

ต้นแบบระบบการประมาณค่าในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ด้วยอัลกอริทึมทิน
เพลทสไปลน์บนระบบเครือข่ายรับรู้ไร้สายซิกส์บี



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2557

**A PROTOTYPE SYSTEM OF SPATIAL VARIABLES
INTERPOLATION WITH THINPLATE SPLINE
ALGORITHM IMPLEMENTED ON ZIGBEE
WIRELESS SENSOR NETWORK**

Suwicha Paveenaporn



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Computer Engineering
Suranaree University of Technology**

Academic Year 2014

สุวิชา ปวีณาภรณ์ : ต้นแบบระบบการประมาณค่าในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ด้วย
อัลกอริทึมทินเพลทสไปลน์บนระบบเครือข่ายไร้สายซิกส์บี (A PROTOTYPE
SYSTEM OF SPATIAL VARIABLES INTERPOLATION WITH THINPLATE
SPLINE ALGORITHM IMPLEMENTED ON ZIGBEE WIRELESS SENSOR
NETWORK) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเมศวร์ ห่อแก้ว, 101 หน้า

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) คือหนึ่งในเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย
ที่ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในการเฝ้าสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม (Environmental
Monitoring) งานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งศึกษาและนำเสนอการต้นแบบระบบการประมาณค่าในช่วง
(Interpolation) ของตัวแปรอุณหภูมิเชิงพื้นที่โดยใช้ซิกส์บี (ZigBee) ซิกส์บีถูกกำหนดมาตรฐานใน
การติดต่อสื่อสารโดยคณะกรรมการจาก IEEE ซึ่งซิกส์บีถูกพัฒนาให้มีการใช้พลังงานต่ำ มีราคาถูก
และมีความสามารถในการสื่อสารที่หลากหลายรูปแบบ จึงทำให้ซิกส์บีถูกนำไปประยุกต์ใช้งาน
อย่างกว้างขวางในหลายๆอุตสาหกรรม ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ศึกษาระบบการประมาณค่าตัวแปรเชิง
พื้นที่โดยทดสอบการประมาณค่าในช่วงของพื้นผิวอุณหภูมิโดยใช้อัลกอริทึมทินเพลทสไปลน์โดยใช้
เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกส์บี อุณหภูมิที่ตรวจวัดค่าได้และพิกัดของแต่ละโหนด ณ เวลานั้นจะถูก
ส่งเข้ามาที่สถานีฐานอย่างต่อเนื่องส่งผลให้เกิดการคำนวณพื้นผิวอุณหภูมิตามพื้นที่ทดสอบแบบใด
นามิก และจากการส่งข้อมูลเข้ามาอย่างต่อเนื่องของโหนดต่างๆทำให้ข้อมูลที่ถูกส่งเข้ามามีจำนวน
มหาศาลซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดปัญหาโอเวอร์ฟิตติ้งอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงมี
จุดประสงค์ในการแก้ไขปัญหาโดยการพัฒนาโมเดลพื้นผิวข้อมูลที่เหมาะสมที่สุดบนพื้นฐานของ
อัลกอริทึมมินิมัลดิสกรีพชันเลนจี่ขึ้นมา ซึ่งผลการทดสอบของการวิจัยในครั้งนี้ให้ผลลัพธ์ของ
จำนวนจุดที่นำมาใช้ในการคำนวณที่เหมาะสมกับพื้นที่สนามทดสอบโดยผลลัพธ์ของ โมเดลพื้นผิว
ข้อมูลที่ได้นั้นถูกสร้างขึ้นมาระหว่างจุดตัดที่ดีที่สุดของค่าความคลาดเคลื่อนและการคำนวณที่
ซับซ้อนของโมเดลข้อมูล ซึ่งสิ่งเหล่านี้ได้เข้ามาเสริมความสามารถของระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้
สายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2557

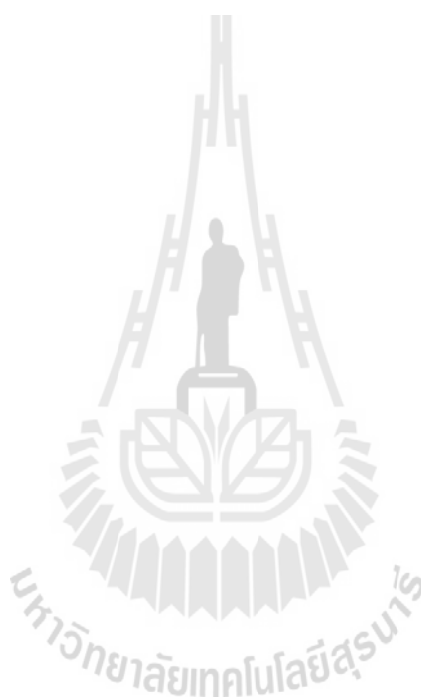
ลายมือชื่อนักศึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

SUWICHA PAVEENAPORN : A PROTOTYPE SYSTEM OF SPATIAL
VARIABLES INTERPOLATION WITH THINPLATE SPLINE
ALGORITHM IMPLEMENTED ON ZIGBEE WIRELESS SENSOR
NETWORK. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. PARAMATE
HORKAEW, Ph.D., 101 PP.

WIRELESS SENSORS NETWORK/INTERPOLATION/SPATIAL DATA/THIN
PLATE SPLINE/OVERFITTING

Wireless Sensor Network is one of widely used wireless technology for environmental monitoring. The aim of this paper is to study and to propose a prototype system of spatiotemporal variables interpolation on ZigBee. According to communication standard by IEEE committee, ZigBee is developed for low-energy consumption, cost-effective and various networking protocols, making it suitable for many industries. This paper adopted surface approximation algorithm based on Thin Plate Spline to interpolate temperature surface from spatiotemporal data acquired by ZigBee. Each node in the network was implemented by an Arduino MCUs equipped with temperature sensor. The sensed value and its current location were continuously transmitted to the base station, whose role is to dynamically compute the underlying surface. As the acquisition proceeded, the amount of information flow within the network enormously increased and thus inevitably causing over fitting. Our contribution is thus to remedy this pitfall by developing an optimal surface modeling based on Minimum Description Length algorithm. The results reported herein suggest an appropriate number of control temperatures at a given instance, whose

corresponding surface is generated with the best compromise between approximating error and computational complexity, effectively enhancing the WSN performance.



School of Computer Engineering

Student's Signature _____

Academic Year 2014

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคล และกลุ่มบุคคลต่อไปนี้ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรเมศวร์ ห่อแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่เมตตาให้การอบรม สั่งสอน ชี้แนะ ช่วยเหลือในการทำการศึกษาวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำในการเขียน และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

อาจารย์ วิชัย ศรีสุรภักดิ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาในเรื่องการออกแบบประกอบชิ้นงานในส่วน ฮาร์ดแวร์

รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ เกิดประสพ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คชา ชาญศิลป์ ประธานกรรมการ และ กรรมการ ที่กรุณาให้การแนะนำ และตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย รวมถึงบุคลากรประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัยนี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การอุปการะอบรมเลี้ยงดู ตลอดจนส่งเสริมการศึกษา และให้กำลังใจเป็นอย่างดีเสมอมา อีกทั้งขอขอบคุณนางสาวมิ่งมณี ศรีงาน และน้อง ๆ ที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจให้ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ

สุวิชา ปวีณาภรณ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
1.3. ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1. เครือข่ายรับรู้ว่าไร้สาย.....	7
2.2. ที่มาของซิกสปี (Wireless Sensor Network).....	9
2.3. รูปแบบการเชื่อมต่อของระบบเครือข่าย (Network Topology).....	11
2.4. โมเดลชั้นการสื่อสารของซิกสปี (ZigBee Protocol Stack).....	14
2.5. ภาษาซิกสปี (Zigbee Speak).....	16
2.6. ซิกสปีโมดูล (ZigBee Module).....	19
2.7. ซอฟต์แวร์สำหรับการจัดการซิกสปี	20
2.8. อาร์ดูโนไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Microcontroller).....	22
2.9. พื้นฐานการใช้งานอาร์ดูโน	24
2.10. เซ็นเซอร์ตรวจวัดค่า	30
2.11. ฟังก์ชันการปรับค่าสปริง (Thin Plate Spline).....	32
2.12. การควบคุมปัญหาโอเวอร์ฟิตติ้ง (The control of overfitting problems).....	35

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.13.การแก้ปัญหาโอเวอร์ฟิตติ้ง โดยใช้อัลกอริทึมมินิมัลดิสกรีปชันเลนจ์ (Minimum Description Length)	37
2.14.การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่อง (Uniform Random)	37
2.15.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	38
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	41
3.1. ระเบียบวิธีวิจัย.....	41
3.2. ภาพรวมของระบบ	42
3.3. การออกแบบและการพัฒนา.....	43
3.4. คุณสมบัติของระบบ	49
3.5. สนามทดสอบและการทดสอบ.....	50
4 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์	58
4.1 การทดสอบการเก็บข้อมูลจำนวน 600 จุด.....	58
4.2 การทดสอบการเก็บข้อมูลจำนวน 1200 จุด.....	60
4.3 การทดสอบการเก็บข้อมูลจำนวน 1800 จุด.....	62
4.4 อภิปรายผลการทดลอง	65
5 บทสรุป	71
5.1. สรุปผลงานวิจัย	71
5.2. ข้อเสนอแนะ	72
รายการอ้างอิง.....	74
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. โค้ดโปรแกรมการประมาณค่าในช่วงด้วยอัลกอริทึมทินเพลทสไปลน์ที่สำคัญ.....	78
ภาคผนวก ข. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา	89
ประวัติผู้เขียน	101

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1. Zigbee Glossary Terms ((Zigbee Alliance, 2008))	16
2.2. Arduino Board ชนิดต่างๆ	23
2.3. Arduino Shield ชนิดต่างๆ	23
2.4. แสดงคุณสมบัติของ Arduino Duemilanove ที่ใช้ในงานวิจัย	26
2.5. แสดงตัวอย่างการเขียน โปรแกรมเพื่อให้หลอด LED บน Arduino แสดงการกระพริบ โดยมีระยะเวลาการกระพริบห่างกัน 1 วินาที.....	28
2.6. แสดงไลบรารีพื้นฐาน (Standard Libraries) ของอาร์ดูโน้.....	29
2.7. ตารางเปรียบเทียบค่างานวิจัย	40

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1. แสดงสถาปัตยกรรมโครงสร้างของโหนดในระบบเครือข่ายไร้สายไร้สายทั่วไป (Bharathidasan and Ponduru, 2002).....	8
2.2. แสดงรูปแบบการสื่อสารแบบ Multi-hop ของเครือข่ายไร้สาย (https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_sensor_network , 2015).....	8
2.3. แสดงโลโก้ของบริษัทที่เป็นหนึ่งในสมาชิกของ ZigBee Alliance	9
2.4. กราฟแสดงการใช้พลังงานของ ZigBee (Gislason, 2008)	10
2.5. Wireless Technology Compared (Gislason, 2008)	11
2.6. รูปแบบการเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายพื้นฐาน (Lewis, 2004).....	12
2.7. รูปแบบการเชื่อมต่อแบบเมช และการค้นหาเส้นทางสื่อสารใหม่ (Gislason, 2008)	13
2.8. ZigBee and IEEE 802.15.4 (Gislason, 2008).....	14
2.9. ZigBee Networking Protocol Layers (Gislason, 2008).....	15
2.10. แสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการปฏิบัติงานของซิกส์บีแต่ละโมดูล	19
2.11. แสดงการทำงานของซอฟต์แวร์ X-CTU ในรูปแบบ Graphical Network View	20
2.12. แสดงหน้าจอการทำงานของซอฟต์แวร์ X-CTU	21
2.13. แสดงหน้าจอการทำงานของซอฟต์แวร์ X-CTU เมื่อทำการทดสอบการส่งสัญญาณ	21
2.14. Arduino Duemilanove Board ที่ใช้ในงานวิจัย	24
2.15. แสดงส่วนประกอบของบอร์ดโน้ที่ใช้ในงานวิจัย.....	25
2.16. แสดง schematic ของบอร์ดโน้ที่ใช้ในงานวิจัย	25
2.17. แสดงหน้าจอ Arduino IDE	27
2.18. แสดงตัวอย่างการติดตั้งเซ็นเซอร์ Dallas DS18B20 บนบอร์ดโน้.....	30
2.19. แสดงรูปเซ็นเซอร์ DS18B20	31
2.20. แสดงรูปแบบขาเชื่อมต่อของเซ็นเซอร์ DS18B20	32
2.21. ลักษณะของข้อมูลในการทดลองที่ผ่านการประมวลผลด้วยอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์	34
2.22. ลักษณะของข้อมูลในการทดลองที่การตรวจวัดข้อมูลจำนวน 1800 จุด	35

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1. ภาพรวมของต้นแบบระบบการประมาณค่าข้อมูลในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ด้วยอัลกอริทึม ทินเพลทสไปล์บนเครือข่ายรับรู้อากาศไร้สายซิกส์บี	42
3.2. ภาพการรันโปรแกรมการประมาณค่าในช่วงด้วยอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์.....	43
3.3. ภาพการรันโปรแกรมการประมาณค่าในช่วงด้วยอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์.....	44
3.4. ฟังงานแสดงขั้นตอนการทำงานของซิกส์บีโคออร์ดิเนเตอร์	45
3.5. ภาพแสดงซิกส์บีโคออร์ดิเนเตอร์.....	46
3.6. ฟังงานแสดงขั้นตอนการทำงานของซิกส์บีโหนด.....	47
3.7. แสดงรูปภาพซิกส์บีโหนดพร้อมติดตั้งเซ็นเซอร์ Dallas DS18B32.....	47
3.8. แสดงรูปภาพการเชื่อมต่อวงจรของเซ็นเซอร์ Dallas DS18B32 บน Arduino ZigBee Shield	48
3.9. แสดงรูปภาพการเชื่อมต่อซิกส์บีโหนดแบบสมบูรณ์.....	48
3.10. แสดงรูปถ่านอัดแท่งที่นำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนเพื่อทำการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ	51
3.11. แสดงรูปการสร้างพื้นที่สนามทดสอบ	51
3.12. แสดงพื้นที่สนามทดสอบ.....	52
3.13. แสดงฟังงานของโมเดลที่ทำการทดลอง.....	53
3.14. แสดงฟังงานของกระบวนการจัดเรียงข้อมูล	55
3.15. แสดงฟังงานของกระบวนการประมวลผลข้อมูลใหม่.....	57
4.1. เส้นทางการเดินของซิกส์บีโหนดตัวที่ 1 จำนวน 200 จุด.....	58
4.2. เส้นทางการเดินของซิกส์บีโหนดตัวที่ 2 จำนวน 200 จุด.....	59
4.3. เส้นทางการเดินของซิกส์บีโหนดตัวที่ 3 จำนวน 200 จุด.....	59
4.4. ผลการรันโมเดลข้อมูลที่ 600 จุด	60
4.5. เส้นทางการเดินของซิกส์บีโหนดตัวที่ 1 จำนวน 400 จุด.....	60
4.6. เส้นทางการเดินของซิกส์บีโหนดตัวที่ 2 จำนวน 400 จุด.....	61
4.7. เส้นทางการเดินของซิกส์บีโหนดตัวที่ 3 จำนวน 400 จุด.....	61
4.8. ผลการรันโมเดลข้อมูลที่ 1200 จุด.....	62
4.9. เส้นทางการเดินของซิกส์บีโหนดตัวที่ 1 จำนวน 600 จุด.....	62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10	เส้นทางการเดินของซิกส์บีโหนดตัวที่ 2 จำนวน 600 จุด.....63
4.11	เส้นทางการเดินของซิกส์บีโหนดตัวที่ 3 จำนวน 600 จุด.....63
4.12	ผลการรันโมเดลข้อมูลที่ 1800 จุด.....64
4.13	ผลการหาค่าผลรวมคลาดคลาดเคลื่อนของโมเดลพื้นผิวข้อมูลที่จุดทดสอบ 600 จุด.....66
4.14	ผลการรันโมเดลชุดข้อมูลทดสอบที่ไม่ผ่านกระบวนการจำนวน 17 จุด67
4.15	ผลการรันโมเดลชุดข้อมูลทดสอบที่ไม่ผ่านกระบวนการจำนวน 82 จุด67
4.16	ผลการคำนวณหาค่าผลรวมความคลาดเคลื่อนของพื้นผิวข้อมูลทั้ง 3 ชุด.....68
4.17	แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากอัลกอริทึมมินิมัลดิสกรีปชั่นเลนจ์69
4.18	แสดงผลลัพธ์โมเดลข้อมูลจากการทดสอบ 1200 จุด69
4.19	แสดงผลลัพธ์โมเดลข้อมูลจากอัลกอริทึมมินิมัลดิสกรีปชั่นเลนจ์จำนวน 70 จุด70



บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ปัจจุบันการเข้าถึงอินเทอร์เน็ตและเครือข่ายออนไลน์ต่างๆเข้ามามีบทบาทสำคัญมากขึ้นในชีวิตประจำวันและชีวิตการทำงานของทุกคน (Internet Society, 2015) (W.H. Dutton และคณะ, 2013) ช่องทางการสื่อสารและการเข้าถึงอินเทอร์เน็ตผ่านระบบเครือข่ายจึงถูกพัฒนาไปพร้อมๆกันกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตซึ่งปัจจุบันกลายเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิต การทำงาน ธุรกิจ สุขภาพ การค้นคว้าวิจัย และการติดต่อสื่อสาร (Internet of Things, 2015) ปัจจุบันเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย (Wireless Network Technology) เป็นหนึ่งในช่องทางการเข้าถึงระบบเครือข่ายที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบันเนื่องจากความสามารถในการเข้าถึงเครือข่ายที่ไม่ได้ยึดติดอยู่ ณ สถานที่ใดสถานที่หนึ่ง ด้วยความยืดหยุ่นในการใช้งานและมีความคล่องตัวในการใช้งานสูง เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น โทรศัพท์ คอมพิวเตอร์แล็ปท็อป โทรศัพท์มือถือ ระบบควบคุมการทำงานในบ้าน เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ล้วนต้องการความคล่องตัวในการเข้าถึงระบบอินเทอร์เน็ต ด้วยเหตุนี้เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายจึงถูกพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วเพื่อรองรับแอปพลิเคชันต่างๆในการติดต่อสื่อสารไม่ว่าจะเป็น ข้อมูล ภาพ เสียง หรือแม้กระทั่ง ความบันเทิง สิ่งเหล่านี้ล้วนต้องการแบนด์วิธในการรับส่งข้อมูลที่มีขนาดใหญ่เพื่อตอบสนองการใช้งาน

การใช้งานในบางลักษณะ เช่น การส่งข้อมูลภาพ หรือ เสียง ในการติดต่อสื่อสารแบบแบบเรียลไทม์ (Real-Time Communication) นั้นต้องการใช้งานแบนด์วิธในการรับส่งข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ แต่ก็มีการใช้งานเครือข่ายไร้สายบางประเภทต้องการแบนด์วิธต่ำ ต้องการความคล่องตัวในภาคสนาม ติดตั้งและใช้งานในพื้นที่ๆไม่มีกระแสไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าเข้าถึง หรือแม้กระทั่งพื้นที่ๆมนุษย์ไม่สามารถเข้าไปปฏิบัติงานได้และต้องการใช้พลังงานที่ยาวนานจากแหล่งจ่ายพลังงาน

ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีระบบเครือข่ายไร้สาย เทคโนโลยีการสร้าง โม โครชิปขนาดเล็ก (Micro-Fabrication) และ เทคโนโลยีไม โครโปรเซสเซอร์แบบฝังตัว (Embedded Microprocessor Technology) ทำให้นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรสามารถสร้างระบบการสื่อสารยุคใหม่ขึ้นมาเรียกว่าเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) ประกอบไปด้วยเซนเซอร์

อัตโนมัติหลายๆตัวกระจายอยู่ในพื้นที่ต่างๆ (Lewis, 2004) ที่สามารถส่งสัญญาณติดต่อสื่อสารมายังอุปกรณ์ที่อยู่ใกล้เคียงและค้นหาเส้นทางในการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งทำการตรวจวัดค่าต่างๆ (Monitoring) ณ สภาพแวดล้อมทางกายภาพ (Physical Environment) ซึ่งเหมาะสมกับการใช้งานตั้งแต่การใช้เชิงพาณิชย์จนถึงการใช้งานทางการทหาร เช่น การตรวจจับวัตถุในสนามรบ (Battlefield Surveillance) (Bokareva และคณะ, 2006) ควบคุมการทำงานหรือตรวจสอบสถานะสภาพการทำงานของเครื่องจักร (Machine Health Monitoring) (Low และคณะ, 2005) ตรวจสอบสภาพแวดล้อมและถิ่นที่อยู่อาศัย (Environment and Habitat Monitoring) (T. Naumowicz และคณะ, 2010) งานทางด้านสุขภาพ (Healthcare Applications) (N.S.A. Zulkifli และคณะ, 2012) อุตสาหกรรมบ้านอัตโนมัติ (Home Automation) (M. Soliman และคณะ, 2014) การตรวจจับและเฝ้าระวังมลพิษ (Air Pollution Monitoring) (A. Kadri และคณะ, 2013) การควบคุมระบบจราจร (Traffic Control) (K. Sohraby และคณะ, 2007) และ การติดตามประมวลผลอุณหภูมิ (Temperature Monitoring) (Boonsawat และคณะ, 2010) เป็นต้น

แนวคิดที่สำคัญของระบบเครือข่ายไร้สายคือการติดต่อสื่อสารที่มีความน่าเชื่อถือ (Reliability) มีประสิทธิภาพ ซึ่งระบบจะค้นหาเส้นทางที่ดีที่สุดในระยะทำการของภาครับ/ส่งสัญญาณ และทำการส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ตัวถัดไปที่อยู่ใกล้ที่สุด ทำการค้นหาเส้นทางที่ดีที่สุดและส่งต่อกันไปเรื่อยๆ จนถึงอุปกรณ์ปลายทางที่เชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายภายนอก นอกจากนี้ในระหว่างการสื่อสารของอุปกรณ์แต่ละตัวถ้าเส้นทางสื่อสารใดที่อยู่ระหว่างที่เกิดความเสียหายและไม่สามารถใช้งานเส้นทางนั้นได้ระบบจะทำการค้นหาและจัดตั้งเส้นทางส่งข้อมูลใหม่ให้สำเร็จอีกครั้ง

มาตรฐานโพรโตคอล IEEE 802.15.4/ZigBee (Farahani, 2008) เป็นโพรโตคอลสำหรับเครือข่ายไร้สาย หรือ Wireless Sensor Network ซึ่งถูกกำหนดโดย ZigBee Alliance กลุ่มผู้ใช้และพัฒนาาระบบเครือข่ายไร้สายซิกส์บี ซึ่งกลุ่มผู้ใช้งานจาก ZigBee Alliance เป็นกลุ่มตัวแทนผู้ใช้งานซึ่งมาจากหลากหลายอุตสาหกรรม (Alliance, 2015) เช่น อุตสาหกรรมระบบไฟฟ้าและแสงสว่าง อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมการสื่อสาร อุตสาหกรรมพลังงาน และอุตสาหกรรมขนส่ง เป็นต้น ด้วยเหตุที่กลุ่มผู้พัฒนาและใช้งานซิกส์บีมีความหลากหลายอุตสาหกรรมและมีสมาชิกจำนวนมาก จึงทำให้ซิกส์บีถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในไม่กี่ปีที่ผ่านมาซึ่งซิกส์บี (ZigBee) ถูกออกแบบมาเพื่อการสื่อสารไร้สายแบบ point-to-point หรือ point-to-multipoint ซึ่งสามารถปรับแต่งค่าอุปกรณ์ให้อยู่ในโหมดประหยัดพลังงาน (Sleeping Mode) เป็นการลดการใช้พลังงานในเวลาที่ไม่จำเป็น มีการเข้ารหัสข้อมูล (Data Encryption) เพื่อความ

ปลอดภัยระหว่างการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์แต่ละตัว เหมาะสมกับระบบฮาร์ดแวร์ที่มีขนาดไม่ใหญ่และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์พลังงานต่ำในการทำงานร่วมกับเครือข่ายไร้สายซิกส์บี ถึงกระนั้นซิกส์บีก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องขนาดของแบนด์วิธของการรับส่งข้อมูลที่มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลขนาดเล็กเมื่อเทียบกับมาตรฐาน โพรโตคอลสำหรับการสื่อสารไร้สายอื่นๆ เช่น มาตรฐาน IEEE 802.11 สำหรับเครือข่ายไร้สาย Wi-Fi หรือเทียบกับ มาตรฐาน IEEE 802.15.1 สำหรับ บลูทูธ เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ซิกส์บีจึงถูกนำมาใช้งานเฉพาะด้านที่มีความต้องการส่งผ่านข้อมูลในอัตราแบนด์วิธที่มีสูง เช่น การตรวจวัดค่าอุณหภูมิ แสงสว่าง การสั่นสะเทือน หรือ การควบคุมอุปกรณ์จากระยะไกล และนอกจากนี้ซิกส์บีมีความสามารถในการเชื่อมต่อเครือข่ายแบบ Mesh Network ซึ่งค้นหาเส้นทางที่ดีที่สุดในการส่งข้อมูลไปให้อุปกรณ์ตัวถัดไป และยังสามารถค้นหาเส้นทางสำรองในการสื่อสารเมื่อเส้นทางสื่อสารในปัจจุบันเกิดความเสียหายชั่วคราวหรือไม่สามารถใช้การได้ซึ่งเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือในการติดต่อสื่อสารภายในระบบเครือข่าย

อย่างไรก็ตามซิกส์บีนั้นเป็นเพียงโมดูลในภาครับส่งสัญญาณ จึงจำเป็นต้องนำไปติดตั้งลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์ยูนิตเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าต่างๆ ได้ (N. Patel และคณะ, 2013) ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ยูนิตที่ได้รับความนิยมในการใช้งานอย่างกว้างขวางในปัจจุบันคือ อาร์ดูโน้ (Arduino Microcontroller) เนื่องจากถูกออกแบบมาเพื่อการใช้งานที่ง่าย มีโมดูลอินพุท/เอาต์พุตติดตั้งมาบน บอร์ดตั้งแต่ในโรงงานผลิต มีฐานการพัฒนาแบบ โอเพ่นแพลตฟอร์ม (Open Platform) และมีลักษณะไวยากรณ์ในการพัฒนาโค้ดที่คล้ายคลึงกับภาษาซี (C) ซึ่งเป็นภาษาที่ได้รับความนิยมในการเรียนรู้สำหรับการเขียนโปรแกรมและการพัฒนาระบบฮาร์ดแวร์ ผู้วิจัยจึงได้เลือกอาร์ดูโน้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ยูนิตเพื่อนำซิกส์บีโมดูลมาติดตั้งใช้งานพร้อมกันกับเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ

การตรวจวัดค่าข้อมูลเชิงพื้นที่เป็นอีกหนึ่งการประยุกต์ใช้งานของระบบเครือข่ายไร้สายสำหรับการเฝ้าติดตามการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของสิ่งแวดล้อม (Physical Environment Monitoring) โดยติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิบนอาร์ดูโน้ไมโครคอนโทรลเลอร์ยูนิตที่ติดตั้งโมดูลรับ/ส่งสัญญาณซิกส์บี เอาไว้ ซึ่งทั้งซิกส์บีและไมโครคอนโทรลเลอร์ยูนิตเมื่อนำมาติดตั้งร่วมกันแล้วจะเรียกว่า โหนด ซึ่งระบบจะทำการตรวจวัดค่าข้อมูลอุณหภูมิจากโหนด จากนั้นส่งข้อมูลผ่านเข้ามายังระบบเซิร์ฟเวอร์ที่มีซิกส์บี เป็นตัวรับสัญญาณหลังจากนั้นก็ทำการประมวลผลข้อมูลที่ส่งเข้ามาอย่างต่อเนื่อง โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ได้เลือกใช้อัลกอริทึมทินเพลทสไปล์ (Thin Plate Spline) เป็นอัลกอริทึมหลัก ซึ่งอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์ก็เป็นหนึ่งอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพและได้รับความนิยมในการใช้ประมวลผลโมเดลข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) (M. F.

HUTCHINSON, 1995) และถูกนำมาใช้งานการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายตัวหนึ่ง ซึ่งข้อดีของการประมวลผลข้อมูลโดยการประมาณค่าในช่วงก็คือลดการวัดข้อมูลที่แท้จริงที่มีปริมาณมากๆ ให้น้อยลงโดยการสุ่มเลือกข้อมูลบางจุดมาประมวลผลเพื่อทำนายข้อมูลในพื้นที่ๆสนใจ โดยไม่ต้องเก็บข้อมูลทุกๆจุดในพื้นที่ทดสอบหรือพื้นที่ๆเราสนใจ

โดยทั่วไปแล้วการประยุกต์ใช้งานซิกส์บีเพื่อการประมวลผลโมเดลข้อมูลนั้นจะเป็นการใช้งานในรูปแบบการติดตั้งโหนดเข้าไปในสถานที่ๆต้องการตรวจวัดแบบถาวร (Static Node) ไม่มีการเคลื่อนไหวตัวโหนด แต่ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้นำซิกส์บีมาประยุกต์ใช้งานในแนวทางใหม่คือการใช้งานแบบไดนามิกโหนด (Dynamics Node) โดยให้โหนดแต่ละตัวมีการเดินทางไปยังพิกัดต่างๆ โดยการสุ่มทิศทาง การเดิน ทั้งการเดิน หน้า-หลัง และ การเดิน ซ้าย-ขวา ซิกส์บีโหนดจึงมีเส้นทางการเดินไม่เหมือนกันแต่ก็มีโอกาสที่จะเดินซ้ำพิกัดเดียวกัน ได้ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดการเดินไปมาแบบสุ่มของซิกส์บีโหนดบนพื้นที่ทดสอบเพื่อทำการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆของสนามทดสอบที่ได้วางแหล่งพลังงานความร้อน โดยใช้ถ่านอัดแท่งเป็นแหล่งปลดปล่อยพลังงานความร้อนเอาไว้

อย่างไรก็ตามประมวลผลข้อมูลเชิงพื้นที่โดยใช้ซิกส์บีเดินทางแบบสุ่มเส้นทางการเดินส่งข้อมูลมาประมวลผลการประมาณค่าในช่วงของโมเดลพื้นผิวอุณหภูมินั้นมีข้อจำกัด เช่น ความคลาดเคลื่อนของการอ่านค่าข้อมูลจากเซ็นเซอร์ หรือ การเก็บข้อมูลของตัวโหนด (node) เก็บข้อมูลซ้ำจุดเดิมจากการสุ่มเส้นทางการเดินจึงทำให้จำนวนข้อมูลซ้ำซ้อนกันจนมีข้อมูลส่งเข้าไปประมวลผลที่เซิร์ฟเวอร์มากเกินไปและเกิดการเก็บข้อมูลในพิกัดเดิมซ้ำๆอย่างต่อเนื่อง ซึ่งทำให้เกิดปัญหาการโอเวอร์ฟิตติ้งของข้อมูล (overfitting) สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นต้นเหตุของปัญหาที่ทำให้ประสิทธิภาพในการประมวลผลข้อมูลนั้นลดน้อยลง ดังนั้นการแก้ปัญหาการเกิดการโอเวอร์ฟิตติ้งจึงทำให้การทำงานของระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งศึกษาและพัฒนาต้นแบบระบบการประมาณค่าในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ด้วยอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์บนเครือข่ายรับรู้ไร้สายซิกส์บี เนื่องจากโหนดซึ่งทำการตรวจวัดข้อมูลอยู่ในภาคสนามนั้นไม่มีผู้ควบคุมการทำงานจึงส่งข้อมูลเข้ามาที่ระบบเซิร์ฟเวอร์อยู่ตลอดเวลาทำให้มีข้อมูลจำนวนมาก และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผลโมเดลข้อมูลของอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์ในระบบเซิร์ฟเวอร์ ผู้วิจัยจึงได้มุ่งศึกษาการแก้ปัญหาการโอเวอร์ฟิตติ้งของข้อมูล (overfitting) โดยนำมาประยุกต์ใช้งานกับระบบต้นแบบการประมาณค่าในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ในงานวิจัยชิ้นนี้ด้วย

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1) เพื่อศึกษาเทคนิคและวิธีการสื่อสารของอุปกรณ์เครือข่ายไร้สายโดยใช้มาตรฐานโปรโตคอล IEEE 802.15.4/ZigBee เป็นฐานในการศึกษาและพัฒนาระบบ

1.2.2) เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบการประมาณค่าในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ด้วยอัลกอริทึมทึนเพลทสไปล์บนเครือข่ายไร้สายซิกส์บี

1.2.3) เพื่อศึกษาวิธีการสื่อสารระหว่างโหนดภายใต้มาตรฐานโปรโตคอล IEEE 802.15.4/ZigBee

1.2.4) เพื่อศึกษาวิธีการทำงานและทำความเข้าใจเกี่ยวกับอัลกอริทึมทึนเพลทสไปล์

1.2.5) เพื่อศึกษาวิธีการทำงานของอาร์ดูโน้ไมโครคอนโทรลเลอร์ยูนิต

1.2.6) เพื่อนำระบบเครือข่ายไร้สายมาประยุกต์ใช้งานให้กว้างขวางยิ่งขึ้น

1.2.7) เพื่อศึกษาวิธีแก้ปัญหาโอเวอร์ฟิตติ้งของข้อมูลและนำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพของระบบการประมาณค่าในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ด้วยอัลกอริทึมทึนเพลทสไปล์

1.3. ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาและพัฒนาต้นแบบระบบการประมาณค่าในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ด้วยอัลกอริทึมทึนเพลทสไปล์บนเครือข่ายไร้สายซิกส์บี โดยใช้มาตรฐานโปรโตคอล IEEE 802.15.4/ZigBee เป็นฐานในการศึกษาและพัฒนาระบบการสื่อสารระหว่างโหนดกับเซิร์ฟเวอร์ โดยฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการพัฒนานั้นอยู่บนพื้นฐานของอาร์ดูโน้ไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด ซึ่งอาจสรุปขอบเขตของการศึกษางานวิจัยได้ดังต่อไปนี้

1.3.1) วิธีการประมาณค่าในช่วงของระบบเซิร์ฟเวอร์นั้นอยู่บนพื้นฐานของอัลกอริทึมทึนเพลทสไปล์เท่านั้น

1.3.2) ภาษาที่ใช้ในการพัฒนาซอฟต์แวร์การประมาณค่าในช่วงด้วยอัลกอริทึมทึนเพลทสไปล์ใช้ภาษาซีในฐานะในการพัฒนา

1.3.3) วิธีการที่พัฒนาระบบฮาร์ดแวร์อยู่บนพื้นฐานของอาร์ดูโน้ไมโครคอนโทรลเลอร์เท่านั้น

1.3.4) งานวิจัยครั้งนี้ใช้สตาร์ทอปอโลยีในการติดต่อสื่อสารระหว่างโหนดกับเซิร์ฟเวอร์เท่านั้น

1.3.5) งานวิจัยครั้งนี้ใช้ระบบวิซวลไลเซชันในการแสดงพื้นผิวข้อมูลในรูปแบบพื้นผิวข้อมูลแบบ 3 มิติ ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการทำงานของระบบ

1.3.6) ในงานวิจัยครั้งนี้จะทดลองสร้างระบบการประมาณค่าในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ด้วยอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์บนเครือข่ายรับรู้ไร้สายซิกส์บีเพื่อทดสอบการวัดข้อมูลในภาคสนาม โดยมีระยะในการรับส่งข้อมูลของโหนดและเซิร์ฟเวอร์ไม่เกิน 10 เมตร

1.3.7) ในงานวิจัยครั้งนี้การเชื่อมการทำงานส่วนต่างๆของระบบเป็นเพียงการทดสอบหลักการการทำงานของระบบให้เป็นที่ไปตามข้อสันนิษฐานทางทฤษฎีเท่านั้นยังไม่ใช้ระบบที่สามารถทำงานในรูปแบบอัตโนมัติเต็มรูปแบบทั้งระบบ

1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1) สามารถนำต้นแบบระบบการประมาณค่าในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ด้วยอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์บนเครือข่ายรับรู้ไร้สายซิกส์บีมาใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงได้

1.4.2) สามารถสร้างระบบการประมาณค่าข้อมูลในช่วงด้วยอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์ พร้อมทั้งแสดงผลการทำงานของระบบแบบผลลัพธ์วิซวลไลเซชันหรือโมเดลข้อมูลแบบ 3 มิติได้

1.4.3) สามารถแก้ปัญหาปริมาณข้อมูลที่มากจนเกินไปหรือปัญหาโอเวอร์ฟิตติ้งในการประมวลผลข้อมูลของระบบเซิร์ฟเวอร์ที่ใช้ในการประมวลผลโมเดลพื้นผิวของข้อมูล

1.4.4) สามารถสร้างต้นแบบระบบเครือข่ายรับรู้ไร้สายต้นทุนต่ำและสามารถนำไปเป็นต้นแบบระบบเครือข่ายรับรู้ไร้สายที่ต้องการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจชนิดชนิดต่างๆได้

1.4.5) สามารถให้ความรู้พื้นฐานการแก้การพัฒนาระบบการประมวลผลข้อมูลแบบไดนามิก โหนดแก่ผู้ที่ต้องการนำไปพัฒนาต่อยอดหรือผู้ที่มีความสนใจในการสร้างระบบเครือข่ายรับรู้ไร้สายในการประมวลผลข้อมูลเชิงพื้นที่ได้

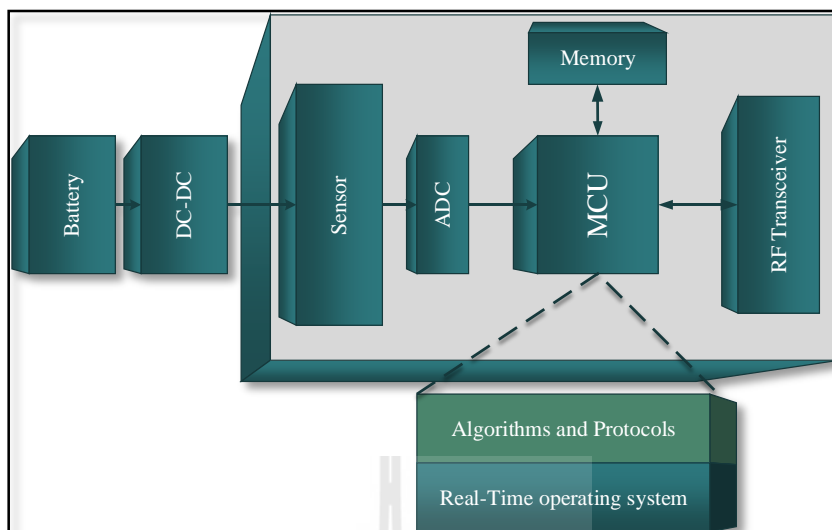
บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยครั้งนี้ โดยในหัวข้อที่ 2.1 จะกล่าวถึง ที่มาและความสำคัญของระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ในหัวข้อที่ 2.2 ถึง 2.7 กล่าวถึงที่มาของอุปกรณ์ ZigBee ซึ่งเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ได้รับความนิยมและได้รับการพัฒนาและนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน อันเป็นการทำความเข้าใจและทำความเข้าใจพื้นฐานและที่มาที่ไปเบื้องต้นของอุปกรณ์ ในหัวข้อที่ 2.8 ถึง 2.9 อารูคูโนไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดและพื้นฐานในการทำงานของบอร์ดที่จะใช้ติดตั้งเซ็นเซอร์และซิกส์ปีลงไปเพื่อสร้างโหนดของเครือข่ายรับรูไร้สาย ในหัวข้อที่ 2.10 ได้กล่าวถึงเซ็นเซอร์ที่ใช้ทำการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ หัวข้อที่ 2.11 กล่าวถึงอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์ที่เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการสร้างโมเดลพื้นผิวข้อมูล และในหัวข้อที่ 2.12 และ 2.13 กล่าวถึงปัญหาของการทำงานของระบบเมื่อทำงานไปถึงจุดหนึ่งในการทดลองจะเกิดปัญหาโอเวอร์ฟิตติ้ง (Overfitting) และ การนำวิธีการมินิมัมเดสคริปชันเลนจ์ (Minimum Description Length) มาแก้ปัญหาโอเวอร์ฟิตติ้ง

2.1 เครือข่ายรับรูไร้สาย

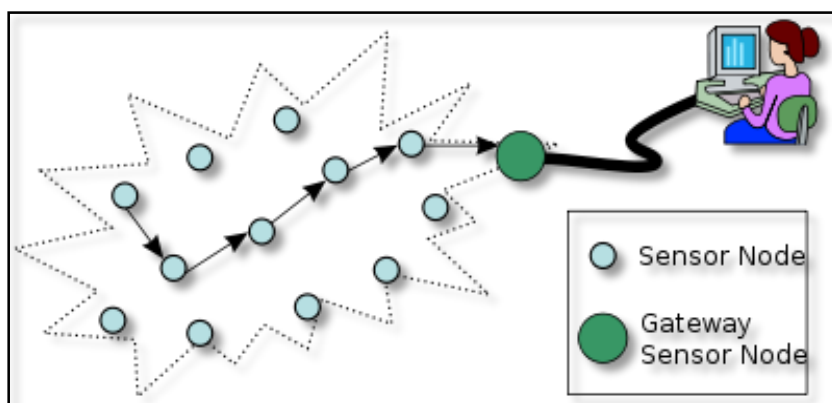
เครือข่ายรับรูไร้สาย หรือ เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) คือ โหนด (Node) จำนวนหลายๆ โหนดที่รวมกันเป็นกลุ่มและจัดตั้งเครือข่ายในการติดต่อสื่อสารขึ้นมา โดยแต่ละโหนดนั้นประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่สามารถในการประมวลผลข้อมูล (Microcontroller Unit หรือ Digital Signal Processing Chips) มีหน่วยความจำที่หลากหลายรูปแบบ (โปรแกรม ข้อมูล หรือ หน่วยความจำแบบ Flash) มีโมดูลภาครับส่งสัญญาณ (RF Transceiver) มีแหล่งพลังงาน (Power Source) และในโหนดแต่ละตัวสามารถติดตั้งเซ็นเซอร์จำนวนหนึ่งหรือหลายๆตัวไปบนแต่ละโหนดได้ (A. Bharathidasan and V. Ponduru, 2002) โดยที่โหนดแต่ละตัวติดต่อสื่อสารข้อมูลกันโดยใช้เครือข่ายไร้สายเป็นตัวกลางในการส่งผ่านข้อมูล



รูปที่ 2.1 แสดงสถาปัตยกรรมโครงสร้างของโหนดในระบบเครือข่ายไร้สายทั่วไป

(A. Bharathidasan and V. Ponduru, 2002)

โดยทั่วไปแล้วเครือข่ายไร้สายประกอบด้วยโหนดที่ติดตั้งเซ็นเซอร์จำนวนหลายๆ โหนดที่ทำการตรวจวัดปรากฏการณ์ทางสิ่งแวดล้อมที่เราสนใจจากการติดตั้งเซ็นเซอร์ชนิดต่างๆ ลงไปบนโหนดแล้วส่งข้อมูลกลับมาที่เครื่องเซิร์ฟเวอร์ หรือ เกตเวย์ โดยทั่วไปแล้วเครือข่ายไร้สายจะส่งผ่านข้อมูลผ่านโหนดต่างๆ ที่อยู่ใกล้เคียงและส่งต่อไปเรื่อยๆ (Multi-hop) จนไปถึงเครื่องเซิร์ฟเวอร์ หรือ ส่งไปยังเครื่องที่ต้องการติดต่อสื่อสารโดยระบุเฉพาะเจาะจง ดังแสดงรูปแบบการสื่อสารแบบ Multi-hop ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงรูปแบบการสื่อสารแบบ Multi-hop ของเครือข่ายไร้สาย

(<https://en.wikipedia.org>, 2558)

2.2 ที่มาของซิกส์บี

ซิกส์บี (ZigBee) คือเทคโนโลยีของเครือข่ายไร้สายที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อตอบสนองการใช้งานของเครือข่ายไร้สายที่ต้องการๆใช้งานในรูปแบบที่เฉพาะเจาะจง โดยพัฒนาจากพื้นฐานดังนี้ ต้องเป็นระบบเครือข่ายที่มีราคาไม่แพง (low-cost) ต้องเป็นระบบเครือข่ายที่ใช้พลังงานต่ำ (low-power) และต้องเป็นระบบเครือข่ายที่ไม่มีความซับซ้อน (low-complexity) (ZigBee Alliance, 2008) ซิกส์บีทำงานบนพื้นฐาน โพรโทคอล IEEE 802.15.4 (Personal Area Network, PAN) ซึ่งเป็นการติดต่อข้อมูลทางกายภาพบนชั้น OSI Layer Model ชั้นที่ 1 และ 2 ที่ทำงานบนย่านความถี่ 2.4 GHz 900 MHz และ 868 MHz โดยในชั้นการสื่อสารที่สูงขึ้นไปนั้นเรียกว่า ZigBee stack ได้รับการรับรองจาก IEEE ในปี 2003 ซึ่งในส่วนของ ZigBee stack นั้นเพิ่มความสามารถของอุปกรณ์ซิกส์บีต่างๆให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้หลากหลายรูปแบบทอพอโลยีและทำให้รักษาอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

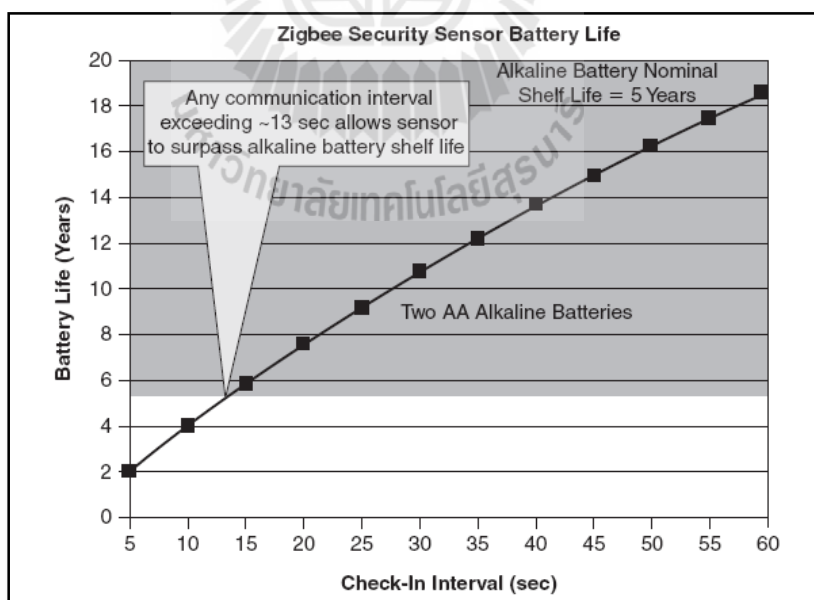


รูปที่ 2.3 แสดงโลโก้ของบริษัทที่เป็นหนึ่งในสมาชิกของ ZigBee Alliance

ซิกส์บีมีโพรโทคอลที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างซิกส์บีแต่ละตัวเป็นของตัวเองซึ่งโพรโทคอลที่ใช้ในการสื่อสารเหล่านี้ถูกสร้างและกำหนดร่วมกันโดยสมาชิกกลุ่มผู้ใช้งานซิกส์บีหรือที่เรียกว่า ZigBee Alliance (ดังแสดงรูปโลโก้สมาชิกบางส่วนของ ZigBee Alliance ในรูปที่ 2.3) อีกทั้งมีกลุ่มบริษัทผู้พัฒนาและผลิตเซมิคอนดักเตอร์ชั้นนำกว่า 300 บริษัทให้การยอมรับในเทคโนโลยีของซิกส์บีและยังเป็นผู้ใช้เทคโนโลยีซิกส์บีผลิตสินค้าของตัวเอง (Original Equipment

Manufacturer, OEM) ออกจำหน่ายด้วยซึ่งผู้ผลิตเหล่านี้ก็คือสมาชิกใน ZigBee Alliance ด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ ZigBee Alliance จึงได้ร่วมกันพัฒนาและออกแบบให้ซิกบีบี เป็นระบบเครือข่ายไร้สายที่ง่ายต่อการใช้งาน มีความปลอดภัยในการรับส่งข้อมูล และเป็นระบบเครือข่ายที่มีความน่าเชื่อถือ

มาตรฐานการสื่อสารเครือข่ายไร้สายซิกบีบีถูกจัดวางอยู่ในตลาดของระบบเครือข่ายไร้สายที่มีการใช้งานระบบที่ไม่ต้องการความเร็วในการสื่อสารข้อมูลที่สูงเหมือนกับระบบเครือข่ายไร้สายประเภทอื่นๆ เนื่องจากซิกบีบีมีเป้าหมายในการใช้งานที่ไม่ซับซ้อน เหมาะสมกับการใช้งานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็ก ในขณะที่เครือข่ายไร้สายอื่นๆ ที่ตั้งเป้าหมายของการทำงานไปที่การเข้าถึงอินเทอร์เน็ต การเข้าถึงสื่อบันเทิงความคมชัดสูงแบบสตรีมมิ่ง (Streaming High-Definition Media) แต่ซิกบีบีมีเป้าหมายเพื่อควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่างๆ กลับมายังเครื่องเซิร์ฟเวอร์ และในขณะที่เครือข่ายไร้สายอื่นๆ ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานจากแหล่งพลังงานของตัวเองสำหรับหลายๆ ชั่วโมงหรือหลายๆ วัน แต่ซิกบีบีถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานจากแหล่งพลังงานของตัวเองในระยะเวลายาวนานเป็นปีๆ เครือข่ายไร้สายอื่นๆ ถูกออกแบบมาให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ในระยะเวลายาวนาน 1 ถึง 2 ปี แต่ซิกบีบีถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานเป็นระยะเวลายาวนานหลายปี หรืออาจจะถึงสิบๆ ปี (Farahani, 2008) ดังแสดงในรูปที่ 2.4

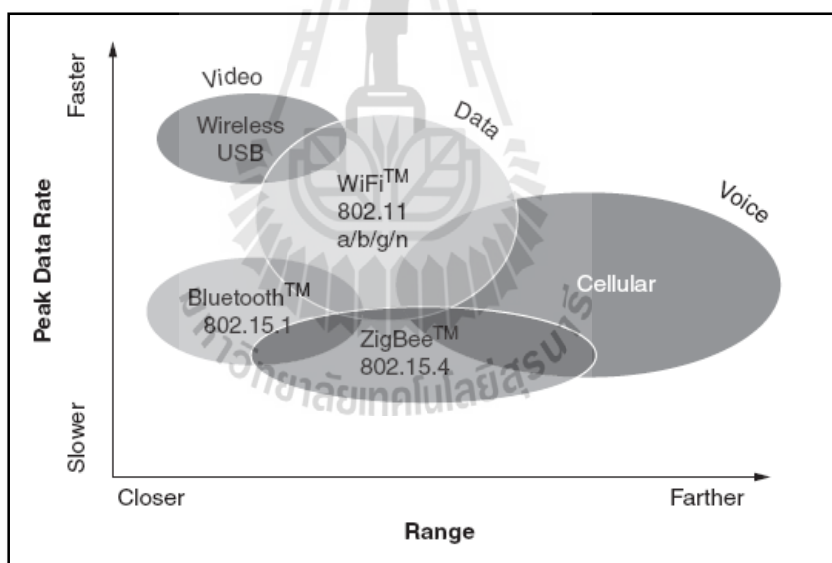


รูปที่ 2.4 กราฟแสดงการใช้พลังงานของ ZigBee (Gislason, 2008)

ในตลาดการใช้งานเครือข่ายไร้สาย ZigBee ถูกจัดให้อยู่ในส่วนของ Wireless Sensor Networking and Control หรือเรียกง่าย ๆ ว่า Wireless Control ซึ่งสโลแกนของอุปกรณ์ชนิดนี้ก็คือ “Wireless Control That Simply Works.” (Gislason, 2008)

ในการใช้งาน Wireless Sensor Network มีความต้องการที่แตกต่างออกไปจากเครือข่ายไร้สายอื่นๆ ซึ่ง ZigBee มีข้อดีต่างๆ ที่เหมาะกับกับการใช้งานเครือข่ายรับรู้อุปกรณ์ไร้สาย (Gislason, 2008) ดังนี้:

- มีความน่าเชื่อถือในการติดต่อสื่อสารสูง (Highly reliable)
- มีราคาในการใช้งานที่เหมาะสม (Cost-effective)
- มีการใช้พลังงานต่ำ (Able to achieve very low power)
- มีความปลอดภัยในการติดต่อสื่อสาร (Highly secure)
- มีมาตรฐานสากล (An open global standard)



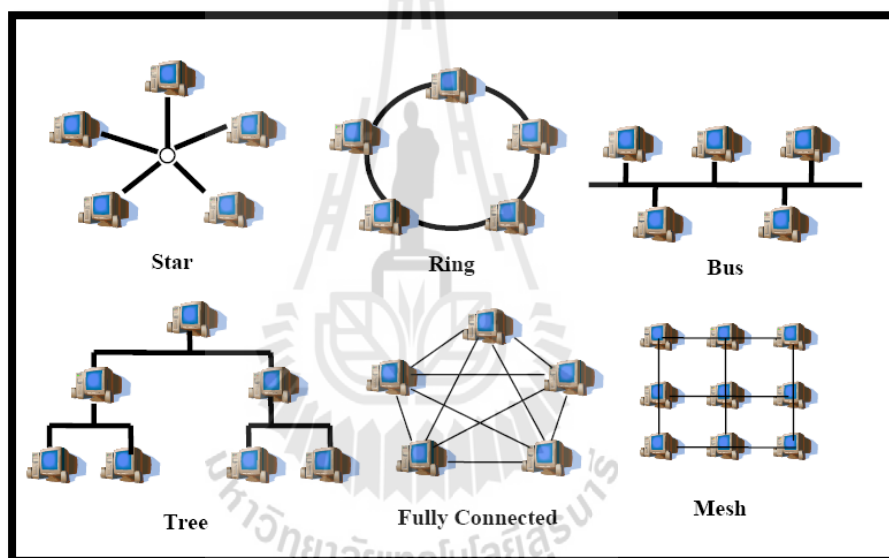
รูปที่ 2.5 Wireless Technology Compared (Gislason, 2008)

2.3 รูปแบบการเชื่อมต่อของระบบเครือข่าย (Network Topology)

จากโพรโตคอลมาตรฐาน 802.15.4 (IEEE, 2558) ได้ถูกกำหนดออกมาสำหรับเครือข่ายไร้สายราคาถูกสำหรับการใช้งานในสถานที่ที่อยู่อาศัยและสภาพแวดล้อมในปี 2003 บริษัท ZigBee Alliance ออกอุปกรณ์ภายใต้มาตรฐานนี้เวอร์ชันที่ 1 ออกมาในปี 2004 ซึ่งใช้พื้นฐานการ

ติดต่อสื่อสารของอุปกรณ์โดยใช้การสื่อสารชั้นกายภาพ (Physical layer (PHY)) และ ชั้น Medium Access Control (MAC) ของโพรโทคอลมาตรฐาน 802.15.4 ZigBee Alliance ได้กำหนดชนิดของอุปกรณ์ไว้ด้วยกัน 3 ชนิดคือ

1. ZigBee Coordinator (ZC) เป็นอุปกรณ์ชนิดพิเศษที่สามารถจัดตั้งเครือข่ายได้
2. ZigBee Router (ZR) เป็นอุปกรณ์ชนิดพิเศษที่สามารถส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังอุปกรณ์ตัวอื่นๆได้และเข้าใจระบบเครือข่ายแบบ Mesh Network
3. ZigBee End Device (ZED) เป็นอุปกรณ์ชนิดพิเศษที่สามารถทำงานในโหมด Sleep เพื่อยืดอายุการใช้งานของแหล่งพลังงานได้



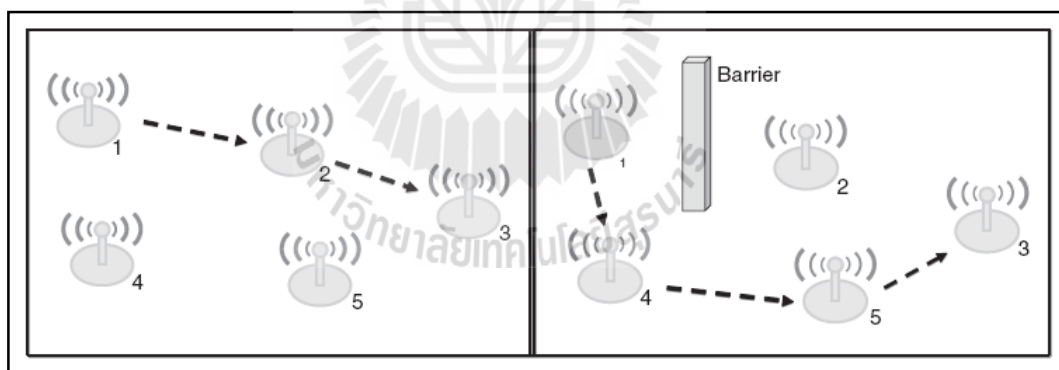
รูปที่ 2.6 รูปแบบการเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายพื้นฐาน (Lewis, 2004)

ZigBee Alliance ได้กำหนดรูปแบบของการเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไว้ 3 แบบด้วยกัน คือ star, mesh (peer-to-peer) และ tree ซึ่งจะอธิบายดังต่อไปนี้

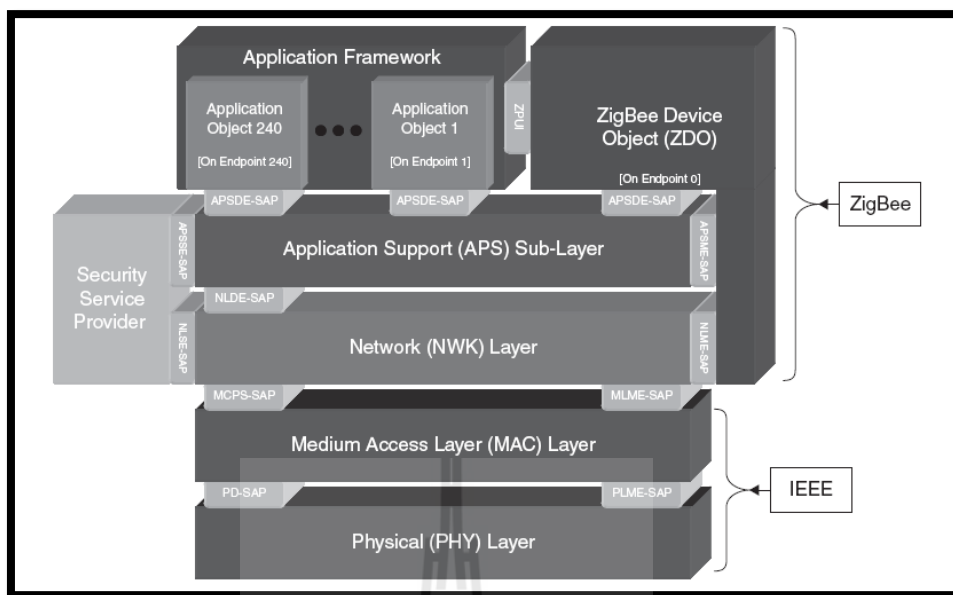
2.3.1 การเชื่อมต่อแบบ star: การติดต่อสื่อสารถูกจัดตั้งขึ้นระหว่างอุปกรณ์หลายๆตัว และ อุปกรณ์ที่เป็นศูนย์กลางของระบบเครือข่ายซึ่งทำหน้าที่ควบคุมอุปกรณ์ตัวอื่นๆในระบบเครือข่ายซึ่งเรียกอุปกรณ์ชนิดนี้ว่า PAN Coordinator ซึ่ง PAN Coordinator อาจจะใช้พลังงานหลักจากระบบไฟฟ้าแต่อุปกรณ์ชนิดอื่นอาจจะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ การเชื่อมต่อแบบ star อาจจะไม่จำเป็นสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบ Wireless Sensor Network ทั่วไป การเชื่อมต่อแบบ star

สำหรับ ZigBee ถูกออกแบบมาเพื่อการใช้งานหลักคือการติดต่อสื่อสารจากหนึ่งโหนดไปยังหลายๆ โหนดเท่านั้น

2.3.2 การเชื่อมต่อแบบ mesh: ยังคงมีอุปกรณ์ PAN Coordinator อยู่ในระบบเครือข่าย แต่ตรงข้ามกับการเชื่อมต่อแบบ star ตรงที่อุปกรณ์ต่างๆสามารถสื่อสารกับอุปกรณ์ที่อยู่ใกล้เคียงในระยะที่ตัวอุปกรณ์สามารถส่งสัญญาณถึงกันและกันได้ การเชื่อมต่อแบบ mesh สามารถส่งข้อมูลในลักษณะ Ad-Hoc สามารถมีระบบการจัดการตัวเอง (Self-Organization) และ สามารถทำการซ่อมแซมตัวมันเองได้ (Self-Healing) แอปพลิเคชันต่างๆ เช่น การควบคุมและการตรวจสอบสถานะทางอุตสาหกรรม (Industrial Control and Monitoring) การตรวจจับและติดตามวัตถุ (Inventory Tracking) ล้วนได้รับประโยชน์จากรูปแบบการเชื่อมต่อนี้ เนื่องจากการเชื่อมต่อแบบ mesh สามารถให้อุปกรณ์แต่ละตัวส่งข้อมูลต่อกันเป็นช่วงๆ (Multi-Hop Communication) ซึ่งเพิ่มความน่าเชื่อถือของการติดต่อสื่อสารในระบบเครือข่ายโดยการเชื่อมต่อแบบ mesh จัดสรรการค้นหาเส้นทางสื่อสารสำรองเมื่อเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งที่อยู่ระหว่างการสื่อสารเกิดความเสียหายและไม่สามารถใช้งานได้ การเชื่อมต่อแบบ mesh ได้รวมการค้นหาเส้นทางแบบ AODV และ Hierarchical/Tree Routing เข้าไปในการค้นหาเส้นทางสื่อสารด้วย



รูปที่ 2.7 รูปแบบการเชื่อมต่อแบบเมช และการค้นหาเส้นทางสื่อสารใหม่ (Gislason, 2008)



รูปที่ 2.8 ZigBee and IEEE 802.15.4 (Gislason, 2008)

2.3.3 การเชื่อมต่อแบบ tree: เป็นกรณีเชื่อมต่อแบบพิเศษของการเชื่อมต่อแบบ mesh ซึ่งอุปกรณ์ส่วนใหญ่ในระบบเครือข่ายเป็นอุปกรณ์ประเภท FFDs (Full Function Devices) และอุปกรณ์ประเภท RFDs (Reduced Function Devices) ซึ่งอาจจะต่อเชื่อมเข้ากับระบบเครือข่ายในสถานะ Leave Node โดยอุปกรณ์ FFDs ใดๆ ทำหน้าที่เสมือน Coordinator และจัดสรรบริการ Synchronization ไปยังอุปกรณ์ต่างๆ และ Coordinator แต่จะมีเพียงอุปกรณ์ตัวเดียวเท่านั้นที่ทำหน้าที่เป็น PAN Coordinator การเชื่อมต่อแบบ tree ได้ใช้ค้นหาเส้นทางแบบ Hierarchical/Tree Routing ในการค้นหาเส้นทางสื่อสาร

2.4 โมเดลชั้นการสื่อสารของซิกบี้ (ZigBee Protocol Stack)

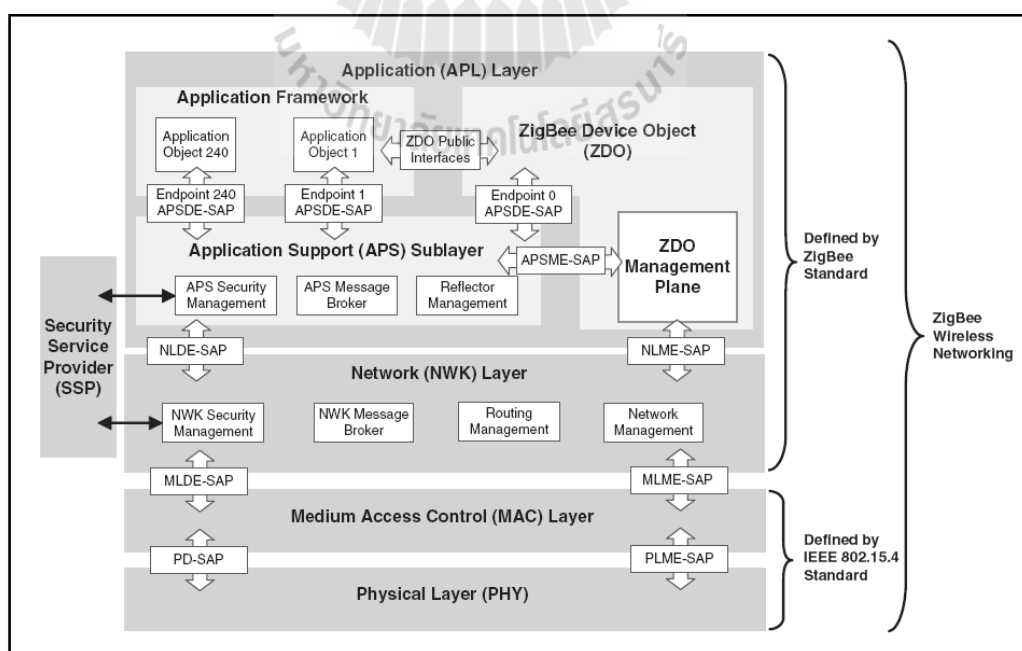
ZigBee และ มาตรฐาน IEEE 802.15.4 ถูกเข้าใจสับสนกันบ่อยครั้งแต่ทั้งสองอย่างนี้ใช้แลกเปลี่ยนข้อมูลเพื่อการสื่อสารกันบ่อยครั้งแต่ที่ทั้งสองอย่างนี้ไม่เหมือนกัน

มาตรฐาน 802.15.4 ถูกกำหนดโดย IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) โดยมาตรฐานนี้กำหนดพื้นฐานการติดต่อสื่อสารของอุปกรณ์โดยใช้การสื่อสารชั้นกายภาพ (Physical layer) และ ชั้น (Medium Access Control) สำหรับเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล PAN (Personal Area Network)

IEEE 802.15.4 ได้กำหนดกลไกต่างๆไว้ดังนี้:

- กลไกในการค้นหาระบบเครือข่าย (Mechanisms for Discovering Networks)
- กลไกในการจัดตั้งและเข้าร่วมระบบเครือข่าย (Mechanisms for Forming and Joining Networks)
- กลไกในการเปลี่ยนช่องสัญญาณการสื่อสาร (Mechanisms for Changing Channels)
- กลไกในการค้นหาสัญญาณรบกวนในช่องสัญญาณสื่อสาร (Mechanisms for Detecting Interference and “noise” on a particular channel)
- การตอบรับในการส่งข้อมูล (Acknowledged) , Single-Hop Communication, การส่งแพ็กเก็ตข้อมูล โดยใช้ CSMA-CA ในการหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูล
- การไม่ตอบรับในการส่งข้อมูล (Unacknowledged) , Single-Hop Data-Broadcast Method Communication

ซึ่ง ZigBee กำหนดการติดต่อสื่อสารข้อมูลที่อยู่สูงขึ้นไปจาก IEEE 802.15.4 ได้กำหนดไว้ในชั้น ภายภาพ และ ชั้น Medium Access Control โดย ZigBee กำหนดการค้นหาเส้นทางการสื่อสาร (Routing Protocol) การสื่อสารแบบ Multi-Hop และชั้นสื่อสารที่หน้าหน้าที่สูงขึ้นไปทั้งหมด



รูปที่ 2.9 ZigBee Networking Protocol Layers (Gislason, 2008)

2.5 ภาษาซิกบี (ZigBee Speak) (Gislason, 2008)

ซิกบีก็เหมือนดังเช่นเทคโนโลยีอื่นๆที่มีภาษาในการทำงานเป็นของตัวเอง ในหัวข้อนี้จะได้แสดงให้เห็นถึงอภิธานศัพท์ (ZigBee Alliance, 2008) ของซิกบีโดยสังเขป ดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยคำศัพท์ทั้งหมดเหล่านี้ถูกกำหนดไว้ใน ZigBee Specification ซึ่ง ZigBee Alliance เป็นผู้กำหนดขึ้นมา

ตารางที่ 2.1 Zigbee Glossary Terms (ZigBee Alliance, 2008)

Term	Description
802.15.4, or simply 15.4	The IEEE 802.15.4-2003 MAC and PHY specification used as the foundation for all ZigBee communications.
AES 128-bit Security	An application of the Advanced Encryption Standard to ZigBee authentication and encryption.
Attribute	A data item within a cluster, for example the state of an on/off light (is it on or off) or the current level of a dimmable light.
Authentication	Verifying that a packet came from the node it claims it did.
Bandwidth	Use of the RF spectrum. When the full bandwidth is used, no more messages may be transmitted at that time.
Broadcast	A mechanism to send the same packet to some or all of the nodes in a network.
Cluster	A collected set of commands and attributes. The ZigBee Cluster Library specifies common clusters.
Command	A single command within a cluster causing some specific action.
Commissioning	The process of connecting everything together in the network so that the normal application can run. For example, connecting a switch to a light, wirelessly.
Data Confirm	A confirmation that a data request has been delivered.
Data Indication	An application (or other portion of the ZigBee stack) is receiving data from another node. Basically, the other side of a data request.
Data Request	An application (or other portion of the ZigBee stack) is requesting to send data to another node in the network.
Descriptor	A description of some object in the node. For example, a simple descriptor describes an endpoint, a node descriptor describes a node.

ตารางที่ 2.1 Zigbee Glossary Terms (ZigBee Alliance, 2008) (ต่อ)

Term	Description
Encryption	Encoding a packet in such a way it cannot be understood by nodes without the security key.
Frame	An over-the-air sequence of bytes (octets) defined by the ZigBee or IEEE standards.
Groupcast	Not a ZigBee term. My term used when sending a command via groups which is broadcast across the network.
Hop	Or single hop. Passing a message from one node to a neighboring node.
MAC	Media Access Control. This layer knows about networks' a node addresses, but not much else. Defined by IEEE.
MAC address	A 64-bit number uniquely identifying this node from all other nodes in the world. Also called a long address, IEEE address or EUI.
Mesh	The term used for ad-hoc multi-hop networking.
Mesh Network	A network which discovers routes to other nodes in the network.
Multi-hop	The ability for the network to pass messages from one node to another, ultimately to the final destination node.
Neighbors	Other nodes within radio range.
NHLE	Next Higher Layer Entity, basically the layer above the current layer being discussed. For example, the network layer in ZigBee passes information to the NHLE, also known as the APS layer.
Node	A device that contains a single 802.15.4 radio. A node may control or monitor multiple things. For example, a bank of four light switches would need only one 802.15.4 radio.
OUI	Organizational Unique Identifier, the top 24 bits of the MAC address.

ตารางที่ 2.1 Zigbee Glossary Terms (ZigBee Alliance, 2008) (ต่อ)

Term	Description
PAN	Literally a personal area network. However, ZigBee often encompasses a whole building or campus. In some profiles, ZigBee discusses NANs, or neighborhood area networks, or HAN, a home area network. PANs, HANs, NANs, it's all the same thing to ZigBee: a single network.
PAN ID	A unique 16-bit number identifying the PAN.
PHY	The physical layer. This is basically the radio which converts a binary sequence into RF and back again. Defined by IEEE.
Profile	Generally referring to an Application Profile, or an agreed upon set of messages so applications from different vendors can interact.
Route	The path during a unicast from one node to another.
SAP	Service Access Point, the API between layers within the ZigBee stack. ZigBee is layered similarly to the common OSI networking layered model.
Sequence Number	A rolling number to uniquely identify a message. Also called a counter or transaction ID.
Unicast	A bandwidth-efficient mechanism to send a packet from one node to another node, even if it multiple-hops away.
ZC	ZigBee Coordinator. A special ZigBee node type that can form networks.
ZCL	ZigBee Cluster Library. A library of common clusters.
ZED	ZigBee End-Device. A special ZigBee node type that can sleep, extending battery life to years.
ZigBee	A networking protocol standard aimed at wireless control.
ZR	ZigBee Router. A special ZigBee node type that can route packets and understands mesh networking.

2.6 ชิกล์บีโมดูล (ZigBee Module)

ชิกล์บี (ZigBee) หรืออีกชื่อที่นิยมเรียกกันคือ เอ็กซ์บี (XBee) คือโมดูลรับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ (RF Transceiver) ที่มีความสามารถในการปฏิบัติงานที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละโมดูล ซึ่งทำงานภายใต้มาตรฐานเครือข่าย IEEE 802.15.4 สำหรับการจัดจ้ระบบเครือข่ายแบบ point-to-multipoint หรือ peer-to-peer ชิกล์บีถูกออกแบบมาเพื่อรองรับงานที่มีความต้องการ throughput สูง แต่มีความล่าช้าในการส่งสัญญาณต่ำและสามารถเชื่อถือได้ในการติดต่อสื่อสาร ชิกล์บีได้รับการออกแบบให้มีโมดูลหลายรูปแบบในการใช้งานโดยจำแนกได้คือ สำหรับการใช้งานติดต่อสื่อสารระยะใกล้ และ ระยะไกล ซึ่งชิกล์บีมีความสามารถส่งสัญญาณแบบไร้สายในระยะตั้งแต่ 100 เมตร ไปจนถึง 40 กิโลเมตร ในพื้นที่โล่งโดยโมดูลสำหรับการสื่อสารระยะใกล้จะใช้คลื่นสัญญาณที่มีความถี่ 2.4GHz และการสื่อสารที่ต้องการระยะไกลมากๆ จะใช้คลื่นสัญญาณที่ความถี่ 900MHz โดยชิกล์บีได้จำแนกความสามารถในการปฏิบัติงานของแต่ละโมดูลไว้ดังรูปที่ 2.10

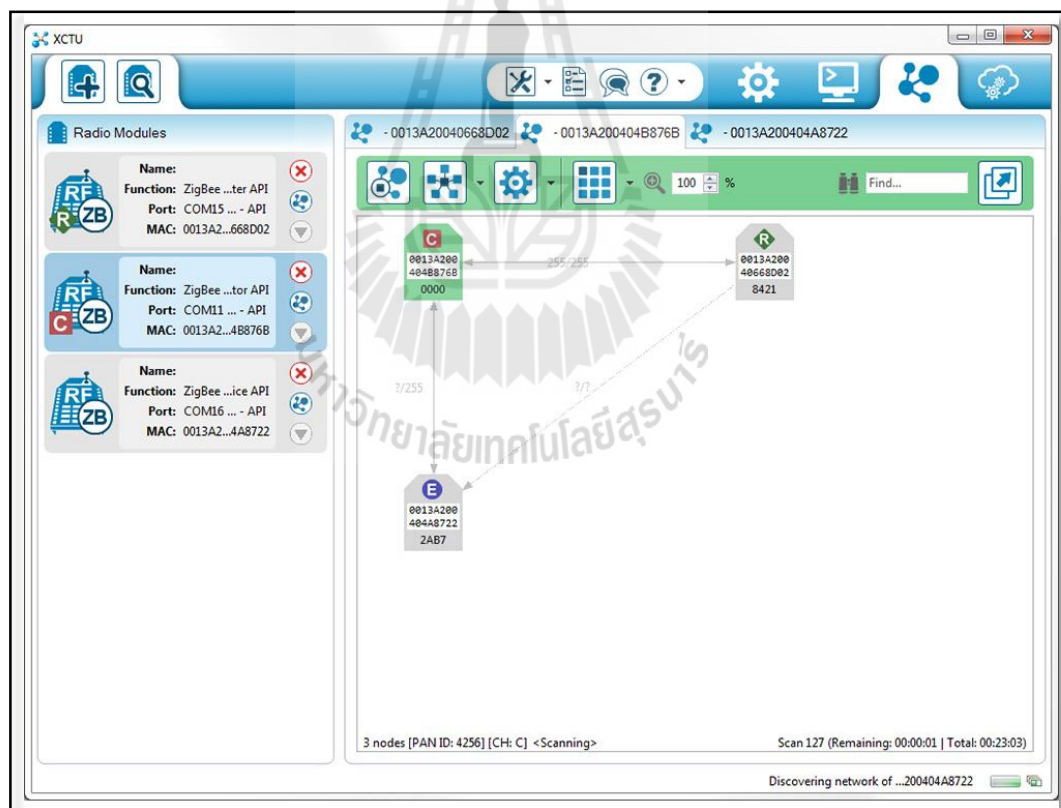
XBee® Family Features Comparison										
Protocol	Product	Frequency	Description	RF Line of Sight Range	Form Factor	MSRP	RF Data Rate	Current Draw Tx/Rx	Hardware	Certified Regions
IEEE 802.11	XBee® Wi-Fi	2.4 GHz	Wi-Fi 802.11b/g/n with easy provisioning, native Device Cloud features	N/A	Through-hole, SMT	\$35.00	1 to 72 Mbps	309 mA / 100 mA	S6B	US, CA, EU, AU, JP
IEEE 802.15.4	XBee® 802.15.4	2.4 GHz	Best way to get started with point-to-multipoint device connectivity	300 ft / 90 m	Through-hole	\$19.00	250 Kbps	45 mA / 50 mA	S1	US, CA, EU, AU, BR, JP
		2.4 GHz	Point-to-multipoint extended range version	1 mile / 1.6 km		\$32.00	250 Kbps	215 mA / 55 mA	S1	US, CA, AU, BR
	XBee-PRO® 802.15.4	2.4 GHz	International/"J" variant	2500 ft / 1 km	\$32.00	250 Kbps	215 mA / 55 mA	S1	US, CA, EU, AU, BR, JP	
Multipoint Proprietary	XBee-PRO® XSC	900 MHz	Long-range proprietary multipoint connectivity	9 miles / 14.5 km	Through-hole	\$39.00	10 Kbps or 20 Kbps	215 mA / 26 mA	S3B	US, CA, AU
	XBee-PRO® 868	868 MHz	Long range multipoint for Europe	25 miles / 40 km	Through-hole	\$45.00	24 Kbps	500 mA / 65 mA	S5	EU
ZigBee® PRO Feature Set	XBee® ZB SMT	2.4 GHz	ZigBee mesh networking, low-cost, low-power, surface mount	4000 ft / 1.2 km	SMT	\$11.00	250 Kbps	45 mA / 28 mA	S2C	US, CA, EU, AU, BR, JP
	XBee-PRO® ZB SMT	2.4 GHz	Extended-range ZigBee, surface mount	2 miles / 3.2 km	Through-hole	\$28.50	250 Kbps	100 mA / 31 mA	S0C	US, CA, AU, BR
	XBee® ZB	2.4 GHz	ZigBee mesh, low-cost, low-power, through-hole	400 ft / 120 m	Through-hole	\$17.00	250 Kbps	N/A	S2	US, CA, EU, AU, BR, JP
	XBee-PRO® ZB	2.4 GHz	Extended-range ZigBee, through-hole	2 miles / 3.2 km	Through-hole	\$28.00	250 Kbps	205 mA / 47 mA	S2B	US, CA, AU, BR
2.4 GHz		International/"J" variant	5000 ft / 1.5 km	Through-hole	\$28.00	250 Kbps	205 mA / 47 mA	S2B	US, CA, EU, AU, BR, JP	
DigiMesh® Proprietary	XBee-PRO® 900HP	900 MHz	Extended-range peer-to-peer mesh, sleeping routers (900 MHz)	9 miles / 14.5 km	Through-hole	\$39.00	10 Kbps or 200 Kbps	215 mA / 29 mA	S3B	US, CA, AU, BR
	XBee® 865/868LP	865 MHz or 868 MHz	Low power peer-to-peer mesh for India (865 MHz) or Europe (868 MHz)	2.5 miles / 4 km	SMT	\$23.00	10 Kbps or 80 Kbps	48 mA / 27 mA	S8	India, EU
	XBee® DigiMesh® 2.4	2.4 GHz	Low-cost, low-power peer-to-peer mesh, sleeping routers	300 ft / 90 m	Through-hole	\$19.00	250 Kbps	45 mA / 50 mA	S1	US, CA, EU, AU, BR, JP
	XBee-PRO® DigiMesh® 2.4	2.4 GHz	Extended-range peer-to-peer mesh, sleeping routers (2.4 GHz)	1 mile / 1.6 km	Through-hole	\$32.00	250 Kbps	230 mA / 55 mA	S1	US, CA, AU, BR
2.4 GHz		International/"J" variant	3200 ft / 1 km	Through-hole	\$32.00	250 Kbps	150 mA / 55 mA	S1	US, CA, EU, AU, BR, JP	

รูปที่ 2.10 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการปฏิบัติงานของชิกล์บีแต่ละโมดูล

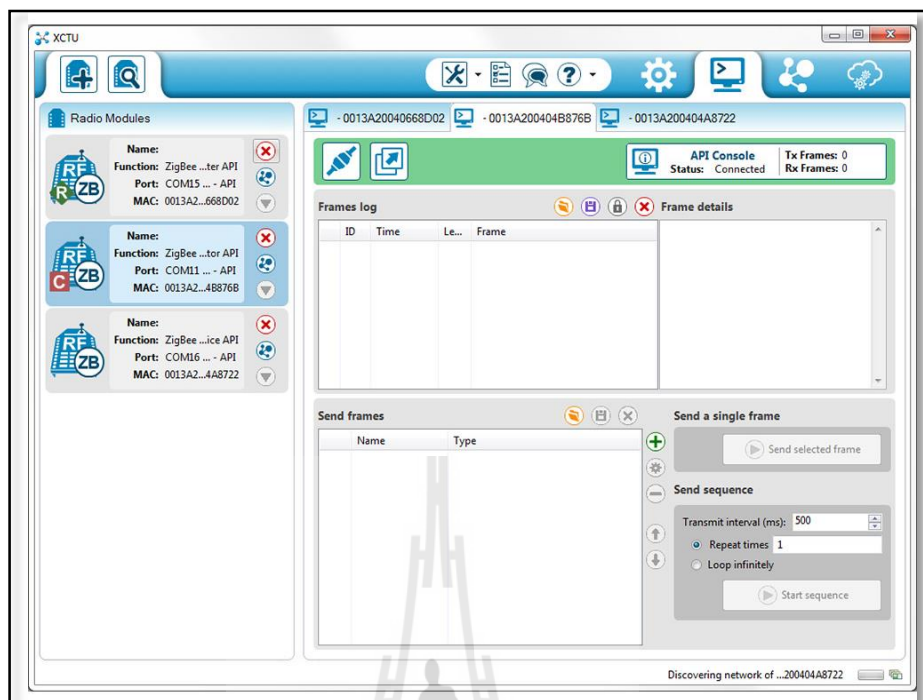
(<http://www.digi.com/>, 2558)

2.7 ซอฟต์แวร์สำหรับการจัดการซิกส์บี

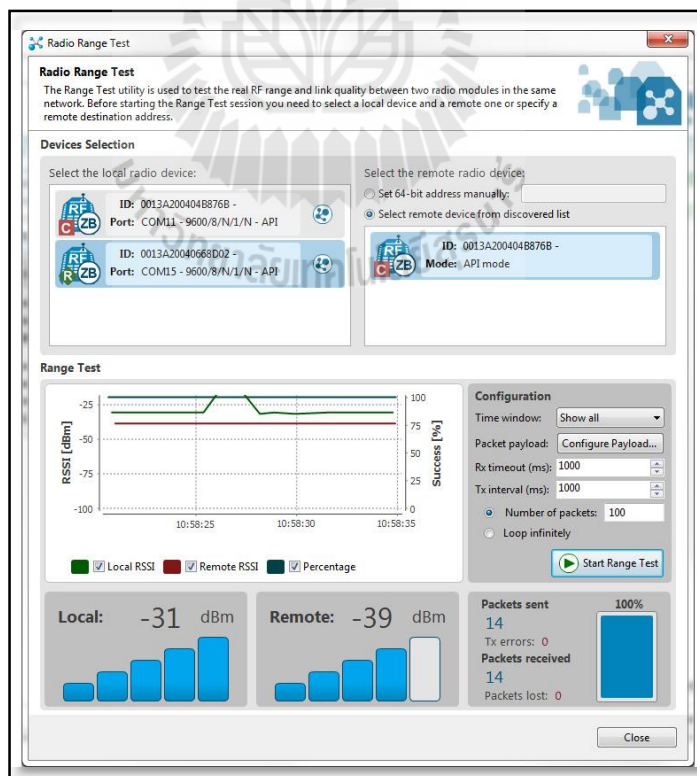
ในการจัดตั้งรูปแบบการสื่อสารของซิกส์บีนั้นจะต้องมีซอฟต์แวร์อินเทอร์เน็ตเฟสสำหรับการจัดการซึ่งก็คือ ซอฟต์แวร์ X-CTU เป็นซอฟต์แวร์ที่สามารถทำงานได้บนทุกแพลตฟอร์มของระบบปฏิบัติการทั้ง วินโดวส์ แมคอินทอช และ ลินุกซ์ ถูกออกแบบมาให้เป็นการจัดการซิกส์บีในรูปแบบ Graphical Network View (ดังแสดงในรูปที่ 2.11) เพื่อความง่ายต่อการใช้งานและปรับแต่งค่าการทำงานของเครือข่ายบนอุปกรณ์ซิกส์บี อีกทั้งยังสามารถสร้าง API Frame สำหรับการพัฒนาและจัดตั้งระบบเครือข่ายด้วย นอกจากการปรับแต่งและพัฒนารูปแบบระบบเครือข่ายแล้ว X-CTU ยังสามารถเชื่อมต่อไปยังอินเทอร์เน็ตเพื่ออัปเดตเฟิร์มแวร์สำหรับซิกส์บีทุกโมดูล เป็นตัวกึ่งกันค่ารีเซ็ทของซิกส์บีที่เกิดความเสียหายจากการเขียนโปรแกรม และใช้เป็นซอฟต์แวร์ทดสอบระยะเวลาส่งข้อมูลระหว่างซิกส์บีโหนดโดยติดตั้ง X-CTU ไปที่คอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อซิกส์บีของทั้งสองฝั่งได้อีกด้วย



รูปที่ 2.11 แสดงการทำงานของ ซอฟต์แวร์ X-CTU ในรูปแบบ Graphical Network View



รูปที่ 2.12 แสดงหน้าจอร่างงานของซอฟต์แวร์ X-CTU



รูปที่ 2.13 แสดงหน้าจอร่างงานของซอฟต์แวร์ X-CTU เมื่อทำการทดสอบการส่งสัญญาณ

2.8 อาร์ดูโนไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Microcontroller)

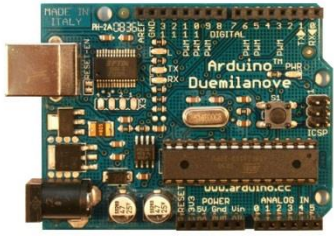

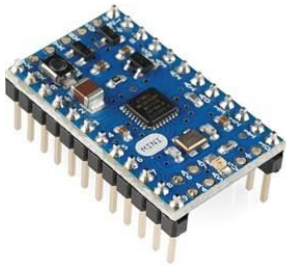
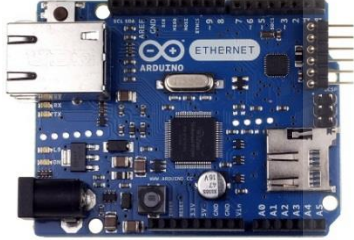


อาร์ดูโนไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino) คือ ไอเฟ่นซอร์สไมโครคอนโทรลเลอร์แบบซิงเกิลบอร์ด ถูกออกแบบมาเพื่อเป็นเครื่องมือที่สามารถส่งข้อมูลหรือควบคุมสิ่งต่างๆรอบตัวเราซึ่งอาร์ดูโนเองมีความสามารถที่ดีกว่าคอมพิวเตอร์เดสทอปทั่วไปในจุดนี้ (Arduino, 2558) โดยพัฒนาสืบทอดมาจากบอร์ดแบบไอเฟ่นซอร์สไวร์ริงแพลตฟอร์มซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อรองรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆเพื่อให้การสร้างโปรเจกต์ของหลากหลายแขนงวิชาความรู้สามารถเข้าถึงไมโครคอนโทรลเลอร์ได้มากยิ่งขึ้น

ฮาร์ดแวร์ของอาร์ดูโนประกอบด้วยฮาร์ดแวร์ระบบเปิดที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานสำหรับอาร์ดูโนโดยเฉพาะ โดยอาร์ดูโนใช้ Atmel AVR โปรเซสเซอร์เป็นหน่วยประมวลผลและติดตั้งบอร์ดสำหรับอินพุต/เอาต์พุตมาพร้อมตั้งแต่โรงงานผลิตด้วย

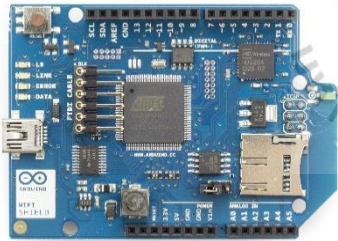
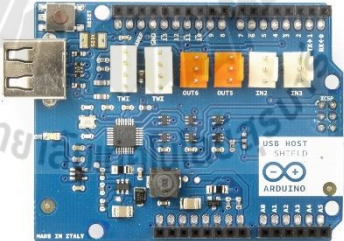
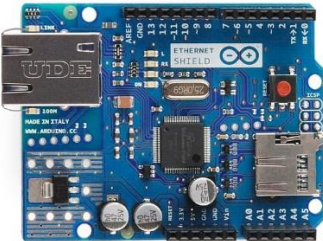
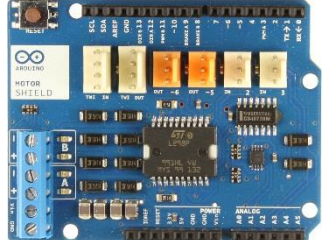

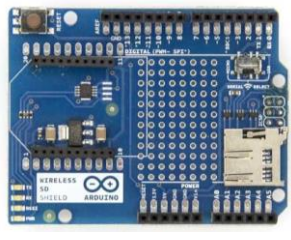
ซอฟต์แวร์ของอาร์ดูโนประกอบด้วยตัวแปลภาษามาตรฐานสำหรับการเขียนโปรแกรมและมีบูตโหลดเคอร์เนลติดตั้งมาอยู่บนตัวบอร์ดแล้ว ทั้งนี้ผู้ผลิตอาร์ดูโนยังได้ออกแบบและสร้างอาดูโยไว้สำหรับการใช้งานชนิดต่างๆไว้หลายๆแบบด้วยกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2 แต่สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือก อาร์ดูโนคูมิลانوฟ บอร์ดเป็นฐานในการพัฒนาระบบเนื่องจากมีความเหมาะสมในการเชื่อมกับเข้ากับโมดูลรับส่งสัญญาณซิกส์บี เพราะการใช้งานอาร์ดูโนร่วมกับซิกส์บีนั้นไม่สามารถนำทั้งสองอุปกรณ์มาเชื่อมต่อกันได้โดยตรงจะต้องมีชีลด์ (Shield) เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่ออาร์ดูโนบอร์ดเข้ากับเซ็นเซอร์หรืออุปกรณ์ต่าง โดยอาร์ดูโนชีลด์นี้เข้ามามีส่วนเพิ่มขีดความสามารถในการสร้างสรรค์และพัฒนาโปรเจกต์ต่างๆที่ใช้อาร์ดูโนบอร์ดเป็นพื้นฐานในการพัฒนาเพื่อให้เข้าถึงอินเตอร์ผ่าน เครือข่ายแลน เครือข่ายไร้สาย เครือข่ายไร้สายแบบจีเอสเอ็ม และเครือข่ายรับรู้อินเทอร์เน็ตแบบซิกส์บี

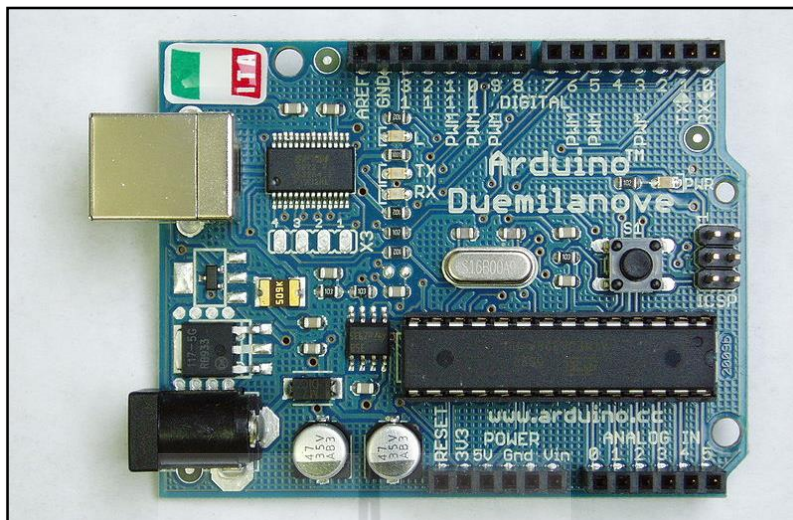
การเขียนโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานของอาร์ดูโนบอร์ดใช้การเขียนโปรแกรมภาษาแบบไวร์ริงเป็นพื้นฐานในการเขียนคำสั่งควบคุมการทำงานซึ่งภาษาแบบไวร์ริงที่ใช้พัฒนาอาร์ดูโนนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับภาษาซีโดยนำบางส่วนของภาษาซีที่เรียบงายมาใช้งาน

ตารางที่ 2.2 Arduino Board ชนิดต่างๆ

		
<p>Arduino Duemilanove</p>	<p>Arduino Mega</p>	<p>Arduino Pro Mini</p>
		
<p>Arduino Ethernet</p>	<p>Arduino Esplora</p>	<p>Arduino Robot</p>

ตารางที่ 2.3 Arduino Shield ชนิดต่างๆ

		
<p>WiFi Shield</p>	<p>USB Shield</p>	<p>Arduino Pro Mini</p>
		
<p>Motor Shield</p>	<p>GSM Shield</p>	<p>ZigBee Shield</p>



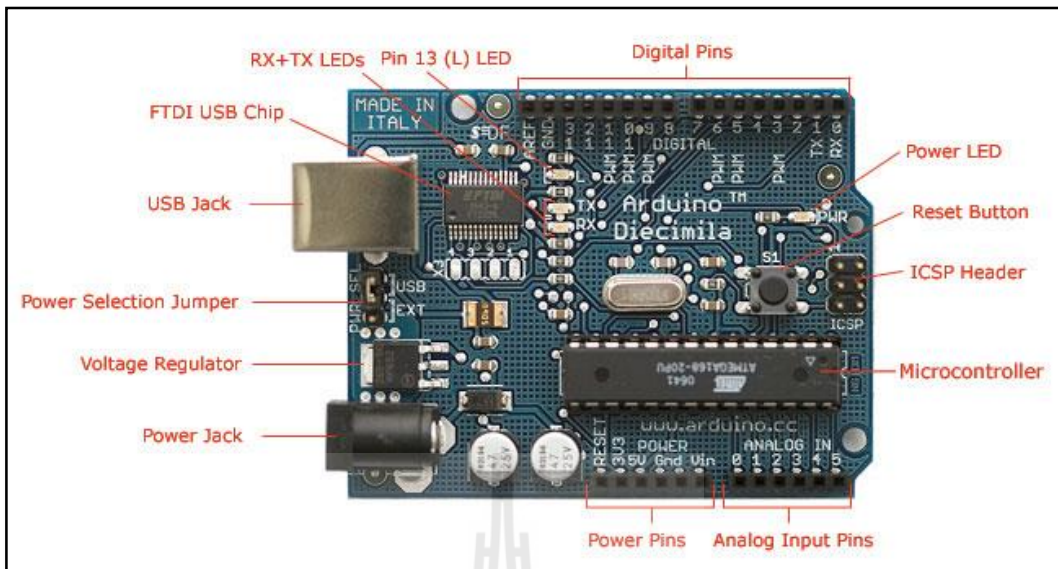
รูปที่ 2.14 Arduino Duemilanove Board ที่ใช้ในงานวิจัย

ไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดที่มีความสามารถในการพัฒนาขึ้นมาใช้ในระบบมีหลากหลายตัว เช่น Parallax Basic Stamp บอร์ด Netmedia's BX-24 บอร์ด Phidgets บอร์ด MIT's Handyboard และอีกหลายๆตัวที่มีความสามารถคล้ายคลึงกันแต่บอร์ดข้างต้นเหล่านี้มีวิธีการเขียนและการทำงานที่ยุ่งยากและซับซ้อนอีกทั้งมีราคาค่อนข้างสูงจึงไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้พัฒนาเป็นระบบต้นแบบเพื่อการศึกษา ทั้งนี้อาร์ดูโนมีความเหมาะสมในการเลือกใช้งานเป็นฐานในการพัฒนาระบบเพราะ มีราคาถูก สามารถพัฒนาโปรแกรมจากหลากหลายแพลตฟอร์มทั้ง วินโดวส์ ลินุกซ์ และแมคอินทอช มีหลักการเขียนภาษาที่เข้าใจง่ายไม่ซับซ้อนเพราะใช้ภาษาซีเป็นพื้นฐานในการเขียนโค้ดโปรแกรม และอาร์ดูโนเองยังเป็น โอเพ่นซอร์สฮาร์ดแวร์อีกด้วยจึงทำให้ผู้ใช้สามารถพัฒนาและต่อเติมระบบฮาร์ดแวร์ของตัวเองเข้ากับอาร์ดูโนได้ด้วย

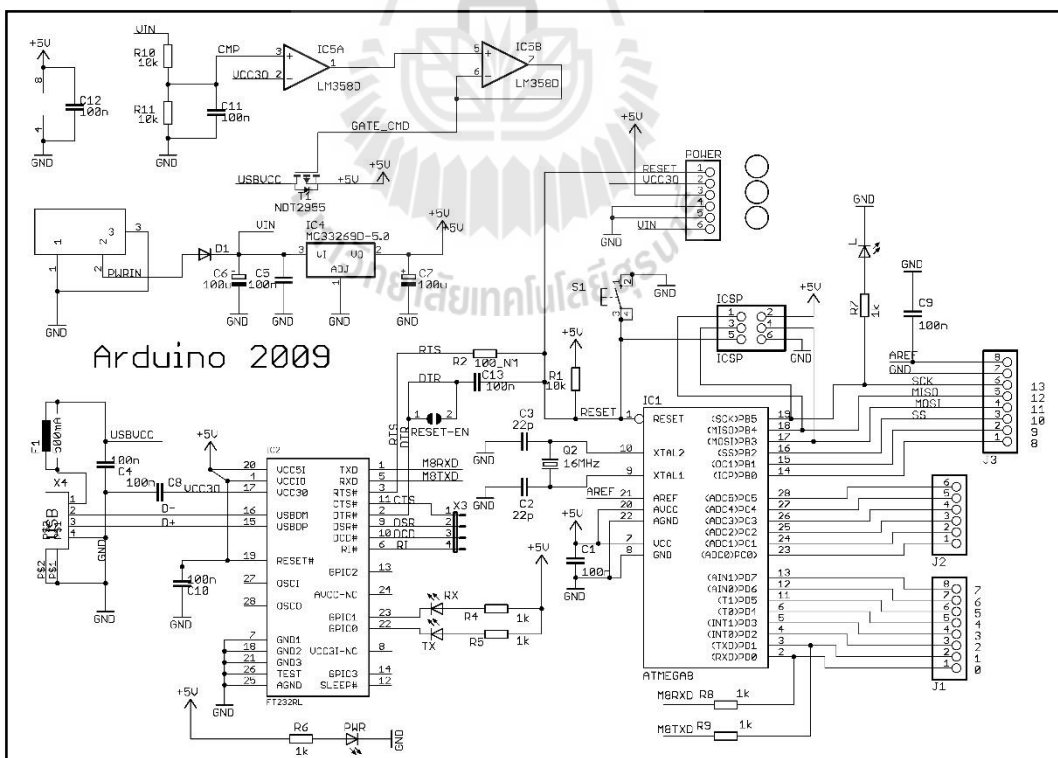
2.9 พื้นฐานการใช้งานอาร์ดูโน

การจะใช้งานอาร์ดูโนนั้นต้องทำความเข้าใจระบบและพื้นฐานการใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดชนิดนี้ก่อนว่ามีส่วนประกอบและการทำงานเป็นอย่างไรบ้าง อาร์ดูโนประกอบไปด้วยสองส่วนหลักๆคือ ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

ในส่วนของฮาร์ดแวร์ผู้ใช้งานต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับตัวอาร์ดูโนที่จะเลือกมาใช้งานก่อนในงานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้ อาร์ดูโนคูมิลานอฟ ซึ่งเป็นเวอร์ชันพัฒนาขึ้นมาจาก อาร์ดูโนไดซิมีล่า ดังแสดงส่วนประกอบของตัวบอร์ดตามรูปที่ 2.14 และ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงส่วนประกอบของอาร์ดูโน้ที่ใช้ในงานวิจัย



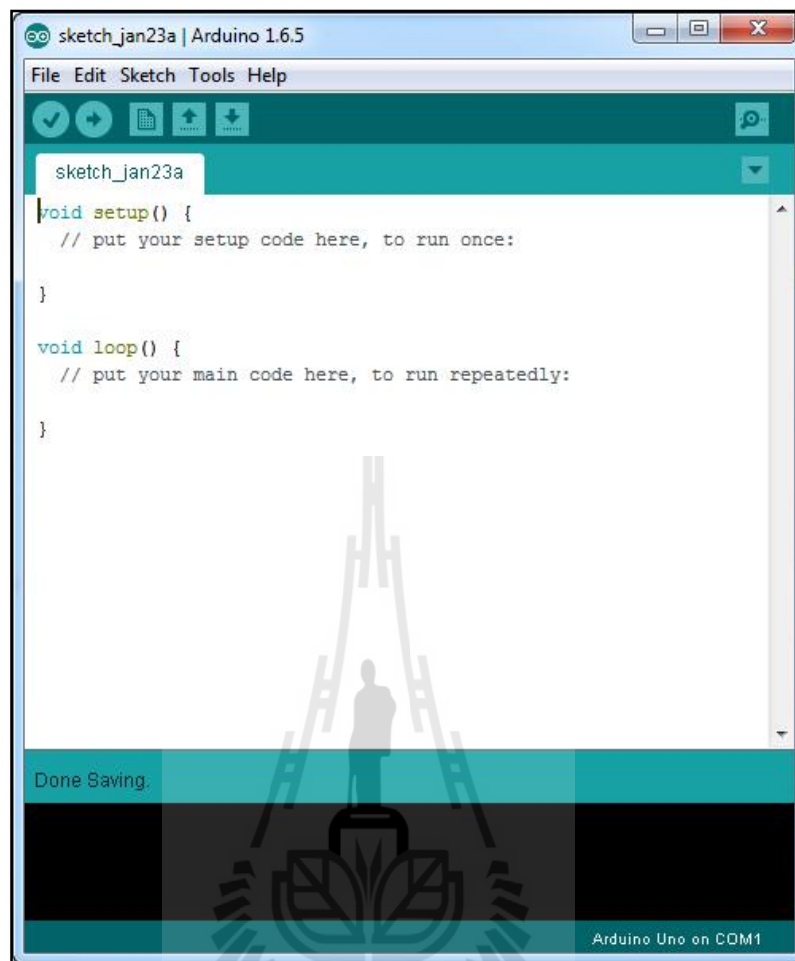
รูปที่ 2.16 แสดง schematic ของอาร์ดูโน้ที่ใช้ในงานวิจัย

อาร์ดูโน้ดูลิธานอฟเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาในปี 2009 โดยใช้ชิปประมวลผล ATmega328 จากบริษัท ATMEL ประกอบไปด้วยพินสำหรับการส่งผ่านข้อมูลแบบดิจิตอลจำนวน 14 พิน และ พินสำหรับการส่งข้อมูลแบบอนาล็อกอีก 6 พิน ตัวบอร์ดรับพลังงานที่ใช้งานสำหรับการประมวลผลจากไฟฟ้ากระแสตรง ที่ความต่างศักย์ 7-12 โวลต์ และมีหน่วยความจำสำหรับเขียนโปรแกรม จำนวน 1024 ไบต์ ดังแสดงข้อมูลสรุปตามตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติของ Arduino Duemilanove ที่ใช้ในงานวิจัย

Microcontroller	ATmega168
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	16 KB (ATmega168) or 32 KB (ATmega328) of which 2 KB used by bootloader
SRAM	1 KB (ATmega168) or 2 KB (ATmega328)
EEPROM	512 bytes (ATmega168) or 1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

ส่วนของซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนาอาร์ดูโน้คือ Arduino IDE คือซอฟต์แวร์ที่ใช้เขียนและอัปโหลดข้อมูลลงไปในตัวอาร์ดูโน้บอร์ด ดังแสดงในรูปที่ 2.15 โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นผ่าน Arduino IDE แต่ละโปรแกรมเรียกว่า สเก็ต (sketches)



รูปที่ 2.17 แสดงหน้าจอ Arduino IDE

ในแต่ละสเก็ทของการเขียนโปรแกรมอาร์ดูโน้จะแบ่งการทำงานออกเป็นสองฟังก์ชันหลักๆคือ `setup()` และ `loop()` ดังแสดงในตารางที่ 2.4

โดยฟังก์ชัน `setup()` จะถูกเรียกขึ้นมาใช้งานเพียงหนึ่งครั้งเพื่อกำหนดค่าไลบรารีและกำหนดพินต่างๆเพื่อให้ตัวบอร์ดเข้าใจตัวแปรที่กำหนดขึ้นมาแทนพินต่างๆบนอาร์ดูโน้บอร์ด

ฟังก์ชัน `loop()` ถือเป็นหัวใจของโปรแกรมต่างๆที่จะถูกเขียนลงไปบนอาร์ดูโน้บอร์ด โดยเราจะเขียนโปรแกรมต่างๆที่ต่างต้องการพัฒนาลงไปในส่วนนี้และในส่วนของฟังก์ชัน `loop()` นั้นจะถูกเรียกขึ้นมาใช้งานแบบวนซ้ำไปเรื่อยๆ

การเขียนโปรแกรมเพื่อพัฒนาอาร์ดูโน้นั้นจะขาดส่วนใดส่วนหนึ่งจากฟังก์ชัน `setup()` และ `loop()` ไปไม่ได้เพราะทั้งสองส่วนคือส่วนที่จะทำให้โปรแกรมนั้นมีความสมบูรณ์

ตารางที่ 2.5 แสดงตัวอย่างการเขียนโปรแกรมเพื่อให้หลอด LED บน Arduino แสดงการกะพริบ โดยมีระยะเวลาการกะพริบห่างกัน 1 วินาที

<pre>void setup () { statements; } void loop () { statements; }</pre>	<pre>int led = 13; void setup () { // initialize the digital pin as an output. pinMode (led, OUTPUT) ; } void loop () { digitalWrite (led, HIGH) ; // turn the LED on (HIGH is the voltage level) delay (1000) ; // wait for a second digitalWrite (led, LOW) ; // turn the LED off by making the voltage LOW delay (1000) ; // wait for a second }</pre>
---	---

ในการพัฒนาอาร์ดูโน้ในบางแอปพลิเคชันต้องใช้งานอาร์ดูโน้ไลบรารีเพื่อขยายขีดความสามารถของโปรแกรมให้ทำงานสอดคล้องกับอุปกรณ์ที่จะนำมาต่อพ่วงเพื่อพัฒนาแอปพลิเคชัน ผู้พัฒนาอาร์ดูโน้ได้สร้างไลบรารีพื้นฐาน (Standard Libraries) สำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆไว้ ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แสดงไลบรารีพื้นฐาน (Standard Libraries) ของอาร์ดูโน้

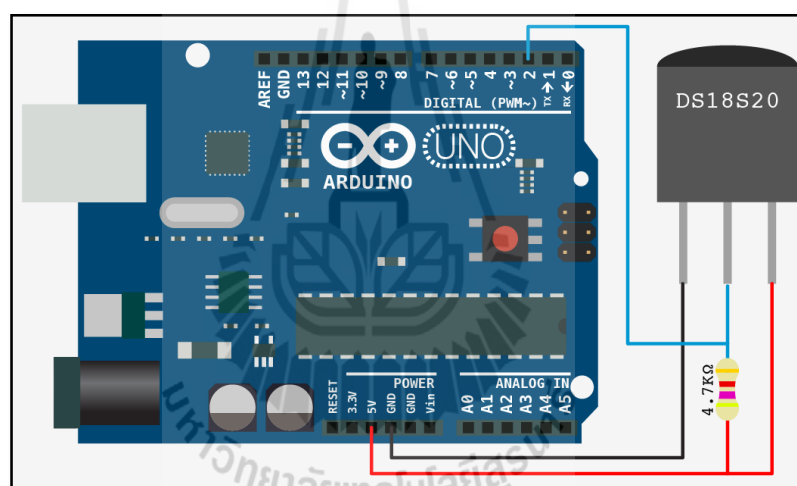
• <u>EEPROM</u> - reading and writing to "permanent" storage
• <u>Ethernet</u> - for connecting to the internet using the Arduino Ethernet Shield
• <u>Firmata</u> - for communicating with applications on the computer using a standard serial protocol.
• <u>GSM</u> - for connecting to a GSM/GRPS network with the GSM shield.
• <u>LiquidCrystal</u> - for controlling liquid crystal displays (LCDs)
• <u>SD</u> - for reading and writing SD cards
• <u>Servo</u> - for controlling servo motors
• <u>SPI</u> - for communicating with devices using the Serial Peripheral Interface (SPI) Bus
• <u>SoftwareSerial</u> - for serial communication on any digital pins. Version 1.0 and later of Arduino incorporate <u>Mikal Hart's NewSoftSerial</u> library as SoftwareSerial.
• <u>Stepper</u> - for controlling stepper motors
• <u>TFT</u> - for drawing text , images, and shapes on the Arduino TFT screen
• <u>WiFi</u> - for connecting to the internet using the Arduino WiFi shield
• <u>Wire</u> - Two Wire Interface (TWI/I2C) for sending and receiving data over a net of devices or sensors.

ถึงแม้ผู้ผลิตและผู้พัฒนาอาร์ดูโน้นั้นจะพัฒนาไลบรารีพื้นฐานสำหรับการใช้งานเพิ่มเติมไว้ นักพัฒนาใช้งานแล้วแต่ก็เป็นเพียงบางส่วนเท่านั้น เนื่องจากอาร์ดูโน้เป็นอุปกรณ์ที่ได้รับความนิยม และใช้งานอย่างแพร่หลายบริษัทผู้ผลิตและพัฒนาเซมิคอนดักเตอร์ทั้งหลายจึงได้พัฒนาอุปกรณ์ของตนเองขึ้นมาเพื่อใช้กับบอร์ดอาร์ดูโน้ที่หลากหลายด้วยเช่นกัน ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทดลองตรวจวัดค่าอุณหภูมิในสนามทดสอบที่ได้สร้างขึ้นมาดั่งนั้นในการสร้างโหนดของเครือข่ายรับรู้ไร้สายจึงต้องมีเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิตั้งไปที่ตัวโหนดด้วย

บริษัท คัลลาส เซมิคอนดักเตอร์ (ปัจจุบันคือ บริษัท แม็กซิม) คือหนึ่งในบริษัทผู้ผลิตชิปอิเล็กทรอนิกส์รายใหญ่ของโลกได้พัฒนาชุดเทอร์โมมิเตอร์เซ็นเซอร์ขึ้นมาจำนวนมากโดยใช้เทคโนโลยีเฉพาะ (Proprietary Technology) ในการผลิตชุดเทอร์โมมิเตอร์เซ็นเซอร์ต่างๆ และหนึ่งในเทอร์โมมิเตอร์เซ็นเซอร์ที่ได้รับความนิยมในการใช้งานอย่างแพร่หลายทั่วโลกก็คือเทอร์โมมิเตอร์เซ็นเซอร์ รหัส DS18B20 เนื่องจากเซ็นเซอร์ตัวนี้มีราคาถูก มีความง่ายในการใช้งาน

มีความคงทน ได้รับการคาริเบรทค่ามาจากโรงงานผู้ผลิต และมีความสามารถต่อสายไฟที่ยาวจากตัวเซ็นเซอร์จนถึงตัวบอร์ดอาร์ดูโน้ ทีมพัฒนาอาร์ดูโน้จึงได้พัฒนาไลบรารีสำหรับการใช้งานอาร์ดูโน้เพื่อเชื่อมต่อกับ เทอร์โมมิเตอร์เซ็นเซอร์ รหัส DS18B20 ซึ่งมีชื่อเรียกว่า “1-Wire Protocol”

ในการใช้งาน 1-Wire Protocol นั้นต้องมีส่วนประกอบที่สำคัญสองส่วนคือ อาร์ดูโน้บอร์ด และเทอร์โมมิเตอร์เซ็นเซอร์ รหัส DS18B20 พร้อมตัวต้านทานขนาด 4.7 กิโลโอห์ม การใช้งาน DS18B20 กับ อาร์ดูโน้นั้น ไม่มีความซับซ้อนในการติดตั้งใช้งาน โดยนำขาที่หนึ่งของเซ็นเซอร์ต่อกับกราวด์ ขาที่สองและสามเชื่อมต่อกับ ไฟฟ้ากระแสตรงจากบอร์ด 5 โวลต์ โดยขาที่สองนั้นต่อตัวต้านทาน 4.7 กิโลโอห์มเข้ากับดิจิทัลพิน ซึ่งผู้พัฒนาสามารถเลือกใช้งานพินดิจิทัลพินใดก็ได้แล้วแต่ความสะดวกในการใช้งาน โดยแสดงวิธีการติดตั้งดังรูปภาพที่ 2.16



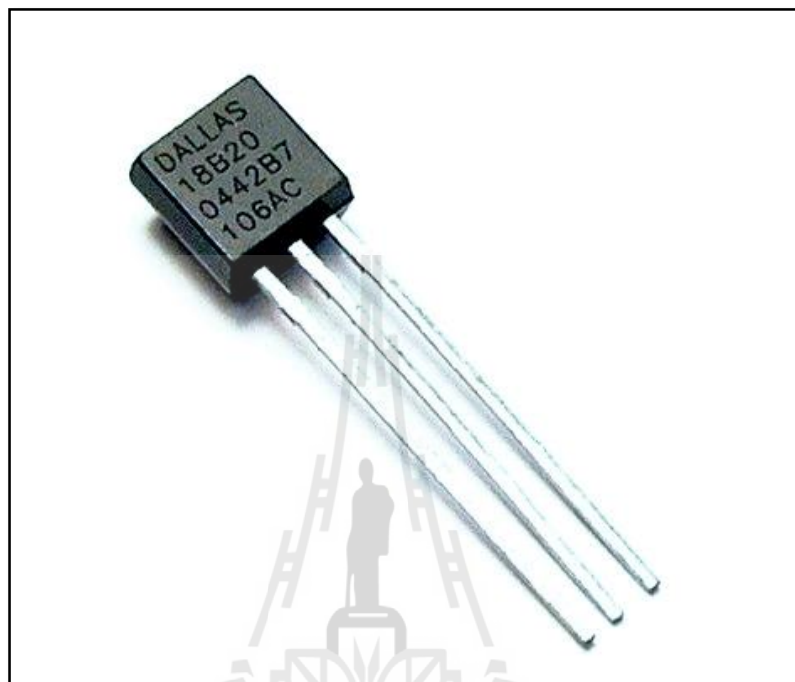
รูปที่ 2.18 แสดงตัวอย่างการติดตั้งเซ็นเซอร์ Dallas DS18B20 บนอาร์ดูโน้บอร์ด

2.10 เซ็นเซอร์ตรวจวัดค่า

ในการวิจัยครั้งนี้การพัฒนาระบบเครือข่ายรับรู้ไร้สายประกอบไปด้วยโหนดและเครื่องเซิร์ฟเวอร์เพื่อรับ-ส่งข้อมูลซึ่งกันและกัน โดยหนึ่งในส่วนประกอบส่วนที่สำคัญในการทำงานของระบบก็คือเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่า โดยเซ็นเซอร์นั้นจะต้องถูกนำมาประกอบใช้งานกับอาร์ดูโน้บอร์ดและซิกส์บี ซึ่งการติดตั้งนั้นจะติดตั้งลงไปบนอาร์ดูโน้บอร์ด

ผู้ผลิตและพัฒนาอาร์ดูโน้ได้สร้างไลบรารีเพื่อการพัฒนาแอปพลิเคชันที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดค่าอุณหภูมิขึ้นมาคือ “1-Wire Protocol” โดยเป็นไลบรารีที่ทำการเรียกใช้โปรแกรมเพื่อ

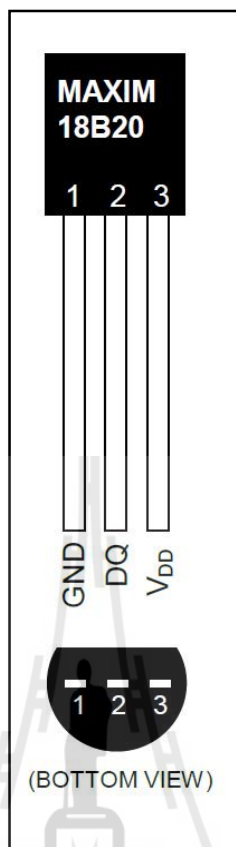
เชื่อมต่อเพื่อเชื่อมต่อกับ เซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ DS18B20 ของบริษัท ดัลลาส เซมิคอนดักเตอร์ ดังแสดงรูปเซ็นเซอร์ DS18B20 ตามรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.19 แสดงรูปเซ็นเซอร์ DS18B20

เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ DS18B20 ประกอบไปด้วยขาเชื่อมต่อจำนวน 3 ขา คือ ขาที่หนึ่ง GND ขาที่สอง DQ และขาที่สาม V_{DD} เซ็นเซอร์ DS18B20 มีความสามารถในการวัดข้อตั้งแต่ 9 บิต ไปจนถึง 12 บิต โดยมีฟังก์ชันแจ้งเตือนข้อมูลเมื่อการตรวจวัดค่าได้ค่าอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าจุดทริกเกอร์พอยท์ (Trigger Point) โดยเซ็นเซอร์ DS18B20 มีความสามารถในการตรวจวัดอุณหภูมิในช่วง -55 องศาเซลเซียส ไปจนถึง +125 องศาเซลเซียส แต่มีความแม่นยำที่ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส ไปจนถึง +85 องศาเซลเซียส (DS18B20, 2015)

ในเซ็นเซอร์ DS18B20 มีรหัสซีเรียลขนาด 64 บิตของตัวเอง ดังนั้นผู้พัฒนาจึงสามารถติดตั้งเซ็นเซอร์ DS18B20 เพื่อใช้งานผ่าน 1-Wire Protocol ได้ที่หลายๆตัวพร้อมๆกัน จึงเพิ่มขีดความสามารถให้กับการสร้างแอปพลิเคชันเพื่อตรวจวัดอุณหภูมิโดยการควบคุมเซ็นเซอร์หลายๆ จากบอร์ดควบคุมเพียงตัวเดียว



รูปที่ 2.20 แสดงรูปแบบขาเชื่อมต่อของเซ็นเซอร์ DS18B20

2.11 ทินเพลทสไปล์อัลกอริทึม (Thin Plate Spline)

ทินเพลทสไปล์คือเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับสร้าง โมเดลของพื้นผิวข้อมูล (Data Surface) จากการแปลงพิกัด โดยทินเพลทสไปล์ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางในการสร้าง โมเดลของพื้นผิวข้อมูลบนคอมพิวเตอร์ (Donato และ Belogic, 2003) โดยนำไปใช้งานใน ลักษณะการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) ของข้อมูลที่มีลักษณะกระจัดกระจาย (Scattered Data)

ทินเพลทสไปล์คือการนำพีชคณิตมาอธิบายการบิดหรือการเปลี่ยนรูปร่างทางกายภาพของ วัตถุที่มีลักษณะแบนราบคล้ายแผ่น โลหะที่เกิดจากจุดของข้อมูลที่มีอย่างจำกัดบนแผ่นวัตถุนั้น (Bookstien, 1989)

สำหรับการประมาณค่าในช่วงของพื้นผิวที่มีการกำหนดจุดบนระนาบ พลังงานที่ใช้ในการ เปลี่ยนแปลงรูปของระนาบนั้นคือรูปแบบของสมการกำลังสองจากระนาบบนที่ถ่ายทอดพลังงาน

ไปสู่พื้นผิวด้านล่างจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพื้นผิวข้อมูลที่จะถูกทำนาย โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ใช้อัลกอริทึมทินเพลทสไปล์ที่ถูกนำเสนอโดย Fred L. Bookstein (1989) อัลกอริทึมทินเพลทสไปล์มีสมการคณิตศาสตร์ที่สำคัญดังนี้

2.11.1 ฟังก์ชัน $U(r)$

$$z(x, y) = -U(r) = -r^2 \log r^3 \quad (2.1)$$

โดยที่ r คือระยะทางของ $\sqrt{x^2 + y^2}$ จากจุดคาร์ทีเซียน

2.11.2 ฟังก์ชัน $f(x, y)$

คือฟังก์ชันหลักที่ใช้ในการคำนวณการสร้างโมเดลพื้นผิวของข้อมูลจากตารางกริด โดยนำค่าจากสมการ $L^{-1}Y$ มาใช้คำนวณเพื่อทำนายข้อมูลแต่ละจุดในระนาบที่ทำการทดลอง:

$$f(x, y) = a_1 + a_x x + a_y y + \sum_{i=1}^n w_i U(|P_i - (x, y)|) \quad (2.2)$$

2.11.3 สมการ $L^{-1}Y$

เพื่อนำไปหาค่าสัมประสิทธิ์ a_1, a_x, a_y ซึ่งสัมประสิทธิ์เหล่านี้คือสิ่งที่จำเป็นในการสร้างสมการทินเพลทสไปล์เพื่อคำนวณโมเดลพื้นผิวข้อมูล โดยกำหนดให้

$$L^{-1}Y = (W | a_1, a_x, a_y)^T \quad (2.3)$$

โดยให้ V คือจุดควบคุมบนระนาบซึ่งก็คือข้อมูลอนุกรมที่ได้จากการส่งข้อมูลเข้าของซิกส์บีในสนามทดสอบ

$$V = (v_1, \dots, v_n) \quad (2.4)$$

และ

$$Y = (V | 0, 0, 0)^T \quad (2.5)$$

2.11.4 เมทริกซ์ต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ

กำหนด

$$L = \begin{bmatrix} K & P \\ P^T & 0 \end{bmatrix}, (n+3) \times (n+3) \quad (2.6)$$

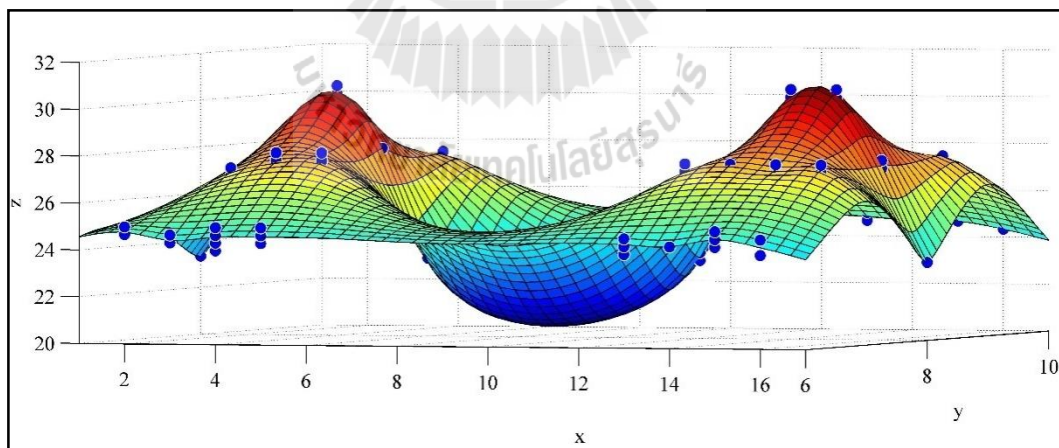
เมื่อ T คือเครื่องหมายทรานส์โพสของเมทริกซ์ และ 0 คือ เมทริกซ์ 3×3 ที่มีค่าเป็นศูนย์

$$K = \begin{bmatrix} 0 & U(r_{12}) & \dots & U(r_{1n}) \\ U(r_{21}) & 0 & \dots & U(r_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ U(r_{n1}) & U(r_{n23}) & \dots & 0 \end{bmatrix}, n \times n; \quad P = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_n & y_n \end{bmatrix}, n \times 3; \quad (2.7)$$

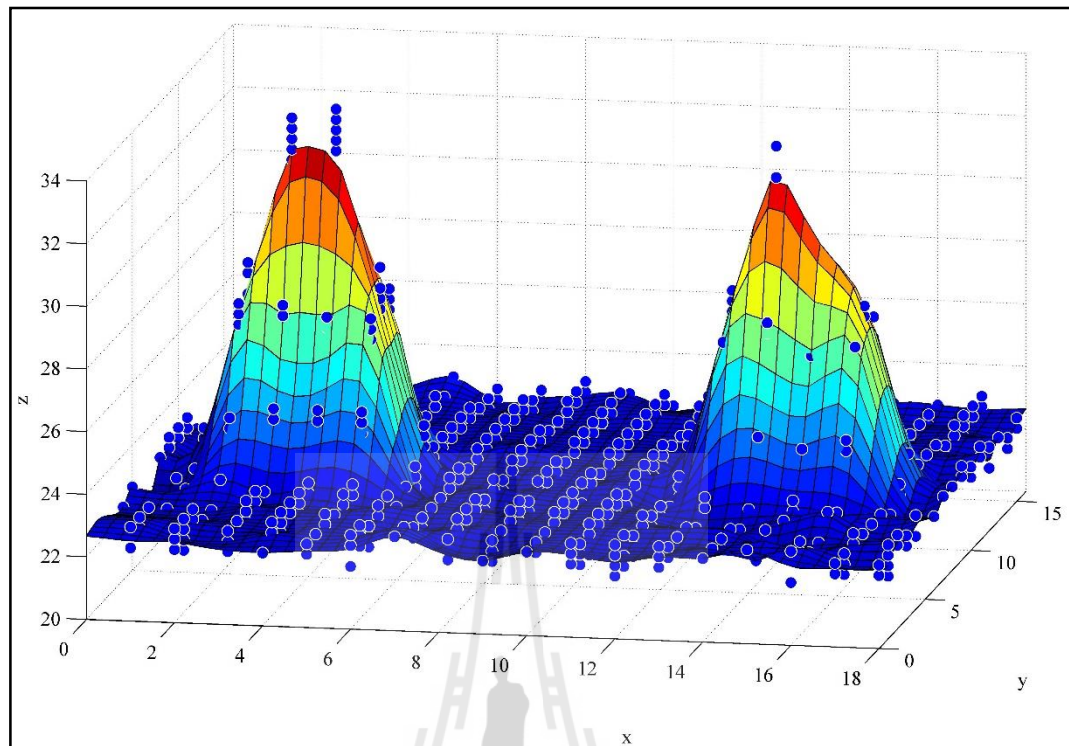
ด้วยหลักการทางพีชคณิตที่ถูกนำมาใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของพื้นผิวที่มีลักษณะ

คล้ายแผ่นโลหะบางๆ ที่ถูกยึดตรึงไว้ด้วยหมุด (constraint points) แล้วมีการดึงหรือยืดแผ่นโลหะขึ้นลงตามหมุดที่ปักไว้จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงต่ำในบริเวณที่ใกล้เคียง จึงทำให้เกิดรูปร่างพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไป

ในงานวิจัยชิ้นนี้จึงได้นำอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์มาประยุกต์ใช้ในการสร้างโมเดลข้อมูลพื้นผิวอุณหภูมิของการทดลอง



รูปที่ 2.21 ลักษณะของข้อมูลในการทดลองที่ผ่านการประมวลผลด้วยอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์



รูปที่ 2.22 ลักษณะของข้อมูลในการทดลองที่การตรวจวัดข้อมูลจำนวน 1800 จุด

2.12 การควบคุมปัญหาโอเวอร์ฟิตติ้ง (The control of overfitting problems)

การโอเวอร์ฟิตติ้งของข้อมูลคือการใช้โมเดลข้อมูลเชิงสถิติมาอธิบายความคลาดเคลื่อนของข้อมูลหรือข้อมูลที่มีลักษณะเป็นสัญญาณรบกวน (Noise Data) แทนความสัมพันธ์พื้นฐานของข้อมูล ปัญหาของการโอเวอร์ฟิตติ้งของข้อมูลโดยทั่วไปแล้วเกิดขึ้นเมื่อโมเดลของข้อมูลนั้นมีความซับซ้อนมากเกินไป เช่น มีตัวแปรในการคำนวณมากเกินไป หรือ โมเดลที่ใช้ในการสร้างเทรนนิ่งเซต (Training Set) นั้นขาดการประมาณค่าที่มีประสิทธิภาพจึงทำให้เกิดการผันผวนมากเกินไป (A. Weigend และคณะ, 1993) ซึ่งการขาดประสิทธิภาพของโมเดลข้อมูลอาจเกิดจากโมเดลข้อมูลนั้นยึดถือข้อมูลในเทรนนิ่งเซตที่จำเพาะเจาะจงหรือไปยึดถือนอยซ์ของข้อมูลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทำนายข้อมูล (Hao Wu และ J. L. Shapiro, 2006)

2.12.1 สาเหตุของการเกิดการโอเวอร์ฟิตติ้งของข้อมูล

- โมเดลของข้อมูลเทรนนิ่งเซตมีความซับซ้อนมากเกินไปหรือ โมเดลมีตัวแปรที่ใช้ในการทำนายโมเดลใหม่มากเกินไป
- ข้อมูลที่นำมาสร้างโมเดลมีสัญญาณรบกวน (Noise) ของข้อมูลจำนวนมาก
- การใช้พื้นที่ในการตั้งสมมติฐานของข้อมูลขนาดใหญ่หลายๆ
- โมเดลของข้อมูลเทรนนิ่งเซตมีจำนวนน้อยเกินไปจนการสร้างโมเดลใหม่ไม่มีประสิทธิภาพ (R. Caruana และคณะ, 2001)
- เกิดการสร้างโมเดลข้อมูลซ้ำแล้วซ้ำเล่า

2.12.2 ผลกระทบของการเกิดการ โอเวอร์ฟิตติ้ง

- เกิดความผันผวนของข้อมูล
- โมเดลของข้อมูลที่ถูกสร้างขึ้นนั้นอิงข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนมากจนขาดความแม่นยำ
- โมเดลของข้อมูลที่ได้จากเทรนนิ่งเซตไม่มีประสิทธิภาพ
- ทำให้การสร้างโมเดลใหม่เกิดขึ้นนอกขอบเขตของข้อมูลจริง (Study Sample) ที่ใช้ในการสร้างโมเดล

2.12.3 ปัญหาโอเวอร์ฟิตติ้งกับการประมวลผลตัวแปรเชิงพื้นที่ด้วยทินเพลทสไปล์

อัลกอริทึม

การเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่เข้ามาประมวลผลนั้นต้องใช้ข้อมูลจริง (Study Sample) จากภาคสนามส่งเข้ามาประมวลผลซึ่งการเก็บข้อมูลจริงนั้นจะเก็บโดยวัดผลข้อมูลในพื้นที่ๆกำหนดไว้ (Testing Field) แต่การเก็บข้อมูลไปเรื่อยๆนั้นจะทำให้มีข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการสร้างโมเดลมีจำนวนมากเกินไป ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการสร้างข้อมูล การสิ้นเปลืองทรัพยากร และใช้เวลาในการคำนวณมากโมเดลของข้อมูลมากขึ้นไปด้วย ดังนั้นการป้องกันหรือแก้ไขการเกิดปัญหาโอเวอร์ฟิตติ้งของข้อมูลจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและการประหยัดเวลาในการทำงานของระบบด้วย

2.12.4 การแก้ปัญหาโอเวอร์ฟิตติ้ง

- ไบแอส (Bias) คือ ค่าเฉลี่ยของการประมาณค่ากับข้อมูลจริง
- ความผันผวน (Variance) คือ ค่าของข้อมูลที่ผันผวนขึ้นลงจากค่าเฉลี่ยของข้อมูล

ทั้งนี้ในการแก้ปัญหาโอเวอร์ฟิตติ้งนั้นต้องสร้างความสมดุลของไบแอส และ ความผันผวน เพื่อการสร้างโมเดลของข้อมูลที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.13 การแก้ปัญหาโอเวอร์ฟิตติ้งโดยใช้อัลกอริทึมมินิมัลดescription length (Minimum Description Length)

อัลกอริทึมมินิมัลดescription length หรือ เอ็มดีแอล การอธิบายความซับซ้อนทฤษฎีของ Kolmogorov Chaitin และ Solomonoff (Li, M., Várányi, P., 1996) ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการคัดเลือกโมเดล (Model Selection) ข้อมูลที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ประยุกต์ใช้อัลกอริทึมเอ็มดีแอล (Hansen, Yu, 2001) เข้ากับการประมาณค่าในช่วงโดยใช้อัลกอริทึมทวินเพลทสไปล์โดยมีสมการดังนี้

$$L(\hat{\theta}_n) = \left[\frac{1}{m} \left(\sum_{i=4}^m \|f(x_i, y_i) - (\hat{f}(x_i, y_i))\| \right) + \frac{k}{2} \log n \right] \quad (2.8)$$

โดยที่ $L(\hat{\theta}_n)$ คือ ความยาวของพารามิเตอร์ที่ได้จากอัลกอริทึมเอ็มดีแอล

$\frac{1}{m} \left(\sum_{i=4}^m \|f(x_i, y_i) - (\hat{f}(x_i, y_i))\| \right)$ คือ เทอมของผลรวมค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของโมเดลข้อมูล

$\frac{k}{2} \log n$ คือ ขนาดของโมเดลข้อมูล โดยที่ k คือจำนวนกลุ่มของข้อมูล

โดยเมื่อนำทั้งสองเทอมจากสมการที่ (8) มารวมกันแล้วจะทำให้ได้ขนาดความยาวของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับโมเดลข้อมูลที่ทำกรทดลองในสนามทดสอบที่ได้สร้างขึ้นในงานวิจัยชิ้นนี้

2.14 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่อง (Uniform Random)

คือการแจกแจงตัวแปร X ที่มีค่าอยู่ในช่วงใดช่วงหนึ่งหรืออยู่ในเซตของช่วงใดช่วงหนึ่งด้วยความน่าจะเป็นเท่ากันเสมอ ซึ่งอยู่ในช่วงของเลขจำนวนจริง 2 จำนวนคือ a และ b โดยที่ $a < b$ ถ้าค่าของ X คงที่จาก a ถึง b แล้ว X จะมีฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นดังนี้

$$f(x) = \frac{1}{b-a}; a \leq x \leq b \quad (2.9)$$

และมีค่าคาดหวังและค่าความแปรปรวนดังนี้

$$E(X) = \frac{b+a}{2} \quad (2.10)$$

$$V(X) = \frac{(b-a)^2}{12} \quad (2.11)$$

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำทฤษฎีการแจกแจงแบบสุ่มนี้มาสู่เส้นทางเดินในแต่ละก้าวของ ซิกส์บีโหนดเพื่อให้ซิกส์บีถูกจำลองคั้งหุ่นยนต์ที่เดินสำรวจพื้นที่แบบสุ่มเดินต่อเนื่องไปเรื่อยๆจนทั่วทั้งพื้นที่

2.15 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการสร้างต้นแบบระบบการประมาณค่าในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ด้วย อัลกอริทึมทินเพลทสไปลน์บนระบบเครือข่ายรับรู้ไร้สายซิกส์บี ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้า งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาและการประยุกต์ใช้งานระบบเครือข่ายรับรู้ไร้สาย โดยนำไปสร้างระบบหรือประยุกต์ใช้งานในรูปแบบต่างๆ ดังสรุปในตารางที่ 2.9 และมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

งานวิจัยของ Vongsagon Boonsawat และคณะ (2010) ได้นำเสนอระบบเครือข่ายรับรู้ไร้สายของการติดตามเฝ้าระวังอุณหภูมิภายในอาคาร โดยพัฒนาบนพื้นฐานของซิกส์บีและอาร์ดูโน โดยการเก็บข้อมูลนั้นเป็นการเก็บข้อมูลแบบกำหนดพิกัดตายตัว (Static Node) ในแต่ละจุดที่ต้องการตรวจวัดค่าและส่งข้อมูลกลับมาที่เครื่องเซิร์ฟเวอร์

งานวิจัยของ Tomasz Naumowicz และคณะ (2010) ได้เสนอระบบเครือข่ายรับรู้ไร้สายเพื่อติดตามการย้ายถิ่นฐานของนกทะเล บนเกาะ Skomer ณ สหราชอาณาจักร โดยติดตั้งโหนดไปบนตัวนก โดยระบบพัฒนาบนพื้นฐานของ MSB430MS Board และใช้ MSB430H เป็น โมดูลรับส่งสัญญาณ โดยระบบติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น การเคลื่อนไหว RFID และ น้ำหนัก เพื่อส่งข้อมูลกลับมาวิเคราะห์และติดตามผล

งานวิจัยของ Michael G. Rodriguez และคณะ (2011) ได้นำเสนอระบบติดตามและเฝ้าระวังของศูนย์ข้อมูลกลาง (Data-Center) โดยพัฒนาโหนดของเครือข่ายรับรู้ไร้สายบนภาครับส่งสัญญาณซิกส์บีและติดตั้งเซ็นเซอร์ SHT15 เพื่อติดตามอุณหภูมิภายในอาคารศูนย์ข้อมูลกลางและส่งข้อมูลมาประมวลผลและติดตามค่าอุณหภูมิภายในตลอด 24 ชั่วโมง โดยติดตั้งโหนดแบบกำหนดพิกัดตายตัวตามจุดต่างๆ

งานวิจัยของ Abdullah Kadri และคณะ (2013) นำเสนอระบบการติดตามและเฝ้าระวังมลพิษทางอากาศ โดยติดตั้งโหนดแบบกำหนดพิกัดตายตัวตามจุดต่างๆ และส่งข้อมูลกลับมายังเครื่องเซิร์ฟเวอร์ ในแต่ละโหนดติดตั้งเซ็นเซอร์วัดค่า Ozone Carbon Monoxide Nitrogen Dioxide

และ Hydrogen Sulphide โดยข้อมูลต่างเหล่านี้ถูกส่งผ่าน โมดูลรับส่งสัญญาณไร้สาย GPRS โมเด็ม เพื่อส่งข้อมูลกลับมาที่เครื่องเซิร์ฟเวอร์

งานวิจัยของ Imran Bin Jafar และคณะ (2014) นำเสนอระบบเครือข่ายไร้สายและซอฟต์แวร์การจัดการอาคารเรือนกระจก (Green House) โดยพัฒนาระบบเครือข่ายไร้สายพื้นฐานฮาร์ดแวร์อาร์ดูโน้และโมดูลรับส่งสัญญาณ nRF24L01 เพื่อตรวจวัดค่าอุณหภูมิ แสง และความชื้นในอาคาร โดยนำข้อมูลข้างต้นส่งเข้าไปที่ซอฟต์แวร์เพื่อการจัดการ โดยซอฟต์แวร์จะควบคุมปริมาณน้ำ ระบบทำความเย็น ระบบทำความร้อน และ ระบบแสงสว่าง

งานวิจัยของ Sharul Agrawal และ Ravi N. Prakash (2014) ได้นำเสนอระบบเครือข่ายไร้สายไร้สายเพื่อการติดตามอุณหภูมิและการควบคุมโรบอท โดยมีตำแหน่งที่แม่นยำ โดยพัฒนาโรบอทบนพื้นฐานฮาร์ดแวร์ NI Starter Kit และ อาร์ดูโน้บอร์ด โดยใช้ซิกส์บีเป็นตัวจัดตั้งระบบเครือข่ายและรับส่งสัญญาณ โดยทำการเดินโรบอทและตรวจวัดค่าอุณหภูมิภายในห้องแล็บที่ทำการทดลอง

บทความวิจัยที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย “ก” แทนงานวิจัยของ Vongsagon Boonsawat และคณะ (2010) “ข” แทนงานวิจัยของ Tomasz Naumowicz และคณะ (2010) “ค” แทนงานวิจัยของ Michael G. Rodriguez และคณะ (2011) “ง” แทนงานวิจัยของ Abdullah Kadri และคณะ (2013) “จ” แทนงานวิจัยของ Imran Bin Jafar และคณะ (2014) “ฉ” แทนงานวิจัยของ Sharul Agrawal และ Ravi N. Prakash (2014) และ “ซ” แทนงานวิจัย ต้นแบบระบบการประมาณค่าในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ด้วยอัลกอริทึมทินเพลทสไปดน์บนระบบเครือข่ายไร้สายซิกส์บี (งานวิจัยของ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้)

ตารางที่ 2.7 ตารางการเปรียบเทียบค่างานวิจัย

กระบวนการทำงานและการออกแบบ	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง						
	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ	ช
การค้นคว้าและพัฒนาเครือข่ายรับรู้ไร้สาย							
พัฒนาบนซิกส์บี	✓		✓			✓	✓
อื่นๆ		✓		✓	✓		
ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการพัฒนาโหนด							
พัฒนาบนอาร์ดูโน	✓				✓	✓	✓
อื่นๆ		✓	✓	✓			
การประยุกต์ใช้งาน							
การวิเคราะห์อุณหภูมิตัว	✓		✓				✓
การจัดการระบบเรือนกระจก					✓		
การวิเคราะห์หิมลพิษ				✓			
การเฝ้าระวังศูนย์ Data Center						✓	
การติดตามการย้ายถิ่นฐานของสัตว์		✓					
ลักษณะการเก็บข้อมูล							
กำหนดพิกัดตายตัว (Static Node)	✓		✓	✓	✓		
แบบมีการเคลื่อนไหว (Dynamic Node)		✓				✓	✓
การแก้ปัญหาโอเวอร์ฟิตติ้ง							
มินิมัมเดสคริปชันเลนจ์							✓

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาการค้นแบบระบบการประมาณค่าข้อมูล ในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ด้วยอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์บนเครือข่ายรับรู้ไร้สายซิกส์บี โดยทำการตรวจวัดอุณหภูมิผ่านเซนเซอร์บนซิกส์บี โหนด และสื่อสารข้อมูลโดยใช้มาตรฐาน โพรโตคอล IEEE 802.15.4/ZigBee เป็นฐานในการค้นคว้าและพัฒนา ระบบ โดยทำการพัฒนาระบบค้นแบบขึ้นมาเพื่อการตรวจวัดอุณหภูมิ ณ สนามทดสอบที่ได้สร้างขึ้นซึ่งมีขนาด กว้าง 4.8 เมตร และ ยาว 5.1 เมตร โดยนำข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิจากซิกส์บี โหนดมาประมวลผลเพื่อสร้างโมเดลพื้นผิวข้อมูลจากการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) ของอุณหภูมิในบริเวณที่ตรวจวัดในสนามทดสอบและเมื่อทำการทดสอบไปถึงระยะที่ซิกส์บี เริ่มเดินเก็บข้อมูลทับเส้นทางกันการทดลองก็จะเกิดการเก็บข้อมูลซ้ำซ้อนจนเกิดปัญหาโอเวอร์ฟิตติ้งของข้อมูลเกิดขึ้น เมื่อเกิดปัญหาขึ้นในการทดลองในพื้นที่ทดสอบภาคสนามจึงต้องมีวิธีแก้ไขปัญหาล่าช้า โดยใช้อัลกอริทึมมินิแมคสคริปชันเลนจ์เพื่อคัดกรองจำนวนจุดที่มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้สร้างโมเดลข้อมูลจากอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์เนื่องจากในการคำนวณค่าโมเดลพื้นที่ผิวของข้อมูลโดยใช้อัลกอริทึมทินเพลทสไปล์นั้น ใช้อินเวอร์สเมทริกในการคำนวณหาโมเดลจึงทำให้เมื่อมีข้อมูลจำนวนมากๆและมีการซ้ำซ้อนกันจะทำให้เครื่องเซิร์ฟเวอร์ใช้ทรัพยากรจำนวนมากในการคำนวณหาโมเดลแต่ละครั้งซึ่งหากนำข้อมูลที่ถูส่งมาจากซิกส์บี โหนดมาผ่านกระบวนการของอัลกอริทึมมินิแมคสคริปชันเลนจ์ก็จะได้จำนวนจุดที่เหมาะสมที่จะยึดถือไว้ในการสร้างโมเดลข้อมูลที่มีประสิทธิภาพต่อไปและหากซิกส์บี โหนดส่งข้อมูลเข้ามาที่เครื่องเซิร์ฟเวอร์อย่างต่อเนื่องแต่ข้อมูลไม่มีน้ำหนักมากพอที่จะเปลี่ยนแปลงโมเดลก็จะไม่ถูกนำมาคิดคำนวณในการสร้างโมเดลพื้นผิวข้อมูลจากอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์อีก สำหรับเนื้อหาในบทนี้จะได้นำเสนอขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัยโดยเริ่มจากหัวข้อที่ 3.1 ระเบียบวิธีวิจัย หัวข้อที่ 3.2 ภาพรวมของระบบ หัวข้อที่ 3.3 การออกแบบและการพัฒนา หัวข้อที่ 3.4 คุณสมบัติของระบบ และ หัวข้อที่ 3.5 สนามทดสอบและการทดสอบ

3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1.1 ศึกษาค้นคว้า และรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.2 ศึกษาข้อมูลฮาร์ดแวร์ของต้นแบบระบบการประมวลผลค่าข้อมูลในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ด้วยอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์บนได้แก่

3.1.2.1 ภาคการรับส่งสัญญาณ ZigBee Pro Series1 (Wire Antenna)

3.1.2.2 ภาคการประมวลผลข้อมูล Arduino USB Board with ATMEGA328
Microcontroller

3.1.2.3 เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ Dallas DS18B20

3.1.3 ศึกษาทอพอโลยีในการค้นหาเส้นทางสื่อสารของมาตรฐาน โพรโตคอล IEEE 802.15.4/ZigBee

3.1.4 พัฒนาเครื่องมือที่จำเป็นเพื่อช่วยในการทดลองดังนี้

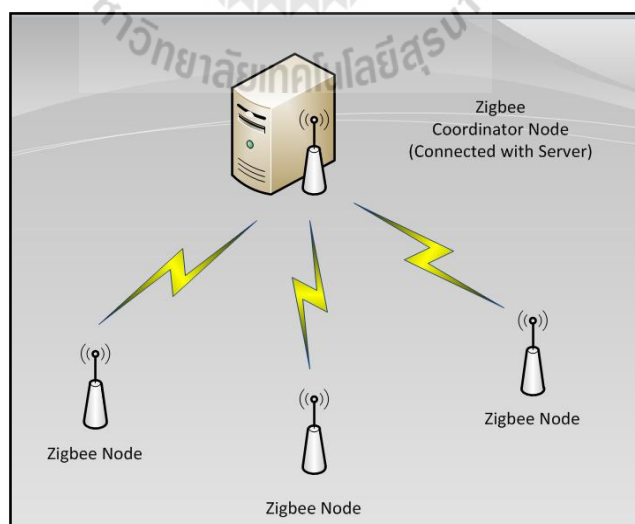
3.1.4.1 ซอฟต์แวร์ประมวลผล: ใช้ภาษาซี ในการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อประมวลผลการประมวลผลในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่โดยอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์

3.1.4.2 ระบบแสดงผล: ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการคำนวณคณิตศาสตร์ประมวลผลสร้างโมเดลพื้นผิวข้อมูลแบบสามมิติ

3.1.5 ทดสอบระบบ

3.1.6 วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

3.2 ภาพรวมของระบบ



รูปที่ 3.1 ภาพรวมของต้นแบบระบบการประมวลผลค่าข้อมูลในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ด้วยอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์บนเครือข่ายรับรู้อิสรายซิกบี

จากแผนภูมิระบบแสดงองค์ประกอบของต้นแบบระบบการประมาณค่าข้อมูลในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ด้วยอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์บนเครือข่ายรับรู้ไร้สายซิกส์บี ประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายที่ให้บริการเป็นเซิร์ฟเวอร์เพื่อประมวลผลข้อมูลอุณหภูมิที่ได้จากการตรวจวัดจากซิกส์บี โหนดซึ่งทำการเก็บค่าอุณหภูมิ และซิกส์บี โคออร์ดิเนเตอร์เชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย ซิกส์บี โหนดทำการตรวจวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ภายในสนามทดสอบ ขนาดกว้าง 4.8 เมตร และ ยาว 5.1 เมตร ซึ่งแผนภูมิระบบแสดงรูปแบบทอพอโลยีในการติดต่อสื่อสารแบบสตาร์โดยซิกส์บี โหนดเชื่อมต่อกับโคออร์ดิเนเตอร์ โหนดเพียงโหนดเดียว

3.3 การออกแบบและการพัฒนา

การออกแบบและการพัฒนาต้นแบบระบบการประมาณค่าข้อมูลในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ด้วยอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์บนเครือข่ายรับรู้ไร้สายซิกส์บี แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ ดังนี้

3.3.1 ระบบซอฟต์แวร์ประมวลผลการประมาณค่าในช่วงด้วยอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์ โดยระบบใช้พื้นฐานการพัฒนาโปรแกรมจากภาษาซีดังแสดงการรัน โปรแกรมตามรูปภาพที่ 3.2

```

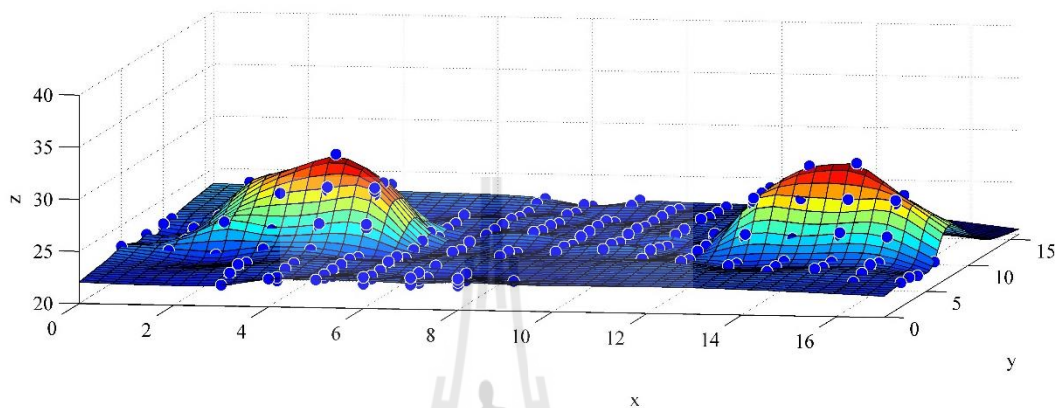
=====
L matrix is
0.0000 25.4719 31.2512 1.2937 5.8100  || 1.0000 3.6929 10.3819
25.4719 0.0000 24.9804 18.8507 1.9392  || 1.0000 6.5827 8.8386
31.2512 24.9804 0.0000 7.0361 8.6020  || 1.0000 6.7756 12.0866
1.2937 18.8507 7.0361 0.0000 1.4674  || 1.0000 4.8189 11.2047
5.8100 1.9392 8.6020 1.4674 0.0000  || 1.0000 5.6969 10.0748
=====
1.0000 1.0000 1.0000 1.0000 1.0000  || 0.0000 0.0000 0.0000
3.6929 6.5827 6.7756 4.8189 5.6969  || 0.0000 0.0000 0.0000
10.3819 8.8386 12.0866 11.2047 10.0748  || 0.0000 0.0000 0.0000
=====

L inverse matrix is
0.0493 -0.0023 0.0329 -0.0744 -0.0055  || 1.9272 -0.3155 -0.0581
-0.0023 0.0389 -0.0004 0.0439 -0.0801  || 1.8135 0.1776 -0.2926
0.0329 -0.0004 0.0219 -0.0485 -0.0059  || -3.7803 0.1727 0.2470
-0.0744 0.0439 -0.0485 0.1546 -0.0756  || -0.7252 -0.0275 0.1408
-0.0055 -0.0801 -0.0059 -0.0756 0.1671  || 1.7648 -0.0073 -0.0371
=====
1.9273 1.8135 -3.7803 -0.7252 1.7648  || 701.0577 -29.6452 -50.9493
-0.3155 0.1776 0.1727 -0.0275 -0.0073  || -29.6452 4.9554 0.1447
-0.0581 -0.2926 0.2470 0.1408 -0.0371  || -50.9493 0.1447 4.8337
=====

```

รูปที่ 3.2 ภาพการรันโปรแกรมการประมาณค่าในช่วงด้วยอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์

3.3.2 ระบบการแสดงผลพีชการคำนวณแบบวิซวลไลเซชันจะแสดงผลพีชจากการประมวลผลโมเดลพื้นผิวของข้อมูลในรูปแบบสามมิติ โดยนำข้อมูลดิบที่ได้จากรันโปรแกรมในข้อที่ 3.3.1 ไปประมวลผล ดังแสดงในรูปที่ 3.3



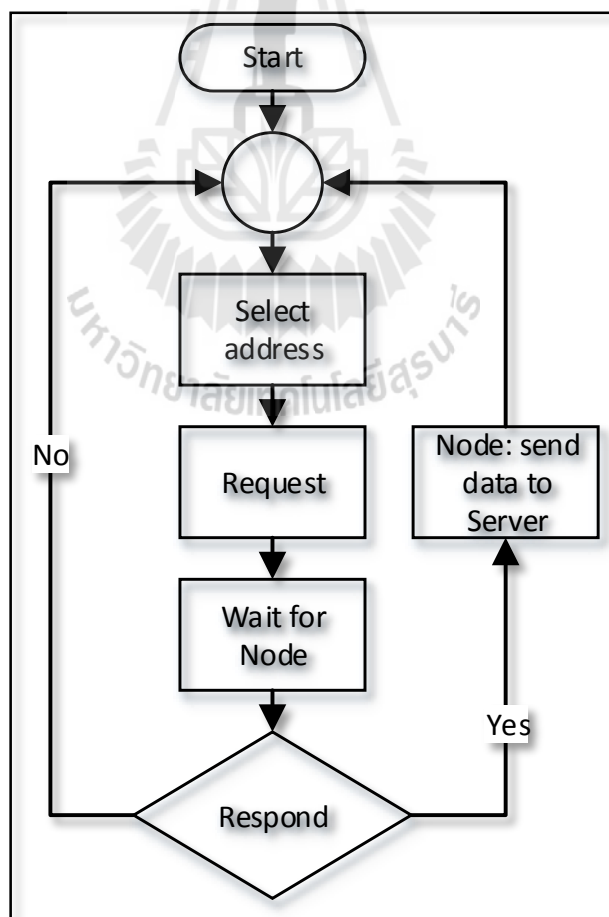
รูปที่ 3.3 ภาพการรันโปรแกรมการประมาณค่าในช่วงด้วยอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์

3.3.3 การแก้ปัญหาจำนวนข้อมูลที่ซิกส์บีส่งมายังเครื่องเซิร์ฟเวอร์มากเกินไป เนื่องจากการส่งข้อมูลจากซิกส์บีนั้นมีส่งข้อมูลเข้ามาที่ระบบเซิร์ฟเวอร์อย่างต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลา โดยใช้สมการที่ (8) จากอัลกอริทึมมินิมัมเดสคริปชันเลนจ์ คำนวณหาค่าความเหมาะสมของจำนวนจุดที่เครื่องเซิร์ฟเวอร์จะขีตถือและนำมาใช้สร้างโมเดลข้อมูล เมื่อได้ค่าที่เหมาะสมที่จะขีตถือในการสร้างโมเดลแล้วเมื่อซิกส์บีส่งข้อมูลเข้ามาเพิ่มและข้อมูลนั้นไม่มีน้ำหนักตามการคำนวณของอัลกอริทึมมินิมัมเดสคริปชันเลนจ์แล้วเครื่องเซิร์ฟเวอร์ก็จะไม่นำข้อมูลส่วนนั้นมาคิดคำนวณในการสร้างโมเดล ดังแสดงผังงานของอัลกอริทึมมินิมัมเดสคริปชันเลนจ์

3.3.4 ระบบการติดต่อสื่อสารระหว่างซิกส์บีโหนดและซิกส์บีโคออร์ดิเนเตอร์ในส่วนนี้ได้แบ่งการออกแบบออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (ZigBee Coordinator) และ ส่วนที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ (ZigBee Node) โดยซิกส์บีโคออร์ดิเนเตอร์จะเชื่อมต่อกับซิกส์บีซีเรียล โมดูลเพื่อติดต่อกับซิกส์บีโหนดอื่นๆ ส่วนซิกส์บีโหนดจะถูกเขียนโปรแกรมการทำงานลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์ยูนิต

3.3.4.1 ซิกส์บีโคออร์ดิเนเตอร์ : ทำหน้าที่เป็นเกตเวย์ในระบบเครือข่ายคอยรับข้อมูลจากซิกส์บีโหนดที่ส่งเข้ามาหาเครื่องเซิร์ฟเวอร์และส่งข้อมูลเหล่านั้นผ่านยูเอสบีซีเรียลพอร์ตให้กับเครื่องเซิร์ฟเวอร์ ซิกส์บีโคออร์ดิเนเตอร์ทำการคิดตั้งโมดูลรับส่งที่สัญญาณที่ทำหน้าที่เป็น

แม่ข่ายในการติดต่อรับส่งข้อมูลอุณหภูมิที่เก็บค่าได้จากซิกส์บีโหนดทุกๆตัว โดยโมดูลซิกส์บีซิกส์บีโคโอออร์ดิเนเตอร์เชื่อมต่อผ่านสาย USB มายังตัวเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย โดยการทำงานของซิกส์บีโคโอออร์ดิเนเตอร์จะทำงานโดยเลือกแอดเดรสของซิกส์บีโหนดที่ต้องการส่งข้อมูลไป หลังจากนั้นร้องขอไปยังโหนดว่าต้องการส่งข้อมูลมายังโคโอออร์ดิเนเตอร์หรือไม่ ถ้าโหนดมีความต้องการส่งข้อมูลก็จะส่งข้อมูลกลับมา แต่ถ้าโหนดไม่มีความต้องการส่งข้อมูลกลับมายังมายังโคโอออร์ดิเนเตอร์ ซิกส์บีโคโอออร์ดิเนเตอร์ก็จะทำการวนลูปถามไปยังโหนดอีกครั้ง ซิกส์บีโคโอออร์ดิเนเตอร์จะทำการจัดการลำดับของตารางการรับส่งข้อมูลของซิกส์บีโหนดแต่ละโหนดด้วย โดยการเชื่อมต่อระหว่างซิกส์บีโคโอออร์ดิเนเตอร์และคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์เชื่อมต่อผ่าน Xbee USB Explorer ที่ติดตั้งซิกส์บีโคโอออร์ดิเนเตอร์เอาไว้ ซึ่งตัวโคโอออร์ดิเนเตอร์ถูกกำหนดตั้งค่าเป็นศูนย์กลางของเครือข่ายแบบสตาร์จากซอฟต์แวร์ X-CTU ซึ่งในการทดลองนี้มีตัวเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายจำนวน 1 เครื่อง ดังแสดงรูปภาพของซิกส์บีโคโอออร์ดิเนเตอร์และผังงานการทำงานในรูปที่ 3.4 และ 3.5

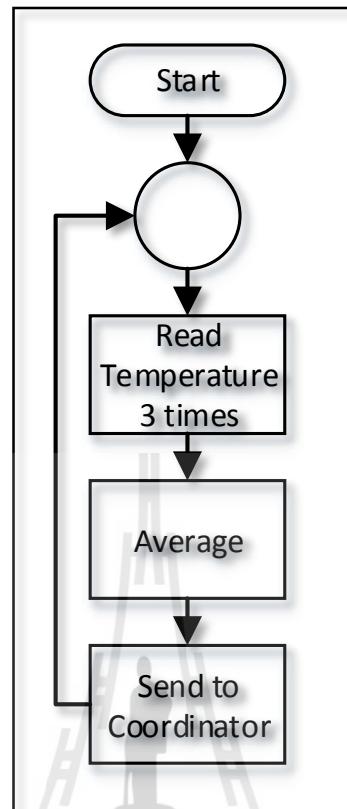


รูปที่ 3.4 ผังงานแสดงขั้นตอนการทำงานของซิกส์บีโคโอออร์ดิเนเตอร์

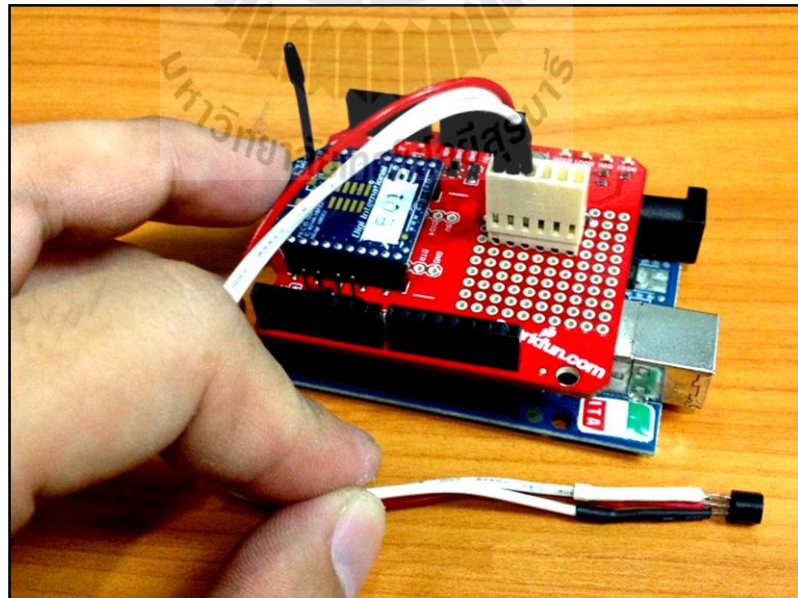


รูปที่ 3.5 ภาพแสดงซิกส์บีโคออร์ดิเนเตอร์

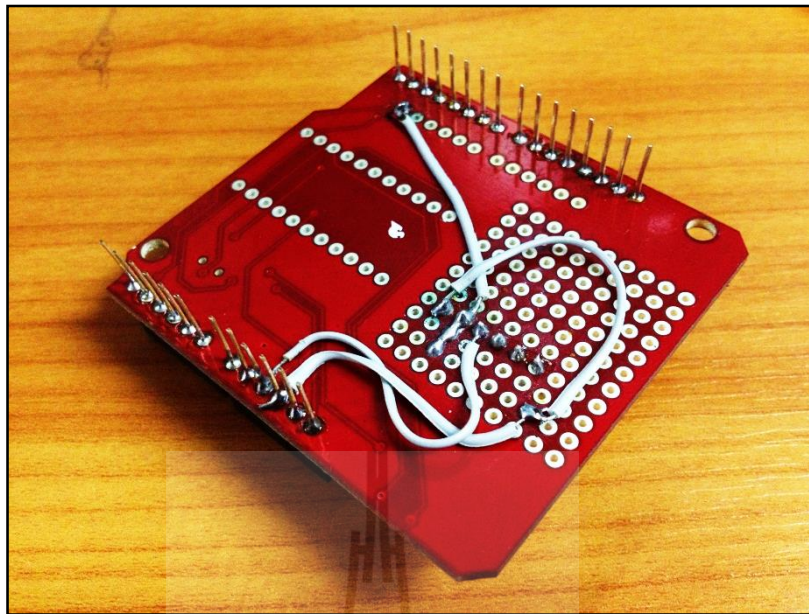
3.3.4.2 ซิกส์บีโหนด : เป็นอุปกรณ์ปลายทาง (End Device) ในระบบเครือข่ายซึ่งซิกส์บีโหนดแต่ละตัวอาจจะมีเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิได้มากกว่า 1 ตัวซึ่งซิกส์บีโหนดจะตรวจวัดค่าอุณหภูมิและส่งข้อมูลเข้ามาอย่างต่อเนื่องให้ซิกส์บีโคออร์ดิเนเตอร์เพื่อนส่งให้เซิร์ฟเวอร์ประมวลผลต่อไป ในงานวิจัยครั้งนี้ซิกส์บีโหนดแต่ละโหนดจะประกอบด้วยโมดูลรับส่งสัญญาณและอาร์ไดโนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ DS18B20 เข้าไปบนซิกส์บีโหนดแต่ละโหนดเพื่อทำการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ โดยการตรวจวัดค่าอุณหภูมิของซิกส์บีโหนดจะทำงานวนลูปโดยการอ่านค่าจากเซนเซอร์ ประมวลผลโดยอาร์ไดโนไมโครคอนโทรลเลอร์และส่งค่าผ่านซิกส์บีโมดูลผ่านไปยังเครื่องแม่ข่าย โดยมีซิกส์บีโหนดที่ทำการทดสอบจำนวน 3 โหนด โดยแสดงรูปแบบของโหนดและผังงานการทำงานดังรูปที่ 3.6 ถึง 3.9



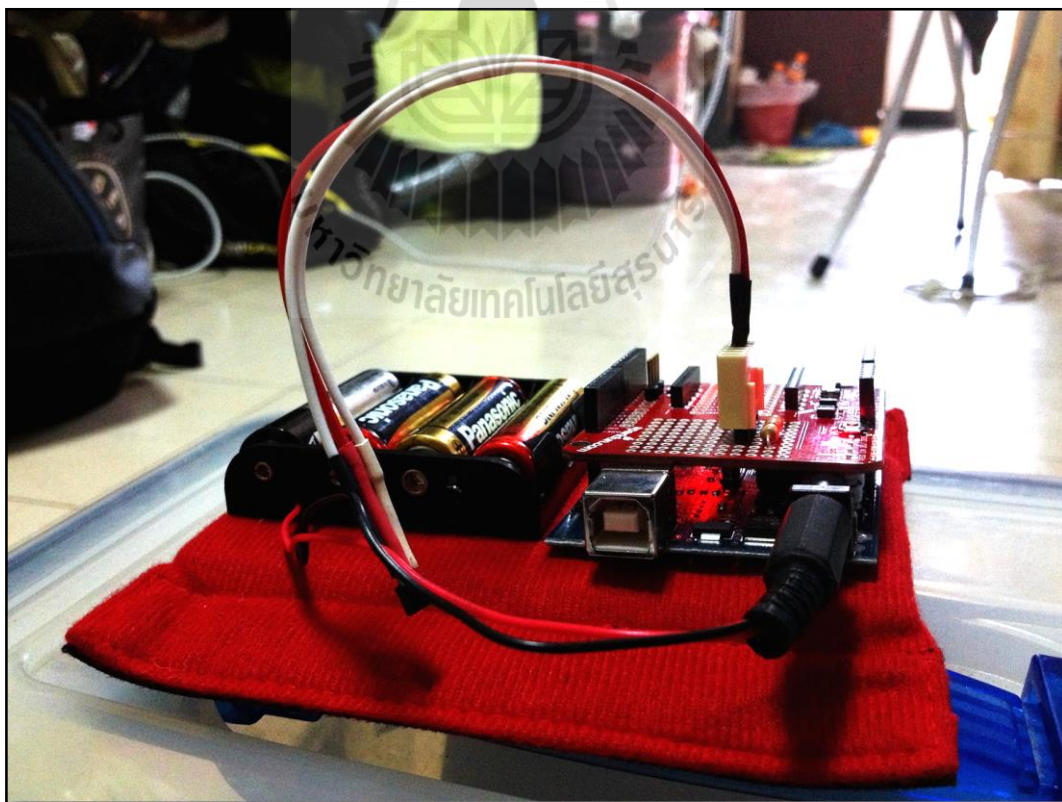
รูปที่ 3.6 ผังงานแสดงขั้นตอนการทำงานของซิกส์บีโนด



รูปที่ 3.7 แสดงรูปภาพซิกส์บีโนดพร้อมติดตั้งเซ็นเซอร์ Dallas DS18B32



รูปที่ 3.8 แสดงรูปภาพการเชื่อมต่อวงจรของเซ็นเซอร์ Dallas DS18B32 บน Arduino ZigBee Shield



รูปที่ 3.9 แสดงรูปภาพการเชื่อมต่อซิกส์บีโหมดแบบสมบูรณ์

3.4 คุณสมบัติของระบบ

ต้นแบบระบบการประมวลค่าข้อมูลในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ด้วยอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์บนเครือข่ายรับรู้ไร้สายซิกส์บีแบ่งคุณสมบัติต่างๆของระบบออกเป็น 4 ส่วนดังนี้

3.4.1 คุณสมบัติของระบบเครือข่าย (Network Specification) :

สตาร์ทอปอโลยี: การติดต่อสื่อสารถูกจัดตั้งขึ้นระหว่างอุปกรณ์หลายๆตัว และอุปกรณ์ที่เป็นศูนย์กลางของระบบเครือข่ายซึ่งทำหน้าที่ควบคุมอุปกรณ์ตัวอื่นๆในระบบเครือข่ายซึ่งเรียกอุปกรณ์ชนิดนี้ว่า PAN Coordinator ซึ่ง PAN Coordinator อาจจะใช้ พลังงาน หลักจากระบบไฟฟ้าแต่อุปกรณ์ชนิดอื่นอาจใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ การเชื่อมต่อแบบ Star อาจจะไม่จำเป็นสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบ Wireless Sensor Network ทั่วไป การเชื่อมต่อแบบ Star สำหรับ ZigBee ถูกออกแบบมาเพื่อการใช้หลักคือการติดต่อสื่อสารจากหนึ่งโหนดไปยังหลายๆโหนดเท่านั้น

3.4.2 คุณสมบัติของระบบฮาร์ดแวร์ (Hardware Specification) :

3.4.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ยูนิต: ใช้ Arduino Duemilanove Board ซึ่งประมวลผลโดย ชิพ ATMEGA 328 ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลกลางควบคุมการทำงานของบอร์ดโดยเขียนโปรแกรมผ่านพอร์ตยูเอสบีและทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน ให้กับทุกๆ Module ที่ติดตั้งอยู่บนอาร์ดูโน้ ซึ่งอาร์ดูโน้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ประกอบไปด้วยประกอบไปด้วยขารับ/ส่งข้อมูลแบบอนาล็อก 5 ขา ขารับ/ส่งข้อมูลแบบ ดิจิตอล 13 ขาซึ่งสามารถติดตั้งเข้ากับอุปกรณ์ชนิดอื่นๆได้ด้วย

3.4.2.2 เซนเซอร์: เซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ DS18B32 ซึ่งอ่านข้อมูลเป็นรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าหลังจากนั้น จะถูกประมวลผลเป็นสัญญาณดิจิตอลโดยอาร์ดูโน้ไมโครคอนโทรลเลอร์ยูนิต โดยเซนเซอร์ DS18B20 มีความสามารถในการตรวจวัดอุณหภูมิในช่วง -55 องศาเซลเซียส ไปจนถึง +125 องศาเซลเซียส แต่มีความแม่นยำที่ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส ไปจนถึง +85 องศาเซลเซียส

3.4.2.3 ซิกส์บี โมดูล: ใช้ ZigBee RF Module (XBee S2 Wire Antenna) เป็นภาครับ/ส่ง สัญญาณซึ่งใช้มาตรฐานโพรโตคอลสื่อสาร IEEE 802.15.4/ZigBee ในการสื่อสารซึ่งรองรับ Topology ระยะส่งข้อมูลระหว่างโหนด 100เมตร

3.4.3 คุณสมบัติของระบบซอฟต์แวร์ (Software Specification) :

3.4.3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ยูนิต: ใช้ Arduino IDE ในการพัฒนาโปรแกรมต่างๆและใช้ในการ Burn Code ลงบน Arduino USB Board

3.4.3.2 เซิร์ฟเวอร์: ใช้ภาษาซีในการพัฒนาโปรแกรมประมวลผลการประมาณค่าในช่วงด้วยอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์ ซึ่งทำงานอยู่บนเครื่องเซิร์ฟเวอร์ประมวลผลข้อมูล

3.4.3.3 ระบบวิซวลไลซ์เซชัน: ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางการคำนวณสร้างรูปภาพพื้นผิวข้อมูลสามมิติ

3.4.4 ข้อจำกัดของระบบ (System Limitation)

3.4.4.1 ระยะทางระหว่างชิคส์บีโคออร์ดิเนเตอร์และชิคส์บีโหนด ต่างๆซึ่งถูกขวางกั้นด้วยสิ่งกีดขวางทางกายภาพ เช่น ต้นไม้ อาคาร หรือสิ่งปลูกสร้างอื่นๆ ซึ่งอาจจะทำให้คุณภาพสัญญาณการสื่อสารลดลง หรือ อาจจะเพิ่มความล่าช้าในการติดต่อสื่อสารระหว่างชิคส์บีโคออร์ดิเนเตอร์และชิคส์บีโหนด

3.4.4.2 หากในระหว่างการทดสอบระบบมีปัจจัยแวดล้อมทางธรรมชาติที่ไม่สามารถควบคุมได้เช่นกระแสลมที่พัดผ่านสนามทดสอบแบบจากหลากหลายทิศทางจะทำให้คลื่นความร้อนจากแหล่งความร้อนถูกพัดพาไปในทิศทางลมแบบไร้ทิศทางด้วยจึงทำให้เกิดปัญหาโอเวอร์ฮีตติ่งของระบบในการคำนวณ ณ ช่วงเวลานั้นๆด้วย

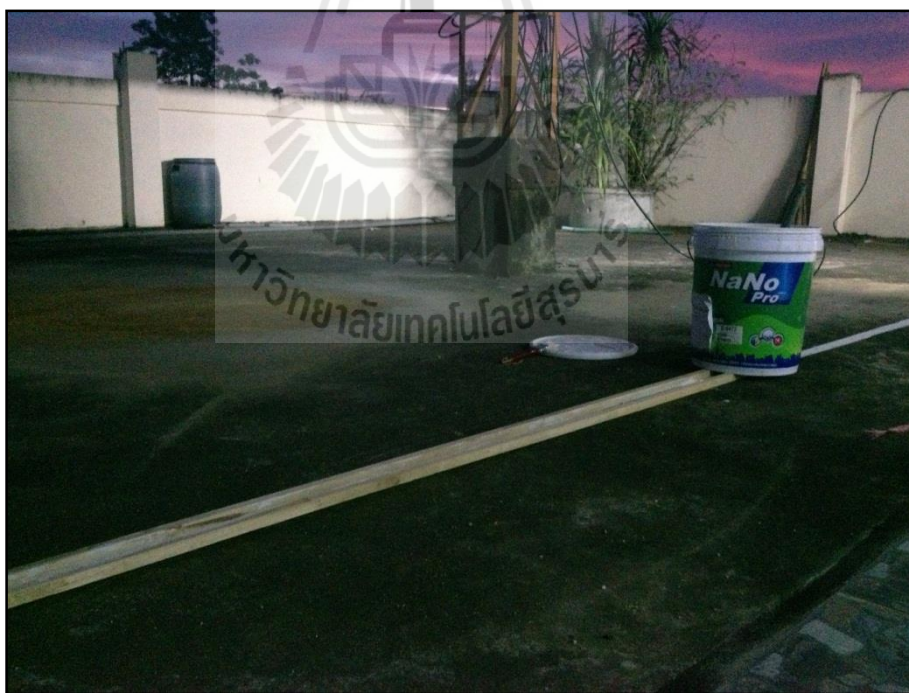
3.5 สนามทดสอบและการทดสอบ

ในการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการสร้างสนามทดสอบระบบขนาดกว้าง 4.8 เมตร และยาว 5.1 เมตร เพื่อทำการทดสอบการตรวจวัดค่าอุณหภูมิโดยใช้ถ่านอัดแท่งจุดไฟจำนวน 16 แท่ง โดยแบ่งถ่านอัดแท่งที่จุดไฟแล้วเป็น 2 กองๆละเท่าๆกัน

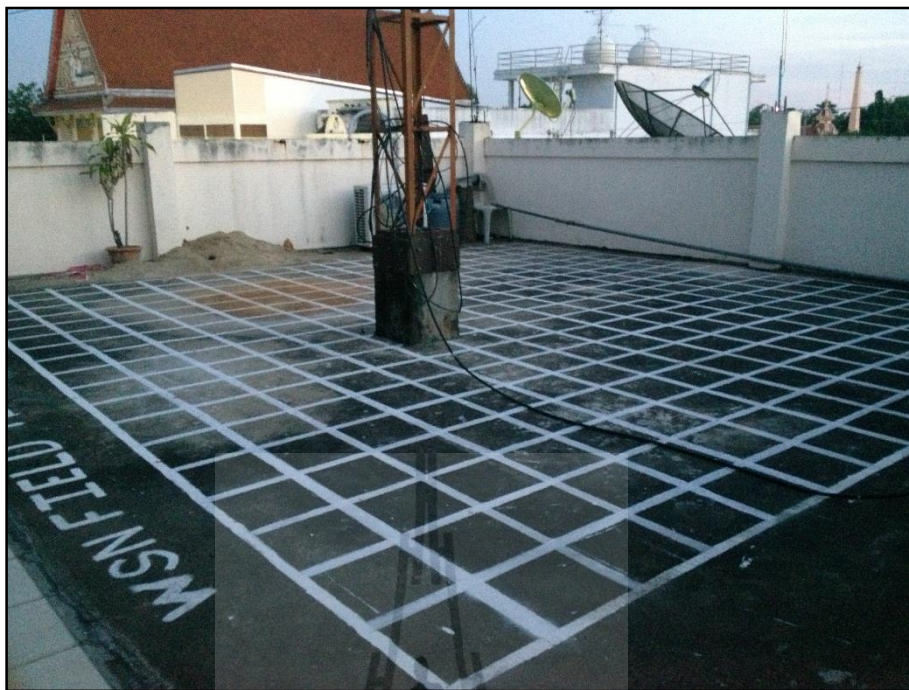
การทดสอบแบ่งออกเป็น 3 ครั้ง โดยการสุ่มเก็บข้อมูลจำนวน 600 จุด 1200 จุด และ 1800 จุด ตามลำดับ โดยเมื่อเสร็จสิ้นการเก็บข้อมูลแต่ละชุดแล้วก็จะนำข้อมูลแต่ละชุดมาทำการทดสอบหาความคลาดเคลื่อนของข้อมูลแต่ละชุดโดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุดด้วยกัน โดยชุดแรกข้อมูลส่วนที่ใช้สร้างโมเดล (Training Data) คือข้อมูลจำนวน 75 เปอร์เซ็นต์ ของข้อมูลทั้งหมดที่ทำการทดสอบ และ ชุดที่สองข้อมูลส่วนที่นำมาทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลข้อมูล (Testing Data) คือข้อมูลจำนวน 25 เปอร์เซ็นต์ที่เหลือจากชุดแรก



รูปที่ 3.10 แสดงรูปถ่านอัดแท่งที่นำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนเพื่อทำการตรวจวัดค่า
อุณหภูมิ



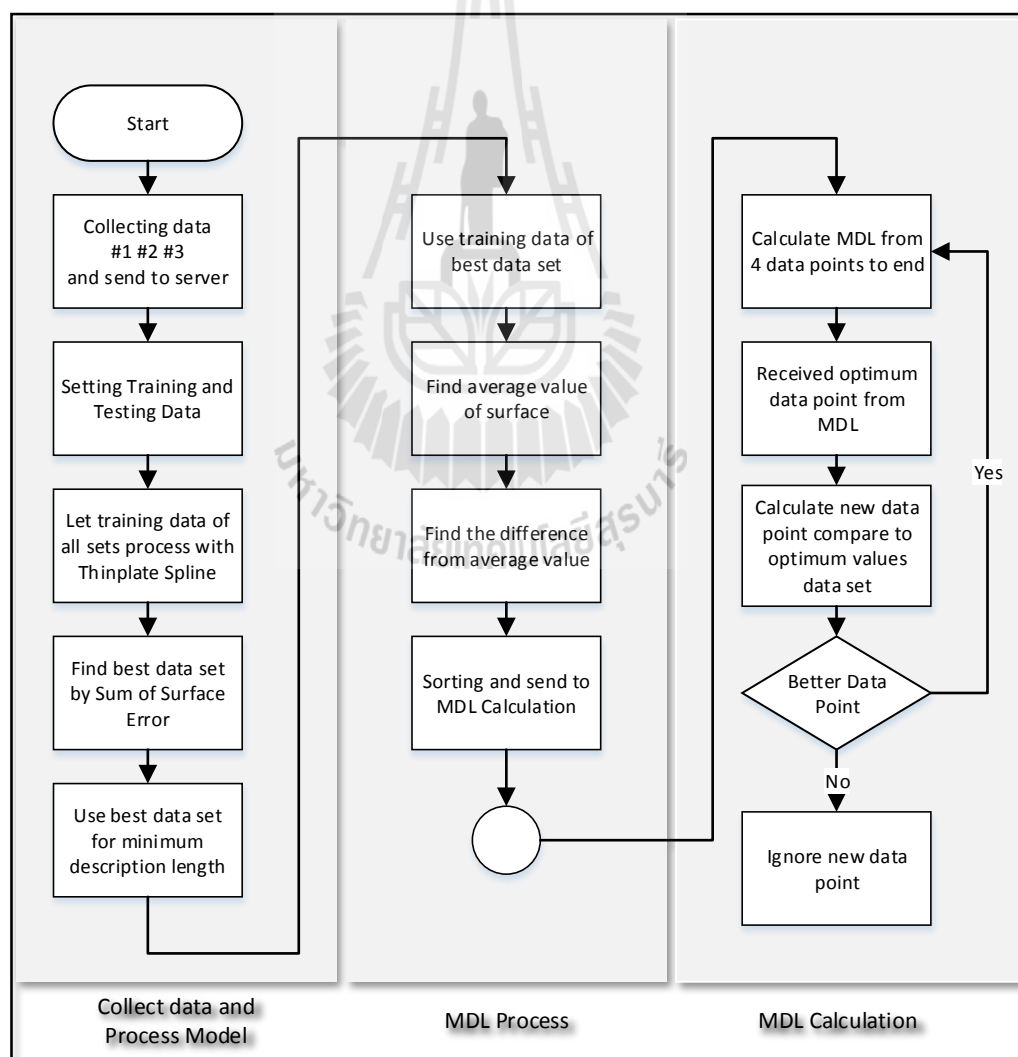
รูปที่ 3.11 แสดงรูปการสร้างพื้นที่สนามทดสอบ



รูปที่ 3.12 แสดงพื้นที่สนามทดสอบ

ในการทดสอบผู้วิจัยได้กำหนดรูปแบบ โมเดลของการทดลอง โดยการทดลองเริ่มจากการให้ซิกส์ปี โหนดเดินสุ่มเก็บข้อมูลตามจำนวนครั้งของการเดินที่กำหนดเอาไว้คือ 600 1200 และ 1800 ครั้ง เมื่อดำเนินการเก็บข้อมูลเสร็จสิ้นทั้ง 3 ครั้งแล้ว ทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดแรกข้อมูลส่วนที่ใช้สร้าง โมเดล จำนวน 75 เปอร์เซ็นต์ของข้อมูลทั้งหมดที่ทำการทดสอบ และ ชุดที่สองข้อมูลส่วนที่นำมาทดสอบประสิทธิภาพของ โมเดลข้อมูลคือข้อมูลจำนวน 25 เปอร์เซ็นต์ที่เหลือจากชุดแรก จากนั้นจึงนำข้อมูลส่วนที่แรกของทั้ง 3 ชุดมาสร้าง โมเดล โดยใช้อัลกอริทึมทวินเพลทสไปล์เมื่อได้ โมเดลข้อมูลจากอัลกอริทึมทวินเพลทสไปล์ ทั้ง 3 ชุด จึงมาคำนวณหาค่าผลรวมค่าความคลาดเคลื่อนของพื้นผิวข้อมูล เมื่อได้ผลการคำนวณจึงเลือกชุดข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดไปเข้ากระบวนการของอัลกอริทึมมินิมัมเดสคริปชันเลนจ์ โดยกระบวนการของอัลกอริทึมมินิมัมเดสคริปชันเลนจ์ จะทำการจัดเรียงข้อมูลและหาค่าเฉลี่ยของ โมเดลพื้นผิวข้อมูล เมื่อได้ค่าเฉลี่ยแล้วจึงนำพิกัดทั้งหมดในชุดข้อมูลเพื่อการทดสอบไปเปรียบเทียบกัน โดยที่ให้ความสำคัญกับข้อมูลที่มีความแตกต่างกับค่าเฉลี่ยมากที่สุดในการเลือกข้อมูลเหล่านั้นไปเข้ากระบวนการของอัลกอริทึมมินิมัมเดสคริปชันเลนจ์ โดยการคำนวณของอัลกอริทึมมินิมัมเดสคริปชันเลนจ์ จะวนลูปเลือกค่าจากชุดข้อมูลทดสอบตั้งแต่ 4 จุดขึ้นไป วนซ้ำไปจนครบกับจำนวนข้อมูลสูงสุดของชุดข้อมูล เมื่อทำการคำนวณจนครบแล้วจึงนำค่าที่ได้จากการคำนวณมา

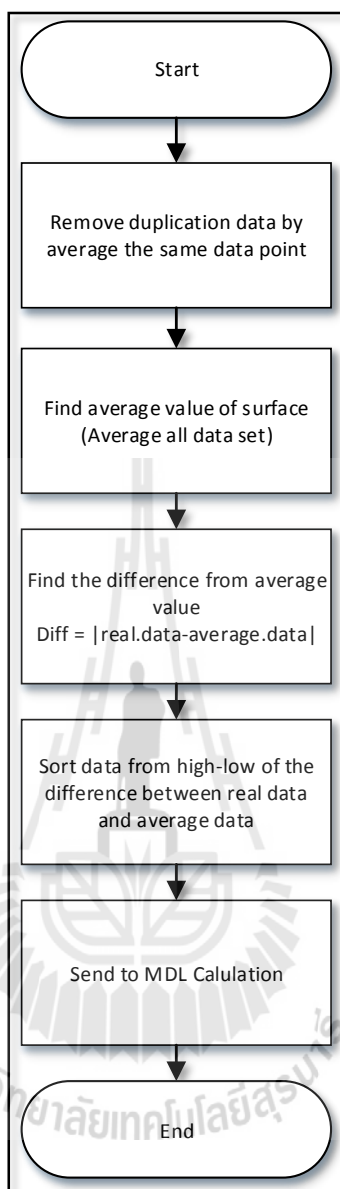
พิจารณาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการเลือกโมเดล เมื่อได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดแล้ว จึงยึดถือค่าที่ได้จากอัลกอริทึมมินิมัมเดสคริปชันเลนจ์ในการเลือกจำนวนจุดเพื่อใช้ในการคำนวณการสร้างโมเดล พื้นผิวข้อมูลจากอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์ โดยเมื่อซิกัสบีโหนดเก็บข้อมูลได้เพิ่มและส่งข้อมูลกลับเข้ามาที่เครื่องเซิร์ฟเวอร์อีก ก็จะนำข้อมูลเหล่านั้นมาผ่านอัลกอริทึมมินิมัมเดสคริปชันเลนจ์เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลเหล่านั้นมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการคำนวณโมเดลหรือไม่ถ้าข้อมูลไม่มีความเหมาะสมก็จะไม่นำมาคิดคำนวณ แต่ถ้าข้อมูลที่ส่งเข้ามามีความเหมาะสมในการคำนวณก็จะนำไปทดแทนข้อมูลส่วนที่อัลกอริทึมมินิมัมเดสคริปชันเลนจ์ได้คัดเลือกเอาไว้ก่อนหน้า โดยสามารถทำความเข้าใจลำดับการทำงานของโมเดลการทดลองได้จากรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงผังงานของโมเดลที่ทำการทดลอง

หลังจากที่ได้ชุดข้อมูลที่ดีที่สุดจากซิกัสบีโหนดแล้วระบบจะนำข้อมูลมาผ่านกระบวนการจัดการข้อมูลของอัลกอริทึมมินิมัมเดสคริปชันเลนจ์ซึ่งก็คือการจัดเรียงข้อมูล โดยการจัดเรียงข้อมูลนั้นในขั้นตอนแรกจะทำการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมดเมื่อเสร็จสิ้นแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะนำข้อมูลแต่ละจุดมาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของข้อมูลเพื่อหาความแตกต่างระหว่างค่าข้อมูลจริงและค่าเฉลี่ย และในขั้นตอนสุดท้ายเมื่อได้ค่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลจริงและค่าเฉลี่ยแล้วนำค่าความแตกต่างที่ได้มาเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย โดยเหตุผลที่จัดเรียงลำดับจากมากไปน้อยก็คือค่าที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยจำนวนมากนั้นส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของรูปทรงพื้นผิวข้อมูลที่เรากำลังทดลองมากกว่าข้อมูลที่มีค่าความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยจำนวนน้อยและเพื่อความเข้าใจในกระบวนการจัดเรียงข้อมูลของอัลกอริทึมมินิมัมเดสคริปชันเลนจ์ให้ชัดเจนยิ่งขึ้นสามารถทำความเข้าใจกระบวนการจัดเรียงข้อมูลเพิ่มเติมได้ดังรูปที่ 3.14





รูปที่ 3.14 แสดงผังงานของกระบวนการจัดเรียงข้อมูล

เมื่อกระบวนการประมวลผลข้อมูลของอัลกอริทึมมินิมัลดิสทริบชันเล่นจ้ในขั้นต้นเสร็จสิ้น การคำนวณจะเกิดขึ้นอีกครั้งก็ต่อเมื่อมีการส่งข้อมูลเข้ามาประมวลผลเพิ่มเติมจากชุดข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณตั้งต้น ซึ่งผลของการคำนวณตั้งต้นนั้นทำให้ได้จำนวนจุดที่จะยึดถือไว้ว่าเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปคำนวณการประมาณค่าในช่วงของอนุภูมิพื้นผิวโดยอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์และเมื่อมีข้อมูลใหม่เข้ามาในระบบจะทำการตรวจสอบว่าข้อมูลใหม่นั้นมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการประมาณค่าในช่วงหรือไม่ โดยนำข้อมูลใหม่ไปเปรียบเทียบกับลำดับความยาว

ของพารามิเตอร์ (Length) ที่ระบบยึดถือไว้เพื่อประมวลผลพื้นผิวข้อมูล ถ้าข้อมูลใหม่มีค่าที่ได้จากการคำนวณโดยอัลกอริทึมมินิมัมเดสคริปชันเลนจ์จากสมการ

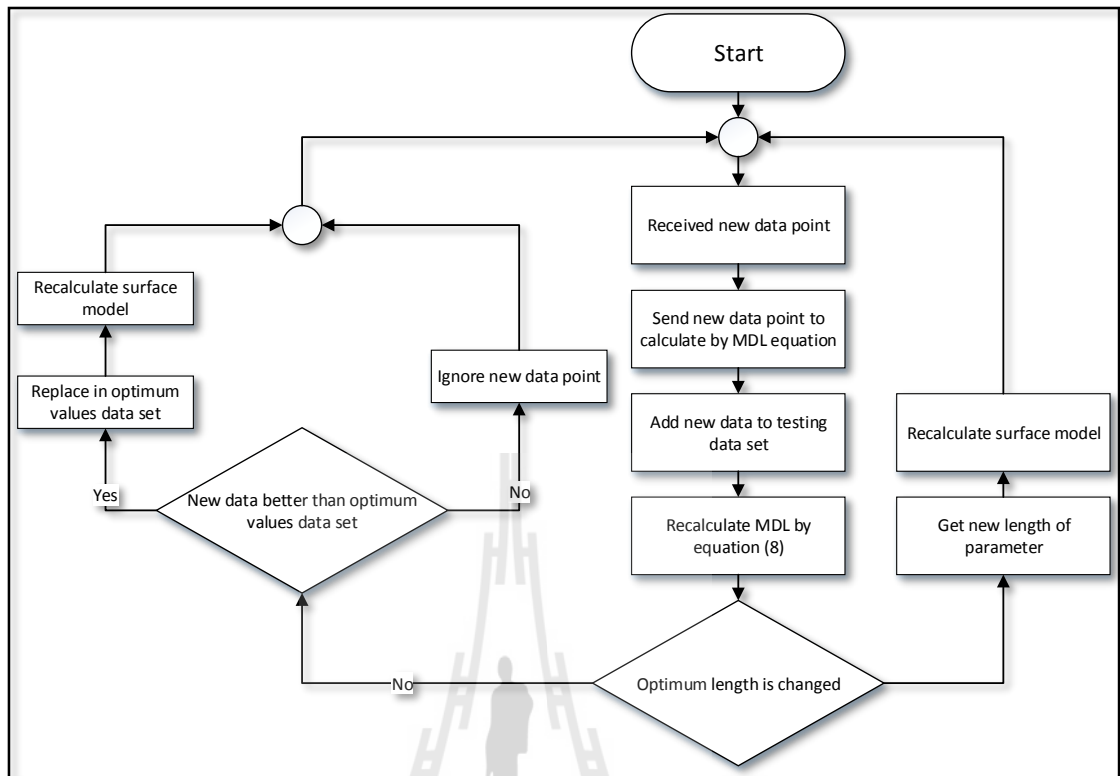
$$L(\hat{\theta}_n) = \left[\frac{1}{m} \left(\sum_{i=4}^m \|f(x_i, y_i) - \hat{f}(x_i, y_i)\| \right) \right] + \frac{k}{2} \log n \quad (3.1)$$

โดยการเปรียบเทียบข้อมูลใหม่และข้อมูลเก่าที่มีอยู่จะถูกนำไปคำนวณโดยนำข้อมูลใหม่ไปเพิ่มในชุดข้อมูลทดสอบและทำการคำนวณข้อมูลใหม่รวมกับข้อมูลเก่าซึ่งทำให้ได้ความยาวของพารามิเตอร์ของข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้นหลังจากนั้นระบบจะทราบข้อมูลว่าความยาวของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่

ถ้าความยาวของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดหลังจากเพิ่มข้อมูลใหม่เข้าไปแล้วไม่มีการเปลี่ยนแปลงระบบจะทำการตรวจสอบข้อมูลใหม่ว่ามีค่าที่ได้จากการคำนวณในสมการที่ (8) ดีกว่าลำดับของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดเดิมหรือไม่ ถ้ามีค่าที่ดีกว่าก็จะนำค่าจากข้อมูลใหม่ไปแทนที่ในลำดับความยาวของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดเดิม แต่ถ้าค่าที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ (8) มีค่าน้อยกว่าค่าความยาวของพารามิเตอร์ที่น้อยที่สุดในลำดับความยาวพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดเดิมก็จะไม่นำข้อมูลใหม่นั้นมาคิดคำนวณในการสร้างพื้นผิวใหม่

อีกนัยหนึ่งถ้าความยาวของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของความยาวพารามิเตอร์เกิดขึ้นระบบก็จะทำการคำนวณ โมเดลพื้นผิวข้อมูลใหม่ทั้งหมดซึ่งเหตุการณ์ในการคำนวณพื้นผิว โมเดลข้อมูลใหม่ทั้งหมดนั้นอาจเกิดจากรูปทรงของพื้นผิวข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงไปจากรูปทรงเดิมมากจนเกินไปจึงทำให้ต้องมีการคำนวณข้อมูลใหม่ทั้งระบบ

โดยกระบวนการคำนวณข้อมูลที่ถูกเพิ่มเข้ามาใหม่สามารถทำความเข้าใจลำดับและขั้นตอนการทำงานได้จากฟังก์ชันของกระบวนการประมวลผลข้อมูลใหม่ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงฟังก์ชันของกระบวนการประมวลผลข้อมูลใหม่

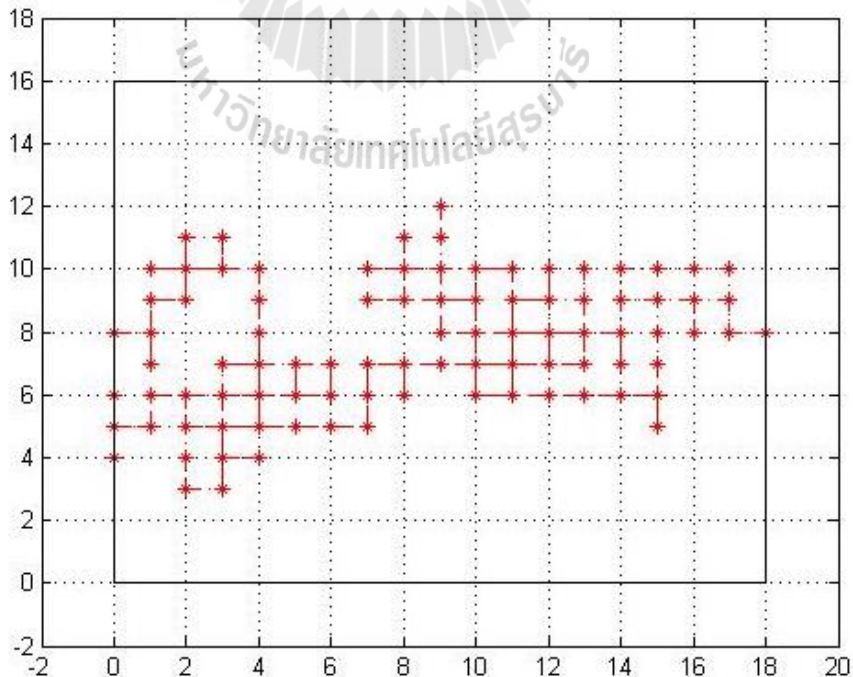
บทที่ 4

ผลการศึกษาและการวิเคราะห์

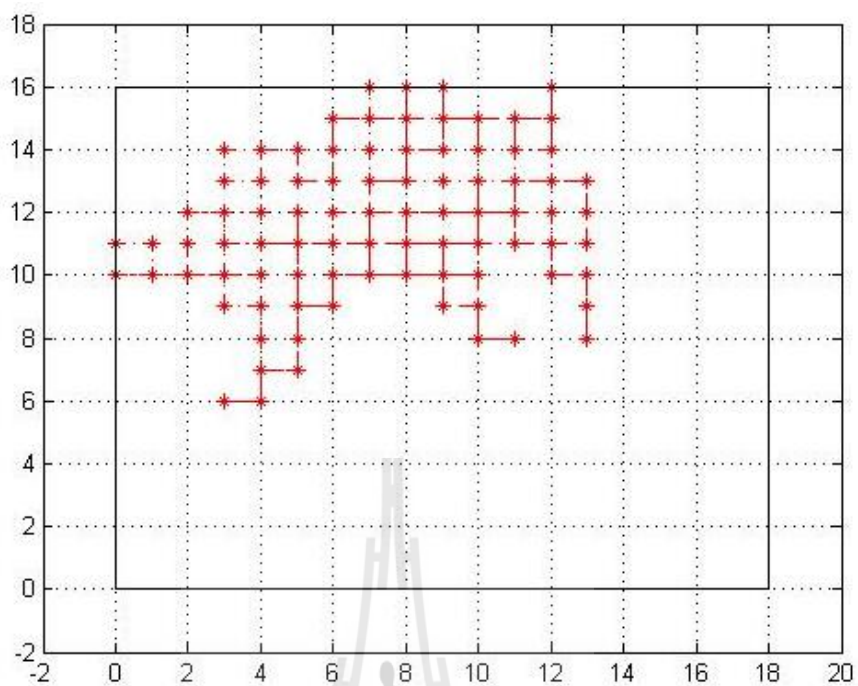
ในการทดลองระบบการประมาณค่าในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ด้วยอัลกอริทึมทินเพลทสไปลน์ จากซิกส์บีโหนดทั้ง 3 ตัว บนสนามทดสอบจำลองขนาดกว้าง 4.8 เมตร และ ยาว 5.1 เมตร ที่แบ่งการจัดเก็บข้อมูลออกเป็น 3 ชุด คือ 600 จุด 1200 จุด และ 1800 จุด ตามลำดับ ได้โมเดลจากข้อมูลทั้ง 3 ชุด โดยผลการทดลองข้างต้นจะเห็นได้ว่า มีจุดซ้ำๆกันเกิดขึ้นหลายตำแหน่งในแต่ละโมเดล แสดงถึงการเก็บข้อมูลซ้ำๆ ณ ตำแหน่งเดิมจากการเดินเก็บค่าแบบสุ่มของซิกส์บีโหนดทั้ง 3 ตัว ซึ่งได้ผลการทดสอบดังนี้

4.1 การทดสอบการเก็บข้อมูลจำนวน 600 จุด

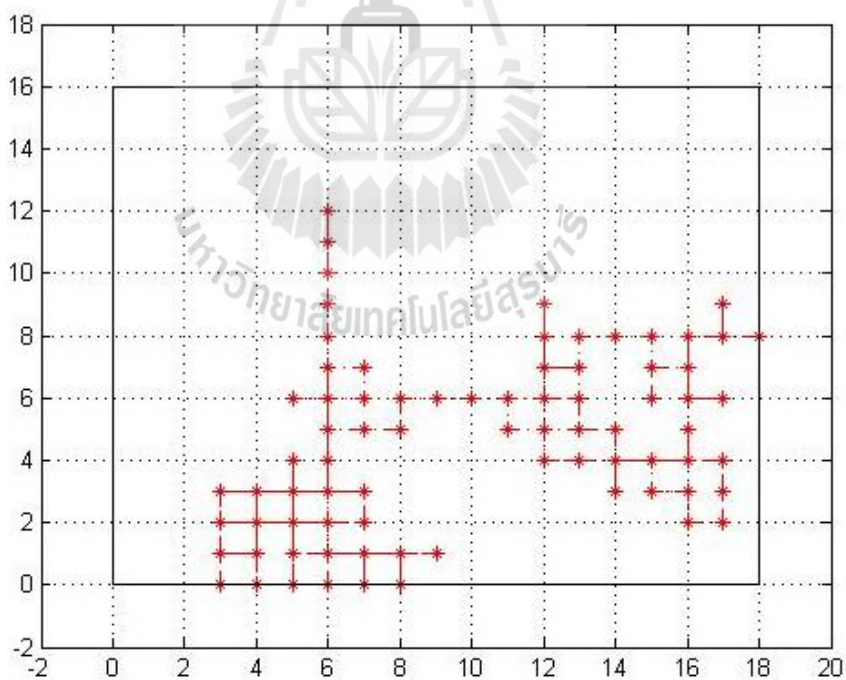
4.1.1 เส้นทางเดินเก็บข้อมูลของซิกส์บีโหนดทั้ง 3 ตัว โดยแต่ละตัวมีการเดินเก็บข้อมูลจำนวน 200 จุด ดังแสดงเส้นทางเดินดังภาพที่ 4.1 ถึง 4.3 และผลการรันโมเดลข้อมูลจากอัลกอริทึมทินเพลทสไปลน์ในรูปที่ 4.4



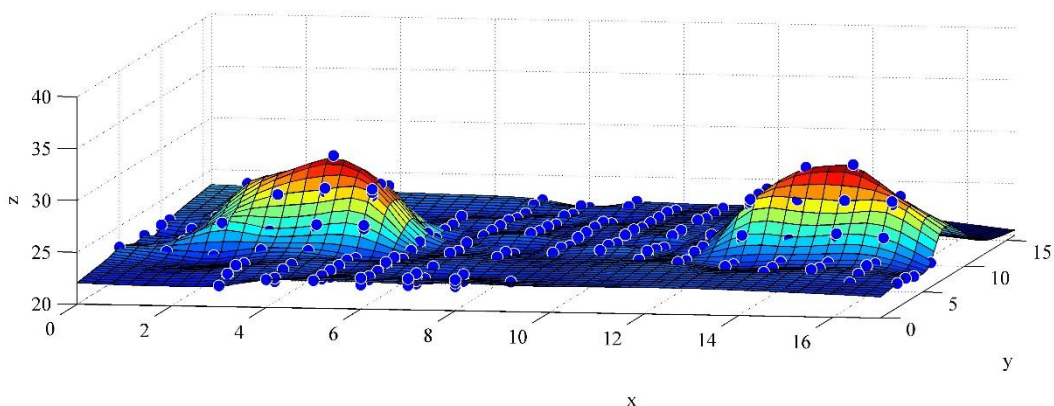
รูปที่ 4.1 เส้นทางเดินของซิกส์บีโหนดตัวที่ 1 จำนวน 200 จุด



รูปที่ 4.2 เส้นทางการเดินของซิกส์ปีโหนดตัวที่ 2 จำนวน 200 จุด



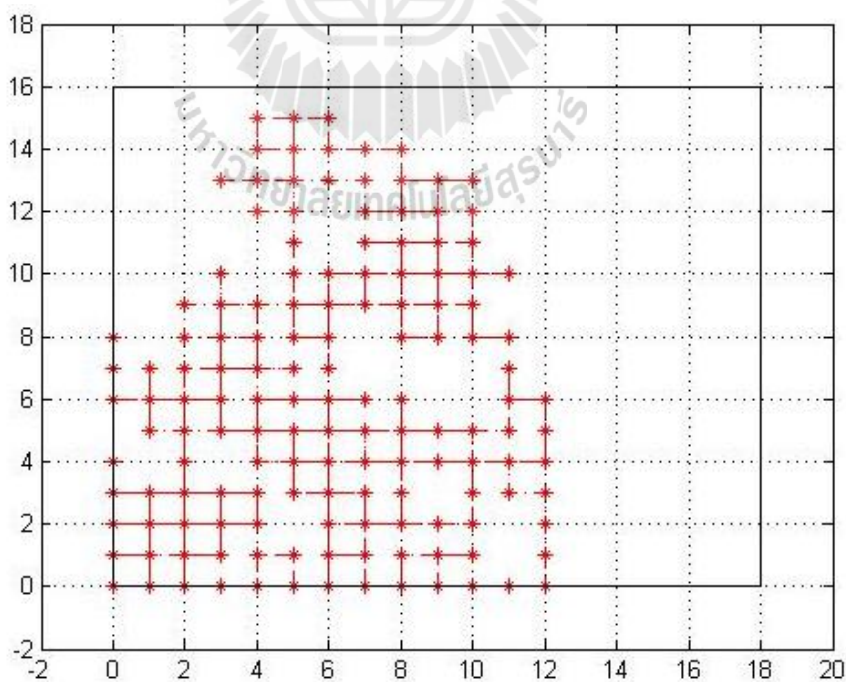
รูปที่ 4.3 เส้นทางการเดินของซิกส์ปีโหนดตัวที่ 3 จำนวน 200 จุด



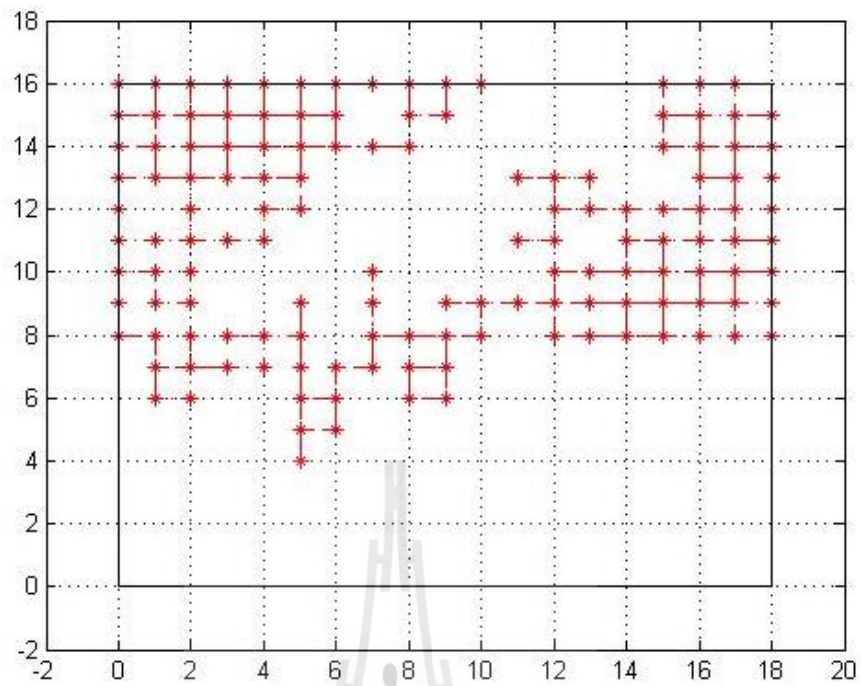
รูปที่ 4.4 ผลการรันโมเดลข้อมูลที่ 600 จุด

4.2 การทดสอบการเก็บข้อมูลจำนวน 1200 จุด

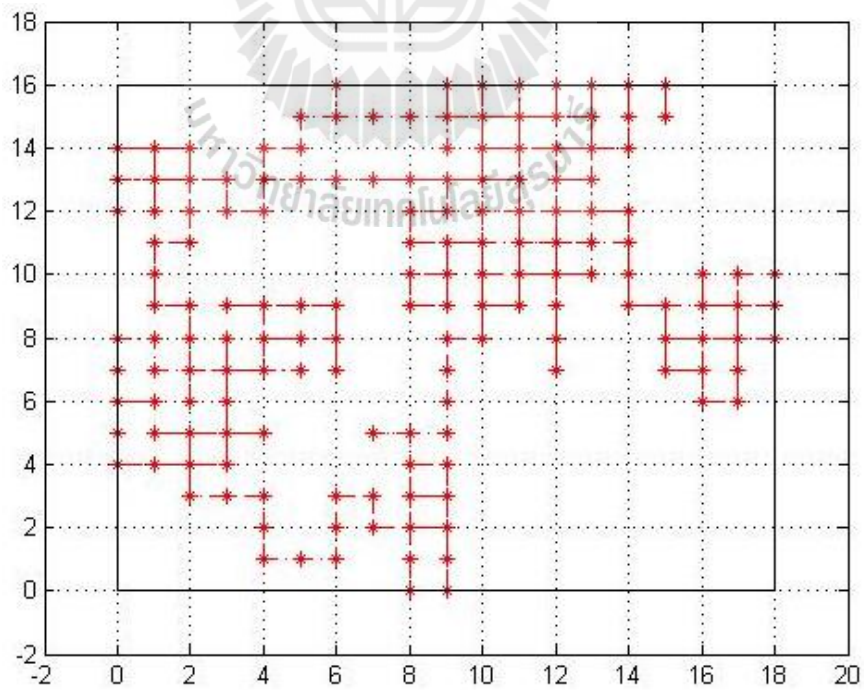
4.2.1 เส้นทางการเดินเก็บข้อมูลของซิกส์บี โหนดทั้ง 3 ตัว โดยแต่ละตัวมีการเดินเก็บข้อมูลจำนวน 400 จุด ดังแสดงเส้นทางการเดินดังภาพที่ 4.5 ถึง 4.7 และผลการรันโมเดลข้อมูลจากอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์ในรูปที่ 4.8



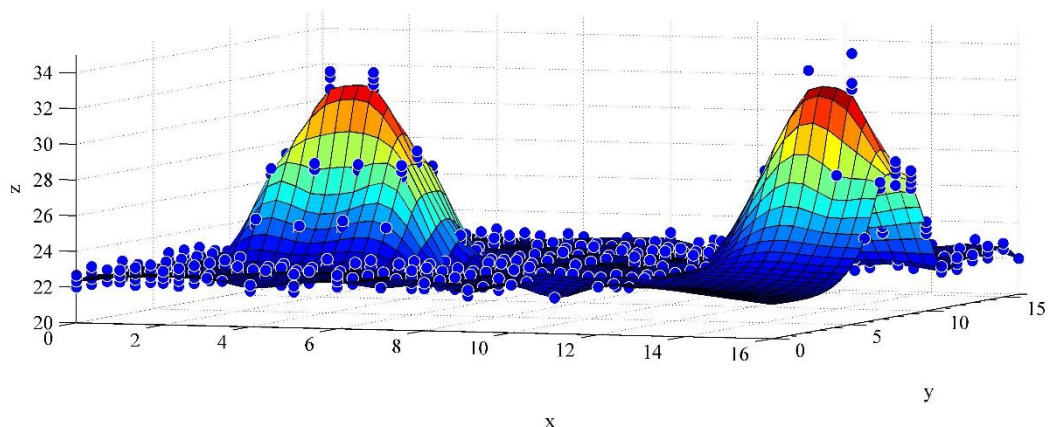
รูปที่ 4.5 เส้นทางการเดินของซิกส์บี โหนดตัวที่ 1 จำนวน 400 จุด



รูปที่ 4.6 เส้นทางการเดินของซิกส์บีโหนดตัวที่ 2 จำนวน 400 จุด



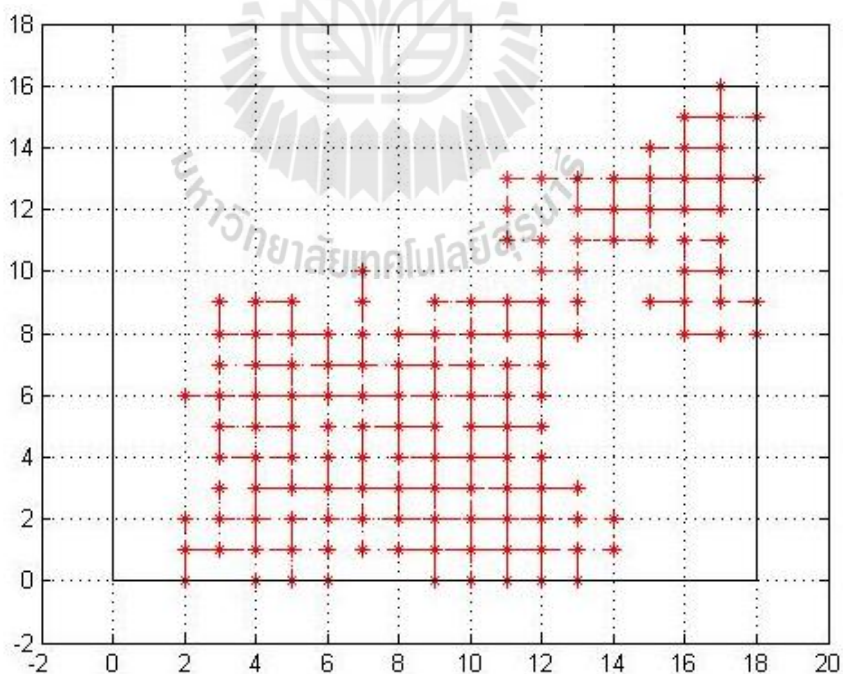
รูปที่ 4.7 เส้นทางการเดินของซิกส์บีโหนดตัวที่ 3 จำนวน 400 จุด



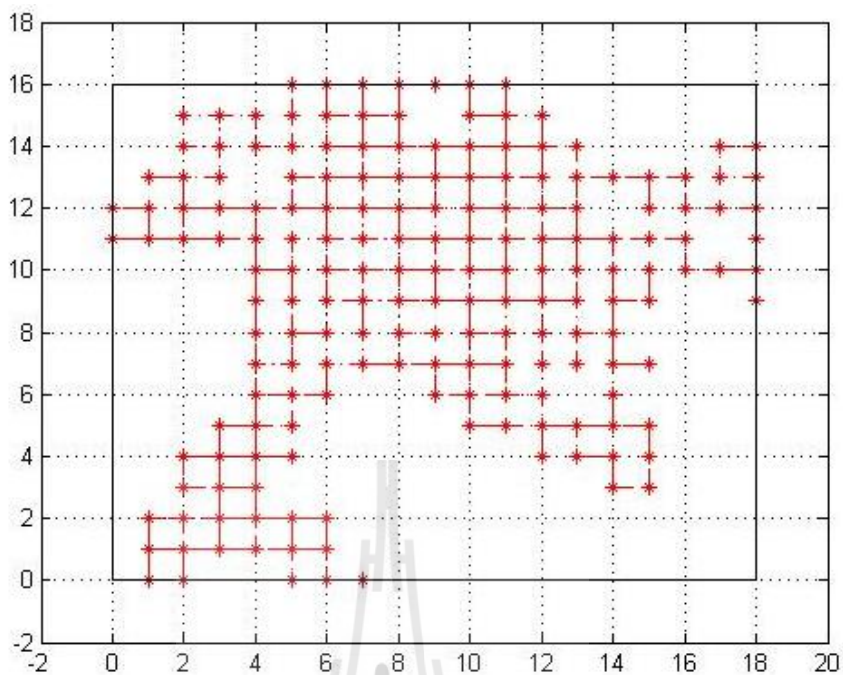
รูปที่ 4.8 ผลการรัน โมเดลข้อมูลที่ 1200 จุด

4.3 การทดสอบการเก็บข้อมูลจำนวน 1800 จุด

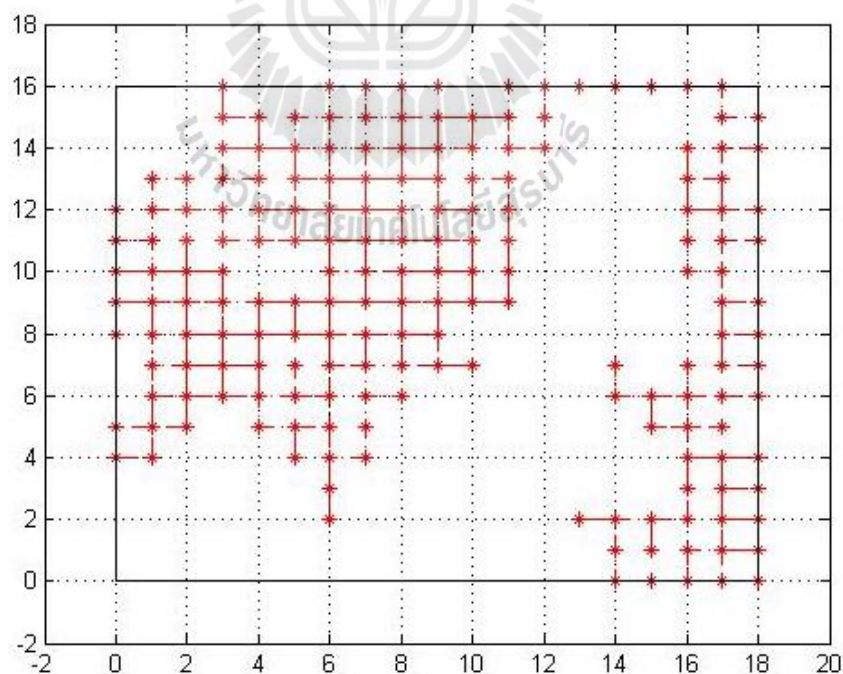
3.3.1 เส้นทางการเดินเก็บข้อมูลของซิกส์บี โหนดทั้ง 3 ตัว โดยแต่ละตัวมีการเดินเก็บข้อมูลจำนวน 600 จุด ดังแสดงเส้นทางการเดินดังภาพที่ 4.9 ถึง 4.11 และผลการรัน โมเดลข้อมูลจากอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์ในรูปที่ 4.12



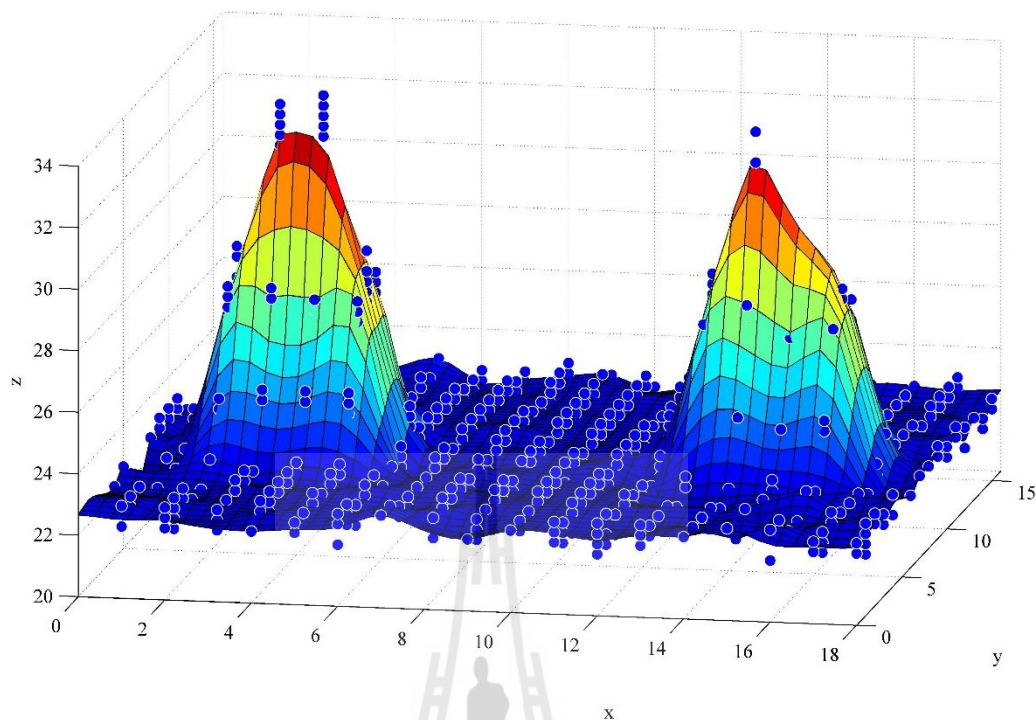
รูปที่ 4.9 เส้นทางการเดินของซิกส์บี โหนดตัวที่ 1 จำนวน 600 จุด



รูปที่ 4.10 เส้นทางการเดินของซิกส์ปีโหนดตัวที่ 2 จำนวน 600 จุด



รูปที่ 4.11 เส้นทางการเดินของซิกส์ปีโหนดตัวที่ 3 จำนวน 600 จุด



รูปที่ 4.12 ผลการรันโมเดลข้อมูลที่ 1800 จุด

จากผลการทดลองการเก็บข้อมูลทั้ง 3 รอบ สิ่งที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลองคือรูปร่างของโมเดลพื้นผิวอุณหภูมิจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อยเนื่องจากปัจจัยแวดล้อมทางธรรมชาติในการทดลองแต่สิ่งที่สามารถสังเกตเห็นได้ในทุกโมเดลก็คือ เกิดจุดทับซ้อน ณ พิกัดเดียวกันของข้อมูลที่ถูกส่งเข้ามาจากซิกส์ปีโหนด และ ในแต่ละจุดที่ซ้ำกันนั้นมีความแตกต่างของค่าอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้จึงทำให้เกิดการคำนวณโมเดลซ้ำซ้อนกัน ดังสังเกตได้ในรูปภาพการรันโมเดล ทุกโมเดลซึ่งก็คือจุดสีน้ำเงินที่ซ้อนกันอยู่บนรูปโมเดลต่างๆ ทั้งนี้จุดที่เกิดขึ้นซ้ำกันหรือจุดที่ซ้ำกันแต่มีค่าไม่เท่ากันจุดต่างๆเหล่านี้คือสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาโอเวอร์ฟิตติ้งของข้อมูลในแต่ละโมเดลเพราะฉะนั้นการแก้ปัญหาเหล่านี้การแก้ปัญหาหรือป้องกันการเกิดการโอเวอร์ฟิตติ้งของข้อมูลจึงมีความสำคัญสำหรับการตรวจวัดค่าตัวแปรเชิงพื้นที่แบบที่โหนดของเครือข่ายรับรู้ไร้สายมีการเคลื่อนไหว (Dynamic Node)

หากการใช้งานระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับเก็บข้อมูลแบบ Dynamic Node ที่ไม่มีการแก้ไขหรือป้องกันเกิดการเกิดปัญหาโอเวอร์ฟิตติ้งแล้ว จะส่งผลให้การทำนายโมเดลข้อมูลไม่มีประสิทธิภาพและสิ้นเปลืองทรัพยากรของระบบที่ใช้ในการคำนวณอีกด้วย

4.4 อภิปรายผลการทดลอง

ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้นำอัลกอริทึมมินิมัลดิสกรีพชันเลนจ์ซึ่งเป็นในอัลกอริทึมที่ใช้ในการคัดเลือกโมเดลข้อมูล (Model Selection) มาใช้งาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำนายโมเดลข้อมูลจากอัลกอริทึมทีนเพลตสไปล์ ถ้าการทำนายโมเดลข้อมูลปราศจากการคัดเลือกโมเดล (Model Selection) จะส่งผลให้การทำนายโมเดลข้อมูลมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ ดังนั้นการประยุกต์ใช้งานเอ็มดีแอลในงานวิจัยชิ้นนี้ซึ่งทำการคัดเลือกโมเดลข้อมูลที่มีความเหมาะสมที่สุดจากข้อมูลทั้ง 3 ชุด จากการหาค่าผลรวมความคลาดเคลื่อนของแต่ละโมเดล เมื่อพบโมเดลที่เหมาะสมแล้วจึงนำมาวิเคราะห์หาจำนวนจุดที่เหมาะสมสำหรับการที่เหมาะสมสำหรับการสร้างโมเดลที่มีประสิทธิภาพ จะเห็นได้ว่าถ้าจำนวนจุดที่ใช้ในการสร้างโมเดลมีจำนวนน้อยเกินไปจะส่งผลให้มีความคลาดเคลื่อนในการทำนายข้อมูลที่สูงขึ้น แต่ถ้าจำนวนจุดที่ใช้ในการสร้างโมเดลมีจำนวนมากเกินไปก็จะได้ความแม่นยำที่มากขึ้นแต่ขนาดของโมเดลก็ใหญ่มากเกินไป

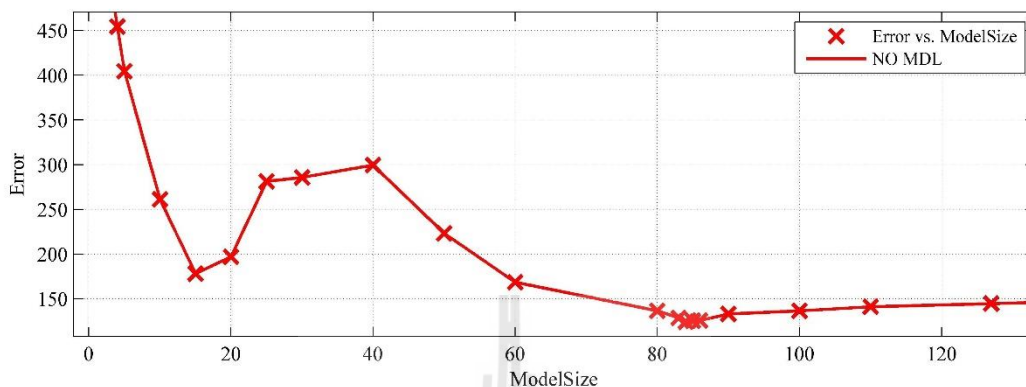
แต่ในการที่จะค้นหาโมเดลข้อมูลที่เหมาะสมจากการทดสอบจำนวน 600จุด 1200จุด และ 1800 จุดนั้นจะต้องค้นหาจากโมเดลข้อมูลที่มีค่าผลรวมของความคลาดเคลื่อนของพื้นผิวข้อมูล (Sum of Surface Error) น้อยที่สุด โดยการหาค่าผลรวมของความคลาดเคลื่อนของพื้นผิวข้อมูลนั้นสามารถหาได้จากการนำชุดข้อมูลทดสอบ (Testing Data) ไปเข้าโมเดลข้อมูลที่ได้มาจากการสร้างโมเดลที่ใช้ชุดข้อมูลเพื่อสร้างโมเดลครั้งแรก (Training Data) แล้วนำค่าที่ได้จากการสร้างโมเดลของชุดข้อมูลทดสอบไปลบกับค่าที่ได้มาจากซิกส์บีที่ส่งข้อมูลเข้ามา ซึ่งอธิบายได้ดังสมการต่อไปนี้

$$SSE = \sum_{i=1}^m \left\| f(x_i, y_i) - \hat{f}(x_i, y_i) \right\| \quad (4.1)$$

โดยกำหนดให้

m	คือ จำนวนข้อมูลที่นำมาทดสอบ (Testing Data)
$f(x_i, y_i)$	คือ ค่าที่ตรวจวัดได้จากซิกส์บีโหนด (Actual Value)
$\hat{f}(x_i, y_i)$	คือ ค่าที่ได้จากการนำชุดข้อมูลทดสอบ (Testing Data) ไปสร้างโมเดลใหม่โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การคำนวณจากชุดข้อมูลแรก (Training Data)

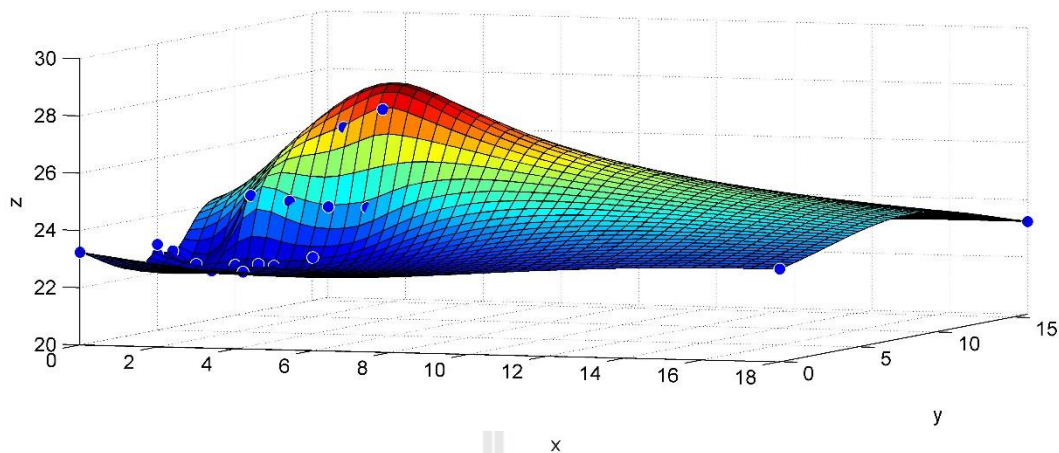
หลังจากที่เก็บข้อมูลจากการทดลองได้แล้วก็นำโมเดลข้อมูลมาหาค่า SSE ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ผลการหาค่าผลรวมคลาดคลาดเคลื่อนของ โมเดลพื้นผิวข้อมูลที่จุดทดสอบ 600 จุด

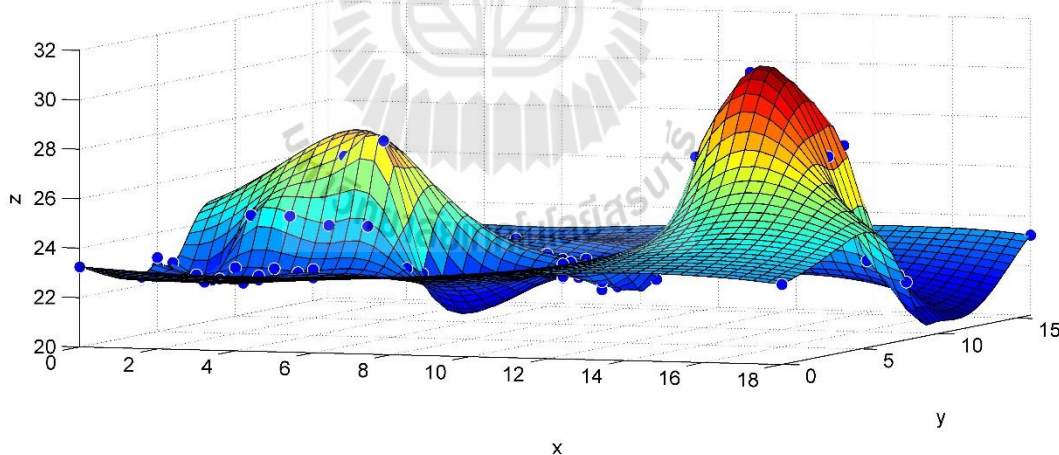
จากรูปที่ 4.13 เป็นการทดสอบหาค่าผลรวมคลาดคลาดเคลื่อนของโมเดลพื้นผิวข้อมูลที่จุดทดสอบ 600 จุด จะสังเกตเห็นได้ว่าผลลัพธ์ของกราฟที่ได้เกิดจุดวกกลับของข้อมูลหลายจุด แสดงให้เห็นถึงปัญหาโอเวอร์ฟิตติ้งของข้อมูลแบบเฉพาะที่ (Local Overfitting) (R. Caruana และคณะ, 2001) เนื่องจากผลลัพธ์จากรูปที่ 4.13 นั้นเป็นการทดสอบหาค่าผลรวมคลาดคลาดเคลื่อนโดยตรง ไม่ได้ผ่านขั้นตอนของอัลกอริทึมมินิมัมเดสคริปชันเลนจ์จึงทำให้เกิดปัญหาการโอเวอร์ฟิตติ้งของข้อมูลแบบเฉพาะที่เกิดขึ้น

เนื่องจากไม่ได้ผ่านกระบวนการประมวลผลข้อมูล โดยอัลกอริทึมมินิมัมเดสคริปชันเลนจ์ ดังแสดงตัวอย่างโมเดลข้อมูลที่ไม่ผ่านอัลกอริทึมมินิมัมเดสคริปชันเลนจ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ถึง 4.15



รูปที่ 4.14 ผลการรัน โมเดลชุดข้อมูลทดสอบที่ไม่ผ่านกระบวนการจำนวน 17 จุด

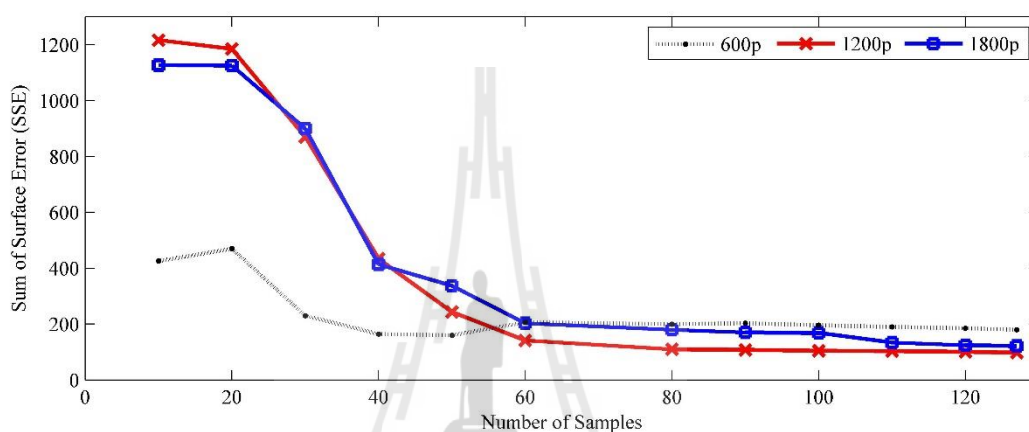
จากกราฟผลรวมค่าความคลาดเคลื่อนของพื้นผิวข้อมูลรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการคำนวณข้อมูลมาถึงจุดที่ 17 ผลรวมของค่าความเคลื่อนเคลื่อนมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วแสดงถึงแนวโน้มความมีประสิทธิภาพของโมเดลข้อมูล แต่ถึงอย่างไรก็ขัดแย้งกับการทดลองในสนามทดสอบซึ่งมีแหล่งความร้อน 2 จุด โมเดลที่ได้จึงควรมีลักษณะคล้ายกับกรวยโค้งคว่ำสองชั้น



รูปที่ 4.15 ผลการรัน โมเดลชุดข้อมูลทดสอบที่ไม่ผ่านกระบวนการจำนวน 82 จุด

จากกราฟผลรวมค่าความคลาดเคลื่อนของพื้นผิวข้อมูลรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการคำนวณข้อมูลมาถึงจุดที่ 82 ผลรวมของค่าความเคลื่อนคือจุดต่ำที่สุดอย่างแท้จริงตามผลลัพธ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเกิดปัญหาโอเวอร์ฟิตติงของข้อมูลทำให้ข้อมูลนั้นเกิดความคลาดไปเป็นอย่างมาก

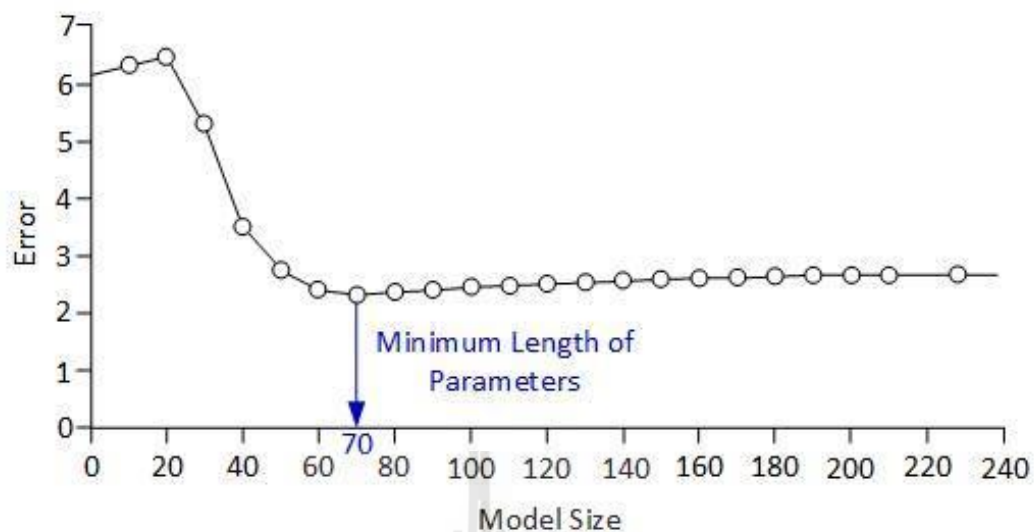
ดังนั้นการนำชุดข้อมูลทดสอบมาผ่านกระบวนการประมวลผลข้อมูลของอัลกอริทึมมินิมัลดิสกรีปชันเลนจซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่เพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำให้การเลือกโมเดล (Model Selection) ที่เหมาะสม จึงมีความจำเป็นอย่างมากในการที่จะทำให้ระบบการประมาณค่าในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ที่มีการเคลื่อนไหวโหนดที่เคลื่อนที่ตลอดเวลาที่มีความแม่นยำในการทำนายและมีประสิทธิภาพ ในรูปที่ 4.16 แสดงถึงผลรวมของค่าความคลาดเคลื่อนของพื้นผิวข้อมูล ที่ผ่านกระบวนการประมวลผลข้อมูลมาแล้ว



รูปที่ 4.16 ผลการคำนวณหาค่าผลรวมความคลาดเคลื่อนของพื้นผิวข้อมูลทั้ง 3 ชุด

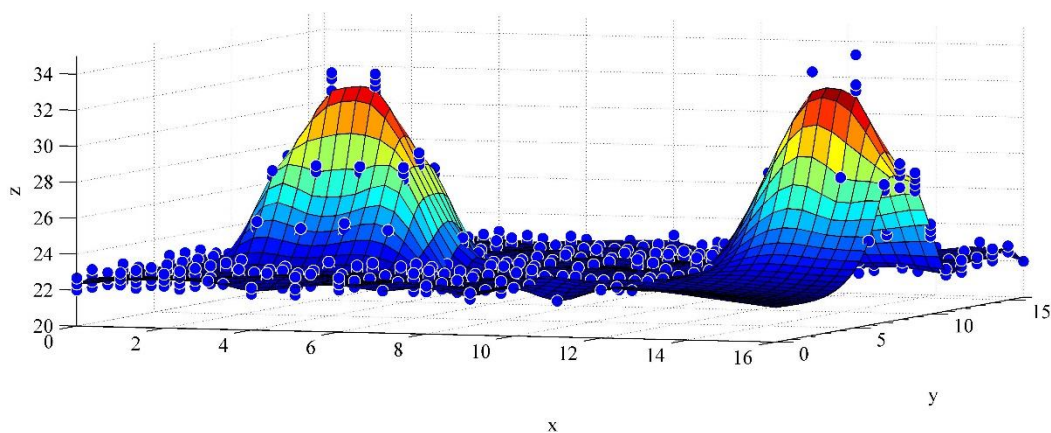
จากผลการคำนวณหาค่าผลรวมความคลาดเคลื่อนของพื้นผิวข้อมูลทั้ง 3 ชุด แสดงให้เห็นว่าชุดข้อมูล 1200 จุดมีความเหมาะสมที่จะถูกเลือกมาเป็นโมเดลข้อมูลสำหรับการทำนายมากที่สุดเนื่องจากเมื่อจำนวนแซมเปิ้ลเพิ่มมากขึ้นค่าความคลาดเคลื่อนก็ลดลงตามไปด้วยและยังมีค่าน้อยที่สุดในบรรดาข้อมูลทั้งสามชุด

หลังจากที่ได้ชุดข้อมูลที่มีความเหมาะสมที่สุดแล้วจึงนำชุดข้อมูลทดสอบของ (Testing Data) โมเดลข้อมูล 1200 จุด ไปประมวลผลด้วยอัลกอริทึมมินิมัลดิสกรีปชันเลนจซึ่งได้ผลลัพธ์ตามรูปที่ 4.17

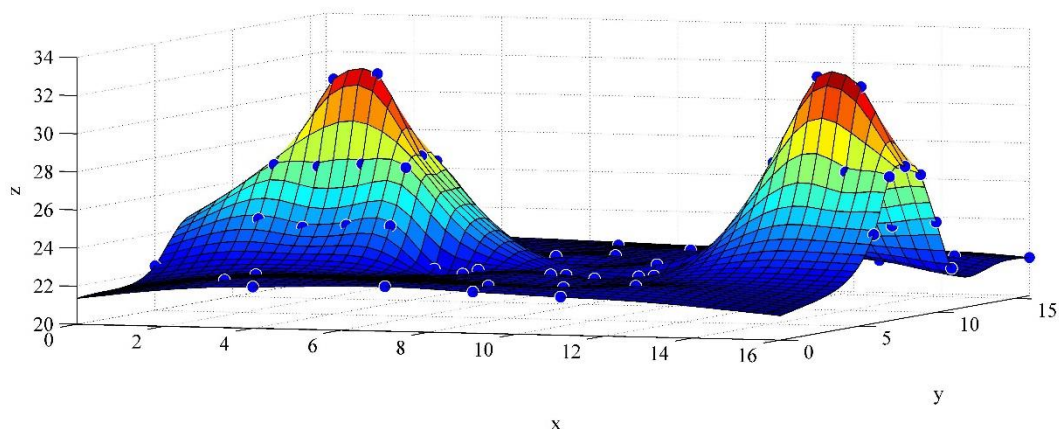


รูปที่ 4.17 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากอัลกอริทึมมินิมัมเดสคริปชันเลนจ์

จากรูปที่ 14.7 อัลกอริทึมเอ็มดีแอลได้คำนวณพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทำนายโมเดลแล้ว ผลที่ได้ก็คือความยาวของพารามิเตอร์ที่ขนาด 70 จุด บนพื้นที่การทดลอง จากนั้นระบบจะยึดถือจำนวนจุดที่ได้จากอัลกอริทึมเอ็มดีแอลเอาไว้ใช้ในการทำนายโมเดลต่อไป แต่ถ้าข้อมูลจากซิกส์บีโหนดถูกส่งเข้ามาในระบบเพิ่มระบบก็จะนำมาเรียงลำดับแล้วคัดเลือกข้อมูลที่ 70 ลำดับแรก หากข้อมูลที่ถูกเข้ามาเพิ่มใหม่นั้นไม่มีความเหมาะสมในการทำนายโมเดลที่มีประสิทธิภาพ ระบบก็จะไม่นำจุดเหล่านั้นมาทำนายโมเดลใหม่และยังรอจุดที่เหมาะสมต่อไปเรื่อยๆ



รูปที่ 4.18 แสดงผลลัพธ์โมเดลข้อมูลจากการทดสอบ 1200 จุด



รูปที่ 4.19 แสดงผลลัพธ์โมเดลข้อมูลจากอัลกอริทึมมินิมัลดิสกรีปชั่นเลนจ์จำนวน 70 จุด

จากรูปที่ 4.18 และ 4.19 แสดงผลโมเดลข้อมูลเปรียบเทียบกันระหว่างโมเดลข้อมูลที่ผ่านมา อัลกอริทึมมินิมัลดิสกรีปชั่นเลนจ์และข้อมูลคิพที่ไม่ผ่านกระบวนการป้องกันการเกิดการโอเวอร์ฟิตติ้งของข้อมูล แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ผ่านกระบวนการรูปที่ 4.19 นั้นมีไม่มีจุดที่ข้อมูลซ้ำซ้อนกันดังรูปที่ 4.18 แต่ก็ยังให้ผลการทำนายโมเดลที่ใกล้เคียงกันกับโมเดลข้อมูลที่มีพารามิเตอร์จำนวนมาก ดังนั้นอัลกอริทึมมินิมัลดิสกรีปชั่นเลนจ์จึงช่วยสนับสนุนให้ระบบต้นแบบการประมาณค่าในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่นั้นมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้ได้พัฒนาต้นแบบระบบการประมาณค่าในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ด้วยอัลกอริทึมทินเพลท สไปล์บนเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกส์บี โดยซิกส์บีโหนดถูกพัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของอาร์ไดโนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความง่ายต่อการใช้งานและการพัฒนาระบบการประมาณค่าในช่วงของการวัดอุณหภูมิของถ่านอัดแท่งในพื้นที่ทดสอบที่ถูกกำหนดไว้และใช้อัลกอริทึมทินเพลทสไปล์สร้างโมเดลของข้อมูลอุณหภูมิ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 พัฒนาและการทำงานของระบบเครือข่ายรับรู้ไร้สายซิกส์บี

การพัฒนาระบบถูกสร้างขึ้นบนสถาปัตยกรรมโครงสร้างของระบบเครือข่ายรับรู้ไร้สาย (Wireless Sensor Network) ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องเซิร์ฟเวอร์แม่ข่ายและโหนด โดยโครงสร้างของโหนดนั้นพัฒนาขึ้นบนพื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์ อาร์ดูโนคูมิลานอฟ ที่ติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่า Dallas DS18B20 ซึ่งถูกพัฒนาให้สามารถใช้งานได้กับอาร์ดูโนคูมิลานอฟอย่างลงตัว โดยการส่งผ่านข้อมูลนั้นทำหน้าที่โดยโมดูลรับส่งสัญญาณซิกส์บีซึ่งจัดตั้งรูปแบบการเชื่อมต่อให้เป็นรูปแบบสตาร์ทอพอโลยี

การทำงานของระบบเครือข่ายรับรู้ไร้สายซิกส์บีบนการเชื่อมต่อแบบสตาร์ทอพอโลยี มีเสถียรภาพในการตรวจวัดและรับส่งข้อมูลอุณหภูมิในสนามทดสอบเป็นอย่างดีปัจจัยทางธรรมชาติ เช่น กระแสลมไม่มีผลต่อการส่งข้อมูลในสนามทดสอบแต่กระแสลมมีผลต่อทิศทางของคลื่นความร้อนจากแหล่งกำเนิดอันสามารถทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในช่วงระยะเวลาขณะนั้นได้

5.1.2 การทำนายโมเดลข้อมูลด้วยอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์

การทำนายโมเดลข้อมูลพื้นผิวอุณหภูมิสามารถทำนายข้อมูลได้โดยนำข้อมูลจากซิกส์บี (Constraint Points) ที่เดินตรวจวัดค่าอย่างต่อเนื่องในสนามทดสอบส่งเข้ามาประมวลผลที่เครื่องเซิร์ฟเวอร์เพื่อทำการสร้างโมเดลข้อมูลจากสมการ

$$f(x, y) = a_1 + a_x x + a_y y + \sum_{i=1}^n w_i U(|P_i - (x, y)|) \quad (5.1)$$

โดยข้อมูลที่ได้มาจากซิกส์บีในภาคสนามจะถูกนำไปสร้างสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการคำนวณ จุดต่างบน โมเดลซึ่งหลังจากได้สัมประสิทธิ์เพื่อการคำนวณแล้วจึงจะสามารถใส่พิกัดต่างๆใน ระบายพื้นผิวที่ต้องการสร้างโมเดลเข้าไปในการสารที่ (2) เพื่อทำการทำนายทุกๆจุดบนระบายที่ สนใจเพื่อสร้างโมเดลพื้นผิวข้อมูล

อย่างไรก็ตามการทำการประมวลผล โมเดลจากตัวแปรเชิงพื้นที่ที่มีข้อจำกัดของ ประสิทธิภาพการทำนายหากไม่ได้รับการแก้ไขปัญหาโอเวอร์ฟิตติงที่เกิดจากการเกิดตรวจวัดค่า ข้อมูลในสนามทดสอบของซิกส์บี โหนดซึ่งเป็นลักษณะการเคลื่อนไหวแบบไดนามิก

5.1.3 การแก้ไขปัญหาโอเวอร์ฟิตติงโดยใช้อัลกอริทึมมินิมัมเดสคริปชันเลนจ์

ในการแก้ปัญหาโอเวอร์ฟิตติงของชุดข้อมูลนั้นต้องเลือก โมเดลข้อมูลที่เหมาะสม โดยผ่านขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลเพื่อหาค่าผลรวมความคลาดเคลื่อนของพื้นผิวข้อมูล (Sum of Surface Error) ที่น้อยที่สุดจึงจะได้ชุด โมเดลข้อมูลที่เหมาะสม หลังจากนั้นจึงนำชุดข้อมูลที่ได้จาก การหาค่าผลรวมความคลาดเคลื่อนของพื้นผิวข้อมูลมาผ่านกระบวนการของอัลกอริทึมมินิมัม เดสคริปชันเลนจ์อีกขั้นตอนหนึ่ง เพื่อให้ได้จำนวนจุดที่เกิดจากการวกกลับของกราฟผลลัพธ์จาก อัลกอริทึมมินิมัมเดสคริปชันเลนจ์แล้วจึงยึดถือจำนวนจุดที่ได้ เป็นหลักในการคัดเลือกข้อมูลที่จะ ถูกส่งเข้ามาอย่างต่อเนื่องจากซิกส์บี โหนดว่าจะนำจุดเหล่านั้นมาคำนวณในการทำนาย โมเดลจาก อัลกอริทึมทีนเพลทสไปลน์ต่อไปหรือไม่

ด้วยการทำงานประสานกันระหว่างอัลกอริทึมทีนเพลทสไปลน์และอัลกอริทึมมินิมัม เดสคริปชันเลนจ์ส่งผลให้ระบบการประมาณค่าในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ ที่ติดตั้งอยู่บนเครื่อง เซิร์ฟเวอร์นั้นลดการใช้งานทรัพยากรระบบที่ใช้ในการคำนวณลงได้ เนื่องการในการคำนวณ โมเดล แต่ละครั้งอัลกอริทึมทีนเพลทสไปลน์ใช้พื้นฐานทางคณิตศาสตร์ซึ่งก็คือเมทริกซ์ผกผันในการ คำนวณจะนั้นหากโมเดลข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมีความซับซ้อนหรือมีขนาดใหญ่มาก จะส่งผล ให้สิ้นเปลืองทรัพยากรในการคำนวณสร้าง โมเดลพื้นผิวข้อมูลและใช้เวลาในการคำนวณข้อมูลมาก ขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การตรวจวัดข้อมูลในสนามทดสอบ

- 1) หากทำการทดสอบการประมาณค่าในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ที่มี อันตรายในการปฏิบัติงาน เช่น ความร้อนจากแหล่งพลังงานคุณภาพสูง

เช่น น้ำมัน หรือสารเคมีอันตราย ควรใส่อุปกรณ์ป้องกันเพื่อความปลอดภัยและไม่ควรปฏิบัติทดสอบเพียงลำพัง

- 2) การพัฒนาโหนดให้รองรับทุกสภาพอากาศและสภาพภูมิประเทศในการทดสอบที่ยากลำบากควรจัดทำเคสกล่องอุปกรณ์ซิกส์บีโหนดที่สามารถทนความร้อนและความชื้นได้เพื่อรักษาสภาพการใช้งานของอุปกรณ์

5.2.2 การประมวลผลข้อมูลด้วยอัลกอริทึมมินิมัมเดสคริปชันเลนจ์

- 1) ให้นำข้อมูลที่ตรวจวัดได้ทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ย
- 2) ทำการตัดข้อมูลที่ซ้ำซ้อนออกโดยการเฉลี่ยค่าข้อมูลในพิกัดที่ซ้ำซ้อนกันให้เหลือเพียงข้อมูลตัวเดียวต่อหนึ่งพิกัด
- 3) จัดแบ่งข้อมูล Training Data และ Testing Data
- 4) จัดเรียงข้อมูล Testing Data แต่ละตัวตามความห่างจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด โดยมีข้อมูลตั้งแต่ตัวที่ 1 จนถึง n
- 5) หาค่าผลรวมความคลาดเคลื่อนของพื้นผิวข้อมูล
- 6) นำค่า 1 จนถึง n ไปหาค่าลอการิทึม
- 7) จากนั้นนำข้อมูลแบบความถี่สะสมในข้อที่ 5 และ 6 มาบวกกันและพลอตกราฟจึงจะได้กราฟที่มีจุดวกกลับ ซึ่งจุดวกกลับของกราฟคือจุดที่เหมาะสมจะนำไปใช้คือเพื่อให้เครื่องเซิร์ฟเวอร์คัดลอกข้อมูลที่จะนำมาสร้างโมเดล

5.2.3 ข้อเสนอแนะในงานวิจัยต่อไป

การพัฒนาต่อขอดงานวิจัยครั้งนี้ในส่วนของระบบฮาร์ดแวร์สามารถเพิ่มเติมในส่วนของโมดูล GPS โมดูลการรับส่งสัญญาณที่ไกลขึ้นโดยใช้ซิกส์บีโมดูลที่มีย่านความถี่ 900MHz หรือเพิ่มระบบการเดินทางของโหนดโดยเพิ่มเติมส่วนของโรบอทเข้ามา หรือพัฒนาเป็นหุ่นยนต์ไร้คนขับทั้งทางอากาศ (Unmanned Aerial Vehicle) และภาคพื้นดิน (Unmanned Ground Vehicle) ที่ต้องการตรวจวัดค่าข้อมูล ณ พื้นที่ๆตัวหุ่นเดินทางไปถึง

ในส่วนของระบบซอฟต์แวร์การประมวลผลสามารถขยายขีดความสามารถเพื่อให้ระบบเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตแบบเรียลไทม์ หรือสามารถประยุกต์ใช้อัลกอริทึมที่สามารถประมวลผลข้อมูลเชิงพื้นที่ตัวอื่นๆที่มีประสิทธิภาพทางการคำนวณมากขึ้นเข้ามาเพิ่มเติมจากอัลกอริทึมทีนเพลทสไปลนเป็นหลายอัลกอริทึม

รายการอ้างอิง

- Abdullah Kadri, Elias Yaacoub, Mohammed Mushtaha, and Adnan Abu-Dayya (2013) . Wireless sensor network for real-time air pollution monitoring, **Proc. of Communications, Signal Processing, and their Applications (ICCSPA), 2013 1st International Conference on**, Issue Date: 12-14 Feb. 2013
- Alliance. Global Leaders creating innovative products and services for the Internet of Things, Available at : <http://www.zigbee.org/zigbeealliance/our-members/> (Accessed: 20 may 2015)
- Archana Bharathidasan, Vijay Anand Sai Ponduru, Sensor networks: An overview, **technical report**, Univ. of California, Davis, 1999
- Arduino. Available at : <http://www.arduino.cc> (Accessed: 20 may 2015)
- A. Weigend, P. Smolensky, D. S. Touretzky, J. L. Elman, and A. S. Weigend, On overfitting and the effective number of hidden units, **Proc. 1993 Connectionist Models Summer School**, pp.335 -342, 1993
- Bookstein F.L., Principal Warps: Thin-Plate Splines and the Decomposition of Deformations. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, Vol. 11, NO. 6, June, 1989
- Boria, R.A., Olson, L.E., Goodman, S.M. and Anderson, R.P., Spatial filtering to reduce sampling bias can improve the performance of ecological niche models, **Ecological Modelling**, vol. 275, pp. 73–77, 10 March, 2014
- Digi International® Inc. (Digi®) (2015) . ZigBee® Low-cost, low-power, wireless networking for device monitoring and control, URL: <http://www.digi.com/technology/rf-articles/wireless-zigbee>, (Accessed: 24 April 2015).
- Donato, G. and Belongie, S., Approximation Methods for Thin Plate Spline Mappings and Principal Warps. **Proceedings, Part III, Lecture Notes in Computer Science**, Copenhagen, Denmark 2003.

DS18B20. Available at : <http://pdfserv.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf> (Accessed: 1 June 2015)

Farahani, S., ZigBee Wireless Networks and Transceivers. ISBN: 978-0-7506-8393-7, Elsevier Inc., 2008

Gislason, D., ZigBee Wireless Networking. ISBN: 978-0-7506-8597-9, Elsevier Inc., 2008

Hansen, M.H. and Yu, B., Model Selection and the Principle of Minimum Description Length, **Journal of the American Statistical Association June 2001**, vol. 96 (454) , Review Paper, 2001

Hao Wu, and Jonathan L Shapiro. Does overfitting affect performance in estimation of distribution algorithms. **GECCO**. ACM: 2006

IEEE (2015). IEEE 802.15™: WIRELESS PERSONAL AREA NETWORKS (PANs) , URL: <https://standards.ieee.org/about/get/802/802.15.html>, (Accessed: 24 April 2015).

Imran Bin Jafar, Kanij Raihana, Sujan Bhowmik, Shifur Rahman Shakil, Wireless monitoring system and controlling Software for Smart Greenhouse Management, **3rd International Conference on Informatics Electronics & Vision**, Dhaka, Bangladesh, Issue Date: 23-24 May 2014

Internetsociety. Available at : <http://www.internetsociety.org/sites/default/files/GUIS-2012-Infographic.pdf> (Accessed: 20 May 2015)

Internet of Things. Available at : <http://www.theinternetofthings.eu/what-is-the-internet-of-things/> (Accessed: 24 April 2015)

Kazem Sohraby, Daniel Minoli, Taieb Znati, Wireless Sensor Networks: Technology, Protocols, and Applications, pp.63-64, ISBN: 978-0-4701-1275-5, John Wiley & Sons, 2007

Lewis, F.L., Wireless Sensor Networks. Smart Environments: Technologies, Protocols, and Applications, ed. **D.J. Cook and S.K. Das**, John Wiley, New York, 2004.

Li, M. and Vatányi, P., An Introduction to Kolmogorov Complexity and Its Applications, **New York: Springer-Verlag.**, 1996

Low, Kay Soon; Nu Win, Win Nu; Er, Meng Joo, Wireless Sensor Networks for

- Industrial Environments, **Proc. Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation, 2005 and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce, International Conference on**, Issue Date: 28-30 Nov. 2005
- Michael G. Rodriguez, Luis E., Ortiz Uriarte, Yi Jia, Kazutomo Yoshii, Robert Ross, Peter H. Beckman, Wireless Sensor Network for Data-Center Environmental Monitoring, **Fifth International Conference on Sensing Technology**, pp.533-537, Palmerston North, New Zealand, Issue Date: 28 Nov 2011
- Moataz Soliman, Tobi Abiodun, Tarek Hamouda, Jiehan Zhou, Chung-Horng Lung, Smart Home: Integrating Internet of Things with Web Services and Cloud Computing, **Proc. of Cloud Computing Technology and Science (CloudCom), 2013 IEEE 5th International Conference on**, Volume2, pp.317-320, Issue Date: 2-5 Dec. 2013
- M. F. HUTCHINSON, Interpolating mean rainfall using thin plate smoothing splines, **International Journal of Geographical Information Systems**, Volume 9, pp.385-403, Issue 4, 1995
- Nidhi Patel, Hiren Kathiriya, Arjav Bavarva, Wireless Sensor Network Using ZigBee, **IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology**, ISSN: 2319-1163, Volume: 02. Issue Date: 06 June 2013
- N.S.A.Zulkifli, F.K.Che Harun, and N.S. Azahar, XBee Wireless Sensor Networks for Heart Rate Monitoring in Sport Training, **Proc. of Biomedical Engineering (ICoBE), 2012 International Conference on**, Issue Date: 27-28 Feb. 2012
- Shurul Agrawal, Ravi N. Prakash, Implementation of WSN which can simultaneously monitor temperature conditions and control robot for positional accuracy, **Green Computing Communication and Electrical Engineering (ICGCCEE), 2014 International Conference on**, pp.1-6, Coimbatore, India, Issue Date: 6-8 March 2014
- Tatiana Bokareva , Wen Hu , Salil Kanhere , Branko Ristic , Travis Bessell , Mark Rutten , Sanjay Jha, Wireless sensor networks for battlefield surveillance, **Proc. of the Land Warfare Conference**, Brisbane, October, 2006
- Tomasz Naumowicz, Robin Freeman, Holly Kirk, Ben Dean, Martin Calsyn, Achim Liers,

Alexander Braendle, Tim Guilford, Jochen Schiller, Wireless Sensor Network for Habitat Monitoring on Skomer Island, **5th IEEE International Workshop on Practical Issues in Building Sensor Network Applications**, Denver, Colorado, 2010

V. Boonsawat, J. Ekchamanonta, K. Bumrunghet, and S. Kittipiyakul, Xbee wireless sensor networks for temperature monitoring, **2nd ECTI-Conference on Application Research and Development (ECTI-CARD 2010)**, Pattaya, Chonburi, Thailand, Issue Date: 10-12 May 2010

W.H. Dutton, G. Blank, D.Groselj, Cultures of internet: The Internet in Britain, **Oxford Internet Survey Report**, 2013

ZigBee Alliance, ZIGBEE SPECIFICATION, **ZigBee Document 053474r17**, ZigBee Alliance, January 17, 2008



The logo of Sakon Nakhon Rajabhat University is a circular emblem. At the top, it features a stylized spire or tower. Below this, a central figure stands on a pedestal. The figure is flanked by two large, stylized letters 'H'. The entire emblem is set against a background of radiating lines, suggesting a sun or a fan. The text 'มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี' is written in a circular path around the bottom of the emblem.

ภาคผนวก ก

โค้ดโปรแกรมการประมาณค่าในช่วงด้วยอัลกอริทึมทินเพลทสไปลน์ที่สำคัญ

การประกาศตัวแปร

```
float **kMat;
kMat = new float*[n];
for(int i=0;i<n;i++)
    kMat[i] = new float[n];

float **pMat;
pMat = new float*[n];
for(int i=0;i<n;i++)
    pMat[i] = new float[3];

float **pMatT;
pMatT = new float*[3];
for(int i=0;i<3;i++)
    pMatT[i] = new float[n];

float **LMat;
LMat = new float*[(n+3)];
for(int i=0;i<(n+3);i++)
    LMat[i] = new float[(n+3)];

float **_LMat;
_LMat = new float*[(n+3)];
for(int i=0;i<(n+3);i++)
    _LMat[i] = new float[(n+3)];

float **RMat;
RMat = new float*[(n+3)];
for(int i=0;i<((n+3));i++)
    RMat[i] = new float[(2)];

float **_LMatR;
_LMatR = new float*[(n+3)];
for(int i=0;i<(n+3);i++)
    _LMatR[i] = new float[(n+3)];
```

การคำนวณเมทริกซ์

```

//===== K Matrix =====
for(i=0;i<n;i++){
    for(j=0;j<n;j++){

        x = xi[i]-xi[j];
        y = yi[i]-yi[j];

        if(x == 0 && y == 0){
            kMat[i][j] = 00.00;
        }else{

            xt = x*x;
            yt = y*y;
            r = sqrt (xt + yt);
            kMat[i][j] = (r*r) * log(r*r);
        }
    }
}

//===== P Matrix =====
for(i=0;i<n;i++){
    for(j=0;j<3;j++){
        if(j==0){
            pMat[i][j]=1;
        }else if(j==1){
            pMat[i][j]=xi[i];
        }else if(j==2){
            pMat[i][j]=yi[i];
        }
    }
}

//===== P Transpose Matrix =====
int count=0,count2=0;
for(i=0;i<n;i++){
    for(j=0;j<3;j++){
        pMatT[count][i] = pMat[i][count];
        count++;
    }
    count=0;
}

//===== L Matrix =====

```

```

count=0;
for(i=0;i<n+3;i++){
    for(j=0;j<n+3;j++){
        if( (i>=0&&i<n) && (j<n) ){
            LMat[i][j] = kMat[i][j];
        }else
            if( (i>=0&&i<n) && (j>=n) ){
                LMat[i][j] = pMat[i][count2];
                count2++;
            }else
                if( (i>=n&&i<(n+3)) && (j<n) ){
                    LMat[i][j] = pMatT[count][j];
                }else {
                    LMat[i][j] = 0;
                }
    }
    //printf("\n");
    if(i>=n&&i<(n+3)){
        count++;
    }
    count2=0;
}
//===== V Matrix =====
for(i=0; i<2; i++){
    for(j=0; j<n+3; j++){
        printf("%.4f ",vMat[i][j]);
    }
    printf("\n");
}
//===== V Transpose Matrix =====
int num=0;
float temp=0.0;
for(i=0;i<2;i++){
    for(j=0;j<n+3;j++){
        temp=0.0;
        temp = vMat[i][j];
        vMatT[num][i] = temp;
        num++;
    }
    num=0;
}
}

```

การคำนวณเมทริกซ์ผกผัน

```

void MatrixInversion(float **A, int order, float **Y)
{
    // get the determinant of a
    double det = 1.0/CalcDeterminant(A,order);

    // memory allocation
    float *temp = new float[(order-1)*(order-1)];

    float **minor = new float*[order-1];
    for(int i=0;i<order-1;i++)
        minor[i] = temp+(i*(order-1));

    for(int j=0;j<order;j++)
    {
        for(int i=0;i<order;i++)
        {
            // get the co-factor (matrix) of A(j,i)
            GetMinor(A,minor,j,i,order);
            Y[i][j] = det*CalcDeterminant(minor,order-1);
            if( (i+j)%2 == 1)
                Y[i][j] = -Y[i][j];
        }
    }
    // release memory
    //delete [] minor[0];
    delete [] temp;
    delete [] minor;
}

// calculate the cofactor of element (row,col)
int GetMinor(float **src, float **dest, int row, int col, int
order)
{
    // indicate which col and row is being copied to dest
    int colCount=0,rowCount=0;
    for(int i = 0; i < order; i++ )
    {
        if( i != row )
        {
            colCount = 0;
            for(int j = 0; j < order; j++ )
            {
                // when j is not the element

```

```

        if( j != col )
        {
            dest[rowCount][colCount] = src[i][j];
            colCount++;
        }
    }
    rowCount++;
}
}
return 1;
}
}
// Calculate the determinant recursively.
double CalcDeterminant( float **mat, int order)
{
    // order must be >= 0

    // stop the recursion when matrix is a single element
    if( order == 1 )
        return mat[0][0];

    // the determinant value
    float det = 0;

    // allocate the cofactor matrix
    float **minor;
    minor = new float*[order-1];
    for(int i=0;i<order-1;i++)
        minor[i] = new float[order-1];

    for(int i = 0; i < order; i++ )
    {
        // get minor of element (0,i)
        GetMinor( mat, minor, 0, i , order);

        // the recursion is here!
        det += (i%2==1?-1.0:1.0) * mat[0][i] *
        CalcDeterminant(minor,order-1);

        //det += pow( -1.0, i ) * mat[0][i] * CalcDeterminant(
        minor,order-1 );
    }
    // release memory

    for(int i=0;i<order-1;i++)

```

```

        delete [] minor[i];

    delete [] minor;

    return det;

}

```

การคูณกันของเมทริกซ์

```

void MatrixMultiplication(float **a, float **b,int row, int
colA, int colB,float* ptr_x, float* ptr_y)
{
    int i,j,k;

    float **RMat;
    RMat = new float*[(row)];
    for(int i=0;i<(row);i++)
        RMat[i] = new float[(2)];

    for(i=0; i<row; i++){
        for(j=0; j<colB; j++){
            RMat[i][j] = 0.0;
        }
    }
    float q2=0.0;
    for(i=0; i<row; i++){
        for(j=0; j<colB; j++){
            for(k=0; k<colA; k++){
                q2=q2+1.0;
                RMat[i][j] = RMat[i][j] + (a[i][k] * b[k][j]);
            }
        }
    }

    float *cof_x;
    cof_x = new float[row];
    float *cof_y;
    cof_y = new float[row];

    for(i=0; i<row; i++){
        for(j=0; j<colB; j++){
            if(j==0){
                cof_x[i]=RMat[i][j];;
            }else{

```



```

        cof_y[i]=RMat[i][j];
    }

    }

}

gen_grid(row,cof_x,cof_y,ptr_x,ptr_y);

for(int i=0;i<row;i++)
    delete [] RMat[i];
delete [] RMat;
return;
}

```

การสร้างกริด

```

void gen_grid(int n, float *cof_x, float *cof_y, float* ptr_x,
float* ptr_y)
{
    FILE *p;
    p = fopen("data.txt","wt");
    FILE *p2;
    p2 = fopen("data2.txt","wt");
    FILE *p3;
    p3 = fopen("data3.txt","wt");

    float x0,xn,xmark0,xmark=0;
    float y0,yn,ymark0,ymark=0;
    int col;    //x axis grid scale
    int row;    //y axis grid scale
    int i=0,j=0;

    printf("The coefficients of f(x) W, a1, ax, ay : \n");
    for(i=0;i<n;i++){
        printf("%f ",cof_x[i]);
    }
    printf("\n\nThe coefficients of f(y) W, a1, ax, ay : \n");
    for(i=0;i<n;i++){
        printf("%f ",cof_y[i]);
    }

    //----- input section -----
    -----
}

```

```

//-----
-----
printf("What's your x origin: ");
fflush(stdin);
scanf("%f",&x0);
printf("What's your x ending: ");
fflush(stdin);
scanf("%f",&xn);
printf("How many points per row: ");
fflush(stdin);
scanf("%d",&col);
//-----
-----

printf("\n\nWhat's your y origin: ");
fflush(stdin);
scanf("%f",&y0);
printf("What's your y ending: ");
fflush(stdin);
scanf("%f",&yn);
printf("How many points per column: ");
fflush(stdin);
scanf("%d",&row);
//-----
-----

//----- end of input section -----
-----

printf("\n\n%f %f %d\n",xn,x0,col);
xmark = (xn-x0)/col;
printf("\nxmark = %.1f\n",xmark);

printf("\n\n%f %f %d\n",yn,y0,row);
ymark = (yn-y0)/row;
printf("\nymark = %.1f\n",ymark);

xmark0=x0;
ymark0=y0;

float **xMat;
xMat = new float*[col+1];
for(i=0;i<col+1;i++)
    xMat[i] = new float[row+1];

float **yMat;
yMat = new float*[col+1];
for(i=0;i<col+1;i++)
    yMat[i] = new float[row+1];

```

```

float **zMat;
zMat = new float*[col+1];
for(i=0;i<col+1;i++)
    zMat[i] = new float[row+1];

    printf("\nHello CPE0 %d %d!\n",row,col);
for(i=0;i<row+1;i++){
    for(j=0;j<col+1;j++){
        xMat[i][j]=0;
        yMat[i][j]=0;
        zMat[i][j]=0;
    }
}

printf("\nHello CPE2!\n");

float r=0.0,x=0.0,y=0.0,tmpx=0.0,tmpy=0.0,temp=0.0;

printf("\n\nDisplay All Grid ....\n\n");
for(i=0;i<row+1;i++){
    for(j=0;j<col+1;j++){
        xMat[i][j] += xmark0;
        yMat[i][j] += ymark0;

        for(int k=0;k<n-3;k++){
            x = ptr_x[k] - xMat[i][j];
            y = ptr_y[k] - yMat[i][j];

            tmpx = x*x;
            tmpy = y*y;
            r = sqrt (tmpx + tmpy);

            temp += cof_x[k]*((r*r) * log(r*r));
        }

        zMat[i][j] += cof_x[n-3] + (cof_x[n-
2]*xMat[i][j]) + (cof_x[n-1]*yMat[i][j]) + temp;
        zMat[i][j] += temp*5;
        temp = 0.0;

        xmark0+=xmark;
        tmpx=0.0,tmpy=0.0;

printf("{%.2f,%.2f,%.2f},",xMat[i][j],yMat[i][j],zMat[i][j]);
    fprintf(p,"%10.4f ",zMat[i][j]);
    fprintf(p2,"%10.4f ",xMat[i][j]);

```

```
        fprintf(p3,"%10.4f ",yMat[i][j]);

        if(j == col){
            fprintf(p,"");
            fprintf(p2,"");
            fprintf(p3,"");
        }
    }

    ymark0+=ymark;

    xmark0=x0;
    //ymark0=0;
    puts("\n");
}

printf("\nHello CPE!\n");

for(int i=0;i<row+1;i++)
    delete [] xMat[i];
delete [] xMat;

for(int i=0;i<row+1;i++)
    delete [] yMat[i];
delete [] yMat;

for(int i=0;i<row+1;i++)
    delete [] zMat[i];
delete [] zMat;

printf("\nHello CPE 00!\n");
fclose(p);
fclose(p2);
fclose(p3);
return;
}
```

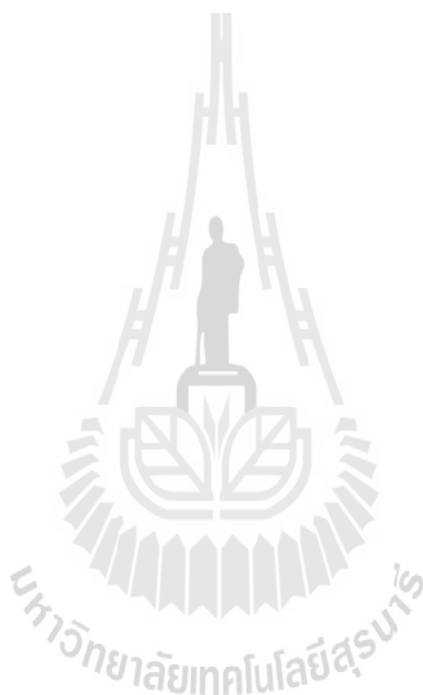


ภาคผนวก ข

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

ศุวิชา ปวีณาภรณ์และ ประเมศวร์ ห่อแก้ว (2558) **ต้นแบบระบบการประมาณค่าในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่อัลกอริทึมทินเพลทสไปลน์บนเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายจิกส์บี** .การประชุมวิชาการ TECHCON 2015 การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 1 เทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาชาติ วันที่ 11 กรกฎาคม 2558 ณ วิทยาลัยสยาม ประเทศไทย, 10 หน้า



ต้นแบบระบบการประมาณค่าในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ด้วยอัลกอริทึมทินเพลทสไปล์
บนเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบี้

A PROTOTYPE SYSTEM OF SPATIAL VARIABLES INTERPOLATION WITH
CONSTRAINT THIN PLATE SPLINE ALGORITHM IMPLEMENTED ON ZIGBEE
WIRELESS SENSOR NETWORK

สุวิชา ปวีณาภรณ์^{1*} และ ประเมศวร์ ห่อแก้ว²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

²สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

*ผู้ติดต่อ: suwichapav@yahoo.com

บทคัดย่อ

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) คือหนึ่งในเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายที่ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในการเฝ้าสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม (Environmental Monitoring) งานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งศึกษาและนำเสนอการต้นแบบระบบการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) ของตัวแปรอุณหภูมิเชิงพื้นที่โดยใช้ซิกบี้ (ZigBee) ซิกบี้ถูกกำหนดมาตรฐานในการติดต่อสื่อสารโดยคณะกรรมการจาก IEEE ซึ่งซิกบี้ถูกพัฒนาให้มีการใช้พลังงานต่ำ มีราคาถูก และมีความสามารถในการสื่อสารที่หลากหลายรูปแบบ จึงทำให้ซิกบี้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางในหลายๆอุตสาหกรรม ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ศึกษาระบบการประมาณค่าด้วยเชิงพื้นที่โดยทดสอบการประมาณค่าในช่วงของพื้นผิวอุณหภูมิโดยใช้อัลกอริทึมทินเพลทสไปล์โดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบี้ อุณหภูมิที่ตรวจวัดค่าได้และพิกัดของแต่ละโหนด ณ เวลานั้น จะถูกส่งเข้ามาที่สถานีฐานอย่างต่อเนื่องส่งผลให้เกิดการคำนวณพื้นผิวอุณหภูมิบนพื้นที่ทดสอบแบบไดนามิก และจากการส่งข้อมูลเข้ามาอย่างต่อเนื่องของโหนดต่างๆทำให้ข้อมูลที่ถูกส่งเข้ามามีจำนวนมหาศาลซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดปัญหาโอเวอร์ฟิตต์อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงมีจุดประสงค์ในการแก้ไขปัญหานี้โดยการพัฒนาโมเดลพื้นผิวข้อมูลที่เหมาะสมที่สุดบนพื้นฐานของอัลกอริทึมมินิมัมเดสคริปชันเลนจ์ขึ้นมา ซึ่งผลการทดสอบของกรวิจัยในครั้งนี้ให้ผลลัพธ์ของจำนวนจุดที่นำมาใช้ในการคำนวณที่เหมาะสมกับพื้นที่สนามทดสอบโดยผลลัพธ์ของโมเดลพื้นผิวข้อมูลที่ได้นั้นถูกสร้างขึ้นมาระหว่างจุดตัดที่ดีที่สุดของค่าความคลาดเคลื่อนและการคำนวณที่ซับซ้อนของโมเดลข้อมูล ซึ่งสิ่งเหล่านี้ได้เข้ามาเสริมความสามารถของระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: เครือข่ายรับรู้อิสระ, การประมาณค่าในช่วง, ข้อมูลเชิงพื้นที่, ทินเพลทสไปล์, โอเวอร์ฟิตต์

ABSTRACT

Wireless Sensor Network is one of widely used wireless technology for environmental monitoring. The aim of this paper is to study and to propose a prototype system of spatiotemporal variables interpolation on ZigBee. According to communication standard by IEEE committee, ZigBee is developed for low-energy consumption, cost-effective and various networking protocols, making it suitable for many industries. This paper adopted surface approximation algorithm based on Thin Plate Spline to interpolate temperature surface from spatiotemporal data acquired by ZigBee. Each node in the network was implemented by an

Arduino MCUs equipped with temperature sensor. The sensed value and its current location were continuously transmitted to the base station, whose role is to dynamically compute the underlying surface. As the acquisition proceeded, the amount of information flown within the network enormously increased and thus inevitably causing over fitting. Our contribution is thus to remedy this pitfall by developing an optimal surface modeling based on Minimum Description Length algorithm. The results reported herein suggest an appropriate number of control temperatures at a given instance, whose corresponding surface is generated with the best compromise between approximating error and computational complexity, effectively enhancing the WSN performance.

Keywords: wireless sensors network, interpolation, spatial data, thin plate spline, overfitting

1. บทนำ

เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) คือความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย ซึ่งประกอบไปด้วยเซนเซอร์อัตโนมัติหลายตัวกระจายอยู่ในพื้นที่ต่างๆ [1] ที่สามารถส่งสัญญาณติดต่อสื่อสารมายังอุปกรณ์ที่อยู่ใกล้เคียงและค้นหาเส้นทางในการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งทำการตรวจวัดค่าต่างๆ ณ สภาพแวดล้อมทางกายภาพ

ซิกบี้ (ZigBee) คือหนึ่งในเทคโนโลยีเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ได้รับความนิยมในการใช้งานอย่างแพร่หลาย และหลากหลายอุตสาหกรรม [2] ซิกบี้คือโปรโตคอลการสื่อสารและอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณ ที่ทำงานภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 ซึ่งสามารถรับ-ส่งสัญญาณในย่านความถี่ 2.4 GHz 900 MHz และ 868 MHz [3] จึงถือได้ว่าซิกบี้เป็นอุปกรณ์เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่มีประสิทธิภาพและมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน

ในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกซิกบี้มาประยุกต์ใช้งานโดยทำหน้าที่รับส่งข้อมูลอุณหภูมิในสนามทดสอบ เพื่อใช้ในการประมวลผลพื้นผิวอุณหภูมิของสนามทดสอบ โดยทำการประมวลผลผ่านอัลกอริทึมสำหรับการประมาณค่าในช่วง(interpolation) ซึ่งข้อดีของการประมวลผลข้อมูลโดยการประมาณค่าในช่วงคือลดการวัดข้อมูลที่แท้จริงที่มีปริมาณมากทำให้ลดลงโดยการสุ่มเลือกข้อมูลบางจุดมาประมวลผลเพื่อทำนายข้อมูลในพื้นที่ๆสนใจโดยไม่ต้องเก็บข้อมูลทุกจุดในพื้นที่

อย่างไรก็ตามประมวลผลข้อมูลเชิงพื้นที่โดยใช้ซิกบี้ส่งข้อมูลมาประมวลผลการประมาณค่าในช่วงนั้น มีข้อจำกัด เช่น ความคลาดเคลื่อนของการอ่านค่าข้อมูล หรือ การเก็บข้อมูลของตัวโหนด(node)เก็บข้อมูลซ้ำจุดเดิมทำให้จำนวนข้อมูลมีมากจนเกินไปและเกิดการเก็บข้อมูลในพิกัดเดิมซ้ำๆ ซึ่งการทำเกิดการโอเวอร์ฟิตติ้งของข้อมูล (overfitting) สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นต้นเหตุของปัญหาที่ทำให้ประสิทธิภาพในการประมวลผลข้อมูลนั้นลดน้อยลง [4] ดังนั้นการแก้ปัญหาการเกิดการโอเวอร์ฟิตติ้งจึงทำให้การทำงานของระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.1 ที่มาของอุปกรณ์ซิกบี้

ซิกบี้ถูกจัดวางอยู่ในตลาดของระบบเครือข่ายไร้สายที่มีการใช้งานระบบที่ไม่ต้องการความเร็วในการสื่อสาร ข้อมูลที่สูงเหมือนกับเครือข่ายไร้สายประเภทอื่นๆ เนื่องจากซิกบี้มีเป้าหมายในการใช้งานที่ไม่ซับซ้อน ขณะที่เครือข่ายไร้สายอื่นๆตั้งเป้าหมายของการใช้งานไปที่การเข้าถึงอินเทอร์เน็ตและการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่แบนด์วิดท์สูงแต่ซิกบี้มีเป้าหมายเพื่อควบคุมระบบแสงสว่างหรือส่งข้อมูลอุณหภูมิไปยังเทอร์โมสแตท ซิกบี้ยังถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานจากแหล่งพลังงานของตัวเองในระยะเวลาเป็นปีๆ ซึ่งเครือข่ายไร้สายอื่นๆ ถูกออกแบบมาให้มีอายุการใช้งานของอุปกรณ์ในระยะเวลา 1 ถึง 2 ปี แต่ซิกบี้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานเป็นระยะเวลาหลายปี หรืออาจจะถึงสิบๆปี [5]

1.2 รูปแบบการเชื่อมต่อของระบบเครือข่าย (Network Topology)

จากโพรโตคอลมาตรฐาน 802.15.4 [7] ได้ถูกกำหนดออกมาสำหรับเครือข่ายไร้สายราคาถูกสำหรับการใช้งานในสถานที่อยู่อาศัยและสภาพแวดล้อม ในปี 2003 บริษัท ZigBee Alliance ออกอุปกรณ์ภายใต้มาตรฐานนี้เวอร์ชันที่ 1 ออกมาในปี 2004 ซึ่งใช้พื้นฐานการติดต่อสื่อสารของอุปกรณ์โดยใช้การสื่อสารชั้นกายภาพ (Physical layer (PHY)) และ ชั้น Medium Access Control (MAC) ของโพรโตคอลมาตรฐาน 802.15.4/zigbee โดย ZigBee Alliance ได้กำหนดรูปแบบของการเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไว้ 3 แบบด้วยกันคือ star, mesh (peer-to-peer) และ tree ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้จะกำหนดรูปแบบการเชื่อมต่อของระบบเป็นการเชื่อมต่อแบบ star

1.3 โมเดลชั้นการสื่อสารของซิกบี (ZigBee Protocol Stack)

ZigBee และ IEEE 802.15.4 ถูกเข้าใจสับสนกันบ่อยครั้งแต่ทั้งสองอย่างนี้ใช้แลกเปลี่ยนข้อมูลเพื่อการสื่อสารกันบ่อยครั้งแต่ทำทั้งสองอย่างนี้ไม่เหมือนกัน

มาตรฐาน 802.15.4 [7] ถูกกำหนดโดย IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) โดยมาตรฐานนี้กำหนดพื้นฐานการติดต่อสื่อสารของอุปกรณ์โดยใช้การสื่อสารชั้นกายภาพ (Physical layer (PHY)) และ ชั้น Medium Access Control (MAC) สำหรับเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล PAN (Personal Area Network) ซึ่ง ZigBee กำหนดการติดต่อสื่อสารข้อมูลที่อยู่สูงขึ้นไปจาก IEEE 802.15.4 ได้กำหนดไว้ในชั้น กายภาพ (Physical layer (PHY)) และ ชั้น Medium Access Control (MAC) โดย ZigBee กำหนดการค้นหาเส้นทาง การสื่อสาร (Routing Protocol) การสื่อสารแบบ Multi-Hop และชั้นสื่อสารที่หน้าหน้าที่สูงขึ้นไปทั้งหมด

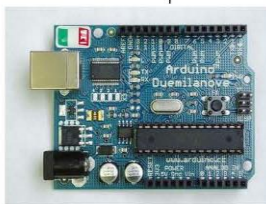
1.4 ภาษาซิกบี (ZigBee Speak)

ซิกบีบีก็เหมือนดังเช่นเทคโนโลยีอื่นๆที่มีภาษาในการใช้งานเป็นของตัวเอง [8] โดยคำศัพท์ทั้งหมดเหล่านี้ถูกกำหนดไว้ใน ZigBee Specification ซึ่ง ZigBee Alliance เป็นผู้กำหนดขึ้นมา

1.5 อาร์ดีโนไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Microcontroller)

อาร์ดีโนไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino) คือ โอเพ่นซอร์สเอ็มซียูแบบซิงเกิลบอร์ด โดยพัฒนาสืบทอดมาจากบอร์ดแบบไวร์ริงแพลตฟอร์มที่ถูกออกแบบมาเพื่อรองรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆเพื่อให้ง่ายต่อการสร้างโปรเจกต์ของหลากหลายแขนงวิชาความรู้สามารถเข้าถึงไมโครคอนโทรลเลอร์ได้มากยิ่งขึ้น [9]

ประกอบไปด้วยฮาร์ดแวร์ระบบเปิดที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานสำหรับอาร์ดีโนโดยเฉพาะและติดตั้งบอร์ดสำหรับอินพุต/เอาต์พุตมาพร้อมตั้งแต่โรงงานผลิตตั้งแต่แสดงในรูปแบบที่ 1 ขอฟท์แวร์ของอาร์ดีโนประกอบด้วยตัวแปลภาษามาตรฐานสำหรับการเขียนโปรแกรมและมีบูตโหลดเดอร์ติดตั้งมาอยู่บนตัวบอร์ดแล้วและด้วยการใช้งานที่ไม่ซับซ้อนและมีความสามารถในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ อาร์ดีโนไมโครคอนโทรลเลอร์จึงถูกนำไปประยุกต์ใช้การเฝ้าสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติต่างๆ



รูปที่ 1 Arduino Duemilanove Board ที่ใช้เป็นตัวประมวลผลในงานวิจัยชิ้นนี้

1.6 อัลกอริทึมThin Plate Spline (Thin Plate Spline)

Thin Plate Spline คือเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับสร้างโมเดลของพื้นผิวข้อมูล (Data Surface) จากการแปลงพิกัด โดย Thin Plate Spline ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางในการสร้างโมเดลของพื้นผิวข้อมูลบนคอมพิวเตอร์ [10] โดยนำไปใช้งานในลักษณะการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) ของข้อมูลที่มีลักษณะกระจัดกระจาย (Scattered Data)

ทึนเพลทสไปล์คือการนำพีชคณิตมาอธิบายการบิดหรือการเปลี่ยนรูปร่างทางกายภาพของวัตถุที่มีลักษณะแบนราบคล้ายแผ่นโลหะที่เกิดจากจุดของข้อมูลที่มีอย่างจำกัดบนแผ่นวัตถุนั้น [11]

สำหรับการประมาณค่าในช่วงของพื้นผิวที่มีการกำหนดจุดบนระนาบ พลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงรูปของระนาบนั้นคือรูปแบบของสมการกำลังสองจากระนาบบนที่ถ่ายทอดพลังงานไปสู่พื้นผิวด้านล่างจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพื้นผิว โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ใช้อัลกอริทึมทึนเพลทสไปล์ที่ภู่านำเสนอโดย Fred L. Bookstein (1989) [11]:

1.6.1 ฟังก์ชัน $U(r)$

$$z(x, y) = -U(r) = -r^2 \log r^3 \quad (1)$$

โดยที่ r คือระยะทางของ $\sqrt{x^2 + y^2}$ จากจุดคาร์ทีเซียน

1.6.2 ฟังก์ชัน $f(x, y)$

คือฟังก์ชันหลักที่ใช้ในการคำนวณการสร้างโมเดลพื้นผิวของข้อมูลจากตารางกริด โดยนำค่าจากสมการ $L^{-1}Y$ มาใช้คำนวณเพื่อทำนายข้อมูลแต่ละจุดในระนาบที่ทำการทดลอง:

$$f(x, y) = a_1 + a_x x + a_y y + \sum_{i=1}^n w_i U(|P_i - (x, y)|) \quad (2)$$

1.6.3 สมการ $L^{-1}Y$

เพื่อนำไปหาค่าสัมประสิทธิ์ a_1, a_x, a_y ซึ่งสัมประสิทธิ์เหล่านี้คือสิ่งที่จำเป็นในการสร้างสมการทึนเพลทสไปล์เพื่อคำนวณโมเดลพื้นผิวข้อมูล โดยกำหนดให้

$$L^{-1}Y = (W | a_1, a_x, a_y)^T \quad (3)$$

โดยให้ V คือจุดควบคุมบนระนาบซึ่งก็คือข้อมูลอนุกรมที่ได้จากการส่งข้อมูลเข้าของซิกส์บีในสนามทดสอบ

$$V = (v_1, \dots, v_n) \quad (4)$$

และ

$$Y = (V | 0, 0, 0)^T \quad (5)$$

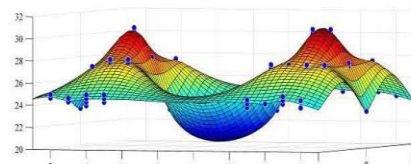
1.6.4 เมทริกซ์ต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ

กำหนด

$$L = \begin{bmatrix} K & P \\ P^T & 0 \end{bmatrix}, (n+3) \times (n+3) \quad (6)$$

เมื่อ T คือเครื่องหมายทรานส์โพสของเมทริกซ์ และ 0 คือ เมทริกซ์ 3×3 ที่มีค่าเป็นศูนย์

$$K = \begin{bmatrix} 0 & U(r_{12}) & \dots & U(r_{1n}) \\ U(r_{21}) & 0 & \dots & U(r_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ U(r_{n1}) & U(r_{n23}) & \dots & 0 \end{bmatrix}, n \times n; \quad P = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_n & y_n \end{bmatrix}, 3 \times n; \quad (7)$$



รูปที่ 2 ลักษณะของโมเดลข้อมูลที่ใช้ในการทดลองโดยผ่านการประมวลผลด้วยอัลกอริทึมทึนเพลทสไปล์

1.7 การควบคุมปัญหาโอเวอร์ฟิตติ้ง (The control of overfitting problems)

การโอเวอร์ฟิตติ้งของข้อมูลคือการที่เราใช้โมเดลข้อมูลเชิงสถิติมาอธิบายความคลาดเคลื่อนของข้อมูลหรือข้อมูลที่มีลักษณะเป็นนอยซ์ (Noise Data) แทนความสัมพันธ์พื้นฐานของข้อมูล ปัญหาของการโอเวอร์ฟิตติ้งของข้อมูลโดยทั่วไปแล้วเกิดขึ้นเมื่อโมเดลของข้อมูลนั้นมีความซับซ้อนมากเกินไป เช่น มีตัวแปรในการคำนวณมากเกินไป ความจำเป็น หรือ โมเดลที่ใช้ในการสร้างเทรนนิ่งเซต (Training Set) นั้นขาดการประมาณค่าที่มีประสิทธิภาพจึงทำให้เกิดการผันผวนมากเกินไป

1.7.1 สาเหตุของและปัญหาของการเกิดการโอเวอร์ฟิตติ้งของข้อมูล

สาเหตุในการเกิดปัญหาโอเวอร์ฟิตติ้งของข้อมูลในงานวิจัยชิ้นนี้คือการกำหนดให้ซิกซ์บีแต่ละตัวทำการสุ่มทิศทางเดินโดยใช้การสุ่มแบบยูนิฟอร์ม โดยให้การเก็บข้อมูลของโหนดนั้นเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและการเก็บข้อมูลของแต่ละโหนดนั้นเกิดการเดินซ้ำตำแหน่งจากการสุ่มการเดินของโหนดแต่ละตัวได้จึงเกิดการเดินซ้ำจุดเดิมๆในสนามทดสอบ จึงทำให้มีการส่งข้อมูลซ้ำๆมาประมวลผลจำนวนมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ๆทำการทดลอง ส่งผลให้โมเดลข้อมูลที่ถูกสร้างขึ้นมีความซับซ้อนมากขึ้นอันเนื่องมาจากตัวแปรจำนวนมากที่ใช้ในการทำโมเดลข้อมูล

การเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่เข้ามาประมวลผลนั้นต้องใช้ข้อมูลจริง (Study Sample) จากซิกซ์บีในสนามทดสอบส่งเข้ามาประมวลผลซึ่งการเก็บข้อมูลจริงนั้นจะเก็บโดยวัดผลข้อมูลในพื้นที่ๆกำหนดไว้ (Testing Field) แต่การเดินเก็บข้อมูลโดยสุ่มเส้นทางเดินเก็บข้อมูลของซิกซ์บีนั้นมีการส่งข้อมูลเข้ามาอย่างต่อเนื่องจึงทำให้มีข้อมูลที่ถูกรับเข้ามาใช้ในการสร้างโมเดลมีจำนวนมากเกินไปหรือมีข้อมูล ณ ที่เกิดเดิมซ้ำๆกัน และข้อมูลบางพิสัยที่เกิดการซ้ำกันนั้นบางจุดยังเกิดความผันผวนของค่าอนุกรมที่ถูกส่งเข้ามาอีกด้วย จึงส่งผลต่อประสิทธิภาพและความแม่นยำในการสร้างข้อมูลและการใช้ทรัพยากรในการคำนวณของเครื่องแม่ข่ายและใช้เวลาในการคำนวณโมเดลของข้อมูลมากขึ้นไปด้วย ดังนั้นปัญหาที่เกิดขึ้นในส่วนนี้ของการทดลองจึงต้องได้รับการป้องกันหรือแก้ไขการเกิดปัญหาโอเวอร์ฟิตติ้งของข้อมูลจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและการประหยัดเวลาในการทำงานของระบบด้วย

1.7.2 การแก้ปัญหาโอเวอร์ฟิตติ้งโดยใช้อัลกอริทึมมินิมัมเดสคริปชันเลนจ์ (Minimum Description Length)

อัลกอริทึมมินิมัมเดสคริปชันเลนจ์ หรือ เอ็มดีแอล การอธิบายความซับซ้อนทฤษฎีของ Kolgomorov Chaitin และ Solomonoff [12] ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการคัดเลือกโมเดล (Model Selection) ข้อมูลที่ใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ประยุกต์ใช้อัลกอริทึมเอ็มดีแอล [13] เข้ากับการประมาณค่าในช่วงโดยใช้อัลกอริทึมทินเพลตสไปลโดยมีสมการดังนี้

$$L(\hat{\theta}_n) = \left[\frac{1}{m} \left(\sum_{i=1}^m \|f(x_i, y_i) - \hat{f}(x_i, y_i)\| \right) \right] + \frac{k}{2} \log n \quad (8)$$

โดยที่ $L(\hat{\theta}_n)$	คือ ความยาวของพารามิเตอร์ที่ได้จากอัลกอริทึมเอ็มดีแอล
$\frac{1}{m} \left(\sum_{i=1}^m \ f(x_i, y_i) - \hat{f}(x_i, y_i)\ \right)$	คือ เทอมของผลรวมค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของโมเดลข้อมูล
$\frac{k}{2} \log n$	คือ ขนาดของโมเดลข้อมูล

โดยเมื่อนำทั้งสองเทอมจากสมการที่ (8) มารวมกันแล้วจะทำให้ได้ขนาดความยาวของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับโมเดลข้อมูลที่ทำทดลองในสนามทดสอบที่ได้สร้างขึ้นในงานวิจัยชิ้นนี้

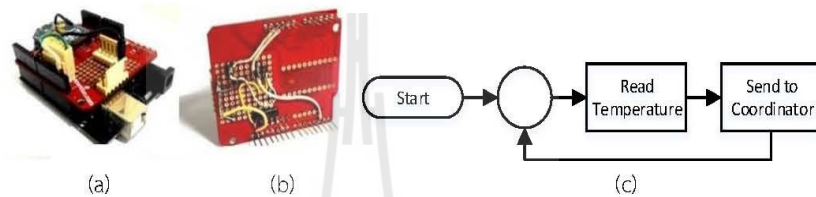
2. วิธีการศึกษา

ในการทดลองได้สร้างพื้นที่จำลองการทดสอบข้อมูลภาคสนามขนาดกว้าง 4.8 เมตร และ ยาว 5.1 เมตร เพื่อทำการทดสอบ โดยทำการตรวจวัดอนุกรมผ่านเซนเซอร์บนซิกซ์บีโหนดที่มีเส้นทางเดินเก็บข้อมูลแบบสุ่มทิศทาง โดยนำข้อมูลการตรวจวัดอนุกรมจากซิกซ์บีโหนดส่งมาประมวลผลที่ซิกซ์บีโคโอรดิเนเตอร์ซึ่งติดตั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายเพื่อสร้างโมเดลจากการประมาณค่าในช่วงของอนุกรม จากนั้นทำการคัดเลือกโมเดล

โดยใช้อัลกอริทึมเอ็มดีแอล เพื่อทำการหาค่าความยาวของพารามิเตอร์ของอัลกอริทึมทวินเพลสโปรดที่สั้นที่สุด
เหมาะสมที่สุดและมีประสิทธิภาพเหมาะสมกับการสร้างโมเดลของข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ

2.1 ชิกล์บีโหนด

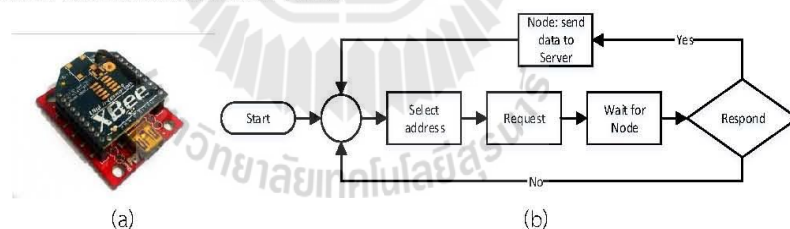
ชิกล์บีโหนดแต่ละโหนดจะประกอบด้วยโมดูลรับส่งสัญญาณและอาร์ไดโนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ติดตั้ง
เซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ DS18B20 เข้าไปบนชิกล์บี
โหนดแต่ละโหนดเพื่อทำการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ โดยการตรวจวัดค่าอุณหภูมิของชิกล์บีโหนดจะทำงานวนลูบโดย
การอ่านค่าจากเซนเซอร์ ประมวลผลโดยอาร์ไดโนไมโครคอนโทรลเลอร์และส่งค่าผ่านชิกล์บีโมดูลผ่านไปยังเครื่อง
แม่ข่าย โดยมีชิกล์บีโหนดที่ทำการทดสอบจำนวน 3 โหนด



รูปที่ 3 ชิกล์บีโหนด (a) ชิกล์บีซิลด์ที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างอาร์ไดโนและชิกล์บี (b) และ ฝั่งงานของชิกล์บีโหนด (c)

2.2 ชิกล์บีโคโออร์ดิเนเตอร์

คือโมดูลทำหน้าที่เป็นแม่ข่ายในการติดต่อรับส่งข้อมูลอุณหภูมิที่เก็บค่าได้จากชิกล์บีโหนดทุกตัว โดยเชื่อมต่อ
ผ่านสาย USB มายังตัวเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย การทำงานของชิกล์บีโคโออร์ดิเนเตอร์จะทำงานโดยเลือก
แอดเดรสของชิกล์บีโหนดที่ต้องการส่งข้อมูลไปหลังจากนั้นร้องขอไปยังโหนดว่าต้องการส่งข้อมูลมายังโคโออร์
ดิเนเตอร์หรือไม่ ถ้าโหนดมีความต้องการส่งข้อมูลก็จะส่งข้อมูลกลับมา แต่ถ้าโหนดไม่มีความต้องการส่งข้อมูล
กลับมายังโคโออร์ดิเนเตอร์ ชิกล์บีโคโออร์ดิเนเตอร์ก็จะทำการวนลูบถามไปยังโหนดอีกครั้ง ในการทดลอง
นี้มีตัวเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายจำนวน 1 เครื่อง



รูปที่ 5 ชิกล์บีโคโออร์ดิเนเตอร์ (a) และ ฝั่งงานของชิกล์บีโคโออร์ดิเนเตอร์ (b)

2.3 คุณสมบัติของระบบซอฟต์แวร์

อาร์ไดโนไมโครคอนโทรลเลอร์: ใช้ Arduino IDE ในการพัฒนาโปรแกรมอ่านค่าจากการตรวจวัดข้อมูล
อุณหภูมิและใช้ในการ Burn Code ลงบนอาร์ไดโนไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด

เซิร์ฟเวอร์: ใช้ภาษาซีในการพัฒนาโปรแกรมประมวลผลการประมาณค่าในช่วงด้วยอัลกอริทึมทวินเพลสโปรด
และอัลกอริทึมเอ็มดีแอลซึ่งทำงานอยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย

2.4 สนามทดสอบและการทดสอบ

ในการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการสร้างสนามทดสอบระบบขนาดกว้าง 4.8 เมตร และ ยาว 5.1 เมตร เพื่อทำ
การทดสอบการตรวจวัดค่าอุณหภูมิโดยใช้ถ่านอัดแห้งจุดไฟจำนวน 16 แห่ง โดยแบ่งถ่านอัดแห้งที่จุดไฟแล้วเป็น 2
กองๆละเท่าๆกัน การทดสอบแบ่งออกเป็น 3 ครั้ง โดยการสุ่มเก็บข้อมูลจำนวน 600จุด 1200จุด และ 1800จุด
ตามลำดับ โดยเมื่อเสร็จสิ้นการเก็บข้อมูลแต่ละชุดแล้วก็จะนำข้อมูลแต่ละชุดมาทำการทดสอบหาความ

คลาดเคลื่อนของข้อมูลแต่ละชุดโดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุดด้วยกัน โดยชุดแรกข้อมูลส่วนที่ใช้สร้างโมเดล (Training Data) คือข้อมูลจำนวน 75 เปอร์เซ็นต์ ของข้อมูลทั้งหมดที่ทำการทดสอบ และ ชุดที่สองข้อมูลส่วนที่นำมาทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลข้อมูล (Testing Data) คือข้อมูลจำนวน 25 เปอร์เซ็นต์ที่เหลือจากชุดแรก



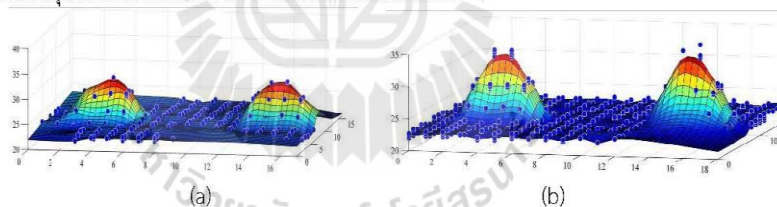
รูปที่ 7 ถ่านอัดแท่งที่นำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนเพื่อทำการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ

2.5 การสุ่มหาเส้นทางการเดินของชิกส์บีโหนด

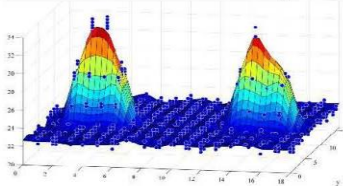
ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้กำหนดให้ชิกส์บีโหนดเดินสำรวจเพื่อเก็บค่าข้อมูลอุณหภูมิแบบสุ่มทิศทางโดยการเดินของโหนดแต่ละโหนดนั้นถูกกำหนดทิศทางเดินไว้ 4 ทิศทางคือ ซ้าย ขวา หน้าและหลัง โดยใช้การสุ่มโอกาสเกิดทิศทางทั้ง 4 ทิศทางโดยใช้การแจกแจงแกมมาของตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่องจึงทำให้โอกาสเกิดการเดินแต่ละขั้นในทุกทิศทางมีโอกาสเกิดขึ้นเท่าๆกัน

3. ผลการศึกษา

ในการทดลองระบบการประมาณค่าในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ด้วยอัลกอริทึมทีนเพลตสไปล์น จากชิกส์บีโหนดทั้ง 3 ตัว บนสนามทดสอบจำลองขนาดกว้าง 4.8 เมตร และ ยาว 5.1 เมตร ที่แบ่งการจัดเก็บข้อมูลออกเป็น 3 ชุด คือ 600จุด 1200จุด และ 1800จุด ตามลำดับ ได้โมเดลจากข้อมูลทั้ง 3 ชุด โดยผลการทดลองข้างต้นจะเห็นได้ว่า มีจุดซ้ำๆกันเกิดขึ้นหลายตำแหน่งในแต่ละโมเดล แสดงถึงการเก็บข้อมูลซ้ำๆ ณ ตำแหน่งเดิมจากการเดินเก็บค่าแบบสุ่มของชิกส์บีโหนดทั้ง 3 ตัว ซึ่งได้ผลการทดสอบดังนี้



รูปที่ 8 โมเดลข้อมูลจากอัลกอริทึมทีนเพลตสไปล์นจากจำนวนข้อมูล 600 จุด (a) และ 1200 จุด (b)



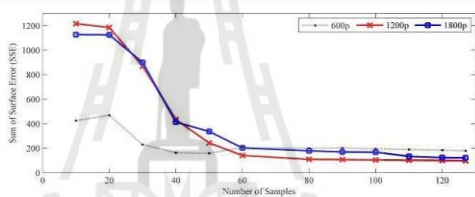
รูปที่ 9 โมเดลข้อมูลจากอัลกอริทึมทีนเพลตสไปล์นจากจำนวนข้อมูล 1800 จุด

จากผลของทดลองของการสร้างโมเดลข้อมูลด้วยอัลกอริทึมทีนเพลตสไปล์นจากเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายจะสังเกตเห็นว่าเพื่อชิกส์บีโหนดเก็บข้อมูลในสนามทดสอบมากขึ้นๆ หากสังเกตที่จุดสีน้ำเงินดังแสดงรูปที่ (8) - (10) จุดต่างๆแสดงถึงการเดินเก็บข้อมูลของชิกส์บีโหนดทุกตัวดังนั้นจุดที่เกิดขึ้นซ้ำๆกันหรือจุดที่ซ้ำกันแต่มีค่าไม่เท่ากันจุดต่างๆเหล่านี้คือสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาโอเวอร์ฟิตติ้งของข้อมูลในแต่ละโมเดลเพราะฉะนั้นการแก้ปัญหาเหล่านี้ การแก้ปัญหาหรือป้องกันการเกิดการโอเวอร์ฟิตติ้งของข้อมูลจึงมีความสำคัญ

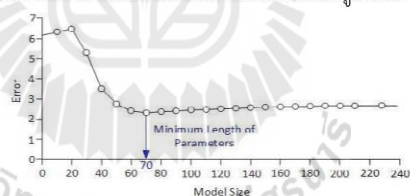
4. อภิปรายผล

ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้นำอัลกอริทึมมินิมัลดิสกรีพชันเลนจ์ [13] ซึ่งเป็นในอัลกอริทึมที่ใช้ในการคัดเลือกโมเดลข้อมูล(Model Selection) มาใช้งาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำนายโมเดลข้อมูลจากอัลกอริทึมทินเพลตสไปล์ ถ้าการทำนายโมเดลข้อมูลปราศจากการคัดเลือกโมเดล(Model Selection) จะส่งผลให้การทำนายโมเดลข้อมูลมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ ดังนั้นการประยุกต์ใช้งานเอ็มดีแอลในงานวิจัยชิ้นนี้ซึ่งทำการคัดเลือกโมเดลข้อมูลที่มีความเหมาะสมที่สุดจากข้อมูลทั้ง 3 ชุด จากการหาค่าผลรวมความคลาดเคลื่อนของแต่ละโมเดล เมื่อพบโมเดลที่เหมาะสมแล้วจึงนำมาวิเคราะห์หาจำนวนจุดที่เหมาะสมสำหรับการที่ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างโมเดลที่มีประสิทธิภาพ จากข้อมูลที่แสดงดังรูปที่ 11 จะเห็นได้ว่าถ้าจำนวนจุดที่ใช้ในการสร้างโมเดลมีจำนวนน้อยเกินไปจะส่งผลให้มีความคลาดเคลื่อนในการทำนายข้อมูลที่สูงขึ้น แต่ถ้าจำนวนจุดที่ใช้ในการสร้างโมเดลมีจำนวนมากเกินไปก็จะได้ความแม่นยำที่มากขึ้นแต่ขนาดของโมเดลก็ใหญ่มากเกินความจำเป็น

เพราะฉะนั้นเราจึงต้องเลือกจำนวนจุดที่จะใช้สร้างโมเดลข้อมูลให้มีความเหมาะสม ซึ่งก็คือจำนวน 1200 จุด เมื่อเลือกขนาดที่เหมาะสมในการสร้างโมเดลของข้อมูลได้แล้ว อัลกอริทึมเอ็มดีแอลจะทำการวิเคราะห์และค้นหาความยาวของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการทำนายโมเดลข้อมูลที่มีประสิทธิภาพโดยคำนวณจากสมการที่ (9) เมื่อได้ผลลัพธ์จากสมการข้างต้นแล้วนำผลที่ได้มาเขียนกราฟจึงได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 12

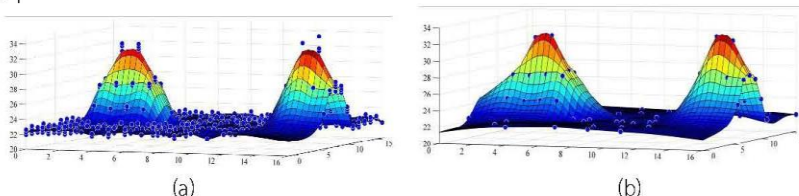


รูปที่ 11 ผลรวมของค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละโมเดลที่ใช้ข้อมูล 600 1200 และ 1800 จุด



รูปที่ 12 ผลการวิเคราะห์หาจำนวนจุดที่เหมาะสมที่สุดในการทำนายโมเดลโดยอัลกอริทึมเอ็มดีแอล

จากรูปที่ 12 อัลกอริทึมเอ็มดีแอลได้คำนวณพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทำนายโมเดลแล้ว ผลที่ได้ก็คือความยาวของพารามิเตอร์ที่ขนาด 70 จุด บนพื้นที่การทดลอง จากนั้นระบบจะยึดถือจำนวนจุดที่ได้จากอัลกอริทึมเอ็มดีแอลเอาไว้ใช้ในการทำนายโมเดลต่อไป แต่ถ้าข้อมูลจากซิกัสบีไหนถูกส่งเข้ามาในระบบเพิ่มระบบก็จะนำมาเรียงลำดับแล้วคัดเลือกข้อมูลที่ 70 ลำดับแรก หากข้อมูลที่ถูกรับเข้ามาใหม่ไม่มีความเหมาะสมในการทำนายโมเดลที่มีประสิทธิภาพ ระบบก็จะไม่นำจุดเหล่านั้นมาทำนายโมเดลใหม่และยังรอจุดที่เหมาะสมต่อไปเรื่อยๆ



รูปที่ 13 ผลการเปรียบเทียบโมเดลข้อมูลระหว่างข้อมูล 1200 จุด (a) และข้อมูล 70 จุด (b) ที่ได้จากอัลกอริทึมมินิมัลดิสกรีพชันเลนจ์

จากรูปที่ 13 แสดงผลโมเดลข้อมูลเปรียบเทียบกันระหว่างโมเดลข้อมูลผ่านอัลกอริทึมมินิมัลดิสทริบชันเลนจ์และข้อมูลดิบที่ไม่ผ่านกระบวนการป้องกันการเกิดการโอเวอร์ฟิตติงของข้อมูล แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ผ่านกระบวนการ 13(b) นั้นไม่มีจุดที่ข้อมูลซ้ำซ้อนกันดังรูปที่ 13(a) แต่ก็ยังให้ผลการทำนายโมเดลที่ใกล้เคียงกันกับโมเดลข้อมูลที่มีพารามิเตอร์จำนวนมาก ดังนั้นอัลกอริทึมมินิมัลดิสทริบชันเลนจ์จึงช่วยสนับสนุนให้ระบบต้นแบบการประมาณค่าในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่นั้นมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้พัฒนาต้นแบบระบบการประมาณค่าในช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ด้วยอัลกอริทึมทินเพลทสไปลีนบนเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบี โดยซิกบีโหนดถูกพัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของอาร์โดโนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความง่ายต่อการใช้งานและการพัฒนาระบบการประมาณค่าในช่วงของการวัดอุณหภูมิของถ่านอัดแท่งในพื้นที่ทดสอบที่ถูกกำหนดไว้และใช้อัลกอริทึมทินเพลทสไปลีนสร้างโมเดลของข้อมูลอุณหภูมิ

จากการกำหนดให้ซิกบีโหนดเดิมสุ่มเก็บข้อมูลแบบต่อเนื่องส่งผลให้เกิดการโอเวอร์ฟิตติงของโมเดลข้อมูล ผู้วิจัยได้นำอัลกอริทึมมินิมัลดิสทริบชันเลนจ์เข้ามาประยุกต์ใช้และแก้ปัญหา โดยเมื่อใช้ข้อมูลความยาวของพารามิเตอร์ที่ได้จากอัลกอริทึมนี้แล้วส่งผลให้การทำนายโมเดลข้อมูลของทินเพลทสไปลีนใช้จำนวนพารามิเตอร์น้อยลงแต่ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับจำนวนพารามิเตอร์ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการประมวลผลข้อมูล

6. รายการอ้างอิง

- [1] Lewis, F.L. (2004). *Wireless Sensor Networks*. Smart Environments: Technologies, Protocols, and Applications, ed. D.J. Cook and S.K. Das, John Wiley, New York, 2004.
- [2] The ZigBee Alliance (2015). *Global Leaders creating innovative products and services for the Internet of Things*, URL: <http://www.zigbee.org/zigbeealliance/our-members/>.
- [3] Digi International@ Inc. (Digi@) (2015). *ZigBee® Low-cost, low-power, wireless networking for device monitoring and control*, URL: <http://www.digi.com/technology/rf-articles/wireless-zigbee>.
- [4] Boria, R.A., Olson, L.E., Goodman, S.M. and Anderson, R.P. (2014). *Spatial filtering to reduce sampling bias can improve the performance of ecological niche models*, *Ecological Modelling*, vol. 275, 10 March 2014, pp. 73–77.
- [5] Farahani, S. (2008). *ZigBee Wireless Networks and Transceivers*. ISBN: 978-0-7506-8393-7, Elsevier Inc.
- [6] Gislason, D. (2008). *ZigBee Wireless Networking*. ISBN: 978-0-7506-8597-9, Elsevier Inc.
- [7] IEEE Standard for Local and metropolitan area networks (2011). *Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)*, URL: <https://standards.ieee.org/about/get/802/802.15.html>.
- [8] ZigBee Alliance (2008). *ZIGBEE SPECIFICATION*, ZigBee Document 053474r17, ZigBee Alliance, January 17, 2008.
- [9] Arduino (2015). *Arduino Microcontroller Board*, URL: <http://www.arduino.cc/>.
- [10] Donato, G. and Belongie, S. (2003). *Approximation Methods for Thin Plate Spline Mappings and Principal Warps*. Proceedings, Part III, Lecture Notes in Computer Science, Copenhagen, Denmark 2003.
- [11] Bookstein, F.L. (1989). *Principal Warps: Thin-Plate Splines and the Decomposition of Deformations*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 11, NO. 6, June 1989.

[12] Li, M. and Watányi, P. (1996). *An Introduction to Kolmogorov Complexity and Its Applications*, New York: Springer-Verlag.

[13] Hansen, M.H. and Yu, B. (2001). *Model Selection and the Principle of Minimum Description Length*, *Journal of the American Statistical Association* June 2001, vol. 96(454), Review Paper.



ประวัติผู้เขียน

นายสุวิชา ปวีณาภรณ์ เกิดเมื่อวันที่ 24 เมษายน พ.ศ. 2530 ที่อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา เริ่มเข้าศึกษาชั้นประถมศึกษาตอนต้นจนถึงประถมศึกษาตอนปลายที่ โรงเรียนเมืองนครราชสีมา อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา และศึกษาต่อชั้นมัธยมศึกษาตอน และจนถึงมัธยมศึกษาตอนปลายที่ โรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2548 ได้เข้าศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และสำเร็จการศึกษาเมื่อปีการศึกษา 2551 ภายหลังจากสำเร็จการศึกษาได้เข้าทำงานที่บริษัท วินท์คอมเทคโนโลยี จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทตัวแทนการจำหน่ายติดตั้งอุปกรณ์ของบริษัท ชันไมโครซิสเต็ม ประเทศไทย จำกัด ณ ปี พ.ศ. 2551 หลังจากนั้นได้ลาศึกษาต่อในระดับ บัณฑิตศึกษา สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี พ.ศ. 2553

ในระหว่างการศึกษาได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรเมศวร์ ห่อแก้ว และ อาจารย์วิชัย ศรีสุรภัย ที่ให้คำแนะนำและเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ สำหรับจัดทำระบบที่ใช้ในการทำวิจัย นอกจากนี้ยังมีผลงานการศึกษาวิจัยดังนี้

- **Examination Assessment Tool Implemented with Erlang K-means Clustering,**
Proceeding of the international MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2011 Vol I, IMECS 2011, March 16 – 18, 2011, Hong Kong
- **A PROTOTYPE SYSTEM OF SPATIAL VARIABLES INTERPOLATION WITH CONSTRAINT THIN PLATE SPLINE ALGORITHM IMPLEMENTED ON ZIGBEE WIRELESS SENSOR NETWORK,** การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 1 เทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาชาติ, 11 กรกฎาคม 2558, วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม