

การพัฒนาระบบตรวจสอบระดับน้ำด้วยเทคนิคซิกบี

Development of water levels monitoring system by ZigBee technique

सरवूढी बुणुकेढूरुढी^{1,*} ठनुढुसकुडु वङकुढीकुवु²

Sarawoot Boonkirdram^{1,*}, Tanomsak Wongmeekaew²

¹โปรแกรมวิชาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร สกลนคร ประเทศไทย 47000

¹Electrical and Electronics Program, Faculty of Industrial Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon, 47000 Thailand

²ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร สกลนคร ประเทศไทย 47000

²Department of Computer and Information Science, Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University, Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus, 47000 Thailand

*Corresponding Author: sarawoot.b@snru.ac.th

Received: 3 March 2017; Revised: 18 June 2017; Accepted: 19 June 2017; Available online: 1 December 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นนำเสนอการพัฒนาระบบตรวจสอบระดับน้ำด้วยเทคนิคซิกบี ประกอบด้วยส่วนหลักๆ ได้แก่ อาดูโน่ บอร์ด โมดูลรับส่งสัญญาณไร้สายและตัวรับรู้ระดับน้ำแบบอินเตอร์ดิจิทัล คาปาซิเตอร์ (IDC) ซึ่งใช้หลักการของตัวเก็บประจุ โดยทำการทดสอบวัดค่าระดับน้ำก่อนนำไปใช้ในงานวิจัยและนำข้อมูลไปวิเคราะห์หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.07 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดลีนใจ (R^2) เท่ากับ 0.994 ผลจากการใช้ระบบตรวจสอบระดับน้ำด้วยเทคนิคซิกบี พบว่าค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้แปรผันโดยตรงกับระดับน้ำและถูกแปลงเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้านี้ถูกส่งสัญญาณไร้สายโดยใช้เทคนิคซิกบีไปยังบอร์ดอาดูโน่ บอร์ด ทำหน้าที่ประมวลผลและควบคุมการทำงานของระบบ โดยข้อมูลระดับน้ำจะถูกเปลี่ยนหน่วยเป็นเมตร การวัดระดับน้ำที่ทำการวัดจากแหล่งน้ำในมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร มีความสูงเฉลี่ย 2.81 เมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.014 จากผลงานวิจัยทำให้ระบบตรวจสอบมีประสิทธิภาพมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าระบบการตรวจสอบระดับน้ำด้วยเทคนิคซิกบี ซึ่งจะส่งผลให้ระบบสามารถใช้งานได้จริงและทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

คำสำคัญ: ระดับน้ำ; ตัวรับรู้แบบอินเตอร์ดิจิทัล คาปาซิเตอร์; อาดูโน่บอร์ด; ซิกบี

Abstract

This research presents the development of water levels monitoring system by ZigBee technique. Consists of arduino board, wireless transmitter module and Interdigital capacitor water levels (IDC) which used principle of capacitance. The test measures before use in research has a standard deviation. (S.D.) 0.07 and analyze data to a correlation coefficient (R^2) of 0.994. The result of the water levels monitoring system by ZigBee technique found that, the capacitance of the Interdigital capacitor water levels, which is proportional to the level of the water level is converted to the voltage. The corresponding voltage is sent to the arduino board that gives data of water levels in meters. The experimental results showed that, the water level of the water in Sakon Nakhon Rajabhat University

average height 2.81 meters. the standard deviation (S.D.) of 0.014. The experimental results showed that the water levels monitoring system by ZigBee technique can provide the correct data with high accuracy and effective.

Keywords: Water levels; Interdigital capacitor sensor; Arduino board; ZigBee

1. บทนำ

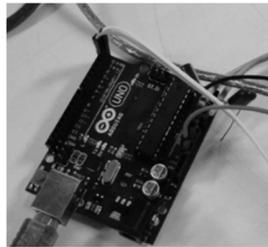
น้ำเป็นสิ่งสำคัญสำหรับสิ่งมีชีวิตทุกชนิดไม่ว่าจะเป็น พืช สัตว์ โดยเฉพาะมนุษย์ต้องใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค เช่น การชลประทาน การประมง ดังนั้นการวัดระดับน้ำจึงมีความสำคัญ เช่น การวัดระดับน้ำเพื่อให้ทราบถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่มีผลต่อการนำไปใช้ประโยชน์ การใช้ระบบและอุปกรณ์วัดระดับน้ำมีความแตกต่างกันตามความเหมาะสมกับชนิดของการควบคุมและลักษณะน้ำที่นำไปใช้งาน เช่น การวัดระดับน้ำในแหล่งน้ำทั่วไป การวัดระดับน้ำในถังพัก การวัดระดับในภาชนะที่มีแรงดันสูง เมื่อศึกษาผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบและอุปกรณ์การวัดระดับน้ำ สามารถจำแนกตามหลักการการทำงานได้ 4 หลักการ [1] คือ 1. หลักการวัดระยะการเคลื่อนที่ของลูกลอยตามระดับน้ำ (Float system) มีความแม่นยำในการวัดสูง ชนิดของน้ำและอุณหภูมิส่งผลกระทบบต่อการวัดเพียงเล็กน้อย [2] แต่เนื่องจากมีชิ้นส่วนทางกลเป็นส่วนประกอบหลัก จึงมีความยุ่งยากในการบำรุงรักษาและหากขาดการหล่อลื่นที่ดี 2. หลักการทางไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับระดับน้ำ (Detecting electrical properties) เช่น การวัดค่าความจุไฟฟ้า ค่าความต้านทานไฟฟ้า แต่เนื่องจากการวัดที่ต้องสัมผัสน้ำโดยตรง อาจทำให้เกิดการกัดกร่อนบนผิวของตัวรับรู้ระดับน้ำได้ 3. หลักการของความดัน (Pressure head or Static head) ใช้การเปรียบเทียบแรงดันน้ำกับแรงดันบรรยากาศ [3] ติดตั้งง่าย มีย่านวัดให้เลือกใช้งานกว้าง ใช้อุปกรณ์น้อย โครงสร้างมีแผ่นไดอะเฟรมขนาดเล็กซึ่งเสียหายได้ง่ายหากเกิดการกระทบกระเทือน การใช้งานต้องติดตั้งระบบกราวด์ที่ดีและติดตั้งสารดูดซับความชื้นในท่อนำอากาศด้วย 4. หลักการทางเสียงหรือแสง (Ultrasonic or Photo detection) [4] ใช้หลักการจับเวลาการเดินทางของคลื่นเสียง (Ultrasonic) แสง (Laser) หรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Radar) ที่ถูกส่งออกไปจากต้นทางผ่านอากาศแล้วสะท้อนกลับเมื่อชนกับผิวน้ำ ข้อดีคือไม่ต้องบำรุงรักษาบ่อยเพราะไม่มีส่วนใดสัมผัสกับน้ำ วัดระดับน้ำได้หลายชนิด แต่หากผิวน้ำมีการกระเพื่อมหรือมีฟองอากาศจะทำให้ค่าระดับที่วัดได้มีความผิดพลาด การส่งสัญญาณตัวรับรู้ที่ผ่านมาพบว่าจะส่งสัญญาณโดยผ่านสายสัญญาณ ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายจากสายสัญญาณ เนื่องจากการติดตั้งสายสัญญาณจะต้องมีการวางแผนและเกิดความยุ่งยากในการติดตั้งในสถานที่ไกล การบำรุงรักษาทำได้ยาก ดังนั้นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายซิกบี (Technology ZigBee) โดยมีการรับส่งข้อมูลด้วยคลื่นความถี่วิทยุ การทำงานตามมาตรฐานโปรโตคอล IEEE 802.15.4 ในย่านความถี่ 2.4 GHz [5] มีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำใช้พลังงานต่ำราคาถูกซึ่งเป็นการนำเทคนิคในการสื่อสารและส่งข้อมูลแบบไร้สาย ประหยัดค่าใช้จ่ายจากการเดินสายสัญญาณ ใช้พลังงานต่ำในการควบคุม ซึ่งจากคุณสมบัติดังกล่าวสามารถนำข้อดีของการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายมาประยุกต์ใช้กับการตรวจสอบที่หลากหลาย เช่น การส่งสัญญาณตัวรับรู้ผ่านระบบเครือข่าย เช่น การใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับการเกษตรในประเทศมาลาวี [6] การควบคุมและประหยัดน้ำระบบชลประทานด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในการเกษตร [7] การพัฒนาและการใช้งานของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในนาข้าว [8] เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับตรวจวัดสภาพแวดล้อมในแปลงปลูกข้าวหอมมะลิ [9] การศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายไร้สายแบบ ZigBee-based สำหรับตรวจสอบคุณภาพแบบเรียลไทม์ [10] ระบบไร้สายโดยใช้ ZigBee เพื่อควบคุมและติดตามสถานะเครื่องจักรและเซ็นเซอร์ในโรงงานผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต [11] จากคุณสมบัติการส่งข้อมูลไร้สายของซิกบีและความสำคัญของระดับน้ำ ทำให้เกิดแนวคิดการพัฒนาเครื่องมือวัดแบบไร้สาย [12] โดยงานวิจัยครั้งนี้ได้นำตัวรับรู้ระดับน้ำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคโนโลยีการส่งข้อมูลไร้สายของซิกบี เพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย ทำให้ประหยัดการใช้สายสัญญาณแบบที่ผ่านมาโดยให้ซิกบีติดตั้งกับตัววัดระดับและส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายไร้สายไปยังซิกบีที่ติดตั้งกับคอมพิวเตอร์ที่อยู่อีกตำแหน่ง เพื่อนำไปข้อมูลที่ไต่ไปวิเคราะห์และใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ

2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบตรวจสอบระดับน้ำด้วยเทคนิคชิกปี ประกอบด้วย

ฮาร์ดแวร์

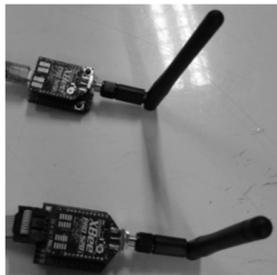
บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (Single Board Computer: SBC) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบงานวิจัยครั้งนี้เลือกใช้ Raspberry Pi 2 Model B 1GB ดังภาพที่ 1 โดยต่อกับจอคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต HDMI เชื่อมต่อกับ USB Mouse/Keyboard เป็น Single Board Computer ชิป ARMv7Quad-Core 900 MHz มีหน่วยความจำ LPDDR2 สำหรับเก็บเป็นฐานข้อมูลขนาด 1 GB



ภาพที่ 1 บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก

Mini Xbee USB Dongle V2

PCB สำหรับแปลง (Converter) สัญญาณจากตัวรับรูดัชนีของ Xbee Series 1 และ Series 2 สามารถเสียบกับ Proto board โดยตรงพร้อมขั้วกริชา PIN Header การนำ Mini Xbee จะใช้ร่วมกับโมดูลรับรูดัชนีสัญญาณไร้สาย XBP24-BZ7SIT-004 ดังภาพที่ 2 เป็นโมดูลรับส่งสัญญาณไร้สายย่านความถี่ 2.4 GHz ตามมาตรฐานโปรโตคอล ZigBee / IEEE 802.15 ใช้ไฟเลี้ยง 3.30 โวลต์รับส่งข้อมูลอัตราความเร็ว 250 Kbps รองรับเครือข่ายแบบ mesh รับส่งระยะสั้นระยะที่ทำได้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของระบบและสายอากาศ เนื่องจากความถี่เป็นย่านความถี่สูง อัตราการลดทอนสัญญาณจะสูงและสิ่งกีดขวางจะมีผลกับระยะทางที่ใช้งานได้

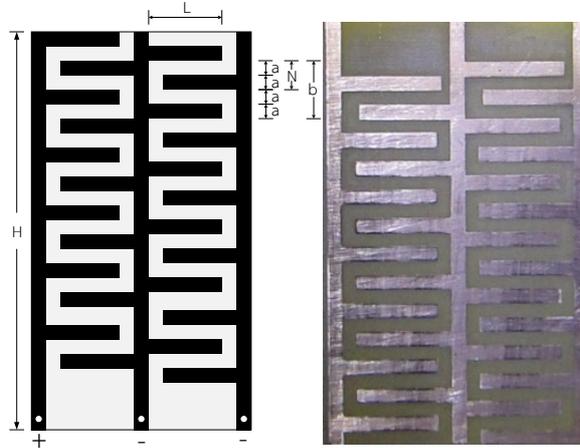


ภาพที่ 2 Mini Xbee USB Dongle V2และโมดูลรับรูดัชนีสัญญาณไร้สาย

ตัวรับรูดัชนีน้ำ

งานวิจัยเป็นแบบอินเทอร์ดิจิทัลคาปาซิเตอร์ (IDC) ใช้หลักการทางไฟฟ้า มีโครงสร้างคล้ายนิ้วมือ (Finger) ดังภาพที่ 3 ทำโดยใช้แผ่นปริ้นต์ด้านเดียวชนิดเกรด FR-4 (Woven glass and Epoxy) เพราะทนต่อความชื้น ความหนาของวัสดุฐานรอง (t) เท่ากับ $0.76 \mu\text{m}$ มีค่าไดอิเล็กทริก (Dielectric) ของวัสดุฐานรอง (ϵ_r) เท่ากับ 4.30 โดยกำหนดความยาว (L) เท่ากับ 50 มม. ความกว้าง (a) เท่ากับ 20 มม. ช่องว่างซี่ (b) เท่ากับ 20 มม. จำนวนซี่ (N) เท่ากับ 650 ซี่ และสูง เท่ากับ (H) 3 มม. การใช้ตัวรับรูดัชนีแบบนี้เป็นการวัดค่าความจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างวัสดุไดอิเล็กทริก 2 ชนิดคือ น้ำ (Water) แสดงดังสมการ (1) และอากาศ (Air) แสดงดังสมการ (3) โดยน้ำมีค่าไดอิเล็กทริก (ϵ_w)

มากกว่าไดอิเล็กทริกของอากาศ (ϵ_0) 80.40 เท่า ดังนั้น เมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความจุไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง การใช้งานโดยนำขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วจุ่มลงไปใต้น้ำค่าความจุไฟฟ้าของเซ็นเซอร์ แปรผันโดยตรงกับระดับน้ำค่าความจุไฟฟ้าถูกวัดและแปลงเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้านี้ถูกส่งไปยังอานูโน บอร์ดเพื่อเปลี่ยนเป็นปริมาณระดับน้ำในหน่วยเมตร



ภาพที่ 3 แสดงรายละเอียดค่าพารามิเตอร์ของตัวรับรู้ระดับของน้ำ

$$C_{air} = N_{air} LC_{PU1} + (N_{air} - 1) LC_{PU1} = 2N_{air} LC_{PU1} - LC_{PU1} \quad (1)$$

$$C_{PU1} = \epsilon_o \frac{\epsilon_{air} + \epsilon_s}{2} \frac{K \left[\sqrt{1 - \left(\frac{a}{b}\right)^2} \right]}{K \left[\frac{a}{b} \right]} + \epsilon_o \epsilon_{air} \frac{t}{a} \quad (2)$$

$$C_{water} = N_{water} LC_{PU2} + (N_{water} - 1) LC_{PU2} = 2N_{water} LC_{PU2} - LC_{PU2} \quad (3)$$

$$C_{PU2} = \epsilon_o \frac{\epsilon_{water} + \epsilon_s}{2} \frac{K \left[\sqrt{1 - \left(\frac{a}{b}\right)^2} \right]}{K \left[\frac{a}{b} \right]} + \epsilon_o \epsilon_{water} \frac{t}{a} \quad (4)$$

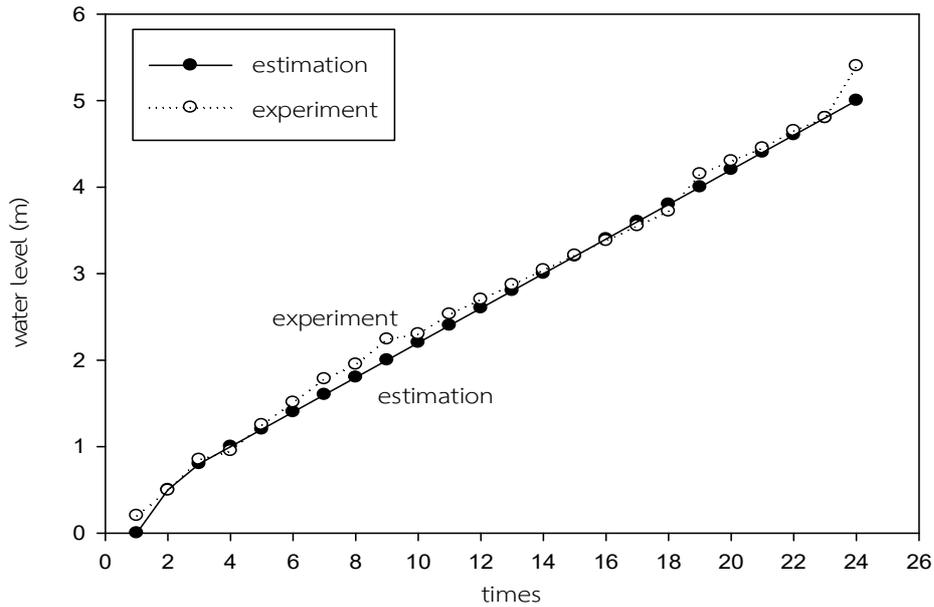
สำหรับ $K\left(\frac{a}{b}\right)$ เป็นฟังก์ชันของปริพันธ์เชิงวงรีของมอดูลัส (elliptic integrals of modulus) เมื่อ $C_{electrode}$ มีค่าเท่ากับค่าความจุทั้งหมดของอินเตอร์ดิจิทัลคาปาซิเตอร์แสดงดังสมการ (5)

$$C_{electrode} = (N - 1)L(C_{PU1} + C_{PU2}) \quad (5)$$

การทดสอบเพื่อปรับค่าตัวรับรู้ได้ค่าระดับน้ำให้ได้ตามค่าระดับน้ำจริง โดยใช้ค่าไดอิเล็กทริกของน้ำเท่ากับ 80 ระดับน้ำที่ใช้ในการทดสอบมีทั้งหมด 24 ระดับเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าความจุไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงคือ LCR meter (Aligent LCR-800 Basic Measurement Accuracy 0.05%) โดยต่อแรงดันไฟบวกไฟลบและกราวด์จาก LCR มิเตอร์ ใช้แรงดันไฟฟ้าพัลส์กระตุ้น (V_{in}) 1 โวลต์ ความถี่ 10 กิโลเฮิร์ตค่าความสัมพันธ์ระดับน้ำมีอยู่จริงกับค่าที่วัดได้จากระบบตรวจสอบระดับน้ำด้วยเทคนิคชิบิที่สร้างขึ้น ทำการทดลอง 3 ซ้ำแสดงระดับน้ำที่วัดได้จากการทดลองโดยใช้ตัวรับรู้ระดับน้ำที่ออกแบบขึ้นกับระดับน้ำจริง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระดับน้ำจริงกับระดับน้ำที่วัดได้จากการทดสอบตัวรับรู้แบบอินเตอร์ดิจิทัลคาปาซิเตอร์

ระดับน้ำจริง(m)	ระดับน้ำวัดได้จากการทดสอบ(m)	ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.0	0.20	0.14
0.50	0.49	0.01
0.80	0.85	0.04
1.00	0.95	0.04
1.20	1.25	0.04
1.40	1.51	0.08
1.60	1.78	0.13
1.80	1.95	0.11
2.00	2.24	0.17
2.20	2.30	0.07
2.40	2.53	0.09
2.60	2.70	0.07
2.80	2.87	0.05
3.00	3.04	0.03
3.20	3.21	0.01
3.40	3.38	0.01
3.60	3.55	0.04
3.80	3.72	0.06
4.00	4.15	0.11
4.20	4.31	0.07
4.40	4.45	0.04
4.60	4.65	0.04
4.80	4.80	0.00
5.00	5.40	0.28

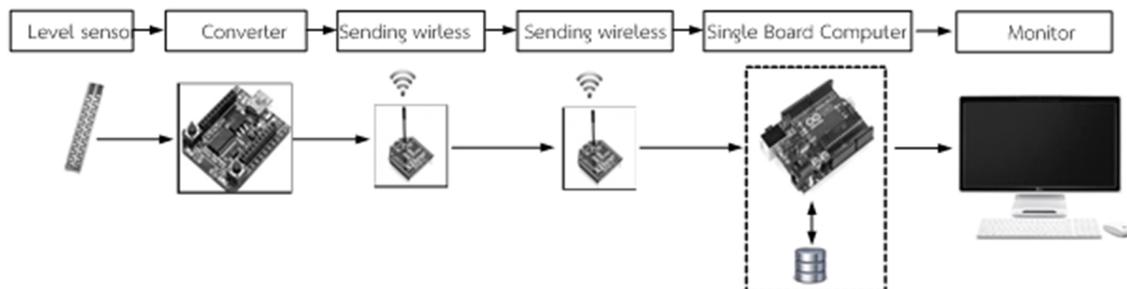


ภาพที่ 4 ระดับน้ำมีอยู่จริงกับค่าที่วัดได้จากตัวรับรู้ระดับน้ำแบบอินเทอร์ดิจิตัลคาปาซิเตอร์

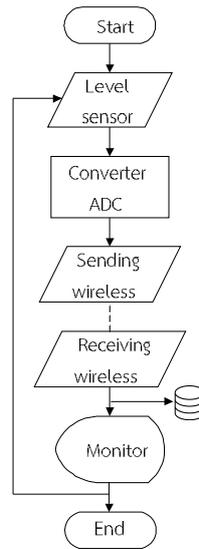
จากภาพที่ 4 เป็นการทดสอบเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำมีอยู่จริงกับค่าที่วัดได้จากตัวรับรู้ระดับน้ำที่ออกแบบขึ้น โดยการวัดระดับน้ำเริ่มต้นจากไม่มีระดับน้ำแล้วทำเพิ่มระดับน้ำครั้งละ 20 CM จนถึงระดับน้ำที่ 5 เมตรพบว่าระดับน้ำที่วัดได้ใกล้เคียงกับระดับน้ำจริง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ พบว่าข้อมูลเกาะกลุ่มและเมื่อหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ได้ 0.07 และนำข้อมูลไปวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (correlation coefficient) เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ $R^2 = 0.9943$

วิธีดำเนินการวิจัย

ระบบตรวจสอบระดับน้ำด้วยเทคนิคชิปประกอบด้วยตัวรับรู้ระดับน้ำ 1 ตัว ตัวรับรู้ไร้สาย 2 ตัว และอาดูโน่ บอร์ด แสดงดังภาพที่ 5 โดยการวิจัยครั้งนี้ใช้แหล่งน้ำในมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครการติดตั้งตัวรับรู้ระดับน้ำจะอยู่ที่บริเวณน้ำและเชื่อมต่อสายสัญญาณเข้ากับบอร์ดรับสัญญาณเพื่อประมวลผลและแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลจากนั้นโมดูลส่งสัญญาณไร้สายตัวที่ 1 ทำหน้าที่แพร่กระจายสัญญาณแบบไร้สายไปยังโมดูลรับสัญญาณไร้สายตัวที่ 2 ซึ่งทำหน้าที่รับสัญญาณแบบไร้สายแล้วส่งไปยังอาดูโน่ บอร์ด ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบ เพื่อประมวลผลและเก็บข้อมูลของระดับน้ำ โดยจะเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลที่ติดตั้งอยู่คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครเพื่อแสดงผลข้อมูลระดับน้ำเป็นกราฟ บล็อกการทำงานของระบบตรวจสอบระดับน้ำด้วยเทคนิคชิปแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 แผนภาพระบบตรวจสอบระดับน้ำด้วยเทคนิคชิป

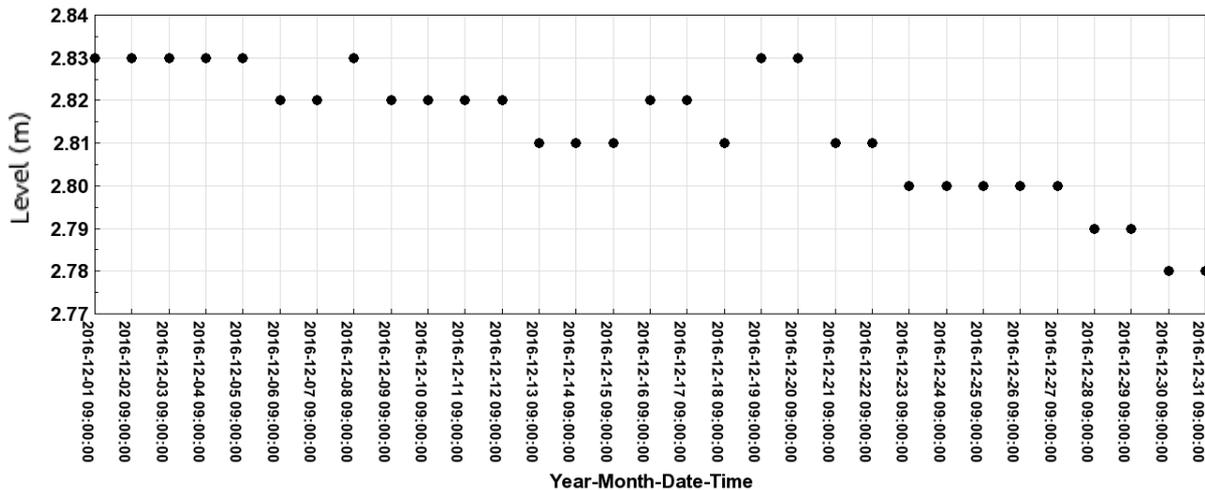


ภาพที่ 6 บล็อกการทำงานของระบบตรวจสอบระดับน้ำด้วยเทคนิคซิกบี

3. ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวัดระดับน้ำผ่านระบบตรวจสอบระดับน้ำด้วยเทคนิคซิกบีที่สร้างขึ้น ดังภาพที่ 7 นำค่าระดับน้ำที่ได้พล็อตกราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับเวลา วัน เดือน ปี ที่แตกต่างกัน โดยเริ่มทำการทดลองเมื่อวันที่ 1 ธันวาคม 2559 เวลา 09:00 น. ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2559 เวลา 16:00 น. พบว่า ระดับน้ำในแหล่งน้ำของมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร บริเวณที่ทำการตรวจวัด มีค่าเฉลี่ยระดับน้ำอยู่ที่ 2.81 m โดยระดับน้ำที่สูงที่สุดคือความสูง 2.84 m และระดับน้ำที่มีความสูงน้อยที่สุดคือ 2.78 m เมื่อนำค่าระดับน้ำมาหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะได้ 0.014 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและการวัดมีค่าระดับน้ำใกล้เคียงกัน

ระดับน้ำ เดือนธันวาคม 2560



ภาพที่ 7 ระดับน้ำมีอยู่จริงของแหล่งน้ำในมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

4. สรุปผลการวิจัย

การนำเครือข่ายไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.15.4 มาประยุกต์ใช้ในระบบตรวจสอบระดับน้ำด้วยเทคนิคซิกบี เป็นการพัฒนาเครื่องมือวัดแบบไร้สาย [1] การวัดระดับน้ำมีการรับส่งสัญญาณแบบไร้สาย ทำให้ประหยัดการใช้สายสัญญาณแบบที่ผ่านมา ก่อให้เกิด

ประสิทธิภาพและเป็นประโยชน์ในได้อย่างดีเพราะระดับน้ำเป็นตัวแปรสำคัญต่อการนำไปใช้ประโยชน์จากการทดสอบพบว่าระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาผลการวัดระดับน้ำถูกต้องผลจากการพัฒนาทำให้ได้ระบบตรวจสอบระดับน้ำด้วยเทคนิคชิปปี สามารถนำไปใช้งานได้จริงเป็นระบบที่มีขนาดเล็ก ราคาถูกมีอุปกรณ์ไม่มาก ข้อมูลไม่เกิดการสูญเสียและไม่มีสัญญาณรบกวน เนื่องจากส่งสัญญาณจากตัวรับรู้ไปยังตัวแสดงผลและเก็บข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายโดยไม่ใช้สายสัญญาณ ทำให้ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่ได้ให้โอกาสและทุนสนับสนุนในการทำวิจัยจนสำเร็จด้วยดีและขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่ช่วยเหลือทางด้านข้อมูลต่าง ๆ และกรุณาให้สถานที่ตั้งของอุปกรณ์ ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญที่ให้คำปรึกษาเสนอแนวคิด คำแนะนำ ตลอดจนการตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานที่เกี่ยวข้อง

6. References

- [1] J. Yick, Wireless sensor network survey, *Comput. Netw.* 52(12) (2008), 2292 – 2330.
- [2] T. Tapaonoi, P. Phukpattaranont, W. Suntiarnont, K. Chetpattananondh, Interdigital electrode water level sensor, *KKU Engineering Journal.* 39(3) (2012) 249 – 256.
- [3] Irrigation Training and Research Center, Water Level Sensors and Datalogger Testing and Demonstration, Cal Poly, California, 1998.
- [4] G. Nikolov, B. Nikolova, Virtual techniques for liquid level monitoring using differential pressure sensors, *RECENT.* 9(2) (2008) 49 – 54.
- [5] D. Donlagic, M. Završnik, I. Sirotić, The Use of One-Dimensional Acoustical Gas Resonator for Fluid Level Measurements, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 49(5) (2000) 0018 – 9456.
- [6] T. Kampetch, V. Kongratana, Temperature Measurement Using Wireless Sensing, *Journal of Science Ladkrabang,* 21(1) (2012) 89 – 100.
- [7] M. Mafuta, M. Zennaro, A. Bagula, G. Ault, H. Gombachika, T. Chadza, Successful Deployment of a Wireless Sensor Network for Precision Agriculture in Malawi, 2012 IEEE 3rd International Conference on Networked Embedded Systems for Every Application, Liverpool. 13 – 14 December 2012, 1 – 7.
- [8] P.A. Bhosale, V.V. Dixit, Water Saving-Irrigation Automatic Agriculture Controller, *IJSTR.* 1(11) (2012) 118 – 123.
- [9] S. Simon, K.P. Jacob, Development and Deployment of Wireless Sensor Network in Paddy Fields of Kuttanad, *IJEIT.* 2(1) (2012) 84 – 88.
- [10] T. Singnan, W. Hwangkapan, Wireless Sensor Networks for Environmental Monitoring of Jasmine Rice Field, *Phuket Rajabhat University National Conference.* 7 – 8 May 2015.
- [11] B. Koh, P.Y. Kong, Performance Study on ZigBee-Based Wireless Personal Area Networks for Real-Time Health Monitoring, *ETRI Journal.* 28 (2006) 537 – 540.
- [12] P. Ponpurmpoon, Zigbee based Remote System for controlling and Monitoring Machine and Sensor in Factory through Internet, Master of Science, NIDA, Bangkok, 2003.