

การสำรวจงานวิจัยทางด้านการใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายในทางการแพทย์

กรกมล พลเยี่ยม, พนมพร ปฏิภาณวัฒน์, สุภชัย สมบัติหา

ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ ในบทความนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับการสำรวจงานวิจัยทางด้านการใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายในทางการแพทย์ ซึ่งปัจจุบันความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์สมองกลฝังตัวทำให้เกิดโอกาสใช้งานเซนเซอร์ในเครือข่ายไร้สายทางการแพทย์ เช่น การเพิ่มจำนวนของผู้ป่วยที่เป็นโรคเรื้อรังและโรครุขรา ที่ต้องการการเฝ้าดูแลเอาใจใส่อย่างสม่ำเสมอจากแพทย์และพยาบาล ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายจึงทำให้งานทางด้านทางการแพทย์สะดวกสบายขึ้น ทำให้สามารถดูแลผู้ป่วยที่พักฟื้นอยู่ที่บ้านจากระยะไกลได้ผ่านทางเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย หากเกิดเหตุฉุกเฉินก็จะสามารถระบุตำแหน่งของผู้ป่วยจากอุปกรณ์เคลื่อนที่ ซึ่งติดอยู่กับตัวผู้ป่วยสามารถส่งสัญญาณเพื่อขอรับการช่วยเหลือได้อย่างทันท่วงที และการที่ต้องติดต่อสื่อสารกับผู้ดูแลตลอดเวลา พลังงานที่ใช้กับอุปกรณ์เคลื่อนที่เหล่านี้ก็มีส่วนสำคัญในการที่จะทำการติดต่อสื่อสารกับผู้ป่วยเป็นไปอย่างราบรื่น ไม่ติดขัดหรือหยุดชะงัก ในอนาคตหากมีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายอย่างต่อเนื่อง ก็จะส่งผลให้มีความงานวิจัยที่เป็นประโยชน์ในการบริการทางการแพทย์ให้มากยิ่งขึ้นจำนวนมากซึ่งจะส่งผลดีต่อการดูแลสุขภาพและติดตามผู้ป่วยในอนาคต

คำสำคัญ- การระบุตำแหน่ง การแพทย์ เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย พลังงาน อัลกอริทึม

I. บทนำ

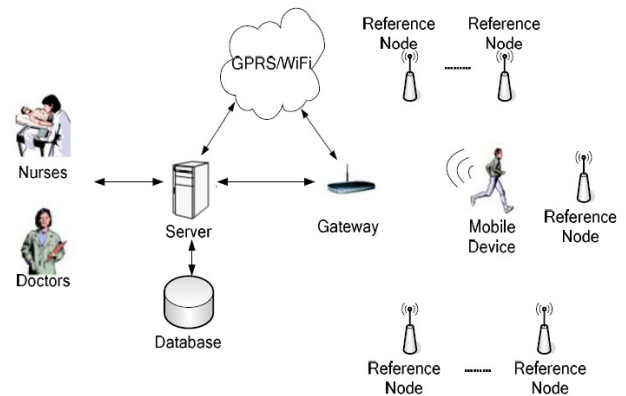
ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ต เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์สมองกลฝังตัว เทคโนโลยีอุปกรณ์มือถือที่ทันสมัย เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย การพัฒนาวงจรไฟฟ้าให้มีขนาดเล็กลง ทำให้เซนเซอร์มีขนาดเล็กและราคาถูกลง และเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่ครอบคลุมไปทั่วโลก จึงทำให้เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายเกิดขึ้นและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องออกมาออกมามากมายได้กล่าวถึงเทคโนโลยีเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เซนเซอร์นั้นจะถูกฝังไว้ในสภาพแวดล้อมต่างๆที่ต้องการเก็บข้อมูล ในที่นี้ทางผู้วิจัยได้ทำการสำรวจงานวิจัยทางด้านการใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายทางการแพทย์ โดยจะกล่าวถึง หลักการทำงานของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ชนิดของคลื่นสัญญาณที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารในเครือข่ายไร้สาย ประเภทของเซนเซอร์ที่ใช้ในทางการแพทย์ การทำงานของเซนเซอร์ไร้สายในทางการแพทย์ การประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆในทางการแพทย์ เทคนิคการใช้งานในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เช่น เทคนิคการใช้งานการระบุตำแหน่ง[6], [8], [9], [11], [12], [13], เพื่อระบุตำแหน่งที่อยู่ของผู้ป่วยได้อย่างถูกต้องแม่นยำเมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินขึ้นก็สามารถไปช่วยเหลือได้อย่างทันท่วงที และเทคนิคการใช้งานทางด้านพลังงาน [9], [17], [22], [23], [25], [26], [27]

II. หลักการทำงานของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

Wireless Sensor Networks (WSN) คือ เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ใช้อุปกรณ์ sensor เล็กๆจำนวนมากเพื่อตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆของสิ่งแวดล้อมที่เราสนใจและประมวลผลข้อมูลเหล่านั้นเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมรอบตัวเราหรือตอบสนองกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้โดยอัตโนมัติ อุปกรณ์พื้นฐานของ WSN ก็คือ sensor ขนาดเล็กมากเรียกว่า mote ซึ่งได้รับการพัฒนาจากบริษัท Intel และ University of California (UC) at Berkeley

Mote ใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์สมองกลฝังตัวสำหรับวัดอุณหภูมิความชื้นหรือสภาวะแวดล้อมอื่นๆ ทำงานโดยใช้แบตเตอรี่ธรรมดาและสื่อสารกับ mote ตัวอื่นที่อยู่ใกล้เคียงโดยใช้ wireless network ซึ่งข้อมูลจะถูกส่งผ่านระหว่าง mote ด้วยกันเองจนกระทั่งถึงจุดหมายซึ่งอาจเป็นคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์อื่นๆสำหรับรวบรวมข้อมูลที่วัดได้

หลักการทำงานของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายต้องมีสองส่วนที่สำคัญได้แก่ ส่วนประกอบของเครือข่าย และคลื่นสัญญาณที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร



รูปที่ 1 สถาปัตยกรรมของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายทางการแพทย์ [9]

A) ส่วนประกอบของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายประกอบไปด้วย 5 ส่วนที่สำคัญได้แก่ เกตเวย์ สถานีฐาน เซนเซอร์ โหนดอ้างอิง และอุปกรณ์เคลื่อนที่

1. Gateway เกตเวย์ ทำหน้าที่รับส่งข้อมูล ระหว่างสถานีฐานและเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายโดยเกตเวย์อาจเป็นเซนเซอร์ธรรมดาหรือเป็นเซนเซอร์ที่มีความสามารถพิเศษในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย โดยจะจัดการเครือข่าย ZigBee และส่งข้อความระหว่างโฮสต์เซิร์ฟเวอร์และโหนดอ้างอิงหรืออุปกรณ์เคลื่อนที่ เมื่อเกตเวย์ทำงาน เกตเวย์จะสร้างเครือข่าย ZigBee และอนุญาตให้โหนดอ้างอิงหรืออุปกรณ์เคลื่อนที่เข้าร่วมเครือข่าย หลังจากเกตเวย์สแกนรอบแต่ละเหตุการณ์ หากมีข้อความผ่าน GPRS หรือ WiFi

เหนืออากาศหรือมาจาก Ethernet เกตเวย์จะอ่านข้อมูลและตรวจสอบข้อมูลเหล่านี้ หากเกตเวย์ยืนยันข้อความถูกต้องมันจะส่งอีกครั้งในเครือข่าย ZigBee หรือเมื่อมีการร้องจาก โฮสต์เซิร์ฟเวอร์ให้ส่งมาอีกครั้ง ถ้ามีข้อความมาจากเครือข่าย ZigBee เกตเวย์จะตรวจสอบข้อความเพื่อให้แน่ใจว่าบิตทั้งหมดในข้อความให้ถูกต้อง แล้วมันจะแยกประเภทข้อความตามรหัสกลุ่ม (cluster ID) ทำการบรรจุหีบห่อข้อมูลเหล่านี้และไหลคขึ้นไปยังโฮสต์เซิร์ฟเวอร์

2. Base Station สถานีฐานทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่วัดได้จากเซนเซอร์ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ควบคุมการทำงานและติดต่อกับผู้ใช้งาน หรืออาจติดต่อกับเครือข่ายอื่นๆ เช่น อินเทอร์เน็ต

3. Sensor เซนเซอร์จำนวนมากถูกติดตั้งในสภาพแวดล้อมเพื่อเก็บข้อมูล โดยแต่ละเซนเซอร์ติดต่อสื่อสารแบบไร้สายกับเซนเซอร์ข้างเคียง โดยแต่ละเซนเซอร์จะควบคุมและจัดการด้วยตัวเอง (self-organize) ทุกๆ เซนเซอร์ที่ติดต่อกันทำงานร่วมกัน (collaboration) เป็นเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายทำให้แต่ละเซนเซอร์สามารถส่งข้อมูลไปหากันได้แม้ว่าเซนเซอร์ปลายทางไม่สามารถติดต่อกับเซนเซอร์ต้นทางได้โดยตรง โดยส่งข้อมูลต่อกันตั้งแต่ต้นทางถึงปลายทาง วิธีการส่งแบบนี้เรียกว่าการส่งแบบมัลติฮอป (multi-hop)

4. Reference Node โหนดอ้างอิงมีการอ้างอิงพิกัดเส้นทาง M-value และเส้นทางสำหรับอุปกรณ์เคลื่อนที่ เมื่อโปรแกรมเริ่มต้น โหนดอ้างอิงจะเข้าร่วมเครือข่าย ZigBee ทันที จากนั้นก็จะสแกนรอบเหตุการณ์ทั้งหมด หากได้รับข้อความใดๆก็จะยืนยันการได้รับในครั้งเดียว หากข้อความไม่มีบิตผิดพลาดใดๆ ก็จะถูกแยกตาม cluster ID ของข้อความ หาก cluster ID คือข้อความพิกัดที่ถูกร้องขอ โหนดอ้างอิงจะส่งพิกัดของตัวเองไปเก็บไว้ในหน่วยความจำแฟลชเพื่อเป็นการตอบสนองการทำงาน ถ้าไม่มีข้อมูลในหน่วยความจำแฟลช โหนดอ้างอิงจะส่งค่าพิกัดเริ่มต้น (X, Y) = (16,383.75, 16,383.75) กลับไป หาก cluster ID คือข้อความกำหนดค่าพิกัด โหนดอ้างอิงจะเขียนค่าพิกัดใหม่ลงในหน่วยความจำแฟลช หาก cluster ID

เป็นข้อความร้องขอการระบุตำแหน่ง โหนดอ้างอิง จะกระจายข่าวสารตำแหน่งของมันและค่า M ใน one-hop และรับข้อความระบุตำแหน่งและค่า M จากโหนดอ้างอิงอื่นๆ ในบริเวณใกล้เคียง หลังจากโหนดอ้างอิงนั้นได้รับค่า RSSI ซึ่งค่า RSSI มีพื้นฐานมาจากข้อความเหล่านี้และการคำนวณค่า M ใหม่สำหรับตำแหน่งที่ร้องขอถัดไป รายละเอียดของอัลกอริทึมการระบุตำแหน่งจะกล่าวถึงในส่วนที่ VII

5. Mobile Device อุปกรณ์เคลื่อนที่ซึ่งบรรจุเซนเซอร์เอาไว้มีการนำชิปเซ็ต TI CC2431 สำหรับอุปกรณ์เคลื่อนที่ซึ่งฝังตัวโปรแกรมระบุตำแหน่งแทนของชิปเซ็ต TI CC2430 ในโหนดอ้างอิง หรือ เกตเวย์เมื่อโปรแกรมของมันทำงาน อุปกรณ์เคลื่อนที่ที่จะเข้าร่วมเครือข่าย ZigBee และสแกนรอบเหตุการณ์ทั้งหมด เมื่ออุปกรณ์เคลื่อนที่ที่ได้รับข้อมูลคลื่นไฟฟ้าหัวใจของผู้ป่วย, อัตราการเต้นของหัวใจ, SpO2, ความดันโลหิตและข้อมูลอุณหภูมิจากเซนเซอร์อื่น ๆ ในอุปกรณ์เคลื่อนที่ จะมีการแยกประเภทข้อมูลและส่งเข้าสู่กระบวนการของอุปกรณ์เคลื่อนที่ หลังจากนั้นอุปกรณ์เคลื่อนที่ก็จะสร้างข้อมูลเหล่านี้ลงในข้อความมากมาย และส่งข้อความเหล่านั้นไปที่เกตเวย์ เมื่อเกตเวย์ได้รับข้อมูลการระบุตำแหน่ง เกตเวย์ก็จะคำนวณตำแหน่งด้วย ค่าพิกัด ค่า RSSI และค่า M ของโหนดอ้างอิงที่อยู่ใกล้เคียงที่ได้รับมา บนอุปกรณ์เคลื่อนที่จะมีปุ่มสัญญาณเตือน ในกรณีฉุกเฉินให้ผู้ช่วยกดปุ่มนี้โปรแกรมจะหยุดกระบวนการอื่น ๆ และส่งข้อความเตือนภัยครั้งแรกเพื่อเรียกพยาบาลหรือแพทย์เพื่อขอความช่วยเหลือ

B. คลื่นสัญญาณที่ใช้ติดต่อสื่อสารผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

คลื่นสัญญาณที่ใช้ติดต่อสื่อสารผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายแบ่งเป็น 3 ชนิดหลักๆ ได้แก่ Bluetooth, UWB, และ ZigBee ดังตารางที่ 1

1. Bluetooth เป็นเทคโนโลยีไร้สายแบบระยะสั้น (Short-Range) คือ มีกำลังส่งต่ำ มีระยะทำการระหว่างอุปกรณ์ที่รองรับ Bluetooth ด้วยกันเพียง 10 เมตร ซึ่งจะใช้สำหรับต่อเข้าเป็นระบบเน็ตเวิร์กขนาดเล็กๆ ที่อุปกรณ์แต่ละตัวอยู่ไม่ห่างกันมาก เรียกว่า Personal Area Network (PAN)

คุณสมบัติ	Bluetooth	UWB	ZigBee
มาตรฐาน (IEEE spec.)	802.15.1	802.15.3a	802.15.4
ย่านความถี่ (Frequency band)	2.4 GHz	3.1-10.6 GHz	868/915 MHz; 2.4 GHz
อัตราการส่งข้อมูลมากที่สุด (Max data rate)	1 Mb/s	110 Mb/s	250 Kb/s
ระยะทางที่ไกลที่สุด (Max distance)	10 m	10 m	10 - 100 m
แถบความถี่ของช่องสัญญาณ (Channel bandwidth)	1 MHz	500 MHz - 7.5 GHz	0.3/0.6 MHz; 2 MHz
ชนิดของการมอดูเลต (Modulation type)	GFSK	BPSK, QPSK	BPSK(+ ASK), O-QPSK
การกระจาย (Spreading)	FHSS	DS-UWB, MB-OFDM	DSSS
การเข้ารหัส (Encryption)	E0 stream cipher	AES block cipher (CTR, counter mode)	AES block cipher (CTR, counter mode)
การยืนยันตัวตน (Authentication)	Shared secret	CBC-MAC (CCM)	CBC-MAC (ext. of CCM)
การป้องกันข้อมูล (Data protection)	16 bit CRC	32 bit CRC	16 bit CRC

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบโปรโตคอลที่ใช้ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

โดย Bluetooth นี้จะทำงานที่คลื่นความถี่ 2.4 GHz ซึ่งเป็นความถี่ที่เรียกว่า แถบความถี่ ISM (Industrial, Scientific and Medical) โดย ความถี่นี้ ไม่มีใครเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์ ทำให้สามารถพัฒนา และมีการใช้งานกันแพร่หลาย ผู้พัฒนา สามารถพัฒนาอุปกรณ์ให้ใช้ความถี่นี้ โดยไม่ต้องเสียค่าลิขสิทธิ์ และยังคงคิดตั้งได้อย่างไม่ยุ่งยากอีกด้วย

2. UWB หรือ Ultrawideband เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย รูปแบบใหม่ที่มีการส่งผ่านข้อมูลแบบพัลส์ (Pulse) สั้นๆ ผ่านคลื่นวิทยุ ความถี่กว้าง ทำให้สามารถถ่ายโอนข้อมูลจำนวนมากได้ในระยะทางสั้นๆ แต่กลับใช้พลังงานในระดับต่ำเพียง 0.0001 มิลลิวัตต์ต่อเมกะเฮิรตซ์ นอกจากนี้ ภายในระยะทาง 10 เมตร UWB ยังสนับสนุนการสร้างพื้นที่ โคร่งข่ายส่วนบุคคลที่เรียกว่า Personal Area Network (PAN) ซึ่งช่วยให้เรา สามารถจัดการข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ที่เคลื่อนที่ไปมาได้ อย่าง หลากหลาย

3. ZigBee เป็นการรับ-ส่งคลื่นสัญญาณข้อมูล ผ่านชิปที่มีขนาดเล็ก จุดต่อจุด ไปเรื่อยๆ (คล้ายพฤติกรรมกรรมการสื่อสารของผึ้ง) จนถึงปลายทาง ลักษณะของ ZigBee คือมีทางเข้าช่องสัญญาณโดยการใช้ Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA - CA) หรือมีทางเข้า ช่องสัญญาณหลายๆ ทาง เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกัน

III. การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายในทางการแพทย์

Wireless Sensor Network (WSN) เป็นสิ่งสำคัญในยุคปัจจุบัน ซึ่งมีการใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในทางการแพทย์ โรงงาน การจราจร เกี่ยวกับธรรมชาติ รวมไปถึงทางด้านการแพทย์ ทำให้เกิดการคิดค้นบริการ ใหม่ ๆ มากมาย ซึ่งได้มีการนำเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายเข้ามาใช้ในการ ตรวจจับคลื่นสัญญาณจากร่างกาย เพื่อติดตามดูแลสุขภาพของผู้ป่วยหรือ ผู้สูงอายุที่ใช้ชีวิตคนเดียว เนื่องจากผู้สูงอายุส่วนใหญ่ต้องการที่จะอยู่ที่บ้าน มากกว่าที่สถานคนชรา เหตุผลหลักที่พวกเขาอยู่บ้านเพียงลำพังไม่ได้ คือ อาจเกิดเหตุการณ์ไม่คาดคิดต่างๆขึ้น จึงมีการนำผู้สูงอายุไปฝากไว้ที่สถานรับ ดูแล เพราะคิดว่าจะปลอดภัยกว่าที่จะอยู่บ้านเพียงลำพัง และมีผู้สูงอายุ จำนวนมากที่ไม่ได้อยู่ใกล้กับญาติหรือบุตร แต่เนื่องจากเทคโนโลยีที่ ทันสมัย จึงมีระบบเตือนภัย ที่จะช่วยในการเตือนภัยเมื่อเกิดความจำเป็นหรือ สถานการณ์ฉุกเฉิน ไม่ว่าจะผู้สูงอายุหรือผู้ป่วยจะอยู่ที่บ้านหรือนอกบ้าน สุขภาพของเขาจะถูกสังเกตและประมวลผลข้อมูลที่ตรวจจับได้ อยู่ตลอดเวลา นอกจากนี้ยังช่วยให้มีการวิเคราะห์โรคที่ละเอียดขึ้น การวิเคราะห์การฟื้นคืนสภาพและผลของยา และยังสมารถแทนการเขียนที่อาจ ทำให้เกิดความผิดพลาดได้ การตรวจจับแบบนี้จะได้มาถึงสุขภาพของผู้ป่วย สถานะของผู้ป่วย และสภาพแวดล้อมในขณะนั้น ผู้ป่วย ข้อมูลที่ได้มาจะถูก ส่งไปยังแพทย์และเจ้าหน้าที่ บนเครื่องมือที่ทำการติดตั้งไว้ เช่น โทรศัพท์มือถือหรือคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ คือ ลดค่าใช้จ่าย ปรับปรุงอุปกรณ์และการจัดการอีกด้วย

IV. ประเภทของเซนเซอร์ที่ประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์

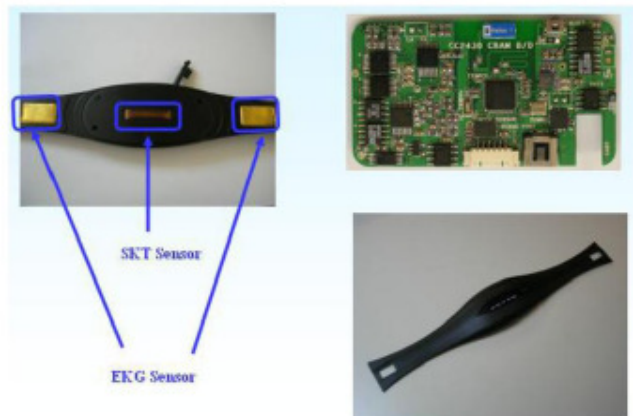
เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายในอุตสาหกรรมทางการแพทย์ สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ Body Sensor Network เป็นเซนเซอร์ที่ ติดตามร่างกาย เพื่อตรวจจับสัญญาณร่างกายของคนที่ได้จากการใช้ ชีวิตประจำวัน ซึ่งตัวเครื่องตรวจจับนี้จะต่างจากเครื่องตรวจจับทั่วไปตรงที่ ผู้ป่วยนั้นไม่จำเป็นต้องเสียเวลาไปตรวจตามสถานที่ให้บริการ เพราะมันจะ ติดอยู่กับร่างกาย และคอยส่งข้อมูลที่ทำการวัดได้ไปประมวลผล และอีก ประเภท คือ Home Sensor Network เป็นเซนเซอร์ที่ติดตามที่ต่างๆภายใน บ้านหรือตัวอาคาร เพื่อตรวจจับสัญญาณร่างกายที่ได้จากการใช้ ชีวิตประจำวัน ซึ่งตัวเครื่องตรวจจับนี้จะต่างจากเครื่องตรวจจับทั่วไปตรงที่ ผู้ป่วยนั้นไม่จำเป็นต้องเสียเวลาไปตรวจตามสถานที่ให้บริการ เพราะมันจะ อยู่ในการดำรงชีวิตประจำวันอยู่แล้ว โดยจะติดตั้งตามที่นอน ห้องน้ำ (บริเวณฝักรอบที่นั่งของสุขภัณฑ์) อ่างอาบน้ำ

A. Body Sensor Network (BSN)

กลุ่มของอุปกรณ์เซนเซอร์ที่อยู่บนร่างกาย ซึ่งจะตรวจจับ สัญญาณร่างกายของที่ได้จากการใช้ชีวิตประจำวัน ซึ่งมี 3 แบบที่นิยมใช้กัน คือ แบบสายรัดหน้าอก แบบสายรัดข้อมือ และแบบวัดอัตราการเต้นของ หัวใจ ซึ่งสามารถใช้วัดสัญญาณชีพได้ถึง 24 ชั่วโมง ข้อมูลที่ได้จากการวัด วิเคราะห์และจัดเก็บ และสามารถช่วยเหลือได้โดยผู้เชี่ยวชาญด้านการแพทย์ ดังนั้นจึงมีการศึกษางานวิจัยต่างๆในการออกแบบอุปกรณ์เซนเซอร์ไร้มี ประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ที่สามารถวัดสัญญาณชีพของมนุษย์แบบไดนามิก และสร้างข้อความเตือนหากพบสภาพผิดปกติและสามารถสื่อสารแบบไร้ สายได้ อุปกรณ์เซนเซอร์ที่ดีต้องวัดสัญญาณชีพ ในระยะยาวและมีการ รับประกันความถูกต้องของข้อมูล

1. แบบสายรัดหน้าอก (chest-belt sensor) [4]

แบบสายรัดข้อมือใช้วัด PPG, ECG, SKT (Skin Temperature) และใช้ CC2430 of Texas Instrument (Chipcon) as RF and MCU (Micro Controller Unit)



รูปที่ 2 แสดงอุปกรณ์ตรวจจับแบบรัดหน้าอก [4]

Sensor Type	Type of Acquisition signal	Applied micro-controller	AD Resolution	Sampling Rate	Signal BW	Type
Chest-belt sensor	PPG, ECG and SKT (Skin Temperature)	CC2430	n/a	n/a	n/a	n/a
Wrist-belt sensor	ECG, RESP(respiration), SKT and ACC (Accelerometer)	CC2430	n/a	n/a	n/a	n/a
Holter type	ECG	MSP430F149	12 bits	240 Hz	0.05-80 Hz	Wave

ตารางที่ 2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งใช้ในเซนเซอร์ไร้สายแบบติดบนร่างกายแต่ละชนิด

2. แบบสายรัดข้อมือ (wrist-belt sensor) [4]

แบบสายรัดหน้าอกใช้วัด สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG) การหายใจ (RESP-respiration) อุณหภูมิร่างกาย (SKT- Skin Temperature) จับการเคลื่อนที่ (ACC-Accelerometer) และใช้ CC2430 เช่นกัน



รูปที่ 3 อุปกรณ์ตรวจจับแบบรัดข้อมือ [4]

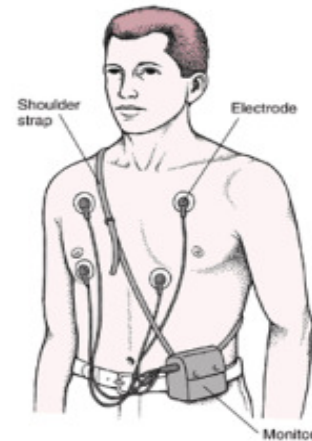
CC2430 เป็นชิพของ ZigBee มีราคาถูก ขนาดเล็กและใช้พลังงานน้อย ใช้วัดคลื่นความถี่วิทยุ (RF module) วัดได้ 8-bit MCU module และ 128 KB flash memory ใช้ BIP-5000 of Bluebird เป็นเหมือน mobile system และใช้ Intel PXA270 520MHz CPU, RAM 64MB, ROM 128MB และ Window CE 5.0

3. แบบวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (holter-typed Detector) [1]

สำหรับผู้ที่ป่วยเป็นโรคหัวใจรุนแรง ต้องทำการเช็คสภาพเป็นประจำ ในการตรวจวัดนั้นจะต้องมีการติด อิเล็กโทรด มากมายบนตัวผู้ป่วย ทำให้เกิดความไม่สะดวกนัก ดังนั้นจึงมีการพัฒนา The holter-typed detector ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้สะดวกในการเคลื่อนไหวหรือทำกิจกรรมต่างๆ

B. Home Sensor Network (HSN) [3]

เป็นเซนเซอร์ที่ติดตามที่ต่างๆภายในบ้านหรือตัวอาคาร เพื่อตรวจจับสัญญาณร่างกายที่ได้จากการใช้ชีวิตประจำวัน โดยจะติดตั้งไว้ในห้องนอนและห้องน้ำ ซึ่งเป็นที่ๆคนเราใช้ชีวิตประจำวัน โดยมีการทำอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณที่ทำมาจากสิ่งทอผ้าไฟฟ้า เพื่อวัดสัญญาณ ECG สำหรับการตรวจจับในห้องน้ำ (ผ่านขั้วของสุขภัณฑ์ และอ่างอาบน้ำ) จะถูกติดตั้งเพื่อวัด ECG (คลื่นหัวใจ), NIBP (ความดันโลหิต), ปริมาณไขมัน, SPO2 (ความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด), และน้ำหนัก (โดยสามารถวัดได้จากการนั่งบนสุขภัณฑ์เวลาทำธุระส่วนตัว) ตามลำดับ



รูปที่ 4 อุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (holter-typed Detector) [4]

1. อุปกรณ์เซนเซอร์ที่ติดตั้งบนที่นอน (Bed type bio-signal) [1]

เซนเซอร์ที่ติดตั้งบนที่นอน เป็นการนำอิเล็กโทรด 2 แบบมาถักเข้าด้วยกันเพื่อที่จะทำให้เกิดความต้านทานไฟฟ้า และ อิเล็กโทรดที่นำมาถักกันนั้น จะไม่ก่อให้เกิดความรำคาญต่อผู้ใช้ในระหว่างการนอน เพราะไม่มีสายระโยงระยางค์ มีเพียงแค่ตัววัดที่นำมาถักวางไว้บนที่นอนเท่านั้น โดยจะวางไว้บนหมอนหนุนและใต้ขา

Sensor Type	Type of Acquisition signal	Applied micro-controller	AD Resolution	Sampling Rate	Signal BW	Type
Bed type	ECG	MSP430F149	12 bits	300 Hz	0.05-80 Hz	Wave
Lavatory type	ECG	Atmega8	8 bits	300 Hz	0.05-80 Hz	Wave
	NIBP	Atmega128(main)	8 bits	300 Hz	DC-20 Hz	Numeric
	SpO ₂	MSP430F155	8 bits	-	DC-50 Hz	Wave
	Temperature	Atmega128(main)	8 bits	-	DC-50 Hz	Numeric
	Diabetes	Atmega128(main)	8 bits	-	DC-50 Hz	Numeric
	Body fat	Atmega8	8 bits	300 Hz	>150 KHz	Numeric
Bathtub type	ECG	Atmega8	8 bits	300 Hz	0.05-80 Hz	Wave

ตารางที่ 3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งใช้ในเซนเซอร์ไร้สายแบบติดตามสถานที่ต่างๆแต่ละชนิด



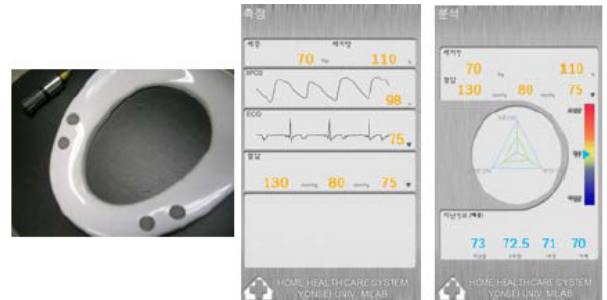
(a) (b)

รูปที่ 5 อุปกรณ์ตรวจจับแบบติดไว้บนที่นอน [1]

- (a) ลักษณะของ อิเล็กโทรด ที่นำมาถักเป็นสื่อในการใช้ตรวจจับสัญญาณจากร่างกาย
- (b) ลักษณะการวางอุปกรณ์วัดสัญญาณไว้บนที่นอน

2. อุปกรณ์เซนเซอร์ที่ติดตั้งบนฝานั่งของสุขภัณฑ์ (lavatory-typed Detector) [1]

ตัวตรวจจับที่ติดตั้งอยู่ที่ฝานั่งของสุขภัณฑ์ นั้น ถูกทำขึ้นเพราะมีการใช้ฝานั่งของสุขภัณฑ์ เป็นประจำ ซึ่งสามารถวัด สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ความดันเลือด อุณหภูมิของร่างกาย ความอึดตัวของออกซิเจน ระดับน้ำตาล และระดับไขมัน โดยจะมีการติดอิเล็กโทรดไว้บนที่นั่งของฝานั่งของสุขภัณฑ์ ข้างๆที่นั่งนั้นจะมีค้ำจับซึ่งจะสัมผัสกับต้นขาขวา และมีอูขางของผู้ใช้ โดยความอึดตัวของออกซิเจนและความดัน จะสามารถวัดได้จากจุดนี้ ผู้ใช้นั้นสามารถดูผลได้จาก LCD ที่ถูกแขวนไว้ใกล้ๆกับฝานั่งของสุขภัณฑ์ ผู้ใช้สามารถดูข้อมูลย้อนหลังได้ และข้อมูลนั้นจะถูกส่งไปยัง H2IC ส่วนการวัดอื่นๆนั้น เช่น น้ำตาลในเลือด ระบบจะทำการประมวลผลอัตโนมัติร่วมกับตัววัดอื่นๆ เพื่อที่จะได้ข้อมูลส่วนนั้นมา



(a) (b) (c)

รูปที่ 6 อุปกรณ์ตรวจจับแบบติดไว้ที่ฝานั่งของสุขภัณฑ์ [1]

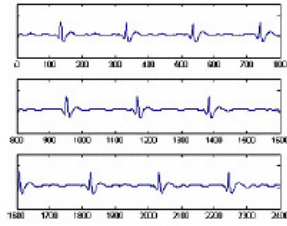
- (a) ตัวตรวจจับที่ติดไว้ที่ฝานั่งของสุขภัณฑ์
- (b) ตัวอย่างสัญญาณที่ตรวจจับได้
- (c) สัญญาณผ่านการวิเคราะห์มาแล้ว

3. อุปกรณ์เซนเซอร์ที่ติดตั้งในอ่างอาบน้ำ (bathtub-typed Detector) [1]

มีความเสี่ยงสูงมากที่จะเกิดอันตรายกับผู้สูงอายุในขณะอาบน้ำในอ่างอาบน้ำ เพราะจะเกิดการขยายหรือหดตัวของเส้นเลือด ดังนั้น จึงติดตั้ง stainless อิเล็กโทรด 3 ตัว เพื่อเป็นการตรวจจับ สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ อย่างต่อเนื่องในขณะอาบน้ำ โดยที่สัญญาณนั้นจะยังคงมีประสิทธิภาพแม้ว่าผู้ใช้จะขึ้นจากอ่างอาบน้ำแล้ว เพื่อเป็นการลดการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ซึ่งใช้แบบดิฟเฟอเรนเชียลและชั้บซ้อน



(a)



(b)

รูปที่ 7 อุปกรณ์ตรวจจับแบบติดตั้งในอ่างอาบน้ำ [1]

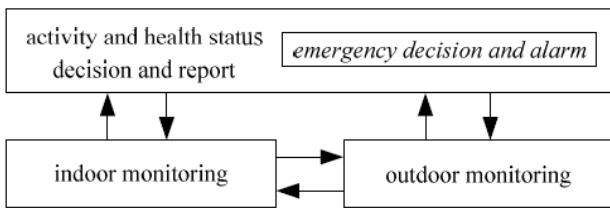
- (a) ผู้ใช้อ่างอาบน้ำที่มีเครื่องตรวจจับ stainless อีเล็ก โทรด
- (b) สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ได้มาในระหว่างการอาบน้ำ

V. ฟังก์ชันการทำงานของระบบเซนเซอร์ไร้สายทางการแพทย์

จากการศึกษาวิจัยทั้งหลาย ผู้วิจัยสรุปได้ว่าเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายทางการแพทย์ส่วนมากนั้นจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันการทำงานทั้ง 4 ได้แก่ indoor monitoring, outdoor monitoring, activity and health state decision, emergency decision and alarm ผู้สูงอายุอาจจะอยู่ที่บ้านหรือนอกบ้าน สุขภาพและบ้านของเขาจะถูกตรวจจับโดย Body Sensor Network (BSN) และ Home Sensor Network (HSN) ซึ่งอาจจะทำงานร่วมกันหรือแยกกันก็ได้ ข้อมูลที่ได้มาทั้งหมด จะส่งไปยังหน่วยทำการวิเคราะห์ เพื่อทำการวิเคราะห์สุขภาพและทำรายงาน อย่างไรก็ตามเมื่อเกิดกรณีฉุกเฉินขึ้นควรทำการแก้ไขหรือรักษาโดยทันที [3]

A. Indoor monitoring [3]

จุดประสงค์ของ indoor monitoring คือ จัดการข้อมูลที่ได้จาก BSN และ HSN เพื่อนำไปวิเคราะห์และประมวลผล ที่หน่วยประมวลผล เพื่อให้ได้มาซึ่ง พฤติกรรมของผู้ป่วย การทำกิจกรรมต่างๆ สุขภาพและสภาพแวดล้อมทางบ้าน และสถานะที่เป็นอันตราย



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชัน [3]

B. Outdoor monitoring [3]

เมื่อผู้สูงอายุออกจากบ้าน สถานะของสุขภาพของเขาจะถูกตรวจ ในกรณี BSN ไม่ได้เชื่อมต่อกับ HSN, BSN จึงเชื่อมต่อกับ public networks เช่น GPRS สูดถ่ายแล้วข้อมูลจากทั้ง BSN และ HSN จะถูกส่งไปยังหน่วยประมวลผล

C. Health status decision and report monitoring [3]

BSN และ HSN จะส่งข้อมูลที่วัดได้ ไปยังหน่วยวิเคราะห์และประมวลผลของเซิร์ฟเวอร์กลาง ซึ่งจะทำการวิเคราะห์และตัดสินใจครั้งสุดท้ายเกี่ยวกับสถานะทางสุขภาพและที่อยู่ของผู้สูงอายุ ถ้าหากผู้สูงอายุอยู่

ในสถานะปกติ ข้อมูลจะถูกส่งไปยังแพทย์ผู้ดูแลและครอบครัว นอกจากนี้ยังสามารถเข้าไปดูสถานะของผู้ป่วยได้ที่ Web page จากคอมพิวเตอร์ หรือ PDA โดยการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้อีกด้วย

D. Emergency decision and alarm [3]

หากหน่วยที่ทำการวิเคราะห์ข้อมูลพบอาการผิดปกติหรืออันตราย จากข้อมูลที่ได้จาก BSN และ HSN เซิร์ฟเวอร์จะทำการเตือนฉุกเฉินไปยังสมาชิกในครอบครัว ซึ่งการทำเช่นนี้จะช่วยให้ช่วยเหลือผู้ป่วยได้ทันเวลา นอกจากนี้หากผู้ป่วยหรือผู้สูงอายุรู้สึกไม่ดี ยังสามารถกดสัญญาณเตือนเพื่อส่งข้อความไปยังเซิร์ฟเวอร์กลาง และทันทีที่เซิร์ฟเวอร์กลางได้รับข้อความฉุกเฉินนั้น ก็จะทำการเตือนไปยังญาติของผู้ป่วยทันที

VI. การทำงานของอุปกรณ์เซนเซอร์ไร้สายทางการแพทย์

A. Body Sensor Network [4]

สำหรับอุปกรณ์เซนเซอร์แบบติดบนตัวจะประกอบไปด้วย sensor devices, mobile system เช่น PDA, sensor device provider system, healthcare service provider system, physician system, and healthcare personal system

Sensor devices: วัดสัญญาณจากผู้ป่วยเพื่อที่จะส่งสัญญาณนั้นไปยัง mobile system ที่ใช้ ZigBee

Mobile system: เช่น PDA สามารถแสดงสัญญาณที่วัดได้จากเซนเซอร์และส่งไปยัง Healthcare service โดยใช้ WLAN และ CDMA

Sensor device provider system: ให้ข้อมูลการติดตั้งอุปกรณ์ส่งข้อมูลสำหรับ mobile system

Healthcare service provider system: ทำหน้าที่ตัดสินใจทุกอย่างเกี่ยวกับ Healthcare

Physician system: ทำการวัดและวิเคราะห์สัญญาณที่ได้จากร่างกาย จากข้อมูลที่บันทึกของแพทย์ใน healthcare service provider system

Healthcare personal system: ทำการวัดและวิเคราะห์สัญญาณที่ได้จากร่างกายของตนเอง

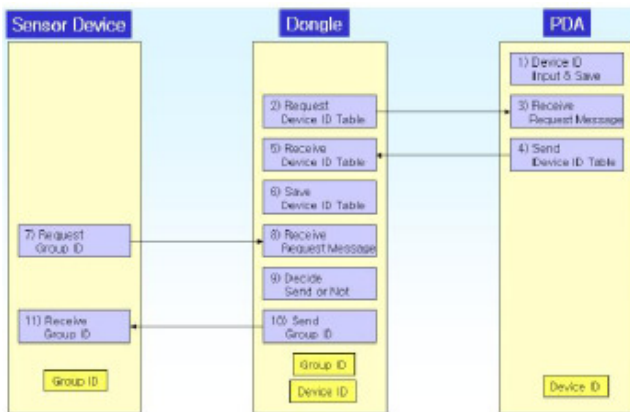
ในงานวิจัยนี้ ZigBee ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่าง sensor device และ mobile system

1. การควบคุมการเข้าถึงของอุปกรณ์

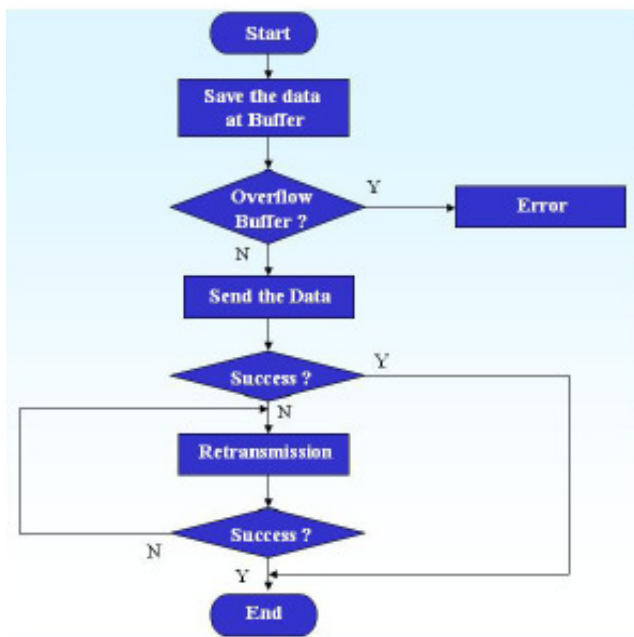
การควบคุมการเข้าถึงระหว่าง sensor device และ mobile system สำหรับความปลอดภัย The access control flow

อันดับแรก User จะใส่และบันทึก device ID ลงบน mobile system เมื่อ dongle ทำงานจะถามหา device ID ของ sensor จาก PDA ถ้า PDA รับ device ID table request message จาก dongle มันจะส่ง device ID table ตอบกลับไปยัง dongle และ dongle จะบันทึก device ID table ไว้ ใช้ group ID ในการติดต่อระหว่าง PDA และ sensor device ถ้า group ID ของ sensor device เหมือนกับ PDA จะสามารถติดต่อกันได้ sensor device จะถาม

หา group ID จาก dongle เมื่อ sensor device ทำงาน ถ้า dongle ได้รับ group ID request message มันจะตัดสินใจว่ามี device ID ที่ขอ group ID ใน device ID table หรือไม่ ถ้าไม่มี device ID ใน device ID table, dongle จะส่ง fail message ไปยัง sensor device, ถ้ามี device ID ใน device ID table, dongle จะส่ง group ID ไปยัง sensor device ซึ่ง sensor device m จะติดต่อกับ dongle ได้ หลังจากได้รับ group ID, group ID ของ sensor device เปรียบเสมือนกับ group ID ของ dongle ที่จะใช้ติดต่อ



รูปที่ 9 การควบคุมเข้าถึงของอุปกรณ์เซนเซอร์ไร้สาย [4]



รูปที่ 10 ความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูล [4]

2. ความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูล

เราใช้การส่งข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ ดังรูปที่ 10 sensor device ส่งข้อมูลและ AR (Acknowledgement request) ถ้า sensor device ไม่แสดงการตอบรับภายใน apscAckWaitDuration seconds จาก dongle, sensor

device จะทำการประมวลผลอีกครั้งจนถึง maximum of apscMaxFrameRetries times ถ้าไม่มีการตอบรับหลังจาก apscMaxFrameRetries, APS sub-layer จะถือว่าการส่งนั้นล้มเหลว และจะแจ้งไปยัง higher layer ในกรณีที่ higher layer จะทำการส่งข้อมูลเรื่อยๆ จนกว่าข้อมูลที่บันทึกจะเต็ม APS sub-layer Constants กล่าวว่า the apscAckWaitDuration คือ $0.05 \times (2 \times \text{nwkcMaxDepth}) + (\text{security encrypt/decrypt delay})$ where security encrypt/decrypt delay คือ 0.1, nwkcMaxDepth คือ 0x0f The apscMaxFrameRetries คือ 3

จากการใช้เทคโนโลยี ZigBee ในระบบติดตามสุขภาพ การควบคุมการเข้าถึงข้อมูลและความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลช่วยให้การติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์เซนเซอร์ไร้สายและ the dongle เป็นไปอย่างปลอดภัยและน่าเชื่อถือ

3. การปรับปรุงความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูล [9]

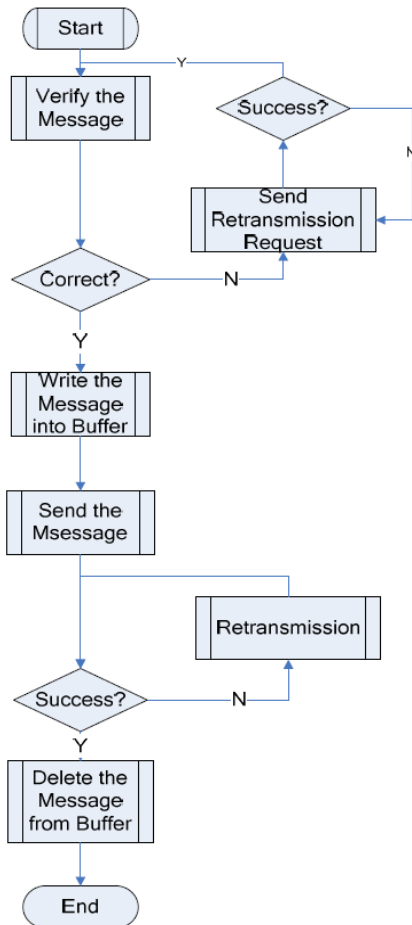
ในพื้นที่เปิดคุณภาพการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee ส่วนใหญ่ได้รับผลกระทบจากการรบกวนโดยคลื่นสัญญาณวิทยุ, การซ้อนทับกันช่องทาง, ครอบคลุมยาว, ระยะทางสื่อสาร ซึ่งทั้งหมดมีผลลบ สามารถทำให้เพิ่มอัตราการผิดพลาดของแพ็คเก็ต (PER) ในระหว่างการสื่อสาร ซึ่งเรียงลำดับปัจจัยเหล่านี้ได้ดังนี้ การซ้อนทับกันของช่องทางคลื่นสัญญาณวิทยุทับซ้อน ครอบคลุมยาว ระยะทางของการสื่อสาร

อัตราการผิดพลาดของแพ็คเก็ต (PER) ของการทับซ้อนของช่องสัญญาณจะลดลง ด้วยการขยายช่วงสัญญาณจากอุปกรณ์ ZigBee ไปยังอุปกรณ์คลื่นสัญญาณวิทยุชนิดอื่นๆ แต่การเพิ่มกรอบของความยาวและระยะทางของสองอุปกรณ์ ZigBee ก่อให้เกิดอัตราการผิดพลาดของแพ็คเก็ตของการสื่อสารที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เพื่อรักษาให้การติดต่อสื่อสารมีคุณภาพสูง ผู้วิจัยได้ตั้งค่าอุปกรณ์ ZigBee ในการส่งสัญญาณผ่านช่องทางที่แตกต่างกันกับอุปกรณ์ WiFi และปรับใช้อุปกรณ์ ZigBee ในช่วงที่เหมาะสม สุดท้ายผู้วิจัยได้ทำโครงการการส่งข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ โดยการใช้กลไกการตั้งเวลาตอบสนองและโค้ดดั้งเดิมและโค้ดที่สมบูรณ์ของผู้วิจัย สามารถตรวจสอบได้ ดังรูปที่ 11

สมมติว่าอุปกรณ์ ZigBee A ส่งข้อความถึงอุปกรณ์ ZigBee B ก่อนที่ ZigBee A จะส่งข้อความมันจะเขียนข้อมูลเหล่านี้ลงในบัฟเฟอร์ก่อน หากอุปกรณ์ ZigBee A ไม่ได้รับการตอบสนองภายในเวลาที่กำหนดไว้ apscAckWaitDuration จากอุปกรณ์ ZigBee B นั้น จะทำซ้ำกระบวนการของการส่งข้อมูลเหล่านี้ได้สูงสุด apscMaxFrameRetries ครั้ง ถ้าการตอบสนองไม่ได้รับข้อความหลัง apscMaxFrameRetries จากการส่งอีกครั้ง APS sub-layer จะถือว่าการส่งล้มเหลวและแจ้งให้ Higher layer ถัดไปรู้ถึงความล้มเหลว ในกรณีนี้ Higher layer ถัดไปจะทำการส่งข้อมูลเหล่านี้อีก

ครั้ง หากอุปกรณ์ ZigBee A ได้รับคำร้องขอให้ส่งใหม่ก็ส่งข้อความนั้นอีกครั้ง หากอุปกรณ์ ZigBee A ได้รับ Acknowledgement ก็จะลบข้อความจากบัฟเฟอร์ เมื่ออุปกรณ์ ZigBee B ได้รับข้อความมันจะแบ่งข้อความออกเป็นสองส่วน ครั้งแรกและครั้งหลัง ครั้งแรกเป็นข้อมูลเดิมและครั้งหลังเป็นข้อมูลที่ Complement ของครั้งแรก หากครั้งแรก XOR ครั้งหลัง มีค่าเป็นศูนย์ ก็หมายความว่าข้อความนั้นถูกต้อง

อุปกรณ์ ZigBee B จะส่ง Acknowledgement ถึงอุปกรณ์ ZigBee A และเขียนข้อความลงในบัฟเฟอร์ หากผล XOR ของข้อมูลไม่เท่ากับศูนย์ แสดงว่าในข้อความจะต้องมีบางบิตผิดพลาด อุปกรณ์ ZigBee B จะร้องขอไปยัง อุปกรณ์ ZigBee A เพื่อให้ทำการส่งข้อความอีกครั้ง หากอุปกรณ์ ZigBee B ไม่ได้รับข้อความภายในเวลาที่กำหนดไว้ $apscAckWaitDuration$ จากอุปกรณ์ ZigBee A จะทำซ้ำกระบวนการของการส่งค่าของจนกว่าจะได้รับข้อความนี้อีกครั้ง หลังจากตรวจสอบข้อความอุปกรณ์ ZigBee B ก็จะส่งข้อความไปที่ Hop ถัดไปตามรายการเส้นทาง



รูปที่ 11 การปรับปรุงความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูล [9]

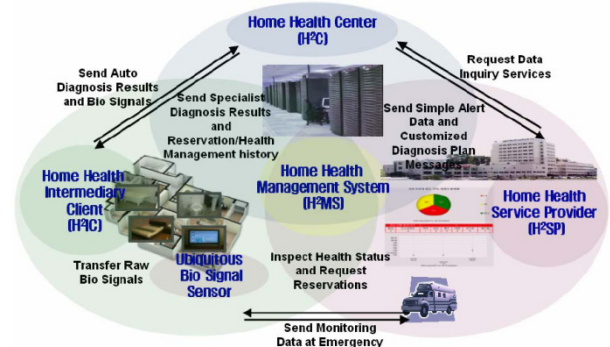
B. Home Sensor Network [1]

มีงานวิจัยนำเสนอการทำงานของอุปกรณ์เซนเซอร์ไร้สายแบบติดตามสถานที่ต่างๆ โดยใช้ชื่อว่า Home Health Management System

(H2MS) ซึ่งช่วยตรวจสอบสภาพร่างกายแบบรายวันโดยจะได้ข้อมูลมาจากการติดตามเซนเซอร์หลายๆตัวที่จะคอยอัพเดทสัญญาณของร่างกายในระหว่างการนอน การอาบน้ำ การเคลื่อนที่ในขณะที่อยู่ที่บ้าน H2MS ประกอบไปด้วย 4 ระบบย่อย ได้แก่ Multiple-Sensor based ubiquitous bio-signal sensor, Home Health Intermediary Client(H2IC), Home Health Center(H2C), and Home Health Service Provider(H2SP) ซึ่งแต่ละระบบย่อยนั้นจะทำงานร่วมกันกับระบบอื่นๆ นอกจากนี้ H2SP ยังมีบริการที่หลากหลาย โดยจะมีการเตือนในกรณีที่สภาพของร่างกายเปลี่ยนไป มีการแนะนำวิธีรักษาสุขภาพ และมีบริการนัดคิวกับโรงพยาบาล นอกจากนี้การเตือนนั้นยังช่วยให้แก้ปัญหาฉุกเฉินได้ทันเวลา ซึ่งทำให้ลดการเข้าพบแพทย์ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายสูง

1. การออกแบบระบบ

H2MS (Home Health Management System) เป็น Home Health Model ที่ลดค่าใช้จ่ายไปได้มาก เช่นในเรื่องของยารักษาที่มีราคาแพง ระบบนี้ถูกคิดขึ้นมาเพื่อป้องกันหรือค้นพบความผิดปกติเพื่อที่จะคาดเดาโรคและทำการรักษา ในส่วนนี้นั้นจะกล่าวถึงภาพรวมเกี่ยวกับการจัดการฟังก์ชันหลักของ H2MS และอธิบายการได้ข้อมูลจากคลื่นความถี่ของ bio-signal ของ Ubiquitous bio-signal sensor นอกจากนี้เรายังทราบถึงความสำคัญของระบบ เนื่องจากขั้นตอนการทำงานหรือจาก server/client model



รูปที่ 12 การจัดการระหว่างฟังก์ชันต่างๆของ H2MS [1]

H2MS จะมี 4 ระบบย่อย ดังรูปที่ 12 ได้แก่ ubiquitous bio-signal sensor, Home Health Intermediary Client (H2IC), Home Health Center (H2C), Home Health Service Provider (H2SP) ซึ่งแต่ละระบบย่อยนั้นจะทำงานด้วยตัวเอง และจะทำงานร่วมกับระบบอื่นไปด้วย เป้าหมายหลักในการติดตามคือผู้ป่วยเรื้อรังและผู้สูงอายุ และระบบสามารถช่วยเหลือในการพัฒนาสุขภาพของผู้ป่วยด้วย เพราะระบบจะช่วยให้ข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพกับแพทย์ จุดประสงค์ของระบบนี้คือมีการเตือนก่อนที่จะเกิดอาการป่วยและป้องกันได้ถูกวิธี

1.1 Detector bio-signals based on complex sensor หรือ อุปกรณ์เซนเซอร์ไร้สาย

เครื่องตรวจจับนี้ สามารถตรวจจับสัญญาณร่างกายของคนที่ได้จากการใช้ชีวิตประจำวันในบ้าน ซึ่งตัวเครื่องตรวจจับนี้จะต่างจากเครื่อง

ตรวจจับทั่วไปตรงที่ผู้ป่วยนั้นไม่จำเป็นต้องเสียเวลาไปตรวจตามสถานที่ให้บริการ เพราะมันจะอยู่ในการดำรงชีวิตประจำวันอยู่แล้ว โดยจะติดตั้งตามห้องน้ำ (ฝาน้ำของสุขภัณฑ์) อ่างอาบน้ำ และแบบเป็นเครื่องตรวจจับคลื่นหัวใจ ซึ่งเครื่องตรวจจับนั้นจะทำการวัด อัตราการเต้นของหัวใจ ความดันเลือด ปริมาณออกซิเจน ระดับไขมัน ระดับน้ำตาล และอุณหภูมิของร่างกาย

1.2 Home Health Intermediary Client (H2IC)

หน้าที่หลักของ H2IC คือ เป็นสื่อกลางในการติดต่อระหว่าง bio signal และ user's information ซึ่งทำหน้าที่จัดการและจัดเก็บข้อมูล โดย H2IC จะมี diagnosis algorithm เป็นตัววินิจฉัยโรคอัตโนมัติ คือถ้าหากมีอาการผิดปกติขึ้นกับผู้ใช้ H2IC จะส่งข้อมูลเตือนแบบ real-time ไปยัง H2C server แต่ถ้าหากอยู่ในสภาพปกติ จะมีการส่งเป็นแบบ XML โดยอาจจะใช้เวลาส่งข้อมูลเป็นระยะๆ เพื่อลดปัญหา network traffic นอกจากนี้ H2IC ยังส่งข้อมูลของผู้ป่วยในกรณีที่มีการผิดปกติ ไปยัง โรงพยาบาลและ Emergency center อีกด้วย ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้ชั้นนี้สามารถตรวจสอบประวัติของตนเองได้

1.3 Home Health Center (H2C)

H2C นั้น จะทำหน้าที่จัดการข้อมูลที่ส่งมาจาก H2IC และ H2SP แล้วจะนำข้อมูลที่ได้นั้นไปจัดเก็บลงดาต้าเบส โดยจะมีการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล จัดการจัดเก็บข้อมูล โดย H2C จะตรวจจับการเตือนและส่งข้อความไปยัง Emergency center และ โรงพยาบาล โดยมีการทำงานบนเว็บแอปพลิเคชัน

1.4 Home Health Service Provider (H2SP)

H2SP นั้นเปรียบเสมือนที่ทำงานของผู้เชี่ยวชาญทางการแพทย์ เมื่อ diagnosis algorithm มีการรายงานความผิดปกติ H2IC จะส่ง bio signal ไปยัง H2C และผู้เชี่ยวชาญทางการแพทย์สามารถเข้าถึงข้อมูลของผู้ป่วยที่ใช้บริการ Home Health ได้โดยไม่ต้องได้รับอนุญาตจากผู้ป่วย และหากมีข้อเสนอแนะหรือข้อแนะนำอะไร ทาง H2SP จะส่งข้อมูลผ่านทาง H2C ไปยังผู้ป่วย (H2IC) โดยวิธี Email หรือ SMS

2. การติดต่อสื่อสารของระบบ H2MS

2.1 Home Health Intermediary Client (H2IC)

H2IC มีหน้าที่มากมาย ไม่ว่าจะเป็น จัดเก็บ วิเคราะห์ กลั่นกรองข้อมูลที่ได้มาจากเซนเซอร์ที่ติดตั้งไว้แต่ละที่ภายในตัวบ้าน และยังทำหน้าที่ส่งข้อมูลไปยัง H2C นอกจากนี้ H2IC ยังมีการให้บริการระหว่างผู้ใช้และโรงพยาบาลผ่านทาง interface

ในหัวข้อนี้เราจะกล่าวถึงวิธีการติดต่อสื่อสารระหว่าง bio-signal แต่ละประเภท กับ H2IC กระบวนการแปลง XML สำหรับ bio-signals และความสามารถในการจัดการของ GUI

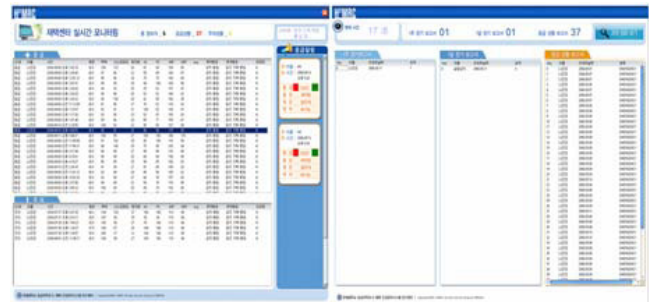
ข้อมูลจาก holter-typed detector และ bio signal ถูกออกแบบให้ส่งไปยัง H2IC แบบ real-time โดยในการส่งข้อมูลของ Bed type Sensor,

lavatory-typed Detector, bathtub-typed Detector จะใช้ Bluetooth class I และใช้ Bluetooth class II สำหรับการส่งข้อมูลของ holter-typed detector ถ้าหากผู้ใช้อยู่ที่บ้านจะมีการส่งข้อมูลจากเครื่องตรวจจับไปยัง H2IC โดยตรง แต่ถ้าหากอยู่นอกบ้าน จะส่งข้อมูลไปยัง PDA ของผู้ใช้ และข้อมูลจะถูกเก็บไว้ใน PDA เมื่อกลับมาถึงบ้านข้อมูลจะถูกส่งไปยัง H2IC โดยอัตโนมัติ

วิธีการของ Bluetooth ที่ใช้ขณะอยู่ภายในบ้านคือ Piconet ใน Piconet เดียวกันนี้ Master จะทำหน้าที่ควบคุมการสื่อสาร เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการรบกวนกันของ Slaves

2.2 Home Healthcare Server (H2C)

H2C นั้น โดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นข้อมูลที่ส่งมาจาก H2IC แบบ real-time ซึ่งจะประกอบด้วยวิธีการในการจัดการข้อความ การส่งข้อความไปยังผู้ใช้และการจัดการในกรณีฉุกเฉิน หลังจากการประมวลผลและบันทึกข้อมูลแล้ว ระบบจัด Home Healthcare จะมีบริการสืบค้นข้อมูลสำหรับ H2IC และ H2SP และบริการจองสำหรับผู้ป่วย



(a)

(b)



(c)

(d)

รูปที่ 13 หน้าจอของระบบต่างๆแบบเรียลไทม์ [1]

(a), (b) แสดงหน้าจอของ H2C

(c) แสดงการตรวจสอบสภาพของร่างกายของ H2SP

(d) แสดงรายงานกรณีปกติหรือฉุกเฉิน

2.2.1 ความปลอดภัยของการส่งข้อความเตือน

ข้อมูลที่ถูกรับระหว่างแอปพลิเคชันนั้น จะเกี่ยวกับ HTTP link ซึ่งข้อความที่ส่งนั้นถูกสร้างจาก XML โดย H2IC จะส่ง XML event message ไปยัง H2C ผ่านทางอินเทอร์เน็ต จึงทำให้เกิดการเกิดความจำเป็นเพื่อเป็นการแก้ไขปัญหา จึงมีการนำ Encryption/Signature มาใช้ใน XML

event message, E-security algorithm คือ symmetric key ซึ่งเป็นพื้นฐานของ Rijndael algorithm, XML signature คือ Public Key Infrastructure (PIK) ซึ่ง W3C ให้ใช้ อัลกอริทึมการยืนยันตัวตนนี้ ในการพิจารณา network loads, สมรรถภาพของระบบ, ระบบ symmetric key based Key Distribution Center (KDC) โดยข้อความจาก holter monitor นั้น จะถูกแปลงเป็น XML event message โดยการเข้ารหัสและการใช้ลายเซ็น holter ECG จะมีเพียงแค่ การประมวลผลในการเข้ารหัส ขณะที่ผลการดำเนินงานจะแสดงการส่ง ข้อความต่อ 1 วินาทีขณะที่ network load โหลด แต่เกิดความต้องการอย่างน้อย 2 วินาที ส่วนเรื่องของการส่งข้อมูลแบบเป็นกลุ่มนั้น สามารถควบคุมได้โดยผู้ ทำงานโดยดูจากระดับของสุขภาพ

2.2.2 การออกแบบ business login and Monitor

การส่งข้อความจากหลายๆผู้ใช้ ข้อมูลอาจสูญหายหรือถูกทำลาย เนื่องจากระบบเกิดความผิดพลาด จึงมีการใช้ Biztalk server ในการเฝ้าดูแล และจัดการการส่งข้อมูลตามลำดับ ระบบนี้มีประสิทธิภาพในการจัดการส่ง ข้อความ การส่งคลื่นสัญญาณนั้นต้องการการทดสอบที่มีประสิทธิภาพ เมื่อ การส่งสัญญาณมีการรบกวน หรือผู้ใช้ไม่สามารถรับสัญญาณจากการ ตอบสนองได้เนื่องจากความผิดพลาดของ อีเล็กโทรด ระบบจะส่งข้อความ เพื่อไปเช็คระบบ และจะมี dll type หรือ code based filtering logic ในการ ตรวจสอบสัญญาณผิดพลาด

2.3) Home Healthcare Service Provider (H2SP)

เมื่อ H2SP รับข้อความเตือนมาจาก H2IC อันดับแรก HTN จะทำ การประมวลผลการจัดลำดับ จากนั้นผู้เชี่ยวชาญด้านการแพทย์จะทำการ วิเคราะห์สัญญาณหรือข้อความฉุกเฉินที่ได้รับ ระบบการตอบสนองในกรณี ถูกฉุกเฉินระบบแรกๆนั้นเป็นระบบการตอบสนองแบบจำลองศูนย์กลางของ wonju christian hospital at yonsei university แบบจำลองนี้สามารถปรับให้ เข้ากับระบบการตอบสนองฉุกเฉิน H2SP จะมีการส่งรายงานสถานการณ์ ทุกๆ 2-4 สัปดาห์ โดยจะมีการวิจัยสัญญาณในมุมมองของพวกเขา และ อธิบายถึงระบบอินเทอร์เน็ตที่สามารถค้นหาหรือการให้คำแนะนำผลการ จัดการสุขภาพของ H2IC, H2C และ H2SP

2.3.1 ระบบการเตือนในสถานการณ์ฉุกเฉิน

ในการตรวจจับ โรคต่างๆ ความดันเลือด ซึฟจร ระดับน้ำตาลใน เลือด และออกซิเจน เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นอย่างใดอย่างหนึ่งในระดับที่ถือ ว่าฉุกเฉิน จะมีการส่งข้อความเตือนและ diagnosis algorithm จะทำการ วิเคราะห์โรคโดยอัตโนมัติ H2C จะส่งข้อความมายังผู้ใช้และผู้ที่มีความ สัมพันธ์กับผู้ใช้หรือญาติ Emergency center ที่ใกล้ที่สุดจะได้รับ รายงานการเตือนโดยอัตโนมัติ ผลที่ออกมานั้นจะถูกเก็บเป็นประวัติของ คนไข้และจะส่งข้อมูลนั้น ไปยังแพทย์ประจำตัวคนไข้อีกด้วย



รูปที่ 14 หน้าจอรายงานสถานการณ์แบบเรียลไทม์ ซึ่งได้ข้อมูล มาจากการจัดการรายงานสุขภาพของผู้ป่วย [1]

VII. เทคนิคการใช้งานด้านการระบุตำแหน่งในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

จากการคำนวณ อัลกอริทึมในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ range-based algorithms และ range-free algorithms สำหรับ range-based algorithms จะใช้ในการวัดระยะทางหรือปรับเปลี่ยนข้อมูลระหว่างโหนด การวัดนี้ถูกใช้ในวิธี Trilateration (การอ้างอิงข้อมูลอย่างน้อย 3 วงเพื่อหา พิกัดตำแหน่งในแนวระนาบสองมิติ วงกลมแต่ละวงจะมีพื้นที่ที่ทับซ้อนซึ่ง กันและกัน บริเวณที่มีการทับซ้อนกันของวงกลมทั้งสามวงถือเป็นบริเวณที่ ให้คำตอบของการประเมินพิกัดตำแหน่งด้วยระเบียบวิธี Trilateration), Triangulation (การยืนยันความน่าเชื่อถือของข้อค้นพบ) หรือ Maximum Likelihood Estimation (MLE) (ความเป็นไปได้ที่น่าจะเกิดมากที่สุด) เทคโนโลยีที่นำมาใช้วัดระยะทาง ได้แก่ Time Of Arrival (TOA), Time Differential Of Arrival (TDOA), Angle Of Arrival (AOA), Received Signal Strength Indicator (RSSI) อัลกอริทึมประเภทนี้ต้องการฮาร์ดแวร์แบบพิเศษ แต่แม่นยำ ในทางตรงกันข้าม range-free algorithms ไม่ต้องการทั้งการวัด ระยะทางและการกำหนดเป้าหมาย แต่ใช้สำหรับเชื่อมต่อเครือข่ายซึ่ง ได้ ตำแหน่งของโหนดที่ไม่ทราบจากการคาดเดาโหนดที่อยู่ติดกัน อัลกอริทึม ประเภทนี้ใช้ฮาร์ดแวร์แบบธรรมดาแต่มีโอการ localization error สูง ตัวอย่างของอัลกอริทึมประเภทนี้ได้แก่ Centroid Algorithm, DV-HOP, Amorphous, Convex Optimization, MDS-MAP, Approximate Point in Triangle (APIT) ซึ่งทางผู้วิจัยทำการสำรวจการใช้งานอัลกอริทึมที่ใช้ในการ ระบุตำแหน่งดังนี้

A. อัลกอริทึมการระบุตำแหน่งแบบผสม ดี ซี เอส สำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ ไร้สาย [11]

เป็นอัลกอริทึมการระบุตำแหน่งแบบผสมสำหรับเครือข่าย เซนเซอร์ไร้สายซึ่งเป็นแบบใหม่ การคำนวณระยะทางบนพื้นฐาน DV-Hop อัลกอริทึม และตำแหน่งจุดเริ่มต้นคือการประมาณ โดยใช้ Centroid อัลกอริทึม หลังจากนั้นผลที่ได้จะถูกทำให้สมบูรณ์แบบขึ้น โดย Mass-spring optimization การจำลองโดยใช้ MATLAB แสดงให้เห็นว่า ความผิดพลาด ของอัลกอริทึมแบบผสม ลดลง 15% เมื่อเปรียบเทียบกับ DV-Hop โดยวิธี ใหม่ไม่ต้องการอุปกรณ์เพิ่มเติมและประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งนี้ดีขึ้น

1. DV-Hop อัลกอริทึม เป็นแนวคิดพื้นฐานนั่นคือการคำนวณหา ระยะทางระหว่าง โหนดที่ไม่รู้จัก และจุด Beacon โดยการใช้ระยะทางการ เกลี่ยของ Hop คูณจำนวน Hop ทั้งหมด วิธีนี้ไม่ต้องการการวัดระยะทาง ระหว่างโหนดแต่ละโหนด และโหนดก็ไม่ต้องการใช้ฮาร์ดแวร์เพิ่มเติม ดังนั้นมันจึงทำได้ง่าย DV-Hop ทำงานเหมือนข้างล่างนี้

เริ่มแรก Beacon กระจายข้อมูลตำแหน่ง (x, y, h_i) ผ่านเครือข่าย และ hop (h_j) ให้เป็นศูนย์ โหนดที่ได้รับข่าวสารจะรู้ว่า จากจุด Beacon มาถึง โหนดเส้นทางไหนใช้ hop น้อยที่สุด ก็จะบันทึกไว้ แล้วโหนดจะเอาค่า hop มา +1 แล้วก็ส่งต่อไปยังโหนดข้างเคียง ดังนั้นทุกโหนดในเครือข่ายก็จะรู้ว่า จำนวนน้อยที่สุดของ hop (h) จากตัวเองไปสู่ Beacon ดังนั้นค่าเฉลี่ย ระยะทาง one hop จะประมาณได้เป็นดังสมการที่ 1

$$HopSize_i = \frac{\sum_{j \neq i} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{j \neq i} h_j} \quad (1)$$

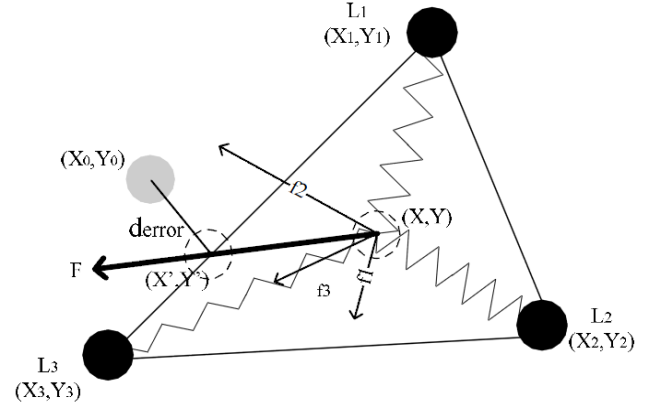
เมื่อ (X_i, Y_i) และ (X_j, Y_j) บอกถึงตำแหน่งของ Beacon i และ j h_j คือ hop ของ Beacon j ดังนั้นระยะทางไปถึง Beacon คือ $HopSize_i \times h_j$ ระยะทางนี้เป็นความยาวเริ่มต้นของ spring ที่กล่าวถึงในส่วน Mass-spring optimization.

ตำแหน่งคำนวณโดยวัดสามจุดข้างๆ การวัดแบบรูปสามเหลี่ยม หรือการประมาณค่าสูงสุด เมื่อโหนดที่ไม่รู้จักมีข้อมูลสามระยะทางขึ้นไป โดยประมาณที่อยู่รอบๆ โหนดนั้น แต่อัลกอริทึมใหม่ ใช้ Centroid อัลกอริทึม ในการประมาณการหาตำแหน่ง ถึงแม้ความแม่นยำจะต่ำ แต่การ คำนวณง่ายมาก

2. Centroid อัลกอริทึม ใน Centroid อัลกอริทึม ตำแหน่งของ โหนดประมาณมาจากจุด Centroid ของรูปทรงเลขาคณิตที่เกิดจากการนำเอา จุด beacon รอบๆ มันมาวาด จุด beacon ต้องอยู่ให้รัศมีการสื่อสาร ใน อัลกอริทึมผสมแบบใหม่ จุด Centroid ในขบวนการใหม่ เกิดจากการ ลากเส้นของ beacon ต่างๆ หลาย beacon ซึ่งมีจำนวน hop เป็นค่าหนึ่ง แล้วจะกำหนดจากโหนดที่ไม่รู้จัก เมื่อโหนดที่ไม่รู้จักเป็น i มี beacon ข้างเคียงอยู่จำนวน k โหนด และจุดพิกัดของโหนดที่ไม่รู้จัก คือ (X_{est}, Y_{est}) หลังจากนั้นจะหาตำแหน่งทางกายภาพของโหนด i คือประมาณเหมือนกับ (X_{est}, Y_{est}) ดังสมการที่ 2

$$(X_{est}, Y_{est}) = \left(\frac{X_{i1} + \dots + X_{ik}}{k}, \frac{Y_{i1} + \dots + Y_{ik}}{k} \right) \quad (2)$$

3. Mass-spring optimization ตอนนี้อยู่แต่ละโหนดจะมีพิกัด ตำแหน่ง (x, y) จากขั้นตอน DV-hop และ Centroid ที่ผ่านมา อย่างไรก็ตาม การหาตำแหน่งแต่ละจุดยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่มาก แบบจำลอง Mass-spring ใช้เพื่อที่จะให้เกิดความถูกต้องและปรับสมดุลของความคลาดเคลื่อน ในการระบุตำแหน่ง ทำให้ความคลาดเคลื่อนน้อยลง แต่ละโหนดที่ไม่รู้จัก



รูปที่ 15 ตัวอย่างเพื่ออธิบาย Mass-spring optimization [11]

ให้จินตนาการว่ามีสปริงยึดไว้กับ beacon อ้างอิง (X_i, Y_i) (มันคือตำแหน่ง เวกเตอร์ r_i) ดังตัวอย่างในรูปที่ 15 คือ $L1, L2, L3$ คือ beacon ความยาว ดั้งเดิมสปริงมาจากระยะทางระหว่างโหนดและ beacon คำนวณโดย DV-Hop อัลกอริทึม (d) ถ้าระยะทางที่ประมาณปัจจุบันระหว่างสองโหนดสั้น กว่าความยาว (การวัด) จริง (d) สปริงก็จะมีการเคลื่อนออกไปสู่ความยาวจริง แรงที่วัดคือ $f1, f2$ แต่ถ้าระยะทางที่ประมาณโดยยาวกว่า d ก็จะเกิดแรงดึงเข้า หากัน $(f3)$ ดังนั้น ระยะทางที่ดีที่สุดคือระยะที่สปริงมีความยืดหยุ่นน้อย ที่สุด คือไม่ดึงไม่ดัน อัลกอริทึมมีการทำงานดังต่อไปนี้

เริ่มแรกด้วยการคำนวณหาแรงยึดหยุ่นจากตำแหน่งปัจจุบัน (ตำแหน่ง เวกเตอร์ r)

$$\vec{F}_i = \sum_{j=1}^n \vec{f}_{i,j} = \sum_{j=1}^n (d_{i,j} - |\vec{r}_i - \vec{r}_j|) \frac{\vec{r}_i - \vec{r}_j}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|} \quad (3)$$

ถ้าแรง F_i ไม่เท่ากับ 0 ก็ให้เคลื่อนโหนดไปในทิศทางของแรง F นั้น ถ้าเคลื่อนไปพลังงานก็จะลดลง จุดใหม่ของมันก็คือ r^{k+1}

$$\vec{r}^{k+1} = \vec{r}^k + \vec{e} \cdot \gamma^k \quad \left(\vec{e} = \frac{\vec{F}}{|\vec{F}|} \right) \quad (4)$$

ในกรณีที่พารามิเตอร์ของการแปลง γ ค่าต้องอัปเดตเปลี่ยนแปลง โดยใช้อัตราการเรียนรู้ที่แน่นอน $\lambda (\lambda > 1)$ ถ้า

$$f_x^{k+1} \cdot f_x^k > 0, \quad \gamma^{k+1} = \gamma^k \cdot \lambda \quad (5)$$

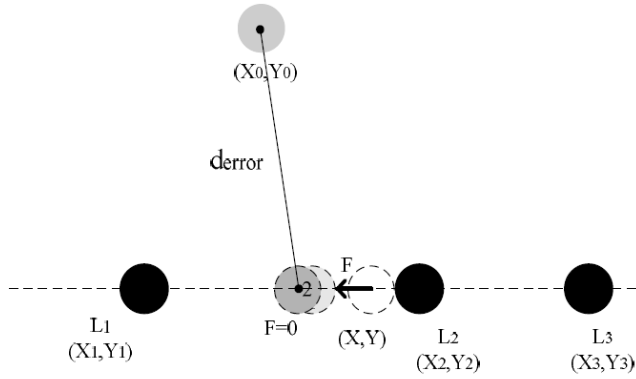
ถ้า

$$f_x^{k+1} \cdot f_x^k < 0, \quad \gamma^{k+1} = \gamma^k / \lambda \quad (6)$$

f_y ก็เหมือนกัน เมื่อแรง f_x คือแรง F ในทิศทาง x f_y ก็คือแรง F ในทิศทาง y

ถ้าค่าเกณฑ์ Δ_{thres} ถูกตั้งขึ้น หากค่ามากกว่า Δ_{thres} ต้องคำนวณซ้ำใหม่ จนกว่าจะมีค่าน้อยกว่า Δ_{thres} ยิ่งมีขนาดเล็กคือค่าที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น แต่ต้องมีค่าน้อยตามไปด้วย ดังนั้นต้องใช้เกณฑ์ที่เหมาะสมตามจำเป็น

กระบวนการ optimization ก็เป็นกระบวนการวนลูปจนกว่าแรงที่หาได้เป็นศูนย์ จากรูปที่ 16 ดังนั้นเราจะได้อ่า (X', Y') คือตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณ (X_0, Y_0) เป็นค่าตำแหน่งจริง แต่เมื่อแรงเป็น 0 ไม่จำเป็นว่าค่านี้เป็นค่าที่ดีที่สุด ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 ตัวอย่างแสดง local-optimal condition [11]

เพราะว่าเมื่อ beacon อยู่ในเส้นตรงเดียวกัน การเลื่อนโหนดก็เป็นการเลื่อนบนเส้นตรงเส้นนั้น ก็จะทำให้ได้ค่าตอบแต่ก็ยังมีข้อผิดพลาดอยู่ ดังนั้นเราจึงมีวิธีคำนวณพลังงานต่อจากคำนวณแรง

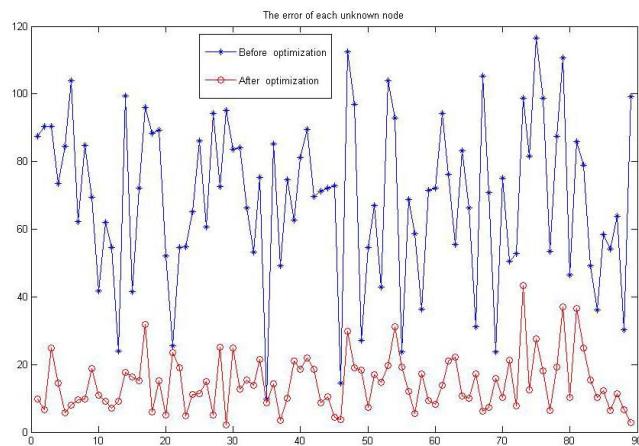
$$E_i = \sum_j E_{i,j} = \sum_j (d_{i,j} - |r_i - r_j|)^2 \quad (7)$$

ถ้า E_i เกือบถึงศูนย์ก็แสดงว่าจะทำให้ได้ค่าตอบ แต่ถ้าไม่ใกล้ศูนย์ ให้ทำใหม่โดยใช้โหนดหรือ beacon อื่นที่รู้ตำแหน่ง

4. ผลการทดสอบจากแบบจำลอง สภาพแวดล้อมของการจำลอง

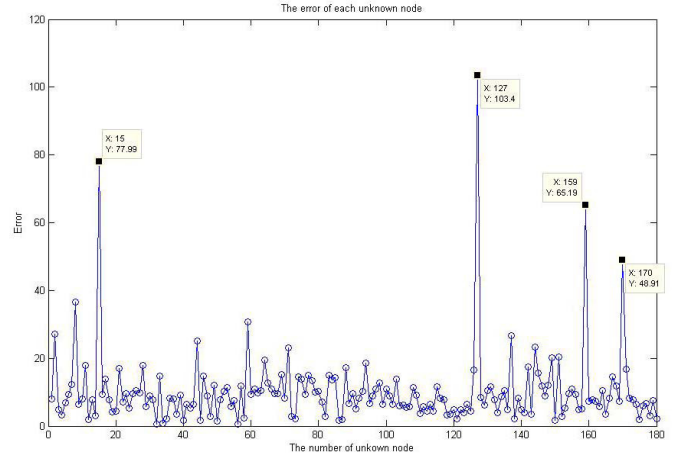
ทำโดยใช้ MATLAB ในพื้นที่ 200x200 เมตร ระยะสัญญาณวิทยุ 60 เมตร โหนดทุกโหนดทำการสุ่มกระจัดกระจายไปทั่ว 10% เป็น beacon

5. ผลการทดสอบจากแบบจำลองและการวิเคราะห์



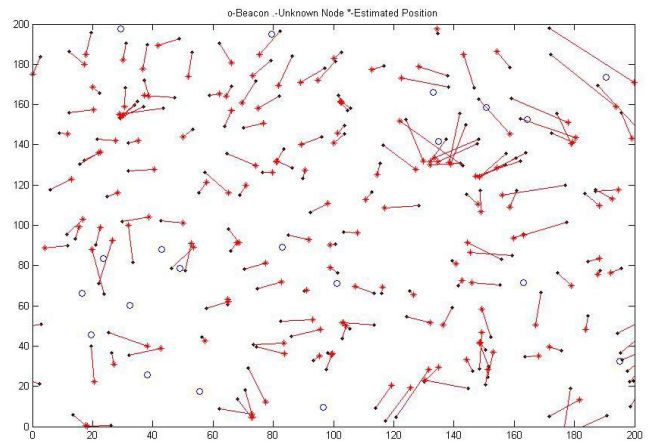
รูปที่ 17 จุดที่ผิดพลาดโดยการใช้และไม่ใช้ Mass-spring optimization [11]

รูปที่ 17 เป็นการเปรียบเทียบจุดระหว่างการใช้และไม่ใช้ Mass-spring optimization ผลการทดสอบที่ใช้ Mass-spring optimization ทำได้ดีมาก มีความผิดพลาดโดยเฉลี่ย 14.5292 เมตร ซึ่งน้อยกว่าผลการทดสอบที่ไม่ใช้ Mass-spring optimization ที่มีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ 69.1700 เมตร



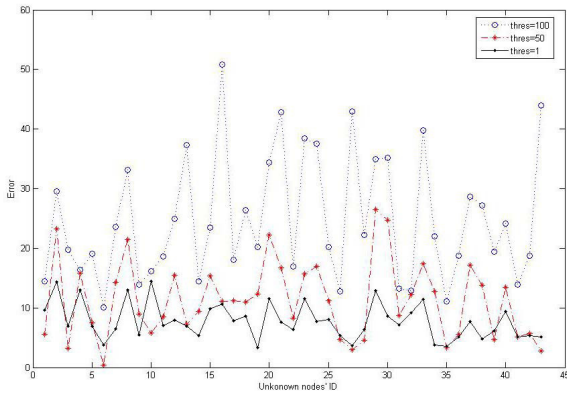
รูปที่ 18 ตำแหน่งจุดที่ผิดพลาดของผลการ local-optimal [11]

โหนดที่มีตำแหน่งผิดพลาดอื่นๆ มีการคำนวณเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ D.C.S อัลกอริทึม โดยไม่สนใจพลังงานที่อาจเกิดขึ้น ความผิดพลาดแสดงใน รูปที่ 4 ความผิดพลาดส่วนใหญ่มีน้อยกว่า 40 เมตร ยกเว้นโหนดที่ 15,127,159,170 ซึ่งมีความผิดพลาดสูงกว่าค่าเฉลี่ยมาก ต้องใช้พลังงานที่อาจเกิดขึ้น มาคำนวณช่วย



รูปที่ 19 ตำแหน่งจุดจากการคำนวณของอัลกอริทึมแบบผสม [11]

รูปที่ 19 แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งโหนดโดยใช้ อัลกอริทึมแบบผสมบนพื้นฐานการคำนวณพลังงาน เส้นที่เชื่อมต่อกันระหว่างจุดสองจุด คือเส้นที่เชื่อมระหว่างโหนดที่คำนวณได้กับตำแหน่งจริง จะเห็นได้ว่าตรงกลางการหาตำแหน่งทำได้ดี รอบนอกทำได้ไม่ค่อยดี เพราะ beacon มีน้อย ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด คือ 11.0368 เมตรและความแม่นยำอยู่ที่ 22.07%

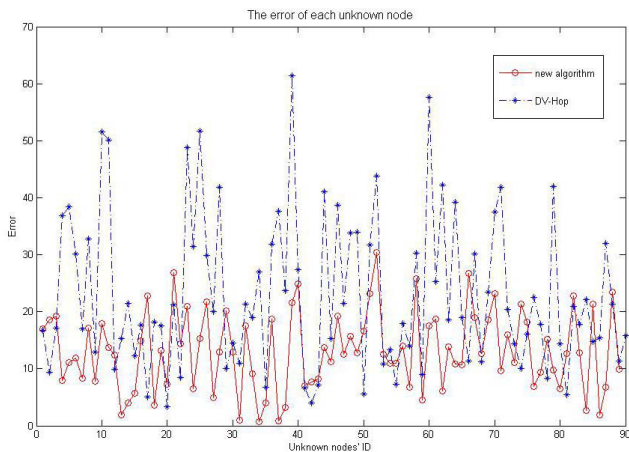


รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ของตำแหน่งจุดที่ผิดพลาดและเกณฑ์ที่กำหนด บนพื้นฐานจากการคำนวณของอัลกอริทึมแบบผสม [11]

Δ thres	Mean error(m)	Variance	Accuracy	Times
100	22.062	150.3640	36.77%	11
50	13.596	68.9326	22.66%	13
1	6.894	42.4322	11.49%	21

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดในรูปที่ 20 [11]

ในการทดลอง เกณฑ์ Δ thres ก็ถูกกำหนดให้ใช้ตัดสินใจว่าการคำนวณจะหยุดเมื่อไหร่ ซึ่งส่งผลต่อค่าความแม่นยำ ค่าความผิดพลาดที่เกิดจากเกณฑ์ Δ thres ที่ 100, 50, 1 แสดงให้เห็นในรูปที่ 6 และตารางที่ 1 ในตารางเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะเห็นได้ว่า Δ thres=1 ความผิดพลาดน้อยที่สุด แต่ก็ใช้เวลาในการคำนวณมากที่สุด 21 ครั้ง ถ้า Δ thres=100 ก็จะตรงกันข้าม

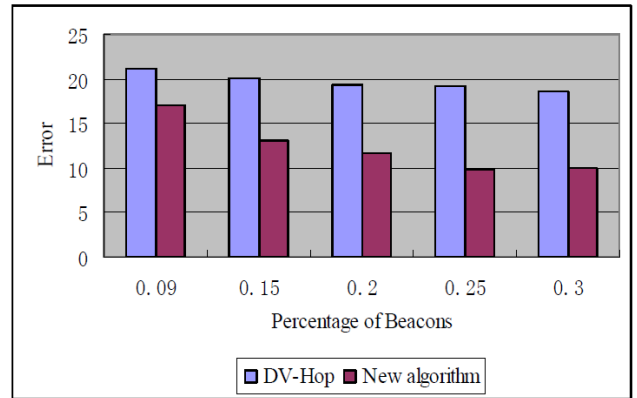


รูปที่ 21 ตำแหน่งจุดที่ผิดพลาดของการคำนวณด้วย DV-Hop อัลกอริทึม และอัลกอริทึมแบบผสม [11]

Algorithm	Mean error(m)	Variance	Accuracy
DV-Hop	22.0603	152.2220	33.60%
D.C.S	14.1048	77.5034	18.56%

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดในรูปที่ 21 [11]

จะเห็นได้ว่าวิธีใหม่มีผลดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่มี beacon เท่ากันถึงแม้ว่า DV-Hop จะได้ผลกระทบจากความหนาแน่นของ โหนด ส่วนที่ดีขึ้นคือส่วนที่เป็น centroid ถ้าเกิด % beacon มาก ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งก็จะมากขึ้นไปด้วย



รูปที่ 22 ความสัมพันธ์ของตำแหน่งจุดที่ผิดพลาด และความหนาแน่นของ Beacon [11]

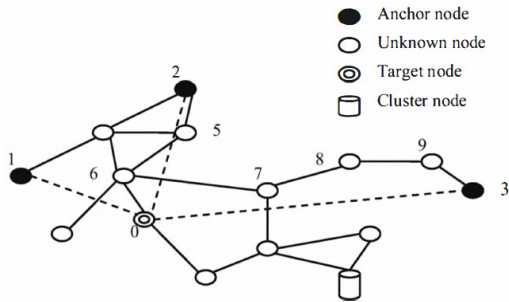
จากผลการทดลอง จะพบว่า อัลกอริทึมแบบผสม มีความแม่นยำในการหาตำแหน่งที่ดี วิธีนี้ได้เอาส่วนดีของ DV-Hop และ Centroid มาใช้ DV-Hop อัลกอริทึมไม่ต้องใช้การวัดระยะทาง และ Centroid อัลกอริทึม มีวิธีคำนวณแบบง่าย หลังจากนั้นตำแหน่งที่ได้จะถูกปรับปรุงด้วย Mass-spring optimization มาช่วยในการหาตำแหน่งให้มันดีขึ้น อัลกอริทึมนี้นำเสนอแนวความคิดใหม่สำหรับการระบุตำแหน่งในเครือข่ายไร้สาย อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของอัลกอริทึมนี้คือความแม่นยำของการหาตำแหน่งขึ้นอยู่กับสภาพเครือข่าย Centroid อัลกอริทึม มีความต้องการเชื่อมต่อกับเครือข่ายที่ดี แล้วยัง Centroid อัลกอริทึม มีการพัฒนาไปหลายรูปแบบแล้วในอนาคตอาจจะมีวิธีการที่ง่ายในการแก้ไขปัญหา

B. Hybrid positioning algorithm [7]

จากลักษณะของ DV-distance และ centroid location algorithm จึงได้มีการพัฒนา hybrid localization algorithm ใหม่ขึ้นมา โดยอาศัยพื้นฐานของ DV-distance and twice-weighted centroid ใน wireless sensor network ซึ่งหลักการสำคัญของ Hybrid scheme จะใช้ DV-distance localization algorithm เพื่อหาระยะห่างสะสม (cumulative distance) และใช้ประมาณค่าอย่างหยาบๆเพื่อใช้ในการคำนวณ twice weighted factors. การคำนวณ twice-weighted centroid โดย weighted factor แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของ anchor nodes ซึ่งจะส่งผลถึงระดับในกระบวนการในการกำหนดค่า localization coordinate จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า localization algorithm แบบใหม่นี้สามารถพัฒนาในการตรวจวัดค่า localization accuracy ได้ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ DV-distance และ centroid localization algorithm ที่ทำการทดลองในสถานะแวดล้อมเดียวกัน โดย algorithm ที่ได้นำเสนอไปนี้สามารถวัดค่า location accuracy ให้มี

ความแม่นยำเพิ่มขึ้นถึง 20% ภายใต้ความหนาแน่นของ anchor ที่มากกว่า 20%

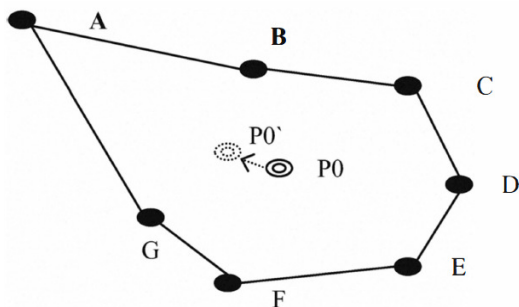
DV-distance algorithm ซึ่งเสนอโดย D. Niculescu และ B. Nath โดยใช้หลักการคล้ายกันกับ distance vector routing เพื่อหาค่าระยะทางสะสม (cumulative distance) เมื่อแต่ละ unknown node ได้รับ cumulative distance จาก anchors สามค่าหรือมากกว่า พวกเขาจะใช้ trilateration ในการคำนวณ localization



รูปที่ 23 ตัวอย่าง DV-Distance localization algorithm

แนวคิดหลักของ centroid algorithm คือ unknown node จะใช้ geometric center (จุดศูนย์กลาง) ของ anchor ในการสื่อสารไปยังรัศมีรอบๆ คือใช้เป็นค่า estimated coordinates ทุก anchors จะส่งตำแหน่งที่อยู่ไปยังทุกๆ node ที่อยู่ภายในรัศมีสื่อสาร (communication radius) เดียวกัน จากนั้นทุก unknown node จะรอรับข้อมูลเพื่อที่จะได้แก้ไข time period และเก็บทุกสัญญาณที่ได้รับมาจาก anchor ถ้า unknown node ได้รับแพ็คเกจข้อความในจำนวนที่มากกว่าค่า threshold (คือค่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ว่าเป็นเกณฑ์ที่ถูกกระตุ้น) unknown node จะคำนวณตำแหน่งของตัวเองโดยใช้สูตร centroid formula ถึงแม้ centroid localization algorithm จะใช้ได้ง่ายแต่ค่า location error นั้นจะมีค่าสูงมากหากเครือข่ายมีความหนาแน่นไม่สูงมากพอหรือมีการกระจายตัวไม่เป็นเนื้อเดียวกันของ anchor nodes

ใน DV-distance algorithm ระยะห่างระหว่าง unknown node และ anchor จะใช้ค่า cumulative distance of hops ดังนั้น algorithm นี้จะทำงานได้เป็นอย่างดีในเครือข่ายที่เป็น isotropic network ซึ่งถ้าหากเครือข่ายไม่เป็น isotropic network ค่า location error จะสูงมาก ในขณะที่ centroid algorithm จะเหมาะสมกับเครือข่ายที่มีความเข้มข้นของ anchor สูง และเครือข่ายที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันในทุก node (intensive-network of anchor and homogenous-network of all nodes)



รูปที่ 24 The influence of a singularity for DV-Distance

ยกตัวอย่างเช่น จากรูปที่ 23 กำหนดให้ localization network มี singularity A ดังนั้น มันจะสามารถทำให้ centroid เคลื่อนที่ที่หาหมั้นและจะลดค่า localization accuracy ของ P ลง สรุปว่า DV-distance algorithm ใช้ค่า cumulative distance of hop แต่ centroid algorithm ไม่ได้ใช้ค่านี้

จากข้อดีและข้อเสียของ DV-distance algorithm และ centroid algorithm ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอ อัลกอริทึมใหม่คือ hybrid positioning algorithm ที่อาศัยพื้นฐานของ DV-distance และ localization algorithm เพื่อหาค่า cumulative distance และค่า rough-estimated coordinate เพื่อจะใช้ในการคำนวณค่า twice-weighted factor การคำนวณในระบบ twice-weighted centroid ทำได้โดย weighted factors ที่แสดงให้เห็นว่า anchor nodes ที่แตกต่างกันนั้นจะส่งผลถึงดีกรีในขั้นตอนของการระบุค่า localization coordinate รู้ได้ว่าทั้ง DV-distance และ centroid localization algorithm มีเป้าหมายเดียวกันคือเพื่อหา node coordinate ที่แท้จริง ขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นของทฤษฎี หากทั้งสอง coordinates มีความใกล้เคียงกันมากขึ้น เราจะสามารถหาค่าที่ใกล้เคียงกับ coordinate ที่แท้จริงได้มากยิ่งขึ้น ดังนั้น unknown node สามารถใช้ DV-distance ในการหาค่า cumulative distance of hop จากตัวมันเองไปยัง anchor node ได้ และหากเลือก anchor node สักอันขึ้นมา แล้วกำหนดให้ค่าของ anchor คือ N จากนั้นเลือก N-1 จาก N ดังนั้น จะสามารถหาค่า first weighted centroid เพื่อจะนำไปสู่การหาค่า centroid ต่อไป, จำนวนของ centroids คือ ซึ่งจะถือเป็น Unknown node ใช้ในการคำนวณค่า distance ระหว่าง estimated coordinate P0 และ centroid ใน regional Q

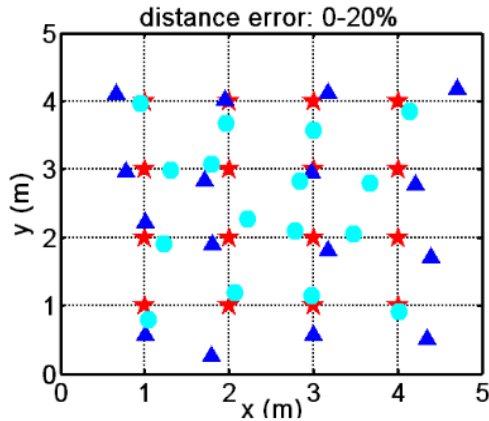
C. อัลกอริทึมการระบุตำแหน่งแบบผสม Bi-MLE [8]

ในงานวิจัยนี้ Maximum Likelihood Estimation (MLE) และ MAX-MIN algorithm ถูกนำมาพร้อมกับ new hybrid algorithm ซึ่ง MLE เป็นอัลกอริทึมทั่วไปจึงไม่กล่าวถึงสูตรที่ใช้ในการคำนวณ

แนวคิดพื้นฐานของ MAX-MIN จะทำให้เกิดการแบ่งขอบเขตขึ้น เนื่องจากระยะทางจากโหนดที่ไม่ทราบกับโหนดอ้างอิง กำหนดให้โหนดอ้างอิงเป็นศูนย์กลางของวงกลมและระยะทางจากโหนดอ้างอิงไปยังโหนดที่ไม่ทราบเป็นรัศมี เพื่อที่จะสร้างวงกลม และเขียน 4 เหลี่ยมรอบวงกลม จะมีส่วนที่ตัดกัน และรูปทรงเรขาคณิตซึ่งใช้คำนวณหาพิกัด การคำนวณใช้ MAX-MIN ซึ่งไม่มีค่าอะไรซับซ้อนมากมายแค่ บวกและลบ แต่ความแม่นยำของ localization จะไม่สูงมากนัก อย่างน้อยโหนดอ้างอิงก็สามารถคำนวณโหนดที่ไม่ทราบได้ เมื่อมีโหนดอ้างอิง 3 โหนด ซึ่งพวกเขาสามารถแบ่งออกได้ C_n^3 กลุ่ม และข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลเฉลี่ย

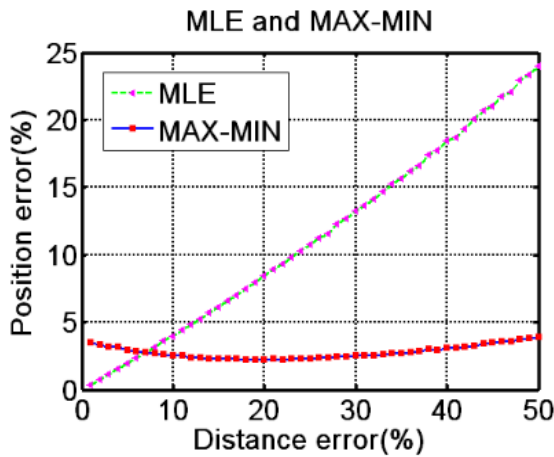
ใช้ MTHLAB ทำการจำลองการทดลองสำหรับ localization โดยใช้ MLE และ MAX-MIN algorithm รูปที่ 25 แสดง MLE และ MAX-MIN ซึ่งมี localization ที่ต่างกัน บางครั้ง MLE จะมีการคำนวณที่แม่นยำกว่า เช่น (1, 3), (3,4) แต่บางครั้ง MAX-MIN ก็แม่นยำกว่า เช่น (1,4), (4,4) อัลกอริทึม

แบบใหม่นั้นจะรวม MLE และ MAX-MIN เข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้รายละเอียดของ ลักษณะ localization ของ รวม MLE และ MAX-MIN



รูปที่ 25 การระบุตำแหน่งของ MLE และ MAX-MIN [8]

ซึ่งมี distance error ต่างกัน จากรูปที่ 25 localization error ของ MLE เพิ่มมากขึ้น รวมทั้ง distance error ด้วย ในทางกลับกันเมื่อระยะทางที่ผิดพลาดมากขึ้น localization error ของ MAX-MIN จะลดลง และเมื่อ distance error ลดลง MLE จะให้ความแม่นยำมากกว่า MAX-MIN แต่เมื่อ distance error มากขึ้นในระดับหนึ่ง MAX-MIN จะให้ความแม่นยำมากกว่า MLE แต่ถ้ามีการรวมตัวแปรของ MAX-MIN และ MLE เข้าด้วยกัน localization error จะลดลง



รูปที่ 26 Distance error และ Position error [8]

ดังแสดงในรูปที่ 26 เมื่อ distance error เพิ่มมากขึ้น ตำแหน่งที่ผิดพลาดของ MLE จะเปลี่ยนไป อีกนัยหนึ่งคือ distance error มีผลต่อ localization error ในงานวิจัยนี้ วิธีการที่ใช้ในการชดเชยการผิดพลาดของระยะทาง คือ ดังสมการที่ 8

$$dis'_{ij} = dis_{ij} / \left(\frac{1}{C_n} \sum_{\substack{1 \leq p \leq n \\ 1 \leq q \leq n}} \frac{dis_m^{pq} - dis_r^{pq}}{dis_r^{pq}} \right) \quad (8)$$

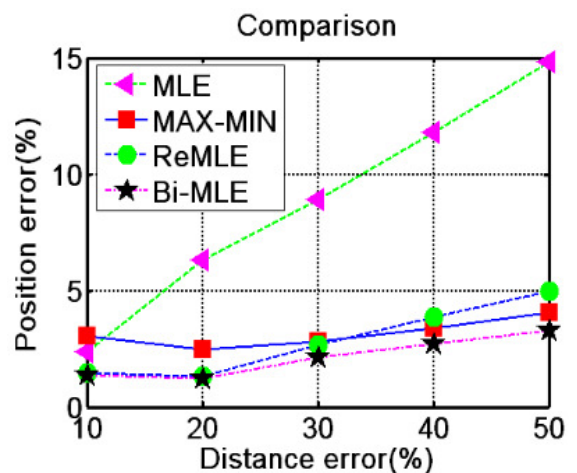
เมื่อ dis'_{ij} คือระยะทางระหว่าง anchor nodes และโหนดที่ไม่ทราบหลังจากการชดเชยการผิดพลาด dis'_{ij} ใช้ในการวัดระยะทางระหว่าง anchor nodes และโหนดที่ไม่ทราบ dis_m^{pq} และ dis_r^{pq} แสดงให้เห็นถึงการวัดระยะทางและระยะทางจริงระหว่าง anchor nodes หลังจากการชดเชย distance error MLE localizes จะมีความแม่นยำมากกว่า ในรูปที่ 3 ReMLE แสดงให้เห็นถึงผลกระทบ localization หลังจากการชดเชยการผิดพลาด ซึ่งเป็นความต่างที่สำคัญระหว่าง MLE และ ReMLE

สำหรับอัลกอริทึมใหม่ อันดับแรกใช้ MLE และ MAX-MIN หาตำแหน่งที่ตั้งตามลำดับ พิกัดของ localization คือ (x'_1, y'_1) และ (x'_2, y'_2) เนื่องจาก distance error จึงเลือกตัวแปร α และ β ดังสมการที่ 9

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \alpha \begin{bmatrix} x'_1 \\ y'_1 \end{bmatrix} + \beta \begin{bmatrix} x'_2 \\ y'_2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

กำหนดให้ (x'_1, y'_1) ใช้ ReMLE พิกัดที่ได้มาคือพิกัดสุดท้ายจากการคำนวณโหนดที่ไม่ทราบ

อัลกอริทึมที่ 2 ผู้วิจัยได้นำเสนอ การผสมระหว่าง MLE และ MAX-MIN ซึ่งเรียกว่า Bi-MLE การแก้ปัญหาของ Bi-MLE คือ การหา α และ β ที่เหมาะสม เพื่อให้เกิด localization error น้อยที่สุด วิธีที่ง่ายที่สุดคือ ทำให้เกิดสัดส่วนที่ต่างกันของ MLE และ MAX-MIN ถ้า $\alpha = n$, $\beta = 1-n$ ขณะที่ $0 < n < 1$ ผู้วิจัยกำหนด $\alpha = 0.1, 0.2, \dots, 0.9$ distance error เพิ่มมากขึ้น 10% ต่อครั้ง คือ 0%-10%, 10%-20%, ..., 40%-50% การจำลองการทดลองและข้อมูลแสดงในตารางที่ 1 (ในกรณีนี้มีโหนดที่ไม่ทราบ 50 โหนด ซึ่งทำการทดสอบแบบสุ่มใน 4 เหลี่ยมขนาด 5x5 m anchor nodes คือ (0,0), (0,5), (5,0), (5,5) radio range คือ 10m.)



รูปที่ 27 การเปรียบเทียบการระบุตำแหน่งระหว่าง MLE, MAX-MIN, ReMLE และ Bi-MLE [8]

Distance error (%)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
MLE	2.39	6.33	8.91	11.82	14.84
MAX-MIN	3.07	2.49	2.82	3.37	4.05
ReMLE	1.45	1.33	2.65	3.87	4.96
0.1	2.78	2.26	2.61	3.11	3.73
0.2	2.51	2.04	2.42	2.90	3.49
0.3	2.24	1.83	2.27	2.77	3.34
0.4	2.00	1.64	2.18	2.72	3.31
0.5	1.77	1.48	2.15	2.77	3.40
0.6	1.59	1.35	2.17	2.89	3.59
0.7	1.45	1.27	2.24	3.08	3.85
0.8	1.37	1.24	2.35	3.31	4.18
0.9	1.38	1.26	2.49	3.58	4.55

ตารางที่ 6 แสดงข้อมูลที่ใช้ในการเปรียบเทียบ [8]

ซึ่งใช้ข้อมูลจากตารางที่ 6 เส้นโค้งของ Bi-MLE เกิดจากจุดที่เกิดการผิดพลาดน้อยที่สุดในแต่ละคอลัมน์ จากรูปที่ 27 หากเลือก α และ β ที่เหมาะสม จะเกิดการผิดพลาดน้อยมาก แม้ว่า distance error 50% จะเกิด localization error เพียง 4% ดังนั้นค่า α และ β ที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญมาก สิ่งสำคัญที่เสนอในครั้งนี้คือ การรวม MLE และ MAX-MIN algorithms เข้าด้วยกัน แต่ปัญหาหลักคือการเลือกตัวแปร การเก็บค่าตัวแปรเนื่องจากตัวแปรของระบบและ distance error การประมาณระยะห่างระหว่าง anchor nodes ทุก localization สามารถคำนวณได้แบบ real-time และยังมีทางเลือกตัวแปรที่เหมาะสมออกมาใช้ ในระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ตำแหน่งที่ดีที่สุดสำหรับ anchor nodes คือรอบๆ เครือข่ายและรูปแบบของ anchor nodes ควรจะเป็นรูปแบบที่ธรรมดาที่สุด ไม่เช่นนั้น Bi-MLE จะค่อนข้างประหยัดกว่า ซึ่งจะทำให้อัลกอริทึมใช้งานได้ดีกว่า

D. Kalman Filter Algorithm [6]

ความก้าวหน้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กและเทคโนโลยีไร้สาย ทำให้สามารถวัด ทำการประมวลผล และการส่งข้อมูล การใช้โหนดต่างๆ เป็นเซนเซอร์จำนวนมากทำงานร่วมกับเครือข่ายการสื่อสาร เรียกว่า Wireless Sensor Network (WSN) เครือข่ายประเภทนี้ถูกคิดตั้งเพื่อที่จะจำกัดและติดตามภายใน การจำกัดคือการประมวลผลของตำแหน่งของเป้าหมาย ณ เวลานั้นๆ ในขณะที่การติดตามคือการประมวลผลของการจำกัดตำแหน่ง

จากที่กล่าวมา KF (Kalman filtering) ถูกใช้สำหรับติดตามสัญญาณ Kalman filter เป็นวิธีการ linear optimal filtering เพื่อที่จะแก้ไขปัญหามือ system dynamics กลายเป็น non-linear ผู้วิจัยต้องการพัฒนา sub-optimal extensions ของ Kalman filter เช่น EKF (Extended Kalman Filter) and UKF (Unscented Kalman Filter) งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบบางโมเดลของ EKF-based สำหรับติดตามการเคลื่อนที่ของเป้าหมายใน WSNs ซึ่งส่วน

อนั้นจะกล่าวถึง บางงานที่เกี่ยวข้อง การติดตามเป้าหมายโดย EKF และเปรียบเทียบ EKF model สำหรับการติดตามเป้าหมายใน WSNs

สมการของ Kalman Filter แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ “predictor equations” and “corrector equations” ซึ่งอ้างอิงถึงตัวแปรของระบบ สภาพขณะนั้น และข้อผิดพลาดของตัวแปรร่วม ซึ่งถูกนำเสนอเพื่อให้ได้มาซึ่งการทำนายตามลำดับที่มาก่อน เพื่อขึ้นคอนต่อไป การดำเนินการเช่นนี้เรียกว่า time update การวัดที่มีอยู่ในขณะนั้น ได้รวมกันเป็นการคำนวณ priori เพื่อให้ได้มาซึ่งการพัฒนาจากผลไปผู้เหตุ หรืออีกนัยหนึ่งคือ การวัดการคำนวณการที่คาดการณ์ในขณะนั้น ขึ้นแรกสำหรับการคำนวณ X_0 และ P_0 หลังจากแต่ละช่วงเวลาและการวัดอัปเดตแล้วจะทำการประมวลผลซ้ำย้อนกลับ a posteriori ลักษณะการเรียกซ้ำ นี้เป็นหนึ่งในคุณสมบัติที่น่าสนใจของ Kalman Filter และแสดงถึงข้อได้เปรียบกว่าวิธีการสุ่มเงื่อนไขการเรียกซ้ำ filter จำนวนได้จากการวัดที่ผ่านมาและสามารถนำมาใช้ในโปรแกรมเรียลไทม์อีกด้วย

วิธีการสร้างแบบจำลองของการเคลื่อนที่ที่เกิดจากการตั้งค่าระบบเชิงเส้น ประกอบด้วยสมการกลศาสตร์การเคลื่อนที่สำหรับแต่ละมิติของการติดตาม ตามจำนวนของเป้าหมายที่คำนวณได้ จะมีสามแบบจำลองที่ติดตามได้

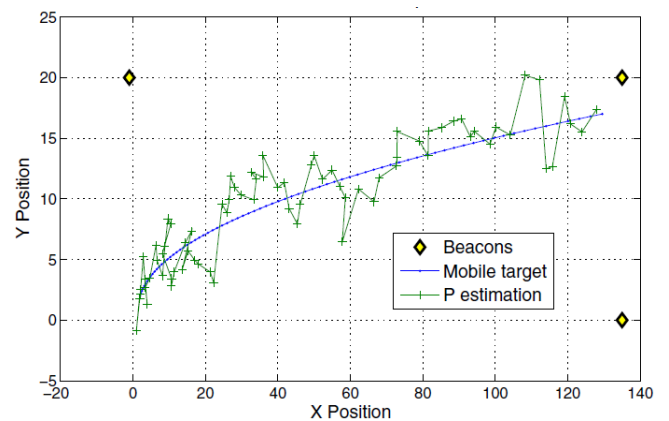
Position Model(P): เวกเตอร์บอกแค่ตำแหน่ง

Position-Velocity Model(PV): เวกเตอร์บอกตำแหน่งและความเร็ว

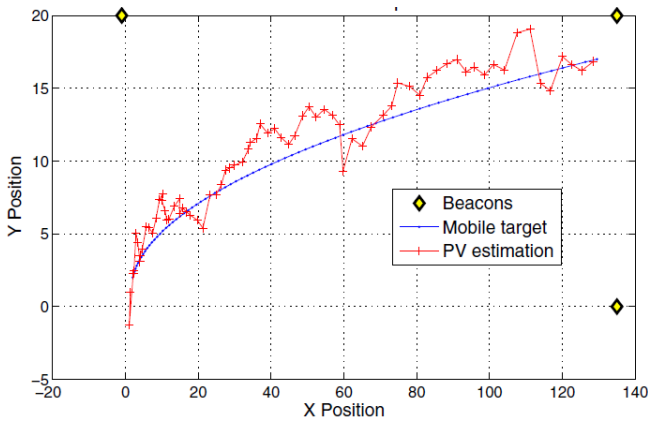
Position-Velocity-Acceleration Model(PVA): เวกเตอร์บอกตำแหน่ง ความเร็ว ความเร่ง

สำหรับ $n \times 1$ เวกเตอร์ x_k เปลี่ยนความสอดคล้องของ continuous-time ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการนี้

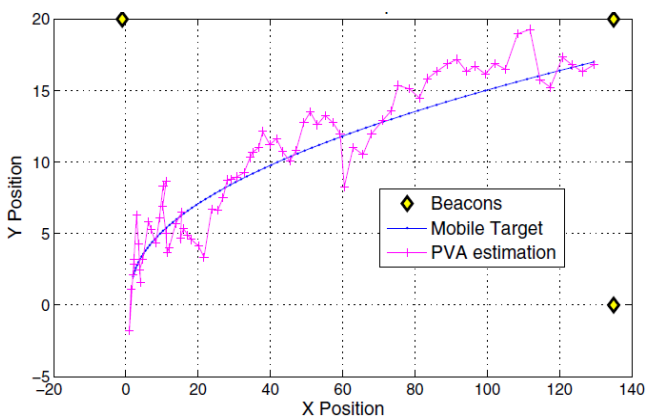
$$\dot{x}_k = A_k x_k + w_k \quad (10)$$



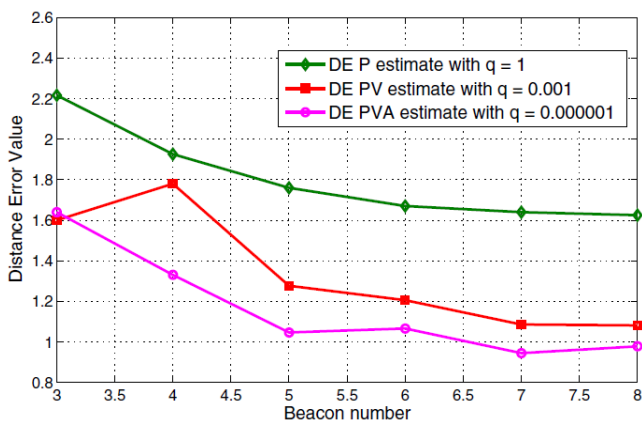
รูปที่ 28 การระบุตำแหน่งโดยประมาณ ของ $q = 1$ [6]



รูปที่ 29 การระบุตำแหน่งโดยประมาณ ของ $q = 10^{-3}$ [6]



รูปที่ 30 การระบุตำแหน่งโดยประมาณ ของ $q = 10^{-6}$ [6]



รูปที่ 31 ค่าของระยะห่างที่ผิดพลาดกับจำนวนของบีมคอน [6]

จากงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา EKF-based models เพื่อติดตามเป้าหมายใน WSNs ถึงพบว่าสามารถแก้ไขปัญหาค่า q ได้โดยใช้การคำนวณ P, PV หรือ PVA EKF ขึ้นอยู่กับความถี่ของแอปพลิเคชัน ผู้วิจัยแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของค่าเฉลี่ยในแต่ละ model ผลที่ดีที่สุดที่ได้จาก PVA model คือ ค่า q ที่น้อย เป็น model ที่รวบรวมการประมวลผลของความเร็วและความเร่ง นอกจากนี้ยังทำการศึกษาผลกระทบของจำนวนของ beacons ในการคำนวณนี้และมีการพัฒนาเกี่ยวกับจุดอ้างอิง ในอนาคตจะ

เน้นไปที่ผลกระทบของจำนวน beacons รวมไปถึงสถานที่ติดตั้ง และประสิทธิภาพในการติดตาม

E. Distributed Least Squares (DLS) algorithm

Wireless Sensor Networks (WSNs) เป็นหัวข้อวิจัยที่น่าสนใจมาหลายปีแล้ว หนึ่งในเรื่องนั้นคือหัวข้อของการประมาณตำแหน่ง วิธีที่วิธีหนึ่งคือการใช้ Distributed Least Squares (DLS) algorithm ซึ่งเป็นการคำนวณ precalculation ที่ซับซ้อน และคำนวณ postcalculation ที่ไม่ยุ่งยาก ระบบนี้จะทำการเก็บสัญญาณของแต่ละ node แล้วรวบรวมประมวลผลโดยเพิ่มข้อมูลตำแหน่งเข้าไปเรื่อยๆ

วิธีนี้จะไม่สามารถใช้กับการทำงานขนาดใหญ่ที่มีวงบริเวณกว้างได้เพราะขนาดของกระบวนการผลจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาระบบเพิ่มขึ้นเป็น scalable DLS (sDLS) ซึ่งเป็นการขยายผลการประมวลผลแบบ matrix ซึ่งลดการคำนวณลงได้อย่างมาก งานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการนำ sDLS มาใช้งานเพื่อช่วยลดข้อมูลและเวลาในการประมวลผล

ปัจจุบันเทคโนโลยีทำให้ sensor ขนาดเล็กมีความสามารถมากขึ้นอย่างมาก ทั้งมีการประมวลผลแบบต่างๆ มีหน่วยความจำขนาดเล็ก และสามารถส่งสัญญาณถึงอุปกรณ์ข้างเคียงในระยะไกลได้ เหล่านี้สามารถเรียกรวมได้ว่า Wireless Sensor Networks (WSNs) ซึ่งมักจะนำมาใช้ในการตรวจวัดต่างๆ ในพื้นที่ขนาดใหญ่ การเตือนภัย หรือการสำรวจทางธรณีวิทยาต่างๆ หรือ GPS ซึ่งวิธีการที่ใช้คือการหาตำแหน่งของ node ที่ต้องการทราบ (beacon node) โดยที่จะใช้การอ้างอิงจาก node ใกล้เคียง โดยที่ node ที่ส่งข้อมูลนั้นๆจะคิดเป็นโหนดที่มองไม่เห็น (blind node) ส่งตำแหน่งและข้อมูลที่ตนเองมีหาจุดข้างเคียงเพื่อช่วยเป็นข้อมูลแก่ beacon node การอ้างอิงตำแหน่งมีสองระดับ ใหญ่ๆคือ การระบุตำแหน่งแบบหยาบ และการระบุตำแหน่งละเอียด โดยการระบุตำแหน่งแบบหยาบ เช่น Adaptive Weighted Centroid Localization (AWCL) เป็นการคำนวณแบบคร่าวๆใช้เวลา พลังงานและข้อมูลไม่มาก มีความรวดเร็ว ส่วนการคำนวณแบบละเอียดเป็นการระบุตำแหน่งที่แน่นอน และมีความแม่นยำสูง ซึ่งใช้พลังงานและเวลาการคำนวณที่มากพอสมควร แต่ Distributed Least Squares (DLS) เป็นการคำนวณที่รวมทั้งสองแบบเข้าด้วยกัน โดยมีการคำนวณ precalculation ที่ซับซ้อนและมี post calculation ที่ง่ายและรวดเร็ว รวมกันอยู่ข้อเสียที่เป็นจุดสำคัญของ DLS ก็คือเป็นการพึ่งพาการคำนวณที่คิดโดยสมมุติฐานว่าทุกๆ node ต้องสามารถได้รับข้อมูลจาก sink ทั้งหมด ซึ่งในการใช้งานในวงพื้นที่ขนาดใหญ่ไม่สามารถทำได้และการสะสมการคำนวณจาก node ก่อนหน้ามาเรื่อยๆ ทำให้การคำนวณช่วงท้ายๆเสียเวลาค่อนข้างมาก ข้อเสียจุดนี้ได้มีการพัฒนาให้เกิด scalable DLS (sDLS) ซึ่งแก้ปัญหามาโดยการนำ precalculation ที่เกิดจาก blind node นั้นๆเท่านั้น เป็นการลดปริมาณการคำนวณจากข้อมูลของทั้ง sink network แต่ยังคงใช้แนวความคิดและวิธีการโดยรวมเหมือน DLS อยู่ ผลของการใช้ sDLS ทำให้การทำงานในพื้นที่วงกว้างทำได้ง่ายขึ้น เพราะ node แต่ละ node มีความเป็น

อิสระจาก sink มากขึ้น โดยที่ความแม่นยำของระบบโดยรวมเป็นการพึ่งความสามารถ และการupdate ของแต่ละ node มากยิ่งขึ้น

sDLS ต่างกับ DLS ที่ตรงขึ้นตอน update ที่เพิ่มมาจาก precalculation ซึ่งประกอบด้วย

- 1) ลบข้อมูล beacon node ที่เข้าไม่ถึง
- 2) เพิ่มข้อมูล beacon node ที่เข้าถึงได้
- 3) ประมาณตำแหน่งโดยวิธี postcalculation

ขั้นตอนที่ใช้เวลาในการประมวลผลหลายๆคือการเพิ่มและลบข้อมูล หรือ update ซึ่งจุดนี้เป็นที่มาของการพัฒนา sDLSNU ซึ่งเป็นกรลดขนาดของกระบวนการ เพิ่มและลบ ข้อมูล update

การทดลอง sDLSNU เปรียบเทียบกับ sDLS ในแง่ของความแม่นยำในการระบุตำแหน่งและเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของ blind node และวิเคราะห์อัตราการ update

เป้าหมายของ sDLSNU คือ การลดจำนวนของการคำนวณ matrix updates ให้มากที่สุด โดยการลดจำนวนของ insert operation และ delete operation ในระหว่างที่ sDLS ใช้ 12 beacon node sDLSNU ใช้จำนวน beacon ที่สูงกว่าเนื่องจากจำนวนการเพิ่มเข้าซึ่งจะมากกว่าในส่วนของการ precalculation แต่แทบจะไม่ได้ประมวลผลในส่วนของการลบข้อมูล Regarding และยังลดลงตามขนาดของ network

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งเทียบกับการวัดจริง sDLSNU เทียบกับ sDLS จะพบว่าตำแหน่งมีการคลาดเคลื่อนมากกว่าเล็กน้อยเนื่องจากการระบุตำแหน่งโดยอาศัยการอ้างอิงจากจุดอ้างอิงเพียง 2 จุด

sDLSNU ได้แสดงให้เห็นการลดการประมวลผลลงอย่างมากถึง 95% ซึ่งมีผลกระทบต่อความแม่นยำของการระบุตำแหน่งเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ด้านการคำนวณการส่งข้อมูลนั้นไม่ได้ระบุความสำคัญใน paper นี้แต่หากจะต้องลดเวลาการส่งข้อมูลนั้นต้องทำการ share ข้อมูล ในส่วนของ precalculation ระหว่าง beacon node ข้างเคียงโดยวิธี cluster based structure เช่น 4-MASCLE และเป็นความท้าทายอย่างหนึ่งที่จะต้องเพิ่มความแม่นยำในการคำนวณให้ได้ใกล้เคียงกับ sDLS แบบดั้งเดิม

F. Reference Broadcast Synchronization (RBS) algorithm

WSN ให้ความสำคัญกับ time synchronization ก่อนข้างสูง เพราะ time synchronization ทำหน้าที่สำคัญใน application ของ WSN เช่น ใน node sensor ที่ทำงานร่วมกันจะต้องมี timestamp เหมือนกัน หรือในการตรวจจับหรือเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจจับได้ sensor node จะต้องมีช่วงเวลา sleep และwake up ตรงกันดังนั้นงานวิจัยทั้งหลายจึงให้ความสำคัญกับ time synchronization algorithm และหลายงานเกี่ยวกับรูปแบบการทำ multi-hop network synchronization ได้ถูกนำเสนออย่างต่อเนื่องทุกๆปี

สำหรับ Reference Broadcast Synchronization (RBS) algorithm แทนที่จะทำการเปรียบเทียบเวลาโดยการอ่านค่าเวลา ได้เปลี่ยนไปใช้ broadcast beacon's arrival time ของ neighboring nodes เป็นจุดเวลาอ้างอิง

แทน ส่วน local timestamps จะทำการแลกเปลี่ยนระหว่างจุด node ข้างเคียงที่ได้รับข้อมูลหรือจับสัญญาณได้ ซึ่งต่างจาก หลักการ time synchronization แบบดั้งเดิม RBS จึงสามารถลดข้อมูลจากจุดที่ไม่ได้สนใจซึ่งมีผลกับความแม่นยำและ delay ลงได้อย่างมาก

Timing-sync Protocol for Sensor Networks (TPSN) ก็เป็นอีก หลักการหนึ่งของ sender to receiver synchronization ใน protocol นี้ nodes จะทำการ synchronized ในรูปแบบจับคู่กัน clock offset ระหว่างตัวรับและตัวส่งจะมีการประมาณ โดยอ้างอิงจาก exchanged timestamp

อย่างไรก็ตามในระบบของ WSN ที่มีขนาดใหญ่และมีจำนวน node มากๆนั้นค่าเริ่มต้นของ multi-hop time synchronization network ควรมีการระบุก่อนจากนั้นจึงปรับตามกันจาก one hop ไปจนทั่วทั้งเครือข่าย หลักการหนึ่งที่น่าสนใจคือการสร้าง spanning tree ในช่วงเวลา broadcasting time รูปแบบของการ synchronization จะอ้างอิงจาก spanning tree โดย father node สามารถรับ synchronize ของ children nodes หลายๆตัวด้วยการแลกเปลี่ยนข้อมูลจาก node เพียง node ในขณะที่ node อื่นๆก็จะตรวจและแลกเปลี่ยนข้อมูลของตัวเองกับ node อื่นๆข้างเคียงไปด้วยเพื่อปรับเวลาของตนเอง แต่เมื่อเกิดการทำให้ time synchronization ระหว่าง 2 node จะเกิดการเสียพลังงานอย่างแน่นอนจากการแลกเปลี่ยนข้อมูล timestamp ซึ่งใน WSN ที่มีพลังงานจำกัดนั้น การสูญเสียพลังงานถือเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องพิจารณา งานวิจัยนี้จึงนำเสนอรูปแบบของระบบที่พัฒนาให้แต่ละ node ใช้พลังงานน้อยลงในระหว่างการทำ synchronization ในระบบการทำ spanning tree broadcasting

หลังจากที่ WSN กลายเป็นหัวข้อวิจัยที่แพร่หลายและสามารถประยุกต์ใช้ในหลายๆงาน การทำ Time synchronization จึงมีความสำคัญมากๆ สำหรับ WSN ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการเสนอรูปแบบพัฒนาของการใช้แนวความคิด broadcasting synchronization method ซึ่ง father node สามารถเลือกรับข้อมูลจาก message node โดยอ้างอิงจากการใช้พลังงานภายใน spanning tree ของเครือข่าย และเพื่อเป็นการลดขนาดของ overhead ใน WSN ลงในการใช้เครือข่ายที่มีขนาดใหญ่และมี node หนาแน่นแบบจำลองนี้สามารถลดจำนวนของ subtree ลงได้

การจำลองการทดลองพิสูจน์ให้เห็นถึงผลการทดลองที่ได้ว่ามีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีขึ้นและลดการใช้พลังงานลงได้จริง

G. BP Localization Algorithm [12]

อัลกอริทึมการระบุตำแหน่งบนพื้นฐานของ BP Neural Network เครือข่ายประสาทเทียมสองชั้น BP จะใช้ในการประมาณการสถานตำแหน่งที่ตั้งของโหนด ในมุมมองของการลดความซับซ้อนของโครงสร้างและค่าใช้จ่ายของระบบการระบุตำแหน่ง อัลกอริทึมการระบุตำแหน่งแบบรวมศูนย์บนพื้นฐานวิธี Range-Free จึงถูกนำมาใช้งาน จำนวนฮอปที่น้อยที่สุดระหว่างโหนดต่างๆที่ใช้เป็นข้อมูลนำเข้า จำนวนฮอปขั้นต่ำอาจจะได้รับจากการที่ บิคอนกระจายข้อมูลของตัวเองรวมทั้งตำแหน่งที่ตั้งและจำนวนฮอปของตัวเองถึงโหนดข้างเคียง โหนดเหล่านี้จะบันทึกข้อมูลดังกล่าวโดยไม่

สนใจข้อมูลจำนวนฮอปที่มากกว่าเดิมที่ได้รับจากบิตคอนตัวเดียวกัน หลังจากนั้นให้โหนดที่ได้รับก็จะนับเพิ่มเป็น hops+1 และกระจายข้อมูลแพ็คเก็ตดังกล่าวไปยังโหนดข้างเคียง ดังนั้นจึงทุกโหนดในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายสามารถบันทึกจำนวนที่น้อยที่สุดไว้

สำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายมีงานทำแบบสุ่ม N โหนดซึ่งมีการทำเครื่องหมายโดย $n = 1, 2, \dots, N$ โหนด M เป็นโหนดบิตคอน และที่เหลือคือโหนดที่ไม่รู้จัก $B_i = (X_i, Y_i)$ คือตำแหน่งที่ตั้งของโหนด i -th การระบุตำแหน่งโดยประมาณของโหนดที่ไม่รู้จักที่เหลือ $(N-M)$ ตามตำแหน่งของบิตคอน M และบางส่วนของข้อมูลระหว่างกันดังกล่าวเป็นระยะทางหรือ hops

ให้ s_{im} แทนจำนวนนับฮอปที่น้อยที่สุดระหว่างบิตคอน i -th และบิตคอน M -th ให้ $S_i = [s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{im}, \dots, s_{jM}]$, $i = 1, 2, \dots, M$, $m = 1, 2, M, \dots, M$. เมื่อ $i = m$, $s_{im} = 0$

s_{jm} คือจำนวนนับฮอปที่น้อยที่สุดระหว่างโหนดที่ไม่รู้จัก j -th และบิตคอน m -th ให้ $S_j = [s_{j1}, s_{j2}, \dots, s_{jm}, \dots, s_{jM}]$ $M = j+1, +2, \dots, N$, $m = 1, 2, \dots, M$

ดังนั้นจำนวนของ the input layer neuron จะตัดสินใจโดยบิตคอนโหนด จำนวนของ the hidden layer neuron ได้รับเลือกจากประสบการณ์การทดลอง จำนวนของ the input layer neuron คือสอง ที่ระบุพิกัดของโหนด (x, y)

เครือข่ายประสาทเทียม BP ถูกสอนโดยผ่านบิตคอนทั้งหมดเป็นอันดับแรก ค่าที่นำเข้าไปเป็นจำนวนฮอปที่น้อยที่สุด $S_i = [s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{im}, \dots, s_{jM}]$; ค่าที่ส่งออกมาตำแหน่งที่สอดคล้องกันของบิตคอน $B_i = (x_i, y_i)$, $i = 1 \dots M$, $m = 1 \dots M$ หลังจากนั้นให้ตำแหน่งที่สามารถคาดการณ์โดยเครือข่าย BP ผ่านการฝึกอบรม ค่าที่นำเข้าไปเป็นจำนวนฮอปที่น้อยที่สุด S_j แล้วได้รับตำแหน่ง $B_j = (x_j, y_j)$, $j = (M+1, M+2 \dots N)$, $m = 1 \dots M$

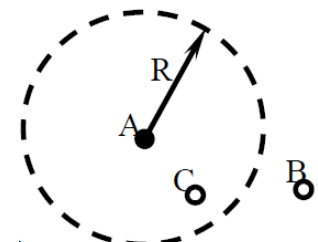
H. อัลกอริทึมการระบุตำแหน่ง SUB-BEACONS [12]

หลายงานวิจัยระบุว่าการเพิ่มขึ้นของบิตคอนจะช่วยเพิ่มความถูกต้องแม่นยำของการระบุตำแหน่งโหนดที่ไม่รู้จัก ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ถ้าหากบิตคอนสัดส่วนที่มากขึ้นของจะเพิ่มค่าใช้จ่ายของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เพื่อให้มีประสิทธิภาพปรับปรุงความแม่นยำของการการระบุตำแหน่งและประหยัดค่าใช้จ่ายไปพร้อมกัน ได้นำเสนอ sub-beacons มาแปลงบางโหนดที่ไม่รู้จักเป็นบิตคอน

วิธีการเลือกบิตคอนย่อยที่ติดจากโหนดที่ไม่รู้จักเป็นปัญหาที่ยาก ในทางทฤษฎีควรมีการประมาณตำแหน่งของโหนดที่ไม่รู้จักทั้งหมดแล้วเลือกโหนดเหล่านั้นจุดที่มีภาระบิตคอนที่ถูกต้องมากขึ้นเป็นบิตคอนย่อย ในความเป็นจริงตำแหน่งจริงของโหนดที่ไม่รู้จักไม่สามารถรับค่านั้นได้ เพราะค่าผิดพลาดระหว่างตำแหน่งจริงและตำแหน่งโดยประมาณไม่สามารถรู้ได้ เพื่อที่จะควบคุมปัญหาได้ โหนดเสมือน จะนำไปเลือกโหนดที่ไม่รู้จักที่เหมาะสมเป็น sub-beacons โหนดเสมือนนี้ไม่ได้อยู่ในความเป็นจริง มีกระบวนการความสามารถในการสื่อสารกับโหนดอื่นๆ เราสามารถ

สมมติว่าโหนดเสมือนมีอยู่และกระจายแบบสุ่มในเครือข่ายด้วยตำแหน่งที่ถูกต้อง ให้จำนวนของโหนดเสมือนเป็นจุด P มีตำแหน่งตามลำดับ $C_k = (x_k, y_k)$ ให้ $S_k = [s_{k1}, s_{k2}, \dots, s_{km}, \dots, s_{kM}]$, เมื่อ S_{km} แสดงฮอปอย่างน้อยนับจากโหนดเสมือน k -th ถึงบิตคอน m -th, $k = 1, 2, \dots, P$, $m = 1 \dots M$

การระบุตำแหน่งของโหนดเสมือนต้องรู้จำนวนนับฮอปน้อยที่สุดระหว่างโหนดเสมือนและบิตคอน จำนวนนับฮอปขั้นต่ำไม่สามารถรับค่ามาได้โดยตรงเพราะโหนดเสมือนไม่สามารถสื่อสารข้อมูลได้ เราเปลี่ยนระยะห่างระหว่างโหนดเสมือนและบิตคอนลงในการนับฮอปในงานวิจัยนี้ ประการแรกการคำนวณระยะทางระหว่างโหนดเสมือนและบิตคอนแล้วเปรียบเทียบกับช่วงระยะรับสัญญาณของบิตคอน ดังที่แสดงใน รูปที่ 32



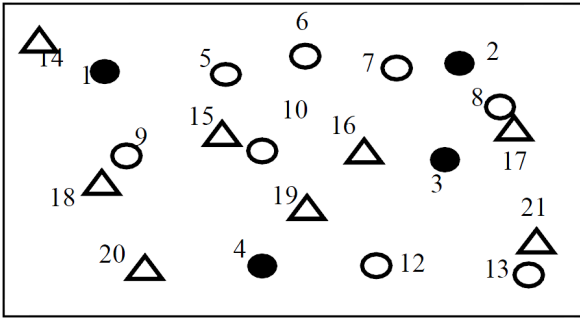
รูปที่ 32 การเปลี่ยนแปลงของ Hops [12]

A คือ บิตคอน ส่วน B และ C เป็นสองโหนดเสมือน R หมายถึงช่วงไร้สายของ A เป็นที่ชัดเจนว่าระยะห่างระหว่าง A และ C มีค่าน้อยกว่า R ($D_{AC} < R$) จึงนับเป็น one-hop ฮอประหว่าง A และ B นับเป็น multi-hop เพราะระยะห่างระหว่าง B และ A มีขนาดมากกว่า R ($D_{AB} > R$) ในสถานการณ์ของการนับแบบ multi-hop การนับฮอประหว่าง A และ B ไม่สามารถแก้ไขได้โดยตรงโดยระยะทาง จะต้องมีการพิจารณารอบด้านในการนับฮอปของ B และจากโหนดข้างเคียง

หลังจากที่ได้รับค่าจำนวนนับฮอปอย่างน้อยระหว่างโหนดเสมือนและบิตคอน เราสามารถฝึกเครือข่ายประสาทเทียม BP ในการประมาณตำแหน่งของโหนดเสมือน คำนวณค่าของเครือข่ายประสาทเทียม BP เป็น $S_k = [S_{k1}, S_{k2}, \dots, S_{km}, \dots, S_{kM}]$ และผลลัพธ์คือตำแหน่งของโหนดที่สอดคล้องกันเสมือนเป็น

$C'_k = (x'_k, y'_k)$ $k = 1, 2, \dots, P$, $M = 1 \dots M$. เนื่องจากตำแหน่งของโหนดเสมือนเป็นสมมติว่าเป็นที่รู้จักกัน มันก็เป็นไปได้ที่จะเปรียบเทียบตำแหน่งจริงกับตำแหน่งโดยประมาณของโหนดเสมือน C_k และ C'_k เลือก Q โหนดเสมือนที่มีข้อผิดพลาดน้อยที่สุด ฮอปของโหนดเสมือนนั้นจะนับถึงที่บิตคอนถูกระบุโดย

$S_q = [s_{q1}, s_{q2}, \dots, s_{qm}, \dots, s_{qM}]$, $q = 1, 2, \dots, Q$, $M = 1 \dots M$ สมมติว่าตำแหน่งนั้นเป็นตำแหน่งเดียวกันกับฮอปนับให้กับแต่ละบิตคอนใกล้เคียงจากนี้สมมติฐานให้ค้นหาโหนดที่ไม่รู้จักที่มีฮอปเดียวกันนับถึงที่บิตคอนกับ Q โหนดเสมือน ในที่สุดก็จะได้ชื่อโหนดที่ไม่รู้จักเป็นบิตคอนย่อย



รูปที่ 33 การเปลี่ยนแปลงของ Hops [12]

ดังแสดงในรูปที่ 33 สมมติว่ามีสี่บิตคอน (Nodes 1 - 4, ●), 9 โหนดที่ไม่รู้จัก (Nodes 5-13, ○) และ 8 โหนดเสมือน (Nodes 14-21, △) ตำแหน่งของ 8 โหนดเสมือนมีการประมาณโดยผ่านการฝึกเครือข่ายประสาทเทียม BP จากนั้นเปรียบเทียบกับตำแหน่งจริง สมมติว่าโหนดเสมือนที่ 16 17 19 และ 21 มีข้อผิดพลาดเล็กน้อย จากนั้นค้นหาโหนดที่ไม่รู้จักที่มีจำนวนนับฮอปเหมือนกันกับ 4 โหนดเสมือนเหล่านี้ โหนดที่ 8 และ 13 ตามลำดับมีจำนวนนับฮอป เดียวกันกับ 17 และ 21 ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายนี้ ดังนั้น โหนด ที่ 8 และ 13 จึงได้รับการคัดเลือกเป็นบิตคอนย่อย สร้างเครือข่ายประสาทเทียม BP ใหม่ หลังได้บิตคอนย่อย เครือข่ายใหม่ยังคงใช้โครงสร้างสองชั้น ถูกฝึกฝนเครือข่ายโดยบิตคอนและบิตคอนย่อย ตำแหน่งของโหนดที่ไม่รู้จักทั้งหมดจะถูกประมาณหลังการฝึกฝนนั้น

1. การจำลองและการวิเคราะห์

เพื่อหาประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่เสนอในงานวิจัยนี้ ใช้การจำลองภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกันจนเสร็จสิ้นสำหรับ อัลกอริทึม Centroid, อัลกอริทึม DV-Hop, อัลกอริทึม RN-BP (เลือกสุ่มโหนดที่ไม่รู้จักเป็นบิตคอนย่อย) และ อัลกอริทึม VN-BP (เลือกโหนดที่ไม่รู้จักเป็นบิตคอนย่อยซึ่งอยู่ในโหนดเสมือน) ทุกโหนดในการจำลองเป็นการกระจายแบบสุ่มในเขต 100 เมตร × 100 เมตร ผลของการคาดการณ์ของเครือข่ายประสาทเทียม BP ได้รับอิทธิพลจากค่าน้ำหนักเริ่มต้น เพื่อให้ข้อมูลชุดของการจำลองถูกเรียกใช้สำหรับแต่ละสภาพ 100 ครั้ง เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงข้อดีและข้อเสียของแต่ละอัลกอริทึมที่แตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยของข้อผิดพลาดในการระบุตำแหน่งจะใช้สำหรับการเปรียบเทียบ

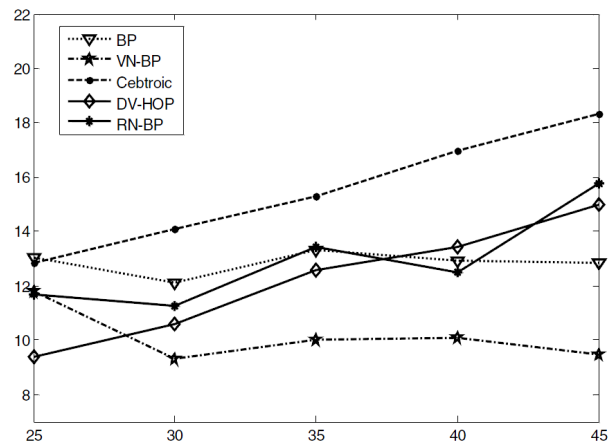
ความผิดพลาดการระบุตำแหน่ง (LE) หมายถึงอัตราส่วนของ Euclid ระยะห่างระหว่างตำแหน่งโดยประมาณและตำแหน่งที่แท้จริงในช่วงระยะสัญญาณไร้สาย ดังสมการที่ 11

$$LE = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2} / R \quad (11)$$

เมื่อ (X_a, Y_a) คือตำแหน่งที่แท้จริงของโหนดที่ไม่รู้จักและ (X_b, Y_b) เป็นตำแหน่งโดยประมาณ และ R หมายถึงช่วงระยะสัญญาณไร้สาย การจำลองมีสามสภาพแวดล้อม : (1) ค่า R แตกต่างกัน N โหนด และ M/N (สัดส่วนของบิตคอน) ค่าเหมือนเดิม (2) M/N แตกต่างกัน R และ N ค่าเหมือนเดิม (3) N ที่แตกต่าง R และ M/N ค่าเหมือนเดิม

2. ระยะสัญญาณไร้สาย และความผิดพลาดการระบุตำแหน่ง

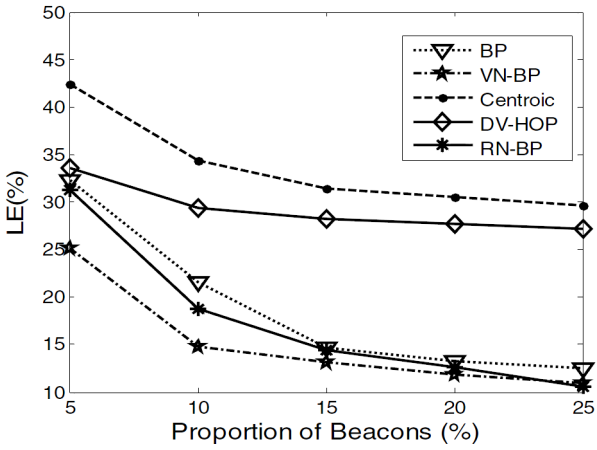
ในเงื่อนไขแรกจะเน้นที่ R แตกต่างกัน 200 โหนด มีการกระจายแบบสุ่มในเครือข่ายรวมทั้ง 10 บิตคอน และ 190 โหนดที่ไม่รู้จัก เส้นกราฟของแต่ละอัลกอริทึมดังแสดงในรูปที่ 3 ในช่วงระยะสัญญาณไร้สายเดียวกัน ค่า LE ของอัลกอริทึม BP น้อยกว่าอัลกอริทึม Centroid เมื่อช่วงระยะสัญญาณไร้สายน้อยกว่า 40 เมตร อัลกอริทึม DV-HOP น้อยกว่าอัลกอริทึม BP ในขณะที่เมื่อช่วงระยะสัญญาณไร้สายมีขนาดใหญ่กว่า 40 เมตร อัลกอริทึม DV-HOP มีความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งกว่าอัลกอริทึม BP บิตคอนย่อยทำให้อัลกอริทึม VN-BP ค่า LE ลดลงกว่าอัลกอริทึม BP 7.37% โดยเฉลี่ย และยังได้พบว่าประสิทธิภาพบิตคอนย่อยในการลดค่า LE ภายใต้ช่วงระยะสัญญาณไร้สายที่แตกต่างกัน ในขณะที่เดียวกันค่า LE ของอัลกอริทึม VN-BP จะลดลง 7.42% มากกว่า RN-BP โดยเฉลี่ย ที่ระบุถึงประสิทธิภาพของโหนดเสมือนในการลดค่า LE



รูปที่ 34 ความสัมพันธ์ของช่วงระยะสัญญาณไร้สาย (แนวนอน หน่วยเป็นเมตร) และค่าความผิดพลาดของการระบุตำแหน่ง (แนวตั้ง หน่วยเป็นเมตร) [12]

3. สัดส่วนของบิตคอนและค่าความผิดพลาดของการระบุตำแหน่ง

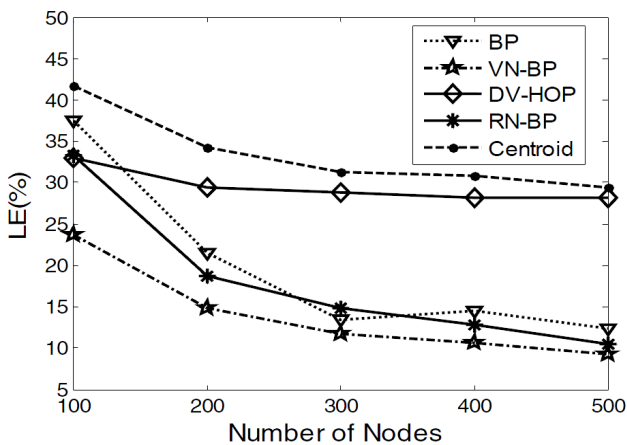
ในสภาพแวดล้อมสัดส่วนที่แตกต่างกันของบิตคอน มี 200 โหนดรวมกับ R จะถูกค้ำค่าให้เป็น 40 เมตร ได้ ผลที่ได้คือแสดงในรูปที่ 35 เป็นที่ชัดเจนว่าค่า LE ของห้าอัลกอริทึมลดลงตามสัดส่วนของการเพิ่มขึ้นบิตคอนภายใต้สภาพเดียวกัน LE ของอัลกอริทึม BP จะลดลงตามลำดับ โดย 14.806% และ 10.35% กว่า อัลกอริทึม DV-HOP และอัลกอริทึม Centroid โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสัดส่วนของบิตคอนมีมากกว่า 15% ค่า LE ของอัลกอริทึม BP ลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อนำบิตคอนย่อยเข้าสู่เครือข่าย ความถูกต้องแม่นยำการระบุตำแหน่งของอัลกอริทึม VN-BP ดีกว่าอัลกอริทึม BP และ ค่า LE จะลดลง 3.656% โดยเฉลี่ย ค่า LE ของอัลกอริทึม VN-BP ยังต่ำกว่าอัลกอริทึม RN-BP ค่า LE ลดลง 2.346% โดยค่าเฉลี่ย สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของโหนดเสมือนในสัดส่วนที่แตกต่างกันของบิตคอน



รูปที่ 35 สัดส่วนบีมคอนและค่าผิดพลาดของการระบุตำแหน่ง [12]

4. จำนวนของโหนดและค่าผิดพลาดการระบุตำแหน่ง

ในการจำลองจำนวนที่แตกต่างกันของโหนด สัดส่วนของบีมคอน ถูกกำหนดไว้ 10% และช่วงระยะสัญญาณไร้สาย ตั้งค่าไว้ 40 เมตร ดังรูปที่ 36 แสดงผลของการจำลอง ด้วยการเพิ่มขึ้นของจำนวนของโหนดทั้งหมด โดยทั่วไปค่า LE ของห้าอัลกอริทึมลดลง ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน อัลกอริทึม BP ดีกว่าอัลกอริทึม Centroid อย่างชัดเจน ลดลง 13.5% โดยเฉลี่ย เมื่อจำนวนรวมของโหนดเป็น 100 อัลกอริทึม BP มีค่าความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งมากกว่าอัลกอริทึม DV-HOP แต่เมื่อจำนวนโหนดเป็น 200 หรือมากกว่า ค่า LE ของอัลกอริทึม BP ลดลงอย่างรวดเร็วและจะกลายเป็นต่ำกว่าอัลกอริทึม DV-HOP หลังจากนำเข้าบีมคอนย่อย ค่า LE ของอัลกอริทึม VN-BP จะลดลง 5.866% โดยเฉลี่ย ซึ่งแสดงผลของบีมคอนย่อย ในจำนวนที่แตกต่างกันของโหนดในการลดค่า LE ค่า LE ของอัลกอริทึม VN-BP จะลดลง 4.036% โดยเฉลี่ย มากกว่าอัลกอริทึม RN-BP การแสดงผลของโหนดเสมือนในการลดค่า LE



รูปที่ 36 ความสัมพันธ์จำนวนโหนด และค่าความผิดพลาดการระบุตำแหน่ง [12]

5. การวิเคราะห์และ คำอธิบาย

การจำลองบนทางเลือกเดียวพิสูจน์ประสิทธิภาพความถูกต้องแม่นยำในการระบุตำแหน่งของบีมคอนย่อย เนื่องจากความผิดพลาดการระบุตำแหน่ง (LE) ลดลงเป็นสัดส่วนกับการเพิ่มขึ้นของบีมคอนย่อยของบีมคอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลด ค่า LE ด้วยเหตุผลที่บีมคอนย่อยเพิ่มสัดส่วนของบีมคอน ในทางกลับกัน การจำลองยังพิสูจน์ประสิทธิภาพของโหนดเสมือน เปรียบเทียบกับอัลกอริทึม RN-BP อัลกอริทึม VN-BP สามารถเลือกบีมคอนย่อยเหล่านั้นด้วยการระบุตำแหน่งที่มีความถูกต้องแม่นยำที่ดีกว่า จากนั้นลดข้อผิดพลาดของกลุ่มตัวอย่างการฝึกของเครือข่ายประสาทเทียม BP และสุดท้ายลดความผิดพลาดการระบุตำแหน่ง

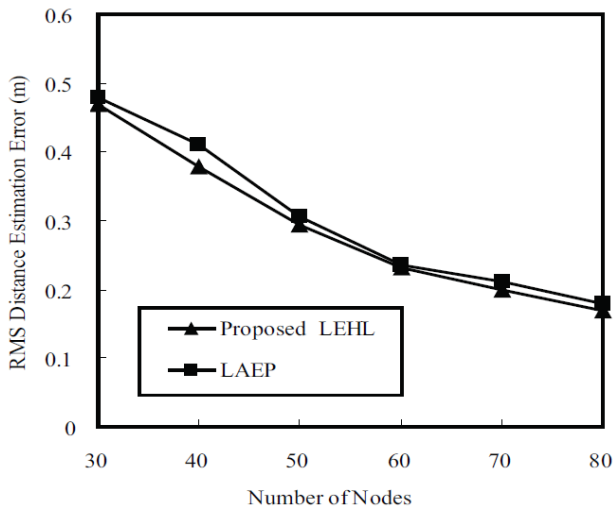
6. สรุป

การระบุตำแหน่งของโหนดเป็นประเด็นร้อนในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ณ ปัจจุบัน เมื่อพิจารณาสัดส่วนของบีมคอนในเครือข่ายที่ผู้วิจัยได้นำเสนอ บีมคอนย่อยความจริงเพิ่มขึ้นสัดส่วนของบีมคอนและลดข้อผิดพลาดในการการระบุตำแหน่ง ในการเปรียบเทียบของความคิดพลาดการระบุตำแหน่ง (LE) ไม่ว่าจะอยู่ในช่วงระยะของสัญญาณที่แตกต่างกัน สัดส่วนของบีมคอนและจำนวนของโหนดทั้งหมด กับอัลกอริทึมบีมคอนย่อยจะดีกว่า แบบที่ไม่ใช้บีมคอนย่อย นอกจากนี้ อัลกอริทึม VN-BP ที่เสนอในงานวิจัยนี้มีข้อผิดพลาดในการระบุตำแหน่งน้อยกว่าอัลกอริทึมอื่นๆ ทั่วไป ดังนั้น VN-BP มีความเหมาะสมในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายอย่างไรก็ตาม ยังคงมีปัญหามากมายที่ยังไม่ได้พิจารณาในงานวิจัยนี้ เช่น อิทธิพลของการกระจายตัวของโหนดเสมือน การเลือกจำนวนบีมคอนและอื่นๆ ปัญหาเหล่านี้มีค่าควรที่จะถูกศึกษาในอนาคต

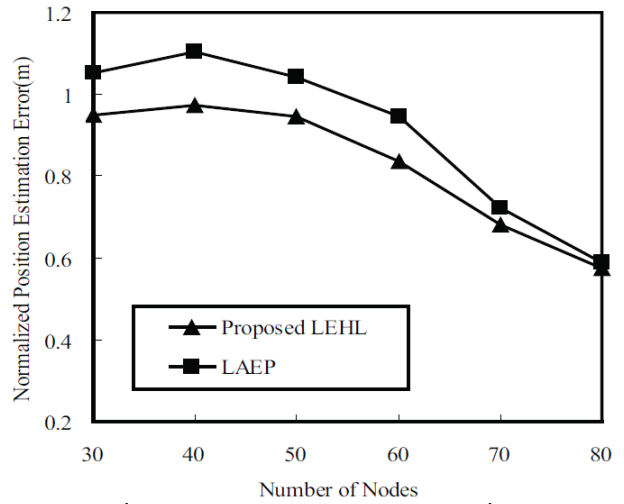
I. Range-Free Localization Algorithm Using LEHL [13]

การระบุตำแหน่งของโหนดมีความสำคัญมากในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายในงานวิจัยนี้ ค่า Expected Hop Length ช่วยในการระบุตำแหน่งวิธีการดั้งเดิมในการหาความยาวระหว่าง Hop โดยการเอา Hop ทั้งหมดในเครือข่ายมาหาค่าโดยเฉลี่ย ประโยชน์ของ EHL จะสามารถบอกตำแหน่งได้ถูกต้องถ้าโหนดมีการจัดวางอย่างเป็นรูปแบบ ความแม่นยำจะลดลง ถ้าโหนดมีความหนาแน่นน้อย วิธีใหม่จะเปลี่ยนมาใช้เป็น Local Expected Hop Length ซึ่งเป็นการปรับปรุงความแม่นยำโดยการใช้ระยะจริงของ Hop มาคำนวณช่วย

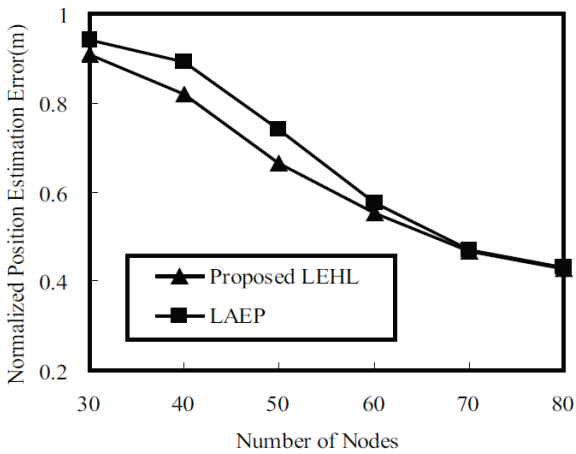
LAEP Algorithm เป็นอัลกอริทึมที่ใช้หาระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างเซนเซอร์กับโหนด ว่าโหนดไหนใกล้เซนเซอร์มากที่สุด แต่มีข้อผิดพลาดในการประมาณระบุตำแหน่งไม่แม่นยำ จึงแก้ปัญหาโดยใช้วิธี LEHL มาช่วย วิธีนี้ให้ความแม่นยำในการหาระยะทางที่ดี และความหนาแน่นของโหนดไม่มาก และ RMS (root mean square) ก็เป็นตัวช่วยให้เห็นความแตกต่างของทั้งสองวิธีได้ชัดเจนยิ่งขึ้น



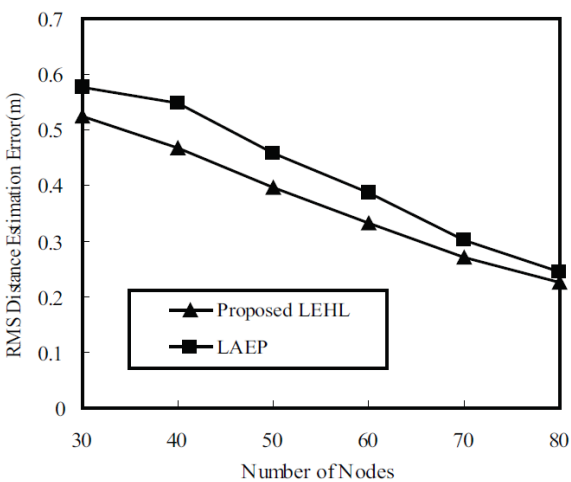
รูปที่ 37 การเปรียบเทียบการประมาณตำแหน่งที่ผิดพลาด โดยการใช้ RMS และกระจายโหนดแบบมีรูปแบบ [13]



รูปที่ 40 การเปรียบเทียบการประมาณตำแหน่งที่ผิดพลาด โดยการใช้ RMS และกระจายโหนดแบบไม่มีรูปแบบ



รูปที่ 38 การเปรียบเทียบการประมาณตำแหน่งที่ผิดพลาด โดยการใช้ RMS และกระจายโหนดแบบมีรูปแบบ [13]



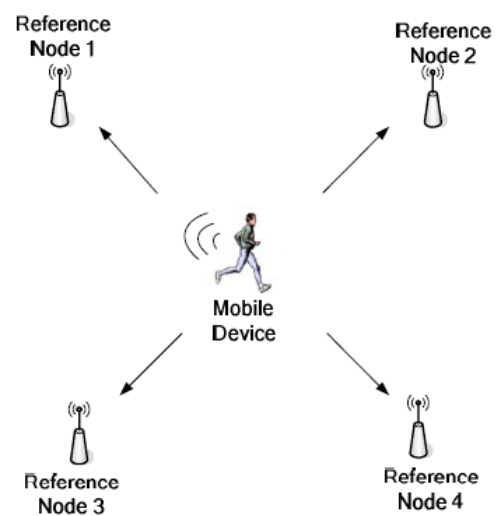
รูปที่ 39 การเปรียบเทียบการประมาณตำแหน่งที่ผิดพลาด โดยการใช้ RMS และกระจายโหนดแบบไม่มีรูปแบบ [13]

สรุปได้ว่าถ้ามีการกระจายของโหนดแบบมีรูปแบบค่าที่ได้ไม่ต่างกัน แต่ถ้าการกระจายของโหนดแบบไม่มีรูปแบบค่าของ LEHL จะดีกว่า

10) Hybrid Localization Algorithm [9]

ไฮบริด อัลกอริทึมการระบุตำแหน่ง โดยการผสมผสาน อัลกอริทึมที่ฝังอยู่ในชิปเซ็ต TI CC2413 และอัลกอริทึมการระบุตำแหน่งบนพื้นฐานของ Manhattan Distance

ชิปเซ็ต CC2431 ได้ทำการบรรจุฟังก์ชันโปรแกรมระบุตำแหน่งและใช้อัลกอริทึมการระบุตำแหน่งบนพื้นฐานของ RSSI มันมีข้อเสนอแนะในการปรับใช้ 3-8 โหนดอ้างอิงเพื่อคำนวณตำแหน่งของอุปกรณ์เคลื่อนที่ ดังนั้นในบางกรณีที่ยากมาก เป็นที่ที่น่าเสียดายหากอุปกรณ์เคลื่อนที่ตัวหนึ่งที่ไม่สามารถค้นหา 3 โหนดอ้างอิงที่ใกล้ที่สุดได้ในสภาพภูมิอากาศเปิดปกติ มันก็ไม่สามารถระบุตำแหน่งได้โดยโปรแกรมระบุตำแหน่งของตัวเอง



รูปที่ 41 การร้องขอการระบุตำแหน่ง [9]

พารามิเตอร์ที่ใส่ให้กับโปรแกรมระบุตำแหน่งที่ฝังอยู่ในชิปเซต แสดงในตารางที่ 1 จากตารางนี้ผู้วิจัยพบว่าค่าที่แน่นอนของ พารามิเตอร์ A และ n_index ทำได้ยากมาก แต่ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อความ ถูกต้องแม่นยำของการระบุตำแหน่ง ดังนั้นผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องปรับปรุง อัลกอริทึมการระบุตำแหน่งเพื่อให้ใช้ได้กับระบบการตรวจสอบการดูแล สุขภาพในพื้นที่กลางแจ้งของผู้วิจัย

ผู้วิจัยใช้งาน 12 โหนดอ้างอิงในพื้นที่เปิดโล่งขนาด 30x20 เมตร และผู้วิจัยได้ทดสอบ 15 จุดตำแหน่งในพื้นที่ บนที่กตำแหน่งโดยประมาณ โดยอัลกอริทึมที่ฝังอยู่ในชิปเซตและไฮบริดอัลกอริทึม

จากผลการทดลองของผู้วิจัย พบว่าใช้อัลกอริทึมที่ฝังอยู่ในชิป เซตเพียงอย่างเดียว

- ที่ 33.33% ข้อผิดพลาดในการระบุตำแหน่งโดยประมาณน้อยกว่า 2.5 เมตร
- ที่ 60% ข้อผิดพลาดในการระบุตำแหน่งโดยประมาณน้อยกว่า 3 เมตร
- ที่ 86.67% ข้อผิดพลาดในการระบุตำแหน่งโดยประมาณน้อยกว่า 3.5 เมตร
- ที่ 100% ข้อผิดพลาดในการระบุตำแหน่งโดยประมาณน้อยกว่า 4 เมตร

ข้อผิดพลาดในการระบุตำแหน่งในบริเวณขอบของพื้นที่มีขนาดใหญ่กว่าในตรงกลาง เมื่อผู้วิจัยใช้ไฮบริดอัลกอริทึม ความถูกต้องแม่นยำในการ ระบุตำแหน่งทำได้ดีขึ้น

- ที่ 26.67% ข้อผิดพลาดในการระบุตำแหน่งโดยประมาณน้อยกว่า 2 เมตร
- ที่ 73.33% ข้อผิดพลาดในการระบุตำแหน่งโดยประมาณน้อยกว่า 2.5 เมตร
- ที่ 93.33% ข้อผิดพลาดในการระบุตำแหน่งโดยประมาณน้อยกว่า 3 เมตร
- ที่ 100% ข้อผิดพลาดในการระบุตำแหน่งโดยประมาณน้อยกว่า 3.5 เมตร

ความถูกต้องแม่นยำของการระบุตำแหน่งโดยประมาณในพื้นที่ขอบโดยทั่วไปเพิ่มขึ้น 0.4 - 0.6 เมตร ความถูกต้องแม่นยำของการ ระบุตำแหน่งโดยประมาณ บริเวณตรงกลางโดยทั่วไปเพิ่มขึ้น 0.2 - 0.3M

VIII. เทคนิคด้านการใช้พลังงาน

งานวิจัยเกี่ยวกับ Wireless Sensor Networks (WSNs) ในปัจจุบัน ได้มีกระแสหนึ่งที่น่าสนใจในการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง คือ ด้านพลังงาน ซึ่งเป็นหัวข้อที่นักวิจัยได้ให้ความสำคัญมากเป็นอันดับต้นๆ เนื่องจากข้อจำกัดที่เกิดจากการใช้งานต่างๆรวมทั้งข้อจำกัดในแหล่งพลังงาน ของ Sensor mote ทำให้นักวิจัยต่างพากันให้ความสนใจพัฒนาการลดการใช้ พลังงาน และการประจุพลังงานซ้ำเพื่อยืดอายุการใช้งานให้กับอุปกรณ์ ทั้งนี้

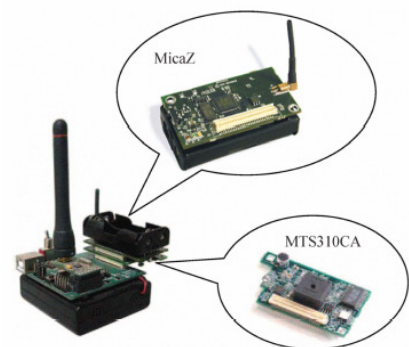
การพัฒนามีแนวความคิดบนความคุ้มค่าของการยืดอายุการใช้งานและความ คุ้มค่าที่มากกว่าการสร้างอุปกรณ์ชิ้นใหม่ ซึ่งงานวิจัยที่ได้นำมาเสนอนั้นจะ เกี่ยวข้องกับแนวทางในการลดการใช้พลังงานหรือเป็นแนวทางแก้ปัญหา การใช้พลังงานที่เกิดขึ้น โดยสามารถแยกได้เป็น 3 ส่วนของกลุ่มงานวิจัย เกี่ยวกับพลังงานได้แก่ อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับ ตรวจวัดการใช้พลังงาน, กลุ่มของการจัดการ และวิธีการลดการใช้พลังงาน และกลุ่มของการจัดการ ด้านพลังงานทดแทนหรือการประจุพลังงานซ้ำ

A. Energy Efficiency Testbed for Wireless Sensor Networks [25]

Wireless Sensor Networks (WSNs) ประกอบไปด้วย battery powered node ขนาดเล็ก จำนวนมากในสภาพของ พลังงานที่จำกัด การลด การใช้พลังงานจึงเป็นก้าวสำคัญในการวาง platform โดยทั่วไป sensor node ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 อย่างคือ sensors, microcontroller และ transceiver จึงเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องศึกษาการใช้พลังงานของส่วนต่างๆ ก่อน

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การจำลองการทดลองเพื่อทดสอบดูการ ทำงานภายใน node และทำการทดลองเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดการใช้ พลังงานในขนาดพกพาและให้ผลการใช้พลังงานในรูปแบบ realtime เพื่อ ประโยชน์ในการประเมินโครงสร้างแบบจำลองและการใช้พลังงานเพื่อการ ออกแบบในการใช้งานประเภท monitoring health status ซึ่งผลการ ทดลองแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์นี้ได้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยของ WSN มีความแพร่หลายอย่างมากทั้งด้านการใช้งาน ในการกสิกรรม งานดูแลสุขภาพ งานเฝ้าระวัง และงานพยากรณ์ โดยมี หลักการทั่วไปที่การวางตำแหน่งของ node ขนาดเล็กและราคาไม่แพงให้ กระจายตามบริเวณที่ต้องการตรวจสอบและทำการส่งข้อมูลกลับมา ประมวลผลที่ศูนย์กลางควม ซึ่งปัจจุบันได้มีหลาย platform ให้เลือกใช้ทั้ง MicaZ, Telos, Mica2, Intel Mote, Mica2Dot, IRIS, Stamp, kMote อื่นๆ อีก มากมายและการพัฒนา platform เหล่านี้จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องคำนึงถึง ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เราจะเลือกใช้อะไร และแต่ละแบบนั้น แตกต่างกันอย่างไร



รูปที่ 42 แสดงอุปกรณ์ในการใช้วัดพลังงาน [25]

Sensor node นั้นปกติจะอยู่ในสถานะ sleep เพื่อลดการใช้พลังงาน แต่เมื่อเข้าสู่ mode wake up จะใช้พลังงานจำนวนมาก ดังนั้นเครื่องมือสำหรับการวัดค่าการใช้พลังงานแบบ Real-time จึงมีบทบาทในการตัดสินใจ

Oscilloscope ที่มีอยู่ในปัจจุบันมีช่วงการวัดที่ scale ใหญ่และมีการแสดงค่าเป็น เลข log ที่วุ่นวายสำหรับการใช้คำนวณต่อไป รวมทั้งการวัดการทำงาน software ภายใน mote นั้น ต้องการเครื่องมือที่แตกต่างไป มีเครื่องมือชนิดหนึ่ง คือ built-in switching regulator ที่สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบรอบของการใช้พลังงาน และการตรวจสอบมักต้องทำ ตั้งแต่ 2 node ขึ้นไป เนื่องจากต้องมีการตรวจการรับและการส่งข้อมูลซึ่งมีความยุ่งยากในการทั้งปรับแต่ง code ของโปรแกรมต้นแบบและการทำการทดลอง ประสิทธิภาพของการใช้พลังงานเป็นหัวข้อสำคัญใน WSN การใช้พลังงานต้องทำอย่างรอบคอบและมีการวัดค่าการใช้พลังงานที่แม่นยำก่อนที่จะเลือกใช้ platform ใดๆอย่างใดก็ตามความหลากหลายในการใช้งานยังคงมีผลในการออกแบบ hardware ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการนำเสนออุปกรณ์เพื่อทำการวัดค่าการใช้พลังงานในหน่วย microampere เพื่อให้เกิดการพัฒนาการใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพอย่างแท้จริง และการออกแบบเครื่องมือแบบ portable ทำให้การใช้งานมีความยืดหยุ่นสามารถนำไปใช้ภายนอกสถานที่ที่ไม่ใช่ห้องทดลองได้ด้วย และสามารถนำไปพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์ในงานต่างๆอื่น ได้อีกมาก

B. An Improvement of Energy Efficient Multi-hop Time Synchronization Algorithm in Wireless Sensor Network [17]

Time synchronization หรือการปรับช่วงเวลาให้ตรงกันนั้นเป็นเรื่องสำคัญอย่างหนึ่งใน wireless sensor network (WSN) เพราะจำนวนของ sensor node ที่มีจำนวนมากจะต้องทำงานร่วมกันเพื่อการเก็บข้อมูลที่สมบูรณ์ และทำการประมวลผลข้อมูลรวมเพื่อการระบุตำแหน่งในการทำงานของ wireless sensor Network ขนาดใหญ่โดยที่แต่ละ node มีพลังงานจำกัด นั้นการนำจับเป็นอย่างมากที่ต้องนำ multi-hop time synchronization มาประยุกต์ใช้ประกอบกัน

Protocols บางอย่างเช่น RBS และ TSPN สามารถนำมาใช้เพื่อขยายขอบเขต multi-hop ของ network ได้ อย่างไรก็ตามวิธีการต่างๆที่มีอยู่นั้นมักจะมุ่งเน้นไปที่ความแม่นยำในการทำการ synchronization แต่ในความเป็นจริงแล้วเรื่องของการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าเพิ่มประสิทธิภาพนั้นก็เป็นเรื่องที่ทำหายอย่างมากใน WSN ที่มีสถานะของทรัพยากรต่างๆที่จำกัด

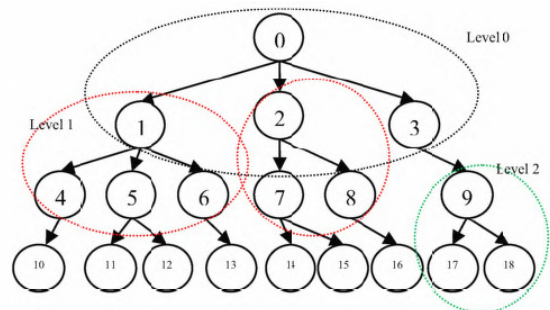
ในงานวิจัยนี้จึงทำการพัฒนารูปแบบของ multi-hop time synchronization โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดการใช้พลังงาน และยืดอายุการใช้งานของ node ให้ยาวนานยิ่งขึ้น จุดประสงค์แรกคือการ synchronization error performance ที่ดีขึ้น ประการที่สองคือ นำเสนอรูปแบบของการใช้พลังงานที่ลดใช้พลังงานน้อยกว่า RBS และสามารถลดขนาดของ overhead ให้เล็กลงได้

โดยทั่วไปแล้ว WSN นั้นประกอบด้วย node จำนวนมากที่ใช้ตรวจจับสัญญาณต่างๆในสภาพแวดล้อมที่กำหนดและจะมีการทำงานแบบประสานงานกันหลายๆ node ซึ่ง WSN สามารถนำไปใช้งานได้หลายแบบ เช่น การตรวจระวังอัคคีภัย การตรวจสุขภาพหรือการตรวจจับพฤติกรรมต่างๆ และในหลายๆกิจกรรมเหล่านี้ต้องใช้พื้นที่ขนาดใหญ่และ node จำนวนมากในการกระจายการตรวจจับให้ครอบคลุมเช่นการวาง node กระจายทั่วพื้นที่ป่าเพื่อวัดอุณหภูมิ ดังที่ทราบกันดีคือ node นั้นมีขนาดเล็กประกอบด้วย หน่วยความจำและหน่วยประมวลผลขนาดเล็กและแบตเตอรี่ที่มีขนาดจำกัด ดังนั้น Node ต่างๆจึงทำงานได้โดยการติดต่อกันโดยตรงระหว่าง node ข้างเคียงในรัศมีใกล้ๆเท่านั้นดังนั้นการติดต่อกันภายในระบบจึงต้องใช้การ multi-hop ดังนั้น WSN จึงให้ความสำคัญกับ time synchronization ก่อนข้างสูง

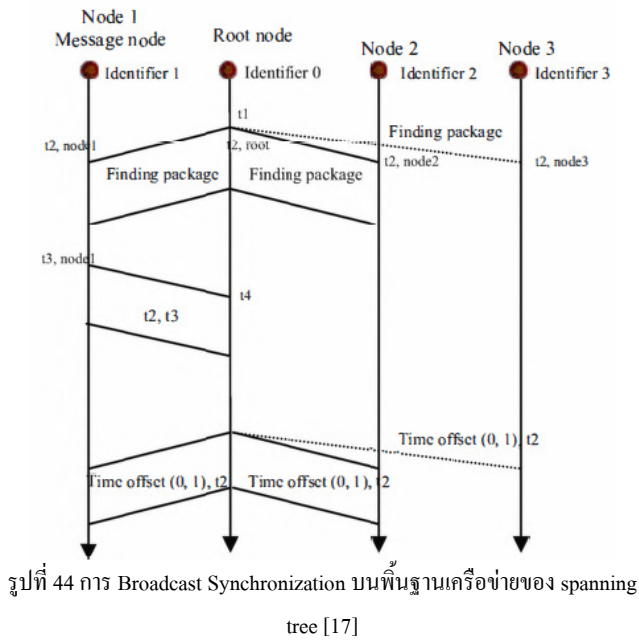
Time synchronization ทำหน้าที่สำคัญในหลายๆ application ของ WSN เช่นใน node sensor ที่ทำงานร่วมกันจะต้องมี timestamp เหมือนกัน หรือในการตรวจจับหรือเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจจับได้ sensor node จะต้องมีความ sleep และ wake up ตรงกันดังนั้นงานวิจัยทั้งหลายจึงให้ความสำคัญกับ time synchronization algorithm และหลายงานเกี่ยวกับรูปแบบการทำ multi-hop network synchronization ได้ถูกนำเสนออย่างต่อเนื่องทุกๆปี

สำหรับ Reference Broadcast Synchronization (RBS) algorithm แทนที่จะทำการเปรียบเทียบเวลาโดยการอ่านค่าเวลา ได้เปลี่ยนไปใช้ broadcast beacon's arrival time ของ neighboring nodes เป็นจุดเวลาอ้างอิง แทน ส่วน local timestamps จะทำการแลกเปลี่ยนระหว่างจุด node ข้างเคียงที่ได้รับข้อมูลหรือจับสัญญาณได้ ซึ่งต่างจาก หลักการ time synchronization แบบดั้งเดิม RBS จึงสามารถลดข้อมูลจากจุดที่ไม่ได้สนใจซึ่งมีผลกับความแม่นยำและ delay ลงได้อย่างมาก

Timing-sync Protocol for Sensor Networks (TSPN) ก็เป็นอีกหลักการหนึ่งของ sender to receiver synchronization ใน protocol นี้ nodes จะทำการ synchronized ในรูปแบบจับคู่กัน clock offset ระหว่างตัวรับและตัวส่งจะมีการประมาณโดยอ้างอิงจาก exchanged timestamp



รูปที่ 43 ตัวอย่างชั้นและระดับของ subtree ในเครือข่าย [17]



อย่างไรก็ตามในระบบของ WSN ที่มีขนาดใหญ่และมีจำนวน node มากๆ นั้นค่าเริ่มต้นของ multi-hop time synchronization network ควรมีการระบุก่อนจากนั้นจึงปรับตามกันจาก one hop ไปจนทั่วทั้งเครือข่าย หลักการหนึ่งที่น่าสนใจคือการสร้าง spanning tree ในช่วงเวลา broadcasting time รูปแบบของการ synchronization จะอ้างอิงจาก spanning tree โดย father node สามารถรับ synchronize ของ children nodes หลายๆตัวด้วยการแลกเปลี่ยนข้อมูลจาก node เพียง node ในขณะที่ node อื่นๆก็จะตรวจและแลกเปลี่ยนข้อมูลของตัวเองกับ node อื่นๆข้างเคียงไปด้วยเพื่อปรับเวลาของตนเอง แต่เมื่อเกิดการทำ time synchronization ระหว่าง 2 node จะเกิดการเสียพลังงานอย่างแน่นอนจากการแลกเปลี่ยนข้อมูล timestamp ซึ่งใน WSN ที่มีพลังงานจำกัดนั้น การสูญเสียพลังงานถือเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องพิจารณา งานวิจัยนี้จึงนำเสนอรูปแบบของระบบที่พัฒนาให้แต่ละ node ใช้พลังงานน้อยลงในระหว่างการทำ synchronization ในระบบการทำ spanning tree broadcasting ดังรูปที่ 44

หลังจากที่ WSN กลายเป็นหัวข้อวิจัยที่แพร่หลายและสามารถประยุกต์ใช้ในหลายๆงาน การทำ Time synchronization จึงมีความสำคัญมาก ๆ สำหรับ WSN ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการเสนอรูปแบบพัฒนาของการใช้แนวความคิด broadcasting synchronization method ซึ่ง father node สามารถเลือกรับข้อมูลจาก message node โดยอ้างอิงจากการใช้พลังงานภายใน spanning tree ของเครือข่าย และเพื่อเป็นการลดขนาดของ overhead ใน WSN ลงในการใช้เครือข่ายที่มีขนาดใหญ่และมี node หนาแน่นแบบจำลองนี้สามารถลดจำนวนของ subtree ลงได้ ดังรูปที่ 43

ซึ่งจากการจำลองการทดลองพิสูจน์ให้เห็นถึงผลการทดลองที่ได้ว่ามีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีขึ้นและลดการใช้พลังงานลงได้จริง

C. An Energy Efficient Clustering Algorithm for Event-Driven Wireless Sensor Networks (EECED) [23]

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาอุปกรณ์และการใช้งานต่างๆเกี่ยวกับ Wireless sensor network เข้ามาใช้งานอย่างแพร่หลาย ทั้งในงาน environmental surveillance, intelligent building, health monitoring, intelligent Transportations และอื่นๆอีกมากมาย

sensor networks ประกอบไปด้วย อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณขนาดเล็ก แบตเตอรี่และหน่วยความจำขนาดที่จำกัด ดังนั้น algorithm ในการจัดการกับพลังงานของ protocol จึงเป็นหัวข้อที่ท้าทายเรื่องหนึ่งในหัวข้อใหญ่ของ WSNs นักวิจัยหลายท่านได้มุ่งเน้นพัฒนาการจัดการการใช้พลังงานของ cluster based protocol ใน WSNs แต่ยังมีงานวิจัยส่วนน้อยที่มุ่งเน้นไปในด้านของ event driven ใน WSNs ซึ่งเป็นการมุ่งศึกษาด้านความต่อเนื่องในเครือข่าย ในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการปรับปรุง algorithm ของ Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) protocol ซึ่งรู้จักกันดีว่าเป็น energy efficient clustering algorithm ของ WSNs.

Protocol ที่ได้ทำการปรับปรุงนี้เรียกว่า “Energy Efficient Clustering Algorithm for Event-Driven Wireless Sensor Networks (EECED)” ซึ่งมุ่งเน้นการยืดอายุการใช้งานของ sensor โดยการปรับสมดุลของการใช้พลังงานของ node

EECED จะทำให้ node ที่เหลือพลังงานมากกว่า มีโอกาสที่จะถูกเลือกเป็น cluster head รวมทั้งการใช้ elector node ซึ่งทำหน้าที่เก็บข้อมูลการใช้พลังงานของ node sensor ที่อยู่ข้างเคียง และทำการเลือก cluster head

หลายปีที่ผ่านมา Wireless Sensor Networks (WSNs) ได้เป็นหัวข้อที่มีการวิจัยอย่างกว้างขวางทั้งด้านการศึกษาวิจัย และทดลองวิจัยเพื่อการอุตสาหกรรม WSN นั้นประกอบไปด้วย sensor ขนาดเล็ก เรียกว่า node และ base station ที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและประมวลผลซึ่งทำการติดต่อกันผ่าน Wireless channel และสามารถใช้งานได้หลายวัตถุประสงค์ เช่นทางการสำรวจ เก็บข้อมูลสถิติ การทหาร และทางการแพทย์

ข้อได้เปรียบของ sensor networks คือความง่ายในการใช้งานโดยการวางตัว sensor ไว้ตามที่ที่ต้องการเท่านั้น ลดภาระในการใช้กำลังคน ลดค่าใช้จ่ายจากการติดตั้งและเครื่องมือและความทนทานในการใช้งาน

อย่างไรก็ตามที่กล่าวมานี้ก็ยังมีข้อจำกัดเรื่องแบตเตอรี่ และอายุการใช้งานของ node จึงเป็นเรื่องท้าทายที่จะออกแบบการใช้พลังงานในทุกๆ layer ของ networking protocol stack การจัดการ algorithm ในการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้พลังงานซึ่งเป็นเรื่องท้าทายอย่างมากในหัวข้อของ WSNs

Sensor node มีสถานะการทำงาน 4 แบบคือ transmit, receive, idle และ sleep สถานะที่ใช้พลังงานมากที่สุดคือช่วง transmitting และ receiving การลดขนาดการสื่อสารโดยการลดจำนวนข้อมูลที่รวมกันมากเกินไปสามารถลดการใช้พลังงานได้อย่างมาก ในส่วนของ clustering sensor

network นั้นมีความสำคัญมากเพราะ clustering นั้นจัดการเกี่ยวกับ scalability, data aggregation และ energy efficiency

ในส่วนของ clustering network ตัว node จะถูกจัดเป็นกลุ่มเป็นกระจุก และจะมีกลุ่มของ node อีกกลุ่มที่เป็นกลุ่ม node พิเศษเรียกว่า cluster head ซึ่งทำหน้าที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการจัดการการใช้พลังงานและการเก็บรวบรวมข้อมูลรวมทั้งการส่งสัญญาณสู่ base station (BS) ในเครือข่าย sensor network แบบ heterogeneous จะมี node หรือมากกว่า 2 node ที่มีพลังงานแบตเตอรี่ต่างกันทำงานอยู่ในทางกลับกัน ในเครือข่ายแบบ homogeneous network ทุกๆ sensor node จะมีการใช้พลังงานที่เท่าเทียมกัน ผลลัพธ์ที่ได้เนื่องจากลดขนาดของ cluster head ทำให้ประสิทธิภาพเครือข่ายลดลงไปบ้างแต่ความคล่องตัวในการใช้งานและประสิทธิภาพในการใช้พลังงานเป็นสิ่งที่จำเป็นมากๆ Sensor network สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบตาม event-driven และ ความต่อเนื่องของการส่งสัญญาณในเครือข่าย

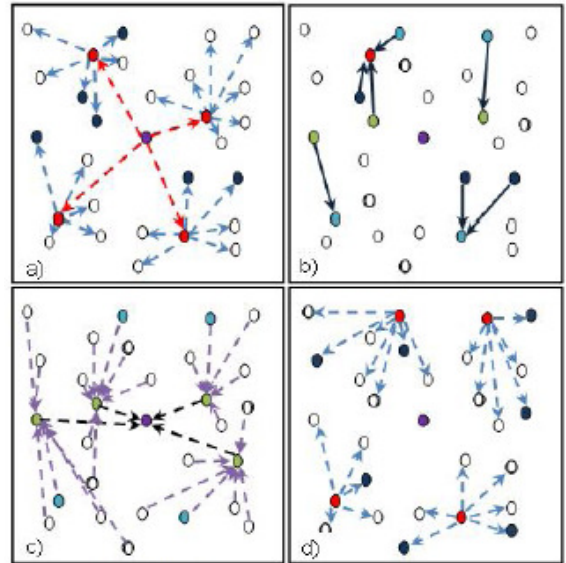
ในกรณี ความต่อเนื่องของการส่งสัญญาณในเครือข่าย sink จะให้ความสนใจกับเงื่อนไขของ สภาพแวดล้อม ตลอดเวลาและแต่ละ node จะส่งข้อมูลมาที่ sink เป็นระยะ

ส่วนกรณี event-driven sensor networks ส่วน sink จะสนใจข้อมูลจากเครือข่ายเมื่อเหตุการณ์ต่างๆเกิดขึ้นเท่านั้น เช่น ในอุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ จะทำการส่งข้อมูลเมื่ออุณหภูมิมากกว่าหรือน้อยกว่าที่กำหนดไว้ ดังนั้นการปรับตั้งค่าของเครือข่ายให้เป็นแบบ event-driven จึงดูน่าสนใจเนื่องจากจำนวนข้อมูลที่ถูกส่งจะลดลงอย่างมาก ส่งผลให้การใช้พลังงานลดลงอย่างมาก เพราะการส่งข้อมูลเสียพลังงานมากกว่าการตรวจจับหรือประมวลผลอย่างมาก และเมื่อใช้ร่วมกันกับการเปิดปิด การทำงานของแต่ละ node ตามเงื่อนไขของเหตุการณ์ที่ตรงกับที่ตั้งไว้ ดังนั้นวิธีการ event driven protocol จึงเป็นการประหยัดพลังงานของ sensor node ได้อย่างมาก

ในงานวิจัยนี้ จึงได้เสนอการปรับปรุง algorithm ของ LEACH ซึ่งเรียกใหม่เป็น “Energy Efficient Clustering Algorithm for Event-Driven Wireless Sensor Networks” (EECED) การปรับปรุง protocol ใหม่นี้มีผลให้ node ที่มีพลังงานเหลือมากกว่า มีโอกาสที่จะถูกเรียกใช้งานเป็น cluster head จากเครือข่ายจากการปรับสมดุลของการใช้พลังงานของ node

WSNs ได้มีบทบาทในการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างมากซึ่งเป็นการใช้การสื่อสารแบบ event-driven ในการดูแลเรื่องสุขภาพจากกระยะไกล, การขนส่ง, การผลิต และอื่นๆอีกมาก ซึ่งแต่ละแบบก็ใช้พลังงานในการทำงานต่างกันไป การใช้ repeating round of clustering algorithm สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้พลังงานได้ระดับหนึ่งแต่ก็ยังไม่ดีมากนัก ในงานวิจัยนี้เสนอ Energy Efficient Clustering Algorithm for Event-Driven Wireless Sensor Networks” (EECED), เพื่อยืดอายุการใช้งานของ sensor network โดยการจัดสมดุลการใช้พลังงานของ node

Algorithm จะจัดการให้ node ที่มีพลังงานเหลือมากกว่า มีโอกาสจะถูกเลือกขึ้นมาใช้งานเป็น cluster head มากกว่า ode ที่เหลือพลังงานน้อย งานวิจัยได้แสดงให้เห็นในหลายๆ กรณีตัวอย่าง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า



- Sink node
- Elector node
- Normal node
- Sensor node's energy more than elector node
- Cluster head node
- Next elector node
- ←····· ELEC_ADV message
- ←···· ENER_REQ message
- ENER_REP message
- ←···· CH_ADV and JOIN_REQ
- ←···· Aggregated data to Sink

รูปที่ 45 อธิบายวิธีการทำงานของ (EECED) [23]

algorithm นี้มีประสิทธิภาพมากกว่า LEACH ซึ่งสามารถจัดการกับเครือข่ายและยืดอายุการใช้งานของ node ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

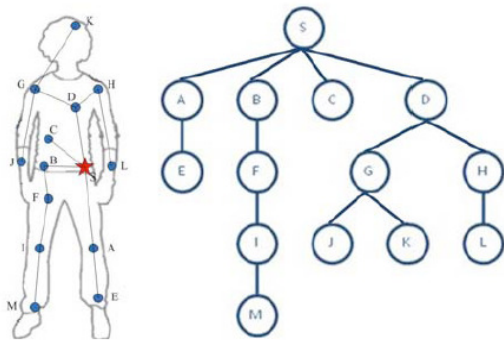
D. Using Relay Network to Increase Life time in Wireless Body Area Sensor Networks [26]

ปัจจุบัน Wireless body area sensor networks สามารถให้บริการในด้าน health care service ได้สะดวกมากขึ้นจากการใช้ระบบควบคุมระยะไกลหรือ remote และ continuous and non-invasive monitoring

Body area sensor networks (BASN) สามารถตรวจ เฝ้าระวังสัญญาณทางกายภาพต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และใช้งานได้ในระยะยาว ดังนั้นเรื่องของการใช้พลังงานจึงสำคัญในการช่วยยืดอายุการใช้งาน

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการเพิ่มการใช้ relay network เข้าไปในการใช้ network of body sensors เพื่อลดการใช้พลังงานในการส่งข้อมูลจาก node ไปที่ sink

ปัจจุบัน Wireless sensor network (WSN) เทคโนโลยีสามารถนำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพได้จากงานวิจัยของ wireless ที่เพิ่มมากขึ้นและมีการออกแบบอุปกรณ์ให้สามารถใช้งานได้หลากหลายแบบ โดยปกติการทำงาน node ของ sensor จะทำการส่งข้อมูลแบบ hop to hop แล้วส่งข้อมูลที่จะทำการ monitor ไปที่ sink ซึ่ง sink จะทำการประมวลผลและควบคุมทุกอย่าง ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่ body area sensor network สำหรับการทำการ biomedical ซึ่งทำการติดตั้งตามร่างกาย และทำการ monitor แบบ realtime



รูปที่ 46 แสดงตัวอย่าง tree model ของ BAS [26]

ในกรณีของ BASN จำนวนของ sensor nodes ที่น้อยกว่า และขนาดของเครือข่ายที่เล็กกว่า การส่งข้อมูลจึงทำในระยะสั้นกว่า ในสภาวะที่มีอุปกรณ์ในการตรวจวัดขนาดเล็กซึ่งมีกลุ่มค่าที่วัดต่างกันนั้นจึงมีการใช้ bit rate ที่ต่างกัน และร่างกายเราที่ขยับเคลื่อนไหวตลอดเวลาการทำงานและจับข้อมูลใน BSNs ที่ทำควรจะแปรเปลี่ยนเพื่อสนับสนุนการเคลื่อนไหว และเนื่องจากข้อจำกัดทางพลังงานของ sensor node การใช้พลังงานจึงเป็นเรื่องสำคัญและท้าทายใน BSN เนื่องจาก sensor ที่ใช้ในการตรวจติดตามบริเวณร่างกายนั้นเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้ยากรวมทั้งไม่คุ้มค่าที่จะทำด้วยซ้ำ ดังนั้น การติดต่อสื่อสารหรือส่งข้อมูลจึงเป็นกุญแจสำคัญในการใช้พลังงานใน BASN ดังนั้นพลังงานในการสื่อสารควรจะใช้น้อยมากที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของ BASN อีกประการหนึ่งคือการใช้พลังงานส่งที่ใช้พลังงานมากมีผลกับ specific absorption rate (SAR) ซึ่งเป็นสัญญาณคลื่นวิทยุที่มีผลให้เกิดความร้อน หากใช้พลังงานมากจะก่อให้เกิดความร้อนซึ่งมีอันตรายต่อร่างกาย ถือเป็นเรื่องต้องห้ามของการใช้งานเลยทีเดียว

ในทางกลับกัน BASN นั้นต้องการการใช้พลังงานที่มากกว่าปกติในระยะทางที่เท่ากัน เนื่องมาจากการเกิด path lost จากร่างกายของมนุษย์หลายๆงานวิจัยไม่ได้คำนึงถึงการใช้งานในส่วนนี้จึงมีการทำการคิดสถาปัตยกรรมในรูปแบบ single hop หรือ star topology แต่ในความเป็นจริงรูปแบบเหล่านี้ไม่ใช่รูปแบบที่ดีที่สุด หรือแม้กระทั่งไม่สามารถแก้ปัญหาเรื่องนี้ได้ Multihop transmission น่าจะเป็นตัวเลือกที่ดีกว่า ในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอ relay network เพื่อใช้ร่วมกันกับ sensor node ใน BASN เพื่อ

สร้างการสื่อสารแบบ multihop งานวิจัยแสดงให้เห็นถึงการใช้พลังงานที่ใช้ลดลงอย่างมากและสามารถยืดอายุการใช้งานได้ยาวนานมากขึ้นเมื่อเทียบกับ single hop และยังสามารถทำให้ใช้ WSNs' protocols ใน BSN ได้อีกด้วย

ผลการทดลองพบว่า การทำงานร่วมกับ relay nodes ในการจัดการการส่งข้อมูลของ multihop ในเส้นทางระยะสั้นๆ สามารถเพิ่มอายุการใช้งานของ sensor node ได้ดีกว่าการใช้ multihop ธรรมดา หรือ single hop ที่ไม่มี การทำ relay network ส่วนการใช้ protocol สำหรับ relay network เพื่อระบุตำแหน่งจะสามารถนำไปพัฒนาต่อได้อีก และต้องเพิ่มเติมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำงานร่วมกันของ sensor node ที่มี bit rate ไม่เท่ากันและการสูญหายของ packet เมื่อใช้กับ relay network ต่อไป

E. Prediction and Management in Energy Harvested Wireless Sensor Nodes [27]

Solar panel ได้ถูกนำมาใช้งานใน wireless sensor บ่อยๆเพราะเชื่อกันว่าในทางทฤษฎี สามารถผลิตพลังงานได้ในปริมาณหนึ่ง (harvested energy) อย่างไรก็ตามพลังงานนี้ยังไม่สามารถที่จะให้ความแน่นอนได้เนื่องจากสภาพอากาศและทิศทางวงโคจรของดวงอาทิตย์

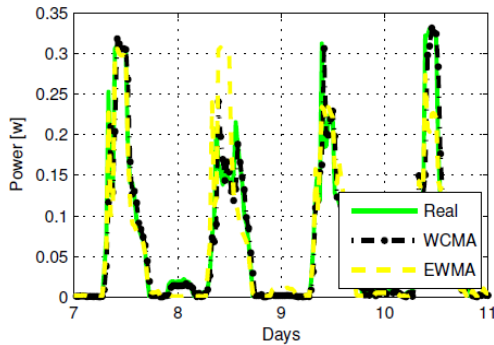
ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอ algorithm สำหรับคำนวณแสงอาทิตย์ที่รวดเร็วและได้ผล ซึ่งเรียกว่า Weather-Conditioned Moving Average (WCMA) ซึ่งมีความสามารถ มากกว่า algorithm อื่นๆ เช่น Exponential Weighted Moving Average EWMA ซึ่งสามารถทำงานมีประสิทธิภาพมากกว่าเดิมถึง 10% และสูงถึง 90% ในกรณีที่ เป็น shimmer node ในการงาน structural health monitoring

แบตเตอรี่รุ่นใหม่นั้นได้ถูกปรับปรุงมากขึ้นโดยเฉพาะใน wireless sensor ซึ่งต้องพัฒนาเพื่อรองรับฟังก์ชันใหม่ๆที่เกิดขึ้นทั้งการเก็บข้อมูล ส่งข้อมูลและประมวลผลในตัวเอง ดังนั้นแบตเตอรี่รุ่นหลังๆจึงมีปรับปรุงเพื่อยืดอายุการใช้งาน แบตเตอรี่ประเภทหนึ่งที่เกิดขึ้นคือการใช้ energy harvesting ร่วมกับการใช้ rechargeable energy storage เช่น แบตเตอรี่แบบชาร์จซ้ำ หรือ super capacitor

ซึ่งเทคโนโลยีของการทำ energy harvesting มีหลากหลายแบบ ทั้งพลังงานแสงอาทิตย์ การสั่นสะเทือน หรือพลังงานจากลมและความร้อนที่กล่าวมานี้ พลังงานแสงอาทิตย์ ดูจะมีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับ wireless sensor node ตัวอย่างเช่น Shimmer ซึ่ง sensor node ที่ใช้ในการทำ structural health monitoring (SHM) ซึ่งใช้ super capacitor เป็นแหล่งเก็บพลังงานและมี solar panel สำหรับรับพลังงาน

หลักการสำคัญในส่วนนี้คือ การที่จะใช้พลังงานที่ได้มาอย่างไรให้คุ้มค่า เนื่องจากการทำงานของ sensor มีหลายแบบและมีอัตราการใช้พลังงานแตกต่างกัน ดังนั้น การที่จะใช้พลังงานที่ได้จากการทำ energy harvested จึงต้องมีการตัดสินใจที่ดีในการใช้งานเพื่อที่จะทำให้การทำงานปกตินั้นทำงานไปในขณะที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ และสามารถให้พลังงานพิเศษที่ได้จากการ harvest ในการทำฟังก์ชันที่สิ้นเปลืองพลังงาน

และจะต้องมีการทำการแบ่งรอบของการใช้พลังงานให้ช่วงพักสามารถทำการสะสมพลังงานเพื่อใช้ในฟังก์ชันอื่นเปลี่ยนรอบถัดๆไปได้ และมีการทำงานเหล่านี้แบบ dynamic เพื่อความคล่องตัวในการทำงานตลอดเวลา ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอ Weather-Conditioned Moving Average (WCMA) ซึ่งมีความแม่นยำและใช้ overhead ขนาดเล็กในการคำนวณแสงอาทิตย์ solar energy prediction algorithm โดยอ้างอิงจาก วิธีของ Exponentially Weighted Moving-Average (EWMA)



รูปที่ 47 แสดงผลเปรียบเทียบระหว่าง WCMA และ EWMA [27]

WCMA algorithm ใหม่นี้จะทำการคำนวณพลังงานที่จะได้มาจากการทำ energy harvested เพื่อทำการจัดการกับการใช้พลังงานใน sensor node ต่อไป โดย WCMA สามารถคำนวณเงื่อนไขจากสภาพอากาศของวันปัจจุบันและวันที่ผ่านมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดความผิดพลาดของ EWMA ลงได้เหลือ 10% จาก 90% ในการทำงานที่มีสภาพอากาศแปรปรวน ซึ่งแสดงให้เห็นในผลการทดลองใช้กับการทำ structural health monitoring ซึ่งผลการทดลองพบว่ามีประสิทธิภาพกว่าเดิมมาก

Day	$E_{real}J$	Algorithm	EJ	Err%
7	571.72	WCMA	550.44	3.72
		EWMA	535.50	6.34
8	284.63	WCMA	255.60	10.20
		EWMA	543.60	-90.99
9	400.61	WCMA	360.00	10.14
		EWMA	423.00	-5.59
10	609.50	WCMA	597.60	1.95
		EWMA	406.80	33.26

ตารางที่ 7 แสดงผลของ solar energy prediction algorithm [27]

F. A Power Supply Design of Body Sensor Networks for Health Monitoring of Neonates [22]

การเจ็บป่วยของเด็กแรกเกิด หรือ เด็กที่คลอดก่อนกำหนด เป็นความเสี่ยงชนิดหนึ่งและจำเป็นต่อเด็กเหล่านี้ที่ต้องมีการเฝ้าระวังและดูแลอย่างใกล้ชิดตลอดเวลา Body Sensor Network จึงเข้ามามีบทบาทเป็น

อย่างเลี่ยงไม่ได้ ปัญหาสำคัญที่พบคือ การจะพึ่งพาระบบ Body Sensor Network นั้น ต้องมีแหล่งพลังงานที่รองรับการทำงานได้อย่างต่อเนื่องและเชื่อถือได้เพื่อเป็นแหล่งพลังงานของการทำงานระบบต่างๆเช่น sensor, amplifier, transmitter ในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอผลการทดลองสร้าง แหล่งพลังงานไร้สาย ซึ่งใช้หลักการเหนี่ยวนำของไฟฟ้าในการส่งพลังงานให้กับเครื่อง Neonatal Intensive Care Unit (NICU) ซึ่งทำหน้าที่ให้พลังงานตามที่ได้ทำการทดลอง ประสบผลสำเร็จในการให้พลังงานขั้นต่ำ 840 mW ในการชาร์จ พลังงานระหว่างที่ใช้งานภายใน Incubator และสามารถนำไปใช้ในแบบ Kangaroo mother care โดยใช้แบตเตอรี่ระหว่างอยู่ภายนอก Incubator ได้ด้วย

ปัจจุบัน ระบบ Body Sensor Network ได้มีการพัฒนาไปมาก มีการคิดค้นเครื่องตรวจจับสัญญาณหลากหลายแบบ อีกทั้งมีการแสดงผลเป็นรูปภาพให้เห็น รวมถึงไม่สร้างความรำคาญแก่ผู้ใช้ ดังนั้น การออกแบบแหล่งพลังงาน หรือ power supply จึงมีความสำคัญและจำเป็นที่จะต้องมีการปรับแต่งการออกแบบตามความเหมาะสมของเทคโนโลยีที่พัฒนา และข้อสำคัญคือ อายุการใช้งานของ battery ควรมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน หรือ หากเป็นไปได้การทำการระบบ Rechargeable Battery ก็เป็นทางเลือกที่น่าสนใจ ซึ่งจะเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนแบตเตอรี่ หรือ การสร้างอุปกรณ์ใหม่ทั้งชิ้นซึ่งได้มีการทำการพัฒนาวิจัยบ้างแล้วในหลายๆมหาวิทยาลัย ในงานวิจัยนี้จึงทำการนำเสนอ การส่งพลังงานโดยระบบไร้สาย โดยอาศัยหลักการส่งผ่านพลังงานให้ตัวอุปกรณ์ ระหว่างที่เด็กอยู่ภายใน NICU เพื่อเป็นการเก็บพลังงานไว้นำไปใช้งานภายนอกในแบบ Kangaroo mother care จากผลการทดลองนี้ซึ่งเป็นการนำเสนอแนวทางในการจัดการแหล่งพลังงานในอีกทางเลือกหนึ่ง โดยเป็นการชาร์จไฟด้วยระบบไร้สายซึ่งประสบผลสำเร็จตามข้อกำหนดความต้องการขั้นต่ำต่างๆที่กำหนดขึ้นทั้งหมด และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์กับเครื่อง NICU ในปัจจุบันได้ต่อไป

G. แหล่งจ่ายพลังงาน [9]

โดยปกติเมื่ออุปกรณ์เคลื่อนที่สวมใส่โดยผู้ป่วยแบตเตอรี่หมดพลังงาน แพทย์และพยาบาลอาจสูญเสียการติดต่อกับผู้ป่วย เพื่อให้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้ามีความน่าเชื่อถือสูงได้เพื่ออุปกรณ์เคลื่อนที่ ผู้วิจัยได้ใช้กลยุทธ์พลังงานไฟฟ้าสำรอง ด้วยวิธีนี้เมื่อแบตเตอรี่หลักไม่สามารถจ่ายไฟเพียงพอสำหรับอุปกรณ์ แบตเตอรี่สำรองจะทำงานเพื่อช่วยให้แพทย์และพยาบาลสามารถรักษาการตรวจสอบขั้นพื้นฐานสำหรับการติดต่อกับผู้ป่วย ได้มีสองประเภทที่แตกต่างกันของแบตเตอรี่ในอุปกรณ์เคลื่อนที่ของผู้วิจัย หนึ่งคือเซลล์แบตเตอรี่ปุ่ม โดยปกติจะไม่ทำงาน เมื่อแบตเตอรี่ลิเทียมหมดพลังงาน เซลล์แบตเตอรี่ปุ่มจะเปลี่ยนเป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแทนและส่งข้อความ แบตเตอรี่หมดไปยังโฮสต์เซิร์ฟเวอร์ แต่เซลล์แบตเตอรี่ปุ่มจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้เพียงชิปเซ็ต CC2431 และโมดูลปุ่มเตือนเพื่อช่วยให้แพทย์

หรือพยาบาลสามารถรักษาการตรวจสอบขั้นพื้นฐานสำหรับการติดต่อกับผู้ป่วยได้ เมื่อผู้ป่วยไปกลับไปโรงพยาบาลแล้ว พยาบาลก็จะเปลี่ยนให้

H. สรุปในด้านของการลดการใช้พลังงาน

ในด้านของการใช้อุปกรณ์เพื่อตรวจจับและตรวจวัดการใช้พลังงานเป็นงานวิจัยที่มีจุดมุ่งหมายในการหาค่าการใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอน และหน่วยการวัดค่าพลังงานนั้น ซึ่งต้องทำการตรวจวัดด้วยเครื่องมือเฉพาะ แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการประเมินการใช้พลังงานซึ่งเป็นขั้นตอนแรกที่สำคัญมาก แล้วจึงทำการคิดค้นหาช่องทางหรือปรับปรุงการใช้พลังงานเป็นขั้นตอนถัดไป

ส่วนด้านของการจัดการและวิธีการลดการใช้พลังงานนั้นได้มีการเปรียบเทียบวิธีการและ algorithm รูปแบบต่างๆ ซึ่งจากวิธีการแรกคือการทำให้ time synchronize โดยใช้ Reference Broadcast Synchronization (RBS) algorithm ทำการเปรียบเทียบเวลาโดยการอ่านค่าเวลา เปลี่ยนไปใช้ broadcast beacon's arrival time ของ neighboring nodes เป็นจุดเวลาอ้างอิงแทน ส่วน local timestamps ซึ่งจะทำการแลกเปลี่ยนระหว่างจุด node ข้างเคียงที่ได้รับข้อมูลหรือจับสัญญาณได้ ซึ่งต่างจากหลักการ time synchronization แบบดั้งเดิม RBS จึงสามารถลดข้อมูลจากจุดที่ไม่ได้สนใจ ซึ่งมีผลกับความแม่นยำและ delay ลงได้อย่างมาก ประกอบกับใช้แนวความคิด broadcasting synchronization method ซึ่ง father node สามารถเลือกรับข้อมูลจาก message node โดยอ้างอิงจากการใช้พลังงานภายใน spanning tree ของเครือข่าย และเพื่อเป็นการลดขนาดของ overhead ใน WSN ลงในการใช้เครือข่ายที่มีขนาดใหญ่และมี node หนาแน่น แบบจำลองนี้สามารถลดจำนวนของ subtree ลงได้ในส่วนนี้

อีกวิธีการคือการทำการปรับปรุง algorithm ของ Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) protocol ซึ่งเป็น energy efficient

clustering algorithm ของ WSNs ส่วน Protocol ที่ได้ทำการปรับปรุงนี้เรียกว่า “Energy Efficient Clustering Algorithm for Event-Driven Wireless Sensor Networks (EECED)” ซึ่งมุ่งเน้นการยืดอายุการใช้งานของ sensor โดยการปรับสมดุลของการใช้พลังงานของ node EECED จะทำให้ node ที่เหลือพลังงานมากกว่า มีโอกาสที่จะถูกเลือกเป็น cluster head รวมทั้งการใช้ elector node ซึ่งทำหน้าที่เก็บข้อมูลการใช้พลังงานของ node sensor ที่อยู่ข้างเคียง และทำการเลือก cluster head วิธีการนี้ทำให้การกระจายการใช้พลังงานเป็นไปอย่างเสมอกันทั้งเครือข่ายและยืดอายุเครือข่ายทั้งเครือข่ายไปในตัว

และสุดท้ายวิธีการใช้ relay network ร่วมกับ body area sensor networks เพื่อลดการสูญเสียพลังงานใน sensor node ผลการทดลองพบว่าการทำงานร่วมกันของ relay network กับ node ในการจัดการการส่งข้อมูลของ multihop ในเส้นทางระยะสั้นๆ สามารถเพิ่มอายุการใช้งานของ sensor node ได้ดีกว่าการใช้ multihop ธรรมดา หรือ single hop ที่ไม่มี การทำ relay network จากวิธีการทั้งหลายที่กล่าวมาข้างวิธีการมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ร่วมกันซึ่งอาจจะได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นอีกได้

ส่วนด้านงานวิจัยเรื่องการจัดการพลังงานทดแทนแบบประจวบจำได้มีการมีแนวทางสองแนวทางที่น่าสนใจคือ การปรับปรุง algorithm เพื่อเพิ่มความสามารถในการคำนวณพลังงานและการหมุนเวียนการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ในอุปกรณ์ sensor node และการทำเครื่องประจุไฟฟ้าซ้ำแบบไร้สาย เพื่อใช้กับเครื่องมือขนาดใหญ่ซับซ้อนและทำงานแบบ real time ซึ่งต่างก็มีข้อจำกัดในด้านพลังงาน ส่วนการนำไปประยุกต์ใช้งานในอุปกรณ์แต่ละอย่างนั้นต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้และความเหมาะสมในการใช้งานของแต่ละอุปกรณ์อีกครั้งหนึ่ง แต่ก็จัดเป็นแนวทางที่น่าสนใจสำหรับนำไปพัฒนาต่อยอดในอนาคต

วิธีการ	แหล่งพลังงาน	วิธีประหยัดพลังงานงาน	อุปกรณ์ที่นำไปใช้งาน
Reference Broadcast Synchronization (RBS) algorithm [24]	แบตเตอรี่จาก Sensor mote	ลด จำนวนข้อมูลและ time synchronize	Sensor mote
Energy Efficient Clustering Algorithm for Event-Driven Wireless Sensor Networks (EECED) [23]	แบตเตอรี่จาก Sensor mote	จัดการ โอกาสในการถูกเลือกเป็น cluster head จากพลังงานที่เหลือของ mote	Sensor mote
relay network ร่วมกับ Body area Sensor Networks (BSNs) [26]	แบตเตอรี่จาก BSNs	ใช้ relay network มาช่วยในการทำ คำนวณ เส้นทาง multi hop	Body area Sensor Networks (BSNs)
Weather-Conditioned Moving Average (WCMA) [27]	แบตเตอรี่จาก Sensor mote	คำนวณค่าพลังงานที่จะได้จากแสงอาทิตย์และนำมาใช้งาน	Sensor mote
Neonatal Intensive Care Unit (NICU) Recharge [22]	ไฟฟ้ากระแสตรงจาก powersource/แบตเตอรี่แบบ ประจวบ	ประจุพลังงานซ้ำแล้วนำไปใช้งานเมื่อต้อง เคลื่อนย้ายผู้ป่วย	เครื่อง Neonatal Intensive Care Unit (NICU)

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบเทคนิคการใช้พลังงานแบบต่างๆ

IX. บทสรุป

เทคโนโลยีเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วในปัจจุบันมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องออกมามากมาย ในทางการแพทย์ก็ได้รับประโยชน์จากงานวิจัยเหล่านี้นำไปพัฒนาปรับปรุงบริการทางการแพทย์ให้ผู้ป่วยได้รับความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้นการตรวจสอบดูแลสุขภาพไม่จำเป็นต้องไปที่โรงพยาบาลเพียงอย่างเดียว แพทย์และพยาบาลสามารถดูแลติดตามสุขภาพผู้ป่วยได้จากระยะไกล โดยผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย หากเกิดเหตุฉุกเฉินกับผู้ป่วยก็สามารถส่งความช่วยเหลือไปได้ทันที ซึ่งเป็นผลมาจากความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของผู้ป่วยผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายนั่นเอง ในอนาคตการพัฒนาเทคโนโลยีเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายจะช่วยให้เกิดประโยชน์มากขึ้นในทางการแพทย์ ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์ที่นำมาใช้งาน มีขนาดเล็กลง ประหยัดพลังงานมากขึ้น มีความสามารถเพิ่มขึ้น และราคาถูกลง

บรรณานุกรม

- [1] S. Jin Jang, J. Hwan Lee, J. Hoon Lee, S. Bin Park, S. Oh Hwang, H. Ro Yoon, Y. Ro Yoon, "Upiquitous Home Healthcare Management System with Early Warning Reporting", Convergence Information Technology, 2007. International Conference, pp. 2394, Nov. 2007
- [2] S. Joong Jung, T. Ha Kwon, W. Young Chung, "A new approach to design ambient sensor network for real time healthcare monitoring system", Sensors, 2009 IEEE, pp. 576, Oct. 2009
- [3] H. Huo, Y. Xu, H. Yan, S. Mubeen, H. Zhang, "An Elderly Health Care System Using Wireless Sensor Networks at Home", Sensor Technologies and Applications, 2009. SENSORCOMM '09. Third International Conferenc, pp. 158, June 2009
- [4] J.Y. Jung, J.W. Lee, "ZigBee Device Access Control and Reliable Data Transmission in ZigBee Based Health Monitoring System", Advanced Communication Technology, 2008. ICACT 2008. 10th International Conference, pp. 795, Feb. 2008
- [5] T. Tamura, I. Mizukura, H. Tatsumi, Y. Kimura, "Is the home health care monitoring effective?", Information Technology and Applications in Biomedicine, 2009. ITAB 2009. 9th International Conference, pp., Nov. 2009
- [6] J. Alberto Patino, J. J. Espinosa, R. E. Correa, "A comparison of Kalman-based schemes for localization and tracking in sensor systems", Communications (LATINCOM), 2010 IEEE Latin-American Conference, pp.1, Sept. 2010
- [7] J. Zhao, H. Jia, "A hybrid localization algorithm based on DV-Distance and the twice-weighted centroid for WSN", Computer Science and Information Technology (ICCSIT), 2010 3rd IEEE International Conference, pp.1, Jul. 2010
- [8] J. Rencheng, M. Lisha, G. Teng, W. Liding, "A New Hybrid Localization Technology of Wireless Sensor Networks", Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), 2010 International Conference, vol.1, pp.185, Mar. 2010
- [9] X. Xu, M. Wu, C. Ding, B. Sun, J. Zhang, "Outdoor wireless healthcare monitoring system for hospital patients based on ZigBee", Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2010 the 5th IEEE Conference, pp. 549, June 2010
- [10] Y. Li, L. Wang, X. Wu, Y. Zhang, "Experimental analysis on radio transmission and localization of a Zigbee-based wireless healthcare monitoring platform", Information Technology and Applications in Biomedicine, 2008. ITAB 2008. International Conference, pp.488, May 2008
- [11] T. Zhang, J. Yu, S. Yu, Y. Xie, "A Mixed D.C.S. Localization Algorithm for WSN", Wireless Communications Networking and Mobile Computing (WiCOM), 2010 6th International Conference, pp1, Sept. 2010
- [12] R. Liu, K. Sun, J. Shen, "BP Localization Algorithm Based on Virtual Nodes in Wireless Sensor Network", Wireless Communications Networking and Mobile Computing (WiCOM), 2010 6th International Conference, pp.1, Sept. 2010
- [13] T.Z. Myint, N. Lynn, T. Ohtsuki, "Range-free localization algorithm using local expected hop length in wireless sensor network", Communications and Information Technologies (ISCIT), 2010 International Symposium, pp.356, Oct. 2010
- [14] Z. Liang, X. Liu, "A centralized localization algorithm based on mesh relaxation in Wireless Sensor Networks", Communications and Networking in China (CHINACOM), 2010 5th International ICST Conference, pp.1, Aug. 2010
- [15] G. Qing Gao, L. Lei, "An improved node localization algorithm based on DV-HOP in WSN", Advanced Computer Control (ICACC), 2010 2nd International Conference, vol.4, pp.321, Mar. 2010
- [16] N. Yu, J. Wan, "On Demand Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks", Communications and Networking in China, 2007. CHINACOM '07. Second International Conference, pp.798, Aug. 2007
- [17] Z. Ding, N. Yamauchi, "An improvement of energy efficient multi-hop time synchronization algorithm in wireless sensor network", Wireless Communications, Networking and Information Security (WCNIS), 2010 IEEE International Conference, pp.116, June 2010
- [18] D. Ying, W. Jianping, Z. Chongwei, "Improvement of DV-Hop Localization Algorithms for Wireless Sensor Networks", Wireless

- Communications Networking and Mobile Computing (WiCOM),
2010 6th International Conference, pp.1, Sept. 2010
- [19] R. Behnke, J. Salzmann, D. Timmermann, "Improvements on
scalable Distributed Least Squares localization for large Wireless
Sensor Networks", Wireless Pervasive Computing (ISWPC), 2010
5th IEEE International Symposium, pp.273, May 2010
- [20] S. Francisco, C. Ribeiro, "Improving the Robustness of Distributed
Range-Based Localisation Algorithms", Sensor Technologies and
Applications (SENSORCOMM), 2010 Fourth International
Conference, pp.389, July 2010
- [21] J. Lee, Y. Su, C. Shen, "A Comparative Study of Wireless Protocols:
Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi", Industrial Electronics Society
, 2007. IECON 2007. 33rd Annual Conference of the IEEE, pp.46,
Nov. 2007
- [22] W. Chen, C. Sonntag, F. Boesten, S. Bambang Oetomo, L. Feijs, "A
power supply design of body sensor networks for health monitoring
of neonates", Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information
Processing, 2008. SSNIP 2008. International Conference, pp. 255,
Dec. 2008
- [23] O. Buyanjargal, Y. Kwon, "An Energy Efficient Clustering Algorithm
for Event-Driven Wireless Sensor Networks (EECED)", INC, IMS
and IDC, 2009. NCM '09. Fifth International Joint Conference, pp.
1758, Aug. 2009
- [24] Zhehan Ding, N. Yamauchi, "An improvement of energy efficient
multi-hop time synchronization algorithm in wireless sensor network
", Wireless Communications, Networking and Information Security
(WCNIS), 2010 IEEE International Conference, pp. 116, Jun. 2010
- [25] Z. Fan, L. Wenfeng, "Energy efficiency testbed for wireless sensor
networks", Systems Man and Cybernetics (SMC), 2010 IEEE
International Conference, pp. 3807, Oct. 2010
- [26] A. Ehyai, M. Hashemi, P. Khadivi, "Using relay network to increase
life time in wireless body area sensor networks", World of Wireless,
Mobile and Multimedia Networks & Workshops, 2009. WoWMoM
2009. IEEE International Symposium, pp.1, Jun. 2009
- [27] R. P. Joaquin, B. Carlo, A. David, S. R. Tajana, "Prediction and
management in energy harvested wireless sensor nodes", The 1st
International Conference Wireless Vitae 2009 on Wireless
Communications, Vehicular Technology, Information Theory and
Aerospace & Electronic Systems Technology, Aalborg, Denmark,
pp.6, May 2009.