

เปรียบเทียบประสิทธิภาพเซ็นเซอร์ไร้สายแบบหลายเสาอากาศสำหรับการรับ-ส่งสัญญาณผ่านชั้นดิน

Performance Study of Underground Wireless Sensor Network with Diversity Antenna

ธนวัฒน์ ตั้งตระกูล (Tanawat Dangdragool)* ดร. ชัชชัย คุณบัว (Dr. Chatchai Khunboa)**

ดร. วสุ เชาว์พานนท์ (Dr. Wasu Chaopanon)***

บทคัดย่อ

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายใต้ดินสามารถประยุกต์ใช้กับงานได้หลากหลาย เช่น การวัดความชื้นทางการเกษตร หรือการนำไปใช้เพื่อสร้างระบบเตือนภัยพิบัติจากดินถล่ม อย่างไรก็ตามปัจจัยจากดินเช่นความชื้นและความหนาแน่นของดิน ส่งผลต่อการลดทอนของสัญญาณ นอกจากนี้เสาอากาศที่ทำมุมไม่เหมาะสมของตัวรับ-ส่งสัญญาณ ยังส่งผลต่อประสิทธิภาพในเครือข่ายเช่นกัน งานวิจัยชิ้นนี้ได้พัฒนาเซ็นเซอร์โนดที่ประกอบด้วยหลายเสาอากาศ เพื่อเปรียบเทียบระดับความแรงของสัญญาณกับเซ็นเซอร์โนดที่มีขายทั่วไป พบว่าเซ็นเซอร์โนดที่ประกอบด้วยหลายเสาอากาศสามารถรับ-ส่งสัญญาณได้ดีกว่าเซ็นเซอร์โนดที่ขายทั่วไป นอกจากนี้เซ็นเซอร์โนดที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถติดตั้งอย่างอิสระ โดยไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงมุมของเสาอากาศของตัวรับ-ส่งสัญญาณ

ABSTRACT

Wireless Underground Sensor Networks can benefit to various applications such as moisture analysis for agriculture or landslide detection. However, not only a number of factors in soil such as moisture, density subject to signal attenuation but the orientation of an antenna also affects the network performance. Therefore, in this paper, we develop a sensor node with multiple antennas in order to compare a signal strength level with a commercial-of-the-shelf (COTS) node. Our results show that a multiple antenna node can provide a better signal level than a COTS node. In addition, our nodes can randomly deployment without concerning of antenna orientations.

คำสำคัญ: เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายใต้ดิน เซ็นเซอร์โนดหลายเสาอากาศ เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

Key Words: Wireless underground sensor network, Diversity antenna, Wireless sensor network

* นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*** อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

ในปัจจุบันเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (ซัสซัย, 2554) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปจะใช้กับการส่งข้อมูลผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศ เนื่องจากอุปกรณ์ถูกออกแบบเพื่อให้รองรับการรับ-ส่งข้อมูลผ่านทางอากาศ ดังนั้นเมื่อมีการนำมาประยุกต์ใช้กับการเกษตรกรรม การทำเหมืองแร่ หรือ การเก็บข้อมูลที่จะต้องมีการฝังอุปกรณ์เซ็นเซอร์โนดไว้ในชั้นดิน ที่เรียกว่าเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายใต้ดิน (Ian and Erich, 2006) ทำให้เกิดปัญหาในการรับ-ส่งข้อมูลที่มีความไม่แน่นอน เช่น ไม่สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ ในบางครั้ง ระยะในการรับ-ส่งข้อมูลของอุปกรณ์แต่ละตัวไม่เท่ากัน การติดตั้งอุปกรณ์ในแต่ละตัวทำมุมที่ไม่เหมาะสม (Silva and Vuran, 2009) เป็นต้น

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาการรับ-ส่งสัญญาณไร้สายผ่านทางชั้นดิน โดยจะใช้ เซ็นเซอร์โนดที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาทางด้านอุปกรณ์ที่ได้กล่าวในข้างต้น โดยการออกแบบเซ็นเซอร์โนดจะประกอบด้วยเสาอากาศจำนวนมากกว่าหนึ่งเสา หรือ diversity antenna สำหรับการเลือกรับสัญญาณ (Aaberge, 2009)

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป ในหัวข้อที่สามจะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นงานวิจัยการทดสอบเซ็นเซอร์โนดในการรับ-ส่งสัญญาณผ่านชั้นดินและงานวิจัยที่แสดงประสิทธิภาพในการใช้เซ็นเซอร์โนดหลายเสาอากาศในการระบุพื้นที่ หัวข้อที่จะพูดถึงอุปกรณ์ที่ได้พัฒนาขึ้นมาและอุปกรณ์ทั่วไปที่จะนำมา

เปรียบเทียบกับประสิทธิภาพ การออกแบบการทดสอบอุปกรณ์ และการเก็บผล หัวข้อที่ห้าเป็นการผลที่ได้จากการทดสอบ และหัวข้อสุดท้ายจะเป็นการสรุปผลงานวิจัยที่ได้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ประเภทการสื่อสารไร้สายใต้ดิน

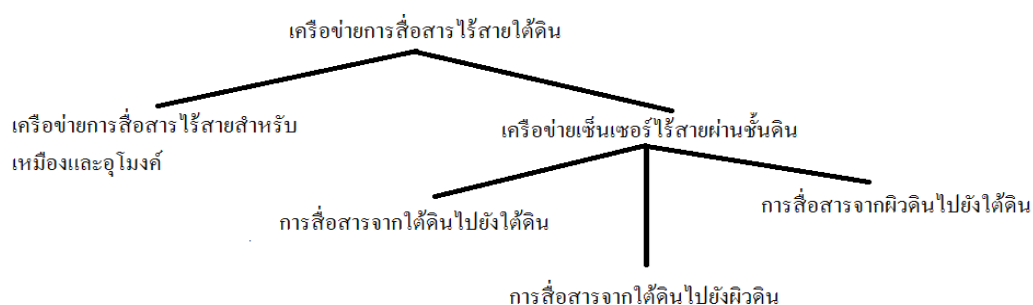
การสื่อสารไร้สายระหว่างเครือข่ายใต้ดิน ถูกแบ่งตามประเภทของงานที่นำไปประยุกต์ใช้ดังแสดงในรูปที่ 1 ได้แก่ เครือข่ายการสื่อสารไร้สายสำหรับเหมืองหรืออุโมงค์ใต้ดิน และเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายใต้ดิน

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายใต้ดินสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท (Ferrari, 2010) ตามการเชื่อมโยงการสื่อสารดังนี้

1. ใต้ดิน ไปยัง ใต้ดิน อุปกรณ์ทั้งตัวรับและตัวส่งสัญญาณทั้งคู่จะอยู่ในดิน
2. ใต้ดิน ไปยัง ผิวดิน จะมีเพียงตัวส่งสัญญาณเท่านั้นที่อยู่ภายในดิน ส่วนตัวรับสัญญาณจะอยู่บนผิวดิน
3. ผิวดิน ไปยัง ใต้ดิน จะมีเพียงตัวรับสัญญาณเท่านั้นที่อยู่ภายในดิน ส่วนตัวส่งสัญญาณจะอยู่บนผิวดิน

Diversity Antenna

การใช้เสาอากาศหลายตัวสำหรับการรับสัญญาณในอุปกรณ์เพียงตัวเดียว เป็นแนวคิดสำหรับการแก้ปัญหาในด้านสัญญาณที่เข้ามายังอุปกรณ์ซึ่งมีหลายสัญญาณที่แตกต่างกันไปในเชิงคุณภาพของสัญญาณผ่านการคำนวณที่เรียกว่าค่า Signal-to-Noise ratio (SNR) ดังนั้น



รูปที่ 1 ประเภทของเครือข่ายการสื่อสารไร้สายใต้ดิน

หลักการใช้เสาอากาศจำนวนหลายตัวในการรับสัญญาณ จะใช้เพื่อที่จะมีการเลือกสัญญาณที่ดีที่สุด หรือการรวมสัญญาณที่เข้ามาเพื่อที่จะได้สัญญาณที่คุณภาพสูงขึ้น แบ่งได้เป็น 3 ประเภทดังนี้ (Aaberge, 2009)

1. Maximal-Ratio combining วิธีนี้เป็นการรวมสัญญาณที่รับได้ในแต่ละเสาอากาศให้เป็นสัญญาณเดียว
2. Selection combining เป็นการเลือกใช้สัญญาณที่ดีที่สุดเพียงสัญญาณเดียวที่รับเข้ามาในแต่ละเสาอากาศ
3. Switch and Stay combining มีลักษณะคล้ายกับวิธี selection combining เพียงแต่วิธีนี้จะมีการกำหนดค่าที่ให้อุปกรณ์เปลี่ยนไปใช้เสาอากาศอื่น ถ้าหากเสาอากาศที่เลือกใช้อยู่ มีค่าของสัญญาณที่น้อยกว่า

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Development of a testbed in wireless underground sensor networks

งานวิจัยนี้ (Silva and Vuran, 2010) แสดงให้เห็นถึงวิธีการทดสอบการรับ-ส่งสัญญาณไร้สายผ่านชั้นดิน ระหว่างเซ็นเซอร์โนดที่ฝังอยู่ในชั้นดินกับเซ็นเซอร์โนดที่อยู่บนพื้นดิน หรือการรับ-ส่งภายในชั้นดินระหว่างเซ็นเซอร์โนด นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมที่อาจจะมีผลต่อการทดสอบ เช่น ผลจากขนาดของหลุมที่ใหญ่และลึก หรือหลุมที่ไม่ได้มาตรฐานเท่าเทียมกันทุกหลุม ส่วนประกอบของชั้นดินที่ส่งผลแตกต่างกันไปตามชนิดของดิน และปัจจัยที่เกิดจากตัวอุปกรณ์ เช่น ตำแหน่งและการทำมุมของเสาอากาศของตัวรับและตัวส่งสัญญาณไม่อยู่ในมุมที่เหมาะสม เป็นต้น

2. Wireless Soil Scout prototype radio signal reception compared to the attenuation model

งานวิจัย (Tiusanen, 2009) ของ Tiusanen แสดงให้เห็นผลของการรับ-ส่งข้อมูลผ่านชั้นดิน เพื่อวัดการลดทอนสัญญาณที่ระยะและความลึกในระดับต่างๆ โดยใช้ชิป nRF9E5 เป็นชิปในการรับ-ส่งข้อมูลที่ความถี่ 869

MHz พบว่าถ้าใช้ความถี่ที่สูงกว่าขึ้นจะทำให้เกิดปัญหาของการลดทอนสัญญาณที่สูง และถ้าหากใช้ความถี่ที่ต่ำกว่านี้จะมีปัญหาด้านอุปกรณ์ ที่จะต้องใช้เสาอากาศที่มีขนาดใหญ่ อีกทั้งที่ความถี่ 869 MHz เป็นย่านความถี่อิสระ ที่มีการลดทอนสัญญาณที่ไม่มากจนเกินไป

3. Wireless underground sensor networks using commodity terrestrial motes

งานวิจัยนี้ (Stuntebeck *et al.*, 2006) เสนอแนวคิดของการใช้อุปกรณ์เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ในการส่งสัญญาณจากอุปกรณ์เซ็นเซอร์โนดที่อยู่ใต้ดิน กับอุปกรณ์เซ็นเซอร์โนดที่อยู่บนผิวดินที่ความถี่ 2.4 GHz เพื่อวัดประสิทธิภาพจากอัตราความผิดพลาดในการรับแพ็คเกจ และวัดจากระดับความแรงของสัญญาณที่ตัวรับสามารถรับ ภายใต้โปรโตคอล Zigbee

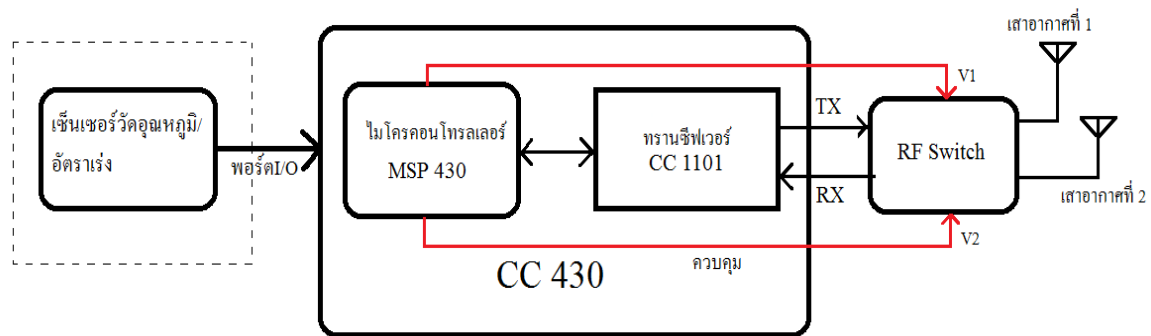
4. Application of antenna diversity technique on Wireless Sensor Network localization

งานวิจัยนี้ (Lifeng *et al.*, 2010) ได้เสนอแนวคิดของการเพิ่มประสิทธิภาพในการหาตำแหน่งของเซ็นเซอร์โนดในระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย อันเนื่องมาจากการรับ-ส่งสัญญาณ ด้วยการใช้ทฤษฎี diversity antenna เป็นผลให้ประสิทธิภาพในการรับ-ส่งสัญญาณจากเซ็นเซอร์โนดเพิ่มมากขึ้น ทำให้สามารถระบุตำแหน่งของเซ็นเซอร์โนดแต่ละตัวได้แม่นยำขึ้น จากค่าความแรงของสัญญาณ RSSI

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การออกแบบอุปกรณ์

อุปกรณ์เซ็นเซอร์โนดโดยทั่วไปจะประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์และส่วนทรานซิปเวอร์ โดยหน้าที่ของไมโครคอนโทรลเลอร์คือการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ ส่วนทรานซิปเวอร์จะมีหน้าที่ในการรับ-ส่งสัญญาณ ไปยังเสาอากาศตามที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งงาน แต่สำหรับเซ็นเซอร์โนดที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมาจะเพิ่มส่วน RF Switch เพื่อรองรับจำนวนของเสาอากาศที่มากขึ้นและทำหน้าที่ใน



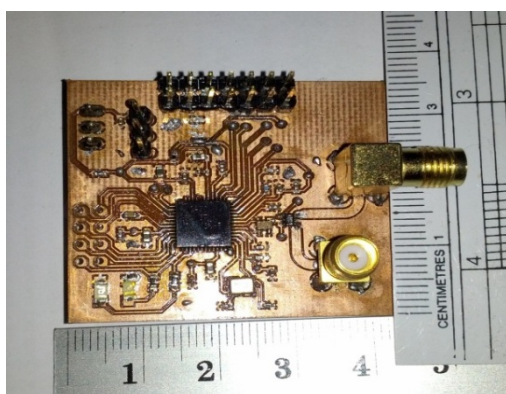
รูปที่ 2 การทำงานของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมา

การเลือกใช้เสาอากาศตามการควบคุมจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังแสดงรูปที่ 2

ควบคุมการทำงานได้ทั้ง 2 เสาอากาศ ดังแสดงใน ตารางที่ 1

อุปกรณ์เซ็นเซอร์โนดที่พัฒนาขึ้น

อุปกรณ์เซ็นเซอร์โนดต้นแบบที่ได้ทำการ พัฒนาขึ้นมา จะมีขนาด 4.2 x 3.5 ตารางเซนติเมตร ใช้ ชิพ CC430 ของบริษัท Texas Instrument แบบ System-On-Chip (SOC) โดยที่ภายในประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ MSP430 และทรานซีฟเวอร์ CC1101 รองรับความถี่ 315/433/868/915 MHz โดยชิพ CC430 จะต่อกับส่วน RF Switch ที่รองรับจำนวนของ เสาอากาศ 2 ตัว เพื่อใช้ในการรับ-ส่งสัญญาณ และ รองรับพอร์ต I/O จำนวน 8 พอร์ต ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 อุปกรณ์เซ็นเซอร์โนดที่พัฒนาขึ้น

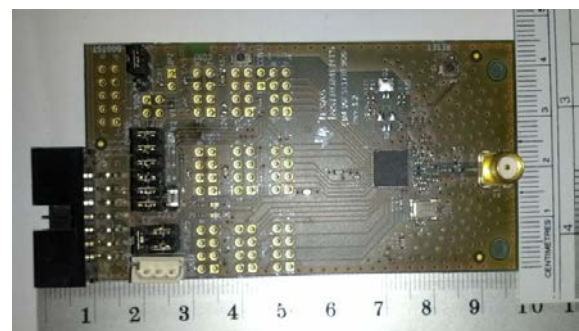
สำหรับการควบคุม RF Switch จะต้องใช้ดิจิทัล พอร์ต I/O จากชิพ จำนวนสองขา เพื่อให้สามารถ

ตารางที่ 1 การควบคุม RF Switch

V1	V2	การทำงาน
1	0	เลือกใช้เสาอากาศ 1
0	1	เลือกใช้เสาอากาศ 2

อุปกรณ์เซ็นเซอร์โนดทั่วไป

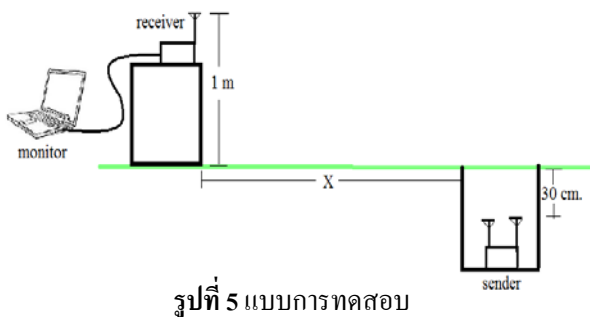
อุปกรณ์เซ็นเซอร์โนดที่นำมาเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพเป็นอุปกรณ์เซ็นเซอร์โนด CC430 evaluation module kit ของบริษัท Texas Instrument จะมี ขนาด 4.5x10 ตารางเซนติเมตร ใช้ชิพ CC430 เช่นเดียวกับอุปกรณ์ต้นแบบที่ได้พัฒนา และมีเสาอากาศ สำหรับรับ-ส่งสัญญาณ เพียง 1 เสาอากาศเท่านั้น ดังแสดง ในรูปที่ 4



รูปที่ 4 อุปกรณ์เซ็นเซอร์โนดของบริษัท TI

ออกแบบการทดสอบ

การทดสอบจะเป็นการส่งสัญญาณจากใต้ดินไปยังผิวดิน ดังนั้นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งสัญญาณจะต้องอยู่ในชั้นดินโดยจะฝังไว้ที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตรจากผิวดิน ส่วนอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณจะอยู่บนผิวดิน ที่ความสูง 1 เมตรจากผิวดิน ระยะจากอุปกรณ์ทั้งสองจะเริ่มต้นที่ระยะ 1 เมตร ในแนวระนาบกับผิวดิน และจะเพิ่มระยะไปเรื่อยๆทีละ 1 เมตร จนถึงระยะที่อุปกรณ์ทั้งสอง อยู่ห่างกัน 10 เมตร ในแนวระนาบ ดังแสดงในรูปที่ 5



อุปกรณ์จะใช้โปรแกรมการรับ-ส่งสัญญาณพื้นฐาน ที่ความถี่ 868 MHz มีกำลังการส่ง 10 dBm และใช้เสาอากาศที่มีอัตราขยาย 2.5 dBm สำหรับเซ็นเซอร์โนดที่ได้

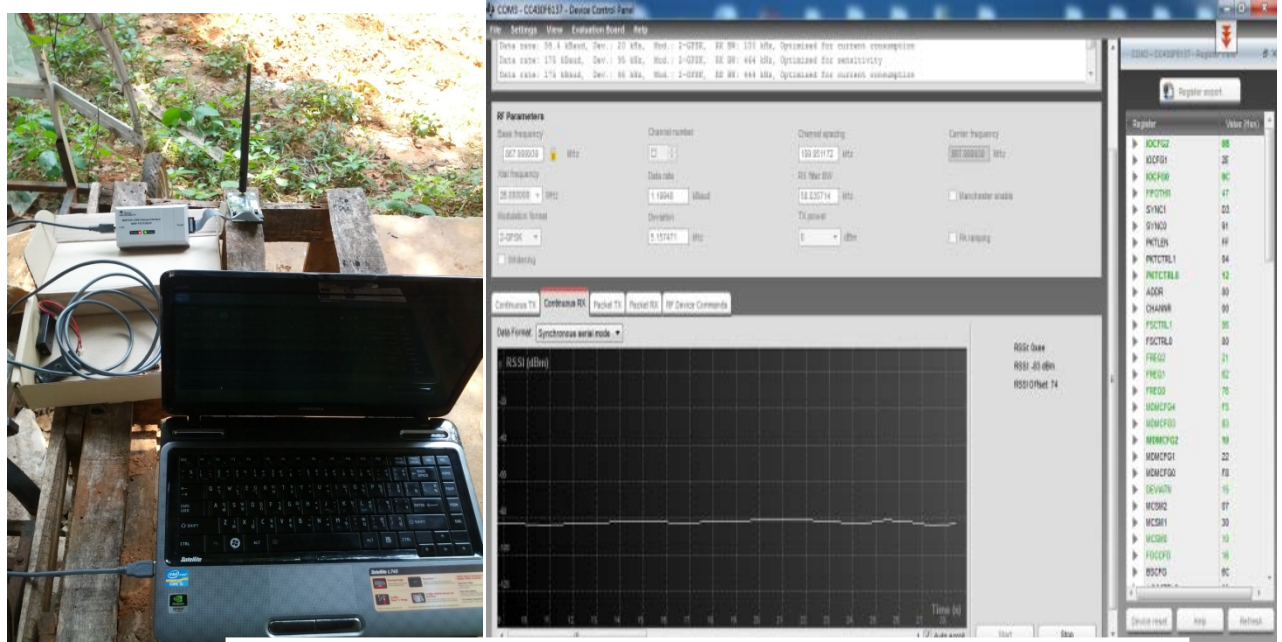
พัฒนาขึ้นมาจะรวมมีสัญญาณแบบ Maximal-Ratio Combining

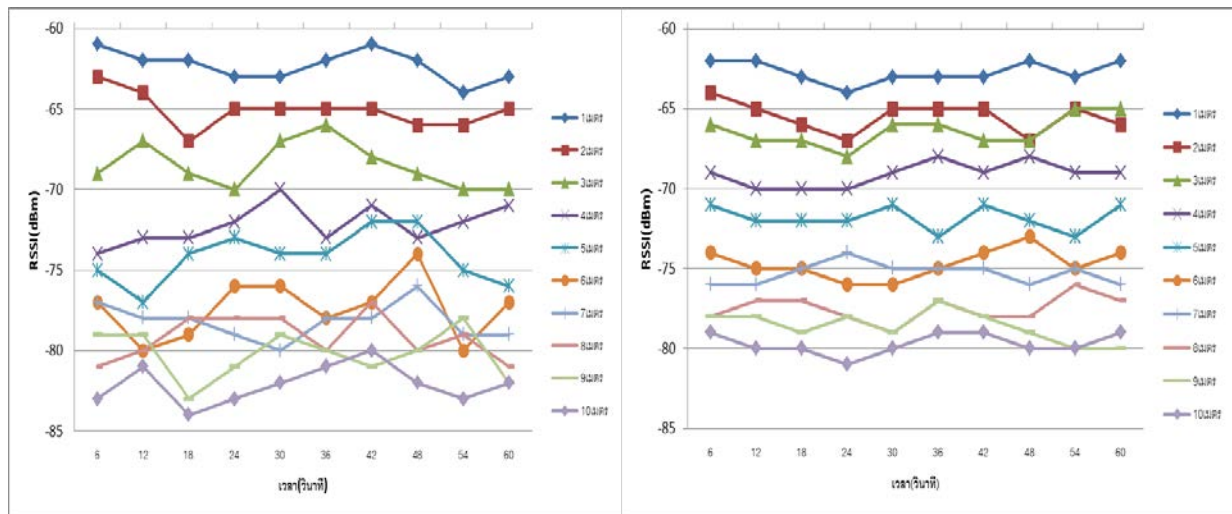
การบันทึกผลจะใช้อุปกรณ์ MSP-FET430UIF ต่อเข้ากับอุปกรณ์เซ็นเซอร์โนดตัวรับสัญญาณ ควบคู่กับโปรแกรม SmartRF ของบริษัท Texas Instrument ในการแสดงค่าของ Received Signal Strength Indication(RSSI) ที่อุปกรณ์ตัวรับสามารถรับได้ ดังแสดงในรูปที่ 6 การทดสอบจะทำการเฉลี่ยหาค่า RSSI ที่รับได้ในระยะเวลา 1 นาทีในแต่ละการทดสอบ

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

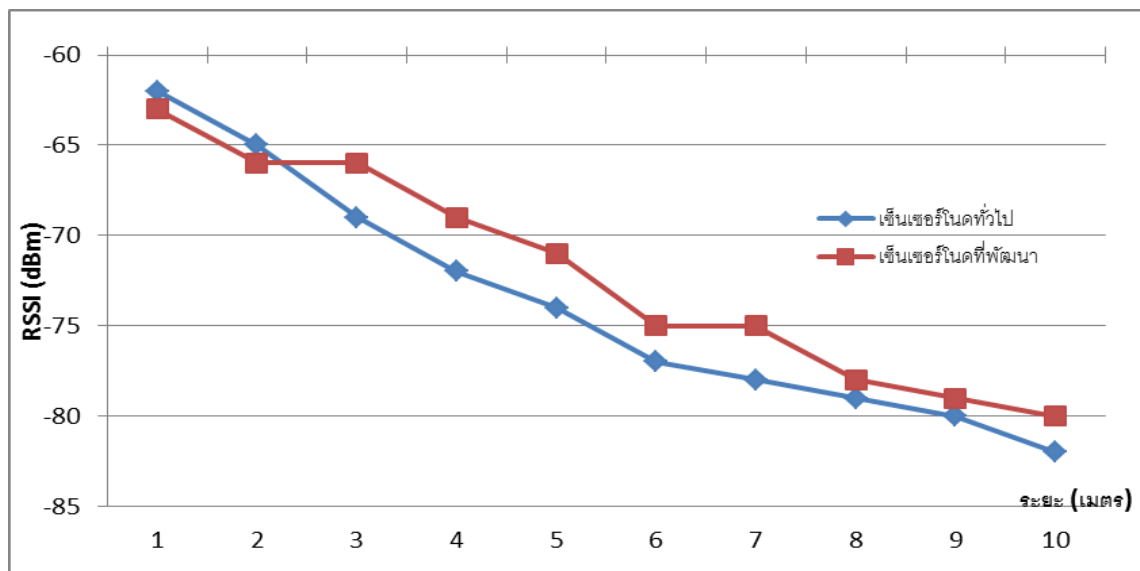
ผลการวิจัยจะแสดงในรูปที่ 7 กราฟที่ได้เป็นค่า RSSI ที่รับได้ในระยะเวลา 1 นาที (10 ครั้ง) ที่ระยะทางต่างๆ พบว่าเมื่อเพิ่มระยะทางมากขึ้น ค่า RSSI ที่สามารถรับได้จะมีค่าลดลง และช่วงของค่า RSSI จะเพิ่มมากขึ้น

ในรูปที่ 8 จะแสดงค่าเฉลี่ย RSSI ในแต่ละระยะของเซ็นเซอร์โนดแต่ละตัว พบว่าที่ระยะ 1 และ 2 เมตรนั้น เซ็นเซอร์โนดทั่วไปของบริษัท Texas Instrument จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเซ็นเซอร์โนดที่ได้พัฒนาขึ้นมา เพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่เมื่อระยะทางมากขึ้น เซ็นเซอร์โนดที่ได้พัฒนาขึ้นมา มีแนวโน้มของ





รูปที่ 7 ก) ค่าRSSI ที่รับได้ของเซ็นเซอร์โนดทั่วไป ข) ค่าRSSI ที่ได้รับของเซ็นเซอร์โนดที่พัฒนา



รูปที่ 8 เปรียบเทียบค่า RSSI โดยเฉลี่ยของอุปกรณ์

ประสิทธิภาพที่ดีกว่า เนื่องจากค่าเฉลี่ยของ RSSI ที่วัดได้จะมีความใกล้เคียงกันมากกว่าเซ็นเซอร์โนดทั่วไป บางครั้งจะได้ค่า RSSI เทียบเท่ากับเซ็นเซอร์โนดที่พัฒนา โดยปกติค่า RSSI ที่วัดได้น้อยกว่าเมื่อทำการเฉลี่ย ที่ระยะ 8, 9 และ 10 เมตร ค่า RSSI ที่วัดได้ จะมีความใกล้เคียงกันมาก เมื่อเฉลี่ยแล้วเซ็นเซอร์โนดที่พัฒนาขึ้นมายังมีค่า RSSI เฉลี่ยที่มากกว่าเซ็นเซอร์โนดทั่วไปประมาณ 2 dBm

สรุปผลการวิจัย

ผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการนำเอาทฤษฎี diversity antenna มาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายผ่านชั้นดิน โดยประสิทธิภาพที่ได้้นอกจากค่าของ RSSI ที่เพิ่มมากขึ้นแล้ว ยังรวมถึงความเสถียรของการรับและการส่งสัญญาณ อีกทั้งความสะดวกในการติดตั้งอุปกรณ์ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับเครือข่ายไร้สายแอปพลิเคชันอื่นๆได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบคุณคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) สำหรับชุดเครื่องมือที่ใช้ในการทำอุปกรณ์เซ็นเซอร์โน้ตต้นแบบที่พัฒนาขึ้น บัณฑิตวิทยาลัย สำหรับทุนสนับสนุนงานวิจัย และนายประโยชน์ บุญชัยสุข ที่ช่วยเหลือในการบันทึกผลการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

ชัชชัย คุณบัว. 2554. เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและการประยุกต์ใช้. วารสารศูนย์บริการวิชาการ, มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 19(3- 4).

Aaberge, T. 2009. Low Complexity Antenna Diversity For IEEE 802.15.4 2.4GHz PHY. Master of Science in Electronics, Department of Electronics and Telecommunications, Norwegian University of Science and Technology, Norway.

Akyildiz, IF., and Stuntebeck, EP. 2006. Wireless underground sensor networks: research challenges. *Ad Hoc Networks*, 4 (6): 669-686.

Ferrari, G. 2010. *Sensor Network: Where Theory Meets Practice*. Parma. Italy: Springer.

Lifeng Wei, Na Liu, Yujun Pang, Qinghui Wang and Xiaomie Liu. 2010. Application of antenna diversity technique on Wireless Sensor Network localization. In *CCDC Proceeding of Control and Decision Conference*: 26-28 May 2010, (pp. 1412-1426). Xuzhou, China.

Silva, AR., and Vuran, MC. 2009. *Empirical Evaluation of Wireless Underground-to-Underground Communication in Wireless Underground Sensor Networks*. USA: Springer Berlin Heidelberg Publisher.

Silva, AR., and Vuran, MC. 2010. Development of a testbed for wireless underground sensor networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking – Special issue on simulators and experimental testbeds design and development for wireless network*. 2010(April): Article No.9.

Stuntebeck, EP., Pompili, D., and Melodia, T. 2006. Wireless underground sensor networks using commodity terrestrial motes. *Proceeding of 2nd IEEE Workshop on Wireless Mesh Networks*: 25-28 September 2006, (pp. 112-114). Virginia, USA.

Tiusanen, J. 2009. Wireless Soil Scout prototype radio signal reception compared to the attenuation model. *Precision Agriculture*, 10(5): 372-381.