



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ชื่อโครงการวิจัย

ออกแบบและพัฒนาเครื่องมือวัดเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย
สำหรับสวนปาล์มน้ำมัน

Design and Implement networked wireless sensor device
for palm oil garden

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณรัช สันตือมรทัต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สกุณา เจริญปัญญาศักดิ์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย จากเงินสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

(เงินงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)

พ.ศ. 2554 - 2555

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายสำหรับวัดข้อมูลทางกายภาพได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นในอากาศ ความชื้นในดิน ความเข้มแสง และติดตั้งสถานีอากาศวัดปริมาณน้ำฝน และ ความเร็วลม โดยทำการออกแบบและพัฒนาโหนดขึ้นใช้เองเพื่อลดการนำเข้าเครื่องมือวัดจากต่างประเทศ และเป็นเครื่องมือตรวจวัดชนิดเรียวยาวใหม่ซึ่งแตกต่างจากอุปกรณ์ตรวจวัดทางการเกษตรแบบปัจจุบันที่อากาศการ จัดบันทึกหรือเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำและจำเป็นที่จะต้องมีคนเข้าไปนำข้อมูลกลับมา ระบบเครือข่าย เซนเซอร์ไร้สายนี้ถูกนำไปติดตั้งทดสอบการใช้งานในแปลงทดลองปาล์มน้ำมันที่สำนักงานพัฒนาและวิจัย การเกษตร อำเภอลำลูกเกด จังหวัดขอนแก่น ที่ได้ทดลองการนำปาล์มน้ำมันพ่อแม่พันธุ์จากกระบี่ไป ทดลองปลูกทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

การวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ 1) พัฒนาฮาร์ดแวร์เซนเซอร์โหนด 2) ศึกษาและทดสอบโพรโทคอลที่ เหมาะสมสำหรับการใช้งาน 3) พัฒนาโปรแกรมประยุกต์และฐานข้อมูล พบว่าในส่วนของเซนเซอร์โหนดที่ พัฒนาการรับส่งภาพด้วยเทคนิค background subtraction ทำให้ส่งข้อมูลได้เร็วขึ้นประมาณ 16 เท่าเมื่อ เปรียบเทียบกับการส่งภาพแบบปกติ ในขณะที่ผลการศึกษาและทดสอบได้เลือกใช้โพรโทคอลค้นหาเส้นทาง AODV กับ UDP ในชั้นเครือข่ายลำดับบน แม้ว่า DSDV จะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าแต่ไม่เหมาะสำหรับการใช้งานจริง เนื่องจากสิ้นเปลืองหน่วยความจำที่จะต้องใช้เก็บเส้นทาง ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่พัฒนานี้เลือกแบบ Cluster

คำสำคัญ: ระบบเกษตรอัจฉริยะ ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ZigBee XBee

ABSTRACT

The wireless sensor networks has been designed and developed to employ in precision agriculture in order to sense the temperature, humidity, soil moisture and light. The weather station, rain gauge and wind speed has also been installed. By using our in-house system, we can save the cost. The proposed system differs from the existing system such as able to monitor those sensed data online real-time rather than offline. The previous system has to have a staff to access the equipment in order to transfer the data. Thus the old system is inconvenience. The proposed wireless sensor networks have been installed in palm oil field at the research and development section of agriculture department, Koa Suan Khang, Khon Kean. The researcher uses our system to experiment the possibility of planting Krabi palm oil in the North east.

This research has three parts. 1) The in-house sensor node has been developed. 2) The protocols for wireless sensor networks have been studied based on network simulator 2. 3) The web application and data based have been developed. We found that the in-house image sensor node using background subtraction is able to transmit the image faster than the original method 16 times. We also choose AODV routing protocol even if DSDV protocol gives a best result. This is because the memory usage in DSDV is bigger than AODV which is not suitable for embedded device such as sensor node. In addition, UDP is also deployed in the higher network layer. Finally, the cluster network is applied in the precision agriculture system.

Keyword: Precision Agriculture, Wireless Sensor Networks, ZigBee, XBee

งานวิจัยนี้ดำเนินการภายใต้การสนับสนุนจากเงินงบประมาณแผ่นดินปี 2554 – 2555 และเครื่องมือจากศูนย์
เครือข่ายความรู้เฉพาะด้านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ที่สนับสนุนทุนโดย NECTEC, สวทช. และทีมงาน
นักวิชาการการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

บทคัดย่อ.....	II
ABSTRACT	III
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญ.....	V
สารบัญรูปภาพ.....	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1.....	1
บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์	2
1.2 ขอบเขตการวิจัย	2
1.3 กรอบแนวคิดงานวิจัย.....	2
1.4 ระเบียบวิธีการวิจัย	5
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากผลการวิจัย.....	6
1.6 ผลที่ได้รับจากการวิจัย.....	6
1.7 เปรียบเทียบระบบที่พัฒนากับอุปกรณ์ที่มีขายอยู่ในต่างประเทศ.....	6
บทที่ 2.....	7
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 การส่งภาพบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย.....	7
2.2 โพรโทคอลค้นหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย	9
2.3 โพรโทคอล ZigBee.....	11
2.4 XBee	12
บทที่ 3.....	15
การออกแบบและพัฒนาโหนด	15

3.1 โหนด Platform ARM พร้อมกับ XBEE	15
3.2 ตัวตรวจจับ (Sensor)	19
3.3 ผลการศึกษาทางวิชาการของการส่งข้อมูลภาพผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย	21
บทที่ 4.....	24
การออกแบบและพัฒนาโครงสร้างเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย	24
4.1 โพรโทคอล IEEE 802.15.4 และ Zigbee	24
4.2 โพรโทคอลหาเส้นทางในระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย	25
4.3 ทดสอบการทำงานของระบบ	29
4.4 โพรโทคอลแบบ cluster	41
บทที่ 5.....	44
ผลการทดลอง	44
5.1 ทดสอบการรับส่งข้อมูลภาพบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย	44
5.2 การทำงานของระบบ.....	56
5.3 ประมวลผลการไปทดสอบในแปลงทดลองปาล์มน้ำมัน สวพ. 5 จังหวัดขอนแก่น	59
5.4 ประมวลผลการไปทดสอบและถ่ายทอดความรู้ที่แปลงทดลองปาล์มน้ำมัน จังหวัดกระบี่.....	61
5.5 ตัวอย่างของการวิเคราะห์ข้อมูล.....	62
บทที่ 6.....	65
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	65
บรรณานุกรม.....	66
ภาคผนวก	67

รูปที่ 1	การประยุกต์เซนเซอร์ความชื้นในดิน[1].....	3
รูปที่ 2	ลักษณะของการติดเซนเซอร์ความชื้นในดิน.....	4
รูปที่ 3	ตัวอย่าง การหาค่าความต่างของภาพใน frame 3x3[5].....	8
รูปที่ 4	เปรียบเทียบการใช้ bandwidth ของภาพแบบ scan และ AER ในการส่งภาพ 320x240[5]	8
รูปที่ 5	เส้นทางในเครือข่ายเกิดเสียหาย	9
รูปที่ 6	อุปกรณ์ภาครับส่งไร้สาย XBee	12
รูปที่ 7	ตัวอย่างใช้งานรูปแบบการทำงาน AT ของ XBee	13
รูปที่ 8	ตัวอย่างใช้งานรูปแบบการทำงาน API ของ XBee.....	13
รูปที่ 9	รูปแบบแพ็กเก็ตของ XBee.....	13
รูปที่ 10	ลักษณะการเชื่อมต่อของบอร์ดที่ทำหน้าที่โหนด	15
รูปที่ 11	การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	16
รูปที่ 12	โหนด Platform ZigBee	16
รูปที่ 13	แสดงภาพรวมของบอร์ดเชื่อมต่ออุปกรณ์ตัวตรวจวัดทั้งหมด	17
รูปที่ 14	PCB ของบอร์ดเชื่อมต่อ.....	17
รูปที่ 15	แสดงตัวอย่างของการเชื่อมต่อกับ Mux.....	18
รูปที่ 16	วงจร power supply.....	18
รูปที่ 17	PCB ของ power supply.....	19
รูปที่ 18	โมดูล SHT11 และแผนวงจรการเชื่อมต่อกับ SHT11.....	19
รูปที่ 19	โมดูลวัดความเข้มแสง S1087	20
รูปที่ 20	โมดูลวัดความชื้นในดินของ NECTEC, สวทช.	21
รูปที่ 21	โมดูลกล้อง CMOS camera.....	21
รูปที่ 22	ตัวอย่างโปรแกรมในการรับภาพจาก XBee.....	23
รูปที่ 23	ตัวอย่างการค้นหาเส้นทางของ DSDV	26
รูปที่ 24	การหาเส้นทางของ AODV Protocol.....	27
รูปที่ 25	เปรียบเทียบลักษณะตารางเก็บค่าเส้นทางที่แตกต่างกัน	27
รูปที่ 26	กระบวนการการค้นหาเส้นทางของโพรโทคอล AOMDV.....	29
รูปที่ 27	Topology ที่ใช้ในการเปรียบเทียบการทำงาน	30
รูปที่ 28	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Throughput โดยใช้มาตรฐาน 802.11,UDP,AODV.....	31
รูปที่ 29	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Throughput โดยใช้มาตรฐาน 802.15.4 ,UDP,AODV	32
รูปที่ 30	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Throughput โดยใช้มาตรฐาน 802.15.4,TCP,AODV	33
รูปที่ 31	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Throughput โดยใช้มาตรฐาน 802.15.11,UDP,DSDV	34
รูปที่ 32	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Throughput โดยใช้มาตรฐาน 802.15.4,UDP,DSDV.....	34
รูปที่ 33	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Throughput โดยใช้มาตรฐาน 802.15.4 ,TCP,DSDV	35

รูปที่ 34	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Throughput โดยใช้มาตรฐาน 802.11,UDP,AOMDV	36
รูปที่ 35	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Throughput โดยใช้มาตรฐาน 802.15.4, UDP,AOMDV	36
รูปที่ 36	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Throughput โดยใช้มาตรฐาน 802.15.4 , TCP,AOMDV.....	37
รูปที่ 37	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Throughput โดยใช้มาตรฐาน 802.11,UDP,DSR.....	38
รูปที่ 38	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Throughput โดยใช้มาตรฐาน 802.15.4 ,UDP,DSR.....	39
รูปที่ 39	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Throughput โดยใช้มาตรฐาน 802.15.4 ,TCP,DSR.....	40
รูปที่ 40	ค่า PDR ของโพรโทคอล LEACH ในเครือข่ายจำลอง.....	43
รูปที่ 41	โครงสร้างของโหนดรับส่งภาพแบบไร้สาย	44
รูปที่ 42	แสดงการทำงานของ Camera sensor node	45
รูปที่ 43	แสดงตัวอย่างการนำข้อมูลมาเปรียบเทียบจุดสีดำคือ Noise.....	45
รูปที่ 44	แสดงลำดับการทำงานของกระบวนการ Background subtraction.....	47
รูปที่ 45	แสดงการสร้างโปรเจคสำหรับ Windows CE.....	49
รูปที่ 46	ไฟล์ที่ได้จาก Microsoft Visual Studio	49
รูปที่ 47	รูปภาพขนาด 320 x 240 pixel สำหรับการทดสอบกระบวนการ Background subtraction	50
รูปที่ 48	แสดงผลของกระบวนการ BACKGROUND SUBTRACTION ไม่เพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของ pixel	50
รูปที่ 49	แสดงผลของกระบวนการ Background subtraction ไม่เพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของ pixel โดยตรวจสอบ Row เว้น Row และ column เว้น column.....	51
รูปที่ 50	แสดงผลของกระบวนการ BACKGROUND SUBTRACTION เพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของ pixel	52
รูปที่ 51	แสดงผลของกระบวนการ Background subtraction เพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของ pixel โดยตรวจสอบ Row เว้น Row และ column เว้น column.....	52
รูปที่ 52	ผลของกระบวนการเตรียมข้อมูลเฉพาะส่วนต่างของภาพ.....	53
รูปที่ 53	รูปภาพขนาด 320 x 240 pixel สำหรับการทดสอบเวลาการทำงานของกระบวนการ Background subtraction โดยรูปภาพมีความต่างของค่าสีปริมาณมาก	53
รูปที่ 54	แสดงผลของกระบวนการ Background subtraction	54
รูปที่ 55	โครงสร้างการเชื่อมต่อของระบบ	56
รูปที่ 56	หน้าแรก Login page.....	57
รูปที่ 57	หน้าแสดงผล	58
รูปที่ 58	การแสดงผลในรูปแบบกราฟ	58
รูปที่ 59	การนำค่าในฐานข้อมูลออกจากระบบ	59
รูปที่ 60	แปลงทดสอบแบบไม่ให้น้ำ	59
รูปที่ 61	แปลงทดสอบแบบที่ติดตั้งระบบจ่ายน้ำ	60
รูปที่ 62	การขุดดินในแต่ละระดับชั้นเพื่อเก็บตัวอย่างดิน.....	60
รูปที่ 63	โหนดที่ทำการติดตั้งไวโนแปลงทดลอง.....	60
รูปที่ 64	โหนด Repeater.....	61
รูปที่ 65	โหนด Station อากาศ.....	61
รูปที่ 66	ภาพการติดตั้งอุปกรณ์ในแปลงปาล์มน้ำมัน	61

รูปที่ 67 ถ่ายทอดความรู้ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายให้กับนักวิชาการเกษตร	62
รูปที่ 68 การเปรียบเทียบแรงดันระหว่างเซนเซอร์และเครื่องมือวัดมาตรฐานในระดับชั้นดิน 40 cm.	62
รูปที่ 69 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จาก sensor กับผล lab	63
รูปที่ 70 ตัวอย่างกราฟเส้นแสดงความชื้นในดินที่ระดับ 30 เซนติเมตร.....	63

ตารางที่ 1	แสดงอัตราความเร็วในการส่งภาพแต่ละรูปแบบบนโหนด Mica2 และ iMote	7
ตารางที่ 2	เปรียบเทียบโพรโทคอล AODV ที่ได้พัฒนาสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย	10
ตารางที่ 3	สรุปโหนดสำหรับการรับส่งภาพที่มีอยู่ในปัจจุบัน	22
ตารางที่ 4	ข้อมูลการเปรียบเทียบการทำงานของโพรโทคอลต่างๆ	41
ตารางที่ 5	การกำหนดตัวแปรสำหรับจำลองการทำงานโพรโทคอลแบบ LEACH	42
ตารางที่ 6	แสดงเวลาการทำงานของกระบวนการ Background subtraction บนสมองกล้องฝังตัว	54
ตารางที่ 7	แสดงการเปรียบเทียบเวลาและขนาดของข้อมูลระหว่างการส่งภาพแบบไม่มี background subtraction กับการทำ background subtraction แบบตรวจสอบความต่อเนื่องของ pixel	55

บทที่ 1

บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศกสิกรรม ข้อมูลพื้นฐานของพืชจึงมีความสำคัญอย่างมากในการคำนวณเพื่อการคาดการณ์ผลผลิตล่วงหน้า การคาดการณ์สภาพอากาศที่อยู่ในพื้นที่เพาะปลูก หรือการแก้ไขและเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร เป็นต้น ข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญของพืช อาทิเช่น อุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ ความชื้นในดิน ความเข้มแสง อุณหภูมิผิวใบ เป็นต้นเหล่านี้ในประเทศเราไม่ได้มีการเก็บข้อมูล หรือนำข้อมูลมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม .เนื่องด้วยสาเหตุที่อุปกรณ์ในการเก็บและบันทึกผลมีราคาสูงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เมื่อระบบมีปัญหาที่ไม่สามารถแก้ไขได้ หรืออุปกรณ์ที่มีใช้งานในปัจจุบันจะอยู่ในรูปแบบของ Data logger จะเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำ และจะต้องมีเจ้าหน้าที่เข้าไปเก็บข้อมูลเพื่อทำการถ่ายโอนลงสู่คอมพิวเตอร์ ทำให้ไม่สะดวก

ดังนั้นทางผู้วิจัยที่ได้พัฒนาต้นแบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายมาแล้ว จึงต้องการที่จะผลิตและนำต้นแบบไปใช้งานจริงในภาคสนาม ใช้งานเพื่อเก็บข้อมูลในสวนปาล์มน้ำมัน ของกรมวิชาการเกษตร ซึ่งต้องการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันที่มีพ่อแม่พันธุ์มาจากจังหวัดกระบี่ และต้องการนำไปปลูกในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยในการงานวิจัยนี้จะมีจุดประสงค์ที่จะพัฒนาและนำอุปกรณ์เครื่องมือวัดสภาพความชื้นในดิน สภาวะความเข้มแสง อุณหภูมิและความชื้นในอากาศ และอุปกรณ์เก็บภาพอัตโนมัติควบคุมระยะไกล ไปประยุกต์ใช้งานในสวนปาล์มน้ำมัน ข้อมูลที่ได้จะให้นักวิชาการเกษตรสามารถเข้าใจปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันได้อย่างชัดเจนมากขึ้น โดยจะทำการออกแบบและพัฒนาเป็น 2 ส่วนคือ

1. ซอฟต์แวร์ เป็นการพัฒนาโปรแกรมที่จะช่วยเก็บข้อมูลที่จำเป็นทางด้านการเกษตรและเพื่อให้สามารถนำไปควบคุมระบบให้น้ำในอนาคต เป็นต้น ข้อมูลที่ได้ทำให้สามารถเข้าใจลักษณะการใช้น้ำของพืชสำหรับชนิดของดินที่ได้ทำการทดลอง ฉะนั้นเมื่อสามารถควบคุมการให้น้ำได้ตามความต้องการของพืชก็จะสามารถช่วยคำนวณคาดการณ์ผลผลิตได้
2. ฮาร์ดแวร์ เป็นการพัฒนาอุปกรณ์วัดทางการเกษตรที่สามารถใช้งานได้จริงในแปลงปลูกพืช สามารถสร้างเทคโนโลยีทางด้านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายขึ้นเองในประเทศเพื่อให้รองรับการทำงานส่งภาพและสามารถรองรับการทำงานของโหนดพร้อมกันหลายตัวในสภาพการใช้งานจริง

1.1 วัตถุประสงค์

1.1.1 เพื่อพัฒนาระบบเฝ้าติดตามการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันหรือพืชอื่นได้

1.1.2 เพื่อพัฒนาอุปกรณ์วัดทางการเกษตรราคาถูก และสามารถใช้งานแบบควบคุมระยะไกลได้

1.1.3 เพื่อเก็บข้อมูลตัวแปรทางกายภาพต่างๆเช่น อุณหภูมิและความชื้นในอากาศ ความเข้มแสง และค่าความชื้นในดิน

1.1.4 เพื่อพัฒนาระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่สามารถรับส่งข้อมูลภาพได้

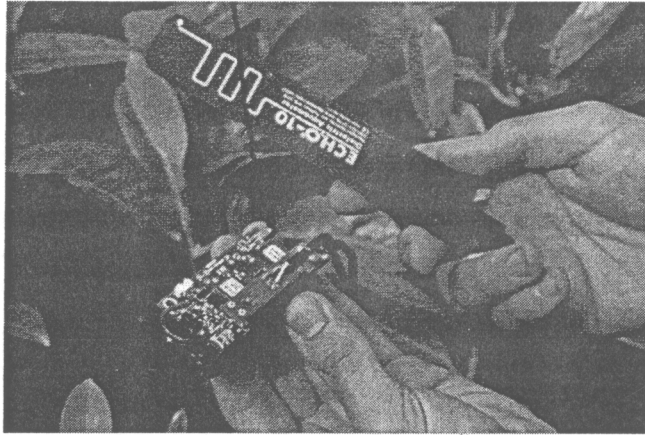
1.2 ขอบเขตการวิจัย

ทำการพัฒนาเครื่องมือในระดับห้องปฏิบัติการ แล้วจึงนำระบบไปติดตั้งใช้งานจริงในรอบ 1 ปี ในสวนปาล์มน้ำมันหรือพืชอื่น ร่วมกับกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

1.3 กรอบแนวคิดงานวิจัย

การทำเกษตรกรรมของไทยในปัจจุบันและที่ผ่านมาเป็นการใช้วิถีทางของชาวบ้าน ไม่ได้มีการควบคุมหรือคำนึงถึงคุณภาพและปริมาณของผลผลิตเท่าที่ควร โดยให้ผลผลิตที่ได้แปรผันและขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ อีกทั้งยังไม่ได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากปัจจุบันสภาวะโลกร้อนได้ส่งผลต่อการเปลี่ยนของสภาพอากาศ ทำให้เกิดความผันผวน ฝนไม่ตกต้องตามฤดูกาล ระดับน้ำในทะเลสูงขึ้นกว่าปกติ ส่งผลให้เกิดน้ำท่วมขังได้ง่ายในช่วงฤดูฝน สิ่งเหล่านี้ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อพืชผลทางการเกษตรและกระทบโดยตรงต่อเศรษฐกิจของประเทศ ปัญหาเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ฉะนั้นโครงการวิจัยนี้จึงได้นำเทคโนโลยีทางด้านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายมาประยุกต์ใช้ในระบบเฝ้าตรวจสอบข้อมูลที่สำคัญสำหรับงานทางด้านเกษตร

เซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิ ความชื้นในดินและอากาศ เป็นต้น ข้อมูลดังกล่าวจะถูกเก็บรวบรวมแล้วส่งต่อผ่านเครือข่ายไปยังศูนย์หรือที่เก็บ ทำให้นักวิชาการเกษตรและเกษตรกรได้เรียนรู้และทราบสภาวะสิ่งแวดล้อมที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ นอกจากนี้จะทำให้เกิดการเก็บข้อมูลเป็นสถิติ ส่งผลให้สามารถทำการคาดการณ์สภาพอากาศที่อาจจะเกิดขึ้น ทำให้เกษตรกรสามารถเตรียมการรับมือได้ทันที่ซึ่งจะช่วยลดความสูญเสียของผลผลิตทางการเกษตรได้ ตัวอย่างเช่น เซนเซอร์ความชื้นในดินสำหรับประยุกต์ใช้งานทางด้านเกษตร [1] แสดงไว้ดังรูปที่ 1.1 ซึ่งข้อมูลที่ได้อินทอนจะส่งข้อมูลแบบไร้สายกลับไปยังเครื่องแม่ข่ายเพื่อทำการเก็บบันทึกข้อมูลไว้



รูปที่ 1 การประยุกต์เซนเซอร์ความชื้นในดิน[1]

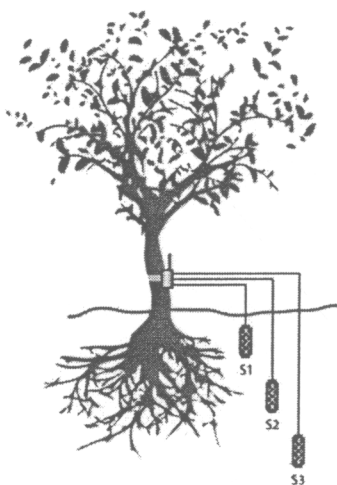
ทางที่มิวิจัยมีประสบการณ์ในการพัฒนาต้นแบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายมาแล้ว แต่เป็นการพัฒนาขึ้นเพื่อนำไปใช้ในการตรวจวัดระดับน้ำในคลองและพัฒนาขึ้นใช้งานในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นจึงต้องการที่จะผลิตและนำต้นแบบไปใช้งานจริงในภาคสนาม โดยมีผู้ใช้งานคือ นักวิชาการของกรมวิชาการเกษตร ที่ประสงค์จะนำระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายนี้ไปใช้สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลพื้นฐานของพืช เพื่อใช้ในการคำนวณผลผลิตศึกษาชีวิตการเติบโตของพืช รวมทั้งเพื่อให้สามารถมีการจัดการทรัพยากรน้ำได้อย่างเหมาะสม ในพื้นที่แปลงทดลอง โดยเริ่มต้นทำการทดสอบระบบขั้นต้นในแปลงพืชสวนก่อน เนื่องจากจะต้องมีการเตรียมพื้นที่สำหรับพืชไร่ จากนั้นจึงทำการทดสอบกับพืชไร่อายุสั้นเพราะจะได้สามารถเก็บข้อมูลได้ครบรอบของพืชชนิดนั้นๆ ตัวอย่างเช่น สบู่ดำ ข้าวโพด ถั่วเหลือง เป็นต้น แล้วจากนั้นจึงจะนำไปใช้งานกับปาล์มน้ำมันที่มีระยะเวลาของการเพาะปลูกที่ยาวนานกว่า

ในการพบปะแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเบื้องต้นกับนักวิชาการของกรมวิชาการเกษตรพบว่า ข้อมูลพื้นฐานเช่น อุณหภูมิ และความเข้มแสง สามารถบอกถึงการเจริญเติบโตของพืชได้ จากรายงานบทความทางวิชาการของ F.-M. Yuan และ William L. Bland [2] ได้ทำการคำนวณหา biomass ของพื้นที่ปลูกมันฝรั่งเพื่อใช้ในการจัดการพื้นที่ไร่ให้มีประสิทธิภาพซึ่งใช้ตัวแปรของอุณหภูมิในอากาศและอัตราการแผ่รังสี (solar radiation) ซึ่งคำนวณได้จากความเข้มของแสง สำหรับกล้องวัดอุณหภูมิแบบ infrared สามารถทำให้ทราบถึงความร้อนของใบ ทำให้สามารถทราบอัตราการเติบโตของข้าวโพดในสภาวะของอุณหภูมิและความเข้มแสงที่แตกต่างกันดังแสดงไว้ในบทความวิจัย [3] ซึ่งในงานวิจัยนี้ระบุว่า ทุก 2 นาทีจะได้ภาพ 1 frame จากกล้องเพื่อไปใช้ในการคำนวณเพื่อหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของภาพในแต่ละ frame บนพื้นผิวของใบก็จะทราบอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิบนใบของพืช แต่เนื่องจากราคาของกล้องสูงกว่าที่ได้คาดการณ์ไว้มาก จึงได้เน้น

การพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับส่งข้อมูลภาพบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายแทน เมื่อทางกรมิวิชาการเกษตรจัดหา กล้องมาในอนาคตก็จะสามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบได้

เมื่อสรุปความต้องการของนักวิชาการ กรมิวิชาการเกษตร ทีมวิจัยก็สามารถสรุปเป็นคุณสมบัติ เบื้องต้นของซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ที่จะต้องทำการออกแบบและพัฒนาไว้ดังนี้

รายละเอียดของซอฟต์แวร์
1. สามารถเก็บข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ลงในฐานข้อมูลที่เครื่องแม่ข่ายประจำศูนย์ได้
2. สามารถดูข้อมูลจากเซนเซอร์ทั้งหมดในแปลงได้แบบเรียลไทม์
3. สามารถกำหนดให้เซนเซอร์เก็บข้อมูลตามช่วงเวลาที่กำหนด
4. สามารถให้โปรแกรม export ข้อมูลออกมาในรูปแบบของ excel ได้
5. โปรแกรมจะต้องสามารถแสดงผลข้อมูลในรูปแบบของกราฟได้
รายละเอียดของฮาร์ดแวร์
1. อุปกรณ์จะต้องสามารถตรวจวัดรายละเอียดต่างๆได้ดังนี้ <ul style="list-style-type: none"> - สถานีวัดอากาศเช่นปริมาณน้ำฝน และความเร็วลม - ความชื้นและอุณหภูมิในอากาศ - ความชื้นในดินไม่น้อยกว่า 3 ระดับดังรูปที่ 1.2 - รูปสภาพของทรงพุ่ม
2. สามารถเพิ่มหรือลดจำนวนของอุปกรณ์ได้สะดวกไม่ต้องทำการติดตั้งค่าใหม่
3. สามารถใช้งานภายในแปลงทดลองได้เป็นระยะเวลานาน
4. ส่งข้อมูลไปบันทึกลงฐานข้อมูลแบบอัตโนมัติด้วยระบบไร้สาย



รูปที่ 2 ลักษณะของการติดตั้งเซนเซอร์ความชื้นในดิน

1.4 ระเบียบวิธีการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ (ปีที่ 1)

- 1.4.1 ศึกษาความต้องการปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อการเติบโตของปาล์มน้ำมันเพื่อจัดทำเซนเซอร์
- 1.4.2 ออกแบบโครงสร้างของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย
- 1.4.3 ออกแบบและพัฒนาเซนเซอร์และโหนดรวมทั้งจัดทำอุปกรณ์ต่อหุ้ม
- 1.4.4 ทดสอบเครือข่ายในการรับส่งข้อมูลภาพและข้อมูลของเซนเซอร์ในระดับห้องปฏิบัติการ

การดำเนินงานวิจัยในสวนปาล์มน้ำมันของเกษตรกร ที่จังหวัดขอนแก่น (ปีที่ 2)

- 1.4.5 ติดตั้งอุปกรณ์ในสวนปาล์มน้ำมันที่จังหวัดขอนแก่น
- 1.4.6 ติดตามและประเมินผลการใช้งานในสวนปาล์มน้ำมัน
- 1.4.7 สรุปข้อมูลที่ได้และการใช้งานจริงในสวนปาล์มน้ำมัน

ระยะเวลาที่ทำการวิจัย 2 ปี ตั้งแต่ ต.ค. 2553 – ก.ย. 2555

ปีที่ 1

แผนงานวิจัย	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ศึกษาความต้องการของกรมวิชาการเกษตร												
2. ออกแบบโครงสร้างของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย												
3. ออกแบบและพัฒนาเซนเซอร์ และโหนด รวมทั้งอุปกรณ์ต่อหุ้ม												
4. ทดสอบเครือข่ายในการรับส่งข้อมูลภาพและข้อมูลจากเซนเซอร์												
ปีที่ 2												
แผนงานวิจัย	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
5. ติดตั้งอุปกรณ์ในสวนปาล์มน้ำมันที่จังหวัดขอนแก่น												
6. ติดตามและประเมินผลการใช้งานในสวนปาล์มน้ำมัน												
7. สรุปข้อมูลที่ได้และการใช้งานจริงในสวนปาล์มน้ำมัน												

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากผลการวิจัย

- 1.5.1 เครื่องมือวัดทางการเกษตรที่สามารถนำไปใช้งานได้จริงในสวนปาล์มน้ำมัน ต้นทุนต่ำ
- 1.5.2 ข้อมูลที่สำคัญทางกายภาพสำหรับการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเติบโตของปาล์มน้ำมัน
- 1.5.3 บทความทางวิชาการเกี่ยวกับองค์ความรู้ใหม่ในการส่งข้อมูลภาพบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย
- 1.5.4 บทความเกี่ยวกับการนำเทคโนโลยีเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายมาประยุกต์ใช้งานทางด้านการเกษตร
- 1.5.5 ถ่ายทอดความรู้ และการใช้งานเทคโนโลยีให้กับนักวิชาการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

1.6 ผลที่ได้รับจากการวิจัย

- 1.6.1 ถ่ายทอดเทคโนโลยีให้นักวิชาการ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ นำไปใช้งานได้จริง โดยปัจจุบันได้ทำการติดตั้งระบบใน version 2 ใช้งาน 10 สวพ. ทั่วประเทศ
- 1.6.2 บทความวิจัยที่นำเสนอในการประชุมนานาชาติได้แก่

K. Dechrunguang, W. Suntiamorntut and R. Keinpravit, "Development of Wireless Image Sensor Networks," In *Proceedings of Embedded Systems and Intelligent Technology Conference (ICESIT)*, Japan, pp.228-232, February, 2012.

T. Horjaturapittaporn, W. Suntiamorntut, "Scalable Routing Protocol in Wireless Sensor Networks", *Proceedings of International Conference on Computer and Communication Devices (ICCCD 2011)*, Bali Island, Indonesia, April 2011, pp.234 – 238.

- 1.6.3 บทความวิจัยในวารสารระดับนานาชาติได้แก่

S.Charoenpanyasak and W.Suntiamorntut. The next generation of sensor node in wireless sensor networks. *Journal of Telecommunication*, vol.9, issue2, pp.6-9, July, 2011.

1.7 เปรียบเทียบระบบที่พัฒนากับอุปกรณ์ที่มีขายอยู่ในต่างประเทศ

รายละเอียด	ระบบที่พัฒนาขึ้นเอง	อุปกรณ์เดิมที่กรมวิชาการเกษตรมีอยู่
ระบบสามารถบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูลกลางได้อัตโนมัติ	√	X
ได้ข้อมูลจากเซนเซอร์เป็นแบบเวลาจริง (real-time)	√	X
วัดอุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ และความชื้นในดิน	√	√ (อุปกรณ์แยกชิ้น)
ราคา	50,000/จุด	300,000/จุด/probe
สามารถควบคุมการให้น้ำ	√	X
มีการส่งข้อมูลภาพแบบไร้สาย	√	X

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การส่งภาพบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

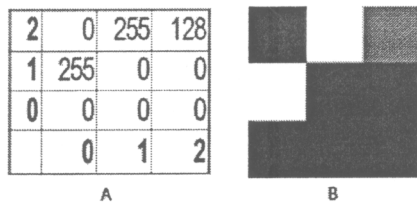
ปัญหาที่เป็นโจทย์ทางการวิจัยในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่สำคัญนอกเหนือจากการพัฒนา โหนดคือ การพัฒนาให้เครือข่ายและอุปกรณ์โหนดสามารถรองรับการส่งข้อมูลที่มีขนาดใหญ่เช่น ภาพและเสียง เนื่องจากในการใช้งานจริงเราปฏิเสธไม่ได้ว่า ข้อมูลและเสียงมีความสำคัญในการวิเคราะห์และตัดสินใจในแต่ละงานประยุกต์เป็นอย่างมาก ไม่เพียงแต่การประยุกต์ใช้งานทางด้านการเกษตรที่ต้องการใช้ภาพจากกล้อง thermal infrared เพื่อหาความร้อนบนผิวใบ ในการประยุกต์ใช้งานทางการแพทย์ ระบบรักษาความปลอดภัย หรือแม้แต่ทางด้านการทหารภาพและเสียงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมาก แต่เนื่องจากข้อจำกัดของ bandwidth ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ขนาดของแหล่งจ่ายพลังงานบนโหนด และความต่อเนื่อง ความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้รับ ทำให้เกิดเป็นโจทย์ปัญหาวิจัยสำหรับการส่งข้อมูลภาพและเสียงในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ในงานวิจัย [4] ได้ทำการสำรวจหาอัลกอริทึมและวิธีการบีบอัดข้อมูลภาพและเสียง เพื่อให้ใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายเป็นแบบเรียลไทม์ได้ โดยสรุปความเร็วของการส่ง frame รูปภาพในแต่ละแบบบนโหนดที่ใช้ทดลอง Mica2 และ iMote (ที่มีอัตราการส่งข้อมูลอยู่ที่ 250 kbps) ได้ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งจากรายงานที่ได้พบว่าข้อมูลที่ทำการบีบอัดด้วยอัลกอริทึมแบบ DCT จะต้องใช้ศักยภาพของไมโครคอนโทรลเลอร์บนโหนดในการประมวลผล [4-6]

ตารางที่ 1 แสดงอัตราความเร็วในการส่งภาพแต่ละรูปแบบบนโหนด Mica2 และ iMote

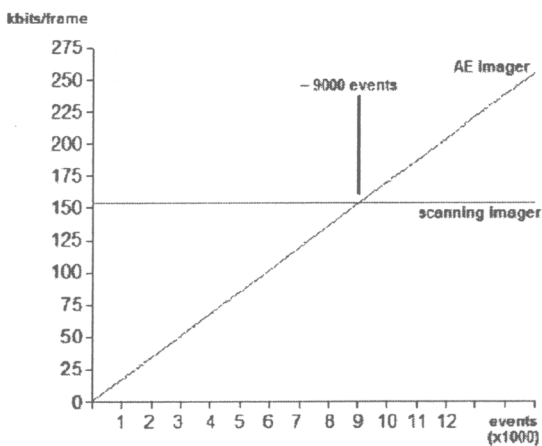
	Frame size [kb]	Mica2 [fps]	iMote [fps]
320x240 Edge	76.8	0.5	3.26
320x240 differencing	153.6	0.25	1.63
320x240 grayscale	614.4	0.06	0.41

สำหรับในงานวิจัย [5] ได้นำเสนอวิธีการในการบีบอัดภาพและเสียงที่เป็นแบบ frame-difference ด้วยเทคนิคที่เรียกว่า address-event ทำให้ไม่ต้องทำการประมวลผลภาพ การใช้ motion-detection เพื่อหาความแตกต่างของภาพสามารถนำมาใช้ในการศึกษาอนุกรมวิธานใบไม้ได้ การหาความแตกต่างบนภาพ

สามารถทำได้โดยหากค่าความต่างเป็นค่าลบจะแทนค่าสีเป็นสีขาว ในทางตรงกันข้ามถ้าค่าความต่างเป็นค่าบวกจะแทนเป็นสีดำ หากค่าความแตกต่างไม่มากเกินไปที่กำหนดไว้ สีตรงจุดสีนั้นจะเป็นสีเทา ดังนั้นแทนที่เราจะต้องเก็บค่าสีทั้ง 8 บิต (0 - 255) ก็จะทำให้การประมวลผลบนโหนดและส่งข้อมูลความต่างของสีเพียงแค่ 3 ค่า หรือใช้เพียง 2 บิตในการเก็บข้อมูลดังตัวอย่างการหาค่าความต่างของภาพดังรูปที่ 3 หากภาพที่ใช้มีขนาด 320x240 จะต้องใช้ส่งข้อมูลทั้งหมด 153,600 บิต หรือ (153.6 kbps) สำหรับภาพขนาด 320x240 นี้จะใช้ 9 บิตในการบอกลำดับของแถว และอีก 8 บิตในการบอกคอลัมน์ กำหนดให้จำนวนของ event ที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็น N_{ev} ดังนั้นจำนวนบิตที่ใช้ในการส่งภาพแบบบอก address-event (AER) จะอยู่ที่ $N_{ev} \times 17$ บิต ต่อ 1 event ที่เกิดขึ้น เมื่อนำวาดบนกราฟสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่าง event ที่แตกต่างต่อ 1 frame ในแบบการใช้ AER กับ การ scan ภาพตามปกติ



รูปที่ 3 ตัวอย่าง การหาค่าความต่างของภาพใน frame 3x3[5]



รูปที่ 4 เปรียบเทียบการใช้ bandwidth ของภาพแบบ scan และ AER ในการส่งภาพ 320x240[5]

จากวิธีการของ AER ทำให้เมื่อส่งภาพที่มีข้อแตกต่างอยู่ที่ 180 event/frame ดังนั้นจะใช้ทั้งหมด 3.06 kbps (17bits/event) ดังนั้นบนโหนด Mica2 จะสามารถส่งข้อมูลได้ที่อัตรา 12 fps และ MicaZ/iMote2 83 fps ทั้งนี้ในการใช้งานจริง

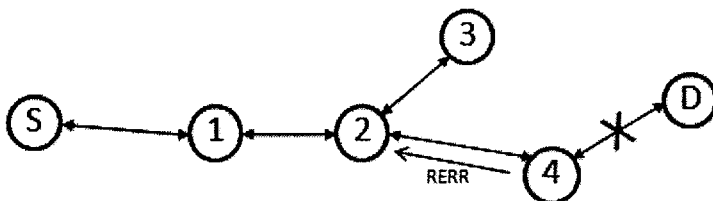
2.2 โพรโทคอลค้นหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

โพรโทคอล Ad hoc On-demand Distance Vectoring (AODV)[6] กำลังได้รับความนิยมในการนำไปใช้งานบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เนื่องจากการทำงานของเครือข่ายแบบ ad hoc คล้ายกับแนวคิดของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาโพรโทคอล AODV นี้เพื่อเป็นแนวทางของการพัฒนาโพรโทคอลที่เหมาะสมสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

2.2.1 โพรโทคอล Ad hoc On-demand Distance Vectoring (AODV)

โพรโทคอล AODV เป็นโพรโทคอลที่ช่วยในการค้นหาเส้นทางในเครือข่าย ทำให้โหนดสมาชิกสามารถติดต่อสื่อสารกัน โดยเส้นทางในการติดต่อสื่อสารอาจจะมีได้หลายเส้นทาง โพรโทคอล AODV จะเริ่มดำเนินการค้นหาเส้นทางโดยการกระจายแพ็กเก็ต Route Request (RREQ) ไปให้โหนดรอบข้างรวมถึงโหนดปลายทาง เมื่อโหนดปลายทางได้รับแพ็กเก็ต RREQ แล้ว โหนดปลายทางจะทำการส่งแพ็กเก็ต Route Reply (RREP) ไปให้กับโหนดต้นทาง เพื่อให้โหนดต้นทางทำการเลือกเส้นทางในการติดต่อสื่อสารกับโหนดปลายทาง

ในการใช้งานเครือข่าย ad hoc โหนดสามารถเคลื่อนที่ได้ จึงเป็นเหตุผลให้โพรโทคอล AODV มีกระบวนการในการตรวจสอบเส้นทางในเครือข่ายอยู่เป็นระยะ โดยทำการกระจายแพ็กเก็ตที่ชื่อว่า Hello ให้กับโหนดรอบข้าง เพื่อตรวจสอบว่าสามารถติดต่อถึงโหนดรอบข้างได้หรือไม่ดังในรูปแบบที่ 5 **Error! Reference source not found.** แสดงให้เห็นว่า เมื่อโหนดหมายเลข 4 ทำการตรวจสอบโหนดรอบข้างแล้ว พบว่าเส้นทางเชื่อมต่อกับโหนด D (โหนดปลายทาง) เสียหาย โหนดหมายเลข 4 จะกระจายแพ็กเก็ต Route Error (RERR) ไปให้โหนดรอบข้างรับทราบ เมื่อโหนด S (โหนดต้น-ทาง) ได้รับแพ็กเก็ต RERR โหนด S จะลบเส้นทางสื่อสารถึงโหนด D ในตารางเส้นทางของโหนด ถ้าโหนด S ต้องการติดต่อถึงโหนด D อีกครั้ง โหนด S จะเริ่มกระบวนการค้นหาเส้นทางใหม่อีกครั้ง



รูปที่ 5 เส้นทางในเครือข่ายเกิดเสียหาย

จากการทำงานของโปรโตคอล AODV พบว่ามีการทำงานบางส่วนที่เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายไม่มีความจำเป็นต้องใช้งานเช่น การตรวจสอบเส้นทางโดยใช้แพ็กเก็ต Hello อยู่ตลอดเวลา เนื่องจากงานประยุกต์ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย โหนดส่วนใหญ่ไม่ได้เคลื่อนที่ ทำให้การตรวจสอบเส้นทางด้วยวิธีการกระจายแพ็กเก็ต Hello ในโปรโตคอล AODV จึงเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานของโหนด

2.2.2 การพัฒนาโปรโตคอล AODV สำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

มีงานวิจัยหลายชิ้นที่ได้ทำการพัฒนาโปรโตคอล AODV เพื่อใช้งานในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย โดยทำการพัฒนาปรับลดการทำงานบางส่วนที่ไม่จำเป็นออก เนื่องจากเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายมีข้อจำกัดหลายด้าน เช่น พลังงานของโหนด การประมวลผล และหน่วยความจำของโหนด เป็นต้น ทำให้ไม่สามารถที่จะนำโปรโตคอล AODV ดั้งเดิมทั้งหมดมาใช้งานในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายได้ทันที

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบโปรโตคอล AODV ที่ได้พัฒนาสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

	Connectivity maintenance mechanism	RERR	Local repair	Only destination generates RREP	Routing metric	Specification and/or implementation status
AODV	Hello message, LLN, etc.	Yes	Yes	No	Hop count	Experimental RFC; Implemented for several platforms
AODVjr.	Connect messages	No	No	Yes	Fastest RREP	Implemented for NS2 simulator
TinyAODV	LLN	Yes	No	Yes	Hop count	Implemented for TinyOS
NST- AODV	LLN	Yes	Yes	No	Hop count	Implemented for TinyOS

ใน**Error! Reference source not found.**ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบคุณลักษณะของโปรโตคอล AODV ที่ได้มีการพัฒนาขึ้นสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ได้แก่ โปรโตคอล AODVjr.[7] โปรโตคอล tinyAODV[8] และโปรโตคอล Not so tiny (NST-AODV)[9]

โพรโทคอล AODVjr. เป็นโพรโทคอลได้รับการพัฒนามาจากโพรโทคอล AODV โดยทำการตัดส่วนของ การตรวจสอบเส้นทางออก ซึ่งได้แก่แพ็กเก็ต Hello ดังนั้นจึงไม่มีการส่งแพ็กเก็ต RERR สำหรับส่วนของการเลือกเส้นทางจะไม่ใช้จำนวน hop มาพิจารณา แต่จะใช้ความเร็วในการได้รับแพ็กเก็ต RREP เป็นตัวแปรในการพิจารณาเลือกเส้นทาง ในงานวิจัย [7] ได้มีการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของโพรโทคอล AODVjr. บน Network Simulator 2 (NS-2) ด้วยสภาพการทำงานแบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายโดยที่ไม่มีโหนดเคลื่อนที่ พบว่าค่า Packet Delivery Ratio (PDR) ของโพรโทคอล AODVjr. มีค่าใกล้เคียงกันกับโพรโทคอล AODV อีกทั้งโพรโทคอล AODVjr. มีจำนวนแพ็กเก็ตในเครือข่ายน้อยกว่าโพรโทคอล AODV

สำหรับโพรโทคอล tinyAODV และโพรโทคอล NST-AODV ถูกพัฒนามาจากโพรโทคอล AODV ที่นำไปสร้างบนระบบปฏิบัติการ TinyOS 1.1 โดยทั้งสองโพรโทคอลได้ตัดความสามารถบางส่วน of โพรโทคอล AODV ออกไป ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

โพรโทคอล tinyAODV ตัดความสามารถในการตรวจสอบเส้นทางโดยใช้แพ็กเก็ต Hello และโหนดที่สามารถสร้างแพ็กเก็ต RREP มีเพียงแคโหนดปลายทางเท่านั้น และไม่มีการซ่อมแซมเส้นทางในการติดต่อสื่อสารกันของโหนดในเครือข่าย เมื่อพบว่ามีความบกพร่องของเส้นทางจากแพ็กเก็ต RERR จะทำการเริ่มกระบวนการหาเส้นทางใหม่ทันที ส่วนโพรโทคอล NST-AODV โหนดทุกตัวสามารถสร้างแพ็กเก็ต RREP ได้ และการตรวจสอบเส้นทาง ไม่ได้ใช้แพ็กเก็ต Hello แต่จะใช้ข้อมูลจากการส่งแพ็กเก็ตให้โหนดรอบข้างไม่สำเร็จ ซึ่งกระบวนการนี้จะทำการตรวจสอบในระดับ link layer

2.3 โพรโทคอล ZigBee

ZigBee[10] เป็นมาตรฐานการสื่อสารที่ออกแบบขึ้นสำหรับการสื่อสารในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) โดยเป็นการสร้างมาตรฐานการสื่อสารต่อเนื่องมาจากมาตรฐานการสื่อสารระยะสั้น IEEE 802.15.4 ที่เน้นการสื่อสารแบบประหยัดพลังงาน ความเร็วการรับส่งข้อมูลต่ำ โดยเพิ่มเติมมาตรฐานการเชื่อมต่อเครือข่ายในชั้น Network และ Application สำหรับมาตรฐานของชั้น Network ในมาตรฐาน ZigBee จะแบ่งชนิดของอุปกรณ์ออกเป็น 3 รูปแบบ คือ Coordinator, End device และ Router

- Coordinator เป็นอุปกรณ์ประเภท Full Function Device (FFD) โดย Coordinator จะมี 1 ตัวในระบบเครือข่ายทำหน้าที่สร้างระบบเครือข่าย กำหนด Network Address

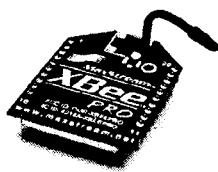
- End device เป็นอุปกรณ์ประเภท FFD หรือ Reduced Function Device (RFD) มีหน้าที่ตรวจสอบ หรือ/และ ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่อพ่วงอื่นๆ

- Router เป็นอุปกรณ์ประเภท FFD มีหน้าที่เพิ่มระยะให้กับระบบเครือข่ายและ เพิ่มจำนวนของจุดเชื่อมต่อ

รูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่ายมาตรฐาน ZigBee ซึ่งประกอบด้วยโหนดที่มีหน้าที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ Coordinator, End device และ Router สามารถนำมาเชื่อมต่อเป็นเครือข่ายได้ 3 รูปแบบได้แก่

- Star Network ประกอบด้วย Coordinator หนึ่งตัวและ End device หนึ่งตัวขึ้นไปโดย End device ทุกตัวจะติดต่อกับ Coordinator เท่านั้น หาก End device ต้องการส่งข้อมูลไปยัง End device ตัวอื่น ก็จะต้องส่งไปยัง Coordinator แล้ว Coordinator จะส่งต่อไปยัง End device เป้าหมาย
- Cluster tree จะมี Router เพิ่มมาจาก Star Network โดย End device จะสามารถติดต่อกับ Router หรือ Coordinator ก็ได้ Router จะทำหน้าที่ 2 อย่างคือ เพิ่มจำนวนโหนด ที่สามารถเข้าร่วมในระบบ Network และเพิ่มระยะทางทางกายภาพของระบบ ทำให้ End device สามารถอยู่นอกระยะของสัญญาณวิทยุของ Coordinator
- Mesh Network จะคล้ายกับ Cluster tree แตกต่างตรงที่ FFD ของ Mesh Network จะสามารถส่งข้อมูลระหว่างกันได้โดยตรง ข้อดีของเครือข่ายแบบนี้คือ สามารถลดการส่งข้อมูล ภายใน (Message latency) และเพิ่มความน่าเชื่อถือ (Reliability) ให้กับระบบ

2.4 XBee

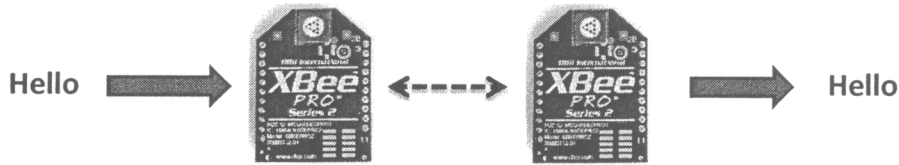


รูปที่ 6 อุปกรณ์ภาครับส่งไร้สาย XBee

XBee ดังรูปที่ 6 คือ อุปกรณ์ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) และโมดูลภาครับส่งคลื่นวิทยุ (RF IC) รวมอยู่ใน สามารถทำงานเป็นอุปกรณ์สำหรับการรับส่งข้อมูลแบบไร้สายบนเครือข่าย เซนเซอร์ไร้สาย โดย XBee ทำงานลักษณะ Half Duplex คือไม่สามารถรับและส่งข้อมูลได้พร้อมกันในเวลาเดียวกัน XBee เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ด้วย UART (TTL) ซึ่ง XBee มีการใช้มาตรฐาน ZigBee ในการเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สาย

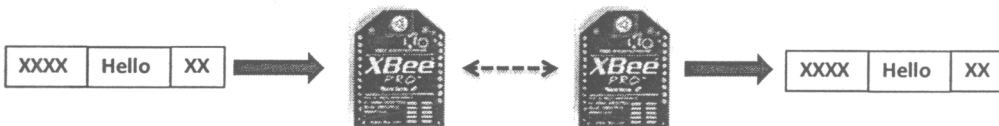
AT Mode และ API Mode

XBee สามารถกำหนดรูปแบบการใช้งานได้ 2 ลักษณะการทำงานคือ รูปแบบการทำงานแบบ AT และรูปแบบการทำงานแบบ API โดย 2 รูปแบบนี้มีการใช้งานแตกต่างกันอย่างชัดเจน



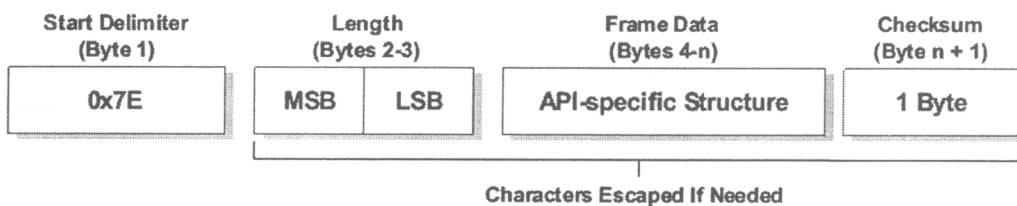
รูปที่ 7 ตัวอย่างใช้งานรูปแบบการทำงาน AT ของ XBee

จากรูปที่ 7 แสดงตัวอย่างการใช้งานในรูปแบบ AT สามารถทำงานได้โดยการส่งเฉพาะข้อมูลที่ ต้องการ (Data) ผ่านทาง UART หรือพอร์ตอนุกรม โดยรูปแบบแพ็กเก็ต ทั้งหมด XBee จะเป็นสร้างแพ็กเก็ต ขึ้นมาด้วยตัวเอง



รูปที่ 8 ตัวอย่างใช้งานรูปแบบการทำงาน API ของ XBee

จากรูปที่ 8 แสดงตัวอย่างการใช้งานรูปแบบ API ซึ่งผู้ใช้งานต้องสร้างแพ็กเก็ต ให้สมบูรณ์แล้วส่ง แพ็กเก็ตที่สมบูรณ์ โดยการส่งงาน XBee ผ่านทาง UART



รูปที่ 9 รูปแบบแพ็กเก็ตของ XBee

จากรูปที่ 9 แสดงรูปแบบของแพ็กเก็ต ตามมาตรฐานการสื่อสารบนอุปกรณ์ XBee ซึ่งประกอบด้วย 4 ส่วนคือ 1) Start Delimiter มีขนาด 1 ไบต์ 2) Length กำหนดความยาวของแพ็กเก็ตมีขนาด 2-3 ไบต์ 3) ส่วนของข้อมูลหรือเรียกว่า Frame Data และ 4) Checksum มีขนาด 1 ไบต์สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

บทที่ 3

การออกแบบและพัฒนาโหนด

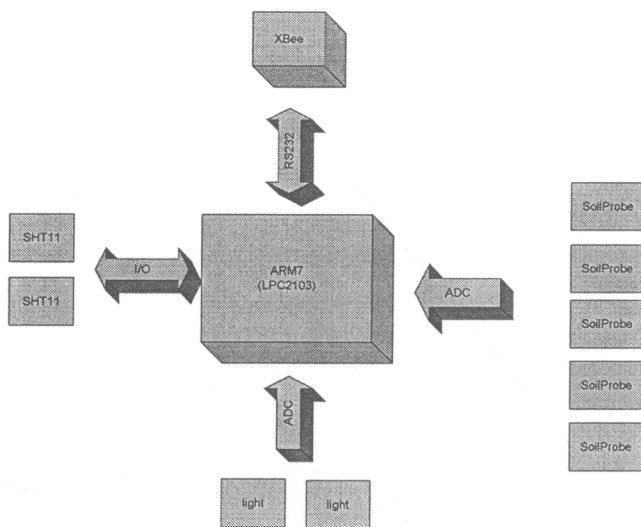
3.1 โหนด Platform ARM พร้อมกับ XBEE

โหนด Platform ที่ใช้งานพัฒนาขึ้นจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM LPC2103 กับภาครับส่งคลื่นวิทยุ (RF) ที่เป็น XBEE สำหรับโหนดแม่ (Cluster head) ใช้เครื่องแม่ข่ายหรือเครื่องคอมพิวเตอร์กับ XBEE เชื่อมต่อกันผ่านพอร์ตอนุกรม ซึ่งรายละเอียดของการเชื่อมต่อโหนดเข้ากับเซนเซอร์จะแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ

1.1 โหนดกับเซนเซอร์แบบที่ 1 คือโหนดที่เชื่อมต่อเข้ากับชุดอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพภูมิอากาศได้แก่ ตัววัดปริมาณน้ำฝน

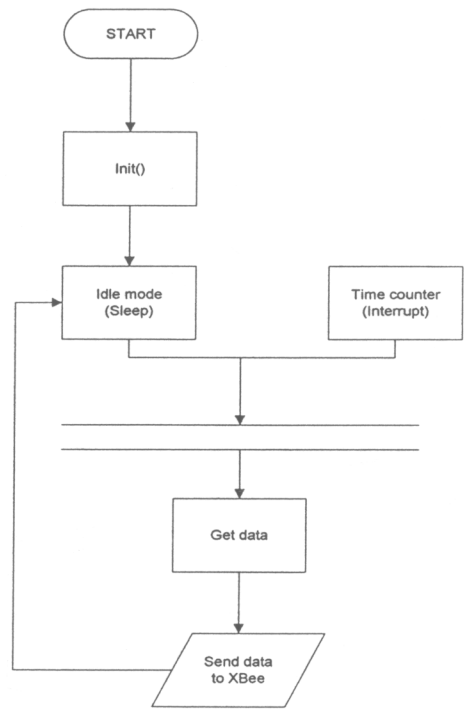
1.2 โหนดกับเซนเซอร์แบบที่ 2 คือโหนดที่เชื่อมต่อเข้ากับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ จำนวน 2 ตัว เพื่อใช้วัดเหนือและใต้ใบปาล์ม เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน 5 ตัว ที่ 5 ระดับ (15, 60, 100, 150 และ 300 เซนติเมตร) โดยจะเก็บข้อมูลทุก 1 ชั่วโมง

1.3 โหนดกับเซนเซอร์แบบที่ 3 คือโหนดที่เชื่อมต่อเข้ากับเซนเซอร์วัดความชื้นในดินจำนวน 5 ตัว รายละเอียดเหมือนกับโหนดแบบที่ 2

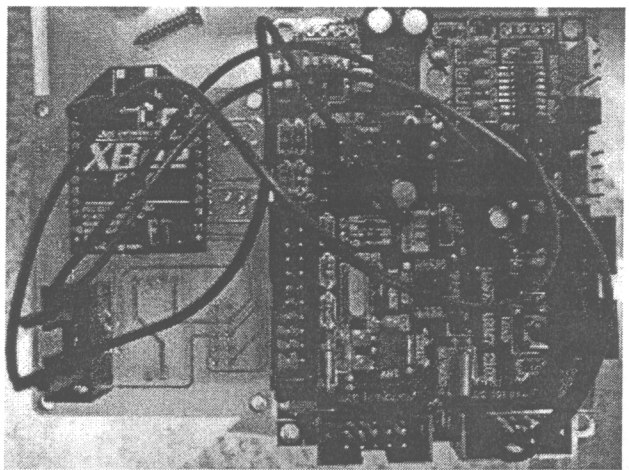


รูปที่ 10 ลักษณะการเชื่อมต่อของบอร์ดที่ทำหน้าที่โหนด

ลักษณะการเชื่อมต่อของบอร์ดที่ทำหน้าที่เป็นโหนดแสดงดังรูปที่ 10 เซนเซอร์ความชื้นและอุณหภูมิ (sht11) จะเชื่อมต่อผ่านทางพอร์ต GPIO สำหรับเซนเซอร์วัดความเข้มแสงและความชื้นในดินเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ต ADC แต่เนื่องจากจำนวนของพอร์ต ADC มีไม่เพียงพอจึงทำให้จะต้องมี multiplexer เข้ามาช่วยในการอ่านค่าจากเซนเซอร์เหล่านั้น และมีขั้นตอนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ดังรูปที่ 11 และโหนดที่ประกอบด้วย ARM 2103 กับ XBee ซึ่งเป็น platform ZigBee ที่ได้พัฒนาขึ้นแสดงไว้ดังรูปที่ 12

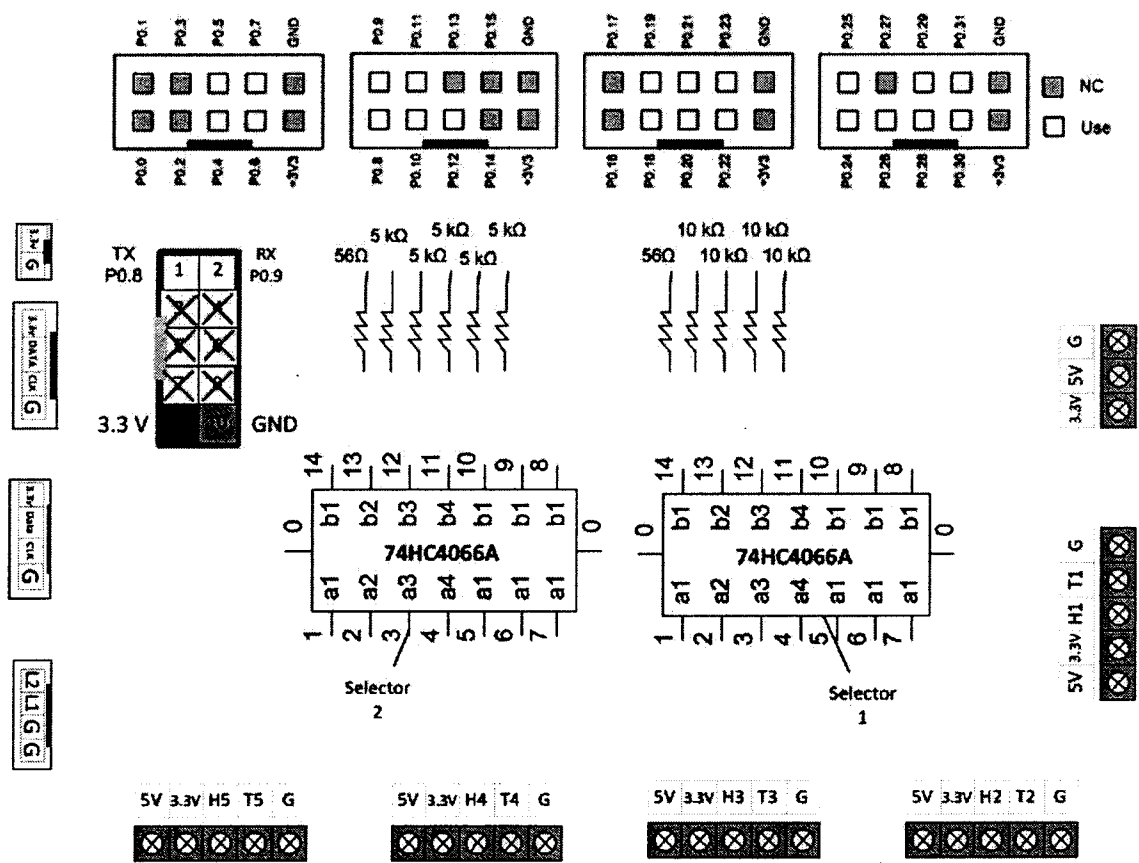


รูปที่ 11 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

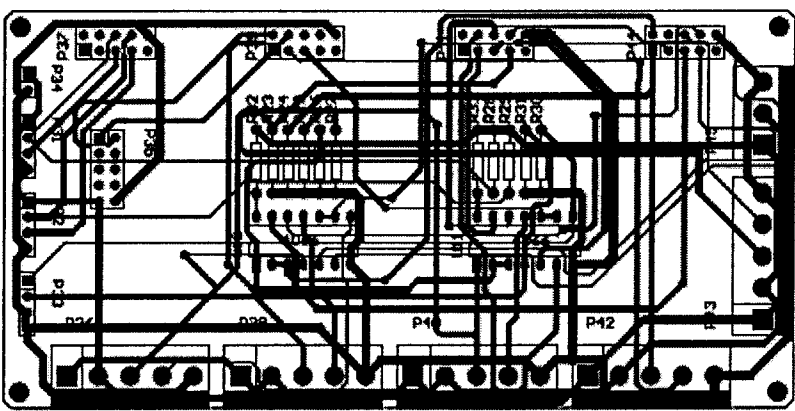


รูปที่ 12 โหนด Platform ZigBee

เมื่อได้โหนด Platform XBee แล้วจึงได้ทำการออกแบบบอร์ดเชื่อมต่อดังรูปที่ 13 และมีภาพลาย
 วงจร PCB แสดงดังรูปที่ 14 ทำหน้าที่เชื่อมกับตัวตรวจวัดต่างๆเช่น ตัวตรวจวัดอุณหภูมิความชื้นในอากาศ
 จำนวน 2 ตัว ความชื้นในดิน 5 ระดับ ตัวตรวจวัดความเข้มแสงแสง 2 ตัวและสถานีวัดอากาศขนาดเล็ก

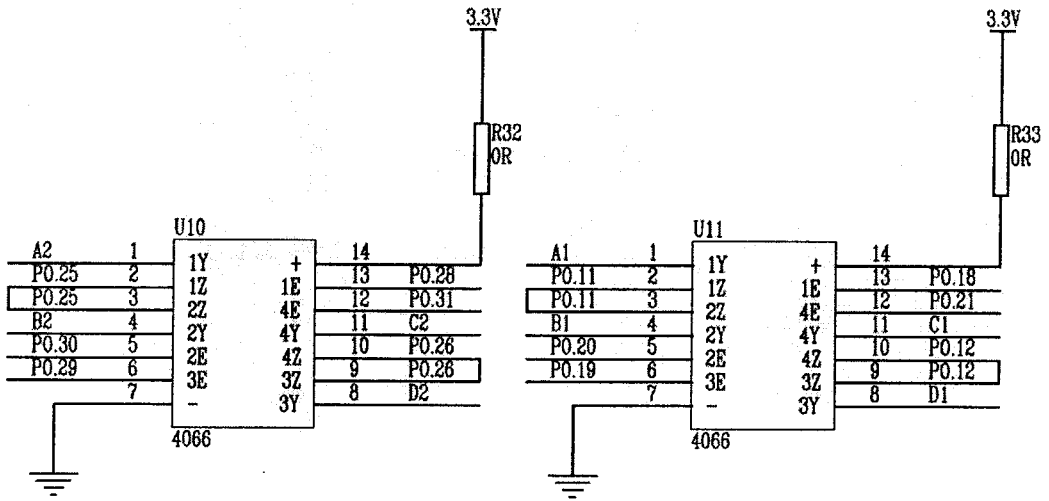


รูปที่ 13 แสดงภาพรวมของบอร์ดเชื่อมต่ออุปกรณ์ตัวตรวจวัดทั้งหมด



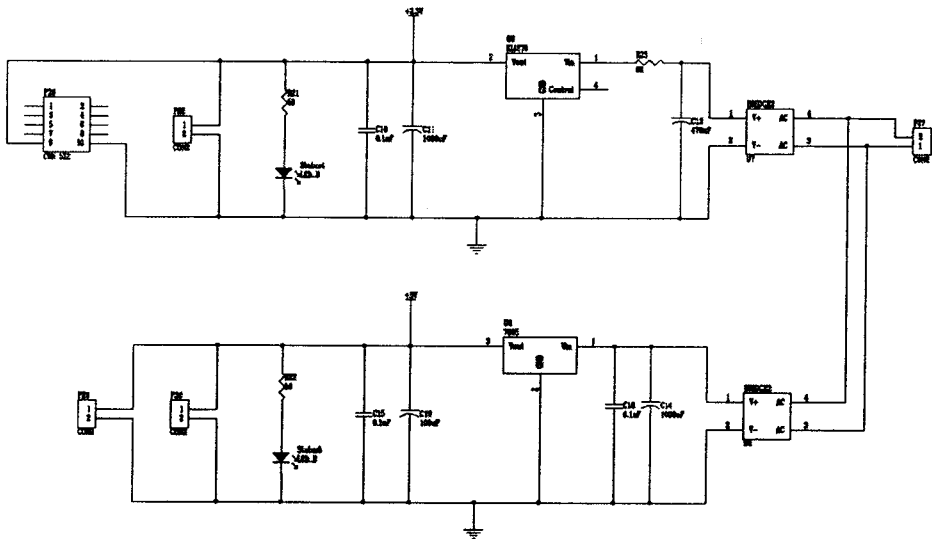
รูปที่ 14 PCB ของบอร์ดเชื่อมต่อ

วงจรทางเลือก(Mux) เนื่องจาก Microcontroller มี Port สำหรับ ADC จำกัดทำให้ไม่พอเพียงกับจำนวนของ sensor ที่ต้องใช้จึงต้องทำการใช้การเลือก Active อุปกรณ์โดยอาศัยวงจรทางเลือกช่วยในการทำงาน ดังรูปที่ 15

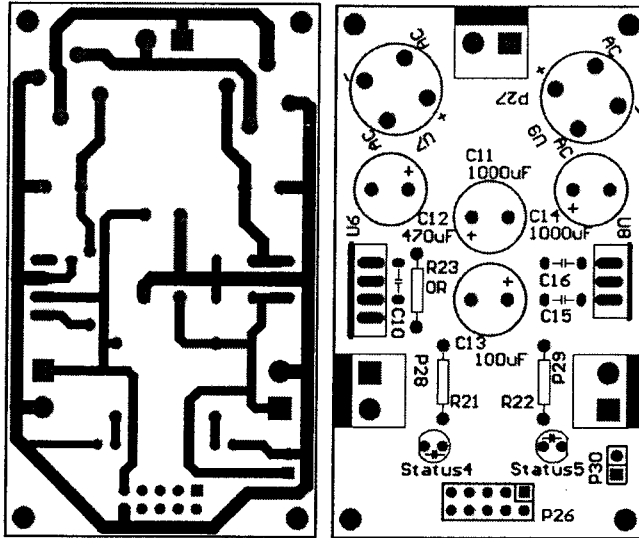


รูปที่ 15 แสดงตัวอย่างของการเชื่อมต่อกับ Mux

วงจรแหล่งจ่ายไฟ เนื่องจากแต่ละอุปกรณ์มีความต้องการจำเพาะเจาะจงในเรื่องแรงดันไฟฟ้าต่างกัน ซึ่งมีทั้งที่ต้องการแรงดันไฟฟ้า 5V และ 3.3V ดังนั้นในส่วนของ Power Supply จึงจำเป็นอย่างมากที่ต้องสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าทั้ง 2 ความต้องการได้ดังรูปที่ 16 โดยมีลายวงจรดังรูปที่ 17



รูปที่ 16 วงจร power supply



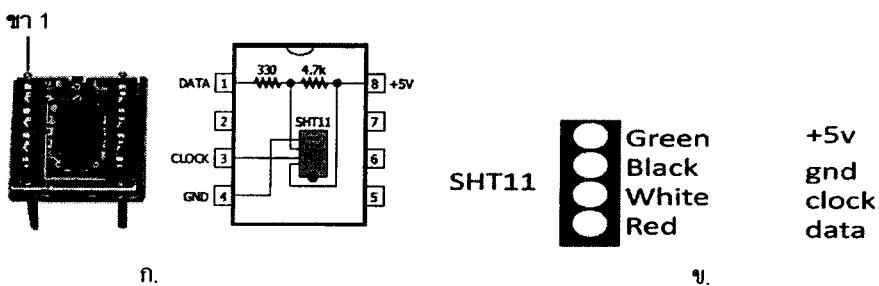
รูปที่ 17 PCB ของ power supply

3.2 ตัวตรวจวัด (Sensor)

จากการสอบถามและศึกษาความต้องการของนักวิชาการเกษตร พบว่าระบบจะต้องมีตัวตรวจวัดดังนี้ ตัวตรวจวัดอุณหภูมิความชื้นในอากาศ จำนวน 2 ตัว (เลือกใช้ SHT11) ความชื้นในดิน 5 ระดับ (เลือกใช้ soil moisture ที่พัฒนาโดย NECTEC, สวทช.) ตัวตรวจวัดความเข้มแสงแสง 2 ตัวและสถานีวัดอากาศขนาดเล็ก

3.2.1 ตัววัดความชื้นและอุณหภูมิในอากาศ

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ SHT11 เป็นตัววัดความชื้นและอุณหภูมิในอากาศนำมาทำ PCB เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ดดังรูปที่ 18(ก) ซึ่งมีขาเชื่อมต่อทั้งหมด 4 ขาแทนด้วยสีของสายไฟเชื่อมต่อที่แตกต่างกันดังนี้ ไฟเลี้ยง (+5V) Gnd สัญญาณนาฬิกา (clock) และข้อมูล (data) ดังรูปที่ 18(ข)



รูปที่ 18 โมดูล SHT11 และแผนวงจรการเชื่อมต่อกับ SHT11

ตัวทำความร้อนภายใน SHT11 จะทำให้อุณหภูมิของตัวตรวจจับเพิ่มขึ้น 5 องศาเซลเซียส ตัวทำความร้อนจะถูกใช้งานเพื่อขจัดไอน้ำที่ติดที่ตัวตรวจจับเมื่อมีความชื้นสูงกว่า 95% ซึ่งจะสามารถคำนวณอุณหภูมิและความชื้นได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Temperature} = d1 + (d2 \times \text{SO}_T)$$

โดยที่ Temperature คือ ค่าอุณหภูมิจริง

d1 คือ ค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับไฟเลี้ยงที่ป้อนให้ขา VDD ของ SHT11

d2 คือ ค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับความละเอียดของอุณหภูมิที่ต้องการจาก SHT11

SO_T คือ ค่าอุณหภูมิดิบที่อ่านได้จากโมดูล SHT11

$$\text{RH}_{\text{true}} = (T-25) \times [t1+(t2 \times \text{SO}_{\text{RH}})] + \text{RH}_{\text{linear}}$$

$$\text{RH}_{\text{linear}} = c1 + (c2 \times \text{SO}_{\text{RH}}) + [c3 + (\text{SO}_{\text{RH}})^2]$$

โดยที่ RH_{true} คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์จริง

T คือ ค่าอุณหภูมิจริงที่คำนวณได้จากสมการแรก

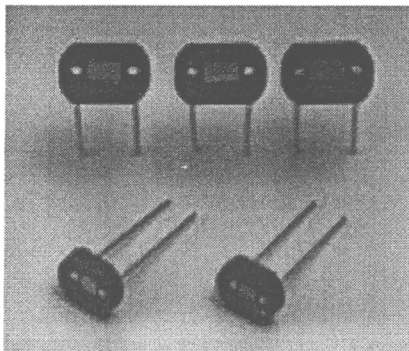
t1, t2 คือ ค่าคงที่โดยขึ้นอยู่กับความละเอียดของความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการจากโมดูล SHT11

c1, c2, c3 คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับความละเอียดของความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการ

SO_{RH} คือ ค่าข้อมูลดิบของความชื้นสัมพัทธ์ที่อ่านได้จาก SHT11

3.2.2 ตัววัดความเข้มแสง

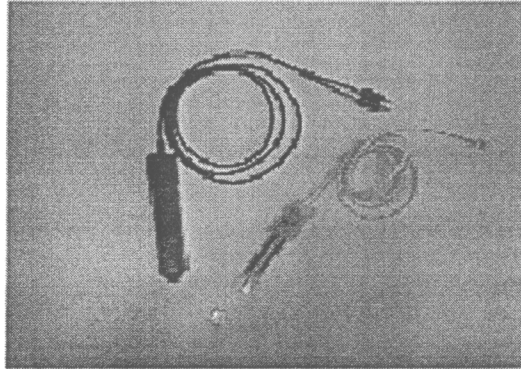
ตัววัดความเข้มแสงเลือกใช้ Si Photodiode เนื่องจากมีขนาดเล็กและราคาถูก โดยจะนำไปใช้ในการวัดค่าความเข้มแสงภายนอกและภายในทรงพุ่ม S1087 แสดงดังรูปที่ 18 ตัวตรวจวัดนี้จะตอบสนองช่วงของแสงระหว่าง 320 – 730 nm



รูปที่ 19 โมดูลวัดความเข้มแสง S1087

3.2.3 ตัววัดความชื้นในดิน

ความชื้นในดินของงานวิจัยนี้เลือกใช้โมดูลที่ทาง NECTEC เป็นผู้วิจัยและพัฒนาขึ้นดังรูปที่ 20 โดยทำการวัดค่าแรงดันที่ได้เปรียบเทียบกับค่าความชื้นที่ได้จากการวัดปริมาณน้ำของดินโดยการนำดินผ่านกระบวนการทางห้องปฏิบัติการเพื่อหาปริมาณของน้ำในดินแล้วเทียบวัดกับเครื่องแม่วัดความชื้นในดินของกรมวิชาการเกษตร และมีลักษณะของการติดตั้งตัววัดความชื้นในดินในดินทั้งหมด 5 ระดับชั้น

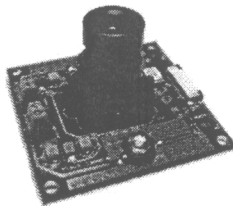


Soil Moisture

รูปที่ 20 โมดูลวัดความชื้นในดินของ NECTEC, สวทช.

3.3 ผลการศึกษาทางวิชาการของการส่งข้อมูลภาพผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

ในระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายสำหรับการเกษตรได้มีการพัฒนาการส่งภาพผ่านเครือข่ายเนื่องจาก ในช่วงที่เกิดปัญหาเช่นโรคราบดของพืชจะสามารถจับภาพส่งไปให้ผู้เชี่ยวชาญของกรมวิชาการเกษตรวิเคราะห์ขั้นต้น ก่อนที่จะมีการเข้าพื้นที่ไปนำตัวอย่างชิ้นเนื้อ หรือดินเข้าสู่การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ในโครงการวิจัยนี้เลือกใช้กล้อง CMOS Camera หรือ CCD sensor ดังรูปที่ 21



รูปที่ 21 โมดูลกล้อง CMOS camera

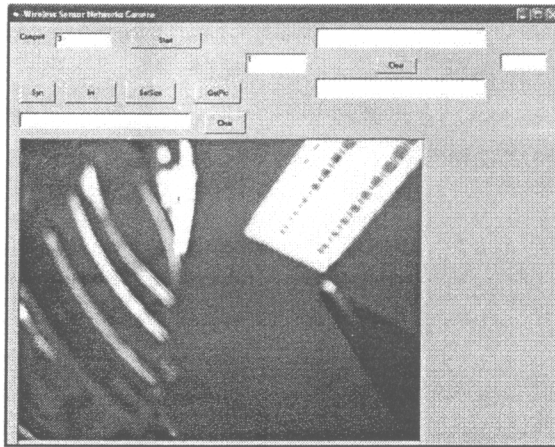
ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่ช่วยรวมกับการจับภาพหรือที่เรียกว่า Wireless multimedia sensor network (WMSN) ที่ผลิตออกมาจำหน่ายดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปโหนดสำหรับการรับส่งภาพที่มีอยู่ในปัจจุบัน

Device Name	Manufacturer	Processor	Memory	Multimedia Support
Stargate	Crossbow	Intel PXA-255 Xscale processor at 400 MHz	32 MByte Flash 64 MByte RAM	High computation power, embedded linux OS
Imote2	Intel	32-bit PXA271 Marvell processor at 13 – 416 MHz	32 KByte Flash 64 KByte RAM	MMX co-processor for audio/video imaging acceleration
CMUcam3	CMU	32-bit NXP LPC2106 microcontroller at 60 MHz	128 KByte Flash 64 KByte RAM	On-board cc3-open source image processing library
MeshEye	Stanford Univ.	32-bit ARM7TDMI RISC processor at 55 MHz	128 KByte Flash 64 KByte RAM	Multiple resolution support
WiCa	XNP and Philips Research	IC3D Xetal II processor at 84 MHz	10 Mbit RAM	Dedicated parallel processor, multiple camera modules
Cyclops	Agilent Technologies	8-bit ATME126L ATmega126L microcontroller	512 KByte Flash 512 KByte RAM	On-board image processing, low power, cost and size

โดยที่ CMOS image sensor ทั่วไปจะมี 2 รูปแบบคือ แบบ CIF (common intermediate format) 352x288 pixel และแบบ VGA (video graphics array) 640x480 pixel การเชื่อมต่อเครือข่าย ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 พบว่าในชั้น physical จะมีอัตราการส่งข้อมูลอยู่ที่ 250 Kbps ในชั้นของ Data link จะมี CSMA (Channel Sense Multiple Access) โดยที่แต่ละแพ็กเก็ตจะมีกระบวนการ Acknowledge ในแต่ละแพ็กเก็ต แต่จะไม่มี QoS แม้กระทั่งใน ZigBee ก็ยังไม่มี QoS สำหรับในชั้น Network layer นี้ ใน ZigBee มีการเพิ่มเติมส่วนของการเข้าหรือออกจากเครือข่าย เรื่องของการหาเส้นทาง นอกจากนี้ยังมี กระบวนการของ Discover และ Maintenance จะเก็บเพื่อนบ้านใกล้เคียง (one-hop) เอาไว้ในชั้นนี้ด้วย

ข้อจำกัดของ ZigBee คือชั้น Physical มีขนาดของข้อมูลที่ 127 bytes แต่เมื่อรวม Overhead ที่เกิดจากแต่ละชั้นของ Network ทำให้เหลือเพียงประมาณ 80 bytes ในการส่งข้อมูลภาพ ฉะนั้นจะต้องมี กระบวนการแตกเฟรม (Fragmentation) ซึ่งในชั้นของ Network layer ยังไม่มีขั้นตอนนี้ ทำให้จะต้องไป ดำเนินการแตกเฟรมในชั้น Application layer ตัวอย่างของภาพที่ส่งผ่านทาง XBee แสดงในรูปที่ 22



รูปที่ 22 ตัวอย่างโปรแกรมในการรับภาพจาก XBee

บทที่ 4

การออกแบบและพัฒนาโครงสร้างเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

การออกแบบโหนดสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายจะต้องทำการพัฒนาโพรโทคอลของการค้นหาและเชื่อมต่อเส้นทาง เพื่อให้โหนดแต่ละตัวสามารถสื่อสารถึงกันและรับส่งข้อมูลกับเครื่องแม่ข่ายได้ ดังนั้นในส่วนนี้จึงเป็นการออกแบบและทดสอบโพรโทคอลค้นหาเส้นทางที่จะนำมาใช้บนโหนด โดยเน้นเลือกนำโพรโทคอลแบบ Ad-hoc เนื่องจากเหมาะสมสำหรับการใช้งานสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย อีกทั้งยังได้นำรูปแบบของการเชื่อมต่อแบบ cluster มาวิเคราะห์และใช้งาน เพราะจำนวนของโหนดที่จะใช้มีมาก จึงจำเป็นที่จะต้องจัดกลุ่มของโหนดในการทำงาน เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากที่สุด

4.1 โพรโทคอล IEEE 802.15.4 และ Zigbee

เครือข่ายแบบไร้สายระยะใกล้ที่เรียกว่า Wireless Personal Area Networks (WPANs) มีทั้งความเร็วการรับส่งข้อมูลสูงและต่ำ ที่องค์กร IEEE ได้วิจัยและพัฒนาออกมามี 2 มาตรฐานคือมาตรฐาน IEEE 802.15.3a สำหรับ WPAN ความเร็วสูงและอีกมาตรฐานหนึ่งคือ IEEE 802.15.4 สำหรับ WPAN ความเร็วต่ำ

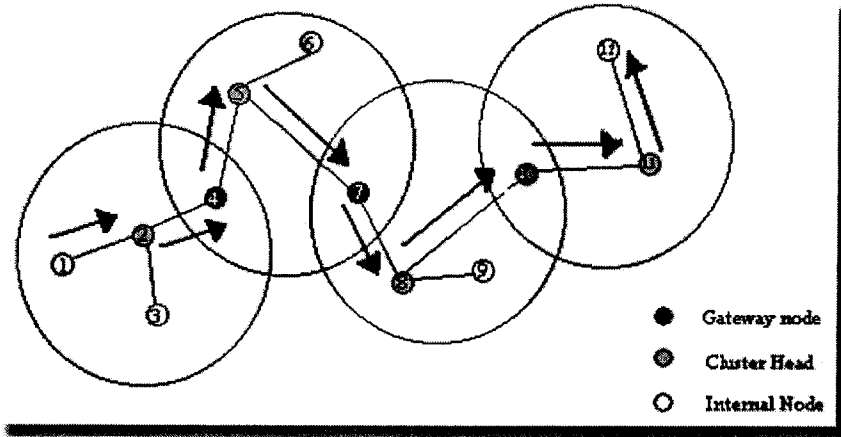
มาตรฐาน IEEE 802.15.4 ถ้ามีการใช้งานเกิดขึ้นจริงนั้นจะมีผลต่อการใช้ชีวิตประจำวันของเราอย่างมาก นอกจากนี้ระบบ IEEE 802.15.4 จะช่วยเตือนภัยจากสิ่งแวดล้อมรวมถึงอุบัติเหตุต่างๆ เช่น ไฟไหม้ น้ำท่วม แผ่นดินไหว เป็นต้น ทั้งนี้ระบบเตือนภัยในปัจจุบันไม่ได้เชื่อมต่อกันเป็น ระบบเครือข่ายและตัวอุปกรณ์เองมีช่วงการใช้งานจากแบตเตอรี่สั้น นอกจากนี้ยังมีราคาแพงอีกด้วยแต่ในระบบ IEEE 802.15.4 สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์พื้นฐานเช่น เซนเซอร์ที่มีราคาถูกทำให้สามารถติดตามเหตุการณ์ต่างๆ และอุปกรณ์จะทำงานอย่างอัตโนมัติตามที่เราต้องการ สำหรับการประยุกต์ระบบ IEEE 802.15.4 มาใช้ภายในบ้านจะสามารถทำให้ อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มาจากหลากหลายผู้ผลิตสื่อสารระหว่างกันเป็นระบบเครือข่ายได้ เช่น เมื่อมีสายโทรศัพท์เข้ามาโทรศัพท์จะลดเสียงลงอัตโนมัติทั้งนี้เราเองไม่ต้องตั้งค่าต่างให้กับอุปกรณ์ แต่อุปกรณ์เองจะเรียนรู้เองจากพฤติกรรมของเราภายในบ้านโดยแต่ละอุปกรณ์จะตรวจจับค่าต่างๆ เช่น ความเข้มแสง หลอดไฟ อุณหภูมิ เพลง ช่องโทรทัศน์ และ Web Site นอกจากนี้เราสามารถนำระบบ IEEE 802.15.4 มาประยุกต์ใช้ในการคมนาคมกับอุปกรณ์พื้นฐานต่างๆ ที่อยู่ตามท้องถนนทางด่วนและที่อื่น ๆ ทั้งนี้อุปกรณ์ต่างๆ จะสื่อสารกันเองเป็นระบบเครือข่าย ในระหว่างการเดินทางของรถบนท้องถนน อุปกรณ์ที่อยู่ข้างทางจะส่งข้อมูลที่จำเป็นในการเดินทางสำหรับถนนที่วิ่งอยู่ เช่น ความเร็วสูงสุดที่วิ่งได้ เส้นทางเป็นรถเดินทางเดียวหรือสองทาง

สภาพการจราจร ข้อมูลอุบัติเหตุเป็นต้น นอกจากนี้อุปกรณ์ต่างๆที่อยู่ข้างถนนจะมีทำงานแบบอัตโนมัติด้วย เช่น ไฟส่องทางจะลดความเข้มลงเมื่อไม่มีรถวิ่งผ่านมาและระบบควบคุมการจราจรเป็นต้น ประโยชน์อีกอย่างหนึ่งคือสามารถตรวจหาตำแหน่งของรถได้ ซึ่งจะคล้ายกับระบบ GPS แต่ระบบ GPS นี้ไม่สามารถตรวจหาตำแหน่งในบางสถานที่ได้ เช่น ในอุโมงค์ ภายในอาคาร เป็นต้น และระบบ GPS ยังมีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งมากกว่า การใช้งานในระบบ IEEE 802.15.4 อีกด้วย สำหรับมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ถูกกำหนดไว้ในชั้นของ Physical Layer และ Medium Access Control ด้วยอัตราข้อมูลต่ำ ส่วน Topology ที่รองรับนั้นจะมี 2 แบบคือ One-hop Star เมื่อมีรัศมีการสื่อสารน้อยกว่า 10 เมตร และ Multi-hop สำหรับ Peer-to-Peer Topology ทั้งนี้แต่ละอุปกรณ์จะมีแอดเดรส ที่มีความยาว 64 หรือ 16 บิต สำหรับ ชั้น Physical Layer ของมาตรฐาน IEEE 802.15.4 มี 3 แแถบความถี่คือ 2.4 GHz และ 896/915 MHz สำหรับแแถบความถี่ 2.4 GHz มี 16 ช่องสัญญาณสื่อสาร ด้วยอัตราข้อมูล 250 kb/s สำหรับแแถบความถี่ 896 MHz มี 10 ช่องสัญญาณสื่อสาร ด้วยอัตราข้อมูล 40 kb/s และสำหรับแแถบความถี่ 915 MHz มี 1 ช่องสัญญาณสื่อสาร ด้วยอัตราข้อมูล 20 kb/s

4.2 โพรโทคอลหาเส้นทางในระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

4.2.1 Destination Sequenced Distance Vector Routing (DSDV)

เป็นโพรโทคอลการจัดเส้นทางแบบเวกเตอร์บอกระยะดังรูปที่ 23 ที่มีลักษณะเป็นช่วงเชื่อมโยงต่อช่วงเชื่อมโยง (hop-by-hop) โดยแต่ละโหนดการเชื่อมต่อ มีตารางเก็บค่าเส้นทางไปยังโหนดปลายทาง แต่ละโหนดในระบบเครือข่าย จะเก็บค่าในเส้นทางไปยังโหนดปลายทางด้วยช่วงเชื่อมโยงต่อไป (Next hop) และจำนวนช่วงเชื่อมโยงที่ใช้ในเส้นทางนี้เหมือนกับเวกเตอร์บอกระยะ โพรโทคอลชนิดนี้มีการปรับปรุงข้อมูลในตารางเส้นทางด้วยการแพร่สัญญาณ(Broadcast) เป็นช่วง ๆ ซึ่ง DSDV รับประกันว่าจะไม่เกิดเส้นทางวนรอบเพื่อไม่เกิดเส้นทางซ้ำกัน DSDV ใช้ตัวเลขลำดับเพิ่มในข้อมูลเส้นทางแต่ละเส้น โพรโทคอล DSDV ทำการปรับข้อมูลเส้นทางโดยการรับข้อมูลที่แพร่สัญญาณมาเป็นช่วง ๆ จากสถานีโหนดข้างเคียง เวลาที่ข้อมูลทั้งหมดจากสถานีเชื่อมโยงจากข้างเคียง ทุกสถานีเชื่อมโยงได้มาครบแล้ว จึงมาประเมินหาค่าเส้นทางได้

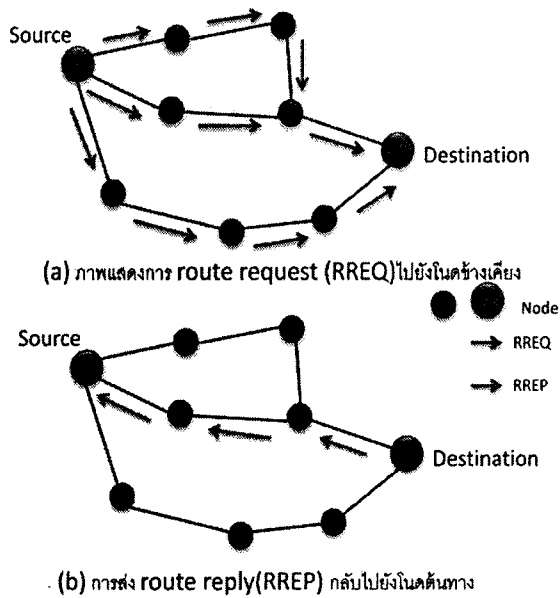


รูปที่ 23 ตัวอย่างการค้นหาเส้นทางของ DSDV

4.2.2 Ad-hoc On-Demand Distance Vector (AODV)

โพรโทคอล AODV เป็นโพรโทคอลการจัดเส้นทางในเน็ตเวิร์คไร้สายแบบเฉพาะกิจ ทำให้สถานีเชื่อมโยงสามารถติดต่อกันได้ โดยที่เส้นทางอาจมีหลายช่วงการเชื่อมต่อ โพรโทคอลมีพื้นฐานมาจากโพรโทคอลเวกเตอร์บอกระยะ (Distance Vector) แต่ AODV จะมีการทำงานเป็นแบบรีแอกทีฟ คือ ขบวนการค้นหาเส้นทางเกิดขึ้นเมื่อมีการร้องขอใช้เส้นทางนั้นเท่านั้น และสถานีเชื่อมโยงไม่จำเป็นต้องทำการปรับปรุงข้อมูลเส้นทางไปยังสถานีเชื่อมโยงปลายทางที่ยังไม่ใช้งานในขณะนั้น และในขณะการสื่อสารดำเนินอยู่ โดยเส้นทางยังทำงานได้ AODV ก็จะไม่ทำงานใดๆเลย ข้อเด่นอย่างหนึ่งของโพรโทคอล AODV คือการค้นหาเส้นทางและเลือกใช้เส้นทางของคู่สถานีเชื่อมโยงต้นทาง และปลายทางที่มีอยู่ เพื่อให้การส่งข้อมูลนั้นเป็นไปอย่างถูกต้อง โพรโทคอลสถานะลิงค์และเวกเตอร์บอกระยะทำงานได้ในเน็ตเวิร์คไร้สายแบบเฉพาะกิจที่มีการเคลื่อนที่ของสถานีเชื่อมโยงน้อย ทำให้การเปลี่ยนแปลงของภูมิลักษณ์ของเน็ตเวิร์คไม่มากนัก แต่นอกจากปัญหาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของภูมิลักษณ์ของเน็ตเวิร์คบ่อยแล้ว ในการทำงานของโพรโทคอลเหล่านี้คือมีการส่งข้อความควบคุม (Control Messages) เป็นช่วงๆเพื่อใช้ในการกำหนดเส้นทางหรือปรับปรุงข้อมูลเส้นทาง

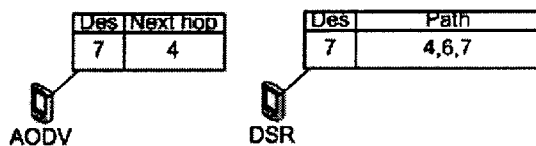
การทำงานของจการจัดสรรเส้นทางแบบ AODV เป็นดังรูปที่ 24 คือเมื่อมีโหนดต้นทางที่จะส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทาง โหนดต้นทางจะทำการส่ง route request (RREQ)ไปยังโหนดข้างเคียง และโหนดที่ได้รับก็จะทำการส่งต่อไปยังโหนดที่ใกล้เคียงต่อไปเรื่อย ๆ จนถึงโหนดที่ต้นทางต้องการจะติดต่อกับ หรือโหนดปลายทางนั่นเองดังรูปที่ 24(a) และเมื่อโหนดปลายทางได้รับ RREQ ตัวแรกที่มาถึงที่โหนดปลายทาง โหนดปลายทางก็จะทำการส่ง route reply(RREP) กลับไปยังโหนดต้นทางที่ทำการส่ง RREP มาให้โดยจะส่งกลับไป ในเส้นทางที่ RREQ ตัวแรกมาถึง เพราะถือว่าใช้เวลาน้อยที่สุดในการส่ง RREQ มาจากต้นทาง ดูได้จากรูปที่ 24(b)



รูปที่ 24 การหาเส้นทางของ AODV Protocol

4.2.3 Dynamic Source Routing (DSR)

โพรโทคอล DSR เป็นโพรโทคอลการจัดเส้นทางแบบหนึ่งในโพรโทคอลที่มีลักษณะเป็นรีแอดทีฟ ลักษณะการทำงานคล้ายกับ AODV คือ จะทำการส่ง RREQ แพ็คเก็ตไปจุดข้างเคียงจนกว่าจะถึงปลายทาง แต่ลักษณะตารางเก็บค่าเส้นทาง ที่โหนดต้นทาง จะต่างจาก AODV คือ ในส่วนของเส้นทางไปยังโหนดปลายทาง แทนที่จะมีแค่ค่าโหนดถัดไป (Next Hop) แต่จะบรรจุทั้งหมดของเส้นทางไว้รวมกับข้อมูลในแพ็คเก็ต ดังรูปที่ 25 หากโหนดต้นทางไม่มีเส้นทางไปยังโหนดปลายทาง จะทำกระบวนการหาเส้นทางเช่นเดียวกับ AODV เพียงแต่ต่างที่ RREQ จะสะสมรายละเอียดเส้นทางครบทุกโหนดไปยังจุดหมาย และตอบกลับมาให้โหนดต้นทางทราบผ่าน RREP เพื่อให้สถานีเชื่อมโยงสามารถค้นหาเส้นทาง ไปยัง จุดหมาย และตอบกลับมาให้โหนดต้นทางทราบผ่าน RREP



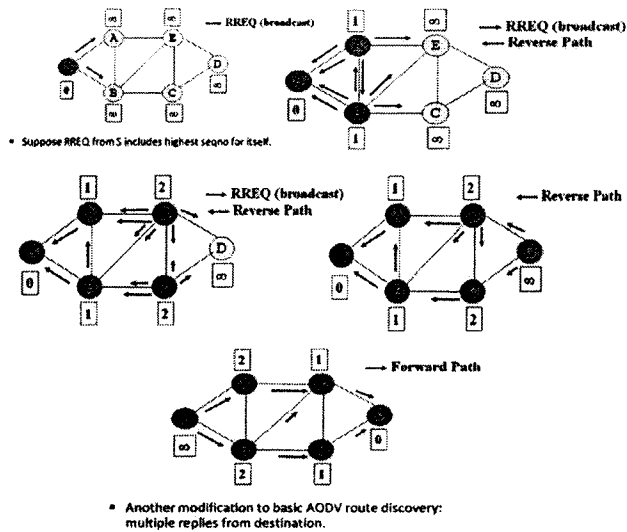
รูปที่ 25 เปรียบเทียบลักษณะตารางเก็บค่าเส้นทางที่แตกต่างกัน

4.2.4 Ad-hoc On-Demand Multiple Distance Vector (AOMDV)

เป็นโพรโทคอลการจัดเส้นทางในเน็ตเวิร์คไร้สายทำให้สถานีเชื่อมโยงสามารถติดต่อกันได้ โดยที่เส้นทางอาจมีหลายช่วงเชื่อมต่อโพรโทคอลมีพื้นฐานมาจากโพรโทคอลเวกเตอร์ระยะ (Distance Vector)

แต่ AOMDV จะมีการทำงานเป็นแบบรีแอคทีฟคือขบวนการค้นหาเส้นทางเกิดขึ้นเมื่อมีการร้องขอใช้เส้นทางนั้นเท่านั้น และสถานีเชื่อมโยงไม่จำเป็นต้องทำการปรับปรุงข้อมูลเส้นทางไปยังสถานีเชื่อมโยงปลายทางที่ยังไม่ใช้งานในขณะนั้น และในขณะการสื่อสารดำเนินอยู่ โดยเส้นทางยังทำงานได้ AOMDV ก็จะไม่ทำงานใดๆเลย ข้อเด่นอย่างหนึ่งของโพรโทคอล AOMDV คือการค้นหาเส้นทางและเลือกใช้เส้นทางของคู่สถานีเชื่อมโยงต้นทาง และปลายทางที่มีอยู่ เพื่อให้การส่งข้อมูลนั้นเป็นไปอย่างถูกต้อง โพรโทคอลสถานะลิงค์และเวกเตอร์บอกระยะทำงานได้ในเน็ตเวิร์คไร้สายแบบเฉพาะกิจที่มีการเคลื่อนที่ของสถานีเชื่อมโยงน้อย ทำให้การเปลี่ยนแปลงของภูมิลักษณะของเน็ตเวิร์คไม่มากนัก แต่นอกจากปัญหาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของภูมิลักษณะของเน็ตเวิร์คบ่อยแล้ว ในการทำงานของโพรโทคอลเหล่านี้คือมีการส่งข้อความควบคุม (Control Messages) เป็นช่วงๆเพื่อใช้ในการกำหนดเส้นทางหรือปรับปรุงข้อมูลเส้นทาง

AOMDV เป็นโพรโทคอลที่เป็นแบบแผนของ routing message ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เคลื่อนย้ายได้ (mobile computer) หรือโหนด ในการส่ง message ผ่านไปยัง node ข้างเคียง(neighbor) เพื่อไปยัง node ที่ต้นทาง ไม่สามารถติดต่อได้โดยตรง ในระหว่างทางที่ message ถูกส่งผ่านไป AOMDV ก็ จะทำการค้นหาเส้นทางไป โดยจะมั่นใจได้ว่าจะไม่เกิดการวนลูป (loop) และพยายามหาเส้นทางที่สั้นที่สุดที่จะเป็นไปได้ อีกทั้ง AOMDV ยังสามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงของเส้นทาง(route) และสามารถสร้างเส้นทางใหม่หาเกิดข้อผิดพลาดได้อีกด้วย ดังรูปที่ 26



รูปที่ 26 กระบวนการการค้นหาเส้นทางของโปรโตคอล AOMDV

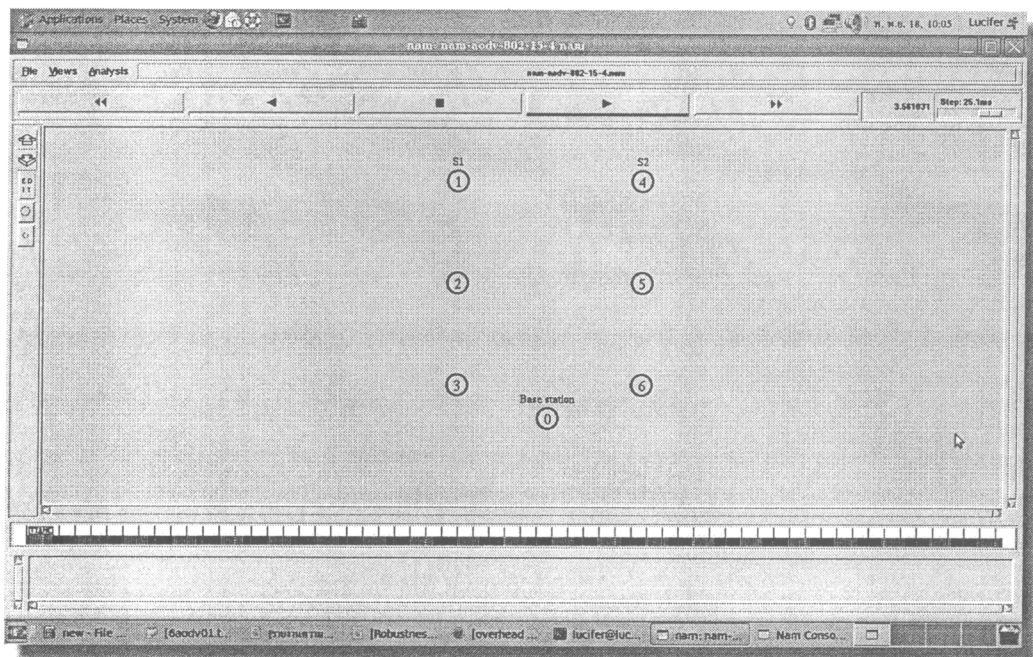
4.3 ทดสอบการทำงานของระบบ

เปรียบเทียบการทำงานของโปรโตคอล AODV DSR AOMDV และ DSDV โดยแต่ละโปรโตคอลจะจำลองการทำงานบน topology ที่แตกต่างกัน

4.3.1 Parameter ที่ใช้ในการจำลอง

ในการกำหนดค่า parameter จะทำการแก้ไขไฟล์ .tcl ซึ่งอยู่ในโปรแกรม NS-2 ดูการตั้งค่าในการทดสอบดังนี้

จำนวนโหนด	7 โหนด
จำนวน Connection	3 connection/source
ระยะห่างของแต่ละโหนด	350 m
ระยะเวลาในการจำลอง	150 s
ชนิดข้อมูลที่ส่ง	CBR
ขนาด Packets	1024 bye
ขนาด Topology	100x100
Traffic Interval	0.1
มาตรฐาน	802.11/802.15.4
โปรโตคอล	AODV/AOMDV/DSDV/DSR
รูปแบบการทำงานชั้น Transport layer	UDP/TCP



รูปที่ 27 Topology ที่ใช้ในการเปรียบเทียบการทำงาน

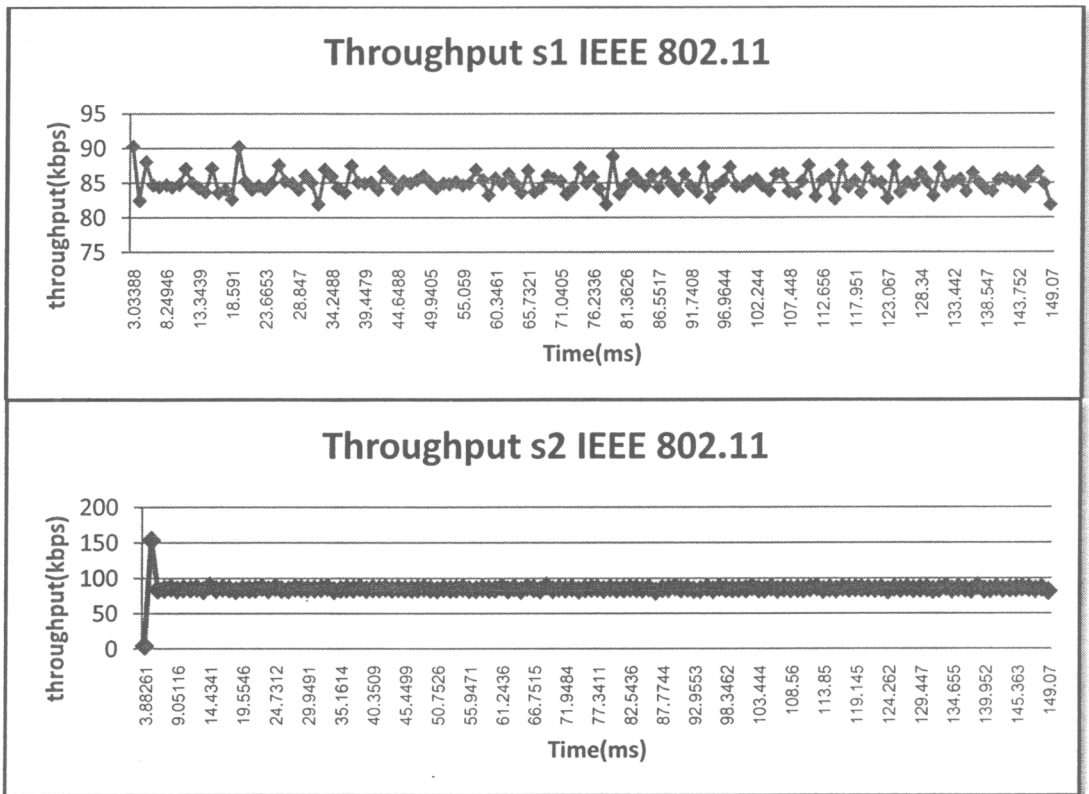
จากรูปที่ 27 ได้กำหนดให้ โหนดที่ 1 เป็น source1 และ โหนดที่ 4 เป็น source2 โดยรูปแบบการส่งข้อมูลจะเหมือนกันทั้ง 2 Source และ กำหนด โหนด 0 เป็นโหนด Base station ซึ่ง Source แต่ละ Source จะส่งข้อมูลไปยังปลายทาง โดยผ่านโหนดต่างๆ ดังนี้ โหนด1 ซึ่งเป็นsource -> โหนด 2->โหนด 3 -> โหนด 0 (base station) และ โหนด 4 ซึ่งเป็นSource อีกตัวหนึ่ง ->โหนด 5->โหนด 6->โหนด 0 (base station) ซึ่งเป็นการกำหนดเพื่อเปรียบเทียบการทำงานของโพรโทคอลต่างๆ

การทดสอบเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย โดยใช้โพรโทคอล AODV AOMDV DSR และ DSDV ซึ่งเป็น โพรโทคอลแบบ Data-Centric Routing ในการจัดการเส้นทางติดต่อสื่อสาร มีรูปแบบการรูปแบบการเคลื่อนที่แบบ Random Waypoint มีเวลา pause time เป็น 0 วินาที ปัจจัยที่พิจารณาคือ Fairness หรือ ความยุติธรรม ซึ่งโพรโทคอลแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แบบ reactive ซึ่งได้แก่ AODV AOMDV อีกประเภทหนึ่งคือ proactive ซึ่งได้แก่ DSDV DSR

4.3.2 ผลการทดสอบการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละโพรโทคอล

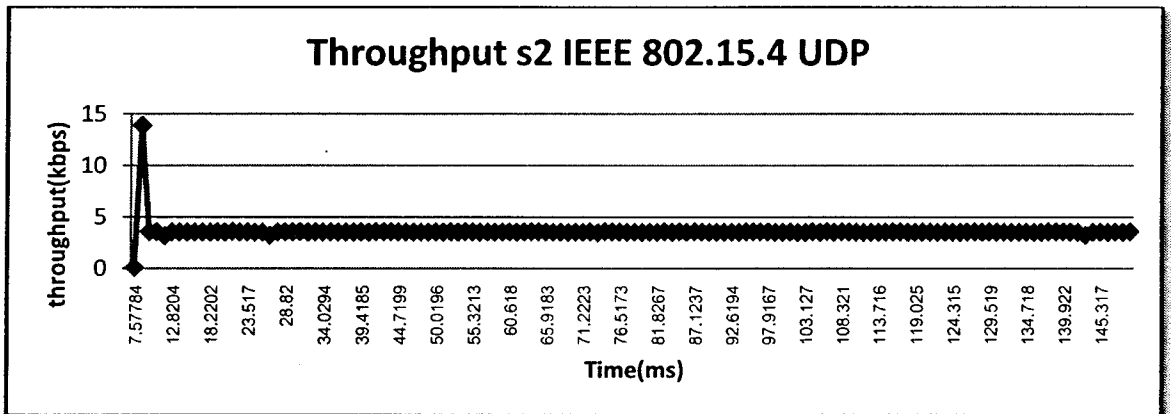
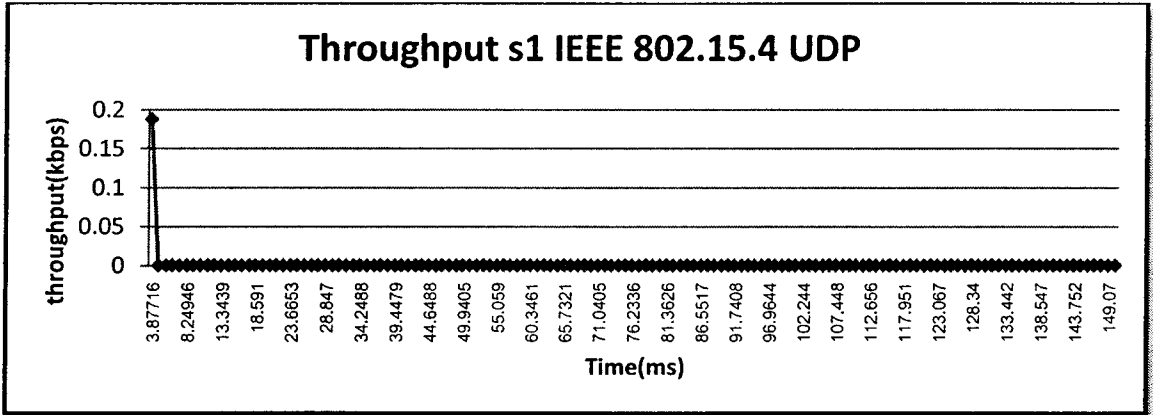
โพรโทคอล AODV

การทดสอบกำหนดให้ เมื่อจำลองได้จะนำไปหาค่า Throughput และการรับข้อมูล เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความยุติธรรมของระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย



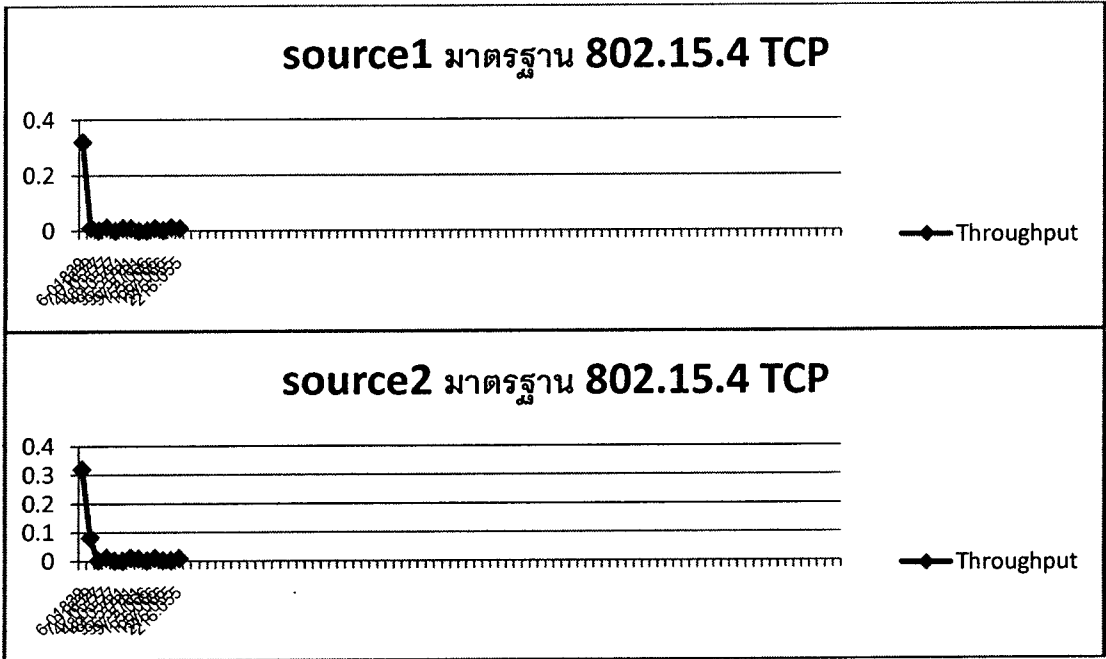
รูปที่ 28 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Throughput โดยใช้มาตรฐาน 802.11,UDP,AODV

จากรูปที่ 28 เป็นกราฟ Throughput ของทั้ง 2 source ที่ส่งข้อมูลไปยังปลายทาง โดยค่า Throughputของs1 มีค่า 85.089 kbps ส่วนค่า Throughput ของ s2 มีค่า 84.5325 kbps ซึ่งbase station สามารถรับข้อมูลจาก s2 ได้2938 packets ส่วนs1 รับได้ 2922 packet ผลคือ ทั้ง 2 source สามารถ รับส่งข้อมูลไปยังปลายทางได้มีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 29 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Throughput โดยใช้มาตรฐาน 802.15.4 ,UDP,AODV

จากรูปที่ 29 เป็นกราฟ Throughput ของทั้ง 2 source ที่ส่งข้อมูลไปยังปลายทาง ผลคือ Source 2 สามารถ ส่งข้อมูลไปยังปลายทางได้เพียง Source เท่านั้น ซึ่ง base station สามารถรับข้อมูลจาก s2 ได้ 1452 packets ส่วน s1 รับได้เพียง 16 packet เท่านั้น

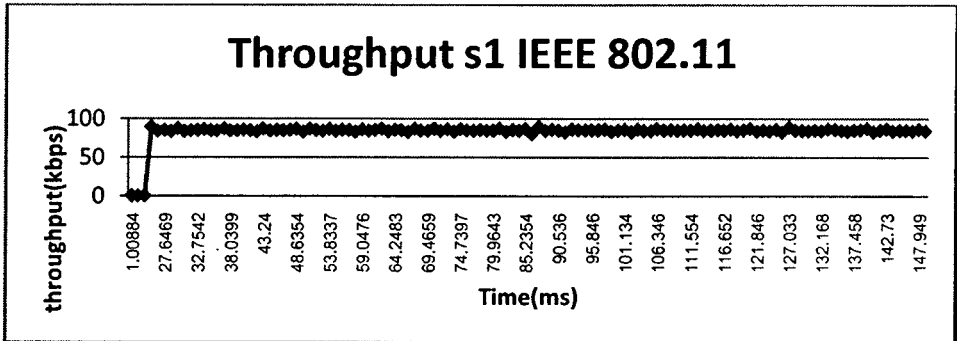
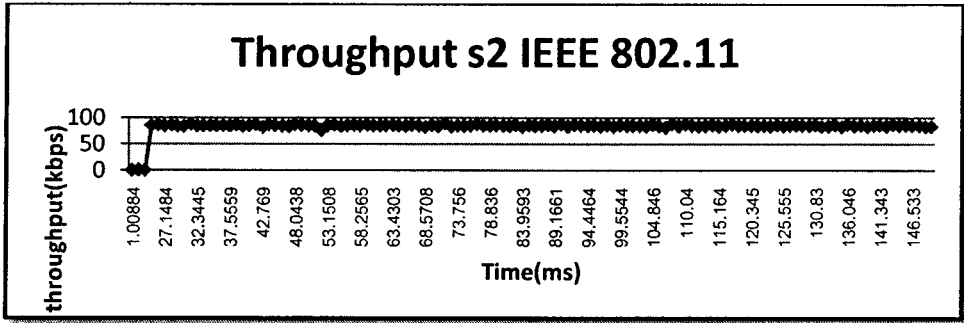


รูปที่ 30 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Throughput โดยใช้มาตรฐาน 802.15.4,TCP,AODV

จากรูปที่ 30 เป็นกราฟ Throughput ของทั้ง 2 source ที่ส่งข้อมูลไปยังปลายทาง ผลคือ ทั้ง 2 Source ไม่สามารถ ส่งข้อมูลไปยังปลายทางได้ ซึ่งbase station สามารถรับข้อมูลจาก s2 ได้ 7 packets ส่วนs1 รับได้เพียง 8 packet เท่านั้น ซึ่งถือว่ามีกร ดรอปร packet สูงมาก

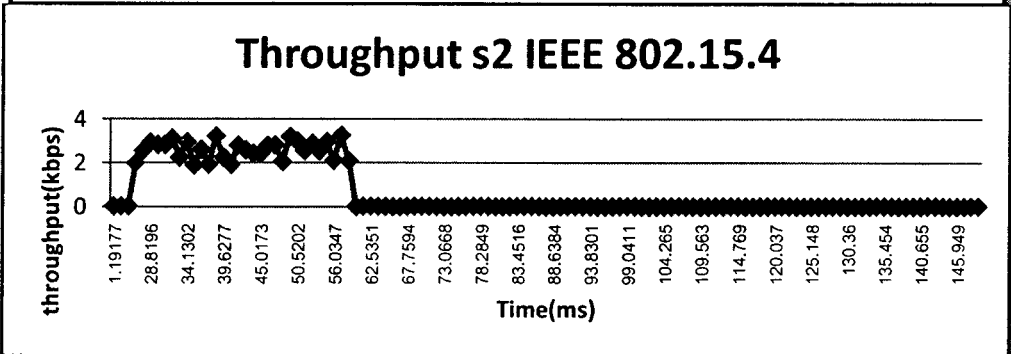
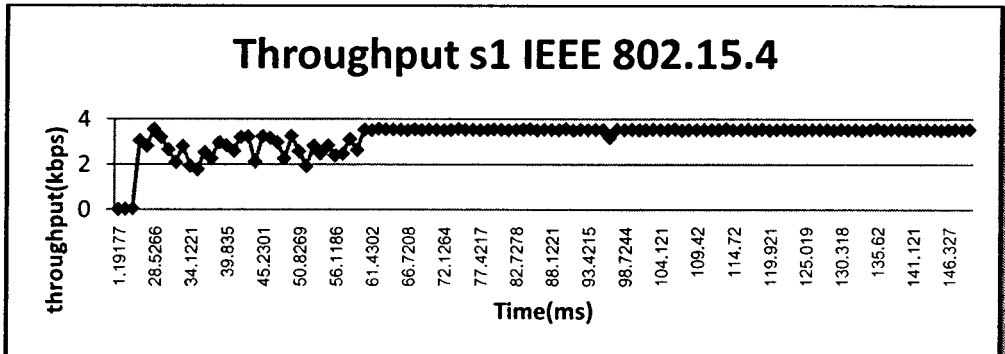
โพรโทคอล DSDV

การทดสอบกำหนดให้ เมื่อจำลองได้จะนำไปหาค่า Throughput และ การรับข้อมูล เพื่อใช้ในการ เปรียบเทียบ fairness ของระบบเครือข่ายแบบ Wireless sensor networks



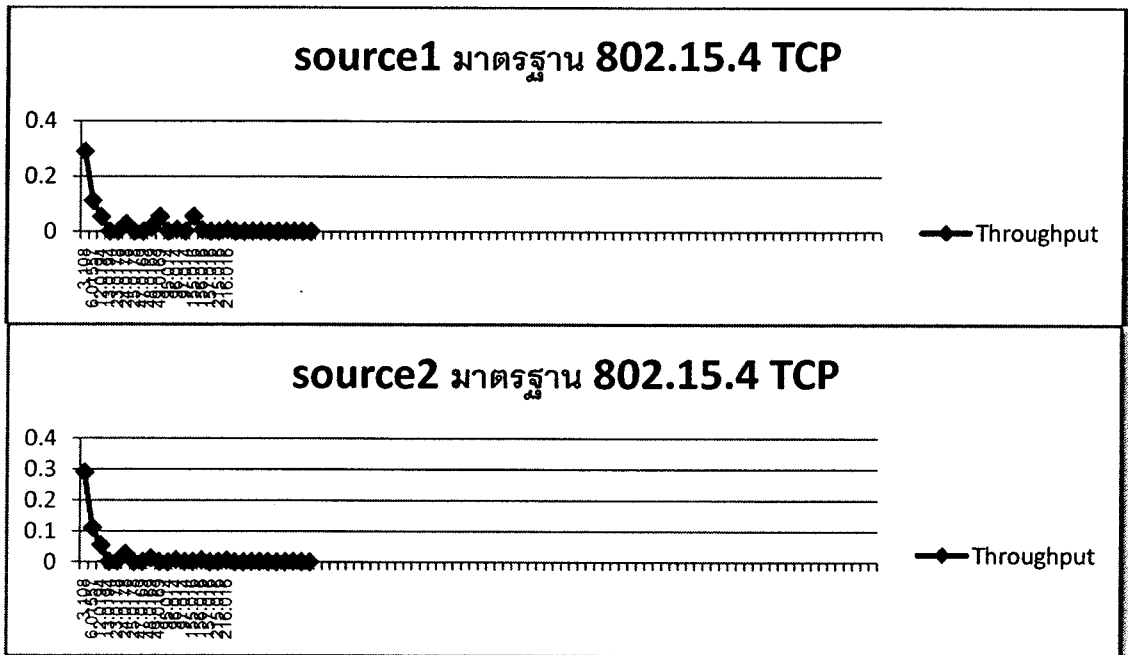
รูปที่ 31 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Throughput โดยใช้มาตรฐาน 802.11,UDP,DSDV

จากรูปที่ 31 เป็นกราฟ Throughput ของทั้ง 2 source ที่ส่งข้อมูลไปยังปลายทาง โดยค่า Throughputของs1 มีค่า 72.108 kbps ส่วนค่าThroughputของs2 มีค่า 72.3321 kbps ซึ่งbase station สามารถรับข้อมูลจาก s2 ได้ 2492 packets ส่วนs1 รับได้ 2495 packet ผลคือ ทั้ง 2 source สามารถ รับส่งข้อมูลไปยังปลายทางได้มีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 32 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Throughput โดยใช้มาตรฐาน 802.15.4,UDP,DSDV

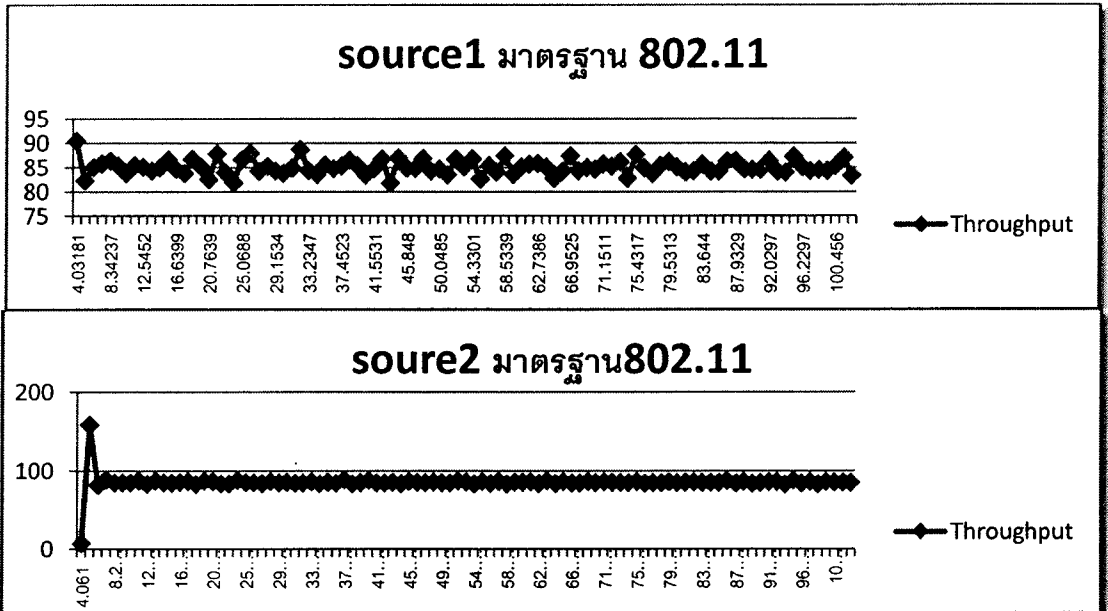
จากรูปที่ 32 เป็นกราฟ Throughput ของทั้ง 2 source ที่ส่งข้อมูลไปยังปลายทาง โดยค่า Throughput ของs1 มีค่า 2.77341 kbps ส่วนค่า Throughputของs2 มีค่า 1.53449 kbps ซึ่งbase station สามารถรับข้อมูลจาก s2 ได้ 1165 packets ส่วน s1 รับได้ 249 packet ซึ่งในช่วง 59 s แรกจะเป็นช่วงที่สามารถส่งข้อมูลไปยังปลายทางทั้ง 2 Source แต่ว่า เมื่อผ่านวินาทีที่ 59 s1 สามารถส่งข้อมูลไปยังปลายทางเพียง source เดียวเท่านั้น



รูปที่ 33 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Throughput โดยใช้มาตรฐาน 802.15.4 ,TCP,DSDV

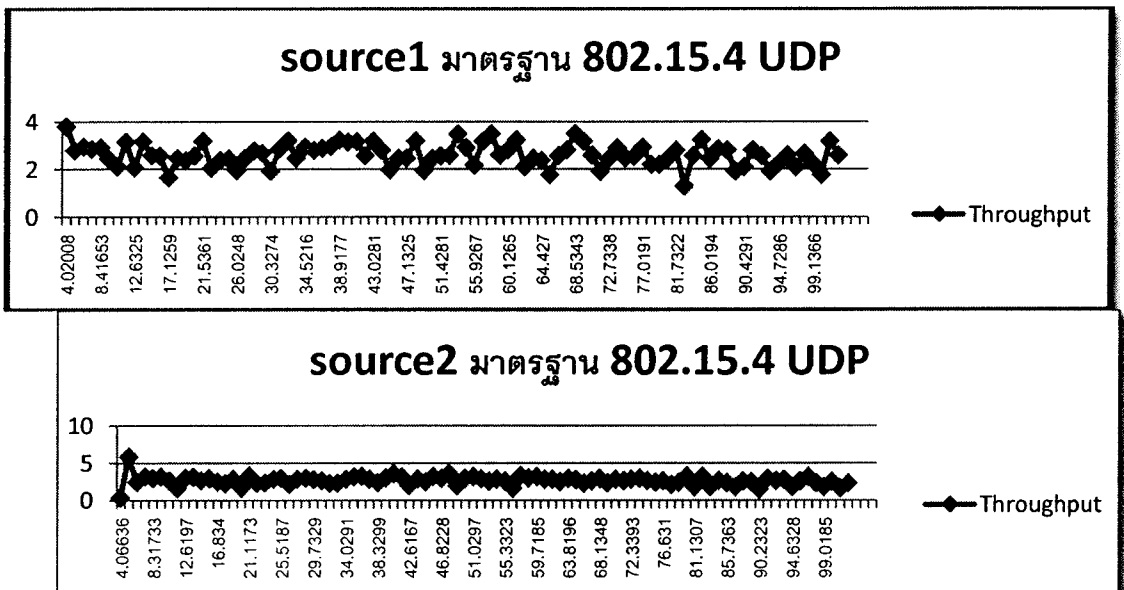
จากรูปที่ 33 เป็นกราฟ Throughput ของทั้ง 2 source ที่ส่งข้อมูลไปยังปลายทาง ผลคือ ทั้ง 2 Source ไม่สามารถ ส่งข้อมูลไปยังปลายทางได้ ซึ่งbase station สามารถรับข้อมูลจาก s2 ได้ 11 packets ส่วนs1 รับได้เพียง 8 packet เท่านั้น ซึ่งถือว่ามี การ ครอบ packet สูงมาก

โพรโทคอล Ad-hoc On-Demand Multiple Distance Vector (AOMDV)



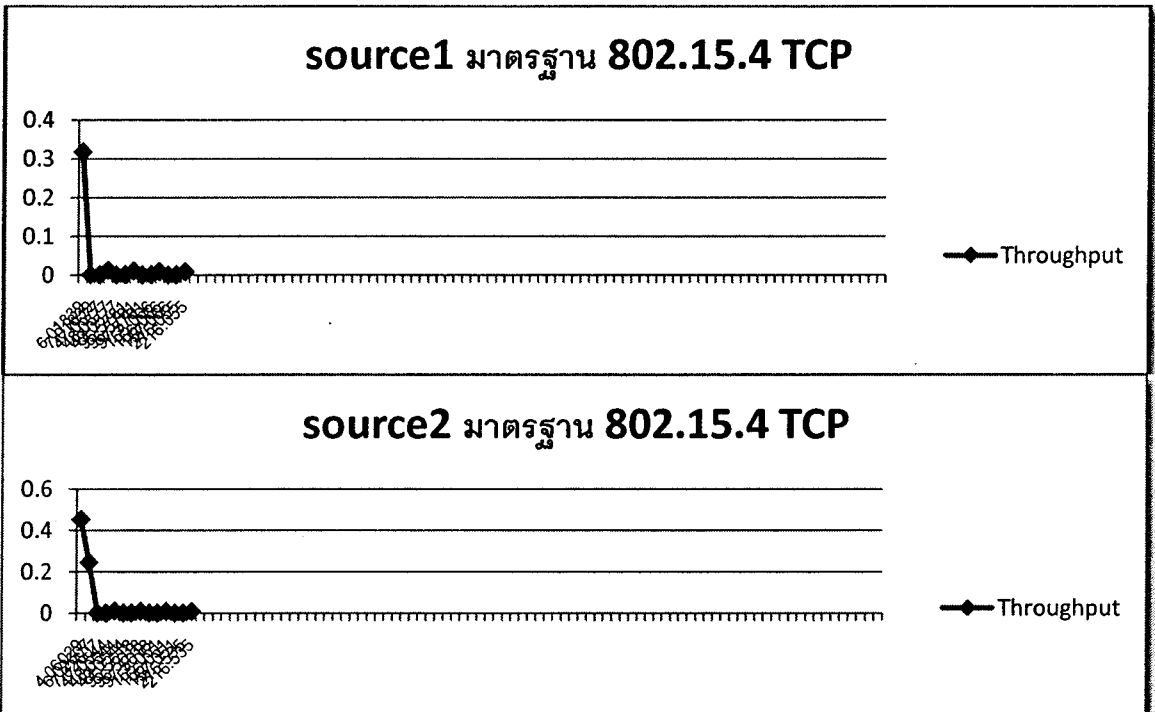
รูปที่ 34 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Throughput โดยใช้มาตรฐาน 802.11,UDP,AOMDV

จากรูปที่ 34 เป็นกราฟ Throughput ของทั้ง 2 source ที่ส่งข้อมูลไปยังปลายทาง โดยค่า Throughputของs1 มีค่า 85.0876 kbps ส่วนค่าThroughputของs2 มีค่า 85.0168 kbps ซึ่งbase station สามารถรับข้อมูลจาก s2 ได้ 1982 packets ส่วนs1 รับได้ 1988 packet ผลคือ ทั้ง 2 source สามารถ รับส่งข้อมูลไปยังปลายทางได้มีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 35 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Throughput โดยใช้มาตรฐาน 802.15.4, UDP,AOMDV

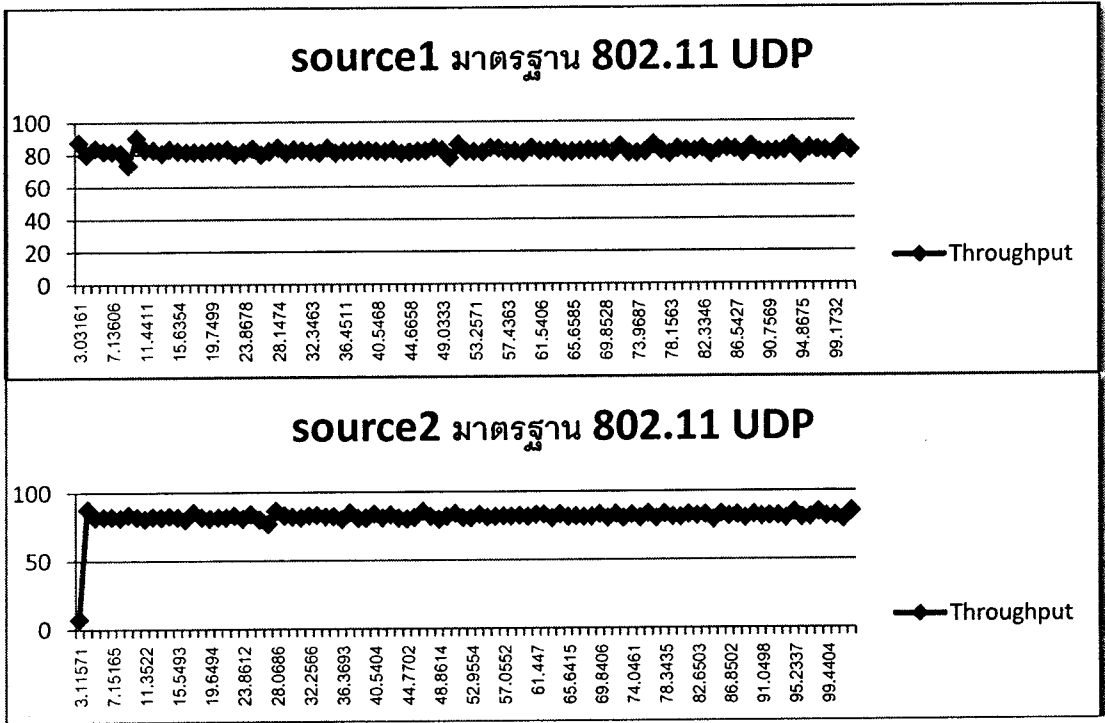
จากรูปที่ 35 เป็นกราฟ Throughput ของทั้ง 2 source ที่ส่งข้อมูลไปยังปลายทาง โดยค่า Throughputของs1 มีค่า 2.6032 kbps ส่วนค่าThroughputของs2 มีค่า 2.59274kbps ซึ่งbase station สามารถรับข้อมูลจาก s2 ได้ 736 packets ส่วนs1 รับได้ 739 packet ผลคือ ทั้ง 2 source สามารถ รับส่ง ข้อมูลไปยังปลายทางได้มีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 36 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Throughput โดยใช้มาตรฐาน 802.15.4 , TCP,AOMDV

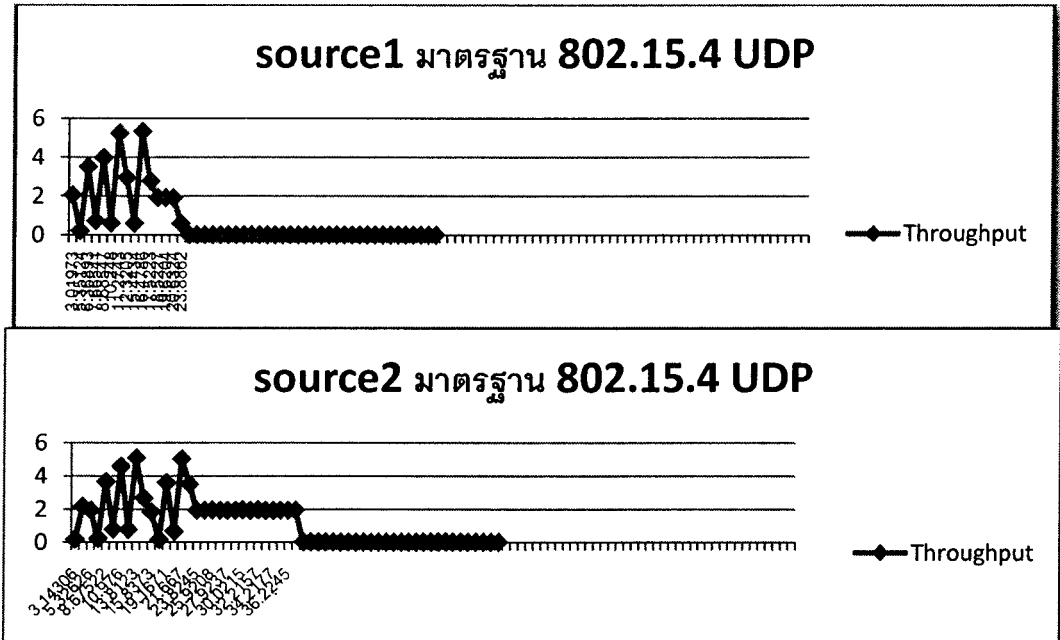
จากรูปที่ 36 เป็นกราฟ Throughput ของทั้ง 2 source ที่ส่งข้อมูลไปยังปลายทาง ผลคือ ทั้ง 2 Source ไม่สามารถ ส่งข้อมูลไปยังปลายทางได้ ซึ่งbase station สามารถรับข้อมูลจาก s2 ได้ 6 packets ส่วนs1 รับได้เพียง 6 packet เท่านั้น ซึ่งถือว่ามี การ ครอบ packet สูงมาก

โพรโทคอล Dynamic Source Routing (DSR)



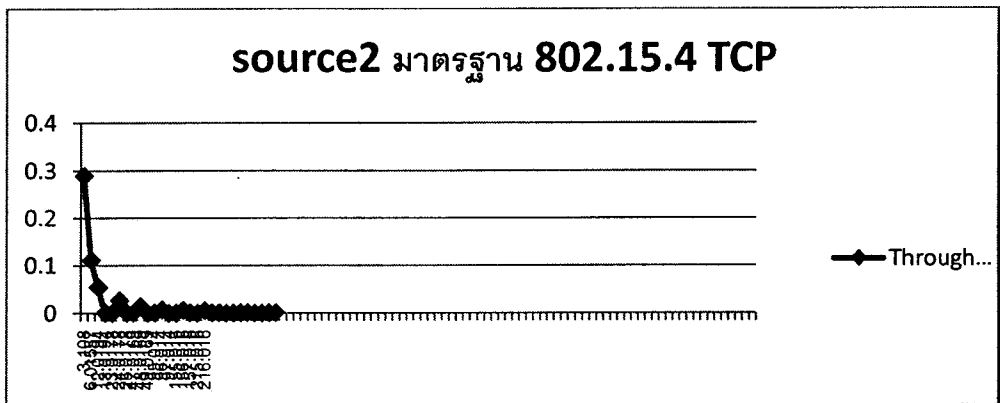
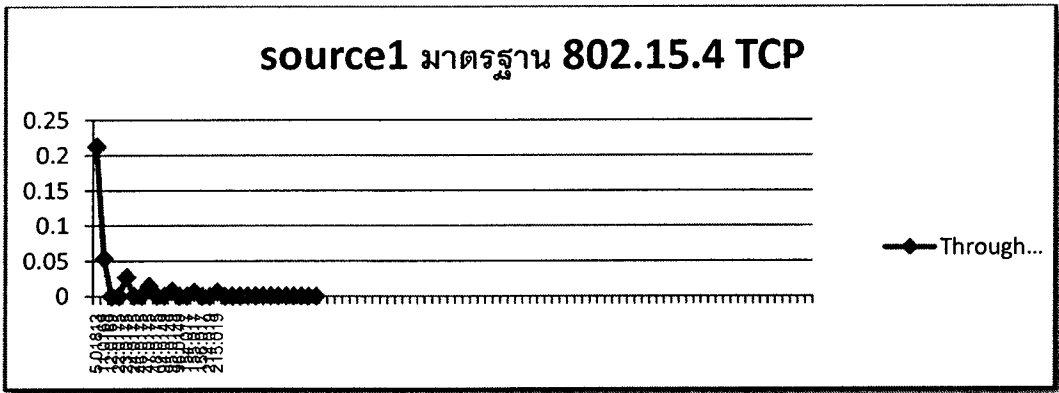
รูปที่ 37 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Throughput โดยใช้มาตรฐาน 802.11,UDP,DSR

จากรูปที่ 37 เป็นกราฟ Throughput ของทั้ง 2 source ที่ส่งข้อมูลไปยังปลายทาง โดยค่า Throughputของs1 มีค่า 81.9664 kbps ส่วนค่าThroughputของs2 มีค่า 81.959 kbps ซึ่งbase station สามารถรับข้อมูลจาก s2 ได้ 2000 packets ส่วนs1 รับได้ 2000 packet ผลคือ ทั้ง 2 source สามารถ รับส่ง ข้อมูลไปยังปลายทางได้มีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 38 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Throughput โดยใช้มาตรฐาน 802.15.4 ,UDP,DSR

จากรูปที่ 38 เป็นกราฟ Throughput ของทั้ง 2 source ที่ส่งข้อมูลไปยังปลายทาง โดยค่า Throughputของs1 มีค่า 1.81473kbps ส่วนค่าThroughputของs2 มีค่า 1.97005 kbps ซึ่งbase station สามารถรับข้อมูลจาก s2 ได้ 351 packets ส่วนs1 รับได้ 205 packet ผลคือ ในช่วง 23 s แรกเป็นช่วงแย่งชิงแบนด์วิธ แต่หลังจาก 23 s ทั้ง 2 source ไม่สามารถส่งข้อมูลไปได้



รูปที่ 39 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Throughput โดยใช้มาตรฐาน 802.15.4 ,TCP,DSR

จากรูปที่ 39 เป็นกราฟ Throughput ของทั้ง 2 source ที่ส่งข้อมูลไปยังปลายทาง ผลคือ ทั้ง 2 Source ไม่สามารถส่งข้อมูลไปยังปลายทางได้ ซึ่ง base station สามารถรับข้อมูลจาก s2 ได้ 8 packets ส่วน s1 รับได้เพียง 8 packet เท่านั้น ซึ่งถือว่ามี การดรอป packet สูงมาก

ข้อจำกัดของการจำลอง

ใช้ในกรณี งานที่ต้องการข้อมูลหลายแหล่ง ส่งมาครั้งเดียวกันโดยที่ ต้องได้รับข้อมูลจากแหล่งต่างๆ ที่ยุติธรรมเป็นการจำลอง source เพียง 2 แหล่ง ซึ่งไม่สามารถอ้างอิงได้ถ้าหากมีการติดต่อกันมากกว่า 3 source เหมาะสำหรับใช้ วิเคราะห์ หา routing protocol ที่ใช้ node จำนวนน้อย

วิเคราะห์ผลการทดสอบและสรุป

ตารางที่ 4 ข้อมูลการเปรียบเทียบการทำงานของโพรโทคอลต่างๆ

รูปแบบ routing protocol	มาตรฐาน IEEE802.11	มาตรฐาน IEEE802.15.4	
		UDP	TCP
AODV	Fairness	ไม่ fairness*	ไม่ fairness**
DSDV	Fairness	Fairness	ไม่ fairness**
AOMDV	Fairness	Fairness	ไม่ fairness**
DSR	Fairness	ไม่ fairness*	ไม่ fairness**

* Base station รับ packet ได้เพียง source เดียว

** Base station รับ packet ได้น้อย หรือ ไม่ได้รับ packet

สามารถวิเคราะห์ได้ว่าในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย โพรโทคอลที่มีความยุติธรรม คือ DSDV กับ AOMDV แต่มีข้อจำกัดคือ ต้องเป็นการส่งแบบ UDP และการทดสอบนี้ใช้เวลาที่จำกัด พร้อมทั้งได้กำหนด parameter ไว้ เพราะฉะนั้นการทดสอบนี้จะใช้ได้ผล ก็ต่อเมื่อทำตามข้อกำหนดที่ได้ระบุเอาไว้เบื้องต้น

4.4 โพรโทคอลแบบ cluster

4.4.1 การทำงานของโพรโทคอลแบบ Cluster (LEACH)

โพรโทคอลที่รู้จักกันมากในกลุ่มแบบลำดับชั้นตัวหนึ่งคือ Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) ซึ่ง LEACH เป็นโพรโทคอลที่ได้รับความนิยมมากสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย แนวความคิดหลักของ LEACH คือการแบ่งตัวโหนดออกเป็นกลุ่มๆ และให้โหนดหัวหน้าเป็นทางเชื่อมส่งข้อมูลไปยังสถานีฐาน ด้วยวิธีการนี้จะสามารถประหยัดพลังงานจากการส่งข้อมูลได้ เพราะจะมีเพียงแคโหนดหัวหน้าเท่านั้นที่ทำการส่งข้อมูลไปยังสถานีฐาน แต่อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ว่าโหนดหัวหน้ามีความสามารถในการส่งข้อมูลได้ถึงเครื่องแม่ข่าย ดังนั้นจึงไม่เหมาะในการนำมาใช้งานจริง ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงแก้ไข โดยให้โหนดหัวหน้ามีความสามารถส่งข้อมูลแบบ Ad-hoc ได้เช่นกัน ซึ่งจำนวนของโหนดหัวหน้าที่เหมาะสมจะมีประมาณ 5% ของตัวโหนดทั้งหมดในเครือข่าย

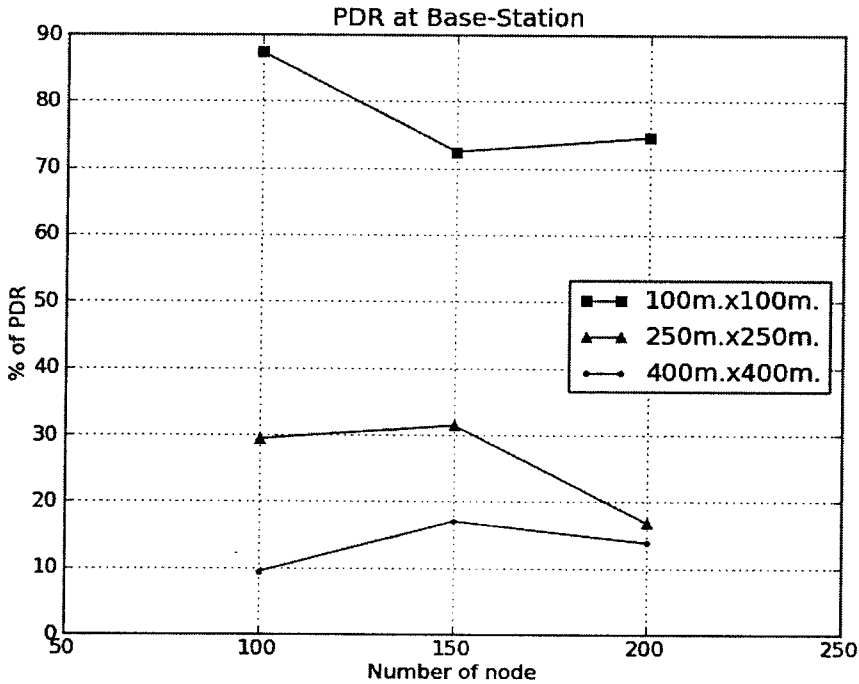
การจำลองจะจำลองบนโปรแกรมจำลองเครือข่ายที่ชื่อว่า Network Simulator 2 (NS-2) โดยการจำลองนี้จะจำลองตัวโหนดในเครือข่ายเป็นจำนวน 100 150 และ 200 ตัว ในเครือข่ายขนาด 100x100 เมตร 250x250 เมตร และ 400x400 เมตร รวมทั้งหมด 9 การจำลอง โดยค่าตัวแปรที่สำคัญในการจำลองมีรายละเอียดดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การกำหนดตัวแปรสำหรับจำลองการทำงานโพรโทคอลแบบ LEACH

ตัวแปร	ค่าที่กำหนด
กำลังงานการส่งข้อมูล	74.4 mW
กำลังงานการรับข้อมูล	64.8 mW
กำลังงานขณะว่างงาน	5.52 μ W
โพรโทคอลชั้น MAC และ PHY	IEEE 802.15.4
จำนวนโหนด	100, 150, 200 ตัว
พลังงานเริ่มต้น	0.5J
ขนาดข้อมูล	100 bytes
ขนาดเฮดเดอร์	25 bytes
ขนาดเครือข่ายที่สนใจ	100 x 100 m. 250 x 250 m. 400 x 400m.
การกระจายตัวโหนด	uniform
ระยะเวลาเปลี่ยนโหนดหัวหน้า	100 วินาที

4.4.2 ผลการจำลองการทำงาน

ในแต่ละการจำลองจะทำการสุ่มโครงสร้างเครือข่ายขึ้นมาทั้งหมด 10 โครงสร้าง และทำการจำลองการทำงานในแต่ละโครงสร้างเครือข่ายเป็นจำนวน 10 รอบ รวมแล้วในแต่ละการจำลองจะทำการจำลองทั้งหมด 100 รอบ และหาค่าอัตราส่วนการรับส่งข้อมูลเฉลี่ยในแต่ละการจำลอง ได้ผลการจำลองดังรูปที่ 43



รูปที่ 40 ค่า PDR ของโพรโทคอล LEACH ในเครือข่ายจำลอง

จากรูปที่ 40 เส้นกราฟสีน้ำเงินแทนการจำลองเครือข่ายขนาด 100x100 เมตร เส้นสีเขียวแทนการจำลองเครือข่ายขนาด 250x250 เมตร และเส้นสีแดงแทนการจำลองเครือข่ายขนาด 400x400 เมตร ค่า Packet Delivery Ratio (PDR) คือค่าอัตราความสำเร็จในการรับส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง โดยคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$PDR = \frac{\text{all received data packets at BS}}{\text{all packets sent to BS}}$$

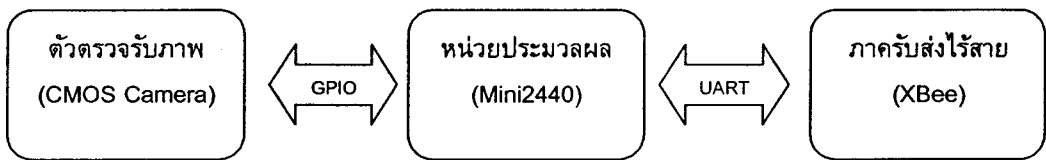
จากกราฟในรูปที่ 40 จะเห็นว่าค่า PDR จะมีค่าสูงในเครือข่ายที่มีขนาดเล็กคือ 100x100 เมตรโดยให้ค่า PDR ที่ 70%-90% ค่า PDR ตกลงเล็กน้อยเมื่อจำนวนโหนดในเครือข่ายมีจำนวนเพิ่มขึ้น เนื่องจากจำนวนโหนดที่เพิ่มขึ้นในเครือข่ายที่มีขนาดเท่าเดิม (ความหนาแน่นของโหนดสูงขึ้น) ทำให้โอกาสเกิดการชนกันของข้อมูลสูงขึ้น ค่า PDR จึงลดลง และเมื่อเครือข่ายมีขนาดใหญ่ขึ้นคือ 250x250 เมตร และ 400x400 เมตร จะเห็นว่าค่า PDR ตกลงมาค่อนข้างมาก เนื่องจากระยะเวลาการส่งข้อมูลของโหนดส่งไม่ถึงสถานีฐานและการทำงานของ LEACH มีลักษณะการส่งแบบโหนดต่อโหนด ทำให้ข้อมูลหายไประหว่างทางเป็นจำนวนมาก

บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 ทดสอบการรับส่งข้อมูลภาพบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

Camera sensor node ประกอบด้วย 3 โมดูลคือส่วนของ ตัวตรวจรับภาพ (CMOS Camera) ไมโครคอนโทรลเลอร์ และ ภาครับส่งเป็น XBEE โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นส่วนของการควบคุมและประมวลผลหลักติดต่อกับ CMOS Camera ผ่านทางพอร์ตทั่วไปขนาด 20 ขา ซึ่งได้ถูกออกแบบมาสำหรับบอร์ด Friendly ARM mini2440 และติดต่อกับ XBEE ซึ่งเป็นโมดูล สำหรับสื่อสารแบบไร้สายบนคลื่นความถี่ 2.4 GHz ซึ่ง XBEE ติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมดังรูปที่ 41

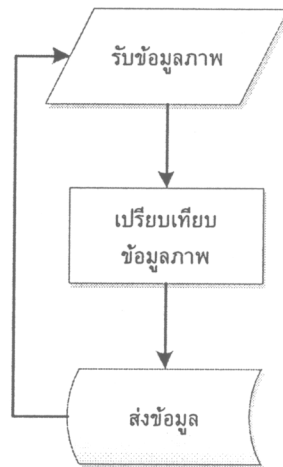


รูปที่ 41 โครงสร้างของโหนดรับส่งภาพแบบไร้สาย

กระบวนการทำงานเริ่มจาก Camera sensor node และ Based station (PC) มีภาพตั้งต้นที่เหมือนกันอยู่แล้ว ดังรูปที่ 42 เมื่อ Camera sensor node ได้รับข้อมูลภาพใหม่มาก็เริ่มกระบวนการตรวจสอบความต่างจาก 2 ภาพ หลังจากนั้นก็ทำการเลือกเฉพาะบริเวณที่มีความแตกต่าง โดยโหนดจะเก็บตำแหน่งพิกัดตั้งต้นและสุดท้ายไว้ Camera sensor node ทำการส่งผลที่ได้จากการเปรียบเทียบว่าตำแหน่งใดที่มีความแตกต่าง โดยส่งข้อมูลใหม่พร้อมตำแหน่งพิกัดกลับไปที่ยังสถานีฐาน เพื่อให้ทำการ update รูปภาพเดิมที่มีอยู่ก่อนหน้าแล้ว จากกระบวนการนี้จะช่วยให้โหนดไม่จำเป็นต้องส่งภาพทุกภาพไปยังสถานีฐาน ช่วยให้โหนดประหยัดพลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายในงานประยุกต์ทางการเกษตรที่ต้องการตรวจสอบสภาพของต้นไม้ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก หรือในระบบป้องกันผู้บุกรุก ที่ระบบจะทำการส่งภาพก็ต่อเมื่อมีความผิดปกติในภาพเท่านั้น

กระบวนการทำงานที่ออกแบบสำหรับงานวิจัย ได้ออกแบบการทำงานในลักษณะ loop เนื่องด้วย Camera sensor node มีหน้าที่ทำการส่งข้อมูลภาพจากภาพที่รับเข้ามา ดังนั้นในขณะที่ทำการเปรียบเทียบข้อมูลภาพซึ่งเป็นภาระงานที่มากสำหรับสมองกลฝังตัว หลังจากนั้นในกระบวนการส่งข้อมูลภาพซึ่งมีความ

ต่อเนื่อง และลดโอกาสข้อมูลผิดพลาดให้น้อยที่สุดจึงไม่ควรให้ Camera sensor node มีการขัดจังหวะการทำงาน

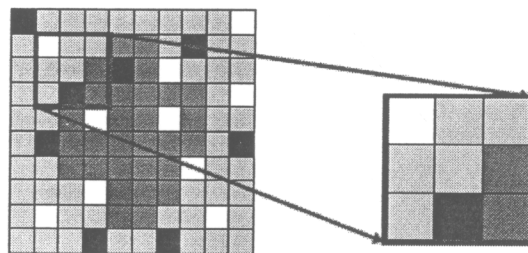


รูปที่ 42 แสดงการทำงานของ Camera sensor node

5.1.1 พัฒนาระบบการวิธี Background Subtraction

การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการทำงานบนสมองกลฝังตัวซึ่งมีความสามารถในการประมวลผลต่ำเมื่อเทียบกับคอมพิวเตอร์ ส่งผลให้ไม่สามารถทำการคำนวณงานที่มีความซับซ้อนมากอีกทั้งเพื่อช่วยลดการใช้พลังงาน การพัฒนาโปรแกรมบนสมองกลฝังตัวจึงจำเป็นต้องลดความซับซ้อนของการทำงาน

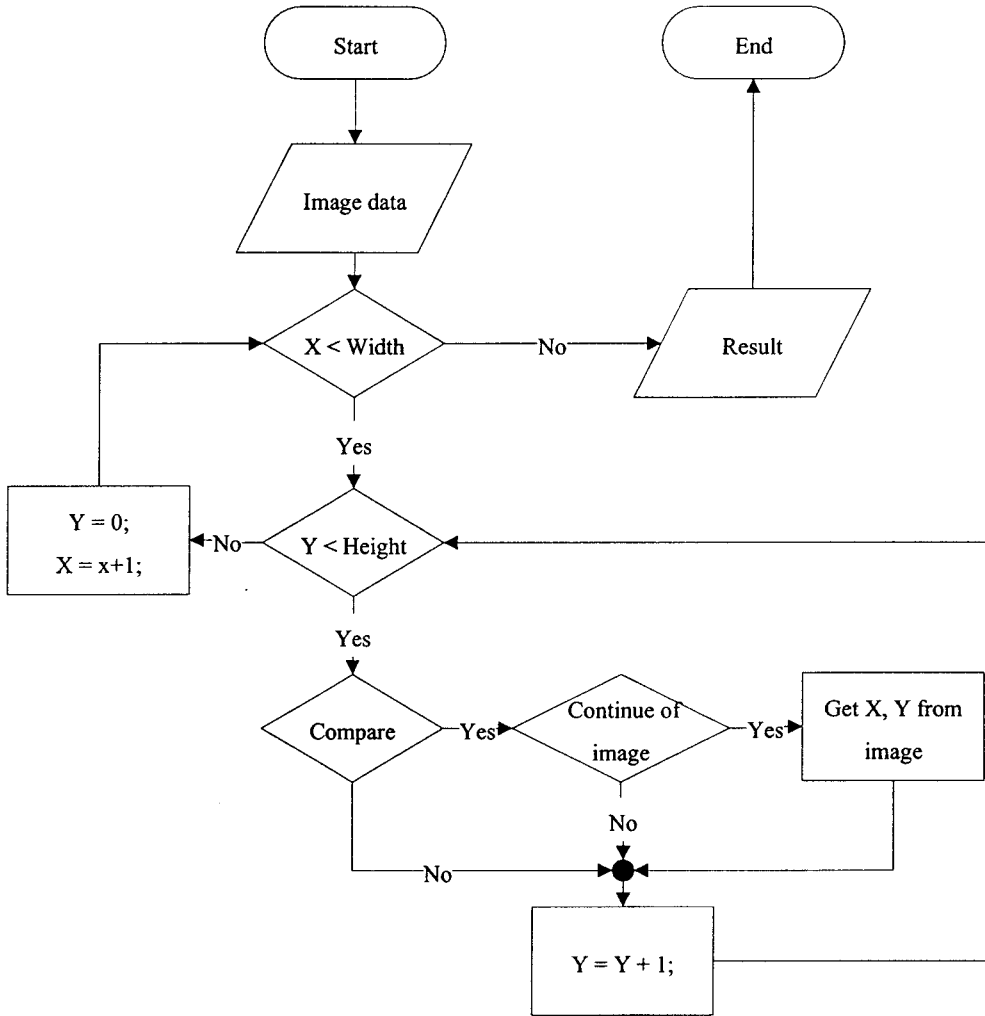
เนื่องจากจุด pixel ของภาพแต่ละภาพไม่ได้มีค่าตรงกันเสมอไป ภาพอาจมีสิ่งรบกวนหรือ Noise ของภาพได้ ซึ่ง Noise เป็นสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในภาพทำให้เห็นถึงความไม่สม่ำเสมอของภาพซึ่งอาจเป็นความสว่างและสีของภาพ ดังนั้นก่อนที่จะสามารถนำรูปภาพเข้าสู่กระบวนการ Background subtraction ภาพควรจะต้องผ่านกระบวนการกำจัด noise ของภาพก่อน โดยวิธีการเปรียบเทียบภาพเพื่อหาจุดที่เกิด noise ด้วยวิธีการเช่นนี้จะทำให้ใช้พลังงานและเสียเวลาเข้าถึงทุก pixel ของภาพ ดังรูปที่ 43



รูปที่ 43 แสดงตัวอย่างการนำข้อมูลมาเปรียบเทียบจุดสีดำคือ Noise

เพื่อช่วยลดระยะเวลาที่จะต้องใช้ในการหาและกำจัด Noise อีกทั้งลดภาระการทำงานของระบบสมองกลฝังตัวจึงนำเสนอวิธีการเปรียบเทียบความต่อเนื่องของสีภาพด้วยการประมวลผลเพียง 1 สีแทนการเปรียบเทียบ 3 สี (RGB) จากพื้นฐานที่ว่า Noise คือเป็นสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในภาพ ดังรูป 46 ซึ่งจุดสีดำที่เกิดขึ้นไม่มีความต่อเนื่องกับสีบริเวณข้างเคียง ทำให้เห็นถึงความไม่สม่ำเสมอของภาพทั้งความสว่างและสี ดังนั้นเราจึงนำข้อมูลภาพมาทำ Background subtraction กันโดยการเพิ่มส่วนของการพิจารณาความต่อเนื่องของสีที่เกิดขึ้น ในภาพสีปกติ (RGB) ต้องทำการเปรียบเทียบทั้ง 3 สีแต่เพื่อลดการทำงานของระบบประมวลผลจึงเลือกสีที่นำมาประมวลผลเพียง 1 สีทำให้ลดการทำงานได้จากที่ควรทำถึง 3 เท่า แม้วิธีการนี้ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดสีที่ตรวจสอบ แต่ความผิดพลาดดังกล่าวเป็นความผิดพลาดที่ยอมรับได้และไม่ส่งผลกระทบต่อข้อมูลที่นำมาทดลอง

ค่าความต่างของสีจะเกี่ยวข้องกับแสงที่ตกกระทบบนภาพ ระดับสีมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 เมื่อแสงเปลี่ยนไปถึงแม้เป็นวัตถุเดิมข้อมูลภาพที่ได้รับก็เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ดังนั้นการเปรียบเทียบความแตกต่างของสีภาพจึงมีการกำหนดค่าที่ใช้เป็นการเปรียบเทียบไว้ที่ 70 หมายถึงเป็นค่าที่ประมาณ 30% ของค่าสีทั้งหมด เนื่องจากช่วงของค่าสี 1 สีมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 ฉะนั้นการที่จุดของภาพ 2 จุด ของ 2 ภาพนั้นแตกต่างกันหรือไม่จะต้องให้ค่าของสีมีความแตกต่างเกิน 70 นั่นเอง การทำ Background subtraction แบบปกติจะพบ noise เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากกระจายทั่วไปทั้งภาพ ดังนั้นการออกแบบกระบวนการตัดสินใจของงานวิจัยนี้จะช่วยลดการรบกวนของ noise ที่อาจจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการตัดสินใจเก็บค่าตำแหน่งได้ โดยการนำความรู้ที่ว่า noise ของภาพนั้นจะไม่ต่อเนื่อง เป็นเพียงการกระจายทั่วไป ดังนั้นถ้าจุดความแตกต่างไม่ต่อเนื่องในบริเวณมากกว่า 3×3 เป็นอย่างน้อย จะตัดสินใจว่าจุด pixel นั้นคือ noise ของภาพและจะไม่สนใจข้อมูลจากจุดนั้น รายละเอียดจะได้อธิบายเพิ่มเติมในรูปที่ 44



รูปที่ 44 แสดงลำดับการทำงานของกระบวนการ Background subtraction

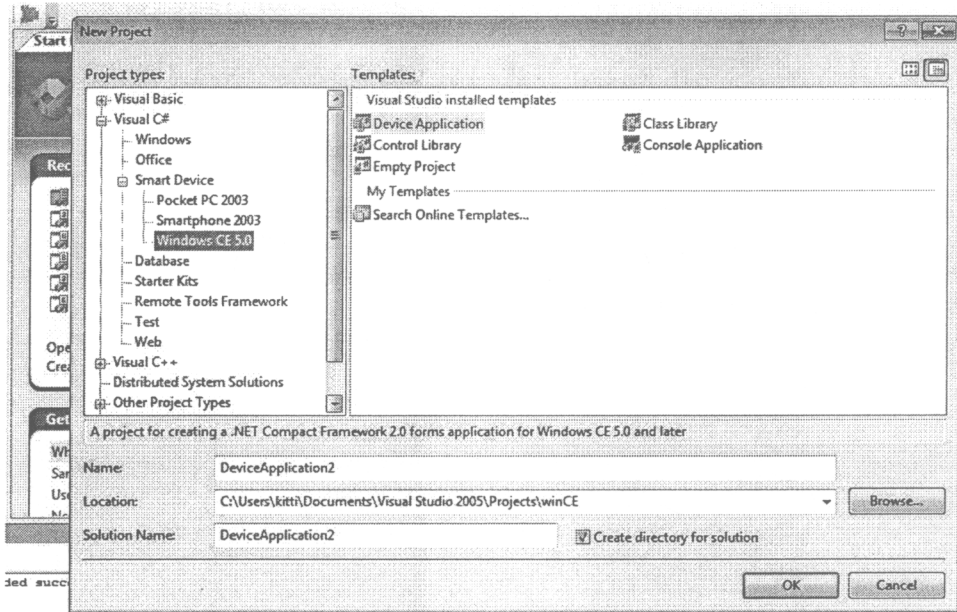
การพัฒนาโปรแกรม Background subtraction สำหรับการทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows CE การพัฒนาเน้นลดความซับซ้อนของโปรแกรม ดังรูปที่ 44 ซึ่งแสดงภาพรวมของการทำงาน กำหนดให้ X และ Y แทนจำนวน row และ column ลำดับการทำงานเริ่มเมื่อข้อมูลภาพใหม่เข้ามาในระบบ ระบบจะนำข้อมูลภาพใหม่มาตรวจสอบขนาดของจำนวน row และ column ของภาพโดยอยู่บนสมมติฐานว่าจำนวน row และ column ต้องเท่ากันทุกภาพ หลังจากนั้นระบบทำการตรวจสอบเปรียบเทียบค่าสีของ ภาพตั้งต้นและภาพใหม่ โดยการตรวจสอบเปรียบเทียบจะทำการเปรียบเทียบค่าสีเพียงสีเดียวโดยเปรียบ pixel ต่อ pixel ของทั้ง 2 ภาพ การกระทำเพียงเท่านี้ยังไม่เพียงพอเพราะในกรณีที่มี Noise รวมอยู่จะได้ข้อมูลที่รวม Noise รวมอยู่ และข้อมูลที่นำเข้ามาในระบบไม่มีการผ่านกระบวนการกำหนด Noise ดังนั้นการเปรียบเทียบ จึงได้เพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของสีที่แตกต่างในแต่ละตำแหน่ง เมื่อกระบวนการเปรียบเทียบพบความแตกต่างของค่าสีระบบจะตรวจสอบถึงพิกัดใกล้เคียงว่ามีความแตกต่างของค่าสีต่อเนื่อง ถ้าพบว่ามี

ความแตกต่างของค่าสีขาดความต่อเนื่อง ระบบตัดสีใจให้พิกัดนั้นเป็น noise ของภาพ โดยระบบไม่สนใจพิกัดนั้นๆ ถ้าระบบเปรียบเทียบพบความต่างของค่าสีจาก 2 ภาพ และพบความต่างของค่าสีมีความแตกต่างอย่างต่อเนื่องระบบเริ่มทำการเก็บพิกัด หลังจากนั้นระบบทำการเปรียบเทียบยังพิกัดถัดไปจนครบทุกตำแหน่ง row และ column เมื่อครบกระบวนการตรวจสอบภาพทั้ง 2 ระบบทำการบันทึกค่า row และ column ที่ต่ำที่สุดและสูงที่สุดไว้ โดยส่งตำแหน่งพิกัดดังกล่าวไปพร้อมกับไฟล์ข้อมูลภาพที่ผ่านกระบวนการ Background subtraction ที่ถูกพัฒนาสำหรับงานวิจัยนี้ เพราะข้อมูลภาพโดยทั่วไปมีขนาดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังนั้นค่า row และ column ที่ต่ำที่สุดและสูงที่สุดจึงเพียงพอสำหรับระบุตำแหน่งของภาพส่วนที่แยกออกมา

ในเบื้องต้นของการพัฒนาการเลื่อนตำแหน่งของ row และ column ทำการเลื่อนครั้งละ 1 ตำแหน่ง เนื่องจากการทำงานไม่คำนึงถึงรายละเอียดทุกๆตำแหน่งการพัฒนาลำดับต่อไปโดยการเพิ่มการเลื่อนค่า row และ column เป็นครั้งละ 2 ตำแหน่ง โดยการปรับเช่นนี้สามารถลดการทำงานของโปรแกรมผล

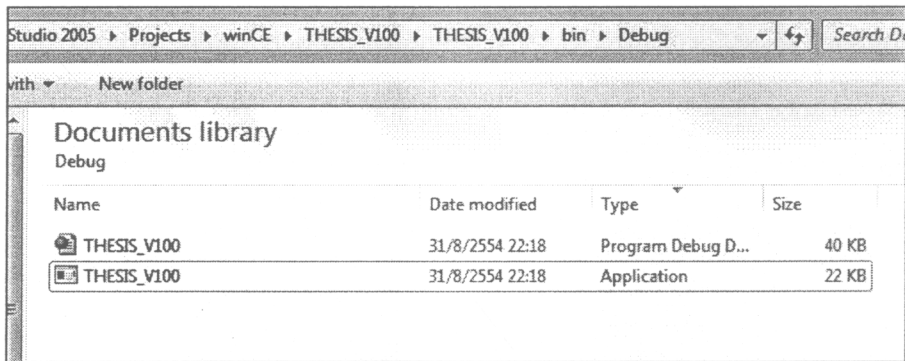
5.1.2 เทคนิคการพัฒนาโปรแกรมบน mini2440

การพัฒนาโปรแกรมบนสมองกลฝังตัว mini2440 ซึ่งได้ติดตั้ง Windows CE 6.0 เป็นระบบปฏิบัติการ รองรับ .Net Framework ชั้นพื้นฐานของ Windows ดังนั้นการพัฒนาโปรแกรมสามารถเลือกภาษาในการพัฒนา C#.NET หรือ Visual Basic.NET เพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานของ .Net Framework ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ภาษา C# .net ในการพัฒนาโปรแกรม เนื่องด้วย Windows CE เป็นระบบปฏิบัติการที่ออกแบบสำหรับสมองกลฝังตัว Framework จึงมีความสามารถไม่เหมือน Framework ของการพัฒนาบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) โดยใน Windows CE นั้นจะเรียก Framework ว่า .net compact framework ส่งผลให้คำสั่งการทำงานที่มีใน Framework ของ .net compact framework ถูกลดจำนวนคำสั่งลงอย่างมาก ทำให้สามารถเรียกใช้ได้เฉพาะฟังก์ชันการทำงานชั้นพื้นฐานเท่านั้น การนำ framework ทาง image processing โดยปกติจึงไม่สามารถทำงานร่วมกันได้ การพัฒนาจึงต้องพัฒนาในส่วนของการทำงานขึ้นมาใหม่ทั้งหมดโดยอาศัยองค์ความรู้ด้าน image processing ช่วยในการพัฒนา



รูปที่ 45 แสดงการสร้างโปรเจคสำหรับ Windows CE

การพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C# .net สำหรับ Windows CE สามารถพัฒนาบน Microsoft Visual Studio 2005 ที่ทำการติดตั้งส่วนขยายสำหรับการพัฒนาโปรแกรมบน Windows CE โดยเฉพาะดังรูปที่ 45 การพัฒนาโปรแกรมสำหรับ Windows CE มีความคล้ายการพัฒนาโปรแกรมสำหรับ Windows ทั่วไปคือเมื่อทำการพัฒนาโปรแกรมเป็นที่เรียบร้อย Microsoft Visual Studio จะสร้างไฟล์ .exe และ .pdb



รูปที่ 46 ไฟล์ที่ได้จาก Microsoft Visual Studio

ไฟล์จาก Microsoft Visual Studio ดังรูปที่ 46 ไฟล์ .exe คือนามสกุลของไฟล์ที่สามารถทำการเริ่มการทำงานของโปรแกรมหรือโปรแกรมหลัก และ .pdb คือนามสกุลของไฟล์โปรแกรมที่ถูกเรียกใช้ให้ทำงานโดยโปรแกรมหลัก สำหรับการทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows CE เท่านั้น ดังนั้นโปรแกรมที่พัฒนาสำหรับ Windows CE จึงไม่สามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการ Windows XP หรือระบบปฏิบัติการ Windows อื่นๆ ซึ่งเมื่อได้ไฟล์จากการ compile โดย Microsoft Visual Studio ครบทั้ง 2 ไฟล์ก็สามารถนำ

โปรแกรมที่พัฒนาไปติดตั้งบนสมองกลฝังตัวที่ทำการเริ่มการทำงานระบบปฏิบัติการ Windows CE โดยสามารถส่งข้อมูลผ่านสื่อบันทึกข้อมูลดิจิทัล SD Card หรือ USB flash drive

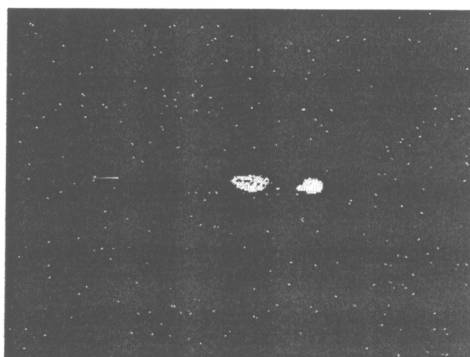
5.1.3 ทดลองกระบวนการ Background subtraction

ในการทดลองระเบียบวิธี Background subtraction แสดงการเปรียบเทียบกระบวนการทำงานเริ่มตั้งแต่กระบวนการทำ Background subtraction โดยไม่เพิ่มส่วนการตรวจสอบความต่อเนื่องของความแตกต่างของค่าสี



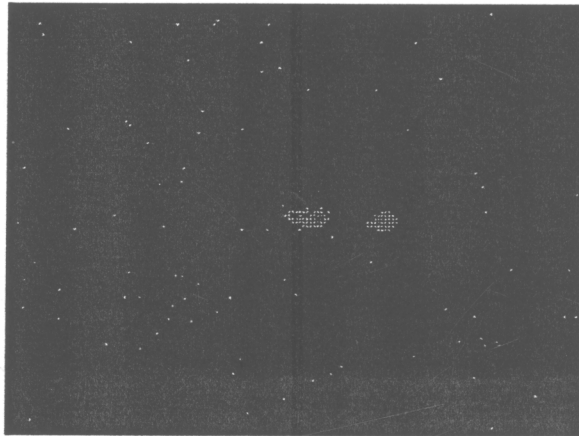
รูปที่ 47 รูปภาพขนาด 320 x 240 pixel สำหรับการทดสอบกระบวนการ Background subtraction

ข้อมูลรูปภาพสำหรับการทดสอบกระบวนการ Background subtraction เลือกใช้ข้อมูลรูปภาพขนาด 320 x 240 pixel โดยภาพ 2 ภาพมีความแตกต่างเพียงบางตำแหน่งและมี Noise รวมอยู่ภายในภาพดังรูปที่ 47 การทดลองเริ่มโดยทดสอบกระบวนการ Background subtraction แบบไม่เพิ่มกระบวนการตรวจสอบความต่อเนื่อง ซึ่งกระบวนการนี้วิเคราะห์ประมวลผลโดยนำภาพ 2 ภาพ เปรียบเทียบค่าสีของภาพในทุกตำแหน่งของภาพโดยการเปรียบเทียบ pixel ต่อ pixel ของทั้ง 2 ภาพ



รูปที่ 48 แสดงผลของกระบวนการ BACKGROUND SUBTRACTION ไม่เพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของ pixel

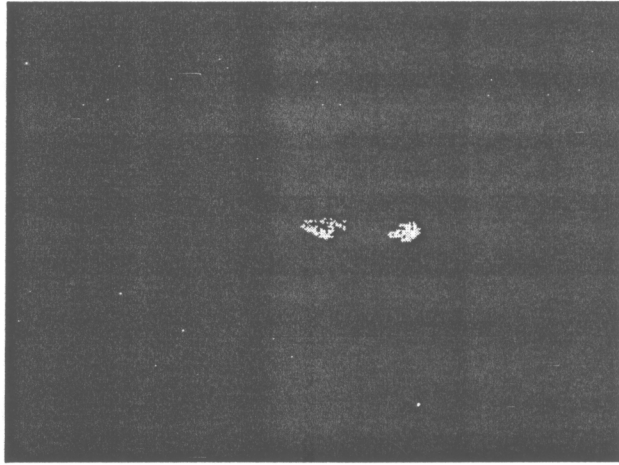
ผลการทำงานจากกระบวนการทำ Background subtraction โดยในขั้นตอนปกตินี้ ในกรณีที่ข้อมูลภาพมี Noise รวมอยู่ ผลของการประมวลผลที่ได้พบว่ามี Noise รวมอยู่เช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 48 ส่งผลกระทบต่อการสร้างข้อมูลรูปภาพใหม่ส่งผลให้เกิดข้อมูลส่วนไม่ต้องการรวมอยู่ในปริมาณที่สูง เนื่องจากการเข้าถึงปริมาณข้อมูลภาพขนาด 320 x 240 pixel เป็นการเข้าถึงปริมาณข้อมูลมาก ส่งผลให้การทำงานในสมองผลฝั่งตัวทำงานได้ซ้ำจึงทำการทดลองการตรวจสอบข้อมูล Row วน Row และ column วน column เพิ่มลดการทำงาน



รูปที่ 49 แสดงผลของกระบวนการ Background subtraction ไม่เพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของ pixel โดยตรวจสอบ Row วน Row และ column วน column

ผลการประมวลสามารถลดเวลาการทำงานลงได้ประมาณ 50% แต่ข้อมูลภาพยังมี Noise รวมอยู่เช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 49 การทำงานดังกล่าวนี้จึงไม่ช่วยในการจัดการส่วนของข้อมูลที่ไม่ต้องการ เป็นเพียงการลดเวลาการทำงานของสมองผลฝั่งตัวเท่านั้น

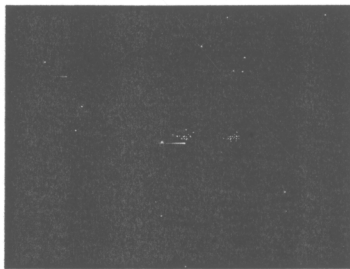
ดังนั้นจึงมีการพัฒนากระบวนการ Background subtraction โดยการนำแนวคิดถึงทฤษฎีการมี Noise ของภาพประยุกต์ร่วมกัน โดยเพิ่มการวิเคราะห์ความต่อเนื่องของจุดที่ต่างของ 2 ภาพ โดยกระบวนการทำงานดังกล่าวจะเริ่มตรวจสอบเมื่อพบความแตกต่างของจุดภาพทั้ง 2 ภาพแล้วเท่านั้น โดยทดสอบเข้าเข้าถึงมูลทุก Pixel ของภาพทั้ง 2



รูปที่ 50 แสดงผลของกระบวนการ BACKGROUND SUBTRACTION เพิ่มส่วนของการตรวจสอบความ
ต่อเนื่องของ pixel

หลังจากได้เพิ่มกระบวนการตรวจสอบความต่อเนื่องของส่วนต่างของภาพทั้ง 2 เพื่อตรวจสอบ
Noise ในระเบียบวิธี Background subtraction ผลที่ได้เป็นไปตามสมมติฐาน ข้อมูลที่ได้สามารถลด Noise
ในส่วนของการทำได้ดังรูปที่ 50 ทำให้ข้อมูลสำหรับการส่งบนเครือข่ายเช่นเซอร์ไรส์สายลดในส่วนที่ไม่
ต้องการหรือ Noise ของภาพได้มาก

การเพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องนี้สามารถลดข้อมูลส่วนไม่จำเป็นหรือ Noise ได้แต่ทำ
ให้เพิ่มภาระงานของสมองกลฝั่งตัว เพื่อลดภาระงานในการประมวลผลภายในอุปกรณ์สมองกลฝั่งตัวการ
เปรียบเทียบค่าสีในทุกๆตำแหน่งของภาพ 2 ภาพเป็นการประมวลผลใช้พลังงานมาก จึงได้ทำการทดลองลด
การประมวลผลภาพในส่วนของการเข้าถึงข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบค่าสีของ 2 ภาพในแนว row หรือแกน X และ
column หรือแกน Y เมื่อเปรียบเทียบค่าสีของตำแหน่งใดเสร็จ ตำแหน่งที่ทำการเปรียบเทียบจะเลื่อนครั้งละ
2 ตำแหน่ง หรือทำการเว้นว่างในตำแหน่ง Pixel ที่อยู่ติดกัน



รูปที่ 51 แสดงผลของกระบวนการ Background subtraction เพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของ
pixel โดยตรวจสอบ Row เว้น Row และ column เว้น column

ผลจากระบวนการ Background subtraction โดยเพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของ pixel โดยตรวจสอบ Row วน Row และ column วน column ยังคงให้ผลการทำงานลักษณะเช่นเดียวกับการตรวจสอบทุกตำแหน่งดังรูปที่ 51 ข้อมูลที่ได้จากระบวนการ Background subtraction ยังไม่สามารถนำข้อมูลมาใช้งานได้โดยตรง โดยต้องผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูลโดยการสร้างรูปแบบข้อมูลขึ้นมาใหม่



รูปที่ 52 ผลของกระบวนการเตรียมข้อมูลเฉพาะส่วนต่างของภาพ

หลังจากผ่านกระบวนการ Background subtraction ข้อมูลจุดที่พบความต่างของค่าสี นำมาเพื่อประกอบการเตรียมข้อมูลโดยให้ได้ข้อมูลเฉพาะส่วนที่ต้องการเท่านั้นดังรูปที่ 52 กระบวนการทำ Background subtraction สามารถลดปริมาณข้อมูลได้มากกว่า 70% โดยข้อมูลดังรูปที่ 47 มีปริมาณข้อมูล 45.7 KB เมื่อผ่านกระบวนการ Background subtraction โดยได้ผลดังรูปที่ 52 ซึ่งมีปริมาณข้อมูล 1.03KB

การทำงานของสมองกลฝังตัวมีความสามารถน้อยกว่าคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทั่วไปดังนั้นเพื่อต้องการรู้เวลาการทำงานจึงทำการทดลองเปรียบเทียบเวลาการประมวลผลของสมองกลฝังตัวโดยนำข้อมูลซึ่งมีความแตกต่างของค่าสี และข้อมูลภาพมีค่าสีแตกต่างกันมากกว่า 80% ของภาพทั้งสอง เพื่อทดสอบในกรณีที่มีความแตกต่างมากของภาพที่นำมาเปรียบเทียบ



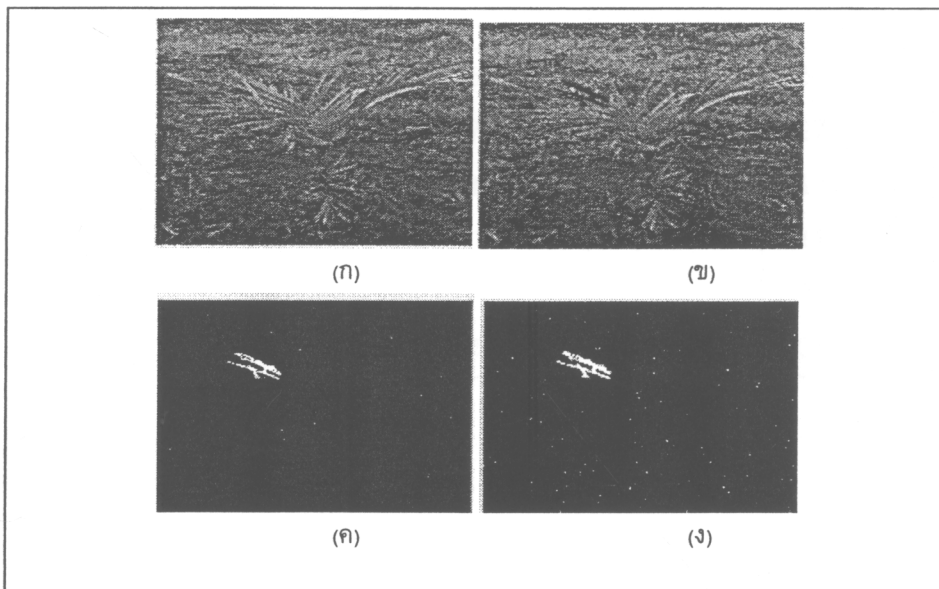
รูปที่ 53 รูปภาพขนาด 320 x 240 pixel สำหรับทดสอบเวลาการทำงานกระบวนการ Background subtraction โดยรูปภาพมีความต่างของค่าสีปริมาณมาก

การตรวจสอบกระบวนการ Background subtraction ทำการทดลองในกรณีที่พบความแตกต่างของภาพในปริมาณน้อยดังรูปที่ 47 และทดสอบในกรณีข้อมูลมากความแตกต่างมากดังรูปที่ 53 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงเวลาการทำงานของกระบวนการ Background subtraction บนสมองกลฝังตัว

	กรณีข้อมูลดังรูป 49 (ms)	กรณีข้อมูลดังรูป 56 (ms)
Background subtraction ไม่เพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของ pixel	7,498	42,174
Background subtraction เพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของ pixel	23,319	108,622
Background subtraction ไม่เพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของ pixel และตรวจสอบ pixel วน pixel	7,004	48,495

การออกแบบระเบียบวิธีการจัดการข้อมูลรูปภาพด้วยวิธีการ Background subtraction จุดประสงค์หลักเพื่อการเกษตร ดังนั้นจึงได้เปลี่ยนข้อมูลรูปภาพสำหรับการทดสอบโดยรวมตั้งแต่กระบวนการทำ Background subtraction รวมไปถึงการส่งข้อมูลบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย



รูปที่ 54 แสดงผลของกระบวนการ Background subtraction

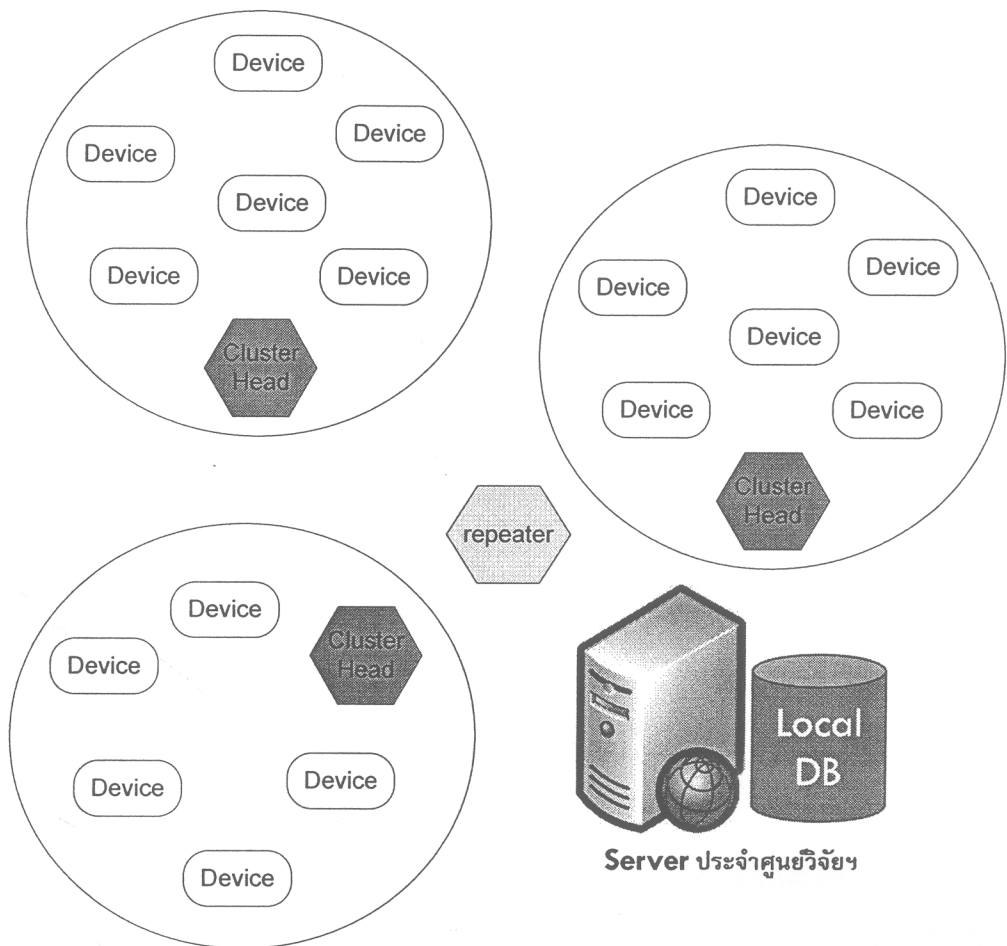
กระบวนการทำ Background subtraction โดยปกติเป็นการนำภาพ 2 ภาพมาเปรียบเทียบกันแบบจุดต่อจุดเพื่อหาความแตกต่าง ดังที่แสดงในรูปที่ 54 กำหนดให้รูปที่ 54ก. แทนรูป background รูปที่ 54ข. แทนรูปที่เข้ามาใหม่รูปที่ 57ค. แทนผลกระบวนการ Background subtraction ไม่เพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของ pixel และรูปที่ 57ง. แทนผลกระบวนการ Background subtraction เพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของ pixel

เมื่อผ่านกระบวนการของ Background subtraction ซึ่งส่งผลโดยตรงในการลดปริมาณข้อมูล ดังนั้นเมื่อปริมาณข้อมูลที่ส่งลดลง ย่อมส่งผลโดยตรงกับการส่งข้อมูลบนเครือข่ายเซาเซอร์ไรส์สาย ทำให้ลดเวลาในการส่งได้มากและสามารถเพิ่มความถี่ของการอัปเดตข้อมูลได้เช่นกันดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบเวลาและขนาดของข้อมูลระหว่างการส่งภาพแบบไม่มี background subtraction กับการทำ background subtraction แบบตรวจสอบความต่อเนื่องของ pixel

Payload Size (bytes)	Total Time (ms)		Data Size + Header (bytes)	
	Without background subtraction	With background subtraction	Without background subtraction	With background subtraction
40	503,964	30,599	42,811	2,399
50	405,837	24,711	39,083	2,271
60	338,518	20,179	35,371	2,175
70	290,102	17,438	34,299	2,111
80	203,930	15,489	32,395	2,063
90	227,043	13,416	32,891	2,031

5.2 การทำงานของระบบ



รูปที่ 55 โครงสร้างการเชื่อมต่อของระบบ

ระบบเก็บข้อมูลอุณหภูมิความชื้นในอากาศ และความชื้นในดิน รวมทั้งสามารถทำการควบคุมผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายดังรูปที่ 55 สามารถอธิบายตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.2.1 Gateway + DB

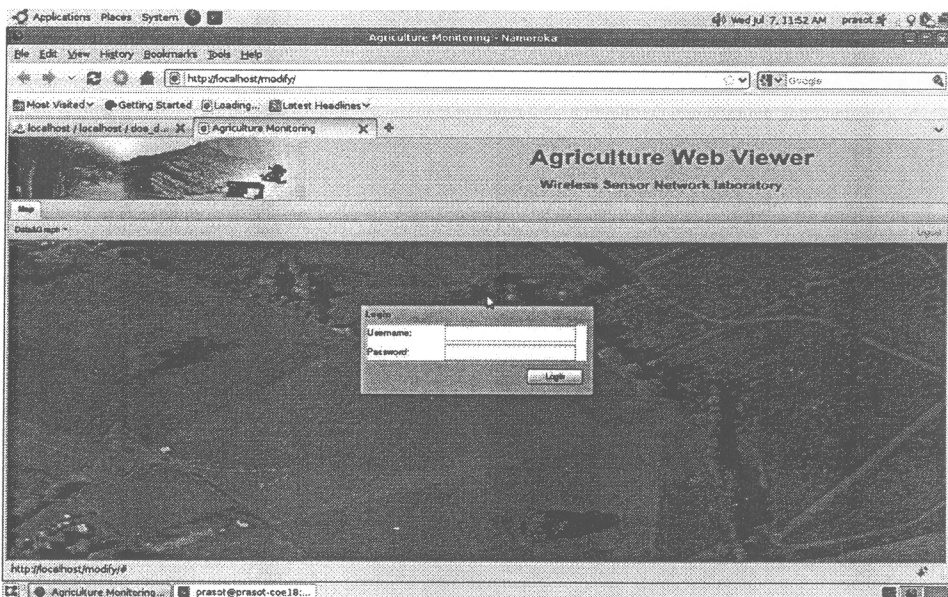
อุปกรณ์ที่ทำหน้าเชื่อมต่อกับเป็น Base station ของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ในที่นี่ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะทำหน้าที่เป็น Gateway และ เก็บรวบรวมข้อมูลจากเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายมาบันทึกไว้ในที่เก็บข้อมูล (Local Disk) หรือฐานข้อมูล (DB) โดยได้ออกแบบให้ในแต่ละ Site งานจะมี Local Host เฉพาะของแต่ละสถานที่เช่น ที่เขาสวนกวาง จังหวัดขอนแก่น สถานีวิจัยที่พิษณุโลก หรือสถานีวิจัยที่กระเป๋ เป็นต้น ทั้งนี้ Local Host จะมีอุปกรณ์บอร์ด GPRS หรือ Aircard ติดตั้งไว้ใช้งานเพื่อให้เครื่องแม่ข่ายสามารถเข้าไปดึงข้อมูลมาทำการจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลกลางได้

5.2.2 Computer Server (เครื่องแม่ข่าย)

เครื่องแม่ข่ายจะทำหน้าที่รับข้อมูลทางกายภาพจากแปลงทดลองในแต่ละ Site งานมาเก็บรวมกันเป็นฐานข้อมูล เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และสร้างโมเดลสำหรับปาล์มน้ำมันต่อไป เครื่องแม่ข่ายใช้ระบบปฏิบัติการ UBUNTU ซึ่งเครื่องแม่ข่ายจะใช้ Phpmysql เพื่อใช้ในการจัดการกับฐานข้อมูล (MySQL) รวมไปถึงการแสดงผลทาง Web-application โดยในส่วนของคอมพิวเตอร์เครื่องแม่ข่ายสามารถทำหน้าที่เป็น Web server ส่วนดังกล่าวจะทำการดึงค่าข้อมูลที่ได้จากฐานข้อมูล เพื่อทำการแสดงผลของค่าเซนเซอร์แต่ละตัว ลงบนเว็บไซต์ (Web site) ที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น โดยในเว็บไซต์ดังกล่าว ผู้ใช้งานสามารถทำการปรับแต่งค่าเวลาในการส่งข้อมูลกลับมายัง Base station ได้และยังสามารถแสดงค่าของเซนเซอร์แต่ละตัวเป็นกราฟพร้อมทั้งค่าเฉลี่ยของเซนเซอร์ในแต่ละวันได้ และสามารถทำการบันทึกข้อมูลของเซนเซอร์แต่ละตัวได้เป็นไฟล์นามสกุล csv เพื่อใช้งานกับโปรแกรม Microsoft excel ได้อย่างสะดวก

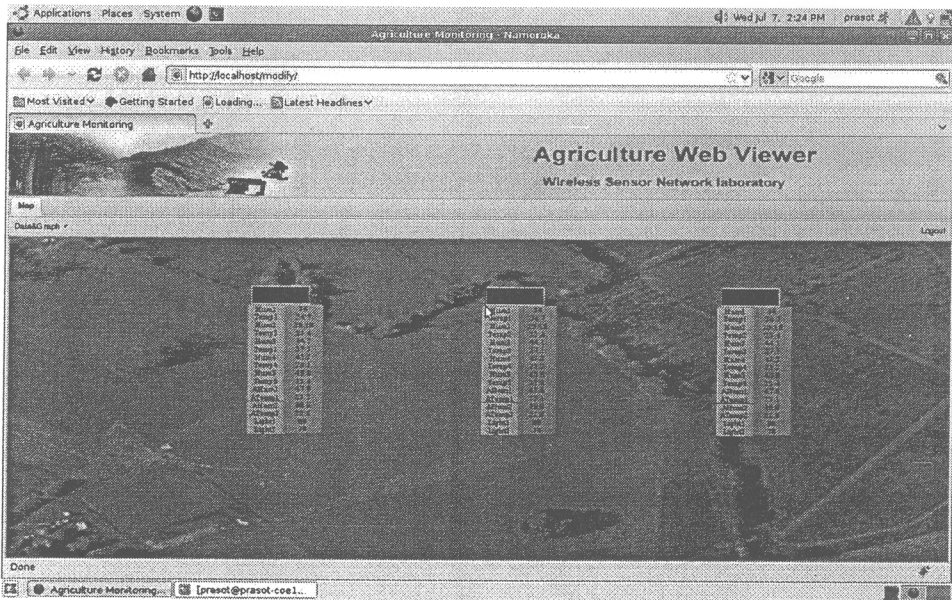
5.2.3 Web Browser

ใช้งานเพื่อทำการแสดงผลข้อมูล โดยข้อมูลดังกล่าวได้รับจากฐานข้อมูลที่ได้ทำการบันทึกข้อมูลไว้ก่อนหน้าโดยในรูปที่ 56 เป็นการแสดงตัวอย่างการเข้าใช้งานเว็บไซต์เพื่อแสดงผลข้อมูลที่ทำการนำมาจากฐานข้อมูล



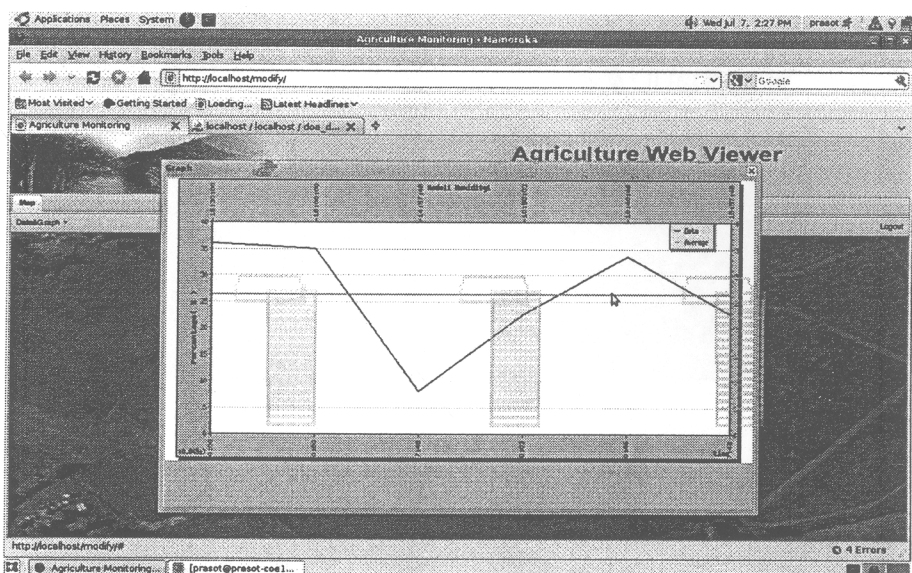
รูปที่ 56 หน้าแรก Login page

จากรูปที่ 56 Login page เมื่อเข้าใช้งานเว็บไซต์จะต้องทำการยืนยันตัวบุคคลโดยการกรอก Username และ Password เพื่อทำการเข้าใช้งานระบบ



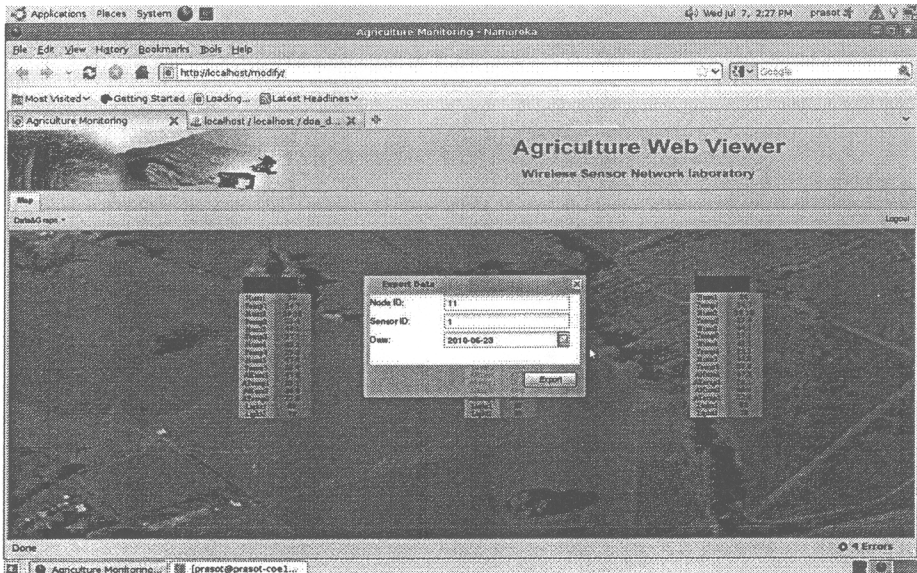
รูปที่ 57 หน้าแสดงผล

หลังจากทำการ Login เพื่อใช้งานระบบเสร็จสิ้น ระบบจะแสดงหน้าต่างแสดงผลดังรูปที่ 57 โดยในรูปทำการแสดงค่าต่างๆ ของเซนเซอร์แต่ละตัวบนอุปกรณ์แต่ละตัวที่ได้รับการติดตั้งเซนเซอร์ ซึ่งลักษณะในการแสดงผลจะเป็นแบบตาราง เพื่อให้ผู้ใช้งานทำการตรวจสอบค่าต่างๆ ได้ในลักษณะ Real-time monitoring



รูปที่ 58 การแสดงผลในรูปแบบกราฟ

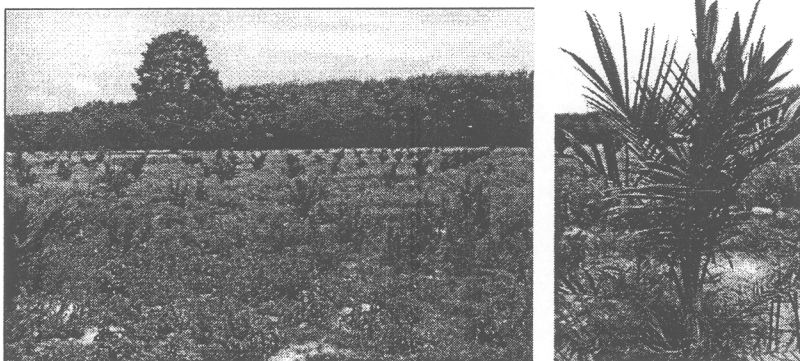
โดยเว็บไซต์ดังกล่าวยังมีความสามารถในการแสดงผลข้อมูลของเซนเซอร์ที่ผู้ใช้งานต้องการในลักษณะของกราฟ โดยสามารถกำหนดช่วงเวลาที่ต้องการให้แสดงผล และกราฟยังมีความสามารถในการแสดงผลค่าเฉลี่ยที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่ผู้สนใจได้ดังรูปที่ 58



รูปที่ 59 การนำค่าในฐานข้อมูลออกจากระบบ

นอกเหนือจากการแสดงผลด้วยตารางและกราฟ เว็บไซต์ดังกล่าวถูกพัฒนาขึ้นให้มีความสามารถในการ export ข้อมูลจากฐานข้อมูลออกมาเป็นไฟล์นามสกุล csv เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถนำไฟล์ดังกล่าวไปประยุกต์ใช้งานกับโปรแกรม Microsoft Excel ได้อย่างสะดวกดังรูปที่ 59

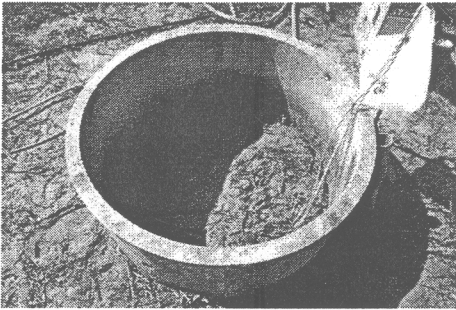
5.3 ประมวลภาพการไปทดสอบในแปลงทดลองปาล์มน้ำมัน สวพ. 5 จังหวัดขอนแก่น



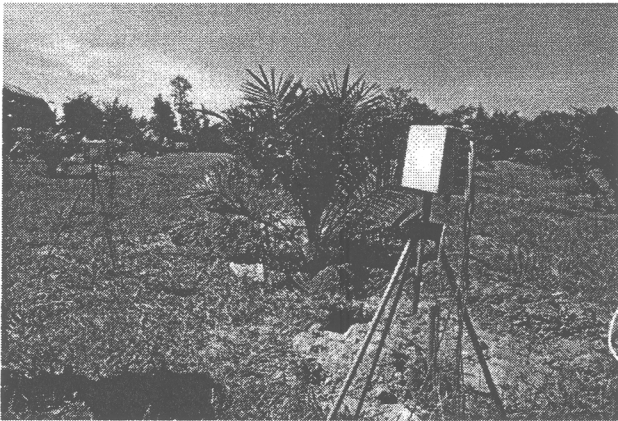
รูปที่ 60 แปลงทดสอบแบบไม่ให้น้ำ



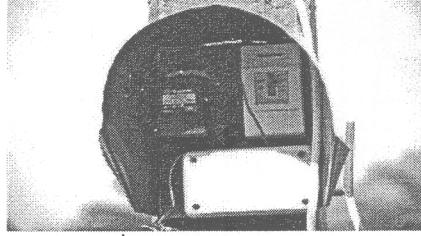
รูปที่ 61 แปลงทดสอบแบบที่ติดตั้งระบบจ่ายน้ำ



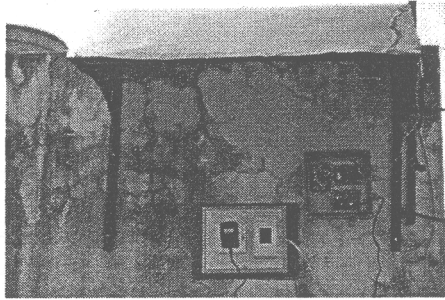
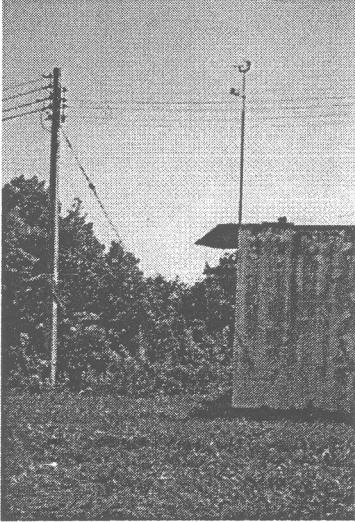
รูปที่ 62 การขุดดินในแต่ละระดับชั้นเพื่อเก็บตัวอย่างดิน



รูปที่ 63 โหนดที่ทำการติดตั้งไว้ในแปลงทดลอง

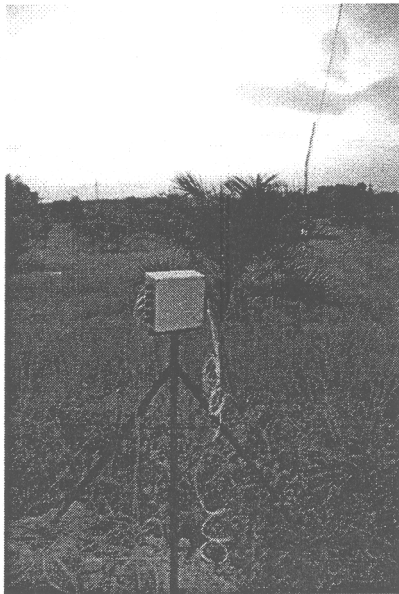


รูปที่ 64 โหนด Repeater

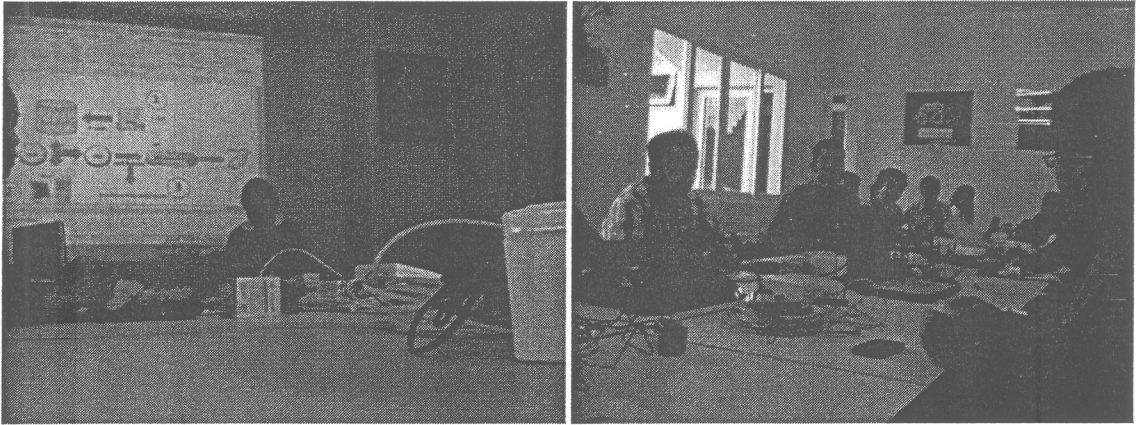


รูปที่ 65 โหนด Station อากาศ

5.4 ประมวลภาพการไปทดสอบและถ่ายทอดความรู้ที่แปลงทดลองปาล์มน้ำมัน จังหวัดกระบี่

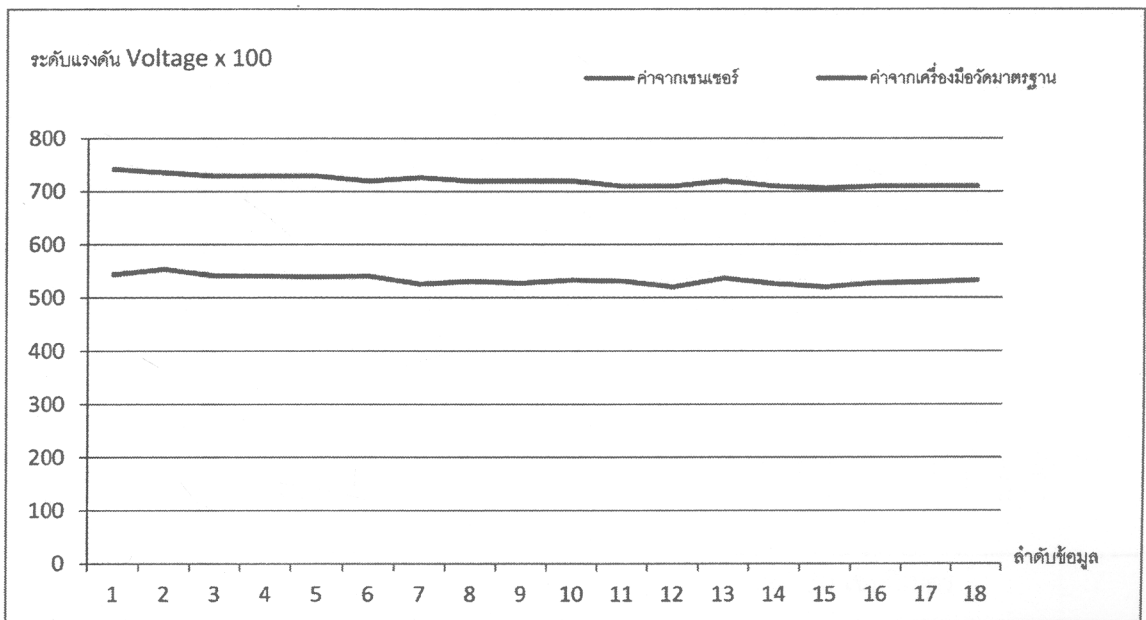


รูปที่ 66 ภาพการติดตั้งอุปกรณ์ในแปลงปาล์มน้ำมัน



รูปที่ 67 ถ่ายทอดความรู้ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายให้กับนักวิชาการเกษตร

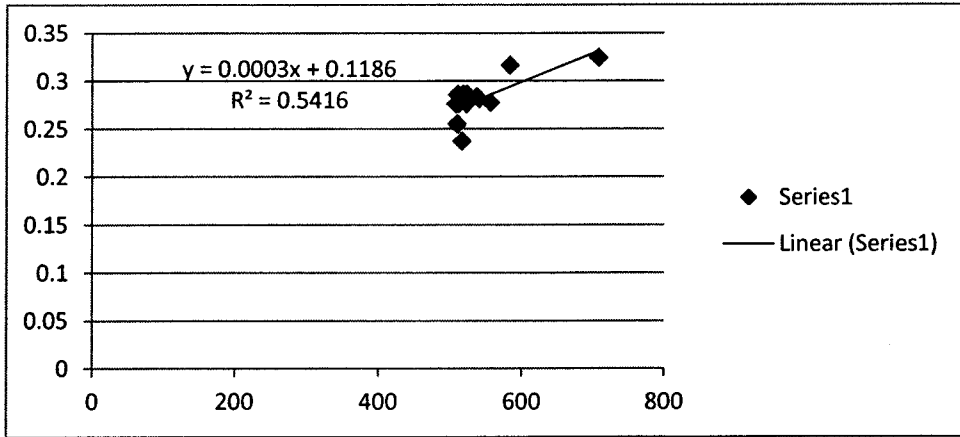
5.5 ตัวอย่างของการวิเคราะห์ข้อมูล



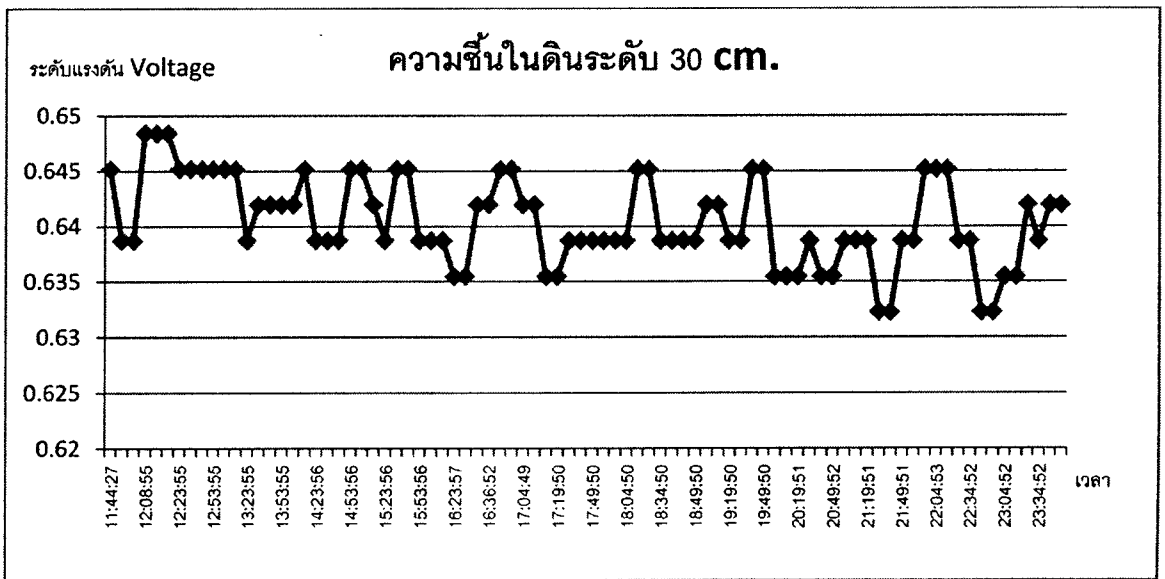
รูปที่ 68 การเปรียบเทียบแรงดันระหว่างเซนเซอร์และเครื่องมือวัดมาตรฐานในระดับชั้นดิน 40 cm.

ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซนเซอร์ถูกนำมาวาดกราฟเพื่อเปรียบเทียบกับค่าแรงดันที่ได้จากเครื่องมือวัดที่ได้มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรดังรูปที่ 68 พบว่าค่าที่ได้จากเซนเซอร์มีการทำงานในลักษณะที่มีค่าแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับค่าที่ได้จากเครื่องมือวัด ทำให้สามารถปรับหรือ calibrate เซนเซอร์ที่ใช้ให้ตรงกับเครื่องมือวัดมาตรฐานได้ไม่ยาก จากตัวอย่างที่นำเสนออีกจะใช้ค่าชดเชยที่ 200

นอกจากจะทำการ calibrate ด้วยการชดเชยค่า นักวิชาการเกษตรยังสามารถนำค่าระดับแรงดันไฟฟ้าในแต่ละชั้นดินมาหาสมการหาค่าความชื้นในดินในระดับชั้นนั้นๆ เทียบกับผลความชื้นในดินจาก lab เช่น $y = 0.0003X + 0.1186$ โดยที่ y คือค่าความชื้นในดินและ x คือค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ดังในรูปที่ 69



รูปที่ 69 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จาก sensor กับผล lab



รูปที่ 70 ตัวอย่างกราฟเส้นแสดงความชื้นในดินที่ระดับ 30 เซนติเมตร

จากข้อมูลที่ได้แสดงในรูป 70 พบว่าระดับของแรงดันไฟฟ้ามีการแกว่งขึ้นลงในช่วงเที่ยงวัน ซึ่งเป็นระดับของชั้นดินที่รากฝอยของพืชกำลังดูดน้ำไปสังเคราะห์แสงในช่วงกลางวัน แต่มีบางช่วงเวลาที่เป็นค่าคงที่ แสดงให้เห็นว่ารากฝอยอาจจะไม่ได้ดูดน้ำอยู่ตลอดเวลา ในทางตรงกันข้ามในช่วงเวลากลางคืนกลับมีการแกว่งของความชื้นในดินแต่ในระดับแรงดันที่ต่ำกว่าช่วงกลางวัน สันนิษฐานนี้ตรงกับงานวิจัยทางการเกษตรที่มีการคาดการณ์ไว้ว่า น้ำในระดับชั้นดินที่ลึกสามารถระเหยขึ้นมาอยู่ในระดับชั้นที่ตื้นกว่า ในขณะที่พฤติกรรมของพืชที่มีรากลึกจะสามารถดูดน้ำขึ้นมาพักอยู่ในช่วงระดับที่ชั้นดินที่เป็นรากฝอยได้เช่นกัน

ข้อมูลที่ใช้ในการ calibrate และวิเคราะห์ค่าที่ได้จากระบบที่ทำการพัฒนาเอง กับหัวข้อของกรมวิชาการเกษตร จะเป็นข้อมูลของการเพาะปลูกในไร่ข้าวโพด เนื่องจากมีความสะดวกในการนำหัวอ่าน

(probe) ที่เป็นแกนเหล็กเจาะลงไปเก็บข้อมูลทุกๆชั่วโมง และจะทำการเก็บข้อมูล calibrate ในรอบวัน (18 ชั่วโมงเท่านั้น) เนื่องจากจะต้องใช้คนงานเก็บข้อมูลอ่านค่าจาก probe ทุกๆชั่วโมงติดต่อกัน เพื่อนำค่ามาเปรียบเทียบกับในระบบที่ตั้งอ่านไว้อัตโนมัติ โดยข้อมูลจริงที่เก็บได้จากแปลงปาล์มน้ำมัน จะอยู่ใน CD-ROM แนบท้ายรายงานฉบับนี้ (เนื่องจากข้อมูลมีจำนวนมาก)

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ได้พัฒนาขึ้นสำหรับศึกษาและเรียนรู้พฤติกรรมการเจริญเติบโตของพืชไร่สามารถนำไปใช้งานได้จริงกับแปลงทดลองทางการเกษตรของกรมวิชาการเกษตร ซึ่งข้อมูลจากเซนเซอร์ความชื้นในดินสามารถนำไปแปลความหมายให้เข้าใจการใช้น้ำของพืช ในงานวิจัยนี้้นำไปใช้กับแปลงปาล์มน้ำมัน ซึ่งข้อมูลที่จะต้องเก็บต่อรอบการเติบโตมีระยะเวลานาน และจะทำให้มีปริมาณมาก จากนั้นจะต้องนำไปวิเคราะห์และทดลองการให้น้ำในอนาคต เมื่อนักวิชาการเกษตรสามารถนำอุปกรณ์ไปใช้ติดตั้งเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ให้กับพืชกับอัตราการเจริญเติบโต ก็จะทำให้ได้ปริมาณน้ำที่จำเป็นในแต่ละช่วงเวลาของพืชชนิดนั้นๆ ดังนั้นจะทำให้สามารถติดตั้งระบบของการให้น้ำ (irrigation) ที่แม่นยำแบบอัตโนมัติได้ ทำให้ทราบผลผลิตที่จะได้เมื่อให้ปริมาณน้ำตามที่กำหนด ฉะนั้นจึงสามารถคำนวณผลผลิตที่จะได้ต่อไร่อย่างแม่นยำ

นอกจากนี้ข้อมูลสภาพที่ได้ยังสามารถช่วยในการเฝ้าสังเกตโรคที่เกิดขึ้นกับพืช ประกอบกับข้อมูลของอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ รวมทั้งข้อมูลลม ทำให้สามารถคาดการณ์โอกาสที่จะเกิดโรคหรือการแพร่ระบาดของศัตรูพืช ข้อมูลและทิศทางของลมก็จะช่วยทราบทิศทางของการแพร่ระบาด ทำให้กรมวิชาการเกษตรสามารถเฝ้าควบคุมไข่ของแมลงที่ยังอยู่ในชั้นดิน ก่อนที่จะฝักตัวออกมาทำความเสียหายให้แก่เกษตรกร

ทั้งนี้การนำระบบและเครื่องมือไปใช้งานจะต้องใช้เวลาในการติดตั้ง เก็บข้อมูลศึกษาทั้งชนิดของดินพืช ปริมาณน้ำ ปริมาณปุ๋ย เป็นต้น ทำให้รายงานวิจัยนี้ไม่สามารถให้ข้อมูลที่ชัดเจนหรือโดยละเอียดของพืชได้ แต่งานวิจัยนี้เป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีไปยังนักวิชาการเกษตรอย่างแท้จริง

- [1] Last accessed 3 June 2009, <http://www.mics.org/micsCluster.php?groupName=CL3&action=projects#P6>.
- [2] F.-M. Yuan และ William L. Bland, "Light and temperature modulated exponential growth model for potato", *Agriculture and Forest Meteorology* 121, pp. 141-151, 2004
- [3] A. Aboeleba (2000), "Near-Infrared Optical Flow for Plant Growth", MSc. Thesis, Dept. of Computer Science, The University of Western Ontario, 2000.
- [4] T. Teixeira, E. Culurciello, E. Park, D. Lymberopoulos, A. Barton Sweeney, and A. Savvides, "Address-event imagers for sensor networks: Evaluation and modeling," in *SPOTS '06*, November 2006.
- [5] E. M. C.F. Chiasserini, "Energy-efficient coding and error control for wireless video-surveillance networks," in *elecommunication Systems*, vol. 26, JUN-AUG 2004, pp. 369-387.
- [6] C. Perkins *et al.*, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," [Online]. Available: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>, July 2003.
- [7] I. Chakeres and L. Klein-Berndt, "AODVjr routing protocol with multiple feedback policy for Zigbee Network," *Proceeding of the IEEE 13th International Symposium on Consumer Electronics (ISCE'09)*, pp. 483-487, 2009.
- [8] TinyAODV Implementation, "TinyOS source code repository," [Online]. Available: <http://TinyOS.cvs.sourceforge.net/viewvc/tinyOS/tinyOS-1.x/contrib/hsn>.
- [9] C. Gomez *et al.*, "Adapting AODV for IEEE 802.15.4 Mesh Sensor Networks: Theoretical Discussion and Performance Evaluation in a Real Environment," *Proceeding of the 2006 International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM'06)*, pp.1-9, 2006.
- [10] Robert Faludi, "Building: Wireless Sensor Networks", O'REILLY, 2011.