

**การออกแบบตัวควบคุมเครือข่ายตรวจจับไร้สายอัตราต่ำแบบหลายเครือข่าย  
โดยใช้ตัวประมวลผลตัวเดียว**

**A Design of Low Rate Wireless Sensor Network Coordinator with Multi-Network Using  
Single Processor**

วณพันธ์ ้วยวุฒิ

Wanapan Waiyawoot

**บทคัดย่อ**

บทความนี้นำเสนอการออกแบบสร้างตัวควบคุมเครือข่าย (Network Coordinator) ตรวจจับไร้สาย (Wireless sensor) แบบอัตราต่ำ (Low rate) ที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายแบบหลายเครือข่าย โดยใช้ตัวควบคุมสมองกลฝังตัวขนาดเล็ก (Small Embedded Micro Controller) ทำให้ระบบมีขนาดที่ใหญ่มากขึ้น แต่ใช้ตัวควบคุมเพียงตัวเดียว สามารถลดขนาดของการใช้อุปกรณ์ประกอบ และลดการใช้พลังงานลง จากการวิจัยใช้ ตัวควบคุม Propeller Chip ของ Parallax ที่มีตัวประมวลผลอยู่ภายใน 8 ตัว ที่สามารถทำงานร่วมกันหรือทำงานพร้อมๆ กันได้ โดยนำตัวควบคุมนี้มาทำงานร่วมกับ Zigbee ที่ทำงานกับ โปรโตคอล 802.15.4 ต่อรวมกันเป็นเครือข่ายตรวจจับไร้สาย ผลการทดลองทำให้ตัวควบคุมหนึ่งตัว สามารถใช้งานร่วมกับเครือข่ายได้มากกว่าหนึ่งเครือข่าย และสามารถเฝ้าดู (Monitor) ผลของการทำงานของตัวตรวจจับได้โดยตรงจาก ตัวควบคุม Propeller ที่สร้างสัญญาณเพื่อต่อกับจอภาพ (Screen Monitor) ของคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง

คำสำคัญ: ตัวตรวจจับไร้สาย, Zigbee, Propeller Chip

## Abstract

This paper presents the development of a low rate wireless sensor network coordinator with multi-network. This research used small embedded micro controller. The system can expand into multi network and work with single processor. This design will reduce components and power assumption. The research use Propeller Chip by Parrallax Inc. This chip contains eight processors inside. All eight processors can perform tasks simultaneously or with coordination from other processors. It comprised of zigbee chip to perform wireless sensor network that work with 802.15.4 protocol. Experimental results show that we can use single microcontroller work with multi-network. It can monitor result of network directly from Propeller chip by generating computer monitor signal.

Keywords: Wireless sensor network, Zigbee, Propeller chip.

E-mail: wanapun.w@rmutp.ac.th

## 1. บทนำ

เครือข่ายตรวจจับไร้สาย (Wireless Sensor Networks: WSN) จะประกอบด้วยจุดตรวจจับ (Sensor Node: SN) ที่มีการกระจายตัวเป็นจำนวนมากในพื้นที่ตรวจจับแต่ละจุดตรวจจับประกอบไปด้วย ส่วนประมวลผลและส่วนสื่อสาร มีหน้าที่หลักคือเฝ้าดูหรือรอเหตุการณ์ที่สนใจจะตรวจจับภายในบริเวณนั้น เพื่อรวบรวมข้อมูลที่สนใจและส่งกลับไปสู่สถานีหลัก (Base Station) เพื่อประมวลผล ปัจจุบันมีการพัฒนา WSN มาประยุกต์มาใช้กับงานหลายๆอย่าง เช่นการควบคุมการใช้พลังงานภายในอาคาร การตรวจจับการเกิดไฟป่า [1] ระบบรักษาความปลอดภัยในบ้านหรืออาคาร การตรวจจับศัตรูในทางทหาร และอื่นๆ ที่ต้องการตรวจจับเหตุการณ์ ที่มีโอกาสเกิดหลายๆจุด โดยมีจุดตรวจจับ, SN แบบไร้สาย โดยที่แต่ละจุดตรวจจับจะมีขนาดเล็ก ราคาไม่สูงติดตั้งได้ง่าย ไม่ต้องมีระบบรองรับพื้นฐาน (Network Infrastructure) ทำให้ในบางพื้นที่ที่ต้องการเฝ้าดู ไม่จำเป็นต้องเข้าไปในพื้นที่นั้น หรือต้องกำหนดตำแหน่งของ WSN โดยปรายหรือทั้งตัวตรวจจับอย่าง สุ่มในพื้นที่นั้น

ในบทความนี้ เสนอวิธีการ สร้างตัวควบคุมเครือข่าย ที่ทำหน้าที่ติดต่อกับตัวประสานงานเครือข่าย (Network Coordinator) ที่ติดต่อกับเครือข่ายได้หลายเครือข่าย (Multi-Network) แทนที่จะใช้วิธีการเพิ่ม อุปกรณ์ตรวจจับแบบ พลวัตตามวิธีการของ [3] เมื่อมีการเพิ่มเครือข่ายหลายเครือข่าย ทำให้ระบบสามารถทำงานทดแทนเครือข่ายเดิม เพื่อเพิ่มพื้นที่ตรวจจับ เพิ่มรูปแบบของตัวตรวจจับ หรือเป็นระบบสำรอง ในกรณีที่ระบบเดิมมีปัญหา โหนดที่ใช้ตามมาตรฐานของ IEEE

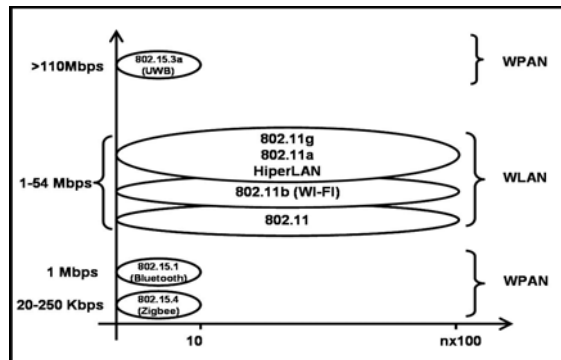
802.15.4 [4] มีการกำหนดชนิดของอุปกรณ์เป็น 2 ชนิด คือ Full Function Device (FFD) และ Reduced Function Device (RFD)

ตามมาตรฐานของ IEEE 802.15.4 ได้กำหนดคุณสมบัติ ของเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล แบบอัตราการรับส่งต่ำ (Low Rate Wireless Personal Area Network, LRWPAN) ไว้ 2 ชั้น (2 Layers) คือชั้นกายภาพ (Physical Layer) และชั้นรองของแมค (Medium Access Control Sub Layer) มีการกำหนดส่วนสนับสนุน ของอุปกรณ์แบบง่าย 2 ชนิดคือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ได้เต็มที่ (Full Function Device, FFD) และ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ได้บางส่วน (Reduced Function Device, RFD) ตามมาตรฐาน อุปกรณ์แบบ FFD จะสนับสนุนการทำงานพื้นฐานทางกายภาพ และแมค รวม 49 อย่าง แต่ อุปกรณ์แบบ RFD จะสนับสนุนแค่ 38 อย่าง การติดต่อสื่อสารของอุปกรณ์ FFD จะติดต่อกับอุปกรณ์ FFD ตัวอื่นๆ และ อุปกรณ์ RFD ได้ โดยอุปกรณ์ FFD จะทำงานได้ 3 ลักษณะคือ

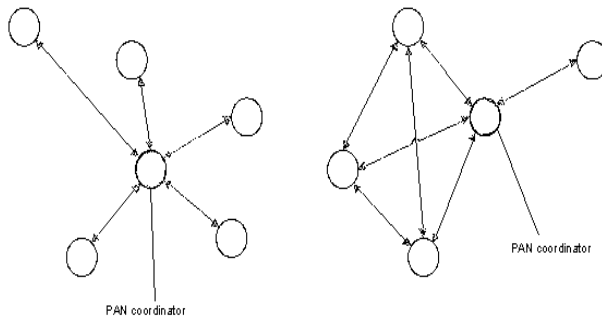
- 1.ตัวประสานงานเครือข่ายส่วนบุคคล (PAN Coordinator)
- 2.ตัวประสานงาน (Coordinator)
- 3.อุปกรณ์ (Device)

อุปกรณ์แบบ RFD จะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ อย่างเดียว การเคลื่อนย้ายข้อมูลระหว่างโนดมี 3 ลักษณะคือ

- 1.จากอุปกรณ์ไปตัวประสานงาน (Device to a coordinator)
- 2.จากตัวประสานงานไปอุปกรณ์ (Coordinator to device)
- 3.ระหว่างอุปกรณ์ที่อยู่ในระดับเดียวกัน (Peer to peer)



ภาพที่ 1 เทคโนโลยีของเครือข่ายไร้สาย [4]



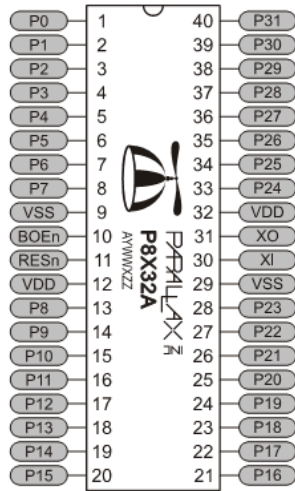
ภาพที่ 2 โทโปโลยีของเครือข่าย LRWPAN [6],[7]

โทโปโลยีของเครือข่าย LRWPAN จะมี 2 ลักษณะคือ

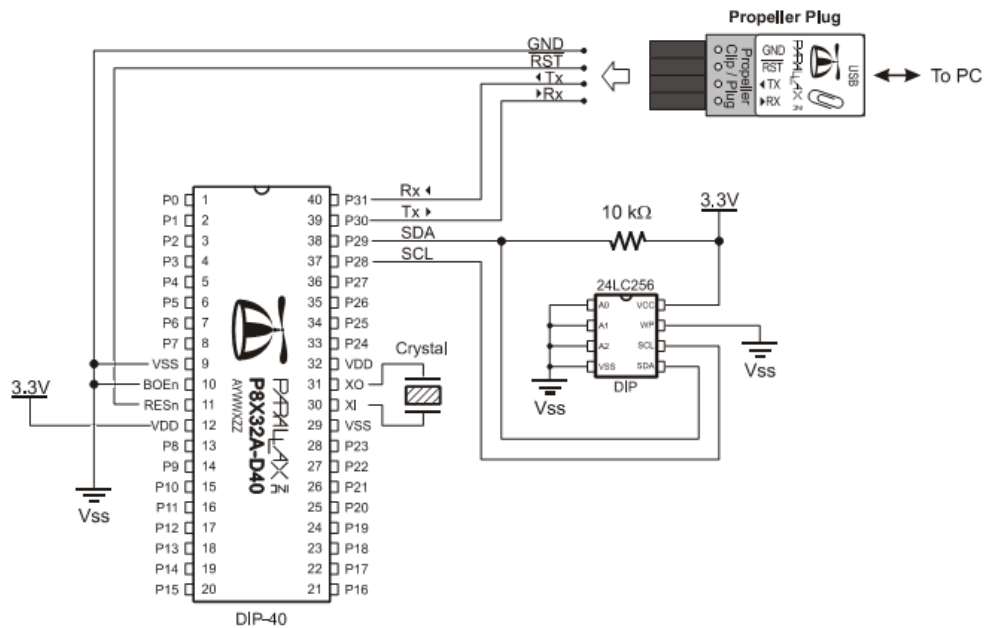
1.แบบ ดาว (Star Topology) และแบบระดับเดียวกัน (Peer to Peer Topology) ในรูปแบบดาวจะมีการติดต่อสื่อสาร ระหว่าง PAN Coordinator กับอุปกรณ์ ซึ่งอุปกรณ์ทั้งหมดในเครือข่ายจะมีตำแหน่งแบบขยาย (Extended Address) และสามารถเปลี่ยนตำแหน่งเป็นแบบสั้น (Short Address) โดย PAN Coordinator ในขณะที่ทำการเชื่อมโยงความสัมพันธ์กัน ระหว่างอุปกรณ์ (Device Associate)

2.โทโปโลยี แบบที่ 2 (Peer to peer) มี PAN Coordinator เหมือนแบบที่ 1 แต่อุปกรณ์แต่ละตัวสามารถติดต่อระหว่างกันได้ ในระยะการติดต่อของแต่ละอุปกรณ์ โทโปโลยีนี้ สามารถนำมาสร้างเป็นเครือข่าย ที่มีความซับซ้อนมากขึ้นได้

ตัวควบคุม Propeller ลักษณะโดยทั่วไปเหมือนกับตัวควบคุมแบบฝังตัว (Embedded System) อื่น ๆ แต่ที่เป็นจุดที่น่าสนใจคือ มีตัวประมวลผลย่อยภายใน 8 ตัว (ถูกเรียกว่า ค็อก, Cog) ที่แต่ละตัวสามารถทำงานอย่างอิสระ หรือทำงานร่วมกันได้ ลักษณะอย่างอื่น ๆ อีกเช่น หน่วยความจำเป็นแบบแบน (Flat) ทำให้ประหยัดเวลา ในการเข้าถึงส่วนของโปรแกรมและข้อมูล ไม่ได้แยกเป็น 2 ส่วน การจัดการเหตุการณ์ เป็นแบบไม่สอดคล้องกัน (Asynchronous) ทำให้ง่ายต่อการจัดการมากกว่าการใช้การขัดจังหวะ (Interrupt) เพียงแค่การกำหนด cog ทำงานที่ต้องการ ภาษาแอสเซมบลีที่ใช้งานง่ายต่อการใช้งาน



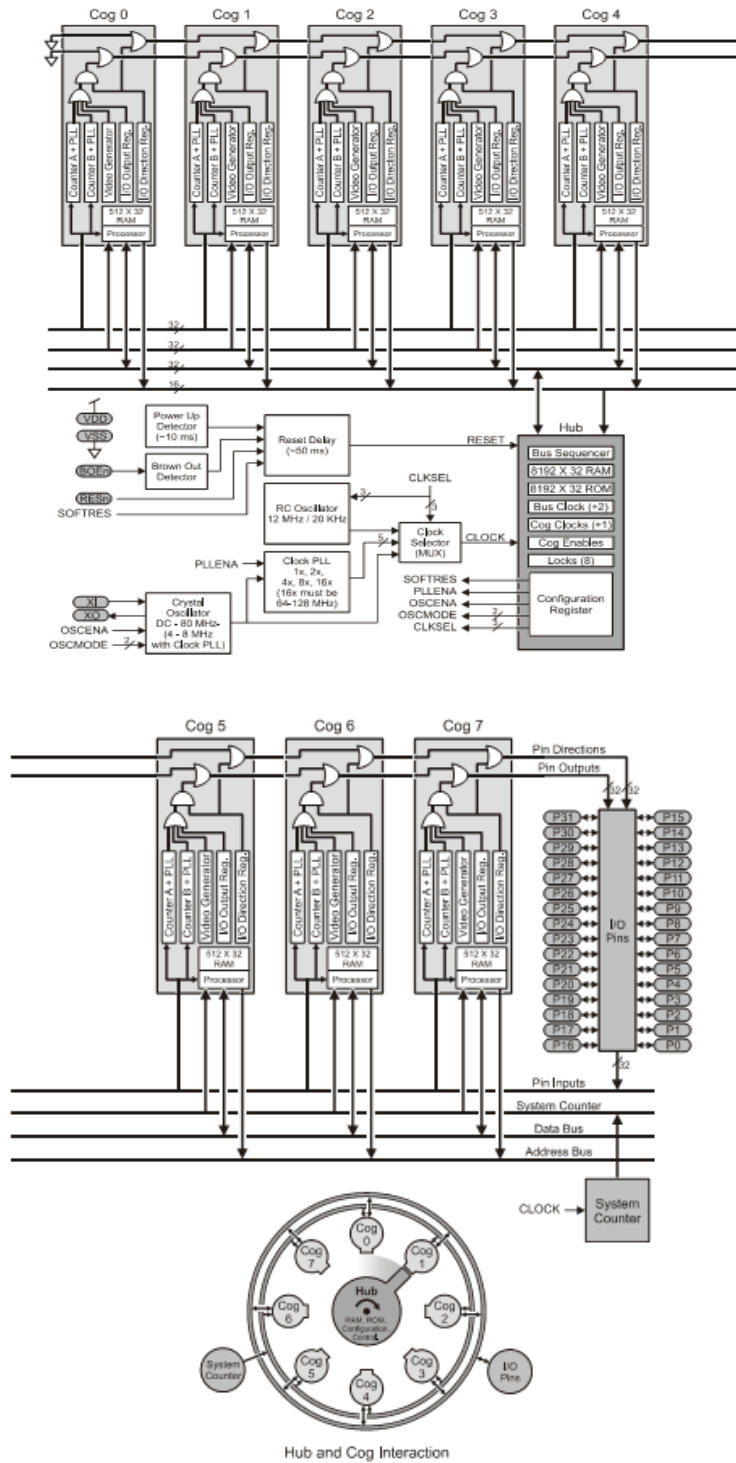
ภาพที่ 3 รูปร่างและขาของ Propeller chip [10]



ภาพที่ 4 การวงจรที่ต่อกับ EEPROM และ คอมพิวเตอร์เพื่อการโปรแกรม [10]

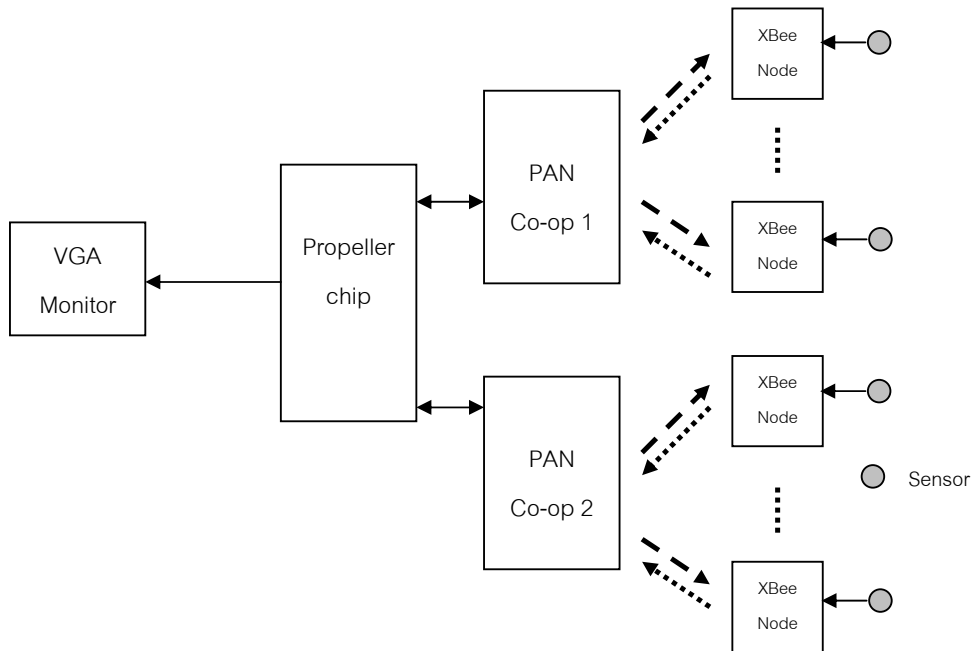
ในการทำงานตอนเริ่มต้นระบบ จะมีการตรวจสอบว่ามีการติดต่อมาจากคอมพิวเตอร์หรือไม่ ถ้ามีการติดต่อก็คงจะทำงานร่วมกันโดยใช้ตัวโปรแกรม บูทโหลดเดอร์ (Boot Loader) ทำให้ถ่ายโอนโปรแกรมไปไว้ที่ หน่วยความจำหลัก (Main Ram) หรือหน่วยความจำ EEPROM ภายนอก และเริ่มทำงานด้วย Cog 0 ถ้าไม่มีการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ Boot Loader จะตรวจสอบว่ามีหน่วยความจำ EEPROM ภายนอกต่ออยู่ที่ขา P28 และ P29 หรือไม่ ถ้ามี Propeller chip จะคัดลอกข้อมูล (data image) ไปไว้ในหน่วยความจำหลัก และเริ่มทำงานด้วย Cog 0 และถ้าไม่พบ EEPROM Propeller chip จะเข้าสู่สภาวะปิด (Shutdown mode)

Figure 1-2: Propeller Chip Block Diagram



ภาพที่ 5 ลักษณะภายในของ Propeller chip [10]

## 2. วิธีการดำเนินการวิจัย



ภาพที่ 6 แผนภาพบล็อก (Block Diagram) ของการทดลอง

จากภาพที่ 6 เป็นแผนภาพบล็อก ที่ใช้ในการทดลองโดยต่อกับ XBee 2 ตัว ทั้ง 2 ทำหน้าที่เป็น PAN Coordinator เพื่อรับข้อมูลจากโนดย่อย โดยที่โนดย่อยจะรับข้อมูลจากตัวตรวจจับ แต่ละ Coordinator จะถูกกำหนดให้มีเน็ตเวิร์คแอดเดรสที่แตกต่างกัน

การเชื่อมต่อระหว่าง PAN Co-op1 และ 2 จะใช้การรับส่งแบบอนุกรม มีสัญญาณที่ใช้คือ Di (Data in), Do (Data out), CTS และ RTS ขา CTS และ RTS จะใช้ควบคุมการรับส่งข้อมูลแบบฮาร์ดแวร์ (Hardware Flow Control) ถ้าต่อแบบนี้จะใช้สัญญาณของ Propeller chip มากถึง 4 ขาต่อ XBee 1 ตัว การลดทำได้โดยเปลี่ยนการควบคุมการรับส่งข้อมูลใหม่ โดยที่ CTS จะส่งสัญญาณเมื่อ DI (Data in) Buffer ใกล้เคียงเต็ม และเมื่อข้อมูลใน Buffer เกือบหมด ถ้าไม่ต้องการใช้ ขา CTS เพื่อประหยัดสัญญาณของ Propeller ทำได้โดยการส่งข้อมูลที่มีขนาดเล็กกว่า Buffer อีกวิธีหนึ่งคือการใช้อัตราบอด (Baud rate) ที่มีค่าต่ำ ในทำนองเดียวกันกับสัญญาณ RTS ที่ใช้กับ DO (Data out) Buffer ข้อมูลจะหายเมื่อ อัตราการส่งข้อมูลของ RF สูงมากกว่า อัตราการส่งข้อมูลจาก XBee มาที่ ตัวควบคุม กรณีที่สอง ตัวควบคุมไม่ยอมรับข้อมูลจาก XBee เนื่องจากถูกควบคุมด้วยฮาร์ดแวร์ หรือ ซอฟต์แวร์

การที่ตัวควบคุม (Propeller chip) มีขนาดเล็กและทำงานแบบขนานได้ ทำให้สามารถนำ cogs มาใช้ในการแสดงผลข้อมูลที่ได้จากเน็ตของ XBee โดยสร้างสัญญาณ วีจีเอ (VGA) จาก ขาสัญญาณของ propeller 8 เส้น ทำให้ระบบมีขนาดเล็ก

### 3. ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดลอง propeller chip สามารถติดต่อกับ Xbee module และแสดงผลข้อมูลที่ตัว coordinator ได้รับมาจาก sensor node โดยเริ่มต้นส่งข้อมูลจากตัว propeller ไปที่ XBee Coordinator ซึ่งจะถูกส่งต่อไปยัง XBee ที่ทำหน้าที่ sensor node (รับข้อมูลจาก sensor) โดยจำลองข้อมูลเป็นข้อมูลตัวอักษรขนาด 8 bits ถูกส่งไปและย้อนส่งกลับ (Loopback) มาที่ตัว coordinator อีกครั้งหนึ่ง ผลที่ได้จะแสดงผลบนมอนิเตอร์แบบวีจีเอ เป็นข้อมูลที่ได้จาก coordinator 2 ตัว ที่ทำงานได้พร้อม ๆ กัน ที่ระยะทางน้อยกว่า 20 เมตรสามารถรับส่งข้อมูลได้ 100 %

### 4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองทำให้สามารถสร้างระบบการเฝ้าดู (Monitoring) ตรวจจับ (Sensing) ขนาดเล็ก ราคาถูก ไม่ต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ และมีราคาสูง ไม่ต้องใช้สายสัญญาณในการเชื่อมต่อ มีการใช้พลังงานของ sensor node ที่ต่ำ ถ้าต้องการประหยัดพลังงานทั้งระบบ ทำได้โดยเปลี่ยนรูปแบบในการแสดงผลให้เป็นแบบผลึกเหลว (LCD) และอาจจะเพิ่มระบบการเชื่อมต่อเพื่อติดต่อกับผู้ใช้โดยผ่าน คีย์บอร์ดได้ นอกจากนี้ถ้าต้องการขยายการติดต่อกับระบบก็อาจทำได้โดยเพิ่มส่วนเชื่อมต่อกับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งจะทำให้การควบคุม เฝ้าดู และตรวจจับทำได้สะดวกมากขึ้น

### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ใช้สถานที่ในการทดลองและวิจัย และอำนวยความสะดวกต่าง ๆ

### เอกสารอ้างอิง

[1] Supada Laosooksathit, Vara Varavithya, and Nachol Chaiyaratana, "Ant Colony with Event Flooding in Sensor Networks: Forest Fire Detection," in the proceeding of the National Electrical Engineering Conference (EECON 28), 2005.



- [2] Itziar Marin, Eduardo Arceredillo, Aitzol Zuloaga and Jagoba Arias, "Wireless Sensor Networks: A Survey on Ultra-Low Power-Aware Design", TRANSACTIONS ON ENGINEERING, COMPUTING AND TECHNOLOGY V1 DECEMBER 2004 ISSN 1305-5313.
- [3] Ioannis Chatzigiannakis, Athanassios Kinalis and Sotiris Nikolettseas, "Adaptive Energy Management for Incremental Deployment of Heterogeneous Wireless Sensor.", Research Academic Computer Technology Institute, P.O. Box 1122, 26110 Patras, Greece, Dept of Computer Engineering and Informatics, University of Patras, 26500, Patras, Greece.
- [4] J. Zheng and Myung J. Lee, "Will IEEE 802.15.4 make ubiquitous networking a reality?-- a discussion on a potential low power, low bit rate standard," IEEE Communications Magazine, Vol. 42, No. 6, pp. 140-146, June 2004.
- [5] J. Zheng and Myung J. Lee, "A comprehensive performance study of IEEE 802.15.4," Sensor Network Operations, IEEE Press, Wiley Interscience, Chapter 4, pp. 218-237, 2006.
- [6] "ZigBee Tutorial", <http://www.ifn.et.tu-dresden.de/~marandin/ZigBee/ZigBeeTutorial.html>
- [7] William C. Craig "Zigbee: Wireless Control That Simply Works"; Program Manager Wireless Communications ZMD America, Inc.; [www.zigbee.org/imwp/idms/popups/pop\\_download.asp?contentID=5438](http://www.zigbee.org/imwp/idms/popups/pop_download.asp?contentID=5438)
- [8] MaxStream, Inc., "Quick Start Guide XBee™/XBee-PRO™ OEM Development Kits", 355 South, 520 West, ste. 180 Lindon, UT 84042, 2006.
- [9] MaxStream, Inc., "Product Manual XBee™/XBee-PRO™ OEM Development Kits", 355 South, 520 West, ste. 180 Lindon, UT 84042, 2006.
- [10] Parallax Inc., "Propeller Manual Version 1.01", 2006.