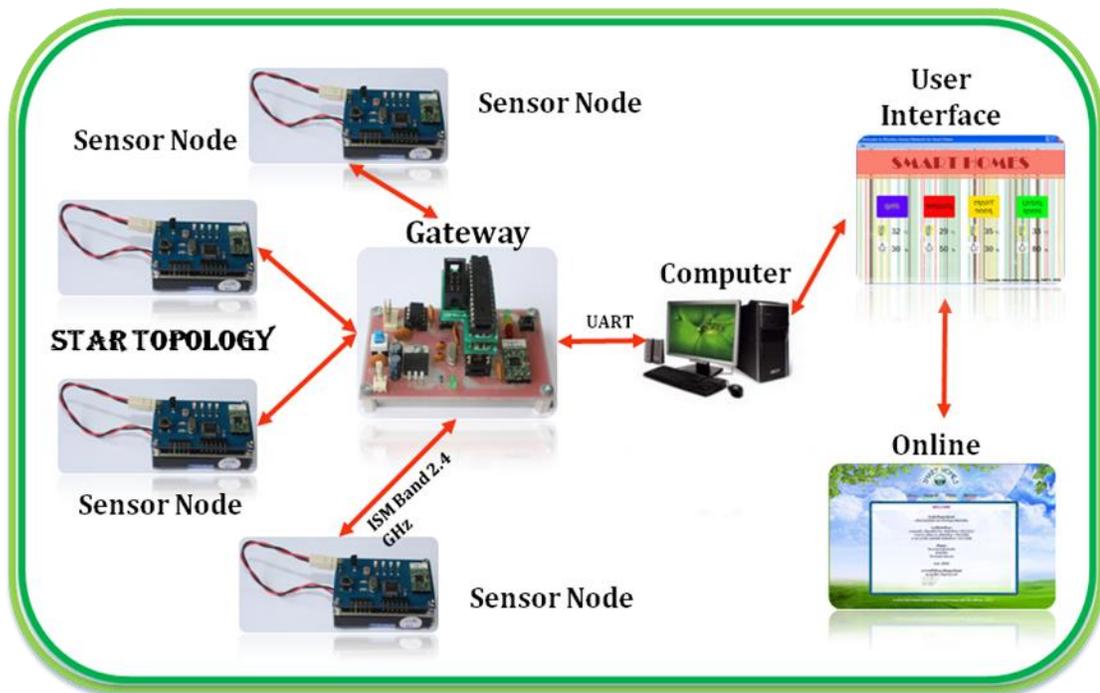


บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ต้นแบบบ้านอัจฉริยะบนพื้นฐานของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

จากการศึกษาเรื่องระบบเครือข่ายรับรู้ไร้สาย ผู้เสนอโครงการวิจัยจึงได้มีความสนใจที่จะนำอุปกรณ์เครือข่ายรับรู้ไร้สายมาพัฒนา โดยที่อุปกรณ์เครือข่ายรับรู้ไร้สายนั้นต้องใช้พลังงานน้อยที่สุดในการนำมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน โดยจะทำการออกแบบอุปกรณ์ดังกล่าวให้สามารถควบคุมได้ในระยะไกลผ่านเครือข่ายการสื่อสารไร้สาย และจะทำการเพิ่มประสิทธิภาพให้อุปกรณ์ต้นแบบด้วยการใส่เซ็นเซอร์ ในการวัดค่าอุณหภูมิและความเข้มแสง เพื่อให้สามารถวัดค่าสภาพแวดล้อมเหล่านี้มาจัดเก็บลงในฐานข้อมูลและนำค่าต่างๆ ที่เก็บรวบรวมมาประมวลผล ซึ่งจะนำมาใช้พัฒนาในการควบคุมการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในส่วนอื่นๆภายในที่อยู่อาศัยต่อไป โดยภาพรวมของการทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ภาพรวมการทำงานของบ้านอัจฉริยะบนพื้นฐานของเครือข่ายรับรู้ไร้สาย

2.2 ระเบียบวิธีวิจัย

2.2.1 ศึกษาทฤษฎีเครือข่ายรับรู้ไร้สาย

2.2.2 ศึกษาและจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

2.2.3 ออกแบบระบบการทำงาน โดยรวม

2.2.4 ออกแบบฮาร์ดแวร์บนพื้นฐานของต้นทุนที่ต่ำ โดยเลือกใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่เหมาะสม

2.2.5 ออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้

2.2.6 ติดตั้งระบบ และทำการทดสอบการใช้งานทั้งหมด

2.2.7 วิเคราะห์และแก้ไขข้อผิดพลาดจากการทดสอบการใช้งาน แล้วทำการทดสอบใหม่ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ค่าความผิดพลาดที่ต่ำกว่าค่าใดค่าหนึ่งทีน้อยที่สุด

2.2.8 ประเมินผลโครงการ และจัดทำรายงานโครงการฉบับสมบูรณ์เสนอต่อคณะวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งเป็นผู้ให้ทุนสนับสนุนโครงการวิจัย

2.3 แผนการดำเนินงานโครงการวิจัย

การดำเนินงาน	ระยะเวลา												หมายเหตุ
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	
ศึกษาทฤษฎีเครือข่าย รับรู้ไร้สาย	←→												
ศึกษาและจัดเตรียม เครื่องมือและอุปกรณ์ ที่เกี่ยวข้อง		←→											
ออกแบบระบบการ ทำงานโดยรวม			←→										
ออกแบบฮาร์ดแวร์ บนพื้นฐานของ ต้นทุนที่ต่ำ โดย เลือกใช้วัสดุและ อุปกรณ์ที่เหมาะสม					←→								
ออกแบบส่วนติดต่อ กับผู้ใช้						←→							
ติดตั้งระบบ และทำ การทดสอบการใช้ งานทั้งหมด								←→					
วิเคราะห์และแก้ไข ข้อผิดพลาดจากการ ทดสอบการใช้งาน แล้วทำการทดสอบ ใหม่ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ค่าความ ผิดพลาดที่ผู้เข้าค่าใด ค่าหนึ่งที่น้อยที่สุด										←→			
ประเมินผลโครงการ และจัดทำรายงาน โครงการฉบับ สมบูรณ์												←→	

2.4 อุปกรณ์ที่ต้องใช้

2.4.1 ฮาร์ดแวร์

- เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับพัฒนาโปรแกรมบน Microcontroller จำนวน 1 เครื่อง
- Microcontroller ชนิด ATMEGA 168v จำนวน 4 ตัว
- โมดูลไร้สาย NRF24L01 จำนวน 4 ตัว
- Wireless Sensor จำนวน 4 ชุด
- รีเลย์รุ่น ET-10PIN REL 4 จำนวน 2 ชุด
- ทรานสดิวเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว จำนวน 3 ชุด

2.4.2 ซอฟต์แวร์

- Adobe Dreamweaver
- Microsoft Visual Studio 2008
- SQL Program
- AVR Studio
- Oracle database 11g

2.5 ทฤษฎีพื้นฐานของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

2.5.1 ความหมายของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เป็นเครือข่ายที่ประกอบไปด้วยกลุ่มของอุปกรณ์สมองกลฝังตัว (Embedded devices) ขนาดเล็กที่เรียกว่าโนด ซึ่งแต่ละ โหนดนั้นจะมีเซนเซอร์บรรจุรวมอยู่ด้วย ทำให้บางครั้งจะเรียกโนดว่าเซนเซอร์โนด การรับ-ส่งสัญญาณ/ข้อมูลระหว่างโนดนั้นจะผ่านช่องสัญญาณไร้สาย

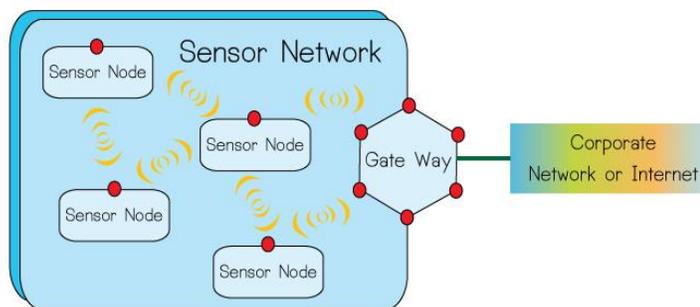
2.5.2 ข้อดีของการใช้เซนเซอร์ไร้สาย

เซนเซอร์ คืออุปกรณ์ขนาดเล็ก ที่สามารถรับรู้หรือตรวจจับสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้ เช่น เซนเซอร์ที่มีคุณสมบัติในการตรวจจับสัญญาณแสง ตรวจจับความเคลื่อนไหวของวัตถุ ตรวจจับความชื้น เป็นต้น เซนเซอร์นั้น จะประกอบรวมเข้ากับโครงสร้างของวัตถุหรือสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่ เครื่องจักร และสภาวะแวดล้อม เพื่อทำการเก็บข้อมูลตามลักษณะของเซนเซอร์ และจะทำการส่งข้อมูล

นั้น ไปยังหน่วยประมวลผลกลางเพื่อสร้างแอปพลิเคชันต่างๆ แต่ข้อเสียของการใช้งานเซนเซอร์ ก็คือ การเดินสายสัญญาณเพื่อเชื่อมต่อเซนเซอร์เข้ากับอุปกรณ์อื่นๆ ทำได้ค่อนข้างลำบาก โดยเฉพาะเมื่อ ต้องการเพิ่มจำนวนเซนเซอร์เข้าไปในระบบ และด้วยข้อจำกัดนี้อาจทำให้เราไม่สามารถรับข้อมูลได้ อย่างสมบูรณ์ ซึ่งทำให้การวิเคราะห์ผลเพื่อใช้งานต่างๆ มีความแม่นยำน้อยลง นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงกลุ่มของเซนเซอร์ก็ค่อนข้างสูงอีกด้วย ดังนั้นการนำเซนเซอร์ไร้สายเข้ามาแทนที่ เซนเซอร์แบบเดิม จะช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ดังกล่าวได้ โดยเซนเซอร์ไร้สายในอุดมคติ นั้น จะมีคุณสมบัติ ของการสร้างเป็นเครือข่ายได้ ซึ่งขนาดของเครือข่ายสามารถปรับได้ง่าย นอกจากนี้เซนเซอร์ไร้สาย ยัง ใช้พลังงานต่ำมาก มีความฉลาด สามารถโปรแกรมการทำงานได้ สามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือสำหรับการใช้งานระยะยาว อีกทั้งยังราคาถูก และค่าติดตั้งและค่าบำรุงรักษา ต่ำ

2.5.3 องค์ประกอบของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

จากหัวข้อข้างต้น ได้กล่าวไว้แล้วว่าเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย นั้นจะประกอบไปด้วยกลุ่มของ โหนดจำนวนหนึ่ง ซึ่งติดต่อสื่อสารกันผ่านช่องสัญญาณ ไร้สาย แต่ละโหนดนั้นสามารถเคลื่อนที่หรือหยุด นิ่งก็ได้ ข้อมูลจะถูกส่งจากโหนดต่อโหนดไปเรื่อยๆ จนถึงโหนดหนึ่งที่ทำหน้าที่รวบรวมข้อมูล และทำการ ประมวลผลข้อมูล เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในแอปพลิเคชันประเภทต่างๆ ต่อไป เครือข่าย เซนเซอร์ไร้สายนั้น สามารถติดต่อกับเครือข่ายอื่นๆ เช่นเครือข่ายอินเทอร์เน็ตหรืออินทราเน็ตได้ โดย ผ่านตัวกลางระหว่างเครือข่ายที่เรียกว่า เกตเวย์ (Gateway) การเชื่อมต่อระหว่างเกตเวย์กับเครือข่ายอื่น ภายนอกนั้น อาจเป็นการสื่อสารแบบใช้สายส่งสัญญาณ หรือแบบไร้สายก็ได้ องค์ประกอบของ เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

สำหรับสถาปัตยกรรมของ โหนด แสดงได้ดังรูปที่ 2.3 โดยประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก คือ

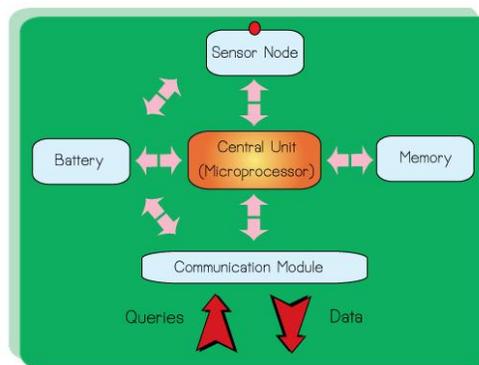
1. หน่วยประมวลผลกลาง (Central Unit: Microprocessor) ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมอุปกรณ์ทั้งหมดภายใน โหนด โดยทำการเชื่อมต่อส่วนอื่นๆ เข้าด้วยกันและมีหน้าที่ในการจัดการ โหนด รวมถึงการควบคุมการทำงานของแอปพลิเคชัน

2. เซนเซอร์ (Sensor) ประกอบด้วยกลุ่มของเซนเซอร์ที่ติดตั้งไว้กับ โหนด

3. อุปกรณ์สื่อสาร (Communication module) ประกอบด้วยเครื่องรับ-ส่งสัญญาณ

4. หน่วยความจำ (Memory) ทำหน้าที่เก็บข้อมูลชั่วคราวหรือข้อมูลที่ถูกสร้างขึ้นมาจากการประมวลผล

5. แบตเตอรี่ (Battery) ทำหน้าที่จ่ายพลังงานให้กับทุกส่วนใน โหนด



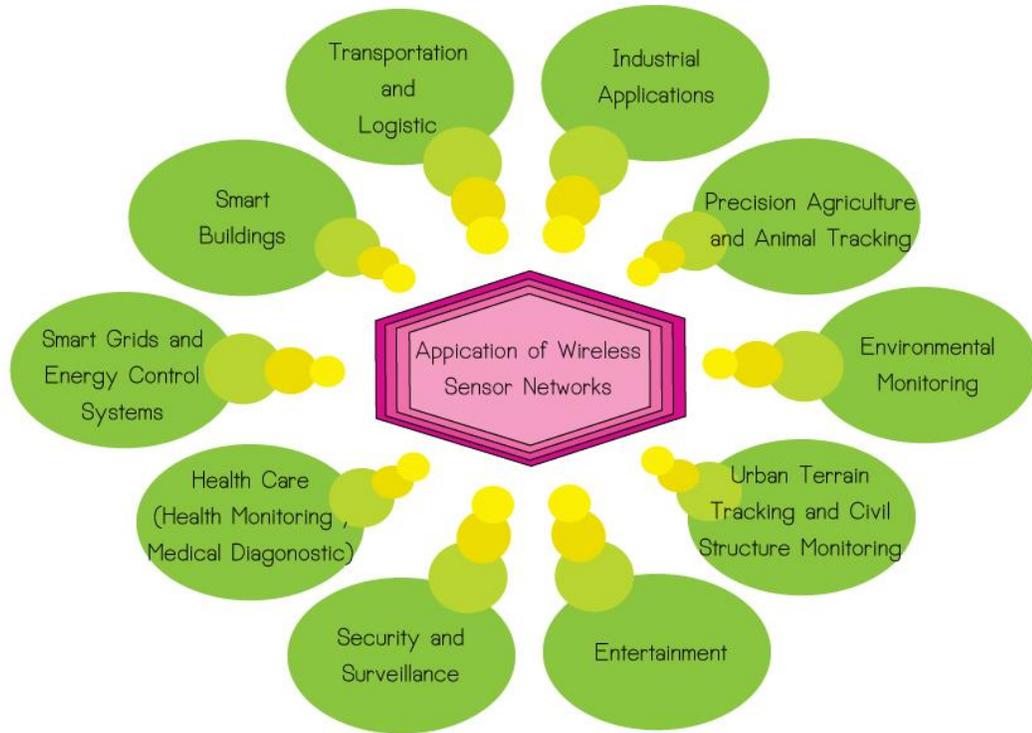
รูปที่ 2.3 สถาปัตยกรรมของเซนเซอร์โหนด

2.5.4 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

แนวคิดของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายนั้นอยู่บนพื้นฐานสมการง่ายๆ คือ

การรับรู้ (Sensing) + หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) + คลื่นวิทยุ (Radio wave) = หลากหลายการใช้งานแอปพลิเคชัน

ลักษณะงานที่ใช้เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย มีหลากหลายสาขา ดังตัวอย่างแสดงได้ดังรูปที่ 2.4

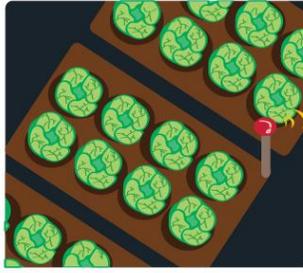


รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

เพื่อให้เห็นภาพการนำเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายไปประยุกต์ใช้งานจริง จะขอหยิบยกบางตัวอย่างและขออธิบายลักษณะของการประยุกต์ใช้งาน ณ ที่นี้

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายทางด้านเกษตรกรรม

เซนเซอร์นับร้อย ๆ ตัวจะถูกวางอยู่ในพื้นที่เป้าหมาย โดยเซนเซอร์นี้จะเก็บข้อมูลอุณหภูมิ ความเข้มแสง และความชื้นของดิน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งผ่านเครือข่ายแบบมัลติฮอปไปยัง โหนดที่รวบรวมข้อมูล และใช้ข้อมูลนี้ในการตัดสินใจในการสั่งให้แอปพลิเคชันทำงานต่อไป เช่น หากพบว่าค่าความชื้นในดินลดลง ระบบก็จะทำการรดน้ำ ณ ตำแหน่งนั้น ๆ ได้ทันที จะเห็นได้ว่าระบบการจัดการทางการเกษตร โดยการประยุกต์ใช้เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายนี้สามารถตอบสนองการทำงานของเกษตรกรได้อย่างรวดเร็ว และแม่นยำตรงจุดมากขึ้น รวมทั้งประหยัดค่าใช้จ่ายอีกด้วย ลักษณะของการส่งข้อมูลแบบมัลติฮอปนี้มีข้อดีคือหากโหนดใดโหนดหนึ่งไม่สามารถทำงานได้ ข้อมูลยังคงสามารถถูกส่งผ่านทางโหนดอื่น เพื่อนำไปวิเคราะห์ก็ได้ และถ้าหากเพิ่มจำนวนโหนดมากขึ้น จะทำให้การจัดการข้อมูลทางการเกษตรมีความแม่นยำมากขึ้น จะเห็นว่าระบบการจัดการข้อมูลมีความเสถียรภาพ ต้นทุนต่ำ และง่ายต่อการติดตั้งมากขึ้น



รูปที่ 2.5 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายทางการเกษตร

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายสำหรับการดูแลรักษาสุขภาพ

เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการดูแลรักษาสุขภาพ ซึ่งได้รับความสนใจจากนักวิจัยเป็นจำนวนมาก ปัจจุบันได้มีการกล่าวกันถึง Wireless Body Area Network (WBAN) กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งเป็นเครือข่ายที่ใช้เซนเซอร์ติดอยู่กับร่างกายของมนุษย์ และเซนเซอร์นี้จะรับส่งข้อมูลไปยังศูนย์ควบคุมข้อมูลระยะไกลผ่านการสื่อสารไร้สาย เซนเซอร์ที่ใช้ในเครือข่ายนี้ มีหลายประเภท เช่น เซนเซอร์วัดสัญญาณการทำงานของหัวใจ เซนเซอร์วัดสัญญาณการทำงานของกล้ามเนื้อ เซนเซอร์วัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าของสมอง เป็นต้น ข้อมูลที่วัดได้จากเซนเซอร์นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อีกมากมาย โดยเฉพาะงานสำหรับการดูแลรักษาสุขภาพ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานหลักๆ ของ WBAN คือการมอนิเตอร์ผู้ป่วยระยะไกลผ่านอินเทอร์เน็ตหรืออินทราเน็ต ซึ่งทำให้นักการทางการแพทย์สามารถดูแลผู้ป่วยที่ต้องการการดูแลอย่างใกล้ชิด ได้ง่ายขึ้นโดยไม่จำเป็นต้องเข้าไปยังสถานพยาบาล และสามารถวินิจฉัยโรคหรือให้คำปรึกษาทางการแพทย์ได้ผ่านระบบออนไลน์ ดังนั้นผู้ป่วยจึงไม่ต้องกังวลเมื่อตนเองอยู่ห่างแพทย์ และสามารถใช้ชีวิตได้ตามปกติในชีวิตประจำวัน และแพทย์เองก็สามารถดูแลผู้ป่วยได้ โดยไม่จำเป็นต้องเข้าไปตรวจผู้ป่วยที่สถานพยาบาล โรงพยาบาลชั้นนำในเมืองไทยเอง ก็ได้มีการนำระบบตรวจคลื่นหัวใจของผู้ป่วยโรคหัวใจมาใช้ โดยให้ผู้ป่วยติดหรือสวมใส่อุปกรณ์เซนเซอร์วัดสัญญาณการทำงานของหัวใจไว้กับตัว และเซนเซอร์จะส่งสัญญาณไปที่ศูนย์ควบคุมระยะไกลตลอดเวลาผ่านระบบออนไลน์ เพื่อให้แพทย์รับรู้อาการของผู้ป่วยตลอดเวลา



ผู้ป่วยที่มีเซนเซอร์ โนคติดอยู่กับตัวเอง



แพทย์ซึ่งสามารถเฝ้าดูอาการของผู้ป่วยใน ศูนย์ควบคุมส่วนกลาง

รูปที่ 2.6 ระบบมอนิเตอร์ผู้ป่วย ผ่านการสื่อสารไร้สาย โดยการประยุกต์ใช้เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายสำหรับอาคารอัจฉริยะ (Smart Building)

อาคารอัจฉริยะ จะใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยช่วยในการควบคุมพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยให้ผู้ใช้งานมีความสะดวกมากขึ้นในการตรวจสอบสิ่งต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในอาคาร หนึ่งในเทคโนโลยีที่นำมาใช้นั้น คือเทคโนโลยีเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย สำหรับการประยุกต์ใช้งานในเรื่องจัดการสิ่งต่างๆ เกิดขึ้นภายในอาคาร เช่นการมอนิเตอร์ความร้อน และการระบายอากาศ (Heating, ventilation, and air conditioning systems: HVAC) หรือในเรื่องของการควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าอัตโนมัติให้สอดคล้องกับความต้องการในการใช้งานหรือเลิกใช้งาน รวมถึงในเรื่องของระบบการเข้าออกภายในอาคารและระบบรักษาความปลอดภัยต่างๆ ของอาคาร เป็นต้น



เมื่อเข้ามาในห้อง ไฟในห้องจะเปิดขึ้นเอง
อัตโนมัติ



เมื่อออกจากห้อง ไฟในห้องจะปิดเอง
อัตโนมัติ

รูปที่ 2.7 บ้านอัจฉริยะบนพื้นฐานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

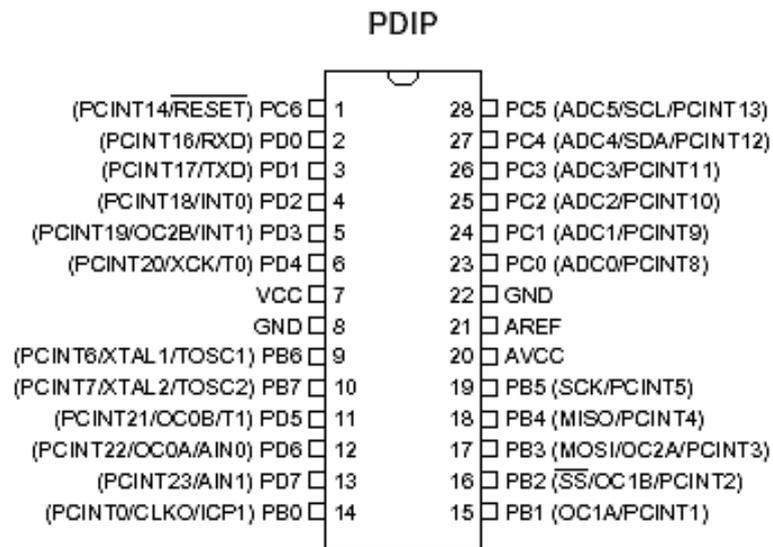
2.6 ทฤษฎีพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR8 เบอร์ Atmega168v ของบริษัท Atmel

2.6.1 ข้อมูลพื้นฐาน

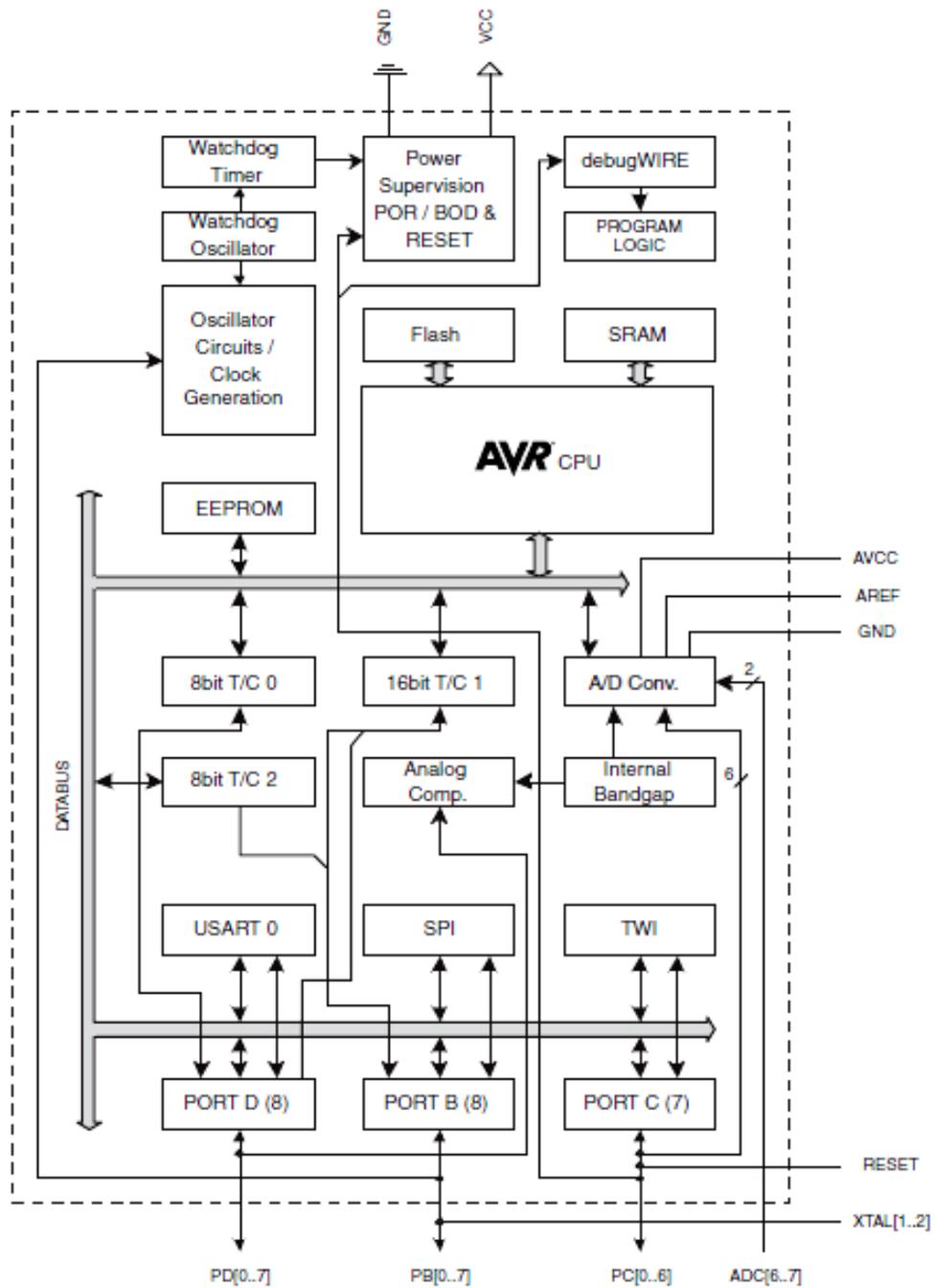
ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เป็นไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัท Atmel มีสถาปัตยกรรมภายในเป็นแบบ RISC (reduced instruction set computer) โดยใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ลูกในการปฏิบัติงานใน 1 คำสั่งโดยจะประกอบด้วยหน่วยความจำโปรแกรมภายในที่เป็นแบบแฟลช (flash) โปรแกรมข้อมูลได้แบบ In-System programmable และในบางเบอร์ยังสามารถมีการกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำที่สร้างเป็นบูตโหลดเดอร์ boot loader (เขียนโปรแกรมเพื่อติดต่อกับ PC หรือไอซีตัวอื่นๆ และยังสามารถโปรแกรมให้กับตัวเองได้) มีขนาดของหน่วยความจำตามเบอร์ของไอซีแต่ละตัวยกตัวอย่างคุณสมบัติเบื้องต้นของไอซีเบอร์ Atmega168 ได้ดังต่อไปนี้

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิตมีประสิทธิภาพสูงใช้พลังงานต่ำ
- มีโครงสร้างสถาปัตยกรรมภายในแบบ Advance RISC
- มีคำสั่งควบคุมการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์ 130 คำสั่งคำสั่งส่วนมากจะทำสำเร็จในรอบสัญญาณนาฬิกาเดียว
- มีจำนวนรีจิสเตอร์ทั่วไปขนาด 32 x 8
- มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในแบบ **Flash** ขนาด 16 K Bytes มีการโปรแกรมได้แบบ In-System Self-programmable
- มีหน่วยความจำภายในแบบ **EEPROM** ขนาด 512 Bytes
- มีหน่วยความจำภายในแบบ **SRAM** ขนาด 1K Byte
- เขียน /ลบ ได้ถึง 10,000 ครั้ง สำหรับหน่วยความจำแบบ Flash และ 100,000 สำหรับหน่วยความจำแบบ EEPROM
- กำหนดการ **Boot Code Section** ในตำแหน่งต่างๆ และ **Lock Bits** ได้ (ทำ boot loader)
- Programming Lock for Software **Security** ป้องกันข้อมูล
- **Timer/Counters** ขนาด **8-bit** 2 ตัว และมี Separate Prescaler โหมด Compare อีก 1 ตัว
- One **16-bit Timer/Counter** with Separate Prescaler, Compare Mode and Capture
- มี PWM 6 ช่องสัญญาณ
- ADC ความละเอียด 10 บิต จำนวน 8 ช่องสัญญาณ
- สามารถตรวจสอบการขัดจังหวะและตื่นจากการทำงานจากการเปลี่ยนแปลงของขาอินพุตเอาต์พุต
- สามารถทำการโปรแกรมผ่าน USART
- มีการติดต่อแบบ Master/Slave **SPI Serial Interface**

- ใช้งาน RC Oscillator ภายในไอซีและภายนอกไอซีได้
- ระดับอุณหภูมิที่สามารถทำงานได้ -40 °C ถึง 85 °C
- ความเร็วสูงสุดที่สามารถทำงานได้ 0 - 4 MHz ที่แรงดัน 1.8 - 5.5 V และ 0 - 10 MHz ที่แรงดัน 2.7 - 5.5V
- การทำงานที่พลังงานต่ำ
 - การทำงาน Active โหมด 1 MHz, ที่ 1.8V ใช้กระแส 240 μ A
 - การทำงาน Power-down โหมด ที่ 1.8V ใช้กระแส 0.1 μ A

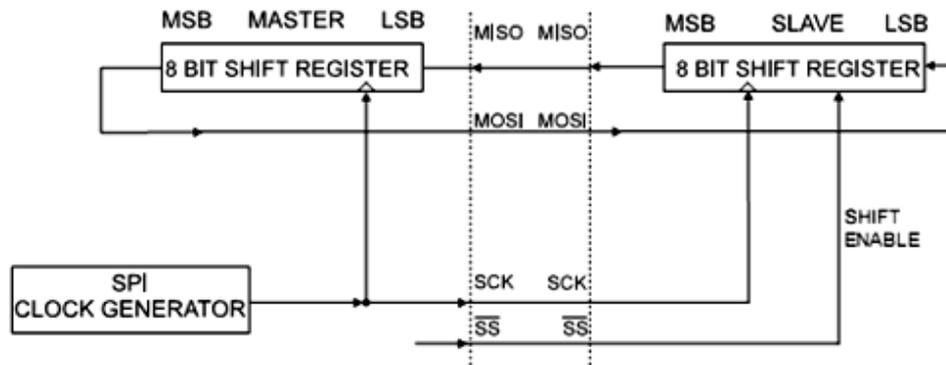


รูปที่ 2.8 รูปแบบตัวถังและตำแหน่งขาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ Atmega168 [4]



รูปที่ 2.9 สถาปัตยกรรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ Atmega168 [4]

2.6.2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรม (SPI)



รูปที่ 2.10 การเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรม (SPI) [4]

การเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรม (Serial Peripheral Interface) หรือ SPI เป็นการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เพื่อรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส ระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR หรือจะเป็นอุปกรณ์ภายนอกที่มีการรับส่งข้อมูลแบบ SPI โดยการทำงานแบ่งออกเป็นสองโหมดคือ Master/Slave การสื่อสารข้อมูล SPI ประกอบด้วยสายสัญญาณดังนี้

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงการทำงานของการทำงานของการเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบอนุกรม [4]

Pin	Direction, Master SPI	Direction, Slave SPI
MOSI	User Defined	Input
MISO	Input	User Defined
SCK	User Defined	Input
\overline{SS}	User Defined	Input

2.6.2.1 ตัวอย่างการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับการเชื่อมต่อ

- การทำงานแบบ Master โหมด

```
void SPI_MasterInit(void)
{
    /* Set MOSI and SCK output, all others input */
    DDR_SPI = (1<<DD_MOSI) | (1<<DD_SCK);
    /* Enable SPI, Master, set clock rate fck/16 */
    SPCR = (1<<SPE) | (1<<MSTR) | (1<<SPRO);
}
```

```

void SPI_MasterTransmit (char cData)
{
    /* Start transmission */
    SPDR = cData ;
    /* Wait for transmission complete */
    While (!(SPSR & (1<<SPIF))) ;
}

```

- การทำงานแบบ Slave โหมด

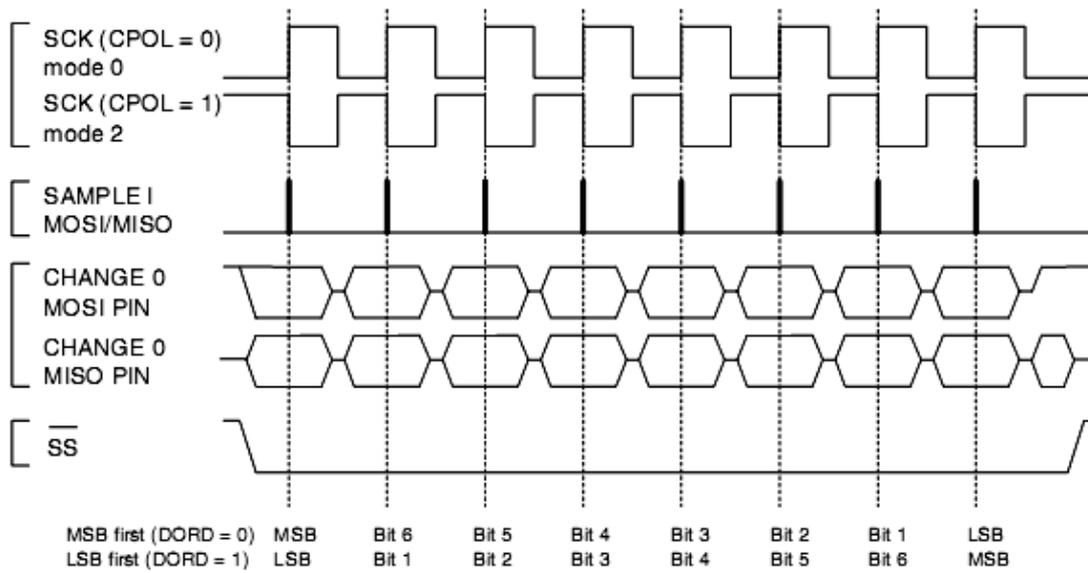
```

void SPI_SlaveInit(void)
{
    /* Set MISO output, all others input */
    DDR_SPI = (1<<DD_MISO);
    /* Enable SPI */
    SPCR = (1<<SPE) ;
}

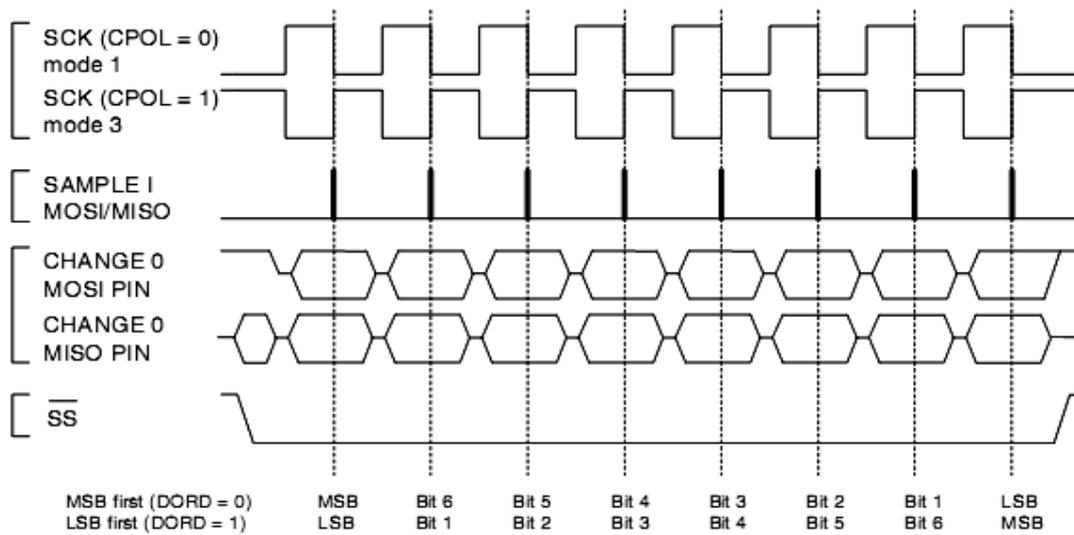
char SPI_SlaveReceive (void)
{
    /* Wait for reception complete */
    While (! (SPSR & (1<<SPIF))) ;
    /* Return Data Register */
    Return SPDR ;
}

```

โดยรายละเอียดของสัญญาณนาฬิกาสามารถกำหนดได้ผ่านรีจิสเตอร์ SPCR โดยในที่นี้จะไม่กล่าวถึง สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากเอกสารอ้างอิงของทาง บริษัท Atmel ซึ่งรายละเอียดของสัญญาณนาฬิกามีดังนี้

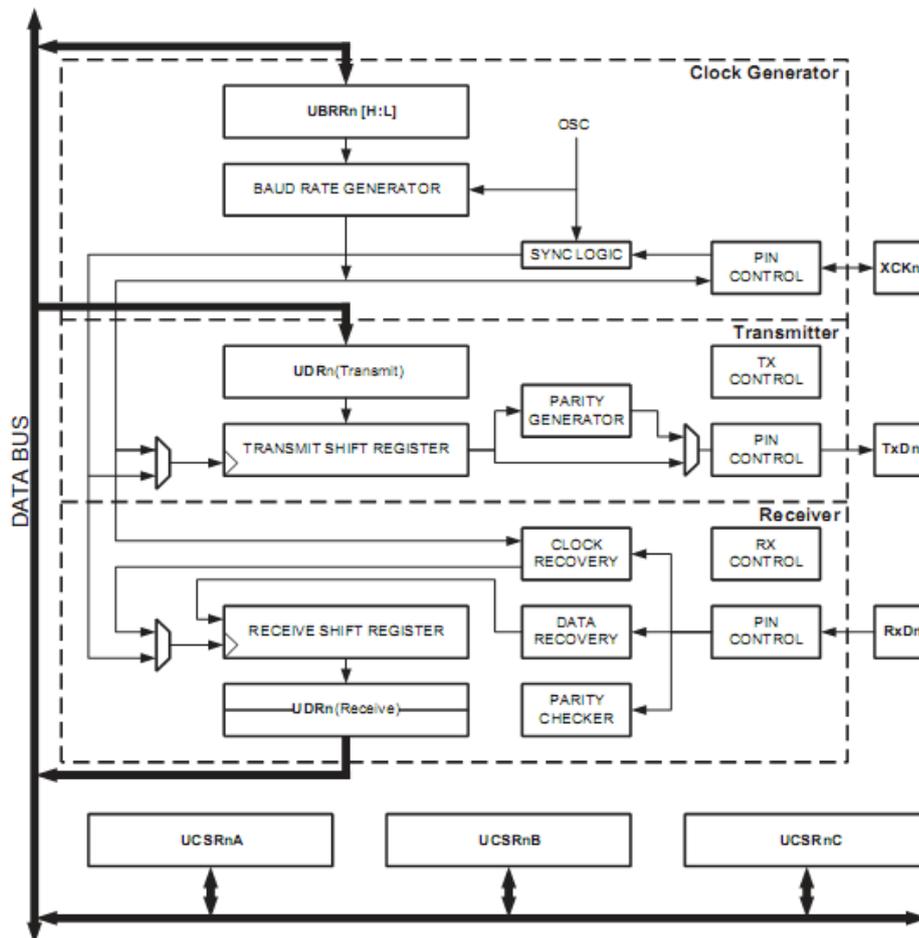


รูปที่ 2.11 รูปแบบการส่งข้อมูลในการกำหนด CPHA=0 [4]



รูปที่ 2.12 รูปแบบการส่งข้อมูลในการกำหนด CPHA=1 [4]

2.6.3 การสื่อสารข้อมูลอนุกรมผ่านโมดูล USART (Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter)



รูปที่ 2.13 โครงสร้างโมดูล USART [4]

2.6.3.1 โมดูล USART

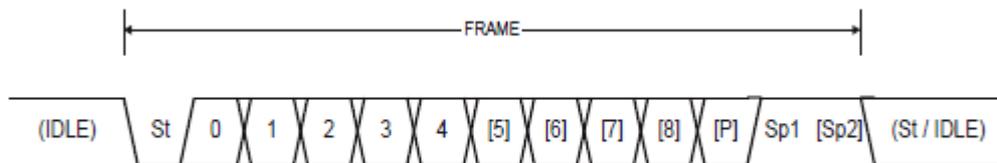
แบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ

- ส่วนสร้างสัญญาณนาฬิกา (Clock Generator) เพื่อใช้ในการกำหนดอัตราบอดเรต (Baud rate) ในการรับส่งข้อมูล โดยสามารถกำหนดได้ทั้งภายในและภายนอก ผ่านทางขา XCK (Transfer Clock)
- ส่วนส่งข้อมูลอนุกรม (Transmitter) โดยส่งข้อมูลออกทางขาพอร์ต TxD
- ส่วนรับข้อมูลอนุกรม (Receiver) โดยการรับข้อมูลจากขาพอร์ต RxD

2.6.3.2 รีจิสเตอร์และรูปแบบการส่งข้อมูล

รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงาน 3 ตัวประกอบไปด้วย UCSRA, UCSRB, UCSRC การส่งข้อมูลอนุกรมในรูปแบบอะซิงโครนัส จะเป็นการส่งข้อมูลเป็นเฟรม ลักษณะของเฟรมข้อมูลอนุกรมนี้ประกอบไปด้วย

- บิตเริ่มต้นข้อมูล (Start bit)
- บิตข้อมูล (Data bit)
- พาริตีบิต (Parity bit)
- บิตหยุดข้อมูล (Stop bit)



รูปที่ 2.14 รูปแบบเฟรมข้อมูลในการส่งข้อมูลแบบ USART [4]

2.6.3.3 คุณสมบัติที่สำคัญของโมดูล USART

- การสื่อสารข้อมูลแบบฟลูคูเพลกซ์ (Full Duplex) ตัวรับและตัวส่งแยกอิสระต่อกัน สามารถรับและส่งข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน (พร้อมกัน)
- ทำงานได้ทั้งในโหมดซิงโครนัสและอะซิงโครนัส
- มีคุณสมบัติของพอร์ตอนุกรมครบถ้วน เช่นการกำหนดบิตข้อมูล กำหนดบิตหยุด และกำหนดพาริตี (Parity) เป็นต้น
- มีส่วนตรวจสอบความผิดพลาดของเฟรมข้อมูลและข้อมูลโอเวอร์รัน (Framing Error and Data Overrun Detection)
- โหมดการสื่อสารแบบมัลติโปรเซสเซอร์
- โหมดทวิคูณความเร็วในการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

2.6.3.4 การกำหนดอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล

การกำหนดอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลที่เรียกว่า อัตราบอดเรต (Baud rate) หรือการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณใน 1 วินาที ซึ่งสามารถคำนวณหาได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงการคำนวณอัตราบอดเรตของ USART [4]

Operating Mode	Equation for Calculating Baud Rate ⁽¹⁾	Equation for Calculating UBRRn Value
Asynchronous Normal mode (U2Xn = 0)	$BAUD = \frac{f_{osc}}{16(UBRRn + 1)}$	$UBRRn = \frac{f_{osc}}{16BAUD} - 1$
Asynchronous Double Speed mode (U2Xn = 1)	$BAUD = \frac{f_{osc}}{8(UBRRn + 1)}$	$UBRRn = \frac{f_{osc}}{8BAUD} - 1$
Synchronous Master mode	$BAUD = \frac{f_{osc}}{2(UBRRn + 1)}$	$UBRRn = \frac{f_{osc}}{2BAUD} - 1$

2.6.3.5 ตัวอย่างการกำหนดโปรแกรมให้กับคอนโทรลเลอร์

- การกำหนดค่าเริ่มต้น

```

#define FOSC 1843200 // Clock Speed
#define BAUD 9600
#define MYUBRR FOSC/16/BAUD-1

void main (void)
{
...
USART_Init (MYUBRR)
...
}

void USART_Init (unsigned intubrr)
{
/* Set baud rate */
UBRR0H = (unsigned char)(ubrr>>8) ;
UBRR0L = (unsigned char)ubrr ;
Enable receiver and transmitter */

```

```
UCSR0B = (1<<RXEN0) | (1<<TXEN0));
/* Set frame format : 8data, 2stop bit */
UCSR0C = (1<<USBS0) | (3<<UCSZ00);
}
```

- การส่งข้อมูล

```
void USART_Transit (unsigned char data)
{
/* Wait for empty transmit buffer */
while (!(UCSRnA & (1<<UDREN)));
/* Put data into buffer, sends the data */
UDRn = data;
}
```

- การรับข้อมูล

```
unsigned char USART_Receiver (void)
{
/* Wait for data to be received */
while (!(UCSRnA & (1<<RXCN)));
/* Get and return received data from buffer */
return UDRn;
}
```

2.6.4 การสื่อสารแบบบัส 1 สาย (1-wire Protocol)

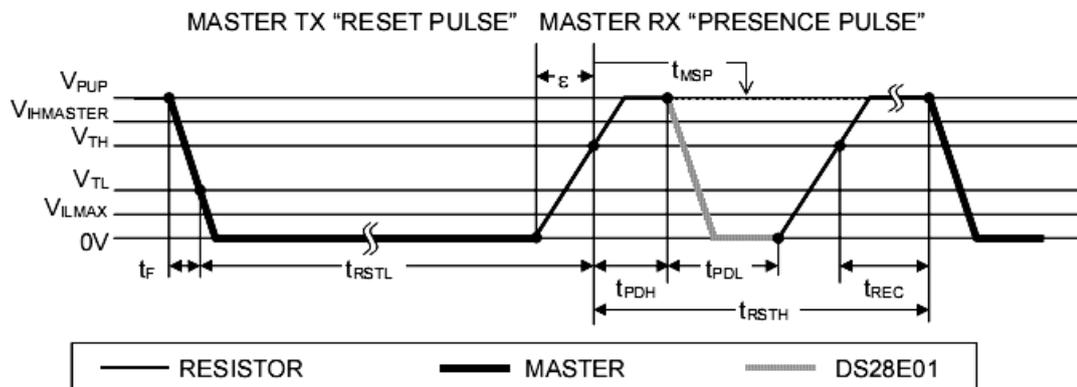
2.6.4.1 การติดต่อ

กระบวนการติดต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์หรือเรียกว่ามาสเตอร์ (Master) กับอุปกรณ์บนระบบบัส 1 สายหรือเรียกว่า สเลฟ (Slave) นั้นมีกระบวนการดังนี้

ก. การเริ่มต้นติดต่อกับบัส 1 สาย (Reset and Presence Pulses)

การเริ่มต้นติดต่อกับบัส 1 สายหรือเรียกกระบวนการ Reset and Presence Pulse ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเริ่มสร้างสัญญาณลอจิกต่ำ (เขียนค่า 0) ออกไปที่บัส 1 สายเป็นเวลาอย่างน้อย 480 ไมโครวินาที จากนั้นจะส่งสัญญาณลอจิกสูง (เขียนค่า 1) เป็นเวลาระหว่าง 15 ถึง 60

ไมโครวินาที หากอุปกรณ์บัส 1 สาย พร้อมทำงานหรือตอบรับได้ จะทำให้สัญญาณกลับเป็นลอจิกต่ำ โดยสัญญาณจะยังคงอยู่เป็นระยะเวลาระหว่าง 60 ถึง 240 ไมโครวินาที แสดงดังรูปที่ 2.15

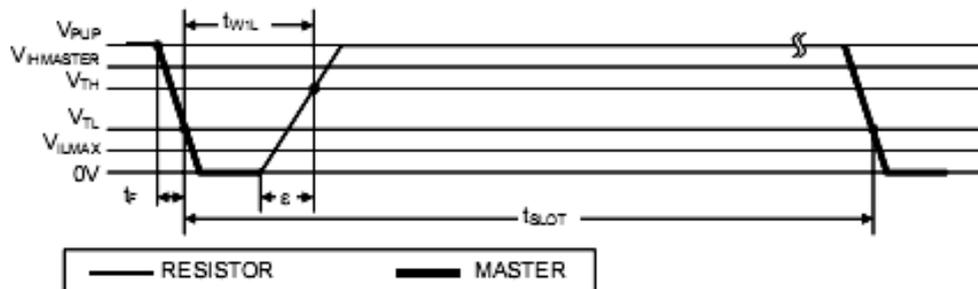


รูปที่ 2.15 ไมโครคอนโทรลเลอร์กับการติดต่อไอซี [4]

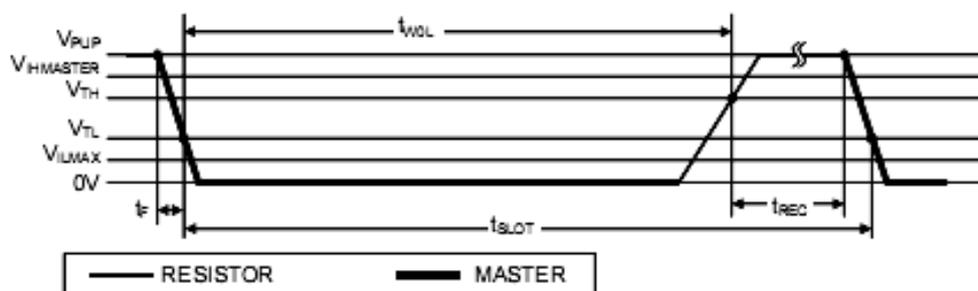
ข. การเขียนข้อมูลบนบัส 1 สาย (Write 1-Wire bus)

เมื่อเริ่มติดต่อกับอุปกรณ์บัส 1 สาย (DS18x20) ได้แล้ว ในขั้นตอนการเขียนข้อมูลนั้น จะเริ่มต้นด้วยการเขียนข้อมูล 0 ไปที่บัส 1 สายก่อน และหากต้องการเขียนค่า 0 ให้คงสถานะสัญญาณ 0 ไว้เป็นเวลานานกว่า 60 ไมโครวินาทีและไม่เกิน 120 วินาที แต่ถ้าต้องการเขียนค่า 1 หลังจากเริ่มต้นส่งข้อมูล 0 แล้วให้เวลาผ่านไป 1 ไมโครวินาทีก่อนจึงเขียนค่า 1 ตามไป แสดงดังรูปที่ 2.16

Write-One Time Slot



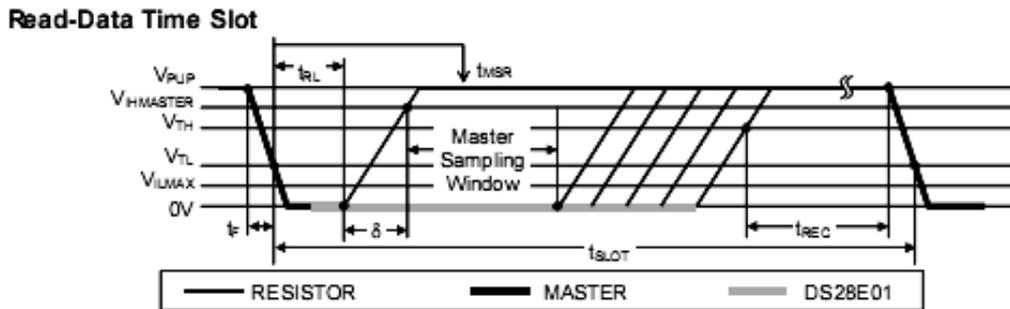
Write-Zero Time Slot



รูปที่ 2.16 กระบวนการเขียนข้อมูลบนบัส 1 สาย [4]

ค. การอ่านข้อมูลบนบัส 1 สาย (Read 1-Wire bus)

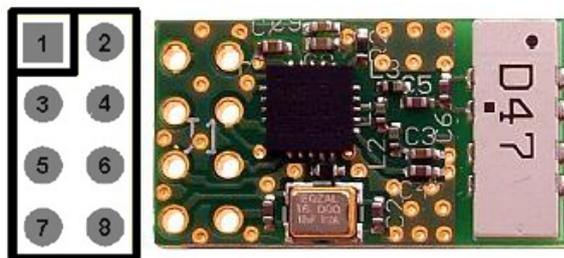
ขั้นตอนการอ่านข้อมูล จะเริ่มต้นส่งข้อมูล 0 ไปที่บัส 1 สายก่อน ในช่วงเวลา 1 ไมโครวินาทีให้เขียนค่า 1 ตามไปให้อ่านสัญญาณที่ส่งมาจากอุปกรณ์สเลฟหลังจากเวลาผ่านไป แล้ว 15 ไมโครวินาทีขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 กระบวนการอ่านข้อมูลบนบัส 1 สาย [4]

2.7 โมดูลการสื่อสารไร้สาย DCBT-24N (nRF24L01)

2.7.1 ข้อมูลพื้นฐานของโมดูลการสื่อสารไร้สาย DCBT-24N (nRF24L01)



รูปที่ 2.18 โมดูลการสื่อสารไร้สาย DCBT-24N (nRF24L01) [5]

จากรูปที่ 2.18

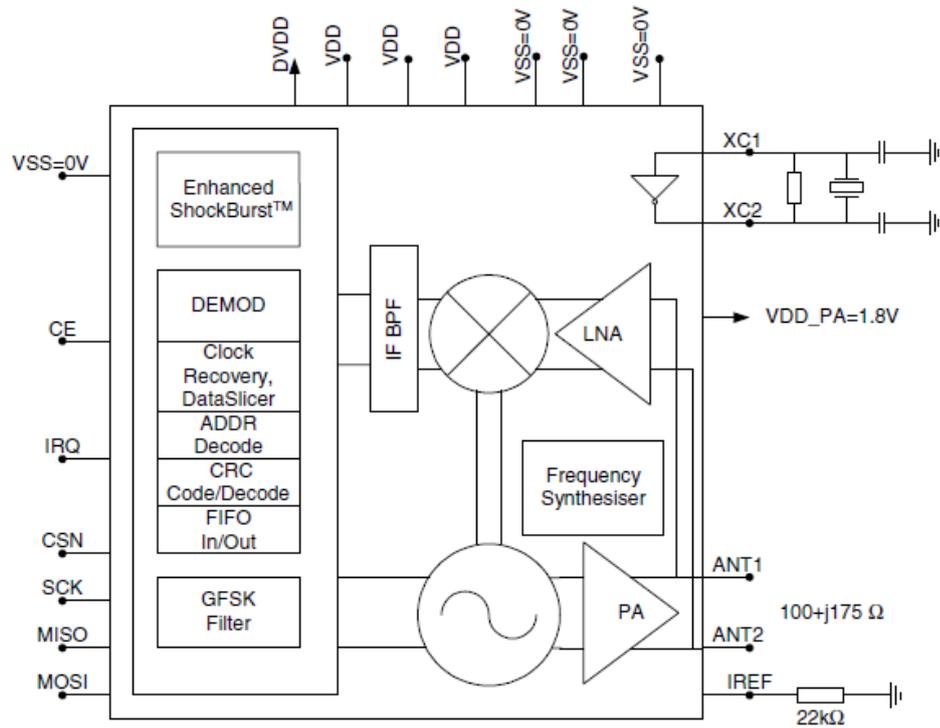
- | | | | |
|--------|--------|---------|-------|
| 1.GND | 2.VDD | 3. CE | 4.SCK |
| 5. CSN | 6.MOSI | 7. MISO | 8.IRQ |

- ใช้ช่วงความถี่ 2.4 GHz ISM band
- ส่งด้วยความเร็วบนอากาศ 2 Mbps
- ขนาด 19 × 10 mm น้ำหนัก 0.95 กรัม ใช้พลังงานต่ำ
- กินพลังงาน 11.3 mA ในการการส่งระดับพลังงาน 0 dBm
- กินพลังงาน 12.3 mA ในการรับข้อมูลที่มีความเร็ว 2 Mbps
- ทำงานที่ระดับแรงดัน 1.9-3.6 V
- มีระบบจัดการแพคเกจอัตโนมัติ

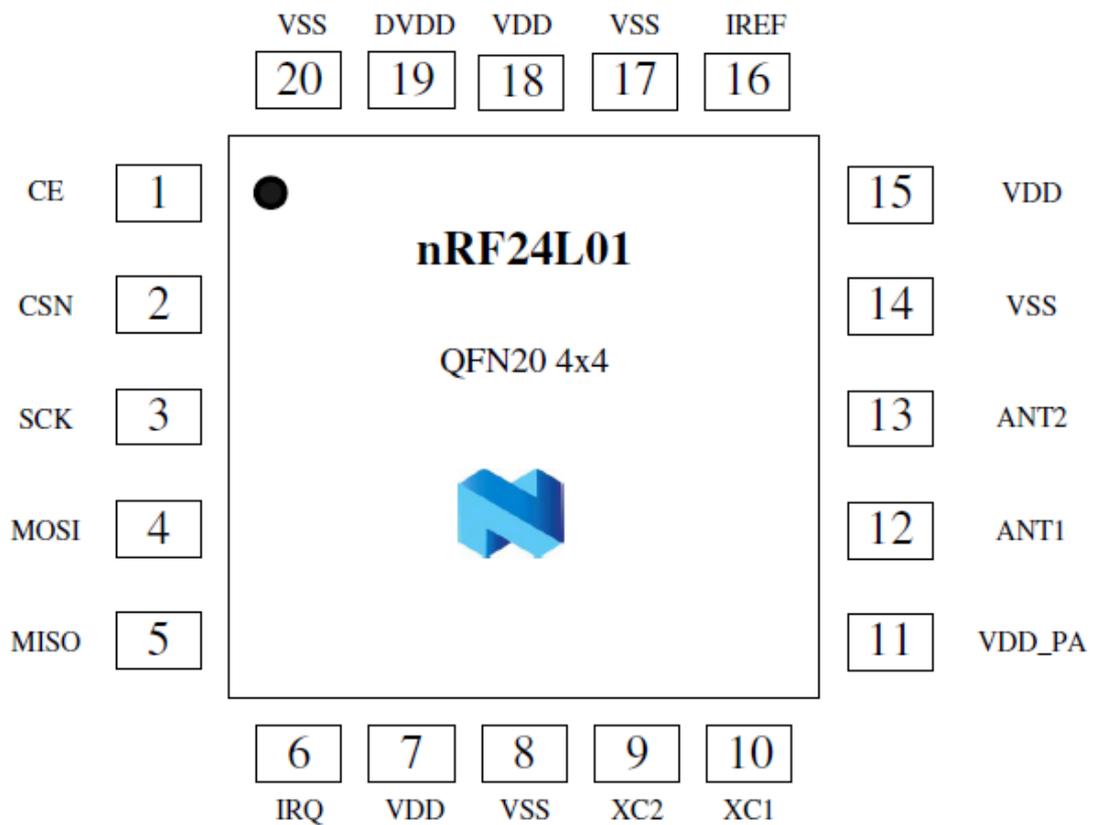
- มีระบบการทำงาน 6 Data pipe MultiCeiver
- ใช้การเชื่อมต่อแบบ SPI
- มีราคาต่ำ
- ช่องสัญญาณ RF 125 ช่อง
- Interface SPI 0-8 MHz
- UEXT เพื่อเชื่อมต่อกับโฮสต์ไมโครคอนโทรลเลอร์

ตารางที่ 2.3 ตารางสรุปคุณสมบัติพื้นฐานของ nRF24L01 [6]

Parameter	Value	Unit
Minimum supply voltage	1.9	V
Maximum output power	0	dBm
Maximum data rate	2000	Kbps
Supply current in TX mode @ 0 dBm output power	11.3	mA
Supply current in RX mode @ 2000 kbps	12.3	mA
Temperature range	-40 to +85	°C
Sensitivity @ 1000 kbps	-85	dBm
Supply current in Power Down mode	900	nA



รูปที่ 2.19 บล็อกไดอะแกรมของ nRF24L01 [6]



รูปที่ 2.20 nRF24L01 pin assignment ด้านบนสำหรับ QFN20 4x4 แพคเกจ [6]

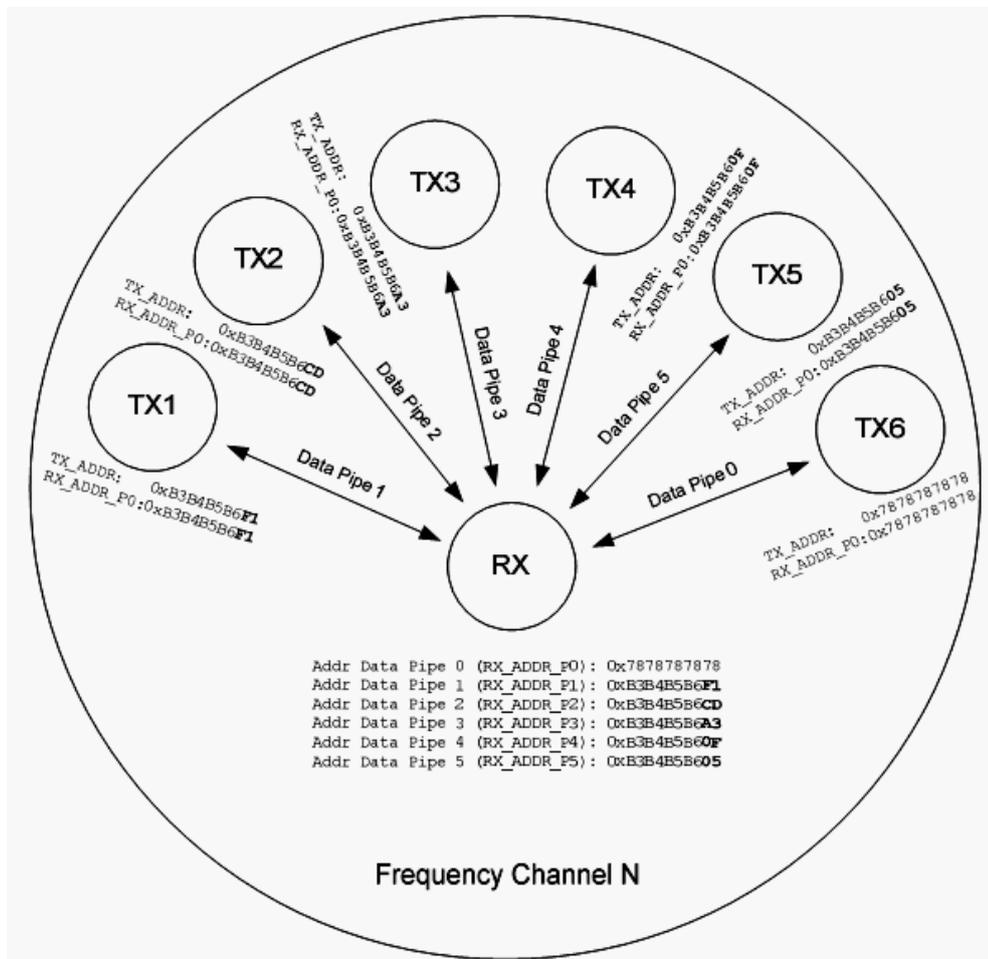
ตารางที่ 2.4 ฟังก์ชันของ PIN ใน nRF24L01 [6]

Pin	Name	Pin function	Description
1	CE	Digital Input	Chip Enable Activates RX or TX mode
2	CSN	Digital Input	SPI Chip Select
3	SCK	Digital Input	SPI Clock
4	MOSI	Digital Input	SPI Slave Data Input
5	MISO	Digital Output	SPI Slave Data Output, with tri-state option
6	IRQ	Digital Output	Maskable interrupt pin
7	VDD	Power	Power Supply (+3V DC)
8	VSS	Power	Ground (0V)
9	XC2	Analog Output	Crystal Pin 2
10	XC1	Analog Input	Crystal Pin 1
11	VDD_PA	Power Output	Power Supply (+1.8V) to Power Amplifier
12	ANT1	RF	Antenna interface 1
13	ANT2	RF	Antenna interface 2
14	VSS	Power	Ground (0V)
15	VDD	Power	Power Supply (+3V DC)
16	IREF	Analog Input	Reference current
17	VSS	Power	Ground (0V)
18	VDD	Power	Power Supply (+3V DC)
19	DVDD	Power Output	Positive Digital Supply output for de-coupling purposes
20	VSS	Power	Ground (0V)

การกำหนดการทำงานสามารถทำได้โดยส่งคำสั่งผ่านฟังก์ชันการทำงานของ SPI โดยมีขาการเชื่อมต่อดังนี้

- IRQ (this signal is active low and is controlled by three maskable interrupt sources)
- CE (this signal is active high and is used to activate the chip in RX or TX mode)
- CSN (SPI Signal)
- SCK (SPI Signal)
- MOSI (SPI Signal)
- MISO (SPI Signal)

คุณสมบัติพิเศษที่นำมาใช้ในงานนี้คือการทำงานแบบ MultiCeiver ซึ่งสามารถสื่อสารกับอุปกรณ์ได้พร้อมกันถึง 5 ตัว ทำให้สามารถทำการสื่อสารกับอุปกรณ์ต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.22 การจัดการการทำงานของโมดูลแบบ MultiCeiver [6]

ส่วนคำสั่งในการจัดการรีจิสเตอร์ภายในโมดูลสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากเอกสารของทางบริษัท Nordic จากเอกสารอ้างอิง

2.8 รีเลย์รุ่น ET-10PIN REL 4



รูปที่ 2.23 รีเลย์รุ่น ET-10PIN REL 4 [7]

ET-10 PIN RFL 4 เป็นบอร์ดที่เป็นรีเลย์ OUTPUT ขนาด 4 ช่อง ออกแบบมาให้ต่อกับบอร์ดของทาง ETT 10 PIN ET (หรือจะต่อใช้กับ 34 PIN ET ก็สามารถใช้ชุด CONVER ขา ET-CONV 34 TO 10 มาต่อร่วมใช้ได้)

- OUTPUT ของรีเลย์ 4 ช่อง มีขั้วต่อออกเป็น COM, NO, NC
- ใช้รีเลย์ COIL 5V DC กระแสหน้าสัมผัสใช้งาน 5A/250V หรือ 10A/24V DC
- สามารถเลือกการใช้งานของ BIT PORT ที่จะนำมาต่อใช้งานได้ว่าจะเป็น 4 BIT LO หรือเลือกใช้ 4 BIT HI ได้ด้วย JUMPER ทำให้ต่อ 10 PIN Test Relay Output 4 CH Breakout Board ได้ 2 ชุด ต่อ 1 ขั้ว 10 PIN
- เลือกใช้ POWER ใช้งานของรีเลย์ได้ด้วยการต่อตรงจาก +5V ของขั้ว 10PIN หรือจะเลือกใช้ POWER ภายนอกในกรณีบอร์ดควบคุมที่ต่อมายัง REL4 จ่ายไฟให้ไม่พอ โดยใช้ POWER 9 - 12 VDC มี 7805 ON BOARD
- ขนาด PCB ของบอร์ด 6.8 x 8.4 CM พร้อมสายต่อใช้งาน 10 PIN หัวท้าย

2.9 ทรานสดิวเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว

ทรานสดิวเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว (Passive Infrared Detector : PIR) นิยมเรียกว่าพีไออาร์ หรือ ตัวตรวจจับความเคลื่อนไหว เพื่อใช้ในการควบคุมระบบรักษาความปลอดภัยเช่นติดอยู่ในกล้องเพื่อติดตามการเคลื่อนไหวของมนุษย์หรือสัตว์สิ่งมีชีวิตต่างๆ จะมีการแผ่กระจายรังสีความร้อนออกมารอบๆ ตัวของมันเอง ในปริมาณที่แน่นอนอยู่จำนวนหนึ่ง มีความยาวคลื่นประมาณ 0.74 - 300 ไมโครเมตร ซึ่งอยู่ในแถบความถี่อินฟราเรด ทั้งนี้ขนาดของรังสีจะขึ้นอยู่กับ

กับขนาดและความอบอุ่นภายในตัวตรวจจับความเคลื่อนไหวเอง ทรานสดิวเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวที่ใช้งานทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 2.24



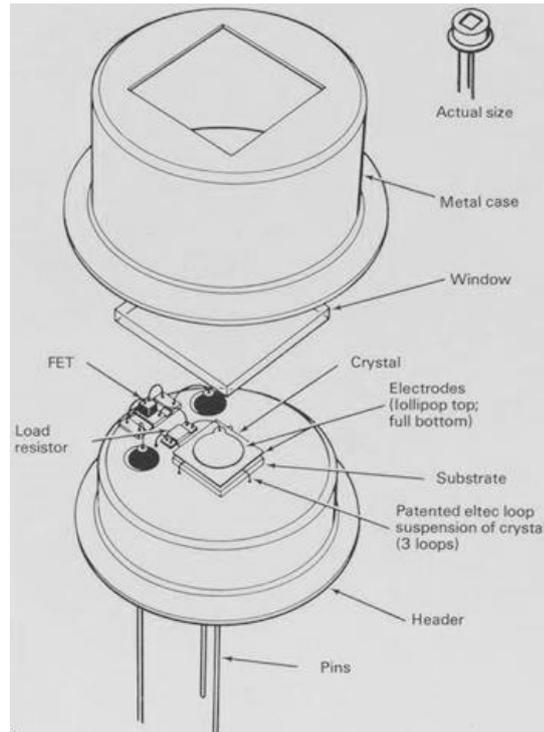
(ก) รูปร่าง



(ข) การตรวจรังสีอินฟราเรดของมนุษย์

รูปที่ 2.24 ทรานสดิวเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว [8]

จากรูปที่ 2.25 แสดงโครงสร้างภายในของพีไออาร์ ซึ่งพีไออาร์เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่สามารถตรวจจับรังสีอินฟราเรด ซึ่งในตัวพีไออาร์จะประกอบด้วย เลนส์ที่เรียกว่า เฟรสเนลเลนส์ (Fresnel Lenses) ซึ่งเป็นเลนส์ที่มีขนาดเล็กจำนวนมากใช้สำหรับการสร้างแพตเทิร์น (Pattern) การสอดแทรก (Interfered) ของแสงในย่านอินฟราเรด เพื่อตรวจจับความร้อนของสิ่งมีชีวิตหรือวัตถุที่อยู่ใกล้ที่สุด ในขณะที่ยังไม่มีมนุษย์หรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่มีการแผ่กระจายรังสีอินฟราเรดเข้ามาในบริเวณรัศมีของการตรวจจับ รูปแบบการสอดแทรกของแสงนั้น จะมีแพตเทิร์นหยุดนิ่งคงที่แต่เมื่อมนุษย์หรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เกิดการเคลื่อนไหวแพตเทิร์นการสอดแทรกของคลื่นแสงที่ปรากฏ บนตัวพีไออาร์จะเปลี่ยนแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามการเคลื่อนไหวนั้น สัญญาณไฟฟ้าจะออกมาทางขาเอาต์พุตแล้วถูกป้อนเข้าสู่ไอซีสำเร็จรูป เช่น บริษัท MPCC เช่นเบอร์ KC778B เพื่อทำการขยายสัญญาณต่อไป



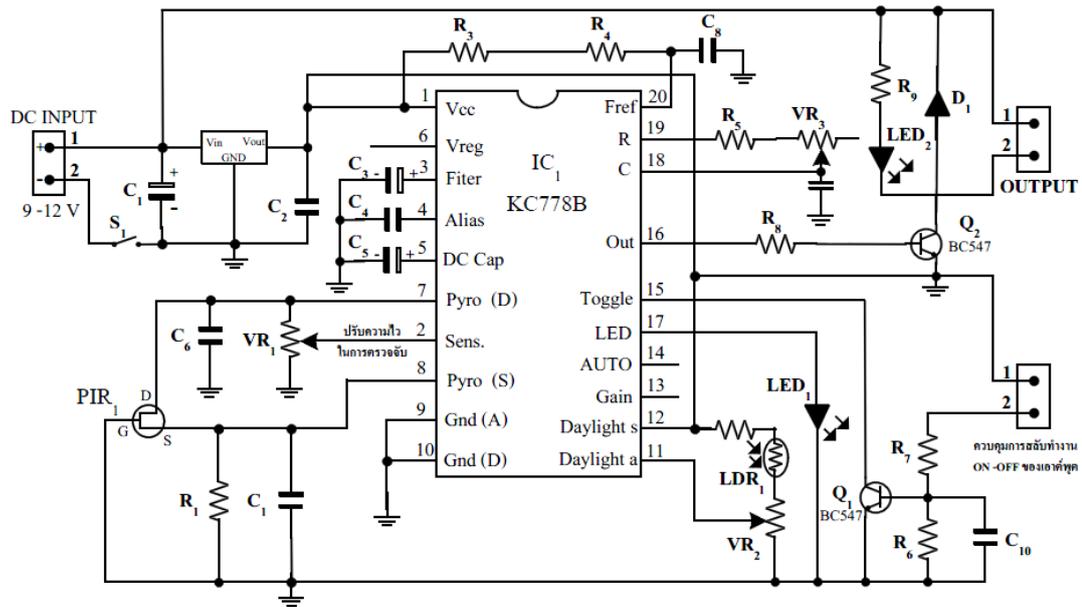
รูปที่ 2.25 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานสดิวเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว [8]

จากรูปที่ 2.25 แสดงโครงสร้างของพีไออาร์ส่วนสำคัญคือ ตัวตรวจจับไวแสงที่ทำมาจากผลึกของลิเทียมซัลเฟต 2 ชุด และเฟต 1 ตัว ประกอบเข้าด้วยกันในตัวถังแบบ TO-5 ซึ่งของผลึกแร่มีขนาด 2 x 1 มิลลิเมตร ต่ออนุกรมกันแต่ต่อกลับขั้ว เมื่อสัญญาณรังสีอินฟราเรดผ่านเข้ามากระทบที่ผลึกทั้งสอง ทำให้เกิดความแตกต่างของสัญญาณไฟฟ้าที่ผลึกทั้งสองตามสัญญาณที่มากกระทบ จากนั้นทำการขยายสัญญาณให้สูงขึ้นก่อนนำไปประยุกต์ใช้งาน

สัญญาณที่ตรวจจับได้จะมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 1 - 15 ไมโครเมตร ความถี่จากผลของการตรวจจับความเคลื่อนไหว จะอยู่ในช่วง 0.3 - 3 Hz มีความแรงเพียง 1 mV_{p-p} ดังนั้นจึงต้องมีการต่อวงจรขยายสัญญาณ ซึ่งอดีตมักจะใช้ไอซีออปแอมป์ที่มีอัตราขยายสูงๆ ผลที่ได้คือ วงจรมีขนาดใหญ่มีอุปกรณ์มากมายมีความยุ่งยากในการสร้างค่อนข้างมาก จึงหันมาใช้ไอซี สำเร็จรูปที่ใช้งานเฉพาะงานที่เรียกว่า Master Control Chip หรือ MPCC เบอร์ KC778B ซึ่งการต่อใช้งานดังแสดงในตารางที่ 2.5 และในรูปที่ 2.26

ตารางที่ 2.5 การจัดขาภายในของชิปไอซีตรวจจับความเคลื่อนไหวเบอร์ KC778B [8]

ขาไอซี	ชื่อขา	การทำงาน
1	VCC	แรงดันไฟเลี้ยง (ปกติ 5 โวลต์)
2	Sensitivity Adjust	ปรับความไวในการจับความเคลื่อนไหว
3	Offset filter	กรองออฟเซต
4	Anti - alias	กรองสัญญาณ
5	DC Cap	กรองแรงดันเพื่อควบคุมอัตราขยายของ PIR
6	Vreg	วงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage Regulator Circuits)
7	Pyro (D)	ต่อกับเดรนของ PIR
8	Pyro (S)	ต่อกับซอร์สของ PIR
9	Gnd (A)	กราวด์นอล็อก
10	Gnd (D)	กราวด์ดีคิวิตอล
11	Daylight adjust	ปรับความไวต่อแสงสว่างภายนอก
12	Daylight sense	ต่อเซ็นเซอร์ตัวจับแสง
13	Gain select	เลือกอัตราขยาย
14	On/Auto/Off	อินพุตเลือกสภาวะการทำงานใน 3 สถานะ
15	Toggle	อินพุตเลือกการทำงาน (ON/OFF)
16	Out	สัญญาณเอาต์พุตต่อควบคุมโหลด (ON/OFF)
17	LED	แสดงการตรวจจับ
18	C	อินพุตของวงจรถ่ายโอน
19	R	เอาต์พุตของวงจรถ่ายโอน
20	Fref	ความถี่อ้างอิงออสซิลเลเตอร์



รูปที่ 2.26 วงจรชิปไอซีตรวจจับความเคลื่อนไหวเบอร์ KC778B [8]

จากรูปที่ 2.26 หลักการทำงานของ IC KC778B ซึ่งไอซี MPCC เบอร์ KC778B จะรับสัญญาณที่ตรวจจับได้จาก PIR เบอร์ RE200B เข้ามาที่ขา 7 และ 8 โดยมี VR₁ เป็นตัวปรับความไวในการตรวจจับของ PIR และ IC₁ สามารถตรวจจับความเคลื่อนไหวได้ LED₁ จะติดกระพริบตามจังหวะที่เกิดการเคลื่อนไหวของมนุษย์หรือสัตว์ ส่วนสัญญาณเอาต์พุตที่จะนำออกไปขับอุปกรณ์ภายนอกจะออกที่ขา 16 สามารถที่จะขับไทรแอก ออปโตคัปเบิล รีเลย์แรงดันต่ำได้เลย ต่อทรานซิสเตอร์ Q₂ เพื่อขับ LED₂ เอาไว้เมื่อตรวจจับความเคลื่อนไหวได้ นอกจากนั้นที่ขาคอลเลกเตอร์ของ Q₂ จะสามารถต่อกับรีเลย์ขนาด 9-12 V ได้โดยตรง D₁ จะทำหน้าที่ป้องกันแรงดันย้อนกลับจากขดลวดรีเลย์เข้ามาทรานซิสเตอร์ หากต้องการให้เอาต์พุตออกมา เป็นตรงกันข้าม สามารถทำได้ง่ายๆ คือต่อจุดต่อ J₁ ทำให้ตัวต้านทาน R₁ ต่อเข้ากับไฟบวก 5 V ขับให้ Q₃ ทำงาน ขา 5 V ขับให้ Q₃ ทำงานขา 15 ของ IC₁ จึงเสมือนต่อลงกราวด์ได้รับสัญญาณลอจิก “0”

การเลือกให้วงจรทำงานในที่มืดหรือสว่าง สามารถกำหนดได้โดยต่อตัวต้านทานแปรค่าตามแสงหรือ LDR₁ เข้าที่ขา 12 โดยผ่านตัวต้านทาน R₂ ความไวในการรับแสงสามารถปรับได้ที่ VR₂ การหน่วงเวลาก่อนเริ่มทำงาน ใช้อุปกรณ์เพียง 3 ตัวเท่านั้นคือ R₃, VR₃ และ C₈ จะเป็นวงจร RC ช่วงเวลาในการหน่วง สามารถกำหนดได้โดยการปรับ VR₃ และ IC₁ ได้รับแรงดันไฟเลี้ยง +5 V มาจาก IC₂ ซึ่งทำหน้าที่ลดแรงดันลงจาก 9-12 V ป้อนที่ขา 1 ของ IC₁

2.10 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและทฤษฎีของอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง รวมทั้งรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง เช่น โมดูลการสื่อสารไร้สาย บอร์ดรีเลย์ และทรานสดีวเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว เป็นต้น