ระบบเตือนภัยช้างผ่านระบบการสื่อสารเคลื่อนที่และเครือข่ายคอมพิวเตอร์

(An Elephant Warning System via the Mobile Communication and Computer Networks)

พิศิษฏ์ โภคารัตน์กุล[1] นริศ หนูหอม[2] สมชาย เบียนสูงเนิน[3] แสวง เกิดประทุม[4]

[1]สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

[2]ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

[3]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญญบุรี

[4]ฝ่ายวิศวกรรม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

โครงการเตือนภัยช้างผ่านระบบการสื่อสารเคลื่อนที่และเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ทุนสนับสนุนจากกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอแนวทางการเตือนภัยช้างผ่านระบบการสื่อสารเคลื่อนที่และเครือข่ายคอมพิวเตอร์ สำหรับแจ้งเตือนการบุกรุกของช้างล่วงหน้าให้แก่ผู้คนในชุมชนเพื่อหลีกเลี่ยงการเผชิญหน้าระหว่างมนุษย์กับช้าง ระบบการแจ้งเตือนประกอบด้วยระบบวัดการสั่นสะเทือนด้วยเซนเซอร์จีโอโฟน (geophone) ยืนยันความถูกต้องด้วยภาพช้างที่ถ่ายได้จากกล้องอินฟราเรด การตรวจจับความเคลื่อนไหวของช้างในงานวิจัยนี้เป็นเซนเซอร์จีโอโฟนรุ่น GD-4.5 และ GD-10 ซึ่งสามารถตรวจจับความถี่การสั่นสะเทือนตั้งแต่ 5-1,000 Hz และ 10-1,200 Hz ตามลำดับ จากการทดลองกับช้างที่ควบคุมได้ที่วังช้างอยุธยาแลเพนียด จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ปรากฏว่าจีโอโฟนที่ฝังอยู่ใต้ดินลึก 10 เซนติเมตรสามารถรับคลื่นการสั่นสะเทือนในช่วง 5-50 Hz จากการเดินของช้างได้ แต่เป็นคลื่นการสั่นสะเทือนที่มนุษย์ไม่สามารถรู้สึกได้ โดยจะรับคลื่นการสั่นสะเทือนได้ดีในช่วงรัศมีไม่เกิน 0.5 เมตร และแอมปิลจูดของคลื่นการสั่นสะเทือนจะลดลงไปตามลำดับภายในรัศมี 3 เมตร ซึ่งขึ้นกับลักษณะของดินด้วย การเกิดคลื่นการสั่นสะเทือนนี้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะของเท้าสัตว์และขนาดน้ำหนักด้วย คลื่นการสั่นสะเทือนจากเท้าของมนุษย์มีความถี่ใกล้เคียงกับเท้าช้างแต่มีแอมปิลจูดต่ำกว่า สัตว์เท้ากีบขนาดใหญ่จะให้แอมปิลจูดของคลื่นการสั่นสะเทือนต่ำกว่าช้าง ส่วนสัตว์ขนาดเล็กจะให้คลื่นการสั่นสะเทือนที่มีแอมปิลจูดต่ำมากหรืออาจไม่เกิดการสั่นสะเทือนที่จีโอโฟนตรวจจับได้ ระบบเตือนภัยช้างต้นแบบนี้ได้นำไปทดลองติดตั้งในพื้นที่ชายป่าบ้านแสวงบ่า ตำบลเขาโจด อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี โดยแจ้งเตือนการบุกรุกของผ่านระบบ LAN ส่งผ่านจานดาวเทียมไปยังสื่อสังคมออนไลน์ และจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งสามารถรับข่าวสารทางคอมพิวเตอร์และโทรศัพท์พกพา ตลอดจนแจ้งเตือนผ่านวิทยุสื่อสารและไฟสัญญาณแจ้งเตือนภัยในท้องถิ่นด้วย

คำค้น: การเผชิญหน้าระหว่างมนุษย์กับช้าง การตรวจจับความเคลื่อนไหวของช้าง ไซซมิกเซนเซอร์ คลื่นการสั่นสะเทือน

Abstract

This paper proposed the elephant warning system for alert the elephant intrusion via the mobile communication and computer networks. The purpose of this system have been try to reduce human-elephant conflict or the confrontation between human and elephants. The elephant presence detection consisted of the seismic sensors verify with infrared camera. The seismic sensors use the geophones GD-4.5 and GD-10, respectively. In detection, the sensors can detect 5-50 Hz seismic waves or vibration waves from the footfalls of elephants. The testing with the elephants at Wangchang Ayudhya Laepaneit, Phranakhon Sri Ayudhya province, the ability of underground geophones 10 cm. depth can detect the vibration waves in the frequency range 5-50 Hz. Human can not to sense this frequency range. The vibration waves can be detected in 0.5 m. radius of the geophone sensors. The amplitude of vibration waves will be reduced follow the range of 3 m. radius

and depend on the type of soil. Furthermore, the vibration waves still depend of foot pattern and animal's weight. The vibration waves from human and hoof are nearly frequency compare with the elephant, but its lower amplitude. The seismic sensor can not to detect the vibration waves from the small animals. The prototype warning elephant system was constructed at Ban Swang Ba, Tambol Khaojod, Amphoe Sri Sawat, Kanchanaburi Province. The warning information sent to social media and electronic mail using LAN via satellite antenna. The local area, the warning information sent to the communication radio and warning light.
Keyword: human-elephant conflict, elephant presence detection, seismic sensors, vibration waves

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้มีความขัดแย้งระหว่างมนุษย์กับช้างป่าตามที่เป็นข่าวในหน้าหนังสือพิมพ์และสื่อสังคมออนไลน์ถึงขั้นสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินตลอดจนการทำร้ายช้างเนื่องจากบุรุกเข้าไปในพื้นที่เพาะปลูกของชุมชน แต่อย่างไรก็ตามช้างเป็นสัตว์สงวนตามพระราชบัญญัติคุ้มครองสัตว์ป่าห้ามมิให้ผู้คนทำร้ายช้าง แต่ช้างก็สร้างความเสียหายให้แก่ทรัพย์สินพืชผลของชาวบ้านและบานปลายถึงขั้นสูญเสียชีวิตตามที่ข่าวอยู่เนื่องนิตย์ เพื่อลดความขัดแย้งและความเสียหายที่เกิดขึ้น จึงต้องมีการศึกษาพฤติกรรม ความเป็นอยู่ ความเคลื่อนไหวของช้าง ซึ่งหนทางหนึ่งนั้นก็คือ การแจ้งเตือนการบุกรุกเข้ามาในชุมชนของช้างให้ชาวชุมชนทราบล่วงหน้า โดยมีจุดมุ่งหมายลดการประจันหน้ากับช้างหรือหลีกเลี่ยงการปะทะกับช้างจะส่งผลให้ลดความขัดแย้งกับช้างลงได้ จากข้อมูลของพรานป่าพบว่าช้างจะมีช่องทางการเดินเข้ามาในชุมชนแน่นอนและเข้ามาเพื่อหาอาหาร ถ้าติดตั้งระบบแจ้งเตือนทุกช่องทางก็จะทราบการมาของช้างได้

เนื่องจากมีวิธีการตรวจจับการบุกรุกของช้างมีหลากหลายวิธีตัวอย่างเช่น การใช้แถบแสงอินฟราเรดขวางกั้นทางเดินของช้าง เมื่อช้างเดินผ่านแถบรังสีอินฟราเรดก็จะทราบรูปแบบหยาบ ๆ โดยพิจารณาแถบแสงอินฟราที่ถูกบดบัง การตรวจจับความเคลื่อนไหวของช้างโดยใช้พาสซีฟอินฟราเรดดีเท็กเตอร์ (Passive Infrared detector – PIR) [1] Matthias Zeppelzauer [2] ได้นำเสนอวิธีการตรวจสอบและติดตามช้างป่า โดยใช้ภาพถ่ายวิดีโอที่เก็บรวบรวมมาจากนักชีววิทยาภาคสนาม ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการรู้จำช้างแบบไดนามิก โดยใช้การประมวลภาพสีในโมเดลของ LUV (LUV color spaces) ร่วมกับการตรวจสอบความเคลื่อนไหวในวีดิโอที่มีระยะเวลาและพื้นที่สอดคล้องกัน (Temporal tracking) โดยมีความถูกต้องอยู่ที่ 88% Gopal Datt Joshi and Jayanthi Sivaswamy [3] เสนอวิธีการตรวจหารูปร่างของวัตถุที่มีคุณลักษณะเด่นในภาพสถานการณ์จริง วิธีการที่นำเสนอประกอบด้วยสองขั้นตอนหลัก ขั้นแรกทำการค้นหาขอบของทุกจุดในภาพโดยใช้ฟิลเตอร์โซเบล (Sobel) ด้วยวิธีการคำนวณหาอนุพันธ์อันดับที่ 1 (Gradient) จากนั้นในขั้นตอนที่สองจะทำการเน้นจุดในบริเวณขอบให้มีความชัดเจนขึ้นในทุกทิศทาง วิธีการที่นำเสนอได้ทำการเปรียบประสิทธิภาพกับวิธีอื่น ๆ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถตรวจหาขอบได้ดีกว่า Manish Suyal and Vijay [4] ได้แสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพสามารถตรวจสอบหาช้างได้โดยใช้วิธีการหาความสัมพันธ์ระหว่างการแบ่งส่วนของภาพร่วมกับการระบุตำแหน่งของวัตถุในภาพด้วยวิธีการแบ่งส่วนของภาพประกอบไปด้วยการหาขอบของวัตถุในภาพ โดยใช้วิธีการคำนวณหาอนุพันธ์อันดับที่ 1 ร่วมกับฟิลเตอร์ต่าง ๆ โดยแสดงให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองจับคู่คุณลักษณะในแต่ละเทคนิค เทคนิคแรกเป็นการจับคู่จุดที่สนใจ (Interest Point Matching) และเทคนิคที่สองเป็นการจับคู่ลักษณะสมมติ (Putative Feature Matching) ซึ่งพบว่าผลการจับทั้งสองเทคนิคสามารถตรวจสอบภาพช้างได้ Lanka Wijesingheetal [5] ได้นำเสนอระบบตรวจสอบและแจ้งเตือนการบุกรุกโดยใช้รั้วกระแสไฟฟ้าเพื่อแยกคนในชุมชนกับช้างป่าออกจากกันระบบแจ้งเตือนการบุกรุกโดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ในการตรวจสอบ พร้อมแสดงบริเวณที่ถูกบุกรุก และแจ้งเตือนการบุกรุกผ่านมือถือจากวิธีการตรวจจับ

ความเคลื่อนไหวดังกล่าวมาข้างต้นมีปัญหาพื้นฐานจากการที่ช้างเป็นสัตว์ช่างสังเกต ถ้าหากมีอะไรแปลกปลอมเข้ามาจะทำการสำรวจ ทำลายหรือหลบหลีกสิ่งแปลกปลอมที่เพิ่มขึ้นมาในสิ่งแวดล้อม ประกอบกับพื้นที่อยู่อาศัยเป็นป่าอุปกรณ์ดังกล่าวข้างต้นจะพบกับปัญหาการบดบังของกิ่งไม้และใบไม้ซึ่งมีการเจริญงอกงามตลอดเวลาการสร้างรั้วไฟฟ้านั้นอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อช้างและมนุษย์ได้ และช้างได้ใช้วิธีทุ่มขอนไม้เพื่อทำลายรั้วไฟฟ้า การขุดคูกั้นช้างมิอาจยับยั่งช้างให้ก้าวข้ามไปได้เพียงแต่ทำให้การเดินทางของช้างช้าลงเท่านั้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเสนอการตรวจจับความเคลื่อนไหวของช้างด้วยการตรวจจับคลื่นการสั่นสะเทือนจากการเดินของช้างโดยใช้เซนเซอร์จีโอโฟน ยืนยันความถูกต้องโดยใช้ภาพถ่ายจากกล้องอินฟราเรด เซนเซอร์จีโอโฟนจะถูกฝังไว้ใต้ดินเป็นตารางกริดขวางช่องทางเดินของช้างทำให้ไม่เป็นที่สังเกตุของช้างและไม่เป็นการรบกวนความเคลื่อนไหวของช้างเพื่อแจ้งเตือนภัยการบุกรุกของช้างเข้ามาในชุมชนโดยนำระบบต้นแบบไปทดสอบกับช้างในปางช้างก่อนและนำไปติดตั้งบางช่องทางที่ช้างเดินผ่านและเก็บข้อมูลการตรวจจับการบุกรุกของช้าง ซึ่งในระยะยาวจะทำให้การพัฒนาระบบเตือนภัยช้างเป็นไปได้ ข้อมูลที่ได้จะแจ้งเตือนไปยังผู้คนในชุมชนและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องเพื่อหามาตรการผลักดันช้างให้กลับเข้าป่าโดยไม่เกิดอันตรายกับประชาชนดังจะได้ถึงรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

2. ธรรมชาติของช้าง

ช้างเป็นสัตว์คู่บ้านคู่เมืองของไทย มีความสำคัญในประวัติศาสตร์ชาติไทย ในอดีตช้างเป็นสัตว์ที่มีบทบาทในทางเศรษฐกิจและมีคุณค่าในตัวช้างเอง โดยเฉพาะงาช้าง ทำให้จำเป็นต้องสงวนพื้นที่ป่าให้ช้างอยู่อาศัย แต่ในปัจจุบันชุมชนมนุษย์ได้ขยายตัวออกไป พื้นที่ป่าลดลง ทำให้เกิดความขัดแย้งระหว่างมนุษย์กับช้าง ช้างยังเป็นสัตว์ที่ดำรงรักษาสมดุลสภาพแวดล้อมของป่า การอนุรักษ์ช้างจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่มิอาจมองข้ามไปได้ ช้างเป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมขนาดใหญ่ในวงศ์ *Elephantidae* โดยแบ่งเป็นสองสกุล ได้แก่ *Elephas* และ *Loxodonta* ช้างในปัจจุบันเหลือ ๓ สปีชีส์ คือ ช้างแอฟริกา ช้างป่าแอฟริกา และช้างเอเชีย (หรือที่รู้จักกันในชื่อ ช้างอินเดีย) ส่วนสปีชีส์และสกุลอื่นของวงศ์ Elephantidaeล้วนสูญพันธุ์ไปหมดแล้วช้างเป็นสัตว์สังคมอยู่กันเป็นโขลง ขนาดของโขลงช้างขึ้นอยู่กับแหล่งอาหาร ธรรมชาติของช้างมีดังต่อไปนี้

2.1 พฤติกรรมทางสังคม ช้างเป็นสัตว์สังคมที่มีลำดับโครงสร้าง เมื่อกลุ่มมีขนาดใหญ่ขึ้นจะมีช้างจำนวนหนึ่งแยกกลุ่มออกไปเพื่อตั้งกลุ่มใหม่ แต่พวกมันยังคงทราบว่าโขลงใดเป็นเครือญาติกันโขลงใดไม่ใช่ เนื่องจากช้างกินอาหารในแต่ละวันเป็นจำนวนมาก จึงต้องมีช้างสำรวจหาแหล่งอาหารด้วย

2.2 สติปัญญา สมองของช้างมีขนาดมากกว่า 5 กิโลกรัมเล็กน้อย มีรอยพับยักมากจึงมีความจำเป็นเลิศ รวมทั้งมีความเศร้าโศก ความสงสาร การทำเสียงดนตรี การเห็นแก่ประโยชน์ส่วนรวม การช่วยกันเลี้ยงทารก การเล่น การสื่อสาร การใช้อุปกรณ์ และการรู้จักตนเอง

2.3 การสื่อสาร ช้างมีประสาทดมกลิ่นและการได้ยินอย่างดีเยี่ยม แต่กลับมีสายตาที่แย่ ช้างสามารถสื่อสารกันด้วยเสียงอินฟราซาวด์ความถี่ต่ำ15-35 Hz เป็นระยะทางไกลได้

2.4 อาหารช้างเป็นสัตว์กินพืชเป็นอาหาร ใช้เวลาในการกินอาหารมากถึง 16 ชั่วโมงต่อวัน ดังนั้นช้างจึงใช้เวลานอนเพียงแค่ 3 ชั่วโมงกว่าเล็กน้อย อาหารของช้างมีความหลากหลายตามฤดูกาล แตกต่างตามแหล่งอาหาร ช้างโตเต็มวัยจะบริโภคอาหาร 140-270 กิโลกรัมต่อวัน

2.5 เส้นทางเดินของช้างไปยังแหล่งอาหาร จะมีเส้นที่แน่นอนและมีจำนวนหลายเส้นทางที่บุกรุกเข้าไปในแหล่งเพาะปลูกของชุมชน

2.6 ความขัดแย้งกับมนุษย์ เนื่องจากพื้นป่าลดจำนวนลดลง ทำให้มีช้างจำนวนหนึ่งบุกรุกเข้ามาในเขตเพาะปลูกของชุมชนจนเกิดการปะทะกับมนุษย์ นำมาซึ่งความสูญเสียชีวิตของมนุษย์และช้าง ตลอดจนความเสียหายของทรัพย์สินจากการทำลายของช้าง

3. เซนเซอร์วัดคลื่นการสั่นสะเทือน

เซนเซอร์จีโอโฟนประกอบด้วยขดลวดเคลื่อนที่ทรงกระบอกเคลื่อนที่ตัดผ่านขั้วแม่เหล็กที่อยู่ในคอนเทนเนอร์ รูปที่ 1 เป็นโมเดลตัดขวางด้านข้างของเซนเซอร์จีโอโฟนซึ่งเป็นหนึ่งโคออร์ดิเนต (coordinate) ที่สามารถใช้อธิบายการเคลื่อนที่ของระบบได้ (1DOF) เมื่อขดลวดเคลื่อนที่ได้รับคลื่นการสั่นสะเทือนจะตอบสนองต่อคลื่นการสั่นสะเทือนตามระยะขจัดของขดลวด $\boldsymbol{y(t)}$ และระยะขจัดเทียบกับฐาน $\boldsymbol{x(t)}$ ทำให้เกิดแรงกระทำต่อขดลวดเคลื่อนที่ดังสมการที่ (1)

$$\boldsymbol{F = (x - y)k + (\dot{x} - \dot{y})c} \tag{1}$$

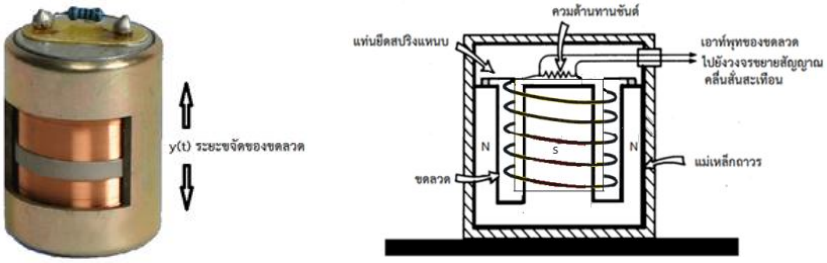
เมื่อ $\boldsymbol{k}$ และ $\boldsymbol{c}$ คือ ค่าสติฟเนส (stiffness) และ ค่าการหน่วงของระบบรองรับ (damping of the suspension system) ตามลำดับ

ดังนั้นจะได้สมการการเคลื่อนที่

$$\boldsymbol{M\ddot{y} = (x - y)k + (\dot{x} - \dot{y})c} \tag{2}$$

$$\boldsymbol{M\ddot{y} + c\dot{y} + ky = c\dot{x} + kx}$$

เมื่อ $\boldsymbol{M}$ คือมวลของการเคลื่อนที่



ก.) ข.)

รูปที่ 1 ก.) โครงสร้างเซนเซอร์จีโอโฟนประกอบด้วยขดลวดและแท่งแม่เหล็ก
ข.) ภาพโมเดลตัดขวางด้านข้างของเซนเซอร์จีโอโฟน

ทำการแปลงแบบฟูเรียร์จะสามารถหาความถี่ธรรมชาติ (natural frequency) $\boldsymbol{\omega_0}$ และอัตราส่วนการหน่วง (damping ratio) $\boldsymbol{\zeta}$ ตามสมการที่ (3)

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{M}} \tag{3}$$

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{kM}}$$

จะได้การแปลงฟูเรียร์ X, Y ของฐานคอนเทนเนอร์และการตอบสนองของขดลวด ทำให้ขดลวดเคลื่อนตัดกับสนามแม่เหล็กตามกฎของฟาราเดย์จะเกิดการเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า V เป็นสัดส่วนกับความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างขดลวดและแม่เหล็กดังสมการที่ (4)

$$V = G(\dot{y} - \dot{x}) \tag{4}$$

เมื่อ G คือค่าคงที่ทรานสดักชั่น (transduction constant)

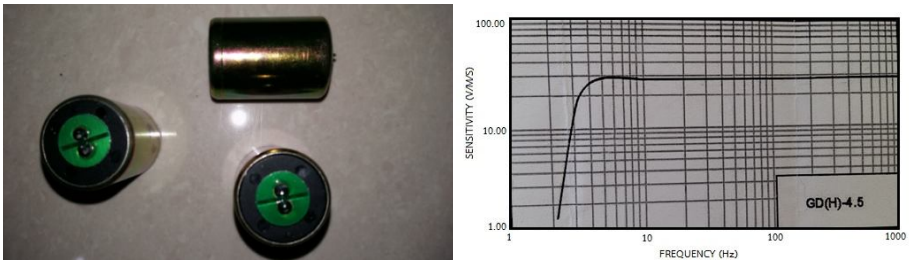
ดังนั้นฟังก์ชันถ่ายโอน H ระหว่างความเร็วเทียบกับฐานคอนเทนเนอร์และสัญญาณเอาท์พุทของอิลีเมนท์เซนเซอร์ *(element sensor)* คือ

$$H = \frac{Y-X}{X} = \frac{Y}{X} - 1$$

$$= \frac{\omega_0^2 + 2j\omega_0\omega\zeta}{\omega_0^2 + 2j\omega_0\omega\zeta - \omega^2} - 1 \tag{5}$$

$$= \frac{\omega^2}{\omega_0^2 + 2j\omega_0\omega\zeta - \omega^2} = H_0$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนระหว่างแรงและระยะขจัดของระบบ 1DOF เป็นการแปลงผันความสัมพันธ์ให้ไปขึ้นกับค่าแฟคเตอร์ ω^2 ซึ่งแทนค่าเป็นนอร์มอลแฟคเตอร์ (normal factor) $\frac{1}{k}$ [6] เนื่องจากแฟคเตอร์ ω^2 จะเป็นการกำหนดตัวกรองความถี่ต่ำของระบบ 1DOF ดั่งเดิม ดังนั้นฟังก์ชันถ่ายโอนนี้จึงใช้สำหรับค่าทั่วไปของความถี่ธรรมชาติ และอัตราส่วนการหน่วงดังในรูปที่ 2 เมื่อ $\omega_0 = 2\pi f$ จะได้ผลลัพธ์ของเฟสเป็น



ก.) ข.)

รูปที่ 2 ก.) เซนเซอร์จีโอโฟน GD-4.5

ข.) กราฟความถี่กับความไวของจีโอโฟน GD-4.5

$$\varphi = \frac{\pi}{2} \tag{6}$$

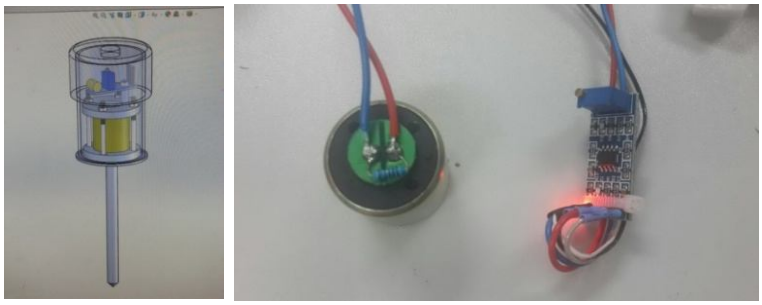
$$\frac{d\varphi}{df} = \frac{1}{\zeta f}$$

ความสัมพันธ์เหล่านี้จะใช้ในการระบุความถี่ธรรมชาติและอัตราการหน่วงของเซนเซอร์ ในกรณีของเซนเซอร์จีโอโฟน GD-4.5 ในรูปที่ 2 จะมีค่า G = 28.8 V/m/s, f_0 = 4.5 และ ζ= 0.55 ตามลำดับ

4. การพัฒนาระบบเตือนภัยช้างต้นแบบ

4.1 ระบบการตรวจสอบความเคลื่อนไหวของช้างโดยใช้หลักการการสั่นสะเทือน

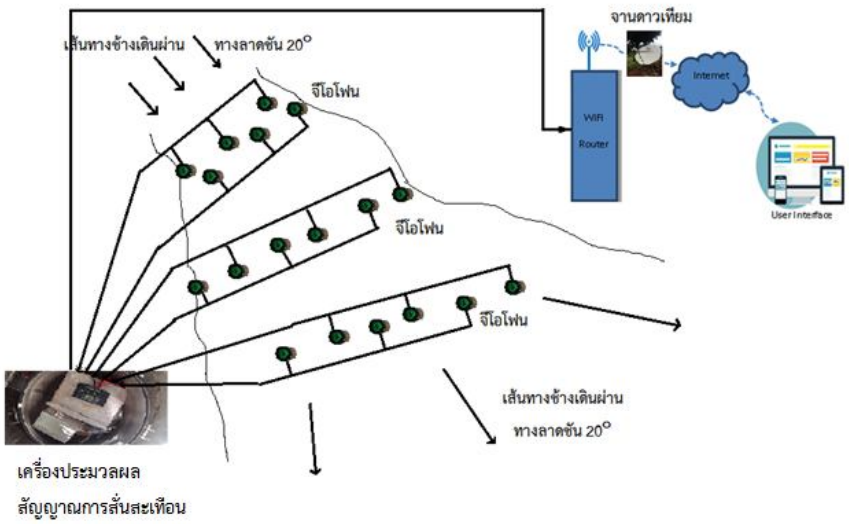
จากหัวข้อที่ 3 เซนเซอร์จีโอโฟนสามารถใช้วัดคลื่นการสั่นสะเทือนจากการเดินของช้างในช่วง 5-50 Hz ได้ แอมปิลจูดของเซนเซอร์จีโอโฟนจะมีค่ามากที่ความถี่มูลฐาน (fundamental frequency) ความถี่ของการสั่นสะเทือนขึ้นอยู่กับลักษณะของเท้าและน้ำหนักของสัตว์ จีโอโฟนจึงเหมาะกับการวัดคลื่นการสั่นสะเทือนจากเท้าช้าง ซึ่งมีแอมปิลจูดของคลื่นการสั่นสะเทือนมากกว่าคลื่นการสั่นสะเทือนจากสัตว์เท้ากีบ ส่วนสัตว์ขนาดเล็กจะให้ขนาดแอมปิลจูดต่ำมาก เซนเซอร์ตรวจจับคลื่นการสั่นสะเทือนในการพัฒนาระบบเตือนภัยช้าง เลือกใช้จีโอโฟนรุ่น GD-4.5 บรรจุอยู่ในกล่องบรรจุจีโอโฟน (รูปที่ 3) ฝังไว้ใต้ดินลึก 10 ซม.โดยวางขวางเส้นทางเดินของช้างดังในรูปที่ 4 เซนเซอร์จีโอโฟนให้สัญญาณเอาต์พุตความถี่ 5-1000 Hz แรงดัน 0-5V ขึ้นอยู่กับลักษณะของเท้าและน้ำหนักของสัตว์ เนื่องจากชุดเซนเซอร์จีโอโฟนติดตั้งอยู่ในบริเณแนวป่าจึงต้องส่งสัญญาณผ่านระบบทวนสัญญาณไวไฟ (WiFi) ผ่าน LAN เชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตทางจานดาวเทียม TOT ดังรูปที่ 5



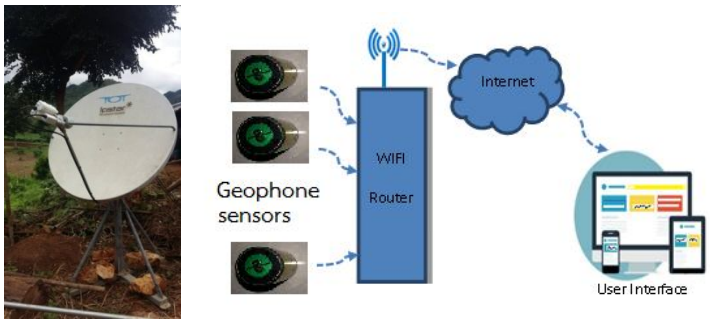
ก.) ข.)

รูปที่ 3 ก.) กล่องบรรจุจีโอโฟน

ค.) การทดสอบการทำงานของจีโอโฟน



รูปที่ 4 การติดตั้งเซนเซอร์จีโอโฟน



ก.) ข.)

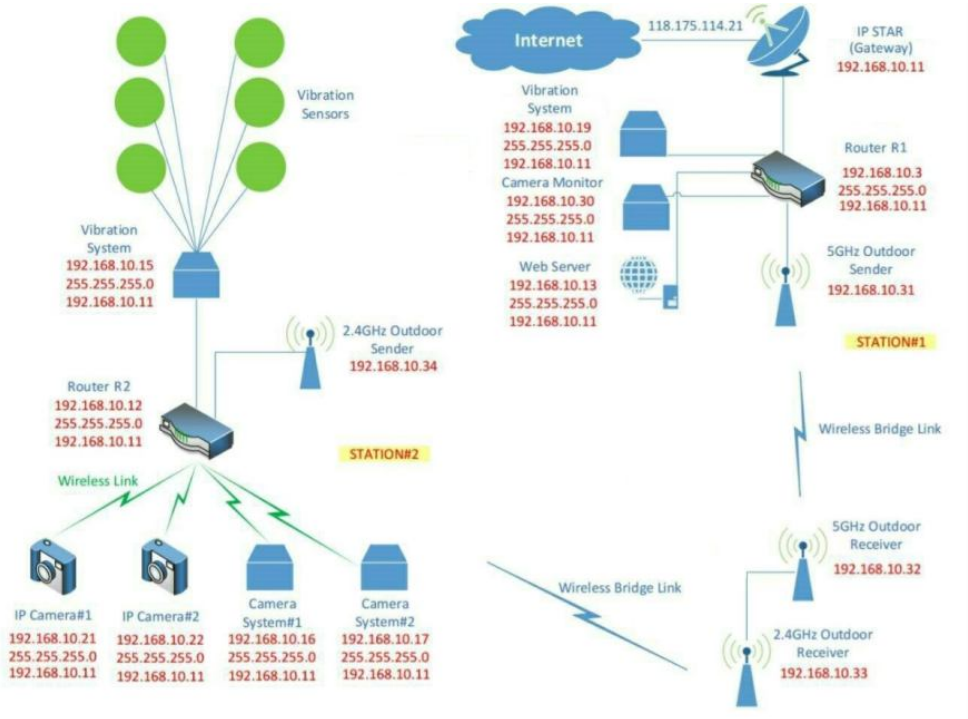
รูปที่ 5 ก.) จานดาวเทียม

ข.) การเชื่อมต่อของระบบตรวจวัดคลื่นการสั่นสะเทือนของพื้นดิน

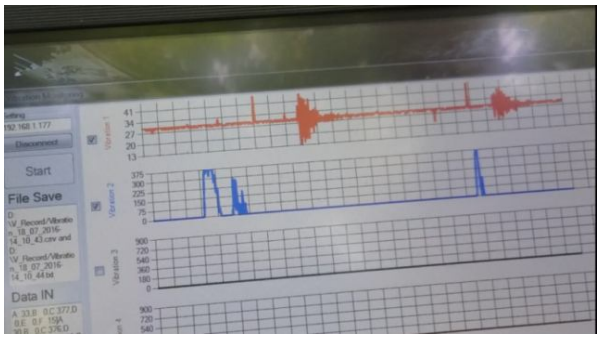
4.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์พร้อมระบบ LAN เลือกใช้แผงวงจร arduino UNO ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ATmega328 เป็นตัวประมวลมีขารองรับสัญญาณแรงดันจากเซนเซอร์ได้สูงสุด 6 ขา และสามารถเชื่อต่อกับเชื่อมต่อกับแผงวงจร ได้ใช้ตัวประมวลผลเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตรุ่น Wiznet W100

4.3 ระบบ LAN และตัวส่งสัญญาณไร้สายความแรงสูง เนื่องด้วยการส่งข้อมูลเพื่อแสดงผลอยู่ระยะไกลต้องใช้การส่งข้อมูลแบบไร้สายโดยเลือกใช้ตัวส่งสัญญาณไร้สายความแรงสูงที่ส่งสัญญาณตามมาตรฐาน WIFI 802.11b/g/n ที่ความถี่ 2.4 GHz ส่งได้ระยะมากกว่า 5 กิโลเมตร ในที่โล่ง โดยใช้รุ่น NSW5 จำนวน 2 ตัว และWIFI ความถี่ 5 GHzจำนวน 2 ตัวสำหรับส่งข้อมูลจากภาคสนามเข้าสู่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ตามแผนผังเครือข่าย LAN ในรูปที่ 6

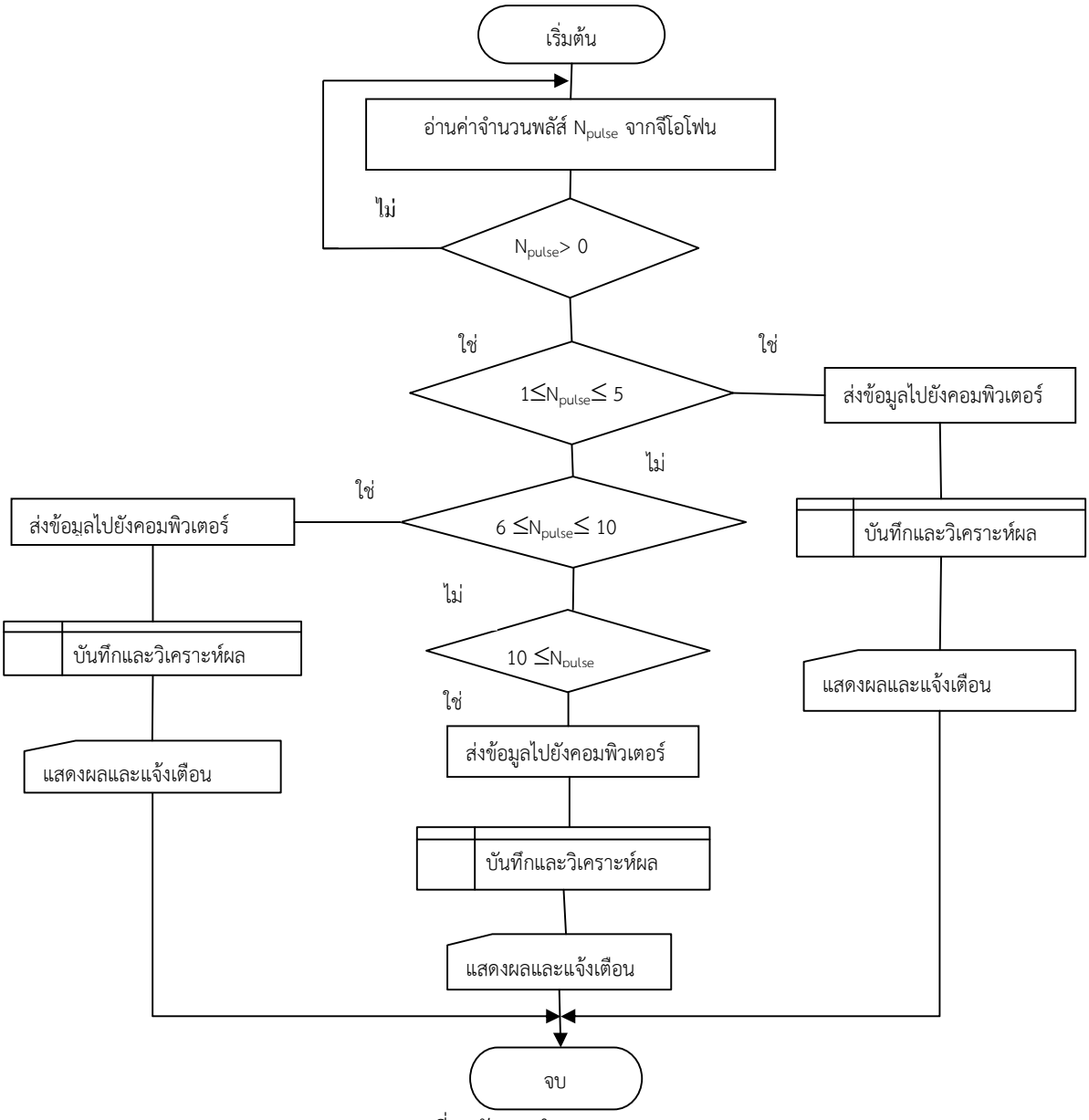
4.4 ส่วนแสดงผลและเก็บข้อมูลรับข้อมูลผ่านการสื่อสารไร้สายตามมาตรฐาน 802.11b/g/n โดยใช้เขียนโปรแกรมบน Microsoft Visual Basic 2010 Express เพื่อแสดงผลที่ส่งมาจากเซนเซอร์ตรวจวัดการสั่น พร้อมทั้งเก็บข้อมูลข้อมูลแบบ .csv เพื่อนำไปเปิดกับโปรแกรม Excel โดยเปรียบเทียบเซนเซอร์จีโอโฟนกับเซนเซอร์วัดการสั่นรุ่น 801S รูปที่ 7 แสดงหน้าจอการวัดคลื่นการสั่นสะเทือนของเซนเซอร์ทั้งสอง



รูปที่ 6 เครือข่าย LAN ที่บ้านแสวงบ่า ตำบลเขาโจด อ.ศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี



รูปที่ 7 การรับสัญญาณความสั่นสะเทือนจากเซนเซอร์แบบจีโอโฟน (สีแดง-แถวแรก)
และเซนเซอร์แบบการวัดความสั่นสะเทือน (สีน้ำเงิน-แถวที่สอง)
ผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ จากบ้านแสวงบ่า ตำบลเขาโจด กาญจนบุรี



รูปที่ 8 ผังการทำงานของระบบ

4.5 ขั้นตอนวิธีการวิจัยของระบบการตรวจวัดการสั่นสะเทือนขั้นตอนการวิธีสรุปเป็นขั้นตอนตามแผนผังการทำงานในรูปที่ 8 และอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

ขั้นตอนการทำงาน

1. อ่านค่าจำนวนพลัส N_{pulse}การสั่นสะเทือนจากจีโอโฟน 6 ช่องสัญญาณ

2. ตรวจสอบจำนวนพลัส์คลื่น N_{pulse}คลื่นการสั่นสะเทือนว่าอยู่ช่วงใด ทำการส่งข้อมูลไปแสดงผลผ่านการสื่อสารไร้สายตามมาตรฐาน 802.11b/g/n

3. โปรแกรมทำการบันทึกค่าและวิเคราะห์ผลที่ได้

4. โปรแกรมแสดงค่าการแจ้งเตือนพร้อมแสดงสถานะข้อมูลที่วิเคราะห์ได้

5. การติดตั้งระบบการตรวจจับคลื่นการสั่นสะเทือนจากการเดินของช้าง

นำระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นไปทดลองกับช้างที่ควบคุมได้เก็บและบันทึก วิเคราะห์ผลการทดลอง จากนั้นจึงทดลองติดตั้งระบบต้นแบบการตรวจจับคลื่นการสั่นสะเทือนจากการเดินของช้างบริเวณบ้านแสวงบ่า ตำบลเขาโจด อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรีทางโครงการได้ทดลองติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความสั่นสะเทือนจากการเคลื่อนไหวของช้างในบริเวณพื้นที่ทางเข้าออกของช้างโดยใช้ข้อมูลจากชาวบ้านในท้องถิ่น รวมทั้งทดสอบการส่งสัญญาณจากเซนเซอร์ผ่านเครือข่ายไร้สายความถี่ 5 GHzและ 2.4 GHz ที่ระยะทาง 1 กิโลเมตรและทดสอบส่งข้อมูลผ่านจานสัญญาณดาวเทียมเป็นผลสำเร็จ ดังแสดงในรูปที่ 9-10

ก.) ข.)

รูปที่ 9 ก.) บริเวณที่ป่าที่ติดตั้งระบบเตือนภัย

ข.) เซลล์แสงอาทิตย์แหล่งพลังงานบนบ้านต้นไม้

ก.) ข.) ค.)

รูปที่ 10 ก.) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในภาชนะกันน้ำในบ่อใต้ดิน

ข.) การติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารที่สถานีทวนสัญญาณและ

ค.) ศูนย์แจ้งเตือนข่าวสาร

6. ผลการวิจัย

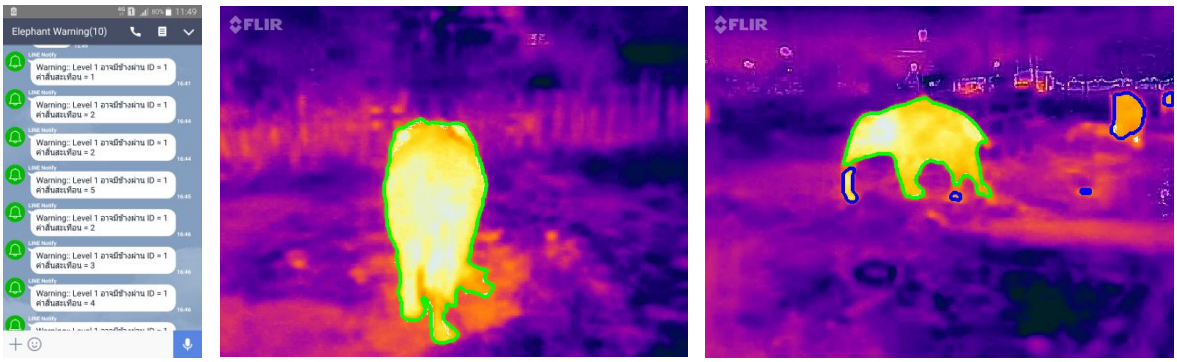
6.1 ผลการทดลองการจำลองระบบเตือนภัยช้างต้นแบบที่วังช้างอยุธยาแลเพนียด จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

จำลองระบบที่จะไปติดตั้งจริงโดยทดลองกับช้างที่ควบคุมได้ให้ช้างเดินผ่านไปบนจีโอโฟนที่ฝังไว้ใต้ดินลึก 0.1 เมตร จำนวน 6 ช่องสัญญาณ แต่ละช่องประกอบด้วยเซนเซอร์จีโอโฟนต่อขนานกัน 3 ตัว ห่างกันช่วงละ 1 เมตร นับจำนวนพลัส์คลื่นการสั่นสะเทือนที่เกิดจากตรวจจับของเซนเซอร์จีโอโฟนทั้ง 6 ช่องสัญญาณจากการเดินเหยียบของช้างดังรูปที่ 11 คลื่นสัญญาณนี้เน้นการตรวจจับคลื่นการสั่นสะเทือนความถี่ต่ำที่มีแอมปิลจูดสูงได้ผลการทดลองดังตารางที่ 1 ในการแจ้งเตือนในโครงการวิจัยนี้ได้ทดลองแจ้งเตือนผ่านทางไลน์ดังรูปที่ 12 การแจ้งไปยังชุมชนหรือเจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องจะต้องตรวจสอบยืนยันว่าเป็นช้างจากการวิเคราะห์ภาพช้างจากกล้องอินฟราเรด

รูปที่ 11 ช้างเดินเหยียบบริเวณที่ติดตั้งจีโอโฟน

ตารางที่ 1 ข้อมูลการแจ้งเตือนจากการทดลอง

จำนวนพลัส์จาก 6 ช่องสัญญาณ	สภาพทางกายภาพ	การแจ้งเตือนผ่านทางไลน์
0	ไม่มีช้างเดินผ่านหรือเดินอยู่ใกล้	ไม่มีการแจ้งเตือน
1-5	มีช้างเดินอยู่ไกลกว่า 3 เมตร	Warning: Level 1 อาจมีช้างผ่าน
6-10	มีช้าง 1 -2 เชือก เดินเข้ามาในบริเวณติดตั้งจีโอโฟน	Warning: Level 2 มีช้างผ่านเดินผ่าน
>10	มีช้างมากกว่า 2 เชือกเดินเข้ามาในบริเวณติดตั้งจีโอโฟน	Warning: Level 3 มีช้างผ่านเดินผ่านแน่นอน



ก.) ข.) ค.)

รูปที่ 12 ก.) การทดลองแจ้งเตือนภัยช้าง

ข.) ภาพจากกล้องอินฟราเรดช้างที่ระบบเตือนภัยช้างรู้จำได้ถูกต้อง

ค.) ภาพจากกล้องอินฟราเรดช้างที่ระบบเตือนภัยช้างไม่สามารถรู้จำได้

6.2 การทดลองติดตั้งระบบเตือนภัยช้าง

จากการทดลองกับช้างที่วังช้าง แลเพนียด จังหวัดพระนครศรีอยุธยาพบว่าการติดตั้งสิ่งใด ๆ ที่แปลกปลอมไปจากเดิมจะเรียกความสนใจจากช้างทันทีและพยายามสำรวจตลอดจนเข้าทำลายสิ่งแปลกปลอม ยกเว้นในกรณีที่ฝังไว้ใต้ดินเท่านั้น ในโครงการนี้ได้ทดลองนำระบบเตือนภัยช้างต้นแบบไปติดตั้งในบริเวณป่าเพียง 1 ช่องทางเพื่อศึกษาและเก็บข้อมูล แต่ระบบตรวจจับความเคลื่อนไหวของช้างที่ติดตั้งในบริเวณป่า จำเป็นต้องใช้แหล่งพลังงานจากแผงเซลล์อาทิตย์ ซึ่งจะต้องมีวิธีการติดตั้งให้รอดพ้นจากการทำลายช้างดังนี้

6.2.1 ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ทีละชิ้นโดยใช้ระยะเวลาที่สร้างความคุ้นเคยให้กับช้าง

6.2.2 ติดตั้งแหล่งพลังงาน (แผงเซลล์อาทิตย์) ไว้บนบ้านต้นไม้ดังรูปที่ 19 สูงมากกว่า 6 เมตร ทำบันไดแบบเก็บได้ และนำนั่งร้านออกไป

6.2.3 เดินสายไฟฟ้าในท่อฝังไว้ใต้ดินไปยังบ่ออุปกรณ์ใต้ดิน

6.2.4 นำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นิกส์ ตัวประมวลผลสัญญาณ แบตเตอรี ไปไว้ในบ่อใต้ดินในภาชนะกันน้ำดังรูปที่ 10 โดยรับพลังงานไฟฟ้าจากสายไฟฟ้าใต้ดินจากแผงเซลล์อาทิตย์

6.2.5 อุปกรณ์ที่ให้เกิดเสียงให้นำไปติดตั้งบนบ้านต้นไม้

6.2.6 อุปสรรค เนื่องจากเป็นช่วงฤดูหนาวมักจะมีเมฆปกคลุมเป็นเวลาหลายวัน จนส่งผลให้แหล่งพลังงานไม่เพียงพอได้ ซึ่งเป็นกรณียกเว้นเนื่องจากข้อจำกัดทางธรรมชาติที่อาจเกิดขึ้นเป็นครั้งคราว

7 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ช้างเป็นสัตว์สังคมอยู่กันเป็นโขลง ขนาดของโขลงขึ้นอยู่กับแหล่งอาหาร ช่องทางเดินของช้างไปสู่แหล่งอาหารจะมีเส้นทางที่แน่นอน ถ้าหากติดตั้งระบบตรวจจับความเคลื่อนไหวของช้างจนครบทุกช่องทางจะทำให้สามารถติดตามความเคลื่อนไหวของช้างและแจ้งเตือนภัยจากช้างได้ ในการติดตั้งระบบเตือนภัยช้างจะต้องค่อย ๆ เพิ่มเติมการติดตั้งทีละอย่างไม่ให้ช้างผิดสังเกตุเพื่อสร้างความคุ้นเคยให้กับช้าง ต้องซ่อนอำพรางเครื่องมืออุปกรณ์ทั้งหมดมิให้สังเกตเห็นได้ชัดเจนเช่น ฝังอุปกรณ์ เครื่องมือและจีโอโฟนไว้ใต้ดินระบบกล้องไว้บนต้นไม้ แหล่งพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ไว้บนบ้านต้นไม้ จากการทดลองกับช้างควบคุมได้ให้เหยียบไปบนบริเวณที่ติดตั้งเซนเซอร์จีโอโฟน เพื่อตรวจจับจำนวนพลัส์จากเซนเซอร์จีโอโฟนพบว่าจีโอโฟนสามารถตรวจจับคลื่นการสั่นสะเทือนจากการเดินของช้างได้ คลื่นการสั่นสะเทือนจากการเดินของช้างมีความถี่ต่ำและมีแอมปลิจูดสูง ซึ่งมนุษย์ไม่สามารถรับรู้ได้ การตรวจจับคลื่นการสั่นสะเทือนสามารถตรวจจับได้ดีในระยะรัศมี 0.5 เมตรรอบตัวจีโอโฟนแต่ละตัว ถ้าหากระยะมากกว่านั้นแอมปิลจูดจะลดลงตามลำดับและจะต่ำมากมากหากระยะทางเกินกว่า 3 เมตร ดังนั้นในการติดตั้งจึงต้องติดตั้งจีโอโฟนสลับกันเป็น 6 ช่องสัญญาณ ช่องละ 3 ตัวโดยต่อแบบขนาน รวมทั้งหมด 18 ตัวจึงจะได้ผลดี

ปัญหาและอุปสรรค เนื่องจากชุมชนชายขอบในพื้นที่ห่างไกลขาดระบบการสื่อสารและพลังงานไฟฟ้า จึงมีความความจำเป็นต้องสร้างระบบเครือข่ายสื่อสารขึ้นมาใช้งาน รวมทั้งติดตั้งสถานีทวนสัญญาณ ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ตลอดจนเช่าจานดาวเทียม เพื่อรับส่งข่าวสารผ่านทางสื่อสังคมออนไลน์ การส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ การพัฒนาระบบแจ้งเตือนภัยช้างยังต้องมีการพัฒนาให้มีศักยภาพมากกว่าเดิมรวมทั้งเทคนิครายละเอียดปลีกย่อยต่าง ๆ ซึ่งควรได้รับการพัฒนาต่อยอดจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) เลขที่สัญญา T๒-๑-๐๐๑๔/๕๗

เอกสารอ้างอิง

[1] M. S. Nakandala, S. S. Namasivayam, D. P. Chandima, Lanka Udawatta, “Detecting Wild Elephants Via WSN For Early Warning System.”, The 7th International Conference on Information and Automation for Sustainability (ICIAfS), 22-24 Dec. 2014, pp.1 – 6.

[2] Matthias Zeppelzauer “Automated detection of elephants in wildlife video”, EURASIP Journal on Image and Video Processing, vol. 46, 2013.

[3] GopalDatt Joshi and JayanthiSivaswamy “A simple scheme for contour detection”, Proceedings of the Conference on Computer Vision Theory and Applications, pp. 236–242, 2006.

[4] Manish Suyal, Vijay “Review of Object Segmentation and Identification Using Edge Detection and Feature Matching Technique”, International Journal of Advances in Computer Science and Technology, Volume 3, No.6, pp. 369 – 375, 2014.

[5] Lanka Wijesinghe, PrasangaSiriwardena, ShamaliDahanayake, DharshanaKasthuriratne, Ravi Corea, and Dileeka Dias “Electric Fence Intrusion Alert System (eleAlert)”, Proceedings of IEEE Global Humanitarian Technology Conference, pp. 46-50, 2011.

[6] Rune Brincker; Thomas L. Lagö; Palle Andersen; and Carlos Ventura; “Improving the Classical Geophone Sensor Element by Digital Correction.”www.svibs.com/solutions/literature/2005_1.pdf.