



การพัฒนาการส่งข้อมูลภาพบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย  
**Development of Image Transmission via Wireless Sensor Networks**

กิตติเวทย์ เดชรุ่งเรือง  
**Kittiwate Dechrungruang**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Master of Engineering in Computer Engineering  
Prince of Songkla University**

2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาการส่งข้อมูลภาพบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

ผู้เขียน นายกิตติเวทย์ เดชรุ่งเรือง

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณรัช สันติอมรทัต) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐฐา จินดาเพชร)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ  
(ดร.เดือนเพ็ญ กชกรจารุงศ์)

.....  
(ดร.ราชพร เขียนประสิทธิ์)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณรัช สันติอมรทัต)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม  
คอมพิวเตอร์

.....  
(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาการส่งข้อมูลภาพบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย  
ผู้เขียน นายกิตติเวทย์ เดชรุ่งเรือง  
สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา 2554

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการพัฒนาเซนเซอร์ โหนดสำหรับส่งข้อมูลภาพบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่มีทรัพยากรจำกัด โดยเลือกใช้วิธีการที่ไม่ซับซ้อนทำให้เหมาะสมกับการใช้งานบนสมองกลฝังตัว และได้นำเสนอรูปแบบการจัดการข้อมูลรูปภาพเพื่อลดขนาดข้อมูลด้วยกระบวนการทำหาความแตกต่างของภาพ (Background subtraction) แบบตรวจสอบสิ่งรบกวนชนิดพิกเซล เว้นพิกเซล โดยที่สามารถเพิ่มความเร็วในการประมวลผลข้อมูลได้สูงถึง 7 เท่าเมื่อเทียบกับการทำหาความแตกต่างของภาพแบบตรวจสอบสิ่งรบกวนในภาพทุกพิกเซล โดยที่ให้ผลของการกำจัดสิ่งรบกวนเหมือนกัน นอกจากนี้ผลการทดสอบของการส่งข้อมูลภาพระหว่าง 1-3 hop จะใช้ความเร็วในการส่งภาพที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่พบว่าค่าหน่วงเวลาของการส่งข้อมูลจะขึ้นกับขนาดของข้อมูลในแพ็กเก็ต

คำสำคัญ: ส่งข้อมูลรูปภาพ, หาความแตกต่างของภาพ, ZigBee, เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

**Thesis Title**            Development of Image data via Wireless Sensor Networks  
**Author**                    Mr. Kittiwate Dechrungruang  
**Major Program**        Computer Engineering  
**Academic Year**        2011

### **ABSTRACT**

This thesis proposes the development of image transmission for wireless sensor networks which have the resource constraints. The method used in this thesis is not complicated and suitable to the embedded systems. We also introduce the method to optimize the image data using the Background subtraction with non-continuous pixel noise detection. From the experimental results, our method can perform seven times faster than the background subtraction with continuous pixel noise detection. In addition, we found that the latency of image transmission over 1- or 3- hop in wireless network was not different. However, the delay of image transmission depends on the size of payload packet.

**Keywords:** Image transmission, Background subtraction, ZigBee, Wireless sensor networks

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	(3)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
รายการตาราง.....	(9)
รายการภาพประกอบ.....	(10)
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 ตรวจสอบเอกสาร.....	2
1.3 วัตถุประสงค์.....	5
1.4 ขอบเขต.....	5
1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน.....	5
1.6 เครื่องมือที่ใช้.....	6
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.8 สมมติฐานการทดลอง.....	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	8
2.1 ความหมายของข้อมูลภาพ.....	8
2.2 รูปแบบของการเข้ารหัส JPEG.....	9
2.3 อัลกอริทึมหาความแตกต่างของภาพ.....	10
2.4 สิ่งรบกวนในข้อมูลรูปภาพ.....	12
2.5 เทคนิคการออกแบบซอฟต์แวร์.....	12
2.6 มาตรฐาน 802.15.4.....	13
2.7 มาตรฐาน ZigBee.....	13

2.7.1 รูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่าย .....	14
2.7.1.1 Star Network .....	14
2.7.1.2 Cluster tree .....	14
2.7.1.3 Mesh Network .....	15
2.8 XBee .....	15
2.8.1 AT Mode และ API Mode .....	16
บทที่ 3 การออกแบบและวิธีทดสอบระบบ .....	18
3.1 ภาพรวมของระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายสำหรับรับส่งข้อมูลภาพ .....	18
3.2 พัฒนาการกระบวนการวิธี Background subtraction .....	20
3.3 เทคนิคการพัฒนาโปรแกรมบน FriendlyARM รุ่น mini2440 .....	24
3.4 รูปแบบของการทดสอบ .....	26
บทที่ 4 การทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพ .....	27
4.1 เครื่องมือในการทดสอบประสิทธิภาพของเซนเซอร์โหนดรับส่งภาพ .....	27
4.1.1 อุปกรณ์ส่องกล้องฝังตัว .....	27
4.1.2 โปรแกรม Microsoft Visual Studio 2005 .....	27
4.2 ทดลองกระบวนการ Background subtraction .....	27
4.3 การทดลองเปรียบเทียบรูปแบบการทำงานของ XBee ในโหมด AT และ API .....	33
4.4 การทดลองส่งข้อมูลบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย .....	35
4.4.1 ทดลองส่งข้อมูลรูปภาพโดยไม่ผ่านกระบวนการหาความแตกต่างของภาพ .....	35
4.4.2 ทดลองส่งข้อมูลภาพหลังผ่านกระบวนการหาความแตกต่างของภาพระยะ 1 Hop .....	36
4.4.3 ทดลองส่งข้อมูลรูปภาพ 2 Hop และ 3 Hop .....	37
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	39
5.1 สรุปผล .....	39
5.2 ผลที่ได้จากการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ .....	39
5.3 ปัญหาและอุปสรรค .....	40
5.4 ข้อเสนอแนะ .....	40

บรรณานุกรม.....	41
ภาคผนวก .....	45
ภาคผนวก ก ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์.....	46
ประวัติผู้เขียน .....	54

## รายการตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 สรุปเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	5
ตารางที่ 4.1 เวลาการทำงานของกระบวนการหาความแตกต่างของภาพบนสมองกลฝังตัว.....	32
ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดข้อมูลกับเวลาที่ใช้งานของ XBee แบบ AT และ API.....	34
ตารางที่ 4.3 ผลของการส่งรูปภาพ 1 รูปซึ่งมีขนาด 27,915 ไบต์ แบบ 1 Hop ในโหมด API.....	36
ตารางที่ 4.4 ผลของการส่งรูปภาพ 1 รูปซึ่งมีขนาด 1,670 ไบต์ ระยะทาง 1 Hop ในแบบ API.....	37
ตารางที่ 4.5 ผลของการส่งภาพขนาด 27,915 ไบต์ ระยะทาง 1, 2 และ 3 Hop ในแบบ API ของ XBee.....	38
ตารางที่ 4.6 ผลของการส่งภาพขนาด 1,670 ไบต์ระยะทาง 1, 2 และ 3 Hop ในแบบ API ของ XBee .....	38



## รายการภาพประกอบ

	หน้า
รูปที่ 1.1 กระบวนการส่งข้อมูลภาพระหว่างโหนดบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายในงานวิจัย [10].....	3
รูปที่ 2.1 สมการเมทริกซ์ของภาพ.....	8
รูปที่ 2.2 การเข้ารหัส JPEG.....	9
รูปที่ 2.3 (ก) ค่าสีภาพหลักดั้งเดิม, (ข) ค่าสีภาพเข้ามาใหม่ .....	11
รูปที่ 2.4 ค่าสีภาพเมื่อลบภาพหลักออก .....	11
รูปที่ 2.5 ค่าสีภาพที่มีสิ่งรบกวน .....	12
รูปที่ 2.6 โครงสร้างเครือข่ายแบบ Star.....	14
รูปที่ 2.7 โครงสร้างเครือข่ายแบบ Cluster.....	14
รูปที่ 2.8 โครงสร้างเครือข่ายแบบ Mesh.....	15
รูปที่ 2.9 รูปอุปกรณ์ XBee .....	15
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างใช้งานรูปแบบการทำงาน AT ของ XBee.....	16
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างใช้งานรูปแบบการทำงาน API ของ XBee.....	16
รูปที่ 2.12 รูปแบบแพ็กเก็ต ของ XBee .....	17
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายของการรับส่งข้อมูลภาพ .....	18
รูปที่ 3.2 โครงสร้างของโหนดรับภาพแบบสาย .....	19
รูปที่ 3.3 การทำงานของ Camera sensor node.....	20
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการนำข้อมูลมาเปรียบเทียบจุดสีค่าคือสิ่งรบกวน.....	21
รูปที่ 3.5 ระดับของสีใน gray scale.....	22
รูปที่ 3.6 ลำดับการทำงานของกระบวนการ Background subtraction ของวิทยานิพนธ์.....	23
รูปที่ 3.7 การสร้างโปรเจกสำหรับ Windows CE.....	25
รูปที่ 3.8 ไฟล์ที่ได้จาก Microsoft Visual Studio.....	25
รูปที่ 4.1 รูปภาพขนาด 320 x 240 พิกเซล สำหรับการทดสอบกระบวนการหาความแตกต่างของภาพ.....	28
รูปที่ 4.2 ผลของกระบวนการหาความแตกต่างของภาพไม่เพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของพิกเซล.....	28
รูปที่ 4.3 ผลของกระบวนการหาความแตกต่างของภาพไม่เพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของพิกเซล โดยตรวจสอบแถวเว้นแถว และสลับแถวสลับ.....	29

รูปที่ 4.4 ผลของกระบวนการหาความแตกต่างของภาพเพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่อง ของพิกเซล.....	30
รูปที่ 4.5 ผลของกระบวนการหาความแตกต่างของภาพเพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่อง ของพิกเซล โดยตรวจสอบแถวเว้นแถว และสดมภ์เว้นสดมภ์.....	31
รูปที่ 4.6 ผลของกระบวนการเตรียมข้อมูลเฉพาะส่วนต่างของภาพ.....	31
รูปที่ 4.7 รูปภาพขนาด 320 x 240พิกเซล สำหรับการทดสอบเวลาการทำงานกระบวนการหาความ แตกต่างของภาพ โดยรูปภาพมีความต่างของค่าสีอย่างมาก.....	32
รูปที่ 4.8 ผลของกระบวนการหาความแตกต่างของภาพ.....	35
รูปที่ 4.9 ข้อมูลเมื่อผ่านกระบวนการหาความแตกต่างของภาพ.....	36

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) เป็นเครือข่ายที่ประกอบด้วยเซนเซอร์โหนด (Sensor Node) หลายตัวที่ทำงานร่วมกัน โดยมีตัวตรวจจับทำหน้าที่เก็บข้อมูล โหนดสามารถส่งผ่านข้อมูลจากโหนดตัวหนึ่งไปยังอีกตัวหนึ่ง เพื่อนำข้อมูลไปประมวลผลที่เครื่องแม่ข่าย (Server station) เซนเซอร์โหนดเป็นอุปกรณ์สมองกลฝังตัวที่ประกอบด้วยหน่วยประมวลผลซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตัวตรวจจับสำหรับใช้วัดข้อมูลทางกายภาพ และมีโมดูลในการรับ-ส่งสัญญาณแบบไร้สายผ่านทางคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 โดยคุณลักษณะที่สำคัญของเซนเซอร์โหนดคือมีขนาดเล็ก ประหยัดพลังงานและสามารถปรับเปลี่ยนการทำงานได้ด้วยตัวเซนเซอร์โหนดเอง

ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในหลากหลายด้านเช่น การเก็บข้อมูลทางกายภาพของสิ่งแวดล้อม การเฝ้าระวังภัยธรรมชาติ และการเฝ้าระวังสัญญาณชีพของผู้ป่วยทางการแพทย์ เป็นต้น ซึ่งการประยุกต์ใช้งานในปัจจุบันมีความต้องการที่จะต้องเก็บข้อมูลภาพหรือเสียงมาเพื่อประมวลผลร่วมกับข้อมูลจากเซนเซอร์ทั่วไป ทำให้การตัดสินใจของระบบถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น อีกทั้งในปัจจุบันกล้องมีราคาถูกทำให้สามารถถูกนำมาใช้เป็นเซนเซอร์จับภาพ แต่เนื่องจากระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายมีข้อจำกัดในเรื่องของการใช้งานทรัพยากรต่างๆเช่น พลังงานบนโหนด ขนาดของหน่วยความจำที่มีจำกัด และแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ของระบบเครือข่ายที่ต่ำเป็นต้น ข้อจำกัดเหล่านี้เป็นปัญหากับการรับส่งข้อมูลภาพบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

จากข้อจำกัดของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย จึงทำให้มีการเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการส่งข้อมูลภาพจำนวนมาก และสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเด็นหลักคือ

1. ให้สามารถส่งภาพบนแบนด์วิดท์ที่ต่ำบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายได้อย่างมีประสิทธิภาพได้แก่ งานวิจัยเรื่องการบีบอัดภาพให้มีขนาดเล็ก เพื่อให้สามารถส่งข้อมูลภาพได้ การพัฒนาโพรโทคอลในการส่งภาพหรือข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ได้ การจัดการการส่งข้อมูลภาพแบบประหยัดพลังงาน เป็นต้น
2. ให้สามารถใช้ขนาดของหน่วยความจำที่มีอยู่จำกัด ได้แก่ งานวิจัยการบีบอัดภาพ จัดการการเก็บข้อมูล เป็นต้น

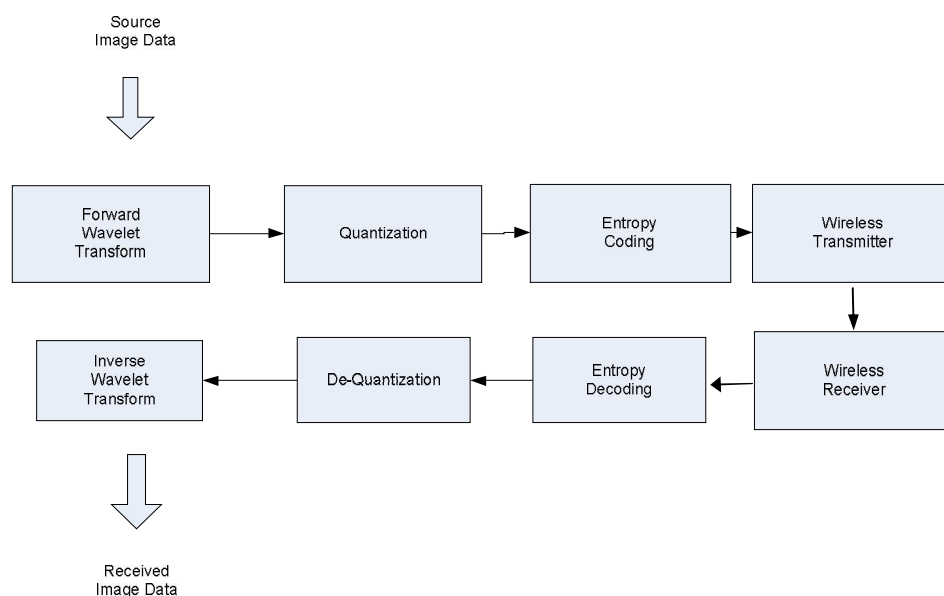
3. ให้สามารถใช้ประสิทธิภาพที่มีอยู่ของไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลภาพหรือจัดการกับภาพได้อย่างเหมาะสม เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพของการใช้พลังงานสูงสุด

ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอการพัฒนาเซนเซอร์โหนดส่งข้อมูลภาพบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่มีแบนด์วิดท์จำกัด โดยการวิเคราะห์และเลือกใช้วิธีการที่ไม่ซับซ้อนเนื่องจากมีข้อจำกัดของประสิทธิภาพของหน่วยประมวลผลบนเซนเซอร์โหนด ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอรูปแบบการจัดการข้อมูลรูปภาพที่มุ่งเน้นการลดปริมาณข้อมูลโดยอาศัยกระบวนการหาความแตกต่างของภาพก่อนทำการส่งข้อมูลภาพบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ซึ่งจะดำเนินการพัฒนาบนโหนดที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตระกูล ARM และใช้โมดูลสื่อสารไร้สายบนมาตรฐาน ZigBee ที่มีอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลที่ 250 kbps

## 1.2 ตรวจสอบเอกสาร

เซนเซอร์โหนดไร้สายสำหรับรับส่งข้อมูลภาพจะประกอบด้วยโมดูลกล้อง หน่วยประมวลผล และโมดูลสื่อสารไร้สาย ตัวอย่างของการพัฒนาเซนเซอร์ไร้สายรับส่งภาพได้แก่ eCAM [1], iMote2 + Cam [2] และ Cyclops [3] ซึ่งโหนดทั้งหมดนี้จะใช้โมดูลสื่อสารไร้สายคือ CC2420 หรือ TR1000 ที่เป็นมาตรฐาน IEEE 802.15.4 มีข้อจำกัดในการรับส่งข้อมูลขนาดใหญ่จึงไม่เหมาะสมในการส่งข้อมูลภาพ เพื่อเป็นการลดขนาดของข้อมูลจึงมีการนำกระบวนการบีบอัดข้อมูลมาใช้ก่อนที่จะส่งผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

การบีบอัดหรือการเข้ารหัสภาพตามมาตรฐานที่มีอยู่ทั่วไปได้แก่ JPEG และ JPEG2000[4] ซึ่งถูกนำมาใช้งานบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายโดย Chiasserini และคณะ[5] และ Feng และคณะ [6] วิธีการบีบอัดภาพสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การบีบอัดแบบ JPEG ซึ่งอาจจะมีการพัฒนาหรือปรับเปลี่ยนการเขียนโปรแกรม ได้แก่งานวิจัย [5-7] และการบีบอัดภาพแบบหลายลำดับชั้นด้วย JPEG2000 บนพื้นฐานของการบีบอัดแบบ wavelet [8-9] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่กล่าวถึงการบีบอัดข้อมูลเพื่อให้ได้ข้อมูลภาพที่มีขนาดเล็ก โดยอาศัยหลักการของ Lossy compression [10-12] คือการยอมให้ข้อมูลมีความผิดพลาดหรือผิดเพี้ยนของสีเพื่อให้ขนาดของข้อมูลภาพเล็กลง เหมาะสมกับการทำงานของโหนดที่มีขนาดหน่วยความจำจำกัดและความเร็วในการประมวลผลต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับคอมพิวเตอร์



รูปที่ 1.1 กระบวนการส่งข้อมูลภาพระหว่างโหนดบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายในงานวิจัย [10]

มีการนำเสนอวิธีการลดการใช้พลังงานสำหรับส่งข้อมูลภาพบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ซึ่งมีขั้นตอนของการส่งข้อมูลภาพระหว่างโหนดบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายดังรูปที่ 1.1 เมื่อข้อมูลรูปภาพเข้ามาจะผ่านกระบวนการทำ wavelet transform, quantization และเข้ารหัสข้อมูลก่อนจะส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เมื่อโหนดปลายทางได้รับข้อมูลก็จะทำกระบวนการย้อนกลับได้แก่ ถอดรหัส, quantization และ inverse wavelet transform ก่อนจะได้ข้อมูลภาพที่พร้อมใช้งาน

การบีบอัดข้อมูลสามารถลดขนาดของข้อมูลรูปภาพได้ แต่เมื่อพิจารณาแล้วจะพบว่าขนาดของข้อมูลสามารถลดได้มากกว่านี้ โดยเป็นการลดข้อมูลก่อนการบีบอัด เพราะในการนำไปติดตั้งใช้งานจริงนั้น ข้อมูลภาพที่ได้จากในแต่ละช่วงเวลามีความแตกต่างกันน้อยมากหรือไม่แตกต่างกันเลย ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องส่งข้อมูลภาพเดิมที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงซ้ำๆกันทุกครั้ง ผู้ทำวิทยานิพนธ์จึงได้ทำการศึกษาการประมวลผลภาพ (Image processing) โดยมีบทความน่าสนใจและสามารถนำมาใช้ในการพัฒนาเซนเซอร์โหนดรับส่งภาพคือการทำ Background subtraction [13-14]

การหาความแตกต่างของภาพคือการแยกวัตถุที่สนใจออกจากภาพโดยเรียกภาพทั้งหมดเป็นเสมือนภาพ Background และบริเวณของภาพที่เปลี่ยนแปลงเรียกว่าวัตถุ โดยมากใช้ในงานที่ต้องการแยกวัตถุออกจากภาพเพื่อนำข้อมูลของวัตถุไปประมวลผลร่วมกับอัลกอริทึมอื่น เช่นงานตรวจสอบความเคลื่อนไหวของวัตถุ และการระบุลักษณะจำเพาะวัตถุ [16-17] เป็นต้น ใน

กระบวนการทางการประมวลผลภาพ ส่วนมากจะทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพก่อนนำไปใช้งาน เพราะการวิเคราะห์ภาพที่ยังมีสิ่งรบกวนในภาพ (Noise) [17] อาจส่งผลต่อความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้

กระบวนการในการลดสิ่งรบกวนในภาพทำได้หลายวิธี แต่ที่นิยมกันคือการใช้ตัวกรองแบบมีเดียน (Median Filter) ซึ่งเป็นการตรวจสอบค่าสีของพิกเซล (Pixel) ที่ติดกัน หลังจากนั้นทำการเลือกค่าสีของพิกเซลที่มีค่าเป็นกลางไม่มากหรือน้อยที่สุดเป็นค่าสีของพิกเซลนั้นๆ กระบวนการนี้สามารถลดสิ่งรบกวนในภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำให้สามารถรักษาคุณภาพของภาพไว้ได้ หลักการนี้จึงได้เป็นที่นิยมและถูกนำไปใช้ในการพัฒนาอย่างกว้าง [17-18]

ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายนิยมใช้รูปแบบการส่งข้อมูลแบบมัลติฮอป (Multi-hop) หมายถึงการส่งข้อมูลผ่านโหนดกลาง (Intermediate node) มากกว่า 1 ตัวไปยังโหนดปลายทาง วิธีการส่งข้อมูลแบบนี้จะใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและช่วยเพิ่มอายุการทำงานของเครือข่าย แต่รูปแบบการส่งข้อมูลแบบมัลติฮอป สำหรับงานทางด้านการส่งภาพหรือมัลติมีเดียอาจก่อให้เกิดความล่าช้าของข้อมูล งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายในระดับของชั้นเครือข่าย (network layer) จึงมุ่งเน้นเรื่องของคุณภาพในการส่งภาพหรือเรียกว่า QoS (Quality of Service) ซึ่ง Younis และคณะ [19] ได้รวบรวมไว้ โดยการแบ่งงาน QoS เป็น 2 ส่วนคือ Timeliness และ Reliability ส่วนของ Timeliness ประกอบด้วยส่วน Integrated Service (IntServ) และ Differential Service (DiffServ) ตัวอย่างของ IntServ ได้แก่ โพรโทคอล SPEED ซึ่งในงานวิจัย [20] ได้นำเสนอโพรโทคอลค้นหาเส้นทางที่ชื่อ SPEED เพื่อรองรับการส่งข้อมูลภาพแบบเรียลไทม์ และตัวอย่างสำหรับ DiffServ ได้แก่ SAR [21] ที่นำเสนอโดย Sohrabi และคณะ โดยเน้นการส่งแพ็กเก็ต ตามลำดับความสำคัญที่ให้กับการไหลของข้อมูล และส่วนของ Reliability เน้นการส่งข้อมูลชุดเดียวกันซ้ำๆ ไปตามเส้นทางอื่นอีกเส้นทางหนึ่ง เพื่อเพิ่มความน่าจะเป็นของการส่งข้อมูลไปยังปลายทางได้สมบูรณ์โดยไม่มีข้อผิดพลาด ตัวอย่างของงานชนิดนี้ได้แก่ โพรโทคอล ReInForM [22] และ MMSPEED [23] แต่เนื่องจากในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่ได้มุ่งเน้นเรื่องของการพัฒนาชั้นเครือข่าย จึงได้เลือกใช้งานโพรโทคอลตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ใน ZigBee [24]

### ตารางที่ 1.1 สรุปเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

eCAM [1] iMote2 + Cam [2] Cyclops [3]	การทดลองในกลุ่มนี้แสดงให้เห็นถึงความพยายามในการลดการใช้พลังงาน โดยการนำรูปแบบการเข้ารหัสข้อมูลที่มีอยู่มาใช้งานเพื่อลดขนาดข้อมูลให้ดีขึ้นกว่าเดิม
JPEG2000[4] Chiasserini และคณะ[5] Feng และคณะ [6] wavelet [7-9]	การทดลองในกลุ่มนี้มองว่าการเข้ารหัสที่มีอยู่สามารถแก้ไขและพัฒนาให้ดีขึ้น โดยได้นำการเข้ารหัสข้อมูลที่มีอยู่มาพัฒนาต่อเพื่อลดขนาดของข้อมูลลงโดยเพิ่มเงื่อนไขบางอย่างในการบีบอัดข้อมูลของการเข้ารหัส
Younis และคณะ [20] SPEED [21] SAR [22] ReInForM [23] MMSPEED [24]	งานวิจัยกลุ่มนี้เป็นการทดลองเกี่ยวกับการส่งข้อมูลที่มีความต่อเนื่องของข้อมูล โดยกลุ่มการทดลองนี้ได้มองเรื่องความสำคัญของข้อมูล ทดลองอัลกอริทึมการจัดการข้อมูล และการจัดลำดับของการส่งข้อมูล เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือของข้อมูลในขั้นตอนการส่งข้อมูล

### 1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษารูปแบบการจัดการข้อมูลรูปภาพที่เหมาะสมสำหรับการส่งภาพบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย
2. เพื่อพัฒนาโหนดมาตรฐาน ZigBee ให้สามารถรองรับการส่งข้อมูลภาพได้

### 1.4 ขอบเขต

1. พัฒนาเซนเซอร์ โหนดเพื่อรองรับการส่งข้อมูลภาพบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ความถี่ 2.4 GHz มีอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดที่ 250 Kbps บนมาตรฐาน ZigBee
2. เครือข่ายที่ใช้ทดสอบการส่งข้อมูลภาพมีโหนดไม่เกิน 4 โหนด

### 1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

การดำเนินงานในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเอกสารที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ดังนี้
  - เทคนิคการใช้งานโมดูลภาครับส่งคลื่นวิทยุ XBee

- กระบวนการ รูปแบบและขั้นตอนการประมวลผลภาพ (Digital image processing)
  - เทคนิคการทำ Background subtraction
  - งานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. วิเคราะห์และออกแบบการจัดการข้อมูลรูปภาพ
- วิเคราะห์กระบวนการทำงานของการหาความแตกต่างของภาพ
  - การออกแบบการทำงานโดยใช้เทคนิคการคำนวณทางคณิตศาสตร์
3. ทดสอบและแก้ไขกระบวนการการจัดการข้อมูลรูปภาพ
- ทดสอบส่งข้อมูลภาพ
  - ทดสอบกระบวนการทำงานหาความแตกต่างของภาพ
  - วิเคราะห์หาข้อผิดพลาดและแนวทางในการปรับปรุงแก้ไข
  - ปรับปรุงการทำงานของโปรแกรมเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย
  - ทดสอบการทำงานหลังจากการปรับปรุงแก้ไขแล้ว
4. จัดทำเอกสารรายงานผลการทำวิจัยฉบับสมบูรณ์

## 1.6 เครื่องมือที่ใช้

1. ด้านฮาร์ดแวร์
- เครื่องคอมพิวเตอร์ ความเร็วหน่วยประมวลผลที่ 2.66 GHz และมีหน่วยความจำ 4 GB ฮาร์ดดิสก์ความจุ 320 กิกะไบต์ จำนวน 1 ชุด
  - XBee series 2 สำหรับการส่งข้อมูลไร้สาย
  - FriendlyARM mini2440 [25] ทำหน้าที่เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ของโหนด
2. ด้านซอฟต์แวร์
- ระบบปฏิบัติการ Microsoft Window XP
  - โปรแกรม Microsoft Visual Studio 2005
  - ระบบปฏิบัติการ Microsoft Window CE 6.0 (Evaluation License) บนโหนด

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วิธีการจัดการข้อมูลรูปภาพที่เหมาะสมสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย



2. ได้โหนดเซนเซอร์รับภาพไร้สายของตามอัลกอริทึม Background subtraction ในการจัดการข้อมูลรูปภาพที่ประหยัดกำลังงานและมีประสิทธิภาพสูงสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

### 1.8 สมมติฐานการทดลอง

1. สามารถลดปริมาณข้อมูลในการส่งข้อมูลรูปภาพบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย โดยใช้กระบวนการหาความแตกต่างของภาพเพื่อลดขนาดข้อมูลรูปภาพ
2. กระบวนการตรวจสอบความต่อเนื่องของพิกเซลสามารถตรวจสอบหาความแตกต่างของภาพได้ถึงแม้ภาพจะมีสิ่งรบกวนในกระบวนการหาความแตกต่างของภาพ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

ข้อมูลรูปภาพเป็นข้อมูลที่ต้องใช้ทรัพยากรหน่วยความจำมากสำหรับทำการเก็บข้อมูลบน โหนด การรับส่งข้อมูลรูปภาพบนเครือข่ายเช่นเซอร์ไวร์สายที่มีแบนด์วิดท์จำกัด สามารถทำได้แต่ต้องใช้เวลาและถึงแม้จะมีการบีบอัดข้อมูลรูปภาพแต่ขนาดของข้อมูลภาพก็ยังมีขนาดใหญ่เมื่อนำมาใช้งานบนเครือข่ายเช่นเซอร์ไวร์สาย ดังนั้นเพื่อลดปริมาณข้อมูลสำหรับการรับส่งข้อมูลภาพบนเครือข่ายเช่นเซอร์ไวร์สายให้เหลือน้อยที่สุด จึงควรส่งข้อมูลเฉพาะส่วนที่ต้องการเท่านั้น จึงมีแนวคิดในการใช้อัลกอริทึม Background subtraction เพื่อหาความต่างของภาพ โดยเป็นการนำรูปภาพสองรูปมาเปรียบเทียบค่าสีของรูป เพื่อแสดงจุดที่แตกต่างกันของรูปภาพทั้งสอง ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของข้อมูลภาพ การบีบอัดภาพ วิธีการหาความแตกต่างของภาพ สิ่งรบกวนในข้อมูลภาพ เทคนิคการออกแบบซอฟต์แวร์ มาตรฐานการส่งข้อมูลบนเครือข่ายเช่นเซอร์ไวร์สาย IEEE 802.15.4 และมาตรฐาน Zigbee

#### 2.1 ความหมายของข้อมูลภาพ

ภาพดิจิทัลเป็นข้อมูลภาพชนิดหนึ่งที่แสดงผลภาพในลักษณะสองมิติในหน่วยที่เรียกว่าพิกเซล (Pixel) ภาพดิจิทัลสามารถนิยามเป็นฟังก์ชันสองมิติ  $f(x, y)$  โดยที่  $x$  และ  $y$  เป็นพิกัดของภาพ และแอมพลิจูดของ  $f$  ที่พิกัด  $(x, y)$  ใดๆภายในภาพคือค่าความเข้มแสงของภาพ (Intensity) ที่ตำแหน่งนั้นๆ เมื่อ  $x, y$  และแอมพลิจูดของ  $f$  เป็นค่าจำกัด (Finite value) จึงเรียกรูปภาพนี้ว่าเป็นภาพดิจิทัล (Digital Image) และถ้ากำหนดให้ภาพ  $f(x, y)$  มีขนาด  $M$  แถวและ  $N$  คอลัมน์ และพิกัดของจุดกำเนิด (Origin) ของภาพคือที่ตำแหน่ง  $(x, y) = (0, 0)$  แล้ว จะสามารถเขียนสมการให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ได้ดังรูปที่ 2.1

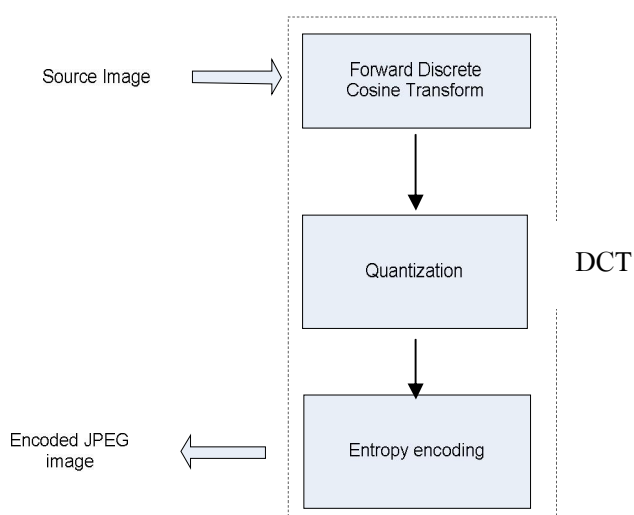
$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1, N-1) \end{bmatrix}$$

รูปที่ 2.1 สมการเมทริกซ์ของภาพ

จากรูปที่ 2.1 ค่าแต่ละค่าที่อยู่ในเมทริกซ์จะ เรียกว่าพิกเซล โดยตำแหน่ง (0,0) จะอยู่ทางด้านซ้ายมือสุดด้านบนของภาพ การจัดลำดับตำแหน่งของจุดภาพจะเรียงจากซ้ายไปขวาในแต่ละเส้นจุดและจัดลำดับ ของเส้นจุดจะเรียงจากบนลงล่างการเก็บค่าของความเข้มแสงของภาพดิจิทัลลงหน่วยความจำในลักษณะเส้นจุด(Raster) นี้จะเรียกภาพบิตแมป (Bit-mapped image) หรือภาพแรสเตอร์(Raster image) แต่ภาพที่จัดเก็บในลักษณะเช่นนี้จะมีขนาดใหญ่ จึงต้องมีการบีบอัดภาพ (Image compression) เพื่อให้ข้อมูลภาพมีขนาดเล็กลง

## 2.2 รูปแบบของการเข้ารหัส JPEG

JPEG ย่อมาจาก Joint Photographic Experts Group คือรูปแบบการบีบอัดเพิ่มภาพแบบยอมสูญเสีย ข้อมูลบางส่วน หรือหมายความว่าข้อมูลภาพเดิมบางส่วนจะหายไป และไม่สามารถเรียกคืน อาจจะมีผลกระทบต่อคุณภาพของภาพ เพราะสายตาของมนุษย์ไม่สามารถมองเห็นทุกช่วงความถี่ของสีได้ ดังนั้นการเข้ารหัสแบบ JPEG จะลบในช่วงความถี่ของสีที่ตามนุษย์ไม่สามารถมองเห็นออกไปทำให้มีขนาดของข้อมูลเล็กลง รูปแบบเพิ่มสำหรับวิธีการนี้ได้แก่ .jpeg, .jpg, .jpe, .jif, .jfif รูปแบบเพิ่ม JPEG นี้ เป็นรูปแบบเพิ่มที่ใช้กันในการจัดเก็บและแลกเปลี่ยนรูปภาพบนอินเทอร์เน็ตมากที่สุด โดยเฉพาะภาพถ่าย เนื่องจากสามารถเก็บความละเอียดสูงได้โดยใช้ขนาดไฟล์ที่เล็ก สามารถเก็บภาพสีได้หลากหลายระดับความแม่นยำของสี (Bit depth) ความสามารถในการย่อขนาดไฟล์ของเพิ่ม JPEG นั้นเกิดจากการใช้เทคนิคการย่อขนาดภาพแบบการบีบอัดคงข้อมูลหลัก (Lossy compression) หรือการบีบอัดแบบมีความสูญเสียข้อมูลบางส่วนได้



รูปที่ 2.2 การเข้ารหัส JPEG

การบีบอัดของ JPEG นั้นจะใช้เทคนิคที่เรียกว่า DCT (Discrete Cosine Transform) ซึ่งเป็นการแปลงค่าความสว่างของภาพให้อยู่ในรูปแบบเชิงความถี่ (Frequency Domain) ทำให้สามารถเลือกแทนค่าของสัมประสิทธิ์หรือในที่นี้คือแอมพลิจูดของค่าความถี่ต่างๆ ได้โดยอาศัยตัวแปรที่มีนัยสำคัญที่ต่างกัน ได้ การที่สามารถลดนัยสำคัญของค่าตัวเลขลงไปได้ทำให้สามารถลดขนาดของหน่วยความจำ หรือขนาดไฟล์ที่ใช้เก็บได้ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.2 และการถอดรหัสจะเป็นกระบวนการย้อนกลับ

การทำงานของ DCT ในกระบวนการบีบอัดภาพชนิด JPEG แบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนแรกคือการทำ FDCT หรือ Forward Discrete Cosine Transform [15-17] เป็นกระบวนการแปลงข้อมูลภาพจากข้อมูลดิบ โดยการแบ่งภาพออกเป็นตารางเล็ก ๆ ขนาด 8 x 8 จุด เรียกว่า Block มีข้อมูลของภาพเป็น Luminance (Y) และข้อมูลสี (Color difference) เป็น CB/CR การแปลงข้อมูลในส่วนนี้จะไม่มีการเสียหายของข้อมูล

ขั้นตอนที่สองคือกระบวนการ Quantization ซึ่งเป็นการลดข้อมูล และอาจทำให้ข้อมูลบางส่วนหายไป เนื่องจากข้อมูลที่เกิดขึ้นที่ DCT มีเป็นจำนวนมาก และมีกลุ่มของข้อมูลจำนวนมากซึ่งมีผลต่อการมองเห็นด้วยสายตาของมนุษย์น้อยมาก ทำให้การกำจัดข้อมูลดังกล่าวจะช่วยให้ข้อมูลมีขนาดเล็กลงและส่งผลกระทบต่อภาพน้อย ซึ่งกระบวนการนี้ไม่สามารถทำย้อนกลับได้ จึงเป็นที่มาของการบีบอัดข้อมูลชนิดยอมให้ข้อมูลบางส่วนเสียหายได้

### 2.3 อัลกอริทึมหาความแตกต่างของภาพ

ข้อมูลภาพดิจิทัลประกอบด้วยจุดเล็กๆที่เรียกว่า พิกเซล แต่ละพิกเซล มีค่าสี 3 สีคือ Red (R), Green (G) และ Blue (B) ซึ่งการประมวลผลใดๆต้องกระทำใน 3 ดังกล่าว แต่ในสี Grayscale มีค่าสีตั้งแต่ 0 – 255 ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ค่าแบบ Grayscale

อัลกอริทึมสำหรับหาความแตกต่างของภาพคือการเปรียบเทียบค่าสีของภาพ 2 ภาพ ซึ่งต้องมีการกำหนดภาพ 1 ภาพเป็นข้อมูลภาพหลักสำหรับเปรียบเทียบกับข้อมูลภาพอื่นๆที่เข้ามา โดยเรียกข้อมูลภาพหลักว่า Background กระบวนการหาความแตกต่างของภาพจะกระทำกับข้อมูลภาพในระดับพิกเซล ต่อพิกเซล ของทั้ง 2 ภาพ

255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	243	224	255	255	255	123	121	111	255
255	255	255	243	255	255	112	121	114	255
255	153	213	234	255	255	153	123	234	255
255	125	152	125	255	255	125	152	125	255
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255

รูปที่ 2.3 (ก) ค่าสีภาพหลักดั้งเดิม, (ข) ค่าสีภาพเข้ามาใหม่

การเปรียบเทียบค่าสีของภาพ 2 ภาพหมายถึงการเปรียบเทียบค่าพิกเซลต่อพิกเซลของทั้ง 2 ภาพ ดังรูปที่ 2.3 กำหนดให้รูปที่ 2.3 (ก) เป็นค่าสีภาพหลักดั้งเดิม และรูปที่ 2.3 (ข) เป็นค่าสีของภาพที่เข้ามาใหม่ ซึ่งการเปรียบเทียบสามารถอธิบายได้ด้วยสมการ

$$O = I - B$$

เมื่อกำหนดให้ O คือ Object หรือผลของการหาความแตกต่างของภาพ

I คือ ภาพที่เข้ามาใหม่สำหรับการเปรียบเทียบ

B คือ ภาพหลัก

0	0	0	0	0
0	123	121	111	0
0	112	121	114	0
0	0	123	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

รูปที่ 2.4 ค่าสีภาพเมื่อลบภาพหลักออก

กระบวนการหาความแตกต่างของภาพเป็นการตัดพื้นหลังออกดังนั้นเมื่อผ่านกระบวนการดังกล่าวข้อมูลสุดท้ายมีเพียงส่วนของข้อมูลที่เข้ามาใหม่ดังรูปที่ 2.4 อัลกอริทึมนี้ใช้ได้ดีกับงานที่ภาพโดยรวมไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เพื่อตรวจสอบจุดที่เปลี่ยนไปของภาพ

## 2.4 สิ่งรบกวนในข้อมูลรูปภาพ

สิ่งรบกวน (Noise) ในข้อมูลภาพคือสิ่งรบกวนในภาพโดยเกิดได้จากหลายสาเหตุ โดยเฉพาะขนาดของตัวตรวจรับภาพขนาดเล็กส่งผลให้มีโอกาสการเกิดสิ่งรบกวนได้สูง

255	255	255	255	255
255	243	224	10	255
255	25	255	243	255
255	153	213	234	255
255	125	50	125	255
255	255	255	255	255

รูปที่ 2.5 ค่าสีภาพที่มีสิ่งรบกวน

ค่าสีของจุดพิกเซลที่มีค่าแตกต่างจากจุดโดยรอบนั้นสามารถมองเป็นสิ่งรบกวนในภาพดังค่าสีดังรูปที่ 2.5 พบว่าค่าสีของทุกพิกเซลมีค่ามากกว่า 100 ในเกือบทุกพิกเซลของทั้ง block ยกเว้นมีเพียง 3 พิกเซลที่มีค่าสีแตกต่างจากจุดอื่นๆ โดยรอบ คือมีค่าสีที่ 10, 25 และ 50 ดังนั้นจึงอาจจะสามารถมองว่าจุดพิกเซลนั้นคือสิ่งรบกวน

## 2.5 เทคนิคการออกแบบซอฟต์แวร์

การออกแบบซอฟต์แวร์ สำหรับการทำงานบนสมองกลฝังตัว ซึ่งมีข้อจำกัดหลายด้านที่สำคัญ เช่น พลังงาน ความสามารถในการประมวลผล และขนาดของหน่วยความจำ การประมวลผลที่ซับซ้อนและจำเป็นต้องใช้หน่วยความจำ (Memory) สูงจึงไม่เหมาะสำหรับการทำงานบนสมองกลฝังตัว ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องออกแบบการทำงานของซอฟต์แวร์ให้สามารถทำงานบนทรัพยากรที่จำกัด คือ ไม่ซับซ้อน และใช้หน่วยความจำน้อย เป็นต้น

การลดสิ่งรบกวนในภาพก่อนเข้ากระบวนการหาความแตกต่างของภาพ ต้องประมวลผลภาพมากกว่า 2 รอบของข้อมูล และด้วยวัตถุประสงค์ในการส่งภาพไม่จำเป็นต้องลดสิ่งรบกวนในข้อมูลภาพ ก่อนการส่งข้อมูลบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ดังนั้นเพื่อลดการทำงานจึงนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับขั้นตอนของการหาความแตกต่างของภาพ โดยเพิ่มเงื่อนไขของการเปรียบเทียบความต่อเนื่องของจุดพิกเซล ที่พบความต่างของค่าสี เมื่อตรวจสอบพบพิกเซลที่มีความต่างของค่าสี ต้องเปรียบเทียบจุดพิกเซลบริเวณ โดยรอบของพิกเซลดังกล่าว ในกรณีเมื่อเปรียบเทียบ

ค่าสีของจุดพิกเซล โดยรอบไม่พบความแตกต่างของค่าสี แสดงว่าจุดพิกเซล นั้นคือสิ่งรบกวนและคิดเสมือนว่าจุดนั้นๆไม่มีความแตกต่างของค่าสี

## 2.6 มาตรฐาน 802.15.4

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 [5] เป็นมาตรฐานสำหรับการสื่อสารระยะใกล้ที่เน้นการใช้พลังงานและแบนด์วิดท์ต่ำ โดยกำหนดมาตรฐานขึ้นใน 2 Layer ของเครือข่าย คือ Physical (PHY) and Medium Access Control (MAC)

Physical (PHY) layers จะกำหนดรูปแบบมาตรฐานความถี่ของคลื่นในการเชื่อมต่อ 3 ความถี่ คือ 2.4 GHz, 915 MHz และ 868 MHz โดยแต่ละความถี่การใช้งานขึ้นกับประเทศได้อนุญาตให้คลื่นความถี่ใดเป็นคลื่นความถี่เสรี เช่น ประเทศไทยอนุญาตให้คลื่นความถี่ 2.4 GHz เป็นความถี่ที่สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องขออนุญาตจากผู้ดูแลคลื่นความถี่ของประเทศไทย

Medium Access Control (MAC) layers จะกำหนดรูปแบบการติดต่อสร้างความน่าเชื่อถือซึ่งจะกำหนดที่รูปการการเชื่อมต่อแบบซิงเกิลฮอป (single-hop)

## 2.7 มาตรฐาน ZigBee

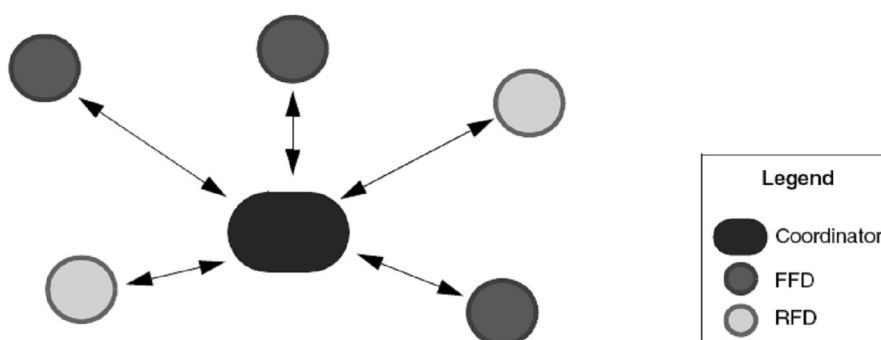
ZigBee เป็นมาตรฐานการสื่อสารที่ออกแบบขึ้นสำหรับการสื่อสารในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) โดยเป็นการสร้างมาตรฐานการสื่อสารต่อเนื่องมาจากมาตรฐานการสื่อสารระยะสั้น IEEE 802.15.4 ที่เน้นการสื่อสารแบบประหยัดพลังงาน ความเร็วการรับส่งข้อมูลต่ำ โดยเพิ่มเติมมาตรฐานการเชื่อมต่อเครือข่ายในชั้น 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 มีหน้าที่เพิ่มระยะให้กับระบบเครือข่ายและเพิ่มจำนวนของจุดเชื่อมต่อ

### 2.7.1 รูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่าย

มาตรฐาน ZigBee ซึ่งประกอบด้วยโหนดที่มีหน้าที่แตกต่างกัน 3 ชนิดคือ Coordinator, End device และ Router สามารถนำมาเชื่อมต่อเป็นเครือข่ายได้ 3 รูปแบบดังนี้

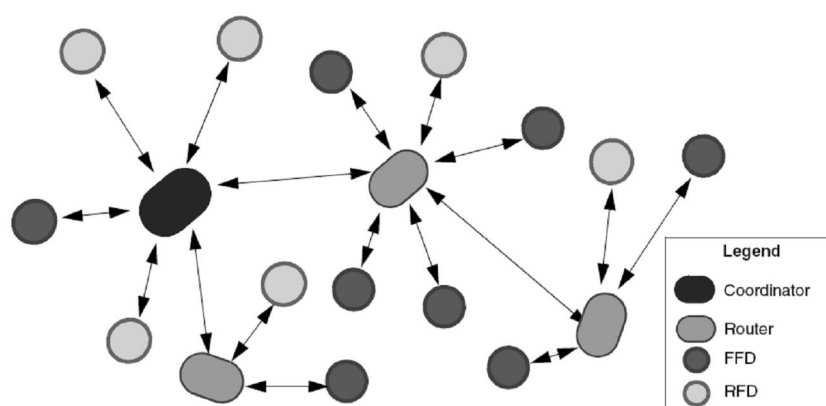
#### 2.7.1.1 Star Network



รูปที่ 2.6 โครงสร้างเครือข่ายแบบ Star

Star Network ประกอบด้วย Coordinator หนึ่งตัวและ End device หนึ่งตัวขึ้นไป ดังรูปที่ 2.6 โดย End device ทุกตัวจะติดต่อกับ Coordinator เท่านั้น หาก End device ต้องการส่งข้อมูลไปยัง End device ตัวอื่น ก็จะต้องส่งไปยัง Coordinator แล้ว Coordinator จะส่งต่อไปยัง End device เป้าหมาย

#### 2.7.1.2 Cluster tree



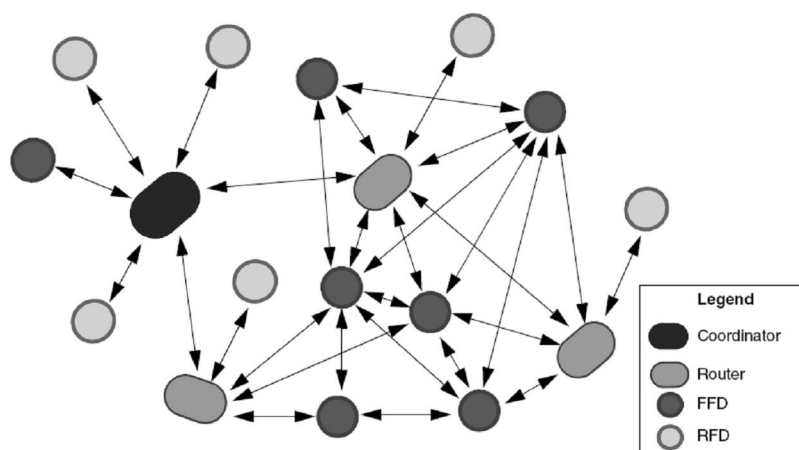
รูปที่ 2.7 โครงสร้างเครือข่ายแบบ Cluster



Cluster tree จะมี Router เพิ่มมาจาก Star Network โดย End device จะสามารถติดต่อกับ Router หรือ Coordinator ก็ได้ ดังรูปที่ 2.7

Router จะทำหน้าที่ 2 อย่างคือ เพิ่มจำนวนโหนด ที่สามารถเข้าร่วมในระบบ Network และเพิ่มระยะทางทางกายภาพของระบบ ทำให้ End device สามารถอยู่นอกระยะของสัญญาณวิทยุของ Coordinator

### 2.7.1.3 Mesh Network



รูปที่ 2.8 โครงสร้างเครือข่ายแบบ Mesh

Mesh Network จะคล้ายกับ Cluster tree แตกต่างตรงที่ FFD ของ Mesh Network จะสามารถส่งข้อมูลระหว่างกันได้โดยตรง ดังรูปที่ 2.8 ข้อดีของระบบนี้คือ สามารถลดการส่งข้อมูลภายใน (Message latency) และเพิ่มความน่าเชื่อถือ (Reliability) ให้กับระบบ

## 2.8 XBee



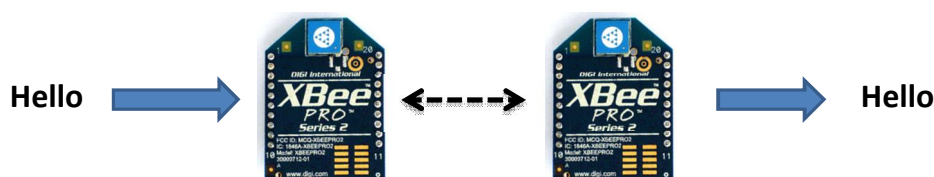
รูปที่ 2.9 อุปกรณ์ภาครับส่งไร้สาย XBee

XBee คือ อุปกรณ์ที่มี Microcontroller และ โมดูลภาครับส่งคลื่นวิทยุ (RF IC) รวมอยู่ภายใน สามารถทำงานเป็นอุปกรณ์สำหรับการรับส่งข้อมูลแบบไร้สายบนเครือข่ายเซนเซอร์

ไร้สาย โดย XBee ทำงานลักษณะ Half Duplex คือไม่สามารถรับและส่งข้อมูลได้พร้อมกันในเวลาเดียวกัน XBee เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ด้วย UART (TTL) ซึ่ง XBee มีการใช้มาตรฐาน ZigBee ในการเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สาย

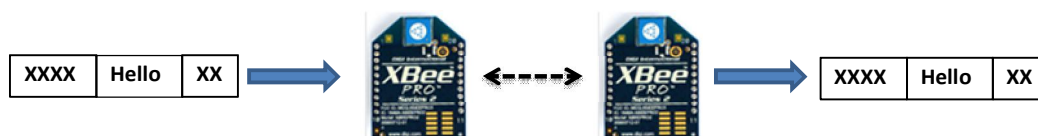
### 2.8.1 AT Mode และ API Mode

XBee สามารถกำหนดรูปแบบการใช้งานได้ 2 ลักษณะการทำงานคือ รูปแบบการทำงานแบบ AT และรูปแบบการทำงานแบบ API โดย 2 รูปแบบนี้มีการใช้งานแตกต่างกันอย่างชัดเจน



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างใช้งานรูปแบบการทำงาน AT ของ XBee

จากรูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างการใช้งานในรูปแบบ AT สามารถทำงานได้โดยการส่งเฉพาะข้อมูลที่ต้องการ (Data) ผ่านทาง UART หรือพอร์ตอนุกรม โดยรูปแบบแพ็กเก็ต ทั้งหมด XBee จะเป็นสร้างแพ็กเก็ต ขึ้นมาด้วยตัวเอง



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างใช้งานรูปแบบการทำงาน API ของ XBee

จากรูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างการใช้งานรูปแบบ API ซึ่งผู้ใช้งานต้องสร้างแพ็กเก็ตให้สมบูรณ์แล้วส่งแพ็กเก็ตที่สมบูรณ์ โดยการส่งงาน XBee ผ่านทาง UART



รูปที่ 2.12 รูปแบบแพ็กเก็ต ของ XBee

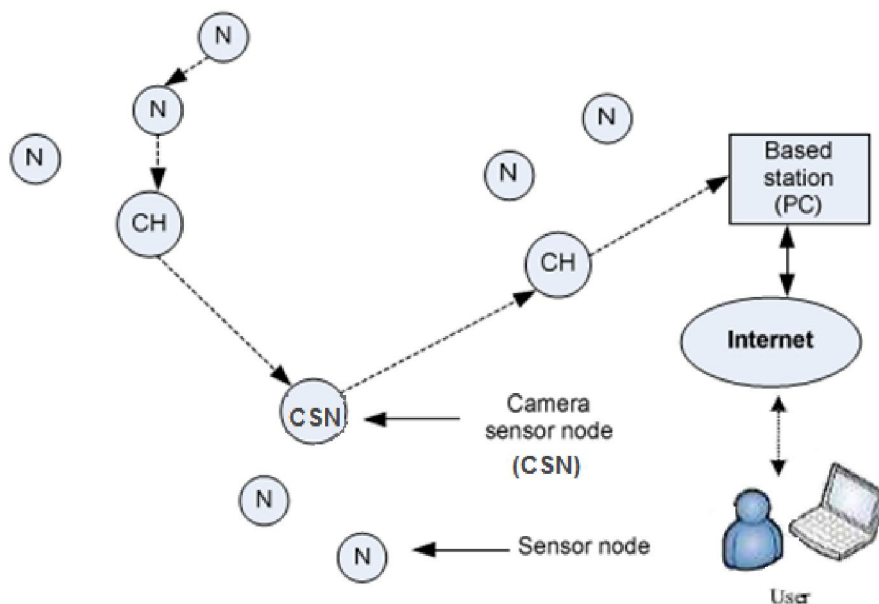
จากรูปที่ 2.12 แสดงรูปแบบของแพ็กเก็ต ตามมาตรฐานการสื่อสารบนอุปกรณ์ XBee ซึ่งประกอบด้วย 4 ส่วนคือ 1) Start Delimiter มีขนาด 1 ไบต์ 2) Length กำหนดความยาวของแพ็กเก็ตมีขนาด 2-3 ไบต์ 3) ส่วนของข้อมูลหรือเรียกว่า Frame Data และ 4) Checksum มีขนาด 1 ไบต์สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

### บทที่ 3

#### การออกแบบและวิธีทดสอบระบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงภาพรวมของระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายสำหรับรับส่งข้อมูลภาพ การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ และวิธีในการจัดการข้อมูลรูปภาพด้วยการหาความแตกต่างของภาพ เพื่อลดปริมาณข้อมูลบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย พร้อมทั้งออกแบบขั้นตอนของการทดสอบและเก็บผลการทดลองโดยการหาเวลาในการรับส่งข้อมูล

#### 3.1 ภาพรวมของระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายสำหรับรับส่งข้อมูลภาพ

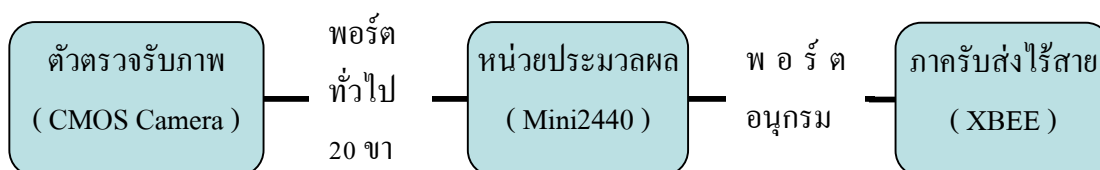


รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายของการรับส่งข้อมูลภาพ

โครงสร้างของระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายของการรับส่งข้อมูลภาพดังแสดงในรูปที่ 3.1 เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานด้านการเกษตร ระบบจะประกอบไปด้วยสถานีฐานหรือ Based station พัฒนาขึ้นด้วยการใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหรือ Personal Computer (PC) เป็นส่วนของการทำหน้าที่เป็นเครื่องแม่ข่าย บันทึกข้อมูล วิเคราะห์และแสดงผลซึ่งสามารถทำได้หลายรูปแบบ โดยมีความสามารถให้ผู้ใช้ เรียกดูข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต สถานีฐานจะรับข้อมูลจากเซนเซอร์โหนดที่ทำหน้าที่เป็นโหนดหัวหน้าหรือ Cluster Head (CH) โหนดหัวหน้านอกจากจะทำหน้าที่

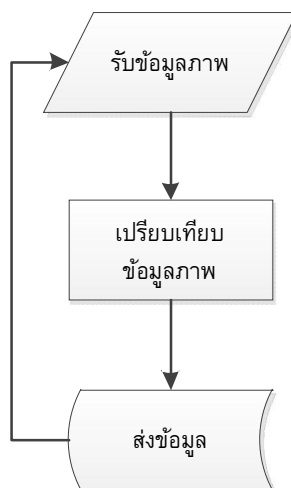
รวบรวมข้อมูลจากโหนดสมาชิกหรือที่เรียกว่าโหนด N ดังรูปที่ 3.1 แล้ว โหนดหัวหน้ายังทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อกับตัวตรวจรับภาพได้อีกด้วย เนื่องจากโหนดหัวหน้าจะมีพลังงานมากกว่าโหนดทั่วไป และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง รองรับการประมวลผลข้อมูลภาพได้ในวิทยานิพนธ์นี้จึงเรียกโหนดหัวหน้าที่มีตัวตรวจรับภาพว่า Camera Sensor Node (CSN) โดยโหนดทั้งหมดในเครือข่ายจะสื่อสารแบบไร้สายบนมาตรฐาน IEEE 802.15.4 และใช้โปรโตคอล ZigBee เป็นมาตรฐานในชั้นเครือข่ายตั้งแต่ระดับชั้น Network ขึ้นไป

เมื่อ Camera sensor node (CSN) ได้รับข้อมูลภาพใหม่เข้ามา จะนำข้อมูลรูปภาพนั้นๆมาเปรียบเทียบกับรูปภาพเดิมที่ได้เก็บไว้ก่อนหน้า เพื่อทำการหาความแตกต่างของภาพ โดยได้ทำการออกแบบการทำงานของการทำงานของการหาความแตกต่างของภาพตามระเบียบวิธีได้แสดงไว้หัวข้อ 3.2 หลังจากนั้นผลลัพธ์จากการหาความแตกต่างของภาพนั้นจะถูกนำส่งกลับไปวิเคราะห์ตามรูปแบบของการสื่อสารบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ทั้งแบบโหนดปลายทางและโหนดต้นทางสามารถสื่อสารกันได้โดยตรง (Single hop) หรือโหนดปลายทางและโหนดต้นทางไม่สามารถสื่อสารโดยตรงกันได้จำเป็นต้องมีโหนดอยู่ระหว่างทางเพื่อทำการส่งต่อข้อมูลระหว่างกัน (Multi hop) โดยที่กระบวนการค้นหาเส้นทางในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้โปรโตคอลค้นหาเส้นทางของ ZigBee



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของโหนดรับภาพแบบไร้สาย

Camera sensor node ประกอบด้วย 3 โมดูลคือส่วนของตัวตรวจรับภาพ (CMOS Camera) ไมโครคอนโทรลเลอร์ และ ภาครับส่งคลื่นความถี่วิทยุโดยเลือกใช้ไอซีของ XBee ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่เป็นส่วนของการควบคุมและประมวลผลหลักติดต่อกับ CMOS Camera ผ่านทางพอร์ตทั่วไปขนาด 20 ขา ซึ่งได้ถูกออกแบบมาสำหรับบอร์ด mini2440 และติดต่อกับโมดูล XBee ซึ่งเป็นโมดูล สำหรับสื่อสารแบบไร้สายบนคลื่นความถี่ 2.4 GHz ซึ่ง XBee ติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.3 การทำงานของ Camera sensor node

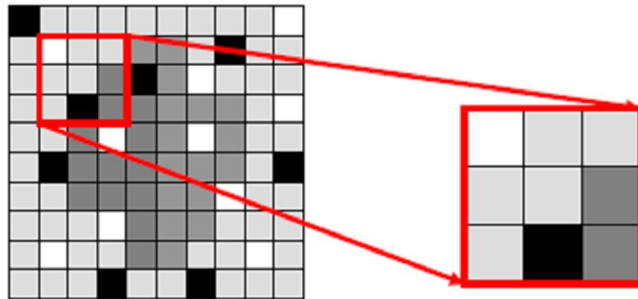
กระบวนการทำงานเริ่มจาก Camera sensor node และสถานีฐานมีภาพตั้งต้นที่เหมือนกันดังรูปที่ 3.3 เมื่อ Camera sensor node ได้รับข้อมูลภาพใหม่มาก็เริ่มกระบวนการตรวจสอบความต่างจาก 2 ภาพ หลังจากนั้นก็เลือกเฉพาะบริเวณที่มีความแตกต่าง โดยโหนดจะเก็บตำแหน่งพิกัดตั้งต้นและสุดท้ายไว้ Camera sensor node จะส่งเฉพาะผลที่ได้จากการเปรียบเทียบว่าตำแหน่งใดที่มีความแตกต่าง โดยส่งข้อมูลใหม่พร้อมตำแหน่งพิกัดกลับไปให้สถานีฐาน เพื่อปรับปรุงรูปภาพเดิม จากกระบวนการนี้จะช่วยให้โหนดไม่จำเป็นต้องส่งทุกภาพไปยังสถานีฐาน ช่วยให้โหนดประหยัดพลังงานและลดปริมาณข้อมูลในเครือข่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ประยุกต์ใช้งานทางการเกษตรเพื่อทำการตรวจสอบสภาพของต้นไม้ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก หรือในระบบป้องกันผู้บุกรุก ที่ระบบจะส่งภาพในกรณีที่มีความผิดปกติหรือมีวัตถุใหม่เคลื่อนเข้ามาในภาพเท่านั้น

การทำงานของ Camera sensor node จะเป็นการทำงานในลักษณะวนซ้ำ โดยเมื่อรับภาพเข้ามาก็จะทำการหาความแตกต่างของภาพแล้วจึงส่งผลลัพธ์ที่ได้ ขณะที่กล้องตรวจจับจะส่งภาพใหม่เข้ามาที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงตั้งค่าไม่อนุญาตให้ Camera sensor node ถูกขัดจังหวะการทำงาน

### 3.2 พัฒนาการกระบวนการวิธี Background subtraction

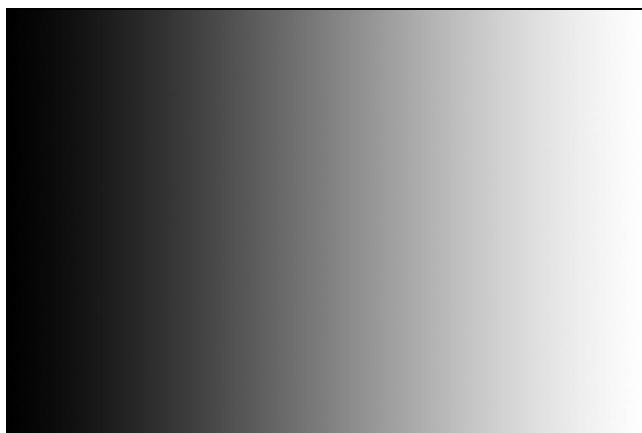
การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการทำงานบนสมองกลฝังตัวซึ่งมีความสามารถในการประมวลผลต่ำเมื่อเทียบกับคอมพิวเตอร์ ส่งผลให้ไม่สามารถคำนวณงานที่มีความซับซ้อนมาก อีกทั้งเพื่อช่วยลดการใช้พลังงาน การพัฒนาโปรแกรมบนสมองกลฝังตัวจึงจำเป็นต้องลดความซับซ้อนของโปรแกรม เนื่องจากจุดพิกเซลของภาพแต่ละภาพไม่ได้มีค่าตรงกันเสมอไป ภาพอาจมี

สิ่งรบกวนได้ ซึ่งสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นในภาพทำให้เห็นถึงความไม่สม่ำเสมอของภาพ ที่อาจจะเกิดจากความสว่างและสีของภาพ ดังนั้นก่อนที่จะนำรูปภาพเข้าสู่กระบวนการหาความแตกต่างของภาพควรผ่านกระบวนการลดสิ่งรบกวนในข้อมูลภาพก่อน



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับจุดสีดำคือสิ่งรบกวน

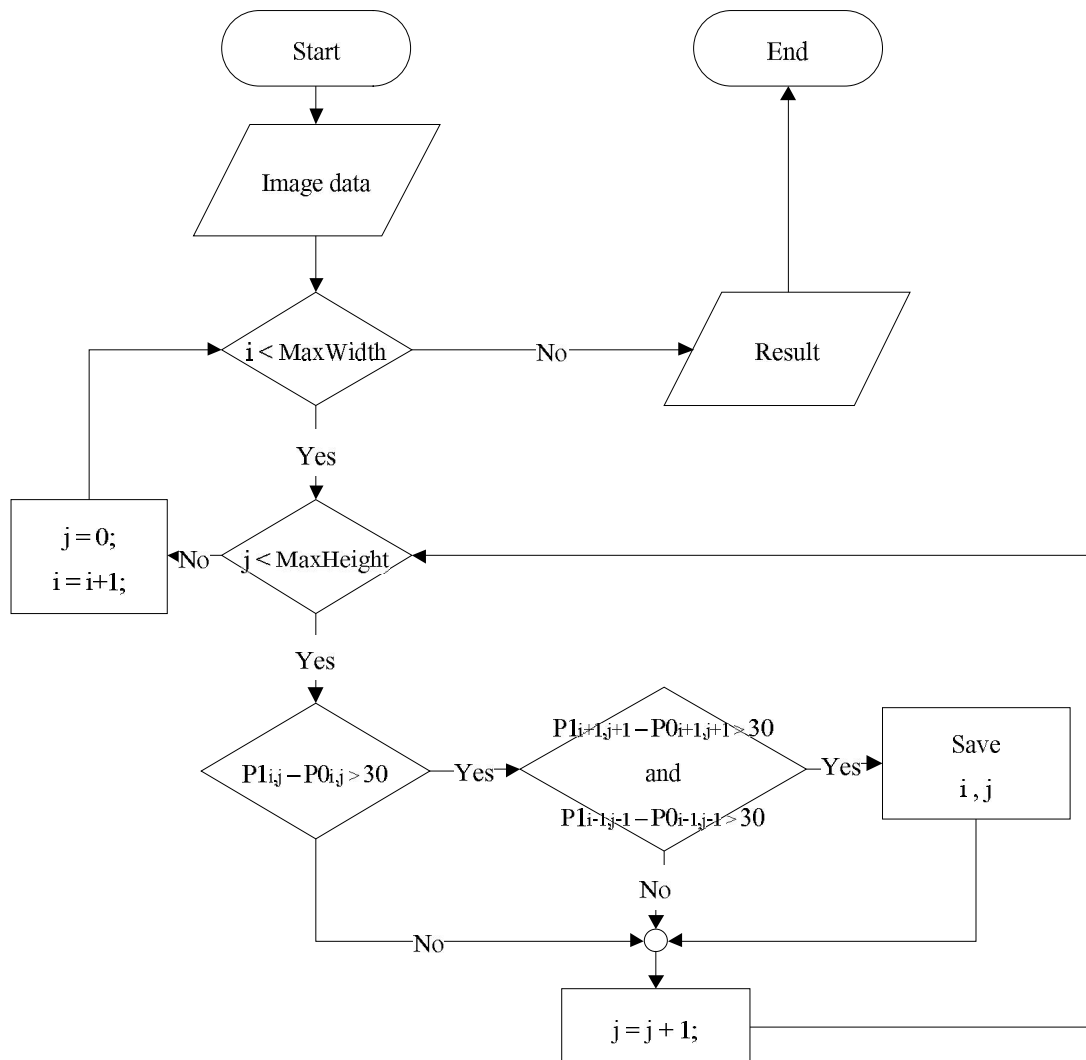
เพื่อลดระยะเวลาที่จะต้องใช้ในการหาและกำจัดสิ่งรบกวนในข้อมูลภาพ อีกทั้งลดภาระการทำงานของระบบสมองกลฝังตัวจึงนำเสนอวิธีการเปรียบเทียบความต่อเนื่องของสีภาพด้วยการประมวลผลเพียง 1 สีแทนการเปรียบเทียบทั้ง 3 สี (RGB) จากพื้นฐานที่ว่าสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นในภาพดังรูป 3.4 คือจุดสีดำที่เกิดขึ้นไม่มีความต่อเนื่องกับสีบริเวณข้างเคียง ทำให้เห็นถึงความไม่สม่ำเสมอของภาพทั้งความสว่างและสี ดังนั้นเราจึงนำข้อมูลภาพมาทำการหาความแตกต่างของภาพโดยการเพิ่มส่วนของการพิจารณาความต่อเนื่องของสีที่เกิดขึ้นไปพร้อมกัน ปกติการเปรียบเทียบภาพจะต้องใช้ค่าทั้ง 3 สี แต่เพื่อเป็นการลดการประมวลผลจึงเลือกสีที่นำมาประมวลผลเพียง 1 สี ทำให้ลดเวลาของการประมวลผลได้ 3 เท่า แม้ว่าวิธีการนี้จะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดของสีที่ตรวจสอบ แต่ความผิดพลาดดังกล่าวมีค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ไม่เกิน 30%



### รูปที่ 3.5 ระดับของสีแบบ gray scale

ค่าความต่างของสีจะเกี่ยวข้องกับแสงที่ตกกระทบบนภาพ ดังรูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นระดับสีตั้งแต่ค่า 0 ถึง 255 เมื่อแสงเปลี่ยนไปถึงแม้เป็นวัตถุเดิมข้อมูลภาพที่ได้รับก็เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ดังนั้นการเปรียบเทียบความแตกต่างของสีภาพจึงมีการกำหนดค่าที่ใช้เป็นการเปรียบเทียบไว้ที่ 70 คิดจาก 30% ของค่าสีสูงสุดคือ 255 เนื่องจากช่วงของค่าสี 1 สีมียุคตั้งแต่ 0 ถึง 255 ฉะนั้นการที่จุดของภาพ 2 จุด ของ 2 ภาพนั้นแตกต่างกันหรือไม่จะต้องให้ค่าของสีมีความแตกต่างเกิน 70 นั่นเอง การหาความแตกต่างของภาพแบบปกติจะพบสิ่งรบกวนเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากกระจายทั่วไปทั้งภาพ ดังนั้นเมื่อภาพที่มีสิ่งรบกวนผ่านกระบวนการนี้ก็จะช่วยลดสิ่งรบกวนในข้อมูลภาพที่อาจจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการตัดสินใจเก็บค่าตำแหน่งที่แตกต่างของภาพ โดยการนำความรู้ที่ว่าสิ่งรบกวนของภาพนั้นจะไม่ต่อเนื่องเป็นเพียงการกระจายทั่วไป ซึ่งถ้าจุดความแตกต่างไม่ต่อเนื่องในบริเวณมากกว่า 3x3 พิกเซล จะตัดสินใจว่าจุดพิกเซล นั้นคือสิ่งรบกวนของภาพ และจะไม่สนใจข้อมูลจากจุดนั้น รายละเอียดจะได้อธิบายเพิ่มเติมในรูปที่ 3.6





รูปที่ 3.6 ลำดับการทำงานของกระบวนการ Background subtraction ของวิทยานิพนธ์

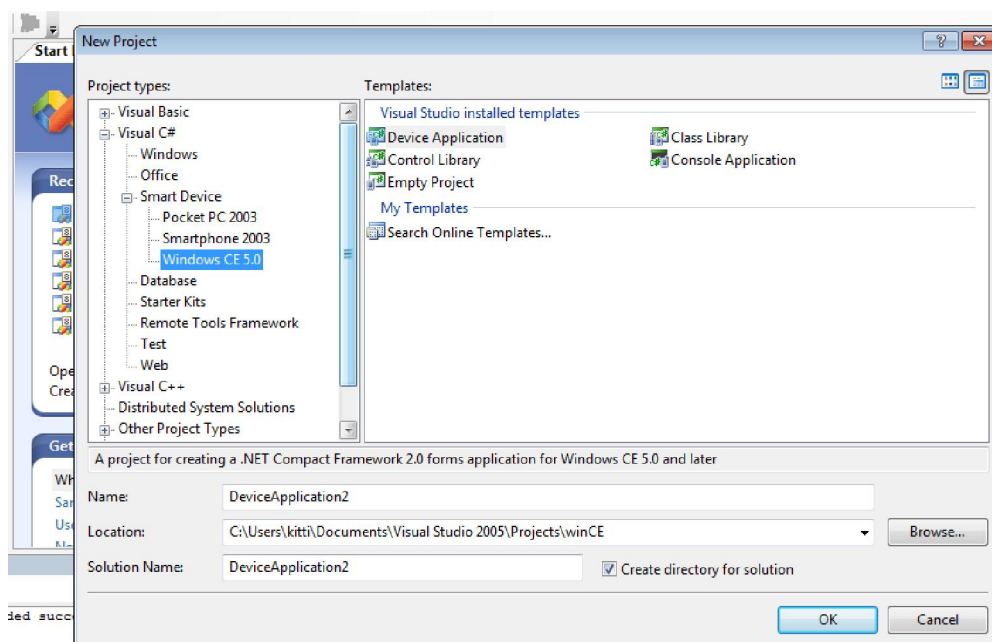
การพัฒนาระเบียบวิธีการหาความแตกต่างของภาพบนระบบปฏิบัติการ Windows CE การพัฒนาเน้นลดความซับซ้อนของโปรแกรมดังรูปที่ 3.6 กำหนดให้  $i$  และ  $j$  แทนจำนวนแถว (Row) และสดมภ์ (Column) ลำดับการทำงาน  $P1$  และ  $P0$  แทนค่าสีพิกเซลของภาพใหม่และภาพตั้งต้นตามลำดับ เมื่อข้อมูลภาพใหม่เข้าสู่ระบบ ระบบจะนำข้อมูลภาพใหม่มาตรวจสอบขนาดของจำนวนแถวและสดมภ์ของภาพ โดยอยู่บนสมมติฐานที่ว่าจำนวนแถวและสดมภ์ต้องเท่ากันทุกภาพ หลังจากนั้นระบบจะตรวจสอบโดยเปรียบเทียบค่าสีของภาพตั้งต้นและภาพใหม่ ในการตรวจสอบจะเปรียบเทียบค่าสีเพียงสีเดียว โดยเปรียบเทียบพิกเซลต่อพิกเซลของทั้ง 2 ภาพ การประมวลผลเพียงเท่านั้นยังไม่เพียงพอเพราะในกรณีที่ภาพมีสิ่งรบกวนรวมอยู่ จะได้ข้อมูลที่มีสิ่งรบกวนรวมอยู่ด้วย ดังนั้นการเปรียบเทียบจึงได้เพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของสีที่แตกต่างในแต่ละ

ตำแหน่ง เมื่อกระบวนการเปรียบเทียบพบความแตกต่างของค่าสีระบบจะตรวจสอบถึงพิกัดใกล้เคียงว่ามีความแตกต่างของค่าสีต่อเนื่องหรือไม่ ถ้าพบว่าความแตกต่างของค่าสีขาดความต่อเนื่องระบบจะตัดสินใจให้พิกัดนั้นเป็นลิ่งรบกวนของภาพ ถ้าระบบเปรียบเทียบแล้วพบความต่างของค่าสีจาก 2 ภาพ อีกทั้งพบความแตกต่างของค่าสีมีความต่อเนื่อง ระบบจะเริ่มเก็บพิกัด หลังจากนั้นระบบจะเปรียบเทียบยังพิกัดถัดไปจนครบทุกแถวและสดมภ์ เมื่อทำกระบวนการตรวจสอบเสร็จแล้วจะมีการบันทึกค่าแถวและสดมภ์ที่ต่ำที่สุดและสูงที่สุดไว้ โดยส่งตำแหน่งพิกัดดังกล่าวไปพร้อมกับข้อมูลภาพที่ผ่านกระบวนการหาความแตกต่างของภาพที่ถูกพัฒนาสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ เพราะข้อมูลภาพโดยทั่วไปมีขนาดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังนั้นค่าแถวและสดมภ์ที่ต่ำที่สุดและสูงที่สุดจึงเพียงพอสำหรับระบุตำแหน่งของภาพส่วนที่แยกออกมา

ในการตรวจสอบค่าพิกเซลทั่วไปจะกระทำโดยการสแกนตรวจทุกพิกเซล แต่เพื่อลดภาระการทำงานของสมองกลฝังตัวและเนื่องระบบไม่จำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงรายละเอียดในทุกตำแหน่งพิกเซล ดังนั้นงานวิทยานิพนธ์นี้จะทำการสแกนตรวจทุกสองพิกเซลแทน ซึ่งผลการทำงานจะนำเสนอในบทที่ 4

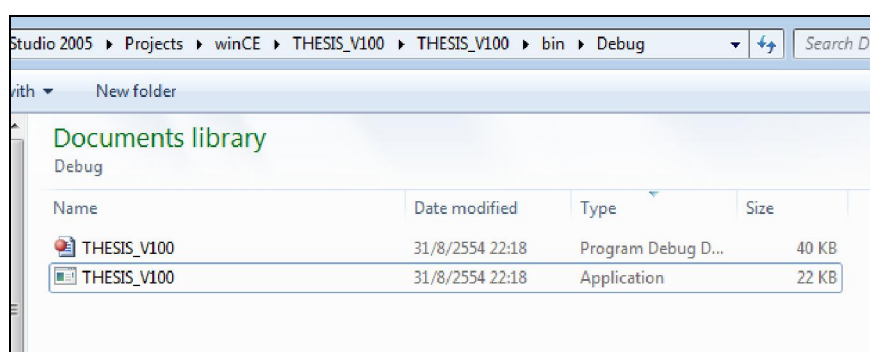
### 3.3 เทคนิคการพัฒนาโปรแกรมบน FriendlyARM รุ่น mini2440

การพัฒนาโปรแกรมบนสมองกลฝังตัว mini2440 ซึ่งได้ติดตั้ง Windows CE 6.0 เป็นระบบปฏิบัติการ รองรับ .Net Framework ขึ้นพื้นฐานของ Windows ดังนั้นการพัฒนาโปรแกรมสามารถเลือกภาษาในการพัฒนา C#.NET หรือ Visual Basic.NET เพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานของ .Net Framework ดังนั้นในวิทยานิพนธ์จึงเลือกใช้ภาษา C# .Net ในการพัฒนาโปรแกรม เนื่องด้วย Windows CE เป็นระบบปฏิบัติการที่ออกแบบสำหรับสมองกลฝังตัว Framework จึงมีความสามารถไม่เหมือน Framework ของการพัฒนาบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดยใน Windows CE นั้นจะเรียก Framework ว่า .Net Compact Framework ส่งผลให้คำสั่งการทำงานที่มีใน Framework ของ .Net Compact Framework ถูกลดจำนวนคำสั่งลงอย่างมาก ทำให้สามารถเรียกใช้ได้เฉพาะฟังก์ชันการทำงานขึ้นพื้นฐานเท่านั้น การนำ Framework มาใช้ประมวลผลงานทางด้านประมวลผลภาพโดยปกติจึงไม่สามารถทำงานร่วมกันได้ จึงต้องพัฒนา Framework ในส่วนของการทำงานขึ้นมาใหม่ทั้งหมดโดยอาศัยองค์ความรู้ด้านการประมวลผลภาพ



รูปที่ 3.7 การสร้างโปรเจกต์สำหรับ Windows CE

การพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C# .Net สำหรับ Windows CE สามารถพัฒนาบน Microsoft Visual Studio 2005 ที่ได้ติดตั้งส่วนขยายสำหรับการพัฒนาโปรแกรมบน Windows CE โดยเฉพาะดังรูปที่ 3.7 การพัฒนาโปรแกรมสำหรับ Windows CE มีความคล้ายคลึงกับการพัฒนาโปรแกรมสำหรับ Windows ทั่วไปคือเมื่อได้พัฒนาโปรแกรมเป็นที่เรียบร้อยแล้ว Microsoft Visual Studio จะสร้างไฟล์ .exe และ .pdb



รูปที่ 3.8 ไฟล์ที่ได้จาก Microsoft Visual Studio

ไฟล์จาก Microsoft Visual Studio ดังรูปที่ 3.8 ไฟล์ .exe คือนามสกุลของไฟล์ที่สามารถเริ่มการทำงานของโปรแกรมหรือโปรแกรมหลัก และ .pdb คือนามสกุลของไฟล์โปรแกรมที่ถูกเรียกใช้ให้ทำงาน โดยโปรแกรมหลัก สำหรับการทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows CE

เท่านั้น ดังนั้นโปรแกรมที่พัฒนาสำหรับ Windows CE จึงไม่สามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการ Windows XP หรือระบบปฏิบัติการ Windows อื่นๆ

เมื่อได้ไฟล์จากการคอมไพล์ โดย Microsoft Visual Studio ครบทั้ง 2 ไฟล์สามารถนำโปรแกรมที่เราได้พัฒนาขึ้นทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows CE โดยนำไฟล์ทั้ง 2 ติดตั้งบนสมองกลฝังตัว ซึ่งสามารถส่งข้อมูลผ่านสื่อบันทึกข้อมูลดิจิทัล SD Card หรือ USB flash drive ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ SD Card เป็นสื่อบันทึกข้อมูลเพิ่มเติม

### 3.4 รูปแบบของการทดสอบ

การส่งข้อมูลในระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายจะต้องพิจารณาอย่างระมัดระวัง เนื่องจากเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายมีอัตราส่งข้อมูลเพียง 250 Kbps และข้อมูลรูปภาพที่ใช้ในระบบอยู่บนสมมติฐานที่ว่า ข้อมูลที่ได้รับถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ แต่เพื่อให้การรับส่งข้อมูลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดความล่าช้า น้อยที่สุด จึงได้ทดลองเพื่อศึกษาขนาดของแพ็กเก็ตที่ใช้ส่งข้อมูลในแต่ละครั้งประกอบการพิจารณาเลือกขนาดของแพ็กเก็ตที่ใช้ในระบบการรับส่งภาพและกำหนดให้มีระยะการส่งที่ 1 hop และ 2 hop หลังจากที่ได้ผลขนาดของแพ็กเก็ตแล้วจะได้ทำการทดลองส่งข้อมูลรูปภาพโดยไม่ผ่านการประมวลผลใดๆ นำผลมาเปรียบเทียบกับ การส่งข้อมูลรูปภาพเฉพาะบริเวณที่เปลี่ยนแปลงจากการประมวลผลการหาความแตกต่างของภาพ

## บทที่ 4

### การทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดสอบการทำงานและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระเบียบวิธีการจัดการข้อมูลภาพด้วยการหาความแตกต่างของภาพที่ได้ออกแบบสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ การทดสอบจะแบ่งออกเป็น 3 ประเด็น

- ทดสอบประสิทธิภาพของการส่งข้อมูลบนเครือข่ายเซิร์ฟเวอร์ไร้สาย
- ทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการหาความแตกต่างของภาพ
- ทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการส่งข้อมูลภาพร่วมกับวิธีการหาความแตกต่างของภาพ

#### 4.1 เครื่องมือในการทดสอบประสิทธิภาพของเซิร์ฟเวอร์โหนดรับส่งภาพ

##### 4.1.1 อุปกรณ์สมองกลฝังตัว

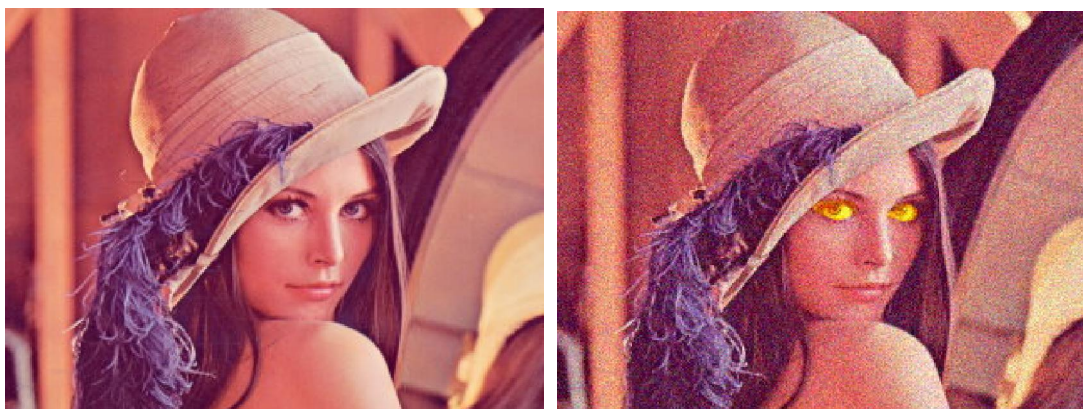
อุปกรณ์สมองกลฝังตัวที่เลือกคือ Friendly ARM รุ่น Mini2440 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Samsung S3C2440A ARM920T และหน่วยประมวลผลทำงานที่ 400 MHz บนระบบปฏิบัติการ Windows CE 6.0

##### 4.1.2 โปรแกรม Microsoft Visual Studio 2005

โปรแกรม Microsoft Visual Studio 2005 เป็นเครื่องมือสำหรับพัฒนาโปรแกรมบนระบบปฏิบัติการ Windows CE ดังนั้นในการทำงานวิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกใช้โปรแกรม Microsoft Visual Studio 2005 เป็นเครื่องมือและภาษา C# ร่วมกับ .Net Framework Compact ในการพัฒนาโปรแกรมหาความแตกต่างของภาพ

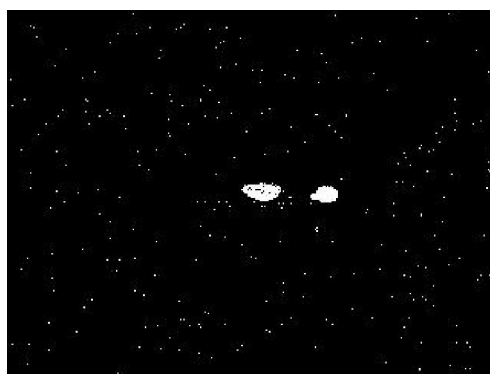
#### 4.2 ทดลองกระบวนการ Background subtraction

ในการทดลองการหาความแตกต่างของภาพที่ได้ออกแบบไว้จะทำการเปรียบเทียบกระบวนการทำงานตั้งแต่เริ่มการหาความแตกต่างของภาพแบบไม่มีส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของความแตกต่างของค่าสี กับการหาความแตกต่างของภาพแบบมีส่วนการตรวจสอบความต่อเนื่องของความแตกต่างของค่าสี และกระบวนการตรวจสอบพิกเซลเว้นพิกเซล เพื่อลดเวลาในการทำงาน ผลของการเปรียบเทียบความเร็วในการทำงานแสดงไว้ในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงภาพขนาด 320 x 240 พิกเซล สำหรับทดสอบกระบวนการหาความแตกต่างของภาพ

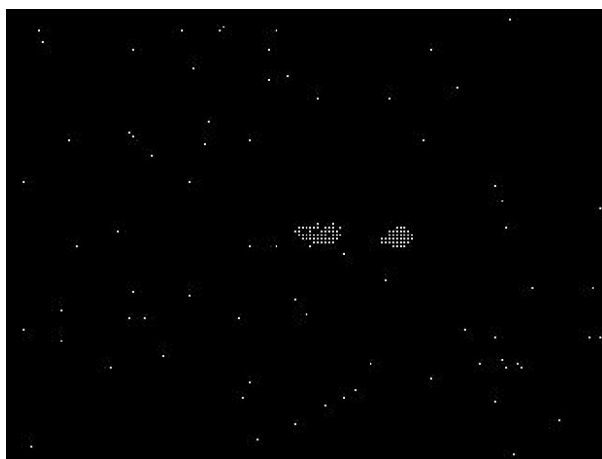
ข้อมูลรูปภาพสำหรับการทดสอบกระบวนการหาความแตกต่างของภาพสำหรับวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ข้อมูลรูปภาพขนาด 320 x 240 พิกเซล โดยภาพ 2 ภาพมีความแตกต่างเพียงบางตำแหน่งและมีสิ่งรบกวนรวมอยู่ในภาพดังรูปที่ 4.1 ในการทดสอบวิธีการหาความแตกต่างของภาพในวิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้รูปภาพทั้ง 2 รูปนี้ในการทดลอง



รูปที่ 4.2 ผลของการหาความแตกต่างของภาพแบบไม่เพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของพิกเซล

ผลการทำงานจากกระบวนการหาความแตกต่างของภาพแบบไม่มีส่วนตรวจสอบสิ่งรบกวนแสดงดังรูปที่ 4.2 ซึ่งภาพผลลัพธ์จะยังคงมีสิ่งรบกวนอยู่เป็นจำนวนมาก การประมวลผลภาพขนาด 320 x 240 พิกเซล จะต้องทำการสแกนพิกเซลเพื่อตรวจสอบอย่างน้อย 76,800 รอบสัญญาณนาฬิกา ทำให้ผลการทดสอบที่ได้แสดงในตารางที่ 4.1 ของกระบวนการหาความแตกต่าง

ของภาพนี้ใช้เวลานาน ดังนั้นจึงทำการปรับปรุงความเร็วในการประมวลผลโดยการตรวจสอบข้อมูลแถวเว้นแถวและ สดมภ์เว้นสดมภ์เพื่อลดการทำงาน



รูปที่ 4.3 ผลของกระบวนการหาความแตกต่างของภาพไม่เพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของพิกเซล โดยตรวจสอบแถวเว้นแถว และสดมภ์เว้นสดมภ์

ผลการประมวลผลการหาความแตกต่างของภาพแบบพิกเซลเว้นพิกเซล สามารถลดเวลาการทำงานลงได้ประมาณ 50% แต่ข้อมูลภาพที่ได้ยังมีสิ่งรบกวนรวมอยู่เช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.3 การทำงานดังกล่าวนี้จึงไม่ช่วยในการจัดการส่วนของข้อมูลที่ไม่ต้องการ เป็นเพียงการลดเวลาการทำงานของสมองผลฝั่งตัวเท่านั้น

ดังนั้นผู้วิจัยจึงพัฒนากระบวนการหาความแตกต่างของภาพโดยการนำแนวคิดการกำจัดสิ่งรบกวนในภาพมาประยุกต์ร่วมด้วย โดยเพิ่มการวิเคราะห์ความต่อเนื่องของจุดที่ต่างของ 2 ภาพ โดยกระบวนการทำงานดังกล่าวจะเริ่มตรวจสอบเมื่อพบความแตกต่างของจุดภาพทั้งสองภาพ แล้วเท่านั้น โดยทดสอบการเข้าถึงข้อมูลทุกพิกเซล ของภาพทั้งสอง

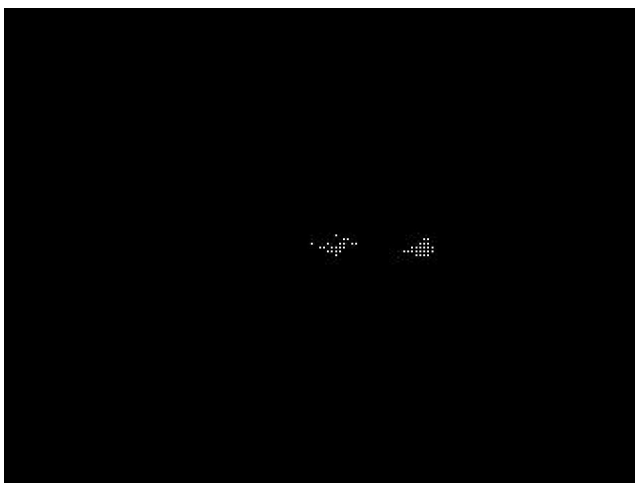


รูปที่ 4.4 ผลของกระบวนการหาความแตกต่างของภาพแบบเพิ่มส่วนของการตรวจสอบความ  
ต่อเนื่องของพิกเซลเพื่อลดสิ่งรบกวน

หลังจากที่ได้เพิ่มกระบวนการตรวจสอบความต่อเนื่องของส่วนต่างของภาพทั้งสองเพื่อกำจัดสิ่งรบกวนในภาพ ผลที่ได้เป็นไปตามสมมติฐาน ภาพผลลัพธ์ที่ได้สามารถลดสิ่งรบกวนได้ดังในรูปที่ 4.4 ทำให้ข้อมูลสำหรับการรับส่งบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายลดขนาดของภาพและสามารถกำจัดสิ่งรบกวนในส่วนที่ไม่ต้องการของภาพได้มาก

การเพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องนี้ สามารถลดสิ่งรบกวนได้ดีแต่จะทำให้เพิ่มภาระงานของสมองกลฝังตัว ส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน ดังนั้นเพื่อลดภาระงานและลดพลังงานในการประมวลผลภายในอุปกรณ์สมองกลฝังตัวการที่จะต้องเปรียบเทียบค่าสีในทุกๆตำแหน่งของภาพ 2 ภาพ จึงได้ทำการทดสอบด้วยการตรวจสอบพิกเซลเว้นพิกเซลแทน





รูปที่ 4.5 ผลของกระบวนการหาความแตกต่างของภาพแบบเพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของพิกเซล โดยตรวจสอบแถวเว้นแถว และสดมภ์เว้นสดมภ์

ผลจากกระบวนการหาความแตกต่างของภาพ โดยเพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของพิกเซล โดยตรวจสอบแถวเว้นแถวและสดมภ์ เว้นสดมภ์ ยังคงให้ผลการทำงานลักษณะเช่นเดียวกับการตรวจสอบทุกตำแหน่งดังรูปที่ 4.5 เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากกระบวนการหาความแตกต่างของภาพยังไม่สามารถนำข้อมูลมาใช้งานได้โดยตรง แต่ต้องผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูล โดยการสร้างรูปแบบข้อมูลขึ้นมาใหม่

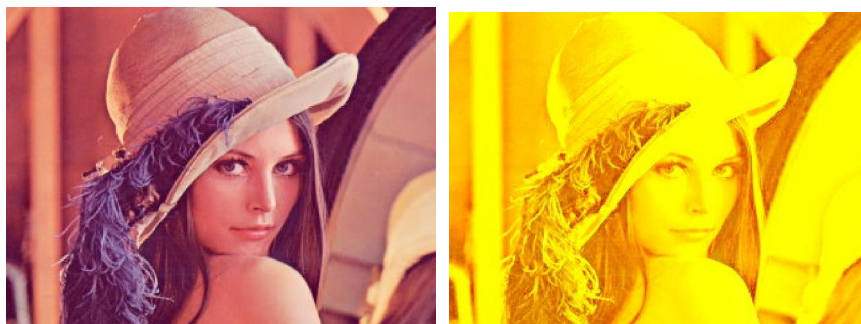


รูปที่ 4.6 ผลของกระบวนการเตรียมข้อมูลเฉพาะส่วนต่างของภาพ

หลังจากผ่านกระบวนการหาความแตกต่างของภาพ ข้อมูลจุดที่พบความต่างของค่าสี จะถูกนำมาใช้ประกอบการเตรียมข้อมูลเพื่อให้ได้ข้อมูลเฉพาะส่วนที่ต้องการเท่านั้น ดังรูปที่ 4.6 ซึ่งเป็นผลของข้อมูลภาพที่นำมาตรวจสอบจากดังรูปที่ 4.1 จากการทดสอบพบว่ากระบวนการหาความแตกต่างของภาพสามารถลดปริมาณข้อมูลได้มากกว่า 70% จากภาพตั้งต้นในรูปที่ 4.1 มีปริมาณข้อมูล 45.7 KB เมื่อผ่านกระบวนการหาความแตกต่างของภาพ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงรูปที่ 4.5 ซึ่งมีปริมาณข้อมูลเพียง 1.03KB

เพื่อทดสอบและหาประสิทธิภาพของการทำงานประมวลผลภาพด้วยสมองกลฝังตัว จึงทำการทดลองเปรียบเทียบเวลาการประมวลผลของสมองกลฝังตัว โดยนำข้อมูลซึ่งมีความ

แตกต่างของค่าสีดังรูปที่ 4.1 และข้อมูลภาพที่มีค่าสีแตกต่างกันมากกว่า 80% ของภาพทั้งสอง เพื่อหาเวลาในการประมวลผลหาความแตกต่างของภาพในกรณีที่ภาพมีความแตกต่างกันมาก



รูปที่ 4.7 ภาพขนาด 320 x 240 พิกเซลดั้งเดิม (ซ้าย) และภาพที่มีความแตกต่างของค่าสีมาก (ขวา)

กระบวนการหาความแตกต่างของภาพ โดยทดลองในกรณีที่พบความแตกต่างของภาพในปริมาณน้อยดังรูปที่ 4.1 และทดสอบในกรณีข้อมูลมากความแตกต่างมากดังรูปที่ 4.7(ขวา) แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เวลาการทำงานของกระบวนการหาความแตกต่างของภาพบนสมองกลฝั่งตัว

	กรณีข้อมูลดังรูป 4.1 (ms)	กรณีข้อมูลดังรูป 4.6 (ms)
หาความแตกต่างของภาพแบบไม่เพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของพิกเซล	7,498	42,174
หาความแตกต่างของภาพแบบเพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของพิกเซล	23,319	108,622
หาความแตกต่างของภาพแบบเพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของพิกเซล และตรวจสอบพิกเซลเว้นพิกเซล	7,004	48,495

ผลจากการประมวลผลกระบวนการหาความแตกต่างของภาพ บนสมองกลฝั่งตัว พบว่าการหาความแตกต่างของภาพแบบเพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของพิกเซล ใช้เวลามากกว่า การหาความแตกต่างของภาพแบบไม่เพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของ

พิกเซลประมาณ 3 เท่า เพราะต้องเพิ่มกระบวนการตรวจสอบความต่อเนื่องของพิกเซล แต่เมื่อทำการตรวจสอบแบบพิกเซลเว้นพิกเซล พบว่าเวลาที่ใช้ในการประมวลผลกลับน้อยกว่าการหาความแตกต่างของภาพแบบไม่ลดสิ่งรบกวนอยู่ประมาณ 500 มิลลิวินาทีดังตารางที่ 4.1 นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อมีความแตกต่างของค่าสีในทุกพิกเซลดังรูปที่ 4.7 จะทำให้เวลาในการประมวลผลสูงกว่าภาพที่มีความแตกต่างของสีเล็กน้อยถึง 6 เท่า

#### 4.3 การทดลองเปรียบเทียบรูปแบบการทำงานของ XBee ในโหมด AT และ API

ปริมาณข้อมูลต่อการส่ง 1 ครั้งมีความสำคัญ เพราะการส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะข้อมูลชนิดรูปภาพจำเป็นต้องการข้อมูลถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ ใน โมดูลภาครับส่งข้อมูลของ XBee มีรูปแบบการใช้งาน 2 รูปแบบคือแบบ AT และ API โดยความแตกต่างอยู่ที่การเรียกใช้งาน ในรูปแบบ AT ทำงานได้ง่ายกว่าเพราะไม่จำเป็นต้องสร้างรูปแบบของแพ็กเก็ตเพื่อส่งข้อมูล และรูปแบบ API ที่จำเป็นต้องสร้างรูปแบบข้อมูลเองทุกส่วนของแพ็กเก็ต ดังนั้นจึงได้ทำการเปรียบเทียบเพื่อหารูปแบบการใช้งาน XBee ที่เหมาะสมต่อการส่งข้อมูลรูปภาพและใช้เวลาน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดข้อมูลกับเวลาที่ใช้งานของ XBee แบบ AT และ API

Packet Size (bytes)	Time					
	Average (ms)		Min (ms)		Max (ms)	
	AT	API	AT	API	AT	API
1	61	42	29	31	141	57
5	64	43	31	30	145	58
10	62	42	33	31	158	54
15	66	40	31	35	157	61
20	68	49	30	34	160	63
25	67	48	34	31	159	61
30	71	41	30	30	162	59
35	71	48	34	29	161	58
40	70	45	36	36	160	61
45	72	45	38	30	160	60
50	75	40	39	35	160	67
55	78	44	40	34	162	63
60	80	47	43	32	164	63
75	79	49	45	33	161	67
80	82	50	49	30	162	69
85	82	51	58	34	159	71
90	83	48	57	39	162	75
95	84	53	59	35	162	79

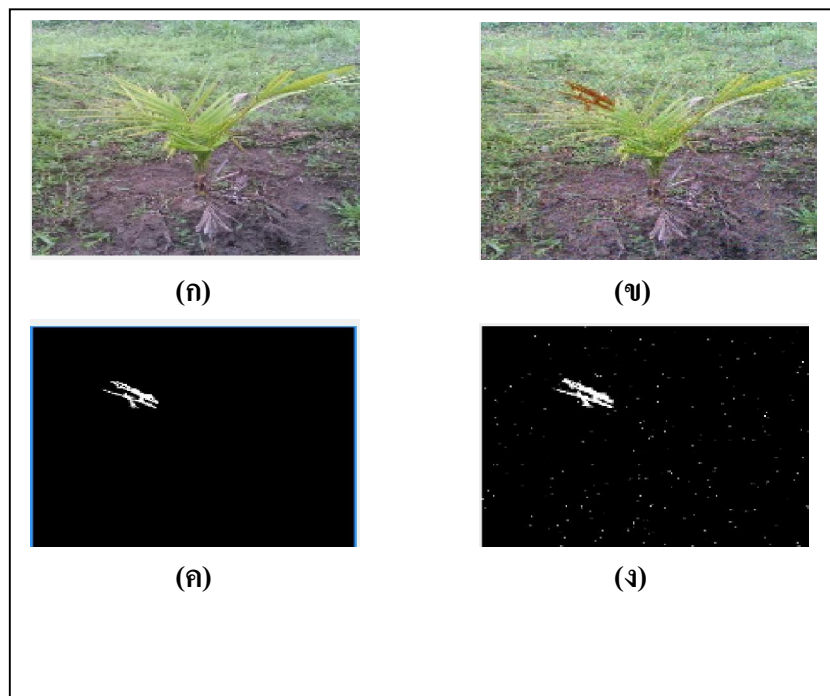
จากการทดลองเปรียบเทียบการทำงานในรูปแบบ API และ AT ของ XBee พบว่าความสามารถในการกำหนดและจัดการข้อมูลบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายนั้น การใช้งานแบบ API สามารถควบคุมและกำหนดการทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า และใช้เวลาในการส่งข้อมูลต่อแพ็คเกจน้อยกว่าแบบ AT ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกรูปแบบการทำงานของ XBee ในแบบ API สำหรับใช้ในการส่งข้อมูลรูปภาพ และขนาดข้อมูลของแพ็คเกจที่เลือกใช้เริ่มที่ขนาด 40 ไบต์ ถึงขนาด 90 ไบต์ เพราะการส่งข้อมูลรูปภาพเป็นข้อมูลปริมาณมาก การแบ่งขนาด

ข้อมูลของแพ็กเก็ตน้อย จะทำให้เกิดการแบ่งข้อมูลออกเป็นหลายส่วนและจะต้องใช้การส่งข้อมูลหลายครั้งจึงจะครบทั้งภาพ

#### 4.4 การทดลองส่งข้อมูลบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

##### 4.4.1 ทดลองส่งข้อมูลรูปภาพโดยไม่ผ่านกระบวนการหาความแตกต่างของภาพ

การออกแบบวิธีการจัดการข้อมูลรูปภาพด้วยการหาความแตกต่างของภาพ มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในงานทางด้านการเกษตร ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกข้อมูลรูปภาพสำหรับการทดสอบจากต้นปาล์มน้ำมันในแปลงทดสอบดังรูปที่ 4.8 มาผ่านกระบวนการทำ Background subtraction รวมถึงการส่งข้อมูลบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย



รูปที่ 4.8 ผลของกระบวนการหาความแตกต่างของภาพปาล์มน้ำมัน

กระบวนการหาความแตกต่างของภาพเริ่มขึ้นเมื่อมีข้อมูลภาพใหม่เข้าสู่โหนด โดยจะนำภาพ 2 ภาพ ดังรูป 4.8 ก. และ ข. มาเปรียบเทียบกับแบบจุดต่อจุดเพื่อหาความแตกต่าง ซึ่งรูปที่ 4.8 ค. เป็นผลลัพธ์ที่เกิดจากการหาความแตกต่างของภาพแบบเพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของพิกเซล และรูปที่ 4.8 ง. เป็นผลลัพธ์ที่เกิดจากการหาความแตกต่างของภาพแบบไม่เพิ่มส่วนของการตรวจสอบความต่อเนื่องของพิกเซล



รูปที่ 4.9 ข้อมูลเมื่อผ่านกระบวนการหาความแตกต่างของภาพ

ข้อมูลดังรูปที่ 4.8 เมื่อผ่านกระบวนการหาความแตกต่างของภาพ สามารถลดขนาดข้อมูลลงเหลือดังรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการหาความแตกต่างของภาพ สามารถทำงานได้ตามสมมติฐาน ดังนั้นการทดลองต่อไปจึงเป็นการนำข้อมูลรูปภาพที่ได้ทดสอบส่งผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย กำหนดการทดลองส่งรูปภาพ 1 รูปแบบไม่ผ่านกระบวนการหาความแตกต่างของภาพ ซึ่งข้อมูลจะมีขนาด 27KB โดยการทดลองกำหนดให้มีการส่ง 1 Hop

ตารางที่ 4.3 ผลของการส่งรูปภาพ 1 รูปซึ่งมีขนาด 27,915 ไบต์ แบบ 1 Hop ในโหมด API

Payload Size (bytes)	Total time (ms)	Data Size + Header (bytes)
40	503,964	42,811
50	405,837	39,083
60	338,518	35,371
70	290,102	34,299
80	203,930	32,395
90	227,043	32,891

การทดลองส่งรูปภาพ 1 รูปขนาด 27,915 ไบต์ พบว่าสามารถส่งข้อมูลได้อย่างถูกต้อง แต่การส่งข้อมูลปริมาณมาก จำนวนครั้งในการส่งก็เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นปริมาณข้อมูลที่มีการส่งผ่านในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายนั้นย่อมมีปริมาณมากขึ้น เนื่องด้วยในการส่งแต่ละแพ็กเก็ตนั้นต้องมี Header รวมอยู่ทุกๆแพ็กเก็ต ทำให้เวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลที่ละ 40 ไบต์สูงถึง 503 วินาทีดังแสดงในตารางที่ 4.3

#### 4.4.2 ทดลองส่งข้อมูลภาพหลังผ่านกระบวนการหาความแตกต่างของภาพระยะ 1 Hop

การส่งข้อมูลรูปภาพทั้งหมดซึ่งเป็นปริมาณข้อมูลที่มาก ส่งผลให้ใช้เวลาในการรับและส่งบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายมาก และมีความเสี่ยงต่อการที่ข้อมูลเสียหายได้ ผู้วิจัยจึงได้

ออกแบบการจัดการข้อมูลโดยใช้วิธีการหาความแตกต่างของภาพ เพื่อลดปริมาณข้อมูลโดยเมื่อข้อมูลดังรูป 4.6 ผ่านกระบวนการหาความแตกต่างของภาพ ทำให้ข้อมูลลดลงเหลือดังรูป 4.7

ตารางที่ 4.4 ผลของการส่งรูปภาพ 1 รูปซึ่งมีขนาด 1,670 ไบต์ ระยะทาง 1 Hop ในแบบ API

Payload Size (bytes)	Total Time (ms)	Data Size (bytes)	Data Size + Header (bytes)
40	30,599	1,670	2,399
50	24,711	1,670	2,271
60	20,179	1,670	2,175
70	17,438	1,670	2,111
80	15,489	1,670	2,063
90	13,416	1,670	2,031

เมื่อข้อมูลรูปภาพผ่านกระบวนการหาความแตกต่างของภาพแล้วขนาดข้อมูลจึงลดลง ดังนั้นจึงส่งผลให้สามารถลดเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.4 เมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลในตารางที่ 4.3 พบว่าสามารถลดระยะเวลาได้มากถึง 6 เท่า และเวลาที่ดียิ่งที่สุดใน การส่งข้อมูลภาพโดยใช้ขนาดข้อมูลในแฟ้มที่ 90 ไบต์คือ 13 วินาที ความเร็วเช่นนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการส่งข้อมูลภาพแบบเกือบเรียลไทม์ได้

#### 4.4.3 ทดลองส่งข้อมูลรูปภาพ 2 Hop และ 3 Hop

ในส่วนนี้เป็นการทดสอบผลกระทบของการส่งข้อมูลภาพเมื่อมีจำนวน Hop เพิ่มขึ้น หรือกล่าวได้ว่าโหนดจะต้องส่งข้อมูลผ่านโหนดอื่นก่อนถึงโหนดปลายทาง การทดลองส่งข้อมูลบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายในระยะทาง 2 Hop และ 3 Hop ได้แสดงเปรียบเทียบในตารางที่ 4.5 ซึ่งใช้ภาพที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการหาความแตกต่างของภาพ สำหรับการส่งข้อมูลภาพที่ได้ผ่านกระบวนการหาความแตกต่างของภาพแล้วจะแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ผลของการส่งภาพขนาด 27,915 ไบต์ ระยะทาง 1, 2 และ 3 Hop ในแบบ API ของ XBee

Payload Size (bytes)	1-hop total time (ms)	2-hop total time (ms)	3-hop total time (ms)
40	503,964	504,180	504,205
50	405,837	405,997	406,039
60	338,518	338,650	338,799
70	290,102	290,262	290,403
80	203,930	204,039	204,251
90	227,043	227,248	227,391

ตารางที่ 4.6 ผลของการส่งภาพขนาด 1,670 ไบต์ระยะทาง 1, 2 และ 3 Hop ในแบบ API ของ XBee

Payload Size (bytes)	1-hop total time (ms)	2-hop total time (ms)	3-hop total time (ms)
40	30,599	30,693	30,803
50	24,711	24,781	24,881
60	20,179	20,319	20,403
70	17,438	17,594	17,708
80	15,489	15,529	15,702
90	13,416	13,586	13,736

จากผลการทดสอบของทั้ง 2 ตารางพบว่า จำนวนของ Hop ที่เพิ่มขึ้นในเครือข่าย เซนเซอร์ไร้สายมีผลกระทบต่อเวลาโดยรวมของการส่งภาพน้อยมากคือเพิ่มขึ้นเพียงประมาณ 100 มิลลิวินาที ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการทำหน้าที่ส่งต่อภาพของโหนดในเครือข่ายไม่ส่งผลกระทบต่อภาพรวมในการส่งภาพ ฉะนั้นถ้าต้องการให้สามารถส่งภาพได้รวดเร็วจึงจะต้องเน้นการ บีบอัดหรือลดขนาดของข้อมูลภาพให้ได้มากที่สุด



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลและข้อเสนอแนะที่ได้จากการดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นขณะทำวิทยานิพนธ์ สุดท้ายจะกล่าวถึงข้อเสนอแนะแก่ผู้สนใจที่จะนำวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้ไปพัฒนาต่อในอนาคต

#### 5.1 สรุปผล

งานวิจัยชิ้นนี้นำเสนอการออกแบบระเบียบวิธีการจัดการข้อมูลรูปภาพด้วยวิธี Background subtraction และลดสิ่งรบกวนในภาพ เพื่อลดขนาดข้อมูลภาพสำหรับใช้งานในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ซึ่งการพัฒนานี้จะถูกนำไปใช้ในงานประยุกต์ทางการเกษตรเพื่อให้สามารถส่งข้อมูลภาพได้ด้วยทรัพยากรของหน่วยประมวลผลจำกัด และใช้พลังงานให้น้อยที่สุด แนวคิดและวิธีการจัดการข้อมูลรูปภาพบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายทั่วไปนิยมใช้การบีบอัดข้อมูลภาพแต่ขนาดภาพก็ยังคงใหญ่ ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอการส่งข้อมูลภาพเฉพาะส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงเท่านั้น ทำให้ปริมาณข้อมูลภาพลดลงอย่างมาก

ผู้วิจัยได้เสนอแนวคิดและรูปแบบกระบวนการทำงานของ Background subtraction และลดสิ่งรบกวนของภาพดังที่ได้กล่าวในบทที่ 3 ทำให้สามารถลดขนาดและเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย นอกจากนี้วิธีการหาความแตกต่างของภาพและลดสิ่งรบกวนยังไม่ซับซ้อนสามารถพัฒนาบนอุปกรณ์สมองกลฝังตัวได้ และยังพบว่าจำนวนของ Hop ในการสื่อสารบนเครือข่ายส่งผลเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 100 มิลลิวินาที) ต่อการส่งข้อมูลภาพบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

#### 5.2 ผลที่ได้จากการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ผู้ทำวิทยานิพนธ์ได้ศึกษาและวิเคราะห์การออกแบบระเบียบวิธีการจัดการข้อมูลรูปภาพสำหรับรับใช้งานบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย โดยเน้นการลดขนาดของข้อมูลภาพให้มากที่สุด เพราะปริมาณข้อมูลส่งผลต่อการใช้แบนด์วิดท์ของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายโดยตรง โดยนำหลักการของกระบวนการหาความแตกต่างของภาพ ร่วมความรู้พื้นฐานของสิ่งรบกวนของรูปภาพ โดยพัฒนาด้วยภาษา C# สำหรับสมองกลฝังตัวที่ทำงานด้วยระบบปฏิบัติการ Windows CE 6.0

### 5.3 ปัญหาและอุปสรรค

โปรแกรมที่พัฒนาต้องสามารถทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows CE 6.0 ซึ่งมีฟังก์ชันการใช้งานแตกต่างจาก Windows XP หรือ Windows 7 มากพอสมควร

### 5.4 ข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการเปรียบเทียบวิธีการจัดการข้อมูลรูปภาพบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เน้นการพัฒนาและออกแบบในส่วนของการจัดการข้อมูลรูปภาพด้วยระเบียบวิธีหาคความแตกต่างของภาพ ซึ่งเป็นเพียงบางส่วนของกระบวนการรับส่งข้อมูลรูปภาพบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ผู้ที่สนใจนำวิทยานิพนธ์นี้ไปใช้งานหรือศึกษาต่อเนื่อง สามารถปรับปรุงกระบวนการหาคความแตกต่างของภาพ ให้ดีขึ้นรวมทั้งฟังก์ชันอื่นๆ ข้อจำกัดของวงจรที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้คือ โมดูลในการส่งข้อมูลบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย XBee ที่มีมาตรฐานของการสื่อสารแบบเครือข่ายคือ มาตรฐาน ZigBee ซึ่งมีความซับซ้อนทำให้จะต้องเสียเวลาในการจัดการแพ็คเกจของข้อมูลภาพตามลำดับชั้นเครือข่ายก่อนที่จะสามารถทำการประมวลผลภาพได้ นอกจากนี้ยังเสนอให้ทำการบีบอัดข้อมูลที่ได้หลังจากหาคความแตกต่างและลดสิ่งรบกวนในภาพอีกชั้นหนึ่ง เพื่อให้ขนาดของภาพเล็กลงมากกว่าเดิม

**บรรณานุกรม**

- [1] C. Park and P. Chou, “eCAM: ultra compact, high data-rate wireless sensor node with a miniature camera”, *In proceedings of SenSys*, pages 359–360, 2006.
- [2] T. Teixeira, D. Lymberopoulos, E. Culurciello, Y. Aloimonos, and A. Savvides, “A lightweight camera sensor network operating on symbolic information”, *In proceedings of the First Workshop on Distributed Smart Cameras*, 2006.
- [3] M. Rahimi, R. Baer, O. Iroezi, J. Garcia, J. Warrior, D. Estrin, and M. Srivastava, “Cyclops: In situ image sensing and interpretation”, *In proceedings of Embedded Networked Sensor Systems*, 2005.
- [4] A. Skordas, C. Chirstopoulos, and T. Ebrahimi, “The JPEG 2000 still image compression standard,” *IEEE Signal Processing*, 2001.
- [5] C. Chiasserini and E. Magli, “Energy consumption and image quality in wireless video-surveillance networks,” *In Proceedings of 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, pages 2357–2361, September, 2002
- [6] W. Feng, B. Code, E. Kaiser, M. Shea, and W. Feng. Panoptes, “Scalable low-power video sensor networking technologies,” *In Proceedings of the eleventh ACM international conference on Multimedia*, pages 90–91, November, 2003.
- [7] H. Wu and A. Abouzeid, “Energy efficient distributed JPEG 2000 image compression in multihop wireless networks,” *In Proceedings of the 4th Workshop on Applications and Services in Wireless Networks (ASWN)*, pages 152–160, August, 2004.
- [8] W. Yu, Z. Sahinoglu, and A. Vetro, “Energy efficient JPEG 2000 image transmission over wireless sensor networks,” *In Proceedings of Global Telecommunications Conference (GLOBECOM)*, pages 2738–2743, December, 2004.

- [9] Z. Xiong, X. Fan, S. Liu and Z. Zhong, "Low complexity image compression for wireless multimedia sensor networks", *In Proceedings of Information Science and Technology (ICIST)*, page 665-670, 26-28 March, 2011.
- [10] S. A. Hussain, M. I. Razzak, A. A. Minhas, M. Sher and G. R. Tahir, "Energy Efficient Image Compression in Wireless Sensor Networks", *In Journal of Recent Trends in Engineering*, vol. 2, no.1, page 117-120, November 2009.
- [11] L. Ferrigno, S. Marano, V. Paciello, and A. Pietrosanto, "Balancing computational and transmission power consumption in wireless image sensor networks", *In Proceedings of IEEE29 International Conference on Virtual Environments, Human-Computer Interfaces, and Measures Systems (VECIMS 2005)*, Giardini Naxos, Italy, July 2005.
- [12] M. Piccardi, "Background subtraction techniques: a review," *Systems, Man and Cybernetics, IEEE International Conferenc*, vol.4, pages 3099-3104, Oct. 2004.
- [13] Z. Wang, H. Xu, L. Sun and S. Yang, "Background subtraction in dynamic scenes with adaptive spatial fusing," *Multimedia Signal Processing, MMSP '09. IEEE International Workshop*, pages 1-6, 2009.
- [14] S. S. Mohamed, N. M. Tahir, R. Adnan, "Background modelling and Background subtraction performance for object detection," *Signal Processing and Its Applications (CSPA), 2010 6th International Colloquium*, pages 1-6, 2010.
- [15] A. Pal, G. Schaefer and M. E. Celebi, "Robust codebook-based video Background subtraction," *Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pages 1146-1149, 2010.
- [16] X. Wang, H. Yang and W. Wu, "Study on low Noise CMOS image sensor," *Image and Signal Processing*, vol.5, pages 2062-2065, 2010.

- [17] X. Kang, W. Zhu, K. Li and J. Jiang, "A Novel Adaptive Switching Median filter for laser image based on local salt and pepper Noise density," *Power Engineering and Automation Conference (PEAM)*, vol.3, pages 38-41, 2011.
- [18] Z. Pei, Q. Tong, L. Wang and J. Zhang, "A Median Filter Method for Image Noise Variance Estimation," *Information Technology and Computer Science (ITCS), 2010 Second International Conference*, pages 13-16, 2010.
- [19] M. Younis, K. Akkaya, M. Eltowiessy, and A. Wadaa, "On handling Qos traffic in wireless sensor networks," In *Proceedings of the 37th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, pages 90292–90302, January, 2004.
- [20] T. He, J. Stankovic, L. Chenyang, and T. Abdelzaher. SPEED, "A stateless protocol for real-time communication in sensor networks," In *Proceedings of 23rd International Conference on Distributed Computing Systems*, pages 46–55, May, 2003.
- [21] K. Sohrabi, J. Gao, V. Allawadhi, and G. Pottie, "Protocols for self-organization of a wireless sensor network ," *IEEE Personal Communications*, 7(5), page 16–27, October, 2000.
- [22] B. Deb, S. Bhatnagar, and B. Nath. ReInForM, "Reliable information forwarding using multiple paths in sensor networks," In *Proceedings of 28th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks*, pages 406–415, Bonn, Germany, October, 2003.
- [23] E. Felemban, C-G. Lee, E. Ekici, R. Boder, and S. Vural. Probabilistic, "QoS guarantee in reliability and timeliness domains in wireless sensor networks," In *Proceedings of 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications (INFOCOM)*, pages 2646–2657, March, 2005.

**ภาคผนวก**

ภาคผนวก ก  
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์



**2012 INTERNATIONAL CONFERENCE ON EMBEDDED SYSTEMS AND INTEL  
LIGENT TECHNOLOGY (ICESIT2012)  
JANUARY 27-29, 2012 NARA PREFECTURE NEW PUBLIC HALL, NARA, JAPAN**



ON KO CHI SHIN  
-----温故知新-----

Innovative Embedded Technology Learn from the History

# ICESIT2012

2012 International Conference  
on Embedded Systems and Intelligent Technology

January 27-29, 2012

Nara Prefecture New Public Hall, Nara, Japan



**Sponsored by**

Thai Embedded Systems Association (TESA)

**In cooperate with**

Engineering Science Society, The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE-ESS)

<http://agano.naist.jp/icesit2012/>



# Development of Wireless Image Sensor Networks

K. Dechrungruang, W.Suntiamornrut  
 Centre of Excellence in Wireless Sensor Networks,  
 Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering  
 Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112 Thailand  
 Kittiwate\_d@hotmail.com, wannarat@coe.psu.ac.th

R. Keinprasit  
 National Electronics and Computer Technology Center  
 Pathumthani, Bangkok, 12120 Thailand  
 rachaporn.keinprasit@necotec.or.th

**Abstract**— Wireless sensor networks for image transmission has been widely used to capture an intruder or monitor any changes. According to the low bandwidth in wireless sensor networks, the wireless camera sensor node development is a challenge. In order to reduce the amount of sending data, the background subtraction technique has been applied and implemented on the sensor node. This scheme gives a better transmitting time at about 2 times. In addition, the latency of the image transmission when the hop-count is increasing is also reported in this paper.

**Keywords:** *Image transmission, background subtraction, ZigBee, Wireless sensor networks*

## I. INTRODUCTION

A wireless sensor networks have been introduced and applied in various fields such as physical environment monitoring, health care monitoring and industrial automation. Energy consumption in this network is a critical issue since sensor node is only supplied from battery.

The traditional wireless sensor networks focus only on low cost, low power and low bandwidth sensors. Currently, a wireless multimedia sensor network (WMSN) is widely used in the video and audio application. Since wireless sensor node is battery-powered, the limitation becomes the urgent research issues.

The embedded device including an availability of low cost and low power CMOS camera such as CMUcam3 [1] has been applied. The idea of image processing on a small device is enable to reduce the amount of data transmitting which is appropriated for an energy constrained device likes wireless sensor networks. Unfortunately, the traditional low power microcontroller in sensor node has not capability enough to compute the image compression algorithms [2-4].

This paper, we propose an alternative image processing using background subtraction and frame segmentation to transmit the image information over the wireless sensor network structure as shown in Figure 1. The image sensor (CMOS camera) has been attached on a cluster head. The image has been transmitted from one cluster head to another cluster head, hop by hop until it can reach the base station.

The remainder of this paper is organized as follows. The related works of image processing and transmission in wireless sensor networks are explained in Section 2. The architecture and design of our image wireless sensor network is introduced and described in Section 3. The image processing on sensor node is proposed in Section 4. The experiment results are shown in Section 5. Finally, we discuss and conclude our research work in Section 6.

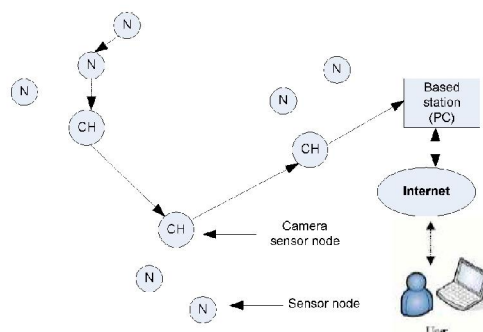


Figure 1. Image sensor network architecture

## II. RELATED WORK

Image compression has been introduced and applied in wireless sensor networks which the resource constraints in WSNs have to be addressed. The image compressions technique and processing algorithms have been applied to reduce the number of data packet. There are two categories of image compression in wireless sensor networks, local and distributed processing and compression.

The local processing and compression has been used when the whole process of compression and transmission consumes less energy than a single transmission of a raw image data. The examples of the compression technique used in a sensor node are SPIHT [5], SS [6] and DCT [7].

In distributed image compression, the stereo-image compression technique has been applied. The overlap in the image of neighboring nodes is identified [8] by computing over the data which is flowed through a network.

In [9], the new technique called Image Subtraction with Quantization of image (ISQ) was proposed to save the energy consumption of processing unit in sensor node. This technique uses the video subtraction with quantization of each frame. This will save a lot of energy consumption in sensor nodes as well as saves the network overhead.

Apart from the image compression for wireless sensor networks, there are many existing image sensor nodes which consist of a camera, processor and communication module. The examples of wireless camera node are eCAM [10], iMote2+Cam [11] and Cyclops [12]. Most of the existing node uses the CC2420 or TR1000 RF module which has not enough transmission power. Only local image compression has been applied on those nodes.

This paper introduces the wireless camera sensor node platform which processing based on the concept of image subtraction. Whilst the communication protocol is based on ZigBee protocol using XBee platform. The detail of our architecture and wireless camera sensor node design will be explained in the next section.

### III. THE ARCHITECTURE AND DESIGN

#### A. Wireless Camera Sensor Node

Our camera node platform consists of a CMOS image sensor, 2-GB SD memory card and Friendly ARM board as can be seen in Figure 2. The Friendly ARM Mini2440 board [13] is very popular and widely used in embedded system research works. This board uses Samsung S3C2440 ARM9 processor operating at 400 MHz. This CPU contains 64 MB SDRAM, 256 Byte and having 256 MB flash. The Linux OS has been employed on this node. The touch screen has been attached only for the performance evaluation of the image processing on the node.



Figure 2. Wireless camera sensor node

The low cost and low power CMOS camera has been attached onto Friendly ARM Mini2440 board. It consists of OV9620 Omnivision 1.3Meg Pixels CMOS Camera. This chipset support video or snapshot operation. It also supports image sizes SXGA (1280x1024) or 640x480 VGA, 10-bit A/D converter and operated at 15 frames per second (SXGA) and

30 frames per second (VGA). This CMOS camera chipset can interface and communicate with ARM board via I/O 20-pin. The power requires less than 50mA in active mode and only 10 uA in standby mode.

According to the feature of OV9620 CMOS camera, the wireless sensor node is targeted to complete both processing and transmitting within 1/30 second in order to support real-time applications.

#### B. Wireless Communication

In this paper, we choose ZigBee standard [14] which built up on top of IEEE 802.15.4 standard. The IEEE 802.15.4 defines two physical layers, 2.4 GHz and 868/915 MHz band. Moreover, ZigBee employs without any infrastructures. We choose XBee platform as shown in Figure 3 for the implementation.



Figure 3. Wireless communication part -XBee

At data link layer, CSMA (Channel Sense Multiple Access) responses for transmitting beacon frames, synchronization and reliable transmission mechanism. However, there is no quality of service or priority level of network traffic in ZigBee standard.

When ZigBee is deployed for image transmission, there is a bandwidth limitation. Even the packet size is limited to 127 bytes, each packet contains no more than 89 bytes for the data due to the overhead at the network. The fragmentation and reassembly have to be handled in the application layer, when the bit stream is larger than 89 bytes.

#### C. System Integration

For the top view, the wireless camera sensor node acts as a cluster head which can communication directly or multi-hop to the base station. In our system, the maximum hop of the cluster head is 3-hop. The image has to be transmitted as soon as there is any change on it. We are aiming to deploy this system to monitor any movement in the farm.

### IV. IMAGE PROCESSING

According to the packet size limitation, the image has to be fragmented and sent over the network several time. Thus, this paper proposes to reduce the data before transmission. Most of picture captured from the camera is not much different. Especially, the system that only monitored the movements, there is no need to transmit the whole image all the time. There is some object moving into the frame.

In this paper, background subtraction has been proposed in order to reduce the redundant data for transmitting. The concept of background subtraction is to find the difference between two images. Only a new object will be spotted when the background has been removed. However, there is some noise such as light and color which is required to get rid of. The example of noise in the picture is shown in Figure 4. The black pixel is the noise of the interest segment.

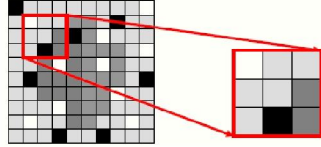


Figure 4. Example of noise on the picture – black pixel is a noise

Median filter has been widely used to get rid of the noise. However, the time has been consumed if the median filter is applied on every pixel. For example, the image size 320x240 pixels require 230,400 cycles to filter the noise in RGB. In order to minimize the cycle time, we choose only 1 color for the comparison in each pixel. This could reduce the clock cycle for three times.

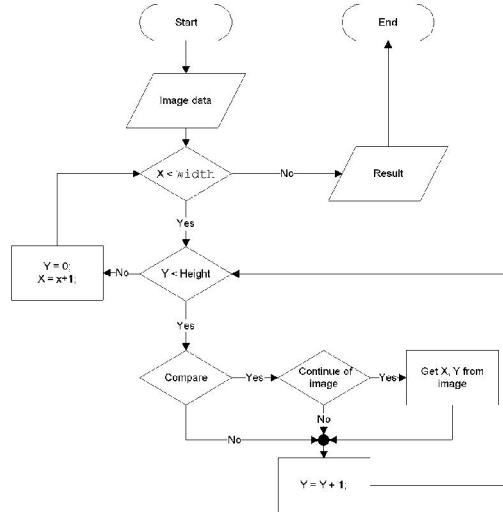


Figure 5. Background subtract process.

Background subtraction algorithm executed on sensor node is shown in Figure 5.  $X$  and  $Y$  represent row and column, respectively. The process of comparison has been repeated until all pixels have been scanned in every row and column. If there is a difference in one pixel, we will ignore and assume it is a noise. When the difference has been found continuously, the location of the pixels will be stored.

## V. EXPERIMENT RESULTS

### A. AT and API mode on XBee.

XBee platform can support two operating modes, AT command and API command. The API (Application Programming Interface) mode is a frame-based method or the default transparent mode which allows the programmer to change parameters without entering the command as same as AT command. In addition, the RSSI and source address on a packet by packet can be viewed. Thus API mode increases the flexibility and functionality for the XBee developer.

TABLE I. THE RELATION BETWEEN PACKET SIZE, TIME AND XBEE MODE

Packet Size (byte)	Time						%	
	Average (ms)		Min (ms)		Max (ms)		AT	API
	AT	API	AT	API	AT	API		
1	61	42	29	31	141	57	100	100
5	64	43	31	30	145	58	100	100
10	62	42	33	31	158	54	100	100
15	66	40	31	35	157	61	100	100
20	68	49	30	34	160	63	100	100
25	67	48	34	31	159	61	100	100
30	71	41	30	30	162	59	100	100
35	71	48	34	29	161	58	100	100
40	70	45	36	36	160	61	100	100
45	72	45	38	30	160	60	100	100
50	75	40	39	35	160	67	100	100
55	78	44	40	34	162	63	100	100
60	80	47	43	32	164	63	100	100
75	79	49	45	33	161	67	100	100
80	82	50	49	30	162	69	100	100
85	82	51	58	34	159	71	100	100
90	83	48	57	39	162	75	100	100
95	84	53	59	35	162	79	5	100
100	-	95	-	80	-	100	0	100
110	-	91	-	81	-	100	0	100
130	-	90	-	79	-	100	0	100

In order to find out the suitable XBee mode for the image transmission, the first experiment has been set up. We will transmit the varied packet size from 1, 5 bytes and adding up by 5 bytes until the percentage of transmitting success is not equal to 100%. Each case, we run on XBEE for ten times. The experiments have been processed both in AT and API mode. The results are shown in Table I.

From Table I, we found that API can give the best results. Therefore, we suggest the use of the API mode when XBee



platform has been used in wireless camera sensor node. The transmission rate of API is 90 ms/130 bytes.

### B. Image Transmission without Background Subtraction

We capture the image from the camera size 27 KB (as the picture shown in Figure 7-left) and divide it into 130 bytes per packet. From the transmission rate as discussed in the previous section, we can estimate the transmission time to be 18,692 ms. □

### C. Image Transmission with Background Subtraction

From the above transmission latency, the background subtraction has been applied in this work. The algorithm as described in the previous section has been developed on Friendly ARM S3C2440 board. The first image has been captured and transmitted to based-station. If there is no change in the picture, there is no need to transmit the new image. After running the background subtraction processing, there is a change in the new image, only the changing area (red apple as shown in Figure 6) has been sent to the base-station.



Figure 6. Image transmission with background subtraction

TABLE II. THE RELATION BETWEEN PACKET SIZE AND TIME FOR IMAGE TRANSMISSION WITH BACKGROUND SUBTRACTION

Packet Size (byte)	total time (ms)	Data Size (byte)	Data Size + Header (byte)
40	30,599	1,670	2,399
50	24,711	1,670	2,271
60	20,179	1,670	2,175
70	17,438	1,670	2,111
80	15,489	1,670	2,063
90	13,416	1,670	2,031
100	12,194	1,670	1,999
110	10,957	1,670	1,967
120	10,348	1,670	1,951
130	9,598	1,670	1,935

Table II shows the total time which composes of background subtraction processing time and transmitting time when the packet size is varied from 40-130 bytes. After background subtraction has been deployed and only the different area has been sent out. We found that the image of different area is 1.67 and uses about 9.5 seconds to complete

the processing and transmission. By using this technique, the system can reduce the transmitting latency at about 2 times.

### D. Image Transmission with multi-hop fashion

With the nature of wireless sensor networks, the network will have no infrastructure. This means that the intermediate node is required to forward the packet hop by hop until it reaches the based station. Thus, we investigate the relation between the latency and the hop counts when the packet size is varied. The results of this experiment are shown in Table III. The latency of the image transmission is slightly different when the hop-count is increasing in every packet size.

TABLE III. THE RELATION BETWEEN PACKET SIZE AND TIME FOR IMAGE TRANSMISSION WITH MULTI-HOP FASHION USING 839 BYTE

Packet Size (byte)	1-hop total time (ms)	2-hop total time (ms)	3-hop total time (ms)
40	15,311	15,391	15,429
50	12,104	12,214	12,251
60	10,092	10,202	10,248
70	8,829	8,909	8,964
80	7,508	7,598	7,652
90	6,191	6,291	6,387
100	5,504	5,640	5,699
110	5,031	5,209	5,273
120	4,850	4,992	5,067
130	4,207	4,317	4,383

## V. CONCLUSION

In this paper, we studied the problem of the image transmission over wireless sensor networks which having the limited bandwidth. The wireless camera sensor node is proposed in this paper which based on ARM S3C2440, XBcc and CMOS camera. In additional, we have introduced the processing method to reduce the transmitting data by subtracting the background and focused only the changing area. By using our method, we can reduce the amount of sending data 2 times. Moreover, the hop count in wireless sensor networks cannot affect to the latency of the image transmission.

## ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank National Science and Technology Development Agency (NSTDA) for their supports, TGIST scholarship, grant no. TG-44-18-53-065M.

## REFERENCES

- [1] A. Rowe, A. G. Goode, D. Goel, and I. Nourbakhsh, "CMUcam3: An Open Programmable Embedded Vision Sensor," *Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, Tech. Rep. CMU-RI-TR-07-13*, May 2007.

- [2] Zhe-yuan Xiong, Xiao-ping Fan, Shao-qiang Liu and Zhi Zhong, "Low complexity image compression for wireless multimedia sensor networks", In *Proceedings of Information Science and Technology (ICIST)*, page 665-670, 26-28 March, 2011.
- [3] A. Mammari, A Khoumsi, D. Ziou, and B. Hadjou, "Modeling and Adapting JPEG to the Energy Requirements of Visual Sensor Networks," In *Proceedings of International IEEE Workshop on Sensor Networks, Virgin Islands*, page 1-6, 2008.
- [4] Huaming Wu and Alhussein A. Abouzeid, "Energy efficient distributed JPEG2000 image compression in multihop wireless networks", In *proceedings of 4th Workshop on Applications and Services in Wireless Networks (ASWN 2004)*, pages 152-160, August 2004.
- [5] S.A.Hussain, et.al., "Energy Efficient Image Compression in Wireless Sensor Networks. In *International Journal of Recent Trends in Engineering*, vol. 2, no.1, page 117-120, November, 2009.
- [6] L. Ferrigno, S. Marano, V. Paciello, and A. Pietrosanto, "Balancing computational and transmission power consumption in wireless image sensor networks", In *Proceedings of IEEE 29 International Conference on Virtual Environments, Human-Computer Interfaces, and Measures Systems (VECMIS 2005)*, Giardini Naxos, Italy, July 2005.
- [7] Phat Nguyen Huu, Vinh Tran-Quang and T. Miyoshi, "Image compression algorithm considering energy balance on wireless sensor networks", In *Proceedings of 8<sup>th</sup> IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, page 1005-1010, 13-16 July, 2010.
- [8] S.S. Pradhan, J. Kusuma and K. Ramchandran, "Distributed compression in a dense microsensor network", In *Proceedings of IEEE Signal Processing Magazine*, vol.19, no.2, page 51-60, 2002.
- [9] S.A.Hussain, M.I. Razzak, A. A. Minhas, M. Sher and G.R Tahir, "Energy Efficient Image Compression in Wireless Sensor Networks", In *Journal of Recent Trends in Engineering*, vol. 2, no.1, page 117-120, November 2009.
- [10] C. Park and P. Chou, "eCAM: ultra compact, high data-rate wireless sensor node with a miniature camera", In *proceedings of SenSys*, pages 359-360, 2006.
- [11] T. Teixeira, D. Lymberopoulos, E. Culurciello, Y. Aloimonos, and A. Savvides, "A lightweight camera sensor network operating on symbolic information", In *proceedings of the First Workshop on Distributed Smart Cameras*, 2006.
- [12] M. Rahimi, R. Baer, O. Irocz, J. Garcia, J. Warrior, D. Estrin, and M. Srivastava, "Cyclops: In situ image sensing and interpretation", In *proceedings of Embedded Networked Sensor Systems*, 2005.
- [13] Online Manual, <http://www.friendlyarm.net/downloads>, last update: 16 November 2011.
- [14] B. Kai and P. Yong, "Performance study on ZigBee-based wireless personal area networks for real-time health monitoring", In *Journal ETRI*, vol.28, no.4, page xx-xx, 2006.