน่งของฟิลด์ Addressing ที่ตามมาภายหลังด้วย ทำให้ความยาวของหัวเฟรมมีได้หลากหลายเพื่อรองรับกลไกต่างๆ ของเครือข่าย เช่น การขอเข้าร่วม และการส่งข้อมูล เป็นต้น

ฟิลด์ Sequence number ใช้ระบุหมายเลขเฟรม เพื่อประโยชน์ในการ Acknowledgement, ในฟิลด์ Addressing ใช้บอกหมายเลข โหนดผู้รับ (Destination) และ โหนดผู้ส่ง (Source) รวมทั้งหมายเลขเครือข่าย PAN Identifier, แอดเดรสหรือหมายเลขโหนดมี 2 แบบ คือ แบบยาว 64 บิต และแบบสั้น 16 บิต และในมาตรฐานนี้ ยอมให้มีการส่งเฟรมระหว่างโหนดที่อยู่ต่างเครือข่ายกันได้ด้วย เรียกว่า Inter-PAN

สำหรับเฟรมประเภท Data Type ในส่วนฟิลด์ MAC Payload เปิดโอกาสให้ชั้นโปรโตคอลที่อยู่เหนือขึ้นไปนำไปใช้งาน, แต่ถ้าประเภทเป็น MAC Command แล้ว ฟิลด์ MAC Payload ก็จะถูกใช้งานโดยชั้น MAC เอง, ฟิลด์สุดท้ายของเฟรมคือ MFR (MAC Footer) ใช้เป็นรหัส เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดของเฟรม เป็น CRC-16



ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างกลไกการส่งเฟรม Data type [1]

ช่วงเวลาในภาพที่ 2.5 แสดงตัวอย่างการส่งเฟรมข้อมูลระหว่าง 2 โหนด (ผู้ส่ง: Originator และผู้รับ: Recipient) ในช่วงเวลาแสดง 2 ตัวอย่าง คือ แบบที่ไม่ต้อง Acknowledgement (AR = 0) และแบบที่ต้องการ Acknowledgement (AR = 1)

กรณี AR = 0, ชั้นที่อยู่เหนือชั้น MAC จะเป็นผู้เริ่มต้นร้องขอ โดยสร้างพริมิทีฟ (Primitive) DATA.request มายังชั้น MAC จากนั้นชั้น MAC จะส่งเฟรมออกอากาศแล้วสร้าง

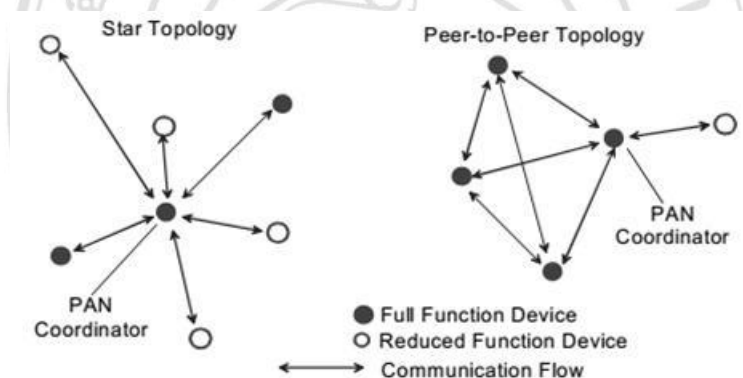
พริมิทีฟ DATA.confirm กลับขึ้น ไปรายงานชั้นที่อยู่เหนือกว่าถึงผลการร้องขอ ผลในพริมิทีฟ DATA.confirm จะผิดพลาดเมื่อตัวรับส่งวิทยุไม่สามารถเข้าถึงตัวกลางได้เท่านั้น แต่ถ้าสามารถส่งเฟรมออกไปได้ ผลในพริมิทีฟ DATA.confirm จะเป็นปกติ สำหรับฝั่งรับ เมื่อชั้น MAC ได้รับเฟรมข้อมูลและตรวจสอบความถูกต้องแล้ว ก็จะสร้างพริมิทีฟ DATA.indication ไปแจ้งชั้นที่อยู่เหนือกว่า เห็นได้ว่ากรณีนี้ไม่มีการรับประกันว่าผู้ส่งจะรู้ได้ว่าเฟรมถึงผู้รับหรือไม่ แต่วิธีการนี้มักจะใช้กับกรณีที่มีผู้รับหลายโหนด (Broadcast)

กรณี AR = 1, กลไกนี้มีความคล้ายคลึงกันกับกรณีแรก เพียงแต่ว่า MAC ของผู้ส่งจะสร้างพริมิทีฟ DATA.confirm โดยมีผลปกติ ก็ต่อเมื่อได้รับ Acknowledgment กลับมา ในเวลาที่กำหนดเท่านั้น ด้วยกลไกนี้ จะทำให้ชั้นที่อยู่เหนือกว่าของผู้ส่ง รับรู้ได้ว่าเฟรมถูกส่งไปให้ผู้รับแล้ว สำหรับ MAC ฝั่งผู้รับ จะต้อง ส่งเฟรม Acknowledgment ตอบกลับเมื่อมัน ได้รับเฟรมข้อมูลก่อนสร้างพริมิทีฟ

DATA.indication, นอกจากนี้ MAC ฟังก์ชัน สามารถตั้งค่าให้ส่งเฟรมข้อมูลซ้ำได้ (ไม่เกิน 3 ครั้ง) ในกรณีที่มันไม่ได้รับ Acknowledgement กลับมา

2.1.2 ชั้นเครือข่าย

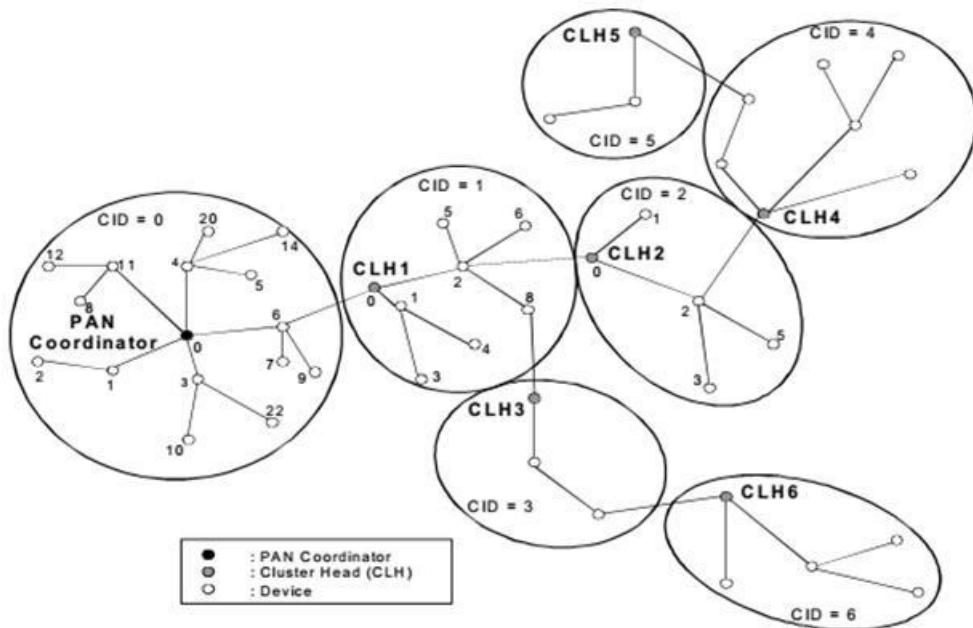
ถึงแม้ว่าในมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ไม่ได้ครอบคลุมถึงชั้นเครือข่าย แต่ก็ได้ให้คำแนะนำในการจัดการเครือข่ายไว้ โหนดถูกแบ่งตามฟังก์ชันที่โหนดทำได้ 2 ชนิด ได้แก่ FFD (Full Function Device) และ RFD (Reduced Function Device), โหนด FFD สามารถรับส่งเฟรมได้ทุกประเภทตามมาตรฐาน สามารถทำงานเป็น เราเตอร์ (Router) คือทำหน้าที่ส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่นไปยังโคออร์ดิเนเตอร์ได้ และที่สำคัญ โหนดที่จะเป็น โคออร์ดิเนเตอร์จะต้องเป็น FFD เท่านั้น, ในทางตรงข้าม RFD สามารถทำงานได้น้อยกว่า เพื่อจะได้ใช้ทรัพยากรการคำนวณน้อยกว่า และ นำไปสู่ต้นทุนที่ต่ำกว่า โหนด RFD ไม่สามารถเป็นเราเตอร์ได้ มันจะส่งเฉพาะข้อมูลของมันเองเท่านั้น



ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างโทโพโลยีแบบ Star และแบบ Peer-to-Peer [1]

พิจารณาภาพที่ 2.6 แสดงโทโพโลยีแบบ Star และ แบบ Peer-to-Peer, สำหรับโทโพโลยีแบบ Star เหมาะสำหรับเครือข่ายขนาดเล็ก โหนดทุกโหนดไม่ว่าจะเป็น RFD หรือ FFD จะต่อเชื่อมโดยตรงกับโคออร์ดิเนเตอร์, สังเกต ในมาตรฐาน IEEE 802.15.4 จะใช้คำว่า PAN Coordinator หมายถึงโหนดหลักที่จัดการทั้งเครือข่าย และใช้คำว่า Coordinator หมายถึงโหนดที่ส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่นได้ ซึ่งก็หมายถึง เราเตอร์ นั่นเอง

โทโพโลยีแบบ Peer-to-Peer ในภาพที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าโหนดแบบ FFD มีหลายเส้นทางในการส่งข้อมูลต่อไปยังโคออร์ดิเนเตอร์ เส้นทางที่เพิ่มขึ้นมานี้เพิ่มเสถียรภาพของการสื่อสารโดยรวม ในขณะที่โหนด RFD สามารถต่อกับโหนด FFD ได้เพียงโหนดเดียวเท่านั้น



ภาพที่ 2.7 ตัวอย่างโทโพโลยีแบบ Tree ที่แบ่งเป็น Cluster [1]

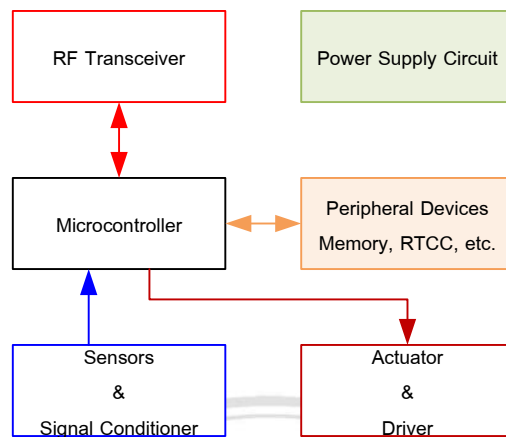
สำหรับเครือข่ายที่ต้องครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง เราจะใช้โทโพโลยีแบบ Tree ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 2.7 เครือข่ายถูกแบ่งออกเป็นส่วนย่อย เรียกว่า Cluster, ในแต่ละ Cluster จะมีโหนดหนึ่งทำหน้าที่เป็นโคออร์ดิเนเตอร์ของ Cluster นั้น เรียกว่า Cluster Head (CLH), CLH ทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลจากโหนดภายใน Cluster ของมันซึ่งมีลักษณะการเชื่อมต่อที่คล้ายการแตกกิ่งก้านของต้นไม้ เมื่อรวบรวมข้อมูลได้จึงส่งต่อไปยังโหนดที่อยู่ใน Cluster ข้างเคียง เพื่อที่จะส่งต่อไปให้ถึง PAN Coordinator ซึ่งเป็นโหนดศูนย์กลางของเครือข่ายทั้งหมด

2.2 คอมโพเนนต์ที่ใช้สร้างอุปกรณ์

คอมโพเนนต์ที่นำมาสร้างอุปกรณ์ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ในท้องตลาดมีให้เลือกใช้อยู่หลายแบบ แต่การเลือกคอมโพเนนต์ในงานวิจัยนี้จะคำนึงถึงต้นทุนเป็นสำคัญ เพื่อเพิ่มโอกาสให้ผู้ประกอบการนำไปต่อยอดเชิงพาณิชย์ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคอมโพเนนต์ในการสร้างโหนด ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ต้องใช้งานจำนวนมาก

2.2.1 คอมโพเนนต์ที่ใช้สร้างโหนด

หน่วยพื้นฐานของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย คือ โหนด (Node หรือบางทีเรียกว่า Mote) ทำหน้าที่ตรวจวัดปริมาณทางกายภาพแล้วแปลงให้เป็นข้อมูลเพื่อส่งมายังศูนย์กลางหรือเกตเวย์ของเครือข่าย, ในการทำหน้าที่ดังกล่าวโหนดจำเป็นต้องมีองค์ประกอบตามภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างพื้นฐานของโหนด

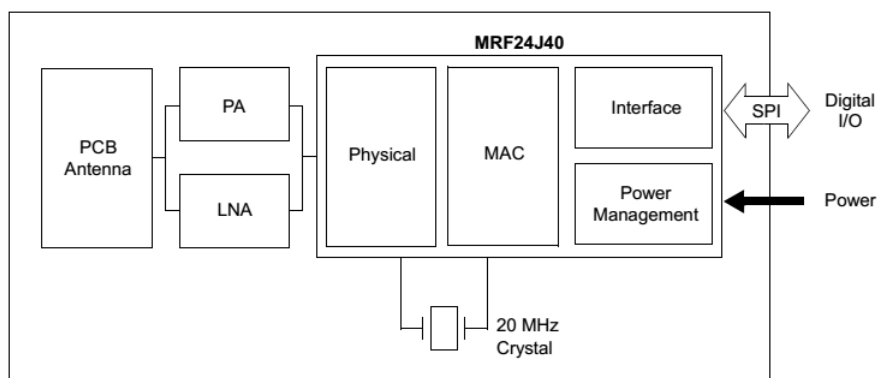
องค์ประกอบแรก คือ เซนเซอร์ (Sensor) ทำหน้าที่เปลี่ยนปริมาณทางกายภาพให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ในบางครั้งสัญญาณที่ได้ยังไม่เหมาะสมที่จะป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยตรงจึงจำเป็นต้องอาศัยวงจรประเภท ปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioner) มาช่วยปรับสัญญาณก่อนนำเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์, ในบางโหนดที่ทำหน้าที่ควบคุม แอกทูเอเตอร์ (Actuator) ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์จึงต้องการวงจรขับ (Driver) มาช่วยควบคุมแอกทูเอเตอร์

องค์ประกอบที่สอง คือ ตัวรับส่งวิทยุ (RF Transceiver) ทำหน้าที่เป็นช่องทางการสื่อสารของโหนดกับเครือข่าย ความสามารถและคุณสมบัติของตัวรับส่งวิทยุเป็นปัจจัยสำคัญหนึ่งที่ส่งผลต่อพฤติกรรมและการทำงานของเครือข่าย

องค์ประกอบที่สาม คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่ควบคุมหน่วยต่างๆ ของโหนดให้ทำงานสอดคล้องกัน ตั้งแต่ประมวลผลสัญญาณจากเซนเซอร์, ส่งสัญญาณไปควบคุมแอกทูเอเตอร์, จัดเก็บข้อมูล, ส่งต่อข้อมูลเข้าไปในเครือข่าย, ค้นหาและเข้าร่วมเครือข่าย เป็นต้น, กล่าวได้ว่าฟังก์ชันทั้งหมดของโหนดถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

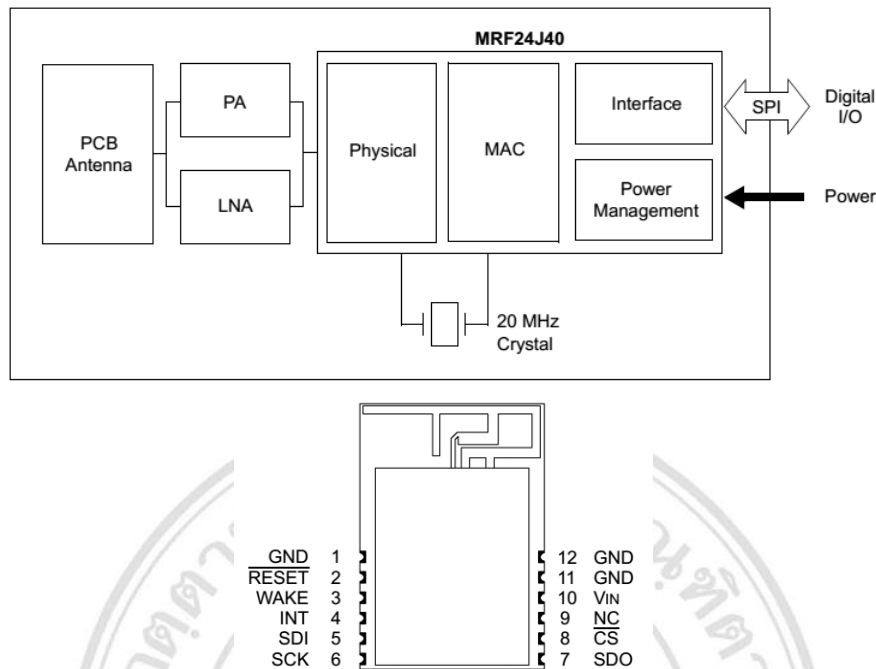
องค์ประกอบที่สี่ คือ วงจรต้นกำลัง (Power Supply Circuit) ความซับซ้อนและฟังก์ชันของวงจรต้นกำลังจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของพลังงานไฟฟ้าที่โหนดใช้ ตัวอย่างเช่น 1 Main power ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับในอาคารบ้านเรือนเป็นต้นกำลัง, 2 ใช้แบตเตอรี่, 3 หาจากสภาพแวดล้อม (Energy Harvesting) เช่น แสงแดด พลังงานลม เป็นต้น, แหล่งพลังงานนี้ก็จะเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงานของโหนดได้อย่างมาก

องค์ประกอบที่ห้า อุปกรณ์บริวาร (Peripheral Device) อื่นๆ ที่ช่วยเติมเต็มไมโครคอนโทรลเลอร์ในการทำฟังก์ชันต่างๆ เช่น หน่วยความจำ (Memory), ตัวรักษาเวลาและปฏิทิน (RTCC: Real Time Clock and Calendar) เป็นต้น องค์ประกอบนี้จัดเป็นออปชันสำหรับโนด



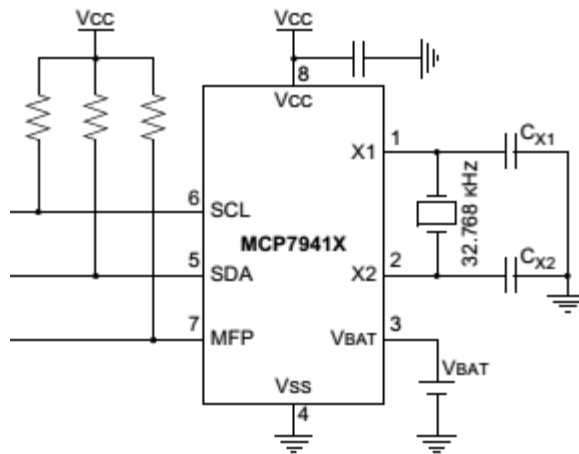
ภาพที่ 2.9 โครงสร้างภายในของไอซี MCP3906 [13]

ภาพที่ 2.9 แสดงโครงสร้างภายในไอซี MCP3906, อินพุตเป็นแบบ Differential Signal คือ CH0 และ CH1 สำหรับรับข้อมูล กระแส และ แรงดัน ตามลำดับ, เราต้องใช้เซนเซอร์จำพวก CT (Current Transformer) และ PT (Potential Transformer) เพื่อวัดกระแสและแรงดันเข้าสู่ CH0 และ CH1, ปกติเซนเซอร์ที่ใช้วัดกระแสจะให้สัญญาณที่มีขนาดเล็ก CH0 จึงมีออปชันให้ปรับอัตราขยายได้ (PGA: Programmable Gain Amplifier) สัญญาณทั้งสองจะถูกแปลงเป็นดิจิทัล 16 บิต, องค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณทั้งสอง อาจมี DC-Component รวมอยู่ด้วยเนื่องจากผลข้างเคียงของเซนเซอร์ และวงจรตรวจจับกระแส/แรงดันภายนอก เมื่อต้องการคำนวณกำลังไฟฟ้ากระแสสลับจึงต้องผ่านวงจรกรองสูงผ่าน (HPF: High Pass Filter) เพื่อกำจัด DC-Component ทิ้งไป จากนั้นนำสัญญาณทั้งสองมาคูณกันเพื่อให้ได้สัญญาณที่เป็นตัวแทนกำลังไฟฟ้าได้ แต่จะเกิดองค์ประกอบความถี่ขึ้น 2 อันคือที่ศูนย์และที่ความถี่ 2 เท่าของความถี่กระแสสลับคล้ายคลึงผลจากมอดูเลต (สำหรับประเทศไทย ความถี่กระแสสลับเท่ากับ 50 Hz, 2 เท่าของความถี่คือ 100 Hz) ผลคูณจึงต้องผ่านวงจรกรองต่ำผ่าน (LPF: Low Pass Filter) อีกครั้ง เพื่อให้ได้เฉพาะสัญญาณที่แทนกำลังจริง (Real Power) ณ ขณะใดๆ, สุดท้ายป้อนสัญญาณเข้าสู่ DTF (Digital to Frequency) เพื่อเปลี่ยนค่ากำลังจริงในเชิงดิจิทัลให้เป็นแทนความถี่ เราจะได้สัญญาณขบวนพัลส์ที่ให้ความถี่แปรผันตรงกับกำลังจริง สัญญาณนี้จะถูกนำไปประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป



ภาพที่ 2.10 โครงสร้างภายในและรูปร่างของตัวรับส่งวิทยุรุ่น MRF24J40MB [14]

ภาพที่ 2.10 แสดงโครงสร้างภายในตัวรับส่งวิทยุรุ่น MRF24J40MB ซึ่งมีลักษณะเป็นโมดูล มีไอซี MRF24J40 เป็นตัวประมวลผลเพื่อจัดการสื่อสารชั้น PHY และ MAC ให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4, ในโมดูลมีวงจรขยายกำลัง (PA: Power Amplifier) สำหรับใช้ในการส่งสัญญาณออกอากาศ มีกำลังในการส่งสูงสุดที่ +20 dBm และ วงจรขยายที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ (LNA: Low-Noise Amplifier) ใช้เป็นวงจรภาครับสัญญาณ มีความไวในการรับอยู่ที่ -102 dBm, การรับและส่งใช้เสาอากาศอันเดียวกัน เป็นเสาอากาศแบบอยู่บน PCB (Printed Circuit Board) ทำให้ตัวโมดูลมีขนาดเล็กไม่ใหญ่ (22.9 mm x 33.0 mm) และสะดวกในการติดตั้ง, ตัวรับส่งวิทยุนี้อยู่ในฐานะอุปกรณ์บริวารของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่อินเตอร์เฟสด้วย SPI (Serial Peripheral Interface) และมีสัญญาณ INT สำหรับร้องขออินเตอร์รัพต์จากไมโครคอนโทรลเลอร์ และสัญญาณ WAKE สำหรับควบคุมโหมดการทำงานเพื่อประหยัดพลังงาน, โมดูลนี้ต้องการแรงดันต้นกำลัง 3.3 V มีอัตราการใช้กระแสขณะรอรับสัญญาณอยู่ที่ 25 mA, ขณะส่งสัญญาณอยู่ที่ 130 mA, ขณะเข้าสู่โหมดหลับอยู่ที่ 5 μ A



ภาพที่ 2.11 ลักษณะการใช้งานไอซี MCP79411 [15]

ในภาพที่ 2.11 แสดงการใช้ไอซี MCP79411 ซึ่งอยู่ในแพ็คเกจขนาด 8 ขา อินเทอร์เฟซด้วย I²C Bus และมี 4 พินกั้นภายในชิปเดียว และทั้ง 4 พินกั้นนี้สนับสนุนการมอนิเตอร์ของโหนด ได้แก่

- RTCC (Real Time Clock and Calendar) เป็นตัวรักษาเวลาและปฏิทิน พร้อม พิงก์ชั่น Battery Back-up, และสามารถประทับเวลา ณ ช่วงเวลาต้นกำลัง (VCC) หายไป และ กลับมา ใหม่ได้ด้วย, นอกจากจะใช้เพื่อประทับเวลาของข้อมูลปกติแล้ว ยังใช้เพื่อมอนิเตอร์เสถียรภาพของต้น กำลังของโหนดได้ด้วย, ไอซีนี้ต้องการ ผลึกกำเนิดความถี่ 32.768 kHz พร้อมตัวเก็บประจุ เพื่อใช้ สร้างสัญญาณนาฬิกามาตรฐาน
- หน่วยความจำ EEPROM ขนาด 128 ไบต์ สำหรับเก็บข้อมูลกึ่งถาวรและ พารามิเตอร์ของโหนด
- หน่วยความจำ RAM ขนาด 64 ไบต์ ที่แบ็กอัพด้วยแบตเตอรี่ได้ สำหรับสำรอง ข้อมูลในขณะที่ต้นกำลังหายไป
- รหัส EUI-48 เป็น Unique ID ที่โปรแกรมมาแล้วจากโรงงาน สามารถใช้เป็น แอดเดรส หรือ รหัสแสดงตัว ของโหนดได้
- ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดของโหนด ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้ไอซีเบอร์ PIC18F46J11 และ PIC18F26J11, ทั้งสองเบอร์เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ในตระกูลเดียวกัน แตกต่างกันตรงที่จำนวนขาและแพ็คเกจเท่านั้น คุณสมบัติที่เป็นปัจจัยบวก สำหรับการนำมาสร้างโหนด ได้แก่

- การใช้กำลังงานต่ำ และมีโหมดประหยัดพลังงานหลายรูปแบบ ทำงานได้กับสัญญาณพิกัดความถี่ตั้งแต่ 0-48 MHz, โดยเฉพาะโหมด Deep Sleep ใช้กระแสต่ำมากเพียง 105 nA เหมาะสำหรับแอปพลิเคชันที่ใช้แบตเตอรี่เป็นต้นกำลัง

- ใช้แรงดัน 2.0-3.6 V แต่มีขาอินพุต/เอาต์พุตที่ทนแรงดันที่ลอจิก 5 V ได้
- มีพอร์ตอนุกรมสำหรับอินเตอร์เฟซอุปกรณ์บริหารหลายแบบ ได้แก่ UART, SPI, และ I²C สามารถเข้ากันได้กับ ตัวรับส่งวิทยุ และ ไอซี MCP3906 ที่กล่าวถึงก่อนหน้านี้
- มีตัวแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัล สำหรับอ่านแรงดันจากเซนเซอร์
- มี CMTU สำหรับใช้วัดตัวเก็บประจุ เหมาะสำหรับอ่านค่าจากเซนเซอร์ที่ให้ค่าความเก็บประจุเปลี่ยนได้ (Capacitive Sensor)
- มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช (Flash memory) ที่อนุญาตให้โปรแกรมได้ระหว่างการทำงาน (Run-Time) เป็นโอกาสให้สร้างโหนดที่โปรแกรมซ้ำได้ด้วยเฟิร์มแวร์

2.2.2 คอมโพเนนต์ที่ใช้สร้างโคออร์ดิเนเตอร์

ในโครงสร้างของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย โคออร์ดิเนเตอร์ จัดเป็นโหนดศูนย์กลาง ซึ่งต้องทำงานด้านเครือข่ายมากกว่าโหนดอื่นๆ อีกทั้งต้องการหน่วยความจำมากกว่า เพื่อใช้สำรองข้อมูลจากโหนดลูกข่าย ดังนั้นเราจึงเลือกไอซี PIC24EP256GP202 ซึ่งเป็น ไมโครคอนโทรลเลอร์ 16 บิต สามารถทำงานได้เร็วถึง 70 MIPS (Million Instruction per Second) และมีความจำ RAM ภายใน 32 kB ส่วนบริหารภายนอก (ตัวรับส่งวิทยุ และ ไอซี MCP79411) ใช้เหมือนกับคอมโพเนนต์ของโหนด

อีกสององค์ประกอบสำคัญของโคออร์ดิเนเตอร์ คือ 1. โมดูลที่ใช้ชิพเซต W5100 ในภาพที่ 2.12 ทำหน้าที่ต่อเชื่อมเครือข่าย LAN และ 2. หน้าจอแอลซีดีแบบสัมผัสหน้าจอ (ET-TFT43-EVE) ภาพที่ 2.13

ภาพที่ 2.13 ทำหน้าที่ติดต่อกับผู้ใช้, สองฟังก์ชันนี้ไม่ได้เป็นหน้าที่หลักของโคออร์ดิเนเตอร์ แต่เพิ่มฟังก์ชันให้โหนดศูนย์กลางทำหน้าที่เป็น เกตเวย์ (Gateway) สำหรับส่งต่อข้อมูลที่รวบรวมจากเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายไปยังเครือข่ายที่ใช้งานทั่วไปเพื่ออำนวยความสะดวกให้ผู้ใช้เข้าถึงข้อมูลได้ง่ายขึ้น, ส่วนใหญ่แล้วผู้ใช้จะเข้าถึงข้อมูลผ่านคอมพิวเตอร์ผ่าน LAN/WiFi อินเทอร์เน็ต แต่ฟังก์ชันติดต่อกับผู้ใช้ที่เพิ่มเข้ามานั้นจะช่วยให้ผู้ใช้ดูข้อมูลเบื้องต้นได้ รวมทั้งช่วยให้วิศวกรผู้ติดตั้งมอนิเตอร์สถานะของเครือข่ายได้สะดวก



ภาพที่ 2.12 โมดูล ET-MINI W5100 มีชั้นโปรโตคอล TCP/IP ภายในตัว



ภาพที่ 2.13 โมดูล ET-TFT43-EVE หน้าจอแอลซีดีพร้อมหน้าจอสัมผัส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved