

การพัฒนาเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อติดตามและเฝ้าระวังโคเนื้อ แบบปล่อยฝูงในพื้นที่โล่งขนาดใหญ่

The Development of a Wireless Sensor Network Fence for Tracking and Monitoring Beef Cattle in a Free Ranch in a Large Open Space

ชาญวิทย์ สุวรรณพงศ์*

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม

Chanwit Suwannapong*

Faculty of Industrial Technology, Nakhon Phanom University

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องการพัฒนาเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อติดตามและเฝ้าระวังโคเนื้อแบบปล่อยฝูงในพื้นที่โล่งขนาดใหญ่ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบระบุตัวตน ติดตามโคเนื้อในพื้นที่บริเวณโดยรอบรั้วเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ซึ่งจะช่วยในการเฝ้าระวังโคเนื้อให้อยู่ในอาณาเขตที่เกษตรกรหรือผู้เลี้ยงโคเนื้อกำหนด โดยการประยุกต์ใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในการส่งข้อมูลเฉพาะตัวของเซ็นเซอร์โนดที่ติดกับโคเนื้อมายังสถานีฐาน ซึ่งโดยรวมการทำงานของระบบ เริ่มจากการที่โนดที่ติดกับโคเนื้อทำการสื่อสารกับทุกโนดอ้างอิงที่อยู่ข้างเคียง เพื่อหาระยะทางระหว่างกัน จากนั้นจึงส่งข้อมูลทั้งหมดไปยังสถานีฐานเพื่อนำไปวิเคราะห์หาบริเวณที่อยู่ปัจจุบันของโคเนื้อ โดยใช้วิธีการพิจารณาค่าระยะทางที่ได้รับจากโนดที่ติดกับโคเนื้อแต่ละตัวว่าอยู่ระหว่างโนดอ้างอิงใดบ้าง ซึ่งเป็นการประมาณตำแหน่งของโคเนื้อที่อยู่โดยรอบรั้วภายในฟาร์มอย่างคร่าวๆ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการในการประมาณตำแหน่งจะทำการบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูลและแสดงผลบนเว็บเบราว์เซอร์ ในการทดสอบการทำงานของรั้วเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในสถานที่จริงพบว่าการแสดงผลข้อมูลเฉพาะตัวและการประมาณตำแหน่งของโคเนื้อในพื้นที่บริเวณโดยรอบรั้วเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายมีความถูกต้อง อีกทั้งการทดสอบประสิทธิภาพในการรับ-ส่งแพ็กเก็ตข้อมูลของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย มีอัตราความสำเร็จร้อยละ 63.40 เมื่อทดลองปรับระยะเวลาในการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลจากโนดต้นทางให้มีระยะเวลาน้อยที่สุด และจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อระยะเวลาในการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลของโนดต้นทางมีค่าเพิ่มมากขึ้น

คำสำคัญ : รั้วเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โคเนื้อแบบปล่อยฝูง การติดตามและเฝ้าระวัง

Abstract

The purpose of this paper is to develop a wireless sensor network fence system for tracking and monitoring beef cattle in a free ranch in a surrounding area of a wireless sensor network fence. The fence helps tracking and monitoring the beef cattle to stay within the defined area by using the wireless sensor network to send identities of a sensor node to a base station. The sensor node firstly communicates to every reference node nearby to find distance between the nodes. Then it sends all the data to the base station in order to analyze the current area of the beef cattle by considering the distance value from the sensor nodes of each beef cattle if they are on any reference nodes. This serves to approximately estimate the location of the beef cattle. After the process of location estimation is finished, all data will be stored in a database and shown on a web browser. In functional testing of the wireless sensor network fence at a real location, it was found that the identity display and the location estimation of beef cattle in a surrounding area of a wireless sensor network fence were accurate. The success rate was 63.40 percent when the time of packet data transmission was adjusted to a minimum. The value increased more when the time of transferring data packet of a source node increased as well.

Keywords: Wireless Sensor Network Fence, Beef Cattle in Free Ranch, Tracking and Monitoring

บทนำ

อาชีพหลักของคนไทยตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบันคืออาชีพเกษตรกรรม ซึ่งหมายถึงอาชีพการเพาะปลูกพืชและการเลี้ยงสัตว์ สำหรับการเลี้ยงสัตว์นั้น อาชีพการเลี้ยงโคเนื้อถือเป็นอาชีพหนึ่งที่นับว่ามีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศและยังมีความเกี่ยวข้องกับเกษตรกรไม่น้อยกว่าหนึ่งล้านครัวเรือน รูปแบบการเลี้ยงโคเนื้อในอดีตมีการเลี้ยงเพื่อใช้แรงงานในการทำการเกษตร เมื่อใช้งานหมดอายุจึงปลดจำหน่ายเป็นโคเนื้อ ถึงแม้ปัจจุบันเกษตรกรมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการเลี้ยงโคเนื้อเป็นเชิงธุรกิจ แต่จากสถิติของกรมปศุสัตว์ ปี 2554 กลับพบว่า ยังมีเกษตรกรร้อยละ 99 ของการเลี้ยงโคเนื้อทั่วประเทศที่ยังมีรูปแบบการเลี้ยงโคเนื้อแบบปล่อยฝูงตามทุ่งหญ้าธรรมชาติ (Department of livestock development, 2012) ซึ่งเป็นระบบการเลี้ยงโคเนื้อแบบพื้นบ้านโดยการปล่อยโคให้หากินอย่างอิสระบนพื้นที่ภายในทุ่งนา แปลงหญ้า หรือแปลงเพาะปลูกของเกษตรกรที่เก็บเกี่ยวพืชผลแล้ว โดยมีการกั้นบริเวณด้วยลวดซึ่งต่อกับแบตเตอรี่ ปล่อยกระแสไฟฟ้าเพื่อกันให้โคอยู่ในบริเวณที่กำหนด เพื่อที่เกษตรกรจะได้

ไม่ต้องอยู่ดูแลตลอดทั้งวันเหมือนการเลี้ยงโคเนื้อรูปแบบอื่นๆ (Mekdaeng, 2011) แต่การเลี้ยงลักษณะนี้เองยังมีข้อเสียคือ เมื่อใช้งานระบบรั้วไฟฟ้าเป็นเวลานาน โคเนื้อบางตัวอาจเกิดการเคี้ยวและมีการออกไปนอกอาณาเขตจนเกิดการสูญหาย ซึ่งหากโคเนื้อเกิดการสูญหายจากการออกนอกอาณาเขตเองหรือถูกขโมยจะไม่สามารถทราบตำแหน่งสุดท้ายก่อนออกจากอาณาเขตที่ผู้เลี้ยงกำหนดได้

การนำเอาเทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายมาประยุกต์ใช้ในภาคปศุสัตว์เพื่อเฝ้าระวังโคเนื้อจะเป็นการช่วยเกษตรกรให้สามารถติดตามดูแลโคเนื้อภายในฟาร์มได้สะดวก ป้องกันโคเนื้อไม่ให้เกิดการสูญหายและช่วยในการบริหารจัดการฟาร์มให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ซึ่งเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก ทนต่อการรบกวนได้ดี มีความยืดหยุ่นสูง การติดตั้งและการบำรุงรักษาทำได้ง่ายและสะดวก (Kueathawikun, 2015) อีกทั้งใช้พลังงานต่ำ ทำให้สามารถใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ขนาดเล็กได้เป็นเวลานาน สามารถขยายขนาดเครือข่ายให้เป็นเครือข่ายขนาดใหญ่ได้ และข้อมูลที่ได้เป็นเวลาจริงทำให้สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้องและน่าเชื่อถือ (Thaweewannaboon, 2010)

จากข้อมูลดังกล่าวมาข้างต้น เทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบรั้วเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อติดตามและเฝ้าระวังโคเนื้อแบบปล่อยฝูงในพื้นที่โล่งขนาดใหญ่สามารถป้องกันการสูญหายและช่วยในการจัดเก็บข้อมูลเฉพาะของโคเนื้อ เพื่อช่วยให้เกษตรกรสามารถบริหารจัดการการเลี้ยงดูโคเนื้อได้สะดวกและมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์การวิจัย

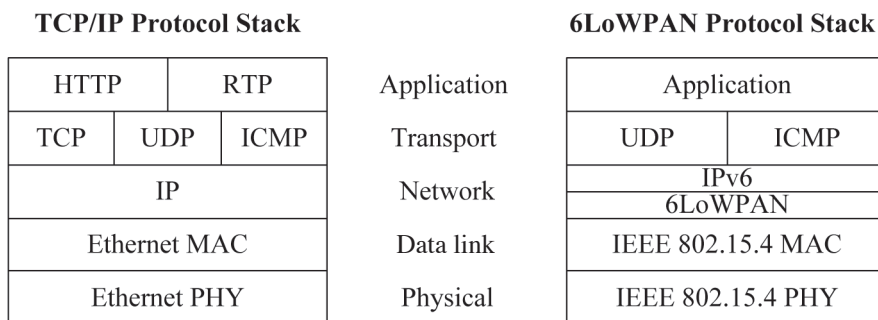
1. เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบรั้วเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับพื้นที่โล่งขนาดใหญ่
2. เพื่อระบุตัวตน ติดตามและเฝ้าระวังโคเนื้อบริเวณโดยรอบรั้วเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย
3. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการรับ-ส่งข้อมูลของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่พัฒนาขึ้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks (6LoWPAN)

กลุ่ม Internet Engineering Task Force (IETF) 6LoWPAN ได้ออกแบบมาตรฐาน 6LoWPAN (Hui, Culler & Chakrabarti, 2009) หรือเรียกว่า อินเทอร์เน็ตไร้สายแบบฝังตัว (Wireless Embedded Internet) ซึ่งเป็นการบีบอัดเฮดเดอร์ของไอพีเวอร์ชันหก (IPv6) เพื่อให้ทำการสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคลอัตรารับ-ส่งข้อมูลต่ำ (LoWPAN) ซึ่งอยู่บนมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ได้ คุณสมบัติที่สำคัญของ 6LoWPAN คือ มาตรฐานของเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคลอัตรารับ-ส่งข้อมูลต่ำนั้นได้กำหนด Maximum Transmission Unit (MTU) ขนาด 127 ไบต์ (Byte) แต่มาตรฐานของไอพีเวอร์ชันหก นั้นใช้ขนาด 1280 ไบต์ ซึ่งการที่มีขนาดเล็กกว่านั้น จะช่วยประหยัดหน่วยความจำและเป็นการประหยัดพลังงานที่ต้องใช้ในการส่งข้อมูล สำหรับ 6LoWPAN นั้นจะอาศัยโปรโตคอลยูติพี (User Datagram Protocol : UDP)

ซึ่งมีจุดเด่นที่ความเร็วและเหมาะกับการส่งข้อมูลแบบเวลาจริง (Real time) มากกว่าโปรโตคอลที่ซีพี (Transmission control protocol : TCP) โดยโปรโตคอลยูดีพีนั้น จะอยู่ในชั้น Transport และในส่วนของ ไอพีเวอร์ชันหก และ 6LoWPAN จะทำงานอยู่ในชั้นของ Network เมื่อเปรียบเทียบกับ TCP/IP Protocol Stack ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 TCP/IP และ 6LoWPAN protocol Stack

โครงสร้างเฮดเดอร์ของ 6LoWPAN จะประกอบด้วย 802.15.4 Header IPv6 header Compression และ IPv6 payload ดังภาพที่ 2 สำหรับ IPv6 header compression นั้นจะประกอบด้วย IPHC (IP header compression) และ NHC (Next-header compression) ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเป็นการตัดข้อมูลบางส่วนของเฮดเดอร์ไอพีเวอร์ชันหกออกไป เนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้บนเครือข่ายเครือข่ายไร้สาย ส่วนบุคคลอัตรารับ-ส่งข้อมูลต่ำ ตัวอย่างเช่น Traffic class ที่ใช้ระบุกลุ่มของแพ็กเก็ตและระดับความสำคัญ แพ็กเก็ต Flow label ที่ใช้ระบุลักษณะและปริมาณการส่งข้อมูล และ Next header ซึ่งใช้เป็นตัวบอกว่า Extended header ตัวถัดไปเป็นเฮดเดอร์ประเภทใด รวมไปถึงข้อมูล เลขที่อยู่ต้นทาง (Source address) และ เลขที่อยู่ปลายทาง (Destination address) ซึ่งสามารถใช้ร่วมกันได้จากเฮดเดอร์ ของมาตรฐาน IEEE 802.15.4



ภาพที่ 2 Typical 6LoWPAN Header Stacks

2. การใช้ค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้รับ (Receive signal strength indication) เพื่อคำนวณระยะทางระหว่างเซ็นเซอร์โนด

เป็นวิธีการวัดรูปแบบการลดทอนของสัญญาณ (Path loss) ที่แปรตามระยะทางระหว่างผู้ส่งและผู้รับสัญญาณ ซึ่งการลดทอนดังกล่าวจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม (Siripongwutikorn, 2015) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เลขชี้กำลังการสูญเสียในเส้นทาง (Path Loss Exponent) สำหรับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ

สภาพแวดล้อม	เลขชี้กำลังการสูญเสีย (n)
อากาศว่าง (Free space)	2.0
เขตเมือง (Urban area cellular)	2.7 - 3.5
เขตเมืองที่มีตึกสูงบัง (Shadowed urban cellular)	3.0 - 5.0
ภายในอาคาร ในแนวสายตา (Building line-of-sight)	1.6 - 1.8
ภายในอาคาร นอกแนวสายตา (Obstructed in building)	4.0 - 6.0
เขตชนบท (Rural)	2.5

จากค่าความเข้มของสัญญาณ จะสามารถนำความเข้มของสัญญาณ เพื่อหาระยะทางระหว่างเซ็นเซอร์โนดสองโนดที่ส่งข้อมูลหากัน โดยอาศัยสมการการหาระยะทาง (Rappaport, 2002) ดังสมการ

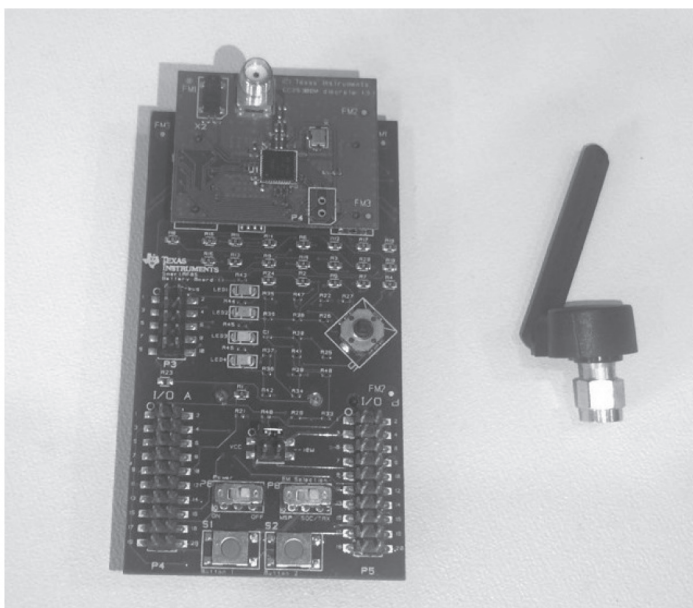
$$\log_{10} d = \frac{1}{10n} (P_{TX} - P_{RX} + G_{TX} + G_{RX} - X_{\alpha} + 20 \log_{10} \lambda - 20 \log_{10}(4\pi))$$

เมื่อ	d	คือ	ระยะทางระหว่างเซ็นเซอร์โนด (เมตร)
	P_{TX}	คือ	ระดับกำลังส่งฝั่งผู้ส่ง (dBm)
	P_{RX}	คือ	ระดับกำลังส่งฝั่งผู้รับ (dBm)
	G_{TX}	คือ	อัตราขยายของสายส่งสัญญาณฝั่งผู้ส่ง (dBi)
	G_{RX}	คือ	อัตราขยายของสายส่งสัญญาณฝั่งผู้รับ (dBi)
	λ	คือ	ความยาวคลื่นของสัญญาณ (เมตร)
	n	คือ	เลขชี้กำลังการสูญเสียในเส้นทาง มีค่าขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อม
	X_{α}	คือ	ตัวแปรสุ่มแบบเกาส์ ด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น α (ตัวแปรความไม่แน่นอนของสภาวะแวดล้อมที่ใช้ทดลอง)

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ผู้ทำวิจัยได้เลือกใช้ โมดูลสื่อสารข้อมูลไร้สาย CC2530EM (Texas Instruments, 2009) ที่พัฒนาขึ้นจากไอซี CC2530 เป็นอุปกรณ์หลักงานของงานวิจัย แสดงได้ดังภาพที่ 3 โดยเป็นโมดูลที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ตระกูล 8051 อยู่ภายใน โมดูลนี้จะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ทำการรับ-ส่งข้อมูล (Transceiver) ความถี่ที่ใช้ในการส่งข้อมูล 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์ สามารถรองรับโปรโตคอล 6LoWPAN ซึ่งอยู่บนมาตรฐาน IEEE 802.15.4 มีอัตราการรับ-ส่งข้อมูลต่ำกว่าหรือเท่ากับ 250 กิโลบิตเปอเซกเกิล (Kbps) และระยะทางสูงสุดในการส่งข้อมูลระหว่างโนดเท่ากับ 90 เมตร ซึ่งในการควบคุมโมดูลนั้นสามารถควบคุมโดยใช้โปรแกรม SmartRF Studio7 หรือควบคุมผ่านระบบปฏิบัติการคอนติกิ (Contiki)



ภาพที่ 3 CC2530EM โมดูลสื่อสารข้อมูลไร้สาย 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์ ที่เชื่อมต่อกับแบตเตอรี่บอร์ด

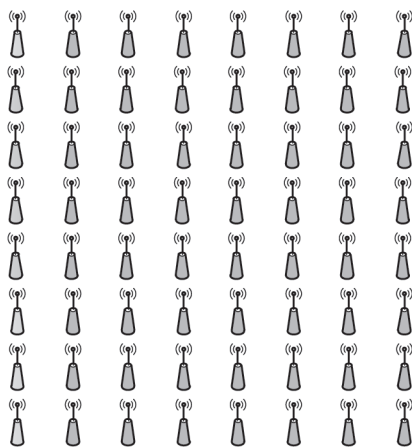
2. ภาพรวมของระบบ

ในงานวิจัยนี้ ผู้ทำวิจัยได้นำเสนอแนวคิดในการใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายด้วยการติดตั้งตามแนวรั้วทั้งหมดสองชั้น เพื่อใช้ในการเฝ้าระวังโคเนื้อแบบปล่อยฝูงในพื้นที่โล่งขนาดใหญ่ ในการป้องกันโคเนื้อออกนอกอาณาเขต เหตุผลที่สำคัญของการออกแบบเป็นรั้วเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เพราะมีความปลอดภัยกว่ารั้วไฟฟ้า ทำการติดตั้งได้ง่าย โดยไม่ต้องคำนึงถึงขนาดของโคเนื้อ อีกทั้งยังช่วยลดพฤติกรรมต่อต้านของโคเนื้อที่ทำการต่อต้านรั้วไฟฟ้า และเหตุผลที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของการติดตั้งแบบรั้วเครือข่าย

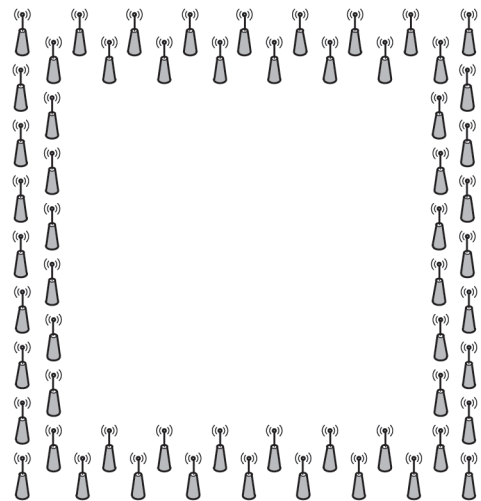
เซ็นเซอร์ไร้สายนั้น หากมีการติดตั้งแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสกับพื้นที่โล่งขนาดใหญ่ (ติดตั้งด้านกว้าง $\times$ ยาว มากกว่าหรือเท่ากับด้านละ 8 โนด โดยนับจากรั้วชั้นที่ 1 และระยะห่างในการติดตั้งเท่ากัน) จะใช้จำนวน โหนดอ้างอิงในการติดตั้งน้อยกว่าแบบกริด (Grid-Base) ดังแสดงในตารางที่ 2 และแสดงได้ดังภาพที่ 4 สำหรับการพัฒนารั้วเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายนั้นต้องการที่จะป้องกันโคเนื้อออกนอกอาณาเขตของฟาร์ม หรืออาณาเขตผู้เลี้ยงกำหนด ซึ่งจะมีการติดตามและประมาณตำแหน่งพื้นที่บริเวณที่โคเนื้ออยู่บริเวณรั้ว เท่านั้น แต่หากต้องการให้มีการระบุตำแหน่งได้ทุกจุดภายในฟาร์มโดยไม่มีจุดอับของสัญญาณ จำเป็นจะต้อง ทำการติดตั้งโหนดอ้างอิงเพิ่มในบริเวณพื้นที่ตรงกลางของฟาร์มเพื่อเป็นจุดรับข้อมูลที่ส่งมาจากโคเนื้อ ซึ่งจุด ในการติดตั้งแต่ละจุดนั้นอาจคำนวณได้จากระยะทางในการส่งข้อมูลสูงสุดของโหนด

ตารางที่ 2 จำนวนโหนดอ้างอิงในการติดตั้งแบบกริดและรั้วเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (นับจากรั้วชั้นที่ 1)

จำนวนโหนดที่ติดตั้งในพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัส กว้าง $\times$ ยาว (n คือ จำนวนโหนด)	2×2	3×3	...	7×7	8×8	$n \times n$
จำนวนโหนดอ้างอิงในการติดตั้งแบบกริด	4	9	...	49	64	$n \times n$
จำนวนโหนดอ้างอิงในการติดตั้งแบบ รั้วเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย	10	20	...	52	60	$4+8(n-1)$



การติดตั้งโหนดอ้างอิงแบบกริด
ด้านละ 8 โหนด



การติดตั้งโหนดอ้างอิงแบบรั้วเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย
ด้านละ 8 โหนด (นับจากรั้วชั้นที่ 1)

ภาพที่ 4 การติดตั้งโหนดอ้างอิงแบบกริดและแบบรั้วเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ด้านละ 8 โหนด

ภายในระบบรั้วเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายนั้น อุปกรณ์หลักของระบบที่ใช้คือ โมดูลสื่อสารข้อมูล ไร้สาย CC2530EM ในงานวิจัยนี้จะทำหน้าที่ 3 ประเภท ได้แก่ ทำหน้าที่เป็นโหนดที่ติดกับโคเนื้อ (Sensor node) โหนดอ้างอิง (Reference node) และโหนดที่ทำการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อรับข้อมูลในเครือข่าย (Border router) หรือที่เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า สถานีฐาน (Base station) โดยในการส่งข้อมูลระหว่างโหนดนั้น เซ็นเซอร์โหนดจะอาศัยการส่งข้อมูลระหว่างกันโดยใช้ ไอพีแอดเดรสเวอร์ชันหก โดยเมื่อต้องการส่งข้อมูล ชุดเดียวกันไปยังทุกโหนดที่อยู่ข้างเคียง จะใช้ไอพีแอดเดรสปลายทางเป็น ff02:1 หรือเรียกว่า ลิงค์โลคอล มัลติแคสแอดเดรส (Link-Local multicast address) และหากต้องการส่งข้อมูลไปยังเฉพาะปลายทาง ที่ต้องการ (Unicast) จะใช้ไอพีแอดเดรสขั้นต้น (Local prefix) ด้วย fe80:: และตามด้วยหมายเลขไอพีของ โหนดปลายทาง ส่วนการส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางซึ่งอยู่นอกเครือข่ายโดยอาศัย เราต์ติ้งโพรโทคอล (Routing protocol) ในการส่งข้อมูลข้ามโหนด จำเป็นต้องกำหนดไอพีแอดเดรสปลายทางขั้นต้น (Prefix) ด้วย aaaa:: (Global prefix) แล้วตามด้วยหมายเลขไอพีของโหนดปลายทาง ตัวอย่างเช่น aaaa::0212:4b00:0146:fb8 เป็นต้น

การประมาณตำแหน่งของโคเนื้อในพื้นที่บริเวณโดยรอบรั้วเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายนั้น จะแสดง ตัวอย่างแนวคิดดังภาพที่ 5 6 และภาพที่ 7 ซึ่งจะมีการติดตั้งรั้วเครือข่ายไร้สายตามตำแหน่งต่าง ๆ ภายใน ฟาร์มเป็นฟืนปลา ซึ่งระบบจะแบ่งการติดตามโคเนื้อเป็น 3 กรณี ดังนี้

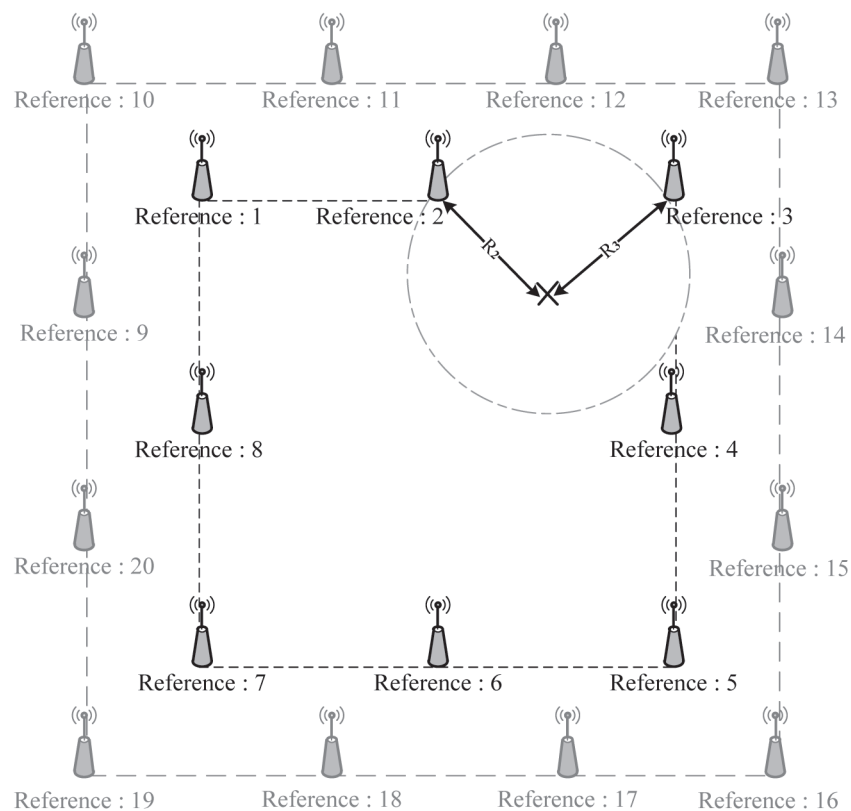
2.1 กรณีที่โคเนื้ออยู่ในบริเวณฟาร์มภายในรั้วชั้นที่ 1 (รั้วชั้นใน)

กรณีที่โคเนื้ออยู่ในบริเวณฟาร์มภายในรั้วชั้นที่ 1 (รั้วชั้นใน) แล้วมีการเคลื่อนที่มายังบริเวณ โหนดอ้างอิง โหนดที่ติดกับโคเนื้อจะทำการส่งเซกเมนต์ไปยังทุกโหนดอ้างอิงที่อยู่ข้างเคียง ที่อยู่ภายในระยะ การส่งข้อมูล เมื่อโหนดอ้างอิงได้รับข้อมูลเซกเมนต์จากโหนดที่ติดกับโคเนื้อแล้ว ก็จะตอบกลับไปยังโหนดที่ติดกับ โคเนื้อ ซึ่งจะทำให้การเก็บบันทึกหมายเลขของโหนดอ้างอิง เวลาที่พบ และดึงเอาค่าความเข้มของสัญญาณจาก เซกเมนต์ที่ได้รับ จากโหนดอ้างอิงที่อยู่ใกล้ที่สุด แล้วทำการประมวลผลหาระยะห่างระหว่างโหนด โดยอาศัย สมการการหาระยะทาง ซึ่งจะมีค่าเทรชโฮล (Threshold) ของระยะทาง ที่ไม่เกินระยะห่างระหว่างโหนด อ้างอิงกับโหนดที่ติดกับโคเนื้อเป็นตัวกำหนด จึงจะมีการเก็บข้อมูลส่วนนั้นไว้ จากนั้นจะส่งข้อมูลทั้งหมดไปยัง สถานีฐาน เพื่อนำไปวิเคราะห์หาตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบันของโคเนื้อบริเวณโดยรอบรั้ว โดยใช้วิธีการดูว่า ค่าระยะทางที่ได้รับจากโหนดที่ติดกับโคเนื้อแต่ละตัวอยู่ระหว่างโหนดอ้างอิงใดบ้าง ซึ่งเป็นการประมาณ ตำแหน่งของโคเนื้อที่อยู่บริเวณโดยรอบรั้วภายในฟาร์มอย่างคร่าวๆ สำหรับใช้ในการแสดงผลผ่านเว็บ เบรว่าเซอร์ เพื่อให้ผู้ใช้ระบบทราบว่าโคเนื้ออยู่บริเวณระหว่างโหนดอ้างอิงจุดใดบ้างเท่านั้น (ไม่ใช่การเจาะจง บนพิกัดระนาบแกน x และแกน y) ตัวอย่างเช่น จากภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่า Sensor Node : 1 มีตำแหน่ง ภายในฟาร์มอยู่ระหว่าง Reference node : 2 และ 3 และมีระยะการส่งข้อมูลเซกเมนต์ครอบคลุมโหนดทั้ง สองตัว เพราะฉะนั้นแล้ว Sensor node : 1 จึงมีข้อมูลที่ได้จากการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันคือ ระยะ ห่างระหว่างโหนดของตนเองกับ Reference node : 2 และ 3 จากนั้นจึงจะทำการส่งข้อมูลทั้งหมดไปยัง สถานีฐาน โดยในการวิเคราะห์และแสดงผลตำแหน่งของโคเนื้อผ่านเว็บเบรว่าเซอร์นั้น ก็จะมีการแสดงผล

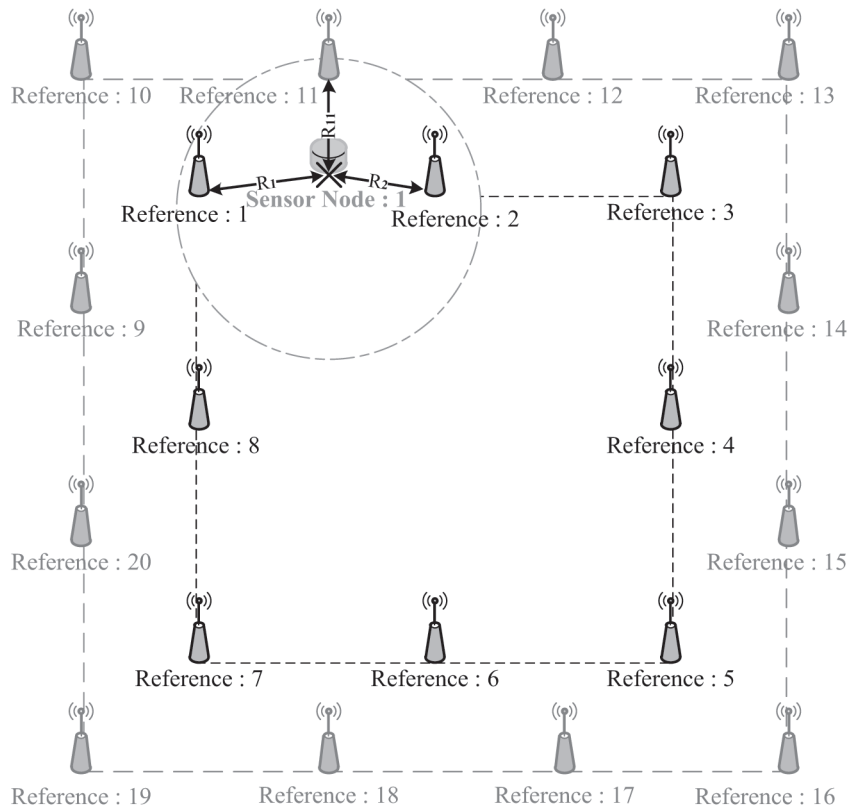
เป็นตารางข้อมูลการประมาณตำแหน่งในบริเวณรั้วชั้นที่ 1 ที่ระบุว่า Sensor node : 1 อยู่ระหว่าง Reference node : 2 และ 3 เช่นเดียวกัน

2.2 กรณีที่โคเน็อยู่ในบริเวณฟาร์มภายในรั้วชั้นที่ 2 (รั้วชั้นนอก)

ในกรณีที่โคเน็อยู่ในบริเวณฟาร์มภายในรั้วชั้นที่ 2 (รั้วชั้นนอก) จะมีการส่งเชกเมนต์และการส่งข้อมูลระหว่างโนดที่ติดกับโคเน็และโนดอ้างอิงเช่นเดียวกับกรณีที่โคเน็อยู่ในรั้วชั้นที่ 1 ตัวอย่างเช่น จากภาพที่ 6 จะเห็นได้ว่า Sensor node : 1 มีตำแหน่งภายในฟาร์มอยู่ระหว่าง Reference node : 12 และ 11 และมีระยะการส่งข้อมูลเชกเมนต์ครอบคลุมโนดทั้งสามตัว เพราะฉะนั้นแล้ว Sensor node : 1 จึงมีข้อมูลที่ได้จากการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันคือ ระยะห่างระหว่างโนดของตนเองกับ Reference node : 12 และ 11 จากนั้นจึงจะทำการส่งข้อมูลทั้งหมดไปยังสถานีสถาน โดยในการวิเคราะห์และแสดงผลตำแหน่งของโคเน็ผ่านเว็บเบราว์เซอร์นั้น ก็จะมีการแสดงผลเป็นตารางข้อมูลการประมาณตำแหน่งในบริเวณระหว่างรั้วชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ที่ระบุว่า Sensor node : 1 อยู่ระหว่าง Reference node : 12 และ 11 เช่นเดียวกัน



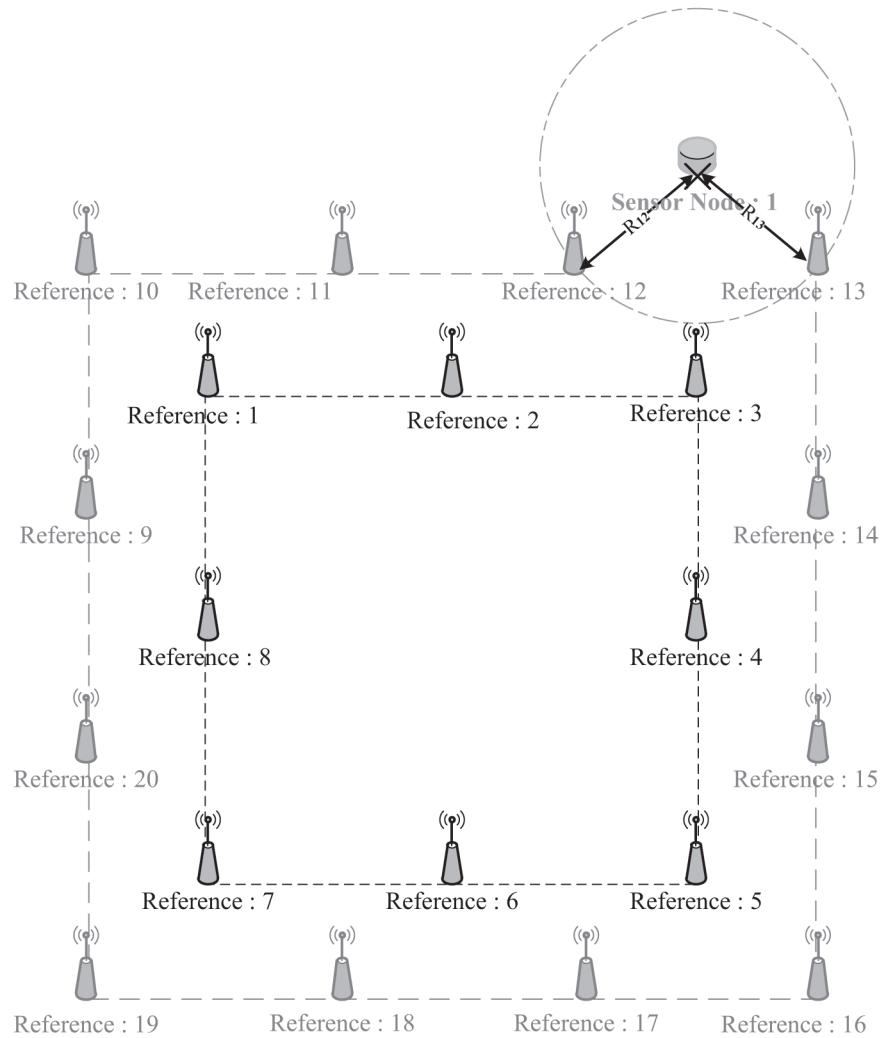
ภาพที่ 5 ตัวอย่างการติดตามโคเน็โดยวิธีใช้รั้วเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย กรณีโคเน็อยู่ภายในรั้วชั้นที่ 1



ภาพที่ 6 ตัวอย่างการติดตามโคเนื้อโดยวิธีใช้รั้วเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย กรณีโคเนื้ออยู่ภายในรั้วชั้นที่ 2

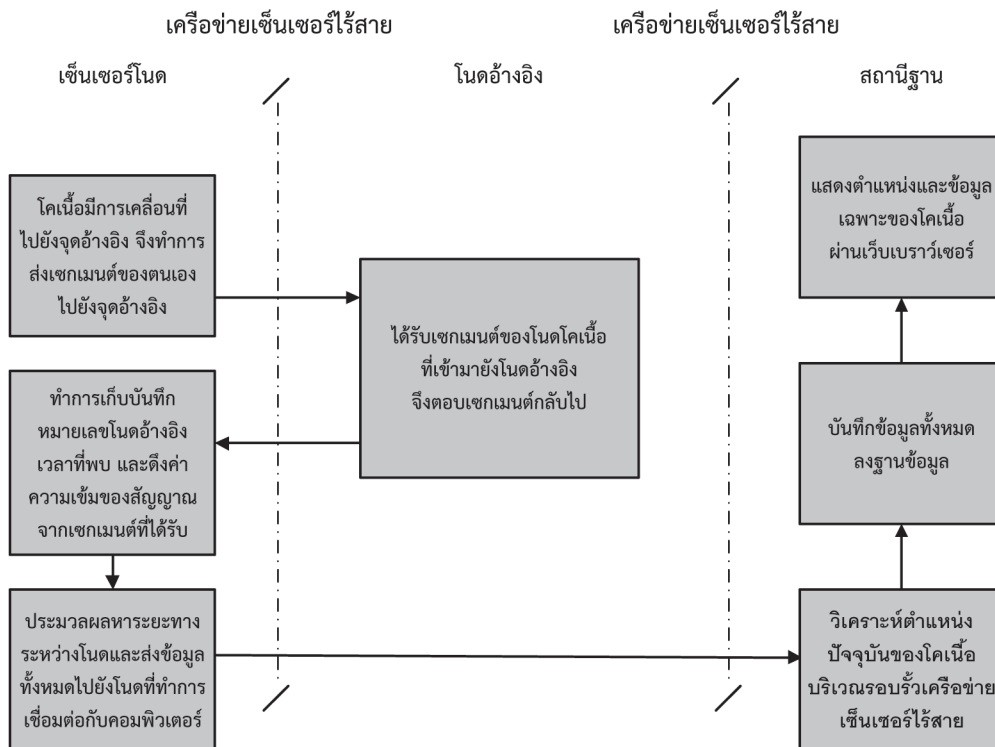
2.3 กรณีที่โคเนื้อออกนอกอาณาเขต (นอกรั้วชั้นที่ 2)

ในกรณีที่โคเนื้อออกนอกอาณาเขต (นอกรั้วชั้นที่ 2) จะมีการส่งเซกเมนต์และการส่งข้อมูลระหว่างโนดที่ติดกับโคเนื้อและโนดอ้างอิงเช่นเดียวกับกรณีที่โคเนื้ออยู่ในรั้วชั้นที่ 1 และ 2 ตัวอย่างเช่น จากภาพที่ 7 จะเห็นได้ว่า Sensor node : 1 มีตำแหน่งอยู่นอกรั้วชั้นที่ 2 แต่อยู่ระหว่าง Reference node : 12 และ 13 และมีระยะการส่งข้อมูลเซกเมนต์ครอบคลุมโนดทั้งสองตัว เพราะฉะนั้นแล้ว Sensor node : 1 จึงมีข้อมูลที่ได้จากการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันคือ ระยะห่างระหว่างโนดของตนเองกับ Reference node : 12 และ 13 จากนั้นจึงจะทำการส่งข้อมูลทั้งหมดไปยังสถานีฐาน โดยในการวิเคราะห์และแสดงผลตำแหน่งของโคเนื้อผ่านเว็บเบราว์เซอร์นั้น ก็จะมีการแสดงผลเป็นตารางข้อมูลการประมาณตำแหน่งในบริเวณนอกรั้วชั้นที่ 2 ที่ระบุว่า Sensor node : 1 อยู่ระหว่าง Reference node : 12 และ 13 เช่นเดียวกัน



ภาพที่ 7 ตัวอย่างการติดตามโคเนื้อโดยวิธีใช้รั้วเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย กรณีโคเนื้อออกนอกอาณาเขต

จากตัวอย่างแนวคิดการทำงานของระบบในหลายรูปแบบขั้นต้นนั้น สามารถสรุปภาพรวมของการทำงานของระบบ ได้ดังบล็อกไดอะแกรมในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 บล็อกไดอะแกรมของระบบรั้วเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

3. วิธีการวิจัย

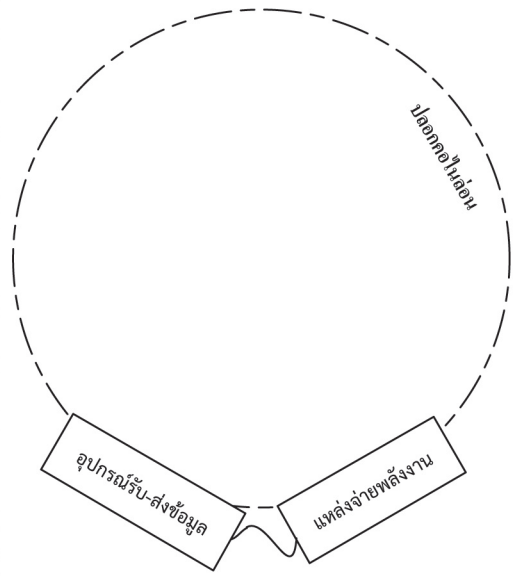
ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้ในการติดตามและเฝ้าระวังของโคเนื้อให้อยู่ภายในฟาร์ม อีกทั้งได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการรับ-ส่งข้อมูลของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่พัฒนาขึ้น บนพื้นที่ขนาด 150 x 150 เมตร โดยได้ทำการทดลองกับโคเนื้อจำนวน 4 ตัว ในส่วนของการออกแบบอุปกรณ์นั้นจะใช้โมดูล CC2530EM จำนวน 4 ตัวที่เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งกับโคเนื้อ โนตที่ทำหน้าที่เป็นโนตอ้างอิง จำนวน 20 โนต และโนตเชื่อมต่อซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ จำนวน 1 โนต ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดการดำเนินการวิจัยได้ดังนี้

3.1 ชุดอุปกรณ์ที่ติดตั้งกับโคเนื้อ

ผู้วิจัยได้นำโมดูล CC2530EM มาทำการพัฒนาเป็นปลอกคอเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อทำการติดโคเนื้อ ดังรูปภาพที่ 9(ก) โดยภายในปลอกคอจะประกอบไปด้วยโมดูล CC2530EM ซึ่งทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณและส่วนที่สองชุดแหล่งจ่ายพลังงาน ดังรูปภาพที่ 9 (ข) ซึ่งอุปกรณ์ปลอกคอเซ็นเซอร์ไร้สายที่พัฒนาขึ้นจะถูกนำมาติดตั้งกับโคเนื้อ ดังภาพที่ 9 (ค)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 9 ปลอกคอเซ็นเซอร์ไร้สาย (ก) ปลอกคอเซ็นเซอร์ไร้สายที่พัฒนาขึ้น
(ข) ส่วนประกอบของปลอกคอเซ็นเซอร์ไร้สาย (ค) ปลอกคอเซ็นเซอร์ไร้สายที่ติดตั้งกับโคเนื้อ

3.2 ชุดอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นโนดอ้างอิง

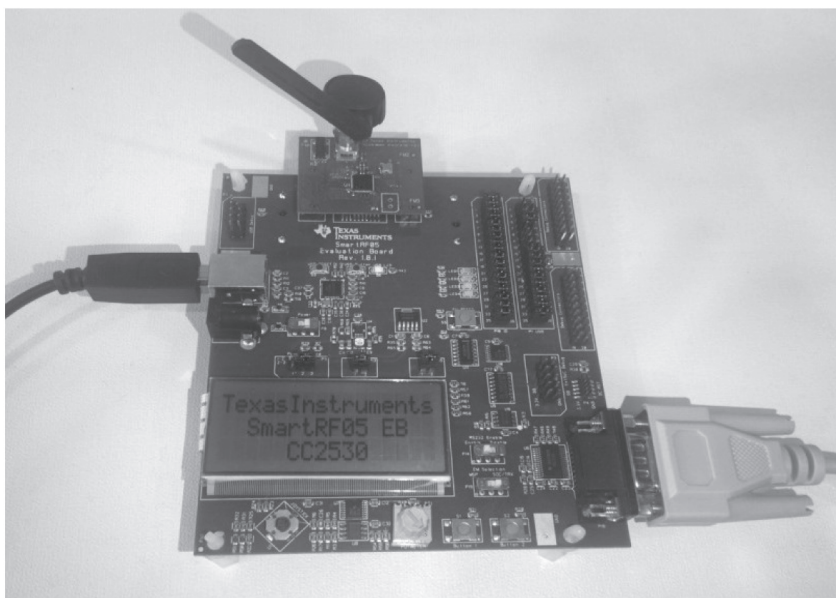
ผู้ทำวิจัยได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นโนดอ้างอิง ในบริเวณพื้นที่ในฟาร์ม โดยใช้โมดูล CC2530EM ต่อกับชุดแหล่งจ่ายพลังงาน ซึ่งจะประกอบด้วย แผงเซลล์สุริยะ (Solar cell panel) และแบตเตอรี่ (Battery) เพื่อช่วยให้โนดอ้างอิงมีการจัดการเรื่องพลังงานได้เอง เนื่องจากบริเวณรั้วทางด้านหนึ่งอยู่ห่างไกลจากระบบไฟฟ้าสายส่ง จึงต้องอาศัยพลังงานจากธรรมชาติมาช่วยในการผลิตไฟฟ้า (Vaivudh, 2013) ในการติดตั้งนั้นจะใช้เสาเหล็กฝังลงในดิน เพื่อทำเป็นฐานในการวางอุปกรณ์โนดอ้างอิง โดยมีความสูงจากพื้นดิน 1.80 เมตร ซึ่งจะแสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การติดตั้งเซ็นเซอร์โนดที่ทำหน้าที่เป็นโนดอ้างอิง

3.3 ชุดอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นจุดเชื่อมต่อ (สถานีฐาน)

ในการติดตั้งโนดเชื่อมต่อหรือสถานีฐานนั้น จะมีการติดตั้งโดยโนดนี้จะเชื่อมกับเครื่องคอมพิวเตอร์โดยการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม (Serial port) โดยอาศัย SmartRF05EB evaluation boards ซึ่งแสดงดังภาพที่ 11 เพื่อให้สามารถเก็บบันทึกข้อมูลที่ถูกส่งมาจากเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Viriyavorakul & Phonak, 2014) เพื่อนำมาวิเคราะห์การประมาณตำแหน่ง และเก็บลงในระบบฐานข้อมูล



ภาพที่ 11 การติดตั้งเซ็นเซอร์โนดที่ทำหน้าที่เป็นโนดเชื่อมต่อหรือสถานีฐาน

3.4 ข้อกำหนดการทดลอง

3.4.1 เซ็นเซอร์โนดส่งข้อมูลระหว่างกันในเครือข่ายไร้สายแบบมัลติฮอปด้วยไอพีเวอร์ชันหก

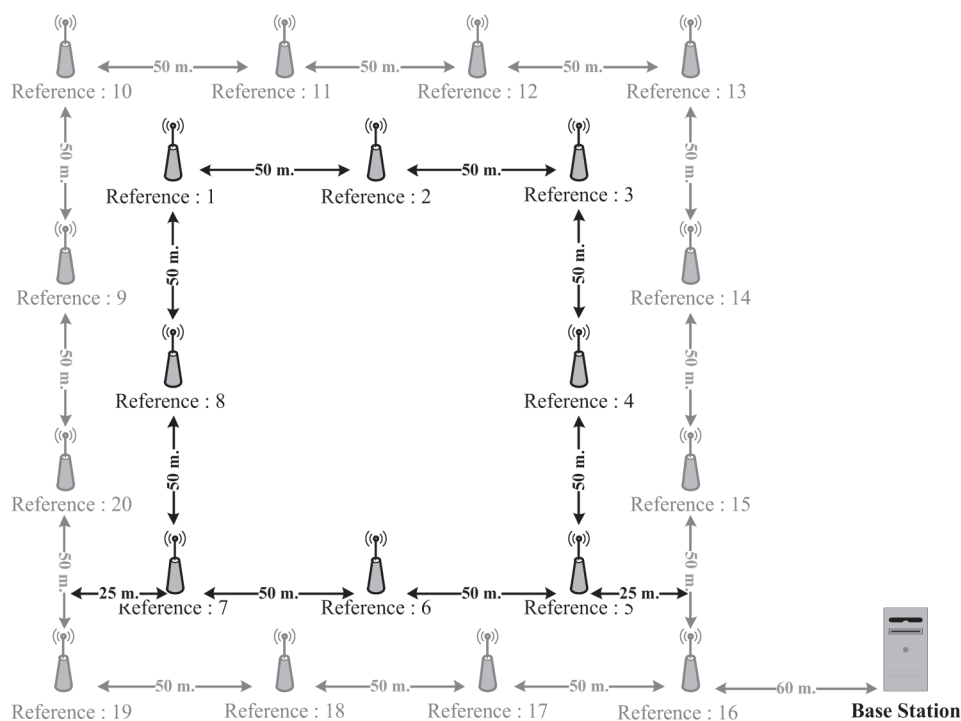
3.4.2 เซ็นเซอร์โนดสามารถส่งข้อมูลกลับมายังสถานีฐานซึ่งจะมีหน้าที่ประมาณตำแหน่งของโคเนื้อ บันทึกฐานข้อมูลและสามารถแสดงตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณเป็นหมายเลขของโนดอ้างอิงบนเบราว์เซอร์ได้

3.4.3 ข้อมูลที่เก็บลงฐานข้อมูลต้องผ่านค่าเทรชโฮล (Threshold) ที่กำหนดไว้ ซึ่งในการทดลองนี้กำหนดค่าเทรชโฮล ของค่าความเข้มของสัญญาณไม่น้อยกว่า -80

ในส่วนการกำหนดค่าตัวแปรของเซ็นเซอร์โนดแต่ละชนิดในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3 อีกทั้งการวางตำแหน่งของโนดอ้างอิงรวมไปถึงตำแหน่งของสถานีฐานภายในสถานที่ทดลองนั้น สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 12

ตารางที่ 3 ค่าตัวแปรภายในเซ็นเซอร์โนตแต่ละชนิด

ตัวแปร	โนตติดกับโคเนื้อ	โนตอ้างอิง	โนตเชื่อมต่อหรือสถานีฐาน
Chanel (CH)	15 (0x0F)	15 (0x0F)	15 (0x0F)
PAN ID (ID)	0x5448	0x5448	0x5448
Tx Power (dBm)	2.5 (0xE5)	4.5 (0xF5)	4.5 (0xF5)
UIP_CONF_IPV6_RPL	1	1	1
UIP_CONF_ROUTER	1	1	1
Destination IP Address (Multicast)	ff02:1	ff02:1	-
Destination IP Address (Unicast)	aaaa::0212:4b00:0146:fba8	-	aaaa::1



ภาพที่ 12 บล็อกไดอะแกรมการวางตำแหน่งของโนตอ้างอิงและตำแหน่งของสถานีฐาน

ผลการวิจัย

1. ผลการทดสอบการทำงานของระบบ

ได้ทำการนำระบบที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้งานจริงในการติดตามและเฝ้าระวังโคเนื้อแบบปล่อยฝูงในพื้นที่โล่งขนาดใหญ่ ณ ฟาร์มโคเนื้อของคุณวิชัย พรหมบุตร เลขที่ 255 หมู่ 4 ตำบลชีเหล็ก อำเภอมืองอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี ระหว่างเดือน เมษายน - มิถุนายน 2558 โดยได้ติดตั้งรั้วเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ซึ่งได้ทำการทดลองกับโคเนื้อ จำนวน 4 ตัว โหนดอ้างอิง จำนวน 20 โหนด และโหนดเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ จำนวน 1 โหนด เพื่อทำการระบุตัวตน ติดตามและเฝ้าระวังโคเนื้อภายในฟาร์ม ซึ่งผลจากการนำระบบไปทดลองใช้งานจริงแสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงผลข้อมูลเฉพาะและตำแหน่งปัจจุบันของโคเนื้อบริเวณรอบรั้วเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายภายในฟาร์มได้จริง แสดงได้ดังภาพที่ 13 อีกทั้งสามารถนำข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์โหนดที่ทำการจัดเก็บมาวิเคราะห์เพื่อประมาณตำแหน่งโคเนื้อที่อยู่บริเวณรอบรั้วเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้เกษตรกรสามารถติดตาม ดูแลโคเนื้อภายในฟาร์มได้สะดวก รวมไปถึงช่วยในการบริหารจัดการฟาร์มให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

ระบบรั้วเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อติดตามและเฝ้าระวังโคเนื้อแบบปล่อยฝูงในพื้นที่โล่งขนาดใหญ่

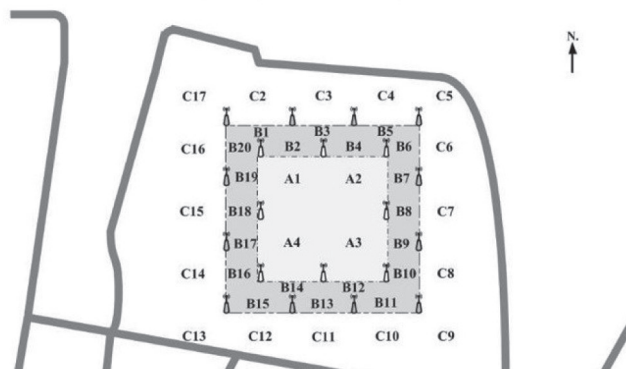
การประมาณตำแหน่งโคเนื้อจะได้รับการปรับปรุงทันทีเมื่อได้รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์โหนด

การประมาณตำแหน่งของโคเนื้อ

หมายเลขโคเนื้อ	การประมาณตำแหน่งล่าสุด	วัน/เวลา
1	A2	2015-06-25 13:31:09
2	A2	2015-06-25 13:31:27
3	B2	2015-06-25 13:31:36
4	A2	2015-06-25 13:31:49

ข้อมูลเฉพาะของโคเนื้อ

หมายเลขโค	ชื่อเครื่องหมาย	ชื่อ	เพศ	วันเกิด	น้ำหนักแรกเกิด (กิโลกรัม)	พันธุ์
1	เบอร์ 1	ใหญ่	ผู้	22/1/2556	16.5	โคพื้นเมือง
2	เบอร์ 2	เด่น	ผู้	5/3/2556	16	โคพื้นเมือง
3	เบอร์ 3	รุ่ง	เมีย	10/7/2556	15	โคพื้นเมือง
4	เบอร์ 4	ฟ้า	เมีย	19/6/2556	16	โคพื้นเมือง



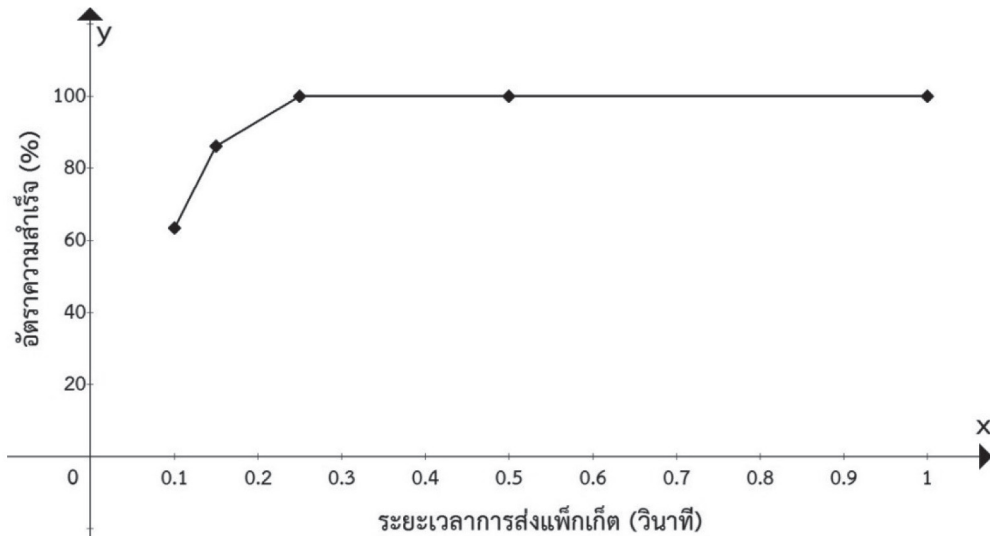
ภาพที่ 13 การแสดงผลข้อมูลเฉพาะ ตำแหน่งของโคเนื้อและจุดติดตั้งโหนดอ้างอิงในการทดลองใช้งานจริง

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพการรับ-ส่งข้อมูลของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

ในการทดสอบประสิทธิภาพการรับ-ส่งข้อมูลของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายนั้น จะใช้วิธีการวัดค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล ซึ่งจะคิดจากอัตราส่วนจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ส่งจากโหนดต้นทางทั้งหมดต่อจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่สามารถส่งถึงโหนดปลายทางได้ ในการทดสอบ มีการติดตั้งโหนดต้นทางที่ทำการส่งแพ็กเก็ตข้อมูล (จำลองแทนโหนดที่ติดกับโคเนื้อ) จำนวน 4 โหนด โหนดอ้างอิง จำนวน 20 โหนด และโหนดเชื่อมต่อซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ 1 โหนด เพื่อทำการทดลองโดยการให้โหนดจำนวน 4 โหนด เข้ามารับ-ส่งแพ็กเก็ตข้อมูลขนาด 80 ไบต์ จำนวน 1000 แพ็กเก็ต ไปยังโหนดอ้างอิงแต่ละจุดและมีการทดลองปรับระยะเวลาการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลของโหนดที่ทำการส่งข้อมูล ซึ่งโดยปกติเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่พัฒนาขึ้นมีอัตราความสำเร็จในการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลที่อยู่ในระดับสูง ซึ่งบ่งบอกถึงการทำงานของเครือข่ายสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในกรณีที่มีการปรับระยะเวลาการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลของโหนดให้มีค่าน้อยลง จะส่งผลให้เครือข่ายที่พัฒนามีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลที่ลดลงได้ เนื่องจากโหนดอ้างอิงประมวลผลแพ็กเก็ตข้อมูลไม่ทันและเกิดการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูล (Collision) ซึ่งหากอัตราการชนกันมีค่าที่สูง จะทำให้แพ็กเก็ตข้อมูลเกิดการสูญหายและทำให้โหนดปลายทางต้องรอโหนดต้นทางทำการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลนั้นมาใหม่ โดยระยะเวลาที่โหนดส่งข้อมูลเท่ากับ 0.10 วินาที เครือข่ายจะมีอัตราความสำเร็จในการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลร้อยละ 63.40 และค่าอัตราความสำเร็จจะเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อระยะเวลาในการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยเมื่อระยะเวลาการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลเท่ากับ 0.15 วินาที จะมีอัตราความสำเร็จเท่ากับร้อยละ 86.10 ทั้งนี้หากจะให้อัตราความสำเร็จในการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลมีค่าสูงสุด ระยะเวลาในการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลของโหนดควรมีค่า 0.25 วินาทีขึ้นไป ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4 และในภาพที่ 14

ตารางที่ 4 อัตราความสำเร็จในการส่งแพ็กเก็ตข้อมูล

ระยะเวลาการส่งแพ็กเก็ตข้อมูล จากโหนดต้นทาง (วินาที)	0.10	0.15	0.25	0.5	1
อัตราความสำเร็จ คิดเป็นร้อยละ (%)	63.40	86.10	100	100	100



ภาพที่ 14 ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลจากการทดลอง

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบรั้วเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อติดตามและเฝ้าระวังโคเนื้อแบบปล่อยฝูงในพื้นที่โล่งขนาดใหญ่ ซึ่งได้พัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ เพื่อช่วยในเฝ้าระวังโคเนื้อให้อยู่ในอาณาเขตที่เกษตรกรหรือผู้เลี้ยงโคเนื้อกำหนด โดยได้มีการพัฒนาบล็อกคอเซ็นเซอร์ไร้สายของโคเนื้อและชุดอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นโนดอ้างอิง ซึ่งภายในประกอบไปด้วยโมดูล CC2530EM ซึ่งทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์รับ-ส่งข้อมูลและชุดแหล่งจ่ายพลังงาน โดยมีการส่งข้อมูลระหว่างโนดแบบมัลติฮอปด้วยไอพีเวอร์ชันหก บนระบบปฏิบัติการคอนติกิ ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถรายงานการติดตามและประมาณตำแหน่งปัจจุบันของโคเนื้อบริเวณรอบรั้วเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายผ่านเว็บเบราว์เซอร์ รวมไปถึงมีการนำข้อมูลที่มีการประมวลผลแล้วจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล ทำให้ผู้ใช้งานสามารถนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ เพื่อช่วยในการปรับปรุงการเลี้ยงโคเนื้อแบบปล่อยฝูงและการบริหารจัดการฟาร์มให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น อีกทั้งประสิทธิภาพของการรับ-ส่งข้อมูลของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในกรณีที่มีการปรับระยะเวลาการส่งข้อมูลของโนดให้มีค่าน้อยจะส่งผลให้เครือข่ายที่พัฒนานี้มีประสิทธิภาพลดลง

ข้อเสนอแนะ

1. เซ็นเซอร์โนดที่ติดกับโคเนื้อของงานวิจัยนี้จะมีการส่งข้อมูลตลอดเวลา ดังนั้นควรมีการจัดการเรื่องการใช้พลังงานของโนดให้ดี ซึ่งอาจจะต้องทำการปรับระยะเวลาในการส่งข้อมูลของโนด ให้มีระยะเวลาในการส่งข้อมูลที่เหมาะสม เพื่อช่วยในเรื่องของการประหยัดพลังงานมากขึ้น หรือมีการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเก็บเกี่ยวพลังงานเพิ่มเติมเพื่อนำไปใช้กับแหล่งจ่ายพลังงานของเซ็นเซอร์โนด
2. วิธีการปรับปรุงเพื่อให้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายมีประสิทธิภาพมากขึ้น อาจทำได้โดยใช้การนำข้อมูลการเกิดการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลที่เกิดขึ้นในเครือข่ายมาพิจารณาถึงการปรับระยะเวลาการส่งข้อมูลของโนด

References

- Department of Livestock Development. (2012). *Strategy Beef* 55-59. Retrieved February 23, 2015, from http://www.dld.go.th/th/images/stories/news/Strategy/5559%20strategy_beef.pdf. (in Thai).
- Hui, J., Culler, D. & Chakrabarti S. (2009). *6LoWPAN: Incorporating IEEE 802.15.4 into the IP architecture*. Retrieved May 9, 2015, from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.169.150&rep=rep1&type=pdf>.
- Kueathawikun, T. (2015). Design of dual frequency slot antenna using FDTD method for WLAN applications. *SDU Res. J.*, 8(8 : May-Aug), 1-16. (in Thai).
- Mekdaeng, K. (2011). *The production management of beef cattle in barns and free ranch at Muang District, Kanchanaburi Province*. Thesis, Master of Agriculture, School of Agricultural Extension and Cooperatives, Sukkothai Thammathirat Open University. (in Thai).
- Rappaport, T.S. (2002). *Wireless communications: Principles and practice*. 2 ed. New Jersey : Prentice Hall PTR.
- Siripongwutikorn, P. (2015). Path loss model. Retrieved May 9, 2015, from <http://www.stou.ac.th/website/subbj/fileUpload/99313-3-1.pdf>. (in Thai).
- Texas Instruments. (2009). *A true system-on-Chip solution for 2.4-GHz IEEE 802.15.4 and ZigBee applications*. Retrieved May 18, 2015, from <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2530.pdf>.

- Thaweewannaboon, D. (2010). *Vehicle defection, speed measurement and classification using wireless magnetic sensor*. Thesis, Master of Engineering, Graduate School Khon Kaen University, Khon Kaen University. (in Thai).
- Vaivudh, S. (2013). A design of electricity generation system from low speed wind turbine for household in non-grid community. *SDU Res. J.*, 6(1 : Jan-Apr), 25-36. (in Thai).
- Viriyavorakul, P. & Phonak, D. (2014). Google Apps for education an educational innovation in digital age. *SDU Res. J.*, 7(3 : Sep-Dec), 103-111. (in Thai).

ผู้เขียน

อาจารย์ชาญวิทย์ สุวรรณพงศ์

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม 214 หมู่ 12 ตำบลหนองญาติ

อำเภอเมืองนครพนม จังหวัดนครพนม 48000

e-mail: schanwit@npu.ac.th

