



รูปแบบการติดต่อสื่อสารแบบกระจายศูนย์บนพื้นฐานการแย่งชิงและแบ่งช่วงเวลาการ
ใช้ช่องสัญญาณสำหรับเครือข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

Decentralized MAC Protocol Based on CSMA/CA and TDMA for Wireless
Body Area Networks

พิชชากร ทิพย์พันธ์

Pitchakron Thippun

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Prince of Songkla University

2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



รูปแบบการติดต่อสื่อสารแบบกระจายศูนย์บนพื้นฐานการแย่งชิงและแบ่งช่วงเวลาการ
ใช้ช่องสัญญาณสำหรับเครือข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

Decentralized MAC Protocol Based on CSMA/CA and TDMA for Wireless
Body Area Networks

พิชชากร ทิพย์พันธ์

Pitchakron Thippun

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Prince of Songkla University

2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ รูปแบบการติดต่อสื่อสารแบบกระจายศูนย์บนพื้นฐานการแย่งชิงและแบ่งช่วงเวลา
การใช้ช่องสัญญาณสำหรับเครือข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

ผู้เขียน นายพิชชากร ทิพย์พันธ์

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุจดาว บุรณะพาณิชย์กิจ)

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐฐา จินดาเพ็ชร)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิเดช บุรณวงศ์)

.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ประยุทธ์ อัครเอกผาลิน)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุจดาว บุรณะพาณิชย์กิจ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....
(ศาสตราจารย์ ดร. ดำรงค์ศักดิ์ ฟ้ารุ่งสูง)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(3)

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มี
ส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงดาว บุรณะพานิชย์กิจ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ

(นายพิชชากร ทิพย์พันธ์)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ

(นายพิชชากร ทิพย์พันธ์)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	รูปแบบการติดต่อสื่อสารแบบกระจายศูนย์บนพื้นฐานการแย่งชิงและแบ่ง ช่วงเวลาการใช้ช่องสัญญาณสำหรับเครือข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์
ผู้เขียน	นายพิชชากร ทิพย์พันธ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	2563

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบรูปแบบการติดต่อสื่อสารแบบกระจายศูนย์สำหรับเครือข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ (WBANs) เป็นการรวบรวมสัญญาณชีพและสัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้จากร่างกายหลายๆส่วนมาเป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์หาแนวทางในการรักษาผู้ป่วยโดยใช้การส่งข้อมูลแบบไร้สาย ในงานวิจัยนี้ทำการทดลองศึกษาตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการสื่อสารสภาพแวดล้อมที่ใช้ในงานจริงว่ามีผลต่อการสื่อสารข้อมูลเป็นอย่างไร และการพัฒนาการติดต่อสื่อสารไร้สายให้มีประสิทธิภาพในแง่ของการประหยัดพลังงาน ในงานวิจัยนี้ทำการทดลองจริงโดยใช้ TelosB ซึ่งเป็นโหนดสื่อสารไร้สายที่ทำงานอยู่บนมาตรฐาน IEEE 802.15.4 เพื่อศึกษาผลกระทบเมื่อมีการติดต่อสื่อสารบนร่างกาย และปรับปรุงการติดต่อสื่อสารในชั้นของ MAC Layer โดยเราได้รวมเอาสองวิธีการสื่อสารแบบ CSMA/CA และ TDMA เข้ามารวมกันเพื่อให้เครือข่ายมีความสามารถในการติดต่อสื่อสารที่ดีขึ้นและประหยัดพลังงานมากขึ้น ในการทดลองพบว่าที่ช่วงเวลาของการส่งแต่ละแพ็คเก็ตตั้งแต่ 15 มิลลิวินาที ขึ้นไปมีประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลที่สูงและวิธีการติดต่อสื่อสารที่นำเสนอพบว่าประหยัดพลังงานมากกว่าการติดต่อสื่อสารไร้สายมาตรฐาน 1.82 เท่า

คำสำคัญ เครือข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์, IEEE 802.15.6, TelosB, IEEE 802.15.4, MAC Layer, CSMA/CA, TDMA

Thesis Title	Decentralized MAC Protocol Based on CSMA/CA and TDMA for Wireless Body Area Networks
Author	Mr. Pitchakron Thippun
Major Program	Electrical Engineering
Academic Year	2020

ABSTRACT

This research aims to develop a communication protocol for decentralized medium access for Wireless Body Area Networks (WBANs). WBANs is a collection of vital signs and electrical signals measured from body parts to assist the analysis of treatment for patients using wireless data transmission. In this work, experiments have been built to study many parameters which affect to the network performance, the effects of data communication in the real environment and the development of wireless network to be more efficient in terms of saving energy. In this research, the actual experiments are performed using the TelosB motes, a wireless communication node based on the IEEE 802.15.4 standard, to study the effects of an attaching node on the body and improve the communication protocol in the MAC Layer. The combination of two communication protocols which are CSMA/CA and TDMA protocol to provide the network with the better communication capability. The experimental results showed that the Packet inter-arrival time over 15 milliseconds can get the high effective communication and our proposed method can save energy over a wireless communication standard 1.82 times.

Keyword Wireless Body Area Networks, IEEE 802.15.6, TelosB, IEEE 802.15.4, MAC Layer, CSMA/CA, TDMA

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดีเพราะได้รับความกรุณาชี้แนะและช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุจดาว บุรณะพานิชย์กิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐา จินดาเพ็ชร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิเดช บุรณวงศ์ และ ศาสตราจารย์ ดร.ประยุทธ์ อัครเอกมาลิน กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยและคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่สนับสนุนเงินอุดหนุนวิจัย

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่สนับสนุนและให้กำลังใจจนงานวิจัยสำเร็จด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากการศึกษาวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอน้อมบูชาพระคุณบิดามารดาและบูรพาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนวิชาความรู้ และให้ความเมตตาแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด และเป็นกำลังใจสำคัญ ที่ทำให้การศึกษาระดับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

พิชชากร ทิพย์พันธ์

สารบัญ

สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(11)
รายการภาพประกอบ	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.4 ขอบเขตการวิจัย	3
1.5 แผนการดำเนินงาน	3
1.6 การทบทวนวรรณกรรม	3
1.7 ประเด็นวิจัย	20
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	21
2.1 Wireless Body Area Networks (WBANs)	21
2.2 IEEE 802.15.6	22
2.3 Time-Division Multiple Access (TDMA)	23
2.4 Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) [13]	23
2.5 เซ็นเซอร์โหนด	26
2.5.1 TelosB	26
2.5.2 MSP430F1611 MCU	27
2.5.3 CC2420 transceiver	27
2.6 ซอฟต์แวร์	28
2.6.1 Linux & Ubuntu	28
2.6.2 TinyOS	28
2.6.3 Python	29
บทที่ 3 รูปแบบการติดต่อสื่อสาร	30

สารบัญ (ต่อ)

3.1 ระบบเครือข่ายสื่อสารที่น่าเสนอ	30
3.1.1 โครงสร้างเครือข่าย	30
3.1.2 แพ็กเก็ต	32
3.2 วิธีการส่งข้อมูลติดต่อสื่อสาร	34
3.2.1 การทำงานของสถานีฐาน	34
3.2.2 การทำงานของโหนดสื่อสาร	35
3.3 การทำงานของระบบที่น่าเสนอ	38
บทที่ 4 การทดลอง ผลทดลอง และ การวิเคราะห์ผล	41
4.1 การทดลอง	41
4.1.1 การศึกษาตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการติดต่อสื่อสาร	42
4.1.1.1 ปรับค่า Packet inter-arrival time และ Packet Sizes	42
4.1.1.2 ปรับค่า Packet inter-arrival time และเพิ่มจำนวนโหนดในระบบ	43
4.1.1.3 ปรับค่า Time-symbol	44
4.1.2 สภาพแวดล้อม	45
4.1.2.1 ในเพศชายและเพศหญิง	45
4.1.2.2 ยืนนิ่งในอาคารและนอกอาคาร	46
4.1.2.3 เดินในอาคารและนอกอาคาร	47
4.1.2.4 เปลี่ยนตำแหน่งของสถานีฐาน	47
4.1.3 การศึกษาเกี่ยวกับพลังงาน	49
4.1.3.1 เปิดปิดชิปสื่อสาร CC2420	49
4.1.3.2 การติดต่อสื่อสารในช่วง TDMA	50
4.1.3.3 การติดต่อสื่อสารในช่วง TDMA ที่ความสำคัญในการส่งข้อมูล ของแต่ละโหนดไม่เท่ากัน	51
4.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	51
4.2.1 ผลการศึกษาตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการติดต่อสื่อสาร	51
4.2.1.1 ผลการทดลองปรับค่า Packet inter-arrival time และ Packet Sizes	51

สารบัญ (ต่อ)

4.2.1.2	ผลการทดลองปรับค่า Packet inter-arrival time และเพิ่มจำนวนโหนดในระบบ	53
4.2.1.3	ผลการทดลองปรับค่า Time-symbol	54
4.2.2	ผลการศึกษาจากสภาพแวดล้อมจริง	55
4.2.2.1	ผลการทดลองในเพศชายและเพศหญิง	55
4.2.2.2	ผลการทดลองยืนนิ่งในอาคารและนอกอาคาร	55
4.2.2.3	ผลการทดลองเดินในอาคารและนอกอาคาร	56
4.2.2.4	ผลการทดลองเปลี่ยนตำแหน่งของสถานีฐาน	57
4.2.3	ผลการศึกษาเกี่ยวกับพลังงาน	60
4.2.3.1	ผลการทดลองเปิดปิดชิปสื่อสาร CC2420	60
4.2.3.2	ผลการทดลองสื่อสารในช่วง TDMA	61
4.2.3.3	ผลการทดลองติดต่อสื่อสารในช่วง TDMA ที่ความสำคัญในการส่งข้อมูลของแต่ละโหนดไม่เท่ากัน	63
	บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	67
	บรรณานุกรม	69
	ภาคผนวก	72
	ประวัติผู้เขียน	77

รายการตาราง

ตารางที่ 1.1 Contention Window Bounds for AD-MAC	13
ตารางที่ 1.2 เปรียบเทียบการทบทวนวรรณกรรม	19
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบระหว่าง WBANs IEEE 802.15.6 กับ WSNs IEEE 802.15.4	21
ตารางที่ 2.2 Typical Operating Conditions of MSP430F1611	27
ตารางที่ 2.3 Output power configuration for the CC2420	27
ตารางที่ 2.4 Typical Operating Conditions of CC2420	28
ตารางที่ 3.1 โครงสร้างของ message_t	32
ตารางที่ 3.2 โครงสร้างของ Header	32
ตารางที่ 4.1 รูปแบบในการทดลอง	41
ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง TimeSymbol กับช่วงเวลา backoff ในแต่ละสถานะ	45
ตารางที่ 4.3 การใช้พลังงานในแต่ละระดับความสำคัญ	66

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่ 1.1 แผนภาพของกลไกการติดต่อสื่อสารข้อมูลในชั้น MAC layer ใน WBANs	4
ภาพประกอบที่ 1.2 รูปแบบโครงสร้างเครือข่าย Wireless Body Area Networks.	5
ภาพประกอบที่ 1.3 TDMA timing	5
ภาพประกอบที่ 1.4 Packet formats	6
ภาพประกอบที่ 1.5 Frames ของสามโหนด	7
ภาพประกอบที่ 1.6 โครงสร้างพื้นฐาน T-MAC protocol	7
ภาพประกอบที่ 1.7 ปัญหาที่ node D เข้าสู่ sleep mode ก่อนที่โหนด C จะส่ง RTS ไปให้	9
ภาพประกอบที่ 1.8 Future-request-to-send packet	9
ภาพประกอบที่ 1.9 Taking priority เมื่อได้รับ RTS	10
ภาพประกอบที่ 1.10 เปรียบเทียบระยะเวลาระหว่าง LPL's extended preamble กับ X-MAC's short preamble	11
ภาพประกอบที่ 1.11 โครงสร้าง CA-MAC frame	12
ภาพประกอบที่ 1.12 การจัดการ Traffic-aware adjustment of TDMA slots.	12
ภาพประกอบที่ 1.13 โครงสร้างของ Super-frame ใน AD-MAC	13
ภาพประกอบที่ 1.14 ตัวอย่าง sending period ของสาม nodes ใน BANs	14
ภาพประกอบที่ 1.15 โครงสร้าง Time Synchronization	15
ภาพประกอบที่ 1.16 TDMA frame สำหรับ environmental network	17
ภาพประกอบที่ 1.17 TDMA frame สำหรับ WBAN	17
ภาพประกอบที่ 1.18 Mini-slot concept	18
ภาพประกอบที่ 1.19 การทำงานของระบบ	20
ภาพประกอบที่ 2.1 ตัวอย่างของความหลากหลายของโหนดใน WBANs	21

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่ 2.2 WBAN Applicator	22
ภาพประกอบที่ 2.3 รูปแบบการจัดสรรช่วงเวลาในการส่งข้อมูลของแต่ละ nodes	23
ภาพประกอบที่ 2.4 Timing in CSMA/CA	24
ภาพประกอบที่ 2.5 Flow diagram for CSMA/CA	25
ภาพประกอบที่ 2.6 TelosB	26
ภาพประกอบที่ 3.1 โครงสร้างของเครือข่ายสื่อสาร	30
ภาพประกอบที่ 3.2 การทำงานของการส่งข้อมูลมาเก็บใน PC	31
ภาพประกอบที่ 3.3 การทำงานโดยรวมของเครือข่าย	31
ภาพประกอบที่ 3.4 โครงสร้างของ command_msg_t	33
ภาพประกอบที่ 3.5 โครงสร้างของ report_msg_t	33
ภาพประกอบที่ 3.6 ขั้นตอนการทำงานของสถานีฐานในการส่ง command ควบคุมโหนดอื่นๆ	34
ภาพประกอบที่ 3.7 ขั้นตอนการทำงานของสถานีฐานในการส่งข้อมูลที่ได้รับจากโหนดอื่น ๆ มาเก็บที่คอมพิวเตอร์	35
ภาพประกอบที่ 3.8 ขั้นตอนการทำงานของโหนดที่ไม่มีปิดชีพสื่อสาร CC2420	36
ภาพประกอบที่ 3.9 ขั้นตอนการทำงานของโหนดเมื่อเปิดปิดชีพสื่อสาร CC2420	37
ภาพประกอบที่ 3.10 การจัดสรร slot โดยรวมของ protocol	39
ภาพประกอบที่ 3.11 ขั้นตอนการทำงานในช่วงจัดสรรลำดับการส่งแพ็คเก็ต	40
ภาพประกอบที่ 4.1 โครงสร้างในการทดลองปรับค่า Packet inter-arrival time และ Packet Size	43
ภาพประกอบที่ 4.2 (A) ทดลองมี 1 โหนดในระบบ (B) ทดลองมี 2 โหนดในระบบ (C) ทดลองมี 3 โหนดในระบบ	44

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่ 4.3 (A) การทดลองในผู้หญิง (B) การทดลองในผู้ชาย	46
ภาพประกอบที่ 4.4 (A) การทดลองยืนนิ่งในอาคาร (B) การทดลองยืนนิ่งนอกอาคาร	46
ภาพประกอบที่ 4.5 (A) การทดลองเดินไปมาเป็นเส้นตรงภายในอาคาร (B) การทดลองเดินไปมาเป็นเส้นตรงภายนอกอาคาร	47
ภาพประกอบที่ 4.6 (A) ทดลองเดินสุ่มในอาคาร (B) สถานีฐานมีความสูง 1 เมตร ในห้อง (C) สถานีฐานมีความสูง 1 เมตร นอกห้อง (D) สถานีฐานมีความสูง 2.5 เมตร นอกห้อง	48
ภาพประกอบที่ 4.7 เส้นทางเดินภายในตัวอาคาร	49
ภาพประกอบที่ 4.8 การทดลองเปิดปิด RadioControl	50
ภาพประกอบที่ 4.9 การทดลองเปิดปิด RadioControl แบบไม่ให้แต่ละโหนดเวลาไม่ตรงกัน	50
ภาพประกอบที่ 4.10 การทดลองปรับความสำคัญในการส่งของแต่ละโหนดไม่เท่ากัน	51
ภาพประกอบที่ 4.11 การทดลองปรับความสำคัญในการส่งของแต่ละโหนดไม่เท่ากัน	51
ภาพประกอบที่ 4.12 ผลเมื่อปรับเปลี่ยนค่า Packet inter-arrival time และขนาดของ Packet Sizes	52
ภาพประกอบที่ 4.13 ผลเมื่อปรับค่า Packet inter-arrival time และเพิ่มจำนวนโหนดในระบบ	53
ภาพประกอบที่ 4.14 ผลเมื่อปรับค่า Packet inter-arrival time และ Time-symbol	54
ภาพประกอบที่ 4.15 ผลการทดลองในเพศชายและเพศหญิง	55
ภาพประกอบที่ 4.16 ผลการทดลองยืนนิ่งทั้งในอาคารและภายนอก	56
ภาพประกอบที่ 4.17 ผลการทดลองเดินไปมาเป็นเส้นตรงทั้งในอาคารและภายนอก	57
ภาพประกอบที่ 4.18 ค่า PDR ที่สถานีฐานสูง 1 เมตร ในห้อง	58
ภาพประกอบที่ 4.19 ค่า PDR ที่สถานีฐานสูง 1 เมตร นอกห้อง	58

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่ 4.20 ค่า PDR ที่สถานีฐานสูง 2.5 เมตร นอกห้อง	59
ภาพประกอบที่ 4.21 ผลเมื่อเปลี่ยนแปลงความสูงของสถานีฐาน	59
ภาพประกอบที่ 4.22 กระแสไฟฟ้าที่โหลดใช้งาน	60
ภาพประกอบที่ 4.23 จำนวนแพ็คเก็ตที่รับได้ใน 1 สล็อต ที่ Packet inter-arrival time 10 มิลลิวินาที	61
ภาพประกอบที่ 4.24 จำนวนแพ็คเก็ตที่รับได้ใน 1 สล็อต ที่ Packet inter-arrival time 15 มิลลิวินาที	61
ภาพประกอบที่ 4.25 ค่า PDR ของทั้งที่ Packet inter-arrival time 10 และ 15 มิลลิวินาที	62
ภาพประกอบที่ 4.26 จำนวนแพ็คเก็ตที่รับได้ใน 1 สล็อต ที่ Packet inter-arrival time 10 มิลลิวินาที	63
ภาพประกอบที่ 4.27 จำนวนแพ็คเก็ตที่รับได้ใน 1 สล็อต ที่ Packet inter-arrival time 15 มิลลิวินาที	64
ภาพประกอบที่ 4.28 จำนวนแพ็คเก็ตที่รับได้ใน 1 สล็อต ที่ Packet inter-arrival time 10 มิลลิวินาที	65
ภาพประกอบที่ 4.29 จำนวนแพ็คเก็ตที่รับได้ใน 1 สล็อต ที่ Packet inter-arrival time 15 มิลลิวินาที	65

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางการแพทย์มีความสำคัญเป็นอย่างมากกับการดูแลผู้ป่วย ข้อมูลที่ได้จากการติดตามผู้ป่วยมีความสำคัญต่อการประเมินผลและวางแผนการรักษาในอนาคตเพื่อประโยชน์สูงสุดในการรักษาผู้ป่วย เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายมีส่วนช่วยในการรวบรวมข้อมูลค่าสัญญาณชีพต่างๆจากตัวผู้ป่วยว่ามี การเปลี่ยนแปลงอย่างไรเพื่อดำเนินการช่วยเหลือผู้ป่วยได้อย่างทันเวลา ประชากรมนุษย์กำลังเติบโตในอัตราที่น่าตกใจ ประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้ส่งผลให้เกิดปัญหาสุขภาพใหม่เนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ จากข้อมูลขององค์การอนามัยโลก (WHO) ระบุว่าโรคที่ไม่ติดต่อ เช่น โรคหัวใจ, หลอดเลือดตีบ, มะเร็ง, เบาหวานและโรคปอดเรื้อรังเป็นสาเหตุของการเสียชีวิต นวัตกรรมในการดูแลสุขภาพเกิดขึ้นใหม่อย่างต่อเนื่องเพื่อตรวจสอบรักษาและลดการเสียชีวิตและความพิการที่เกิดจากโรคไม่ติดต่อดังกล่าวด้วยการถือกำเนิดของ นาโนเทคโนโลยี, เซ็นเซอร์ทางการแพทย์และอุปกรณ์ต่าง ๆ กำลังมีขนาดเล็กลงอย่างมาก ขนาดของโหนดเซ็นเซอร์ก็ลดลงเช่นกัน ซึ่งช่วยให้พวกเขาสามารถปลูกฝังภายในร่างกายโดยใช้การผ่าตัดที่มีขนาดเล็กที่สุด [1] ขณะที่เทคโนโลยีไร้สายยังคงพัฒนาอย่างต่อเนื่องสำหรับแอปพลิเคชันใหม่ๆ ที่หลากหลาย เช่น การตรวจสอบสัญญาณที่ได้จากร่างกายมนุษย์ได้นำไปสู่การพัฒนา Wireless Body Area Networks (WBANs) ด้วยความท้าทายที่เกี่ยวข้องกับความต้องการเฉพาะ WBANs โดยมีจุดประสงค์สำหรับเครือข่ายไร้สายของเซ็นเซอร์ที่สวมใส่และฝัง ซึ่งจะตรวจสอบสัญญาณที่ได้จากร่างกายมนุษย์ที่สำคัญ เช่น อัตราการเต้นของหัวใจ, อุณหภูมิ, ความดันโลหิต, สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง Electroencephalography (EEG), สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ Electrocardiogram (ECG), สัญญาณกล้ามเนื้อ Electromyography (EMG) และอื่นๆ WBANs มีความสนใจเป็นพิเศษกับการดูแลสุขภาพเพื่อให้บริการด้านการดูแลสุขภาพที่มีประสิทธิภาพและการจัดการทางคลินิกอย่างต่อเนื่อง แม้ว่า WBANs จะมีความคล้ายคลึงหลายประการกับเครือข่ายไร้สายประเภทอื่นๆ แต่ก็มีข้อกำหนดในการออกแบบเฉพาะ เช่น แบตเตอรี่ที่ใช้ในแต่ละโหนดมีขนาดที่จำกัด ดังนั้นการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเป็นส่วนสำคัญ, WBANs ใช้ในพื้นที่จำกัดไม่เกิน 3 เมตร, มีโหนดน้อยกว่า 256 โหนดซึ่งมีจำนวนโหนดน้อยกว่า Wireless Sensor Networks (WSNs) ความท้าทายใหม่เหล่านี้กำหนดข้อกำหนดใหม่สำหรับ WBANs ซึ่งมาตรฐาน IEEE 802.11 WLAN, และ IEEE 802.15.4 WPAN มาตรฐานเดิมไม่สามารถตอบสนองความต้องการของ WBANs ได้

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการติดต่อสื่อสารแบบ WBANs การออกแบบโปรโตคอลในชั้น Medium access control (MAC) นั้นได้แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบหลักๆ คือ แบบที่เป็น Time-Division Multiple Access (TDMA) ที่จะทำการแบ่งช่วงเวลาในการส่งข้อมูลของแต่ละโหนดในระบบไม่ให้ตรงกันทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลที่ส่งออกมา โดยบทความที่สนใจประกอบไปด้วย MAC protocol สองตัวคือ LD-TDMA ที่เป็นการจัดสรรช่วงเวลาในการส่งข้อมูลให้

ไม่ชนกันโดยมี Master Node เป็นตัวคอยจัดการลำดับการส่งข้อแต่ละ Sensor Node ต่อมาเป็น MAC protocol ที่ชื่อว่า CF-MAC เป็นวิธีการจัดลำดับการส่งข้อมูลในแต่ละตัวในเครือข่ายจะส่งข้อความเพื่อจองช่วงเวลาในการส่งข้อมูลของตัวเองโดยไม่มีโหนดอื่นมาจัดการและไม่มีการชิงเวลากันในเครือข่าย แบบต่อมาคือ Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) ที่จัดเป็นกรที่โหนดในระบบเมื่อต้องการจะส่งข้อมูลจะมีการแย่งชิงการใช้ช่องสัญญาณ โดยบทความที่สนใจประกอบไปด้วย MAC protocol สองตัวคือ T-MAC เป็น protocol ที่มีการปรับเปลี่ยนช่วงเวลา active time ในแต่ละรอบที่ไม่เท่ากันทำให้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานและเมื่อโหนดต้องการจะส่งข้อมูลจะมีการส่งข้อความบอกให้ทุกโหนดในเครือข่ายรู้ว่าจะมีการใช้ช่องสัญญาณทำให้ไม่มีการชนกันข้อข้อมูลที่ส่ง MAC protocol ต่อมาคือ X-MAC เป็น protocol ที่มีจุดเด่นที่จะมีการตื่นขึ้นมาเพื่อเช็คช่องสัญญาณว่าจะมีการทำงานอะไรหรือไม่ เป็นช่วงเวลาสั้นๆ ทำให้มีการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพขึ้นเมื่อเทียบกับการทำงานของ “low power listening” ใน TinyOS และแบบสุดท้ายที่สนใจคือแบบที่รวมกันระหว่าง TDMA กับ CSMA/CA โดยบทความที่สนใจประกอบไปด้วย MAC protocol สามตัวคือ CA-MAC เป็น protocol ที่มีความพิเศษอยู่ในช่วงที่เมื่อมีการจัดสรรช่วงเวลาในการส่งข้อมูลแล้ว แต่เกิดมีโหนดใดโหนดหนึ่งในเครือข่ายมีความต้องการในการส่งข้อมูลที่มากขึ้นก็สามารถเพิ่มช่วงเวลาในการส่งข้อมูลได้ทำให้ระบบมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน ต่อมาคือ AD-MAC เป็น protocol ที่มีความพิเศษอยู่ที่ในแต่ละโหนดจะมีการให้ระดับความสำคัญในการทำ CSMA/CA ที่ไม่เท่ากันโดยให้ Contention Window เป็นตัวแบ่งระดับความสำคัญ และ protocol สุดท้ายที่เป็นการติดต่อสื่อสารแบบที่รวมกันระหว่าง TDMA กับ CSMA/CA ที่เราสนใจคือ HyMAC ที่มีจุดเด่นอยู่ที่การใช้พลังงานที่ต่ำเพราะมีการใช้งาน awaiting orders (AO) ที่จะทำในโหนดอยู่ในสถานะที่จะมีการในพลังงานที่ต่ำ

ในการออกแบบวิธีการสื่อสารข้อมูลในชั้นของ MAC Protocol ที่เป็นของงานวิจัยนี้เป็นการรวมกันของวิธีการสื่อสารแบบ CSMA/CA และแบบ TDMA เข้ามารวมกันเพื่อให้เครือข่ายมีประสิทธิภาพในการสื่อสารและประหยัดพลังงาน โดยในช่วงแรกจะเป็นการใช้งานแบบ CSMA/CA ในการแย่งชิงลำดับในการส่งข้อมูลและปริมาณข้อมูลที่แต่ละโหนดต้องการที่จะส่ง เมื่อจัดลำดับในการส่งข้อมูลเสร็จแล้วจะเข้าสู่ช่วงที่เป็นการใช้งานแบบ TDMA โดยเมื่อโหนดไม่ได้อยู่ในช่วงที่มีการส่งข้อมูลจะเข้าสู่ sleep mode เพื่อเป็นการประหยัดการใช้พลังงานและเมื่อทำการส่งข้อมูลถึงรอบที่กำหนดก็จะทำการเข้าสู่การทำ CSMA/CA ใหม่อีกครั้งเพื่อเป็นการจัดลำดับการส่งข้อมูลอีกครั้งหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อพัฒนารูปแบบการติดต่อสื่อสารรับส่งข้อมูลแบบกระจายศูนย์สำหรับเครือข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ที่มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงาน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

รูปแบบการติดต่อสื่อสารรับส่งข้อมูลแบบกระจายศูนย์สำหรับเครือข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4 ขอบเขตการวิจัย

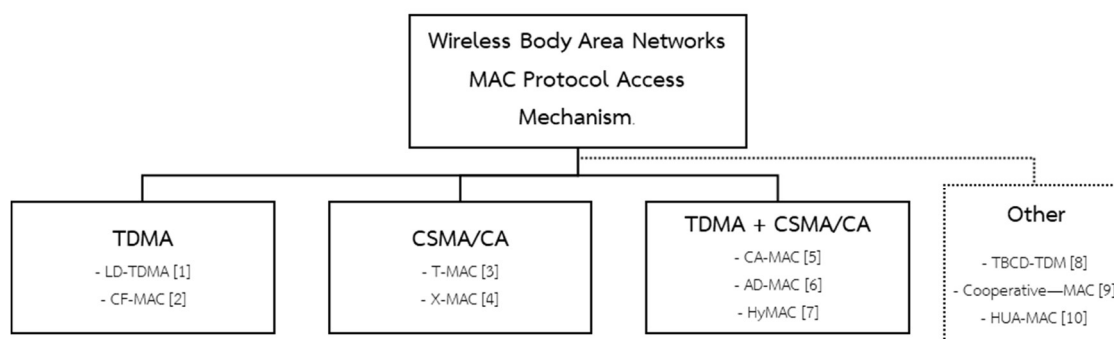
พัฒนารูปแบบการติดต่อสื่อสารรับส่งข้อมูลแบบกระจายศูนย์สำหรับเครือข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ในชั้นสื่อสาร MAC layer โดยใช้งานบนอุปกรณ์มาตรฐาน IEEE 802.15.4

1.5 แผนการดำเนินงาน

ระยะเวลาดำเนินการ	ส.ค. 61 - พ.ย. 61	ธ.ค. 61 - มี.ค. 62	เม.ย. 62 - ก.ค. 62	ส.ค. 62 - พ.ย. 62	ธ.ค. 62 - มี.ค. 63	เม.ย. 63 - ก.ค. 63	ส.ค. 63 - พ.ย. 63	ธ.ค. 63 - มี.ค. 63
หัวข้อการดำเนินการ								
1.ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง								
2.จัดทำ proposal								
3.ทดลองเกี่ยวกับตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการติดต่อสื่อสาร								
4.ทดลองเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมของการทดลอง								
5.ทดลองเกี่ยวกับพลังงานและความสำคัญ								
6.เขียนบทความตีพิมพ์และเขียนรายงานสรุป								

1.6 การทบทวนวรรณกรรม

เทคโนโลยี WBANs มีข้อกำหนดการออกแบบเฉพาะในการออกแบบโปรโตคอลในชั้น MAC layer ให้ตอบสนองความต้องการที่เฉพาะเจาะจงลงไปของ WBANs โดยในบริบทนี้เราแบ่งประเภทกลไกการติดต่อสื่อสารข้อมูลในชั้น MAC layer โดยเราสามารถแยกได้ตามประเภทวิธีการเข้าถึงกลไกการจัดการในการเข้าใช้งานการส่งข้อมูลได้ตามภาพประกอบที่ 1.1

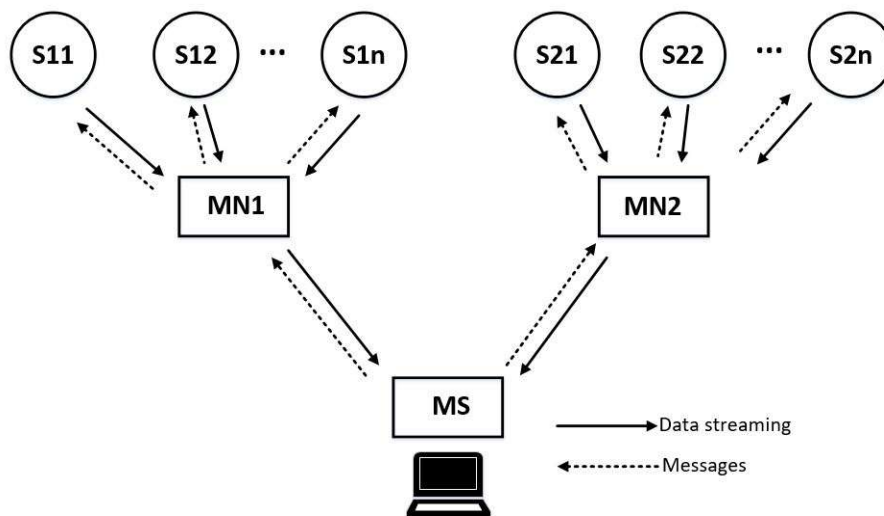


ภาพประกอบที่ 1.1 แผนภาพของกลไกการติดต่อสื่อสารข้อมูลในชั้น MAC layer ใน WBANs

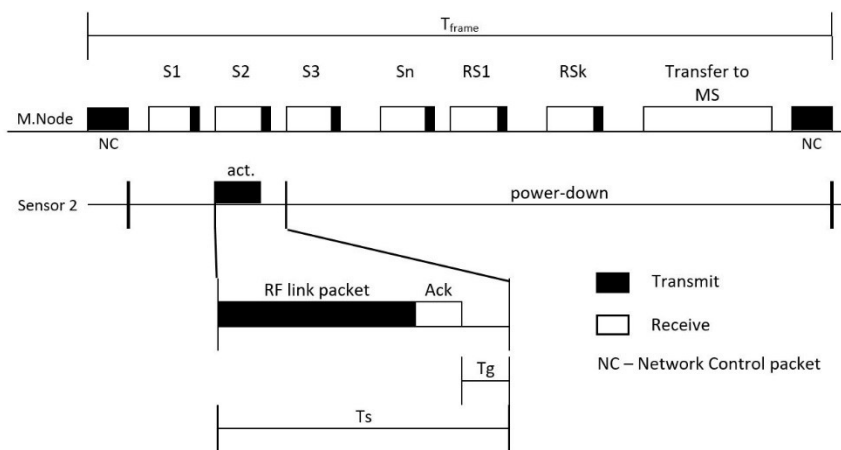
จากภาพประกอบที่ 1.1 การทบทวนวรรณกรรมสามารถแบ่งแยกการออกแบบโปรโตคอลในชั้น MAC layer ตามกลไกการติดต่อสื่อสารข้อมูลได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ประกอบไปด้วย กลไกการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบ Time-Division Multiple Access (TDMA) มีด้วยกัน 2 บทความคือ LD-TDMA [2] และ CF-MAC [3] กลไกการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบ Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) มีด้วยกัน 2 บทความคือ T-MAC [4] และ X-MAC [5] กลไกการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบ TDMA ร่วมกับกลไกการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบ CSMA/CA หรือเรียกว่าแบบ Hybrid ซึ่งเป็นลูกผสมของ TDMA และ CSMA/CA มีด้วยกัน 3 บทความคือ CA-MAC [6], AD-MAC [7] และ HyMAC [8] สุดท้ายแล้วยังมีกลไกการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบอื่น ๆ มีด้วยกัน 3 บทความคือ TBCCD-TDM [9], Cooperative-MAC [10] และ HUA-MAC [11]

1.6.1 Energy-Efficient TDMA-based MAC Protocol for Wireless Body Area Networks. (LD-TDMA) [2]

Body Area Networks (BANs) เป็นโครงสร้างการติดต่อสื่อสารที่เฉพาะโดยจะกระจายไปทั่วพื้นที่ขนาดเล็ก และใช้พลังงานต่ำ ในบทความนี้นำเสนอโปรโตคอลในชั้น MAC layer ที่ประหยัดพลังงานสำหรับการสื่อสารภายใน BANs โดยใช้กลไกการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบ TDMA เป็นพื้นฐานในการออกแบบโปรโตคอลในชั้น MAC layer และโปรโตคอลนี้ถูกนำไปใช้งานจริงในตัวอุปกรณ์ Analog Devices ADF7020 RF โดยในภาพประกอบที่ 1.2 แสดงโครงสร้างเครือข่ายการติดต่อสื่อสารโดยจะมีการส่งข้อมูลจาก Sensor Node มาที่ Master Node และ Master Node ส่งข้อมูลต่อมาที่ Monitoring Station โดยมีการส่งคำสั่งและเซตเวลาให้ตรงกัน



ภาพประกอบที่ 1.2 รูปแบบโครงสร้างเครือข่าย Wireless Body Area Networks.

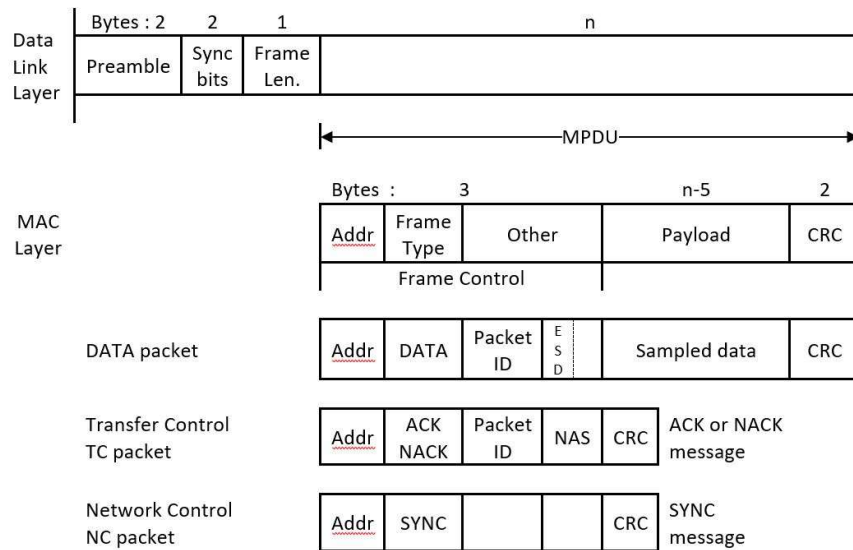


ภาพประกอบที่ 1.3 TDMA timing

ในภาพประกอบที่ 1.3 เป็นการแสดงการออกแบบ TDMA frame โดยมีเป้าหมายคือทำให้เวลาการสื่อสารมีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เมื่อเทียบกับ power down mode ของเซ็นเซอร์ระหว่างที่อยู่ในช่วง power down mode จะมีแค่ internal time counter และ periodical ADC sampling ที่ทำงาน Time slots S1-Sn จะจัดสรรให้กับเซ็นเซอร์แต่ละตัว Extra slots (RS) ถูกกันเอาไว้สำหรับส่ง packet ชั่วกรณีที่เกิดข้อผิดพลาดในการสื่อสาร ในระหว่างทุกๆการส่งข้อมูลระหว่างกันจะมีการใส่ guard time (T_g) เพื่อป้องกันการซ้อนทับกันของข้อมูล ในตอนต้นและตอนท้ายของ T_{frame} จะมีการส่ง Network Control (NC) packet สำหรับการ timer synchronisation (SYNC

message) และคำสั่งอื่นๆ โดยเซ็นเซอร์จะปรับช่วงเวลาให้ตรงกันทันทีหลังจากได้รับ SYNC message โดยในการทำงาน จะต้องมีการ resynchronisation (N_R) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (1.1)

$$N_R \leq \frac{1}{2} \left(\frac{T_g}{T_{frame} \cdot \theta} \right) \quad (1.1)$$



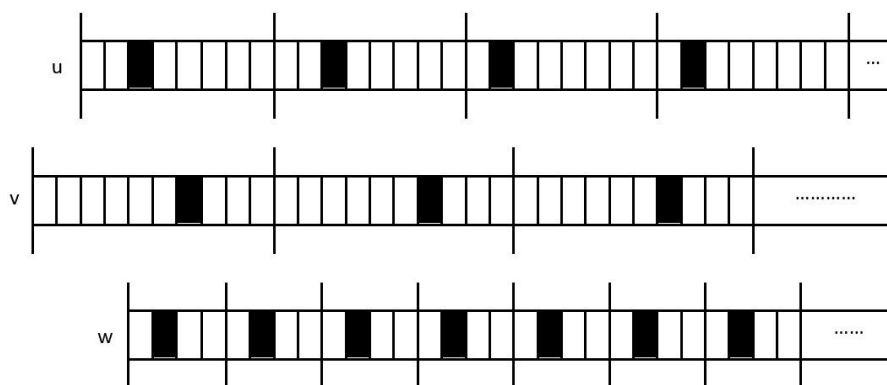
ภาพประกอบที่ 1.4 Packet formats

ในภาพประกอบที่ 1.4 เป็นการแสดงการจัดแพ็กเก็ตเกิดใน Data Link layer และ MAC layer โดยในชั้นของ MAC layer มีการแบ่ง 3 ไบต์แรกเป็น overhead ประกอบไปด้วย sensor address (Addr) ชนิดของข้อมูลที่จะส่ง (Frame type) ส่วนอื่นๆแล้วแต่แพ็กเก็ตที่เราส่ง ส่วนที่เหลือเป็นข้อมูลที่ เราจะส่ง สุดท้ายเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลด้วย CRC

1.6.2 Contention-Free MAC protocols for Wireless Sensor Networks. (CF-MAC) [3]

ในบทความนี้ได้นำเสนอโปรโตคอลในชั้น MAC layer ที่สามารถใช้ส่งการควบคุมภายในเครือข่าย WSNs ได้ โปรโตคอลในชั้น MAC layer ที่ใช้จะต้องสามารถจัดการแจกจ่าย slot time ที่ sensor node แต่ละตัวจะทำการส่งข้อมูลและป้องกันการชนกันของข้อมูลที่ส่งหากันของแต่ละ sensor node โดยที่ได้นำเสนอ MAC protocol แบบ distributed, contention-free, และ self-stabilizing ซึ่งไม่อ้างอิง global time โปรโตคอลประกอบด้วยกัน 2 ส่วน เริ่มต้น loose phase โหนดจะตั้งค่าเบื้องต้นของโปรโตคอล MAC โดยส่วนนี้จะทำงานตอนที่ยังมีโหนดในเครือข่ายไม่มาก เมื่อในเครือข่ายมีโหนดเข้ามาเรื่อยๆ ก็จะเข้าสู่ tight phase ซึ่ง tight phase ได้ออกแบบโปรโตคอลมีประสิทธิภาพ

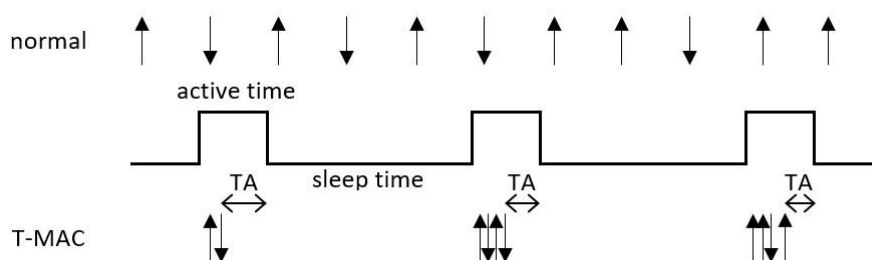
มากขึ้น โดยในการออกแบบจะให้ทุกโหนดมีขนาดสล็อตที่เท่ากัน แต่เฟรมของแต่ละโหนดไม่เท่ากันตามภาพประกอบที่ 1.5



ภาพประกอบที่ 1.5 Frames ของสามโหนด

1.6.3 An Adaptive Energy Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks.(T-MAC) [4]

การสื่อสารใน WSNs สามารถแบ่งได้เป็นหลาย layers หนึ่งในนั้นคือ MAC layer ใน layer นี้อธิบายโปรโตคอลในชั้น MAC ซึ่งทำให้มั่นใจได้ว่าจะไม่มีการชนกันของข้อมูล เนื่องด้วย เซ็นเซอร์โหนดมักใช้แบตเตอรี่ในการทำงาน การใช้พลังงานจึงมีความสำคัญมาก ตัวส่งสัญญาณวิทยุในเซ็นเซอร์โหนดเป็นส่วนประกอบที่ใช้พลังงานมากที่สุด ไม่เพียงแต่การส่งข้อมูลเท่านั้นที่ใช้พลังงาน การรับข้อมูล หรือการรอรับข้อมูลก็ใช้พลังงานมากในขณะที่โปรโตคอลในชั้น MAC layer แบบเดิมได้รับการออกแบบมาเพื่อเพิ่ม packet ให้มากที่สุด ลด Latency ในการออกแบบโปรโตคอลของ WSNs ให้ความสนใจไปที่การลดการใช้พลังงาน



ภาพประกอบที่ 1.6 โครงสร้างพื้นฐาน T-MAC protocol

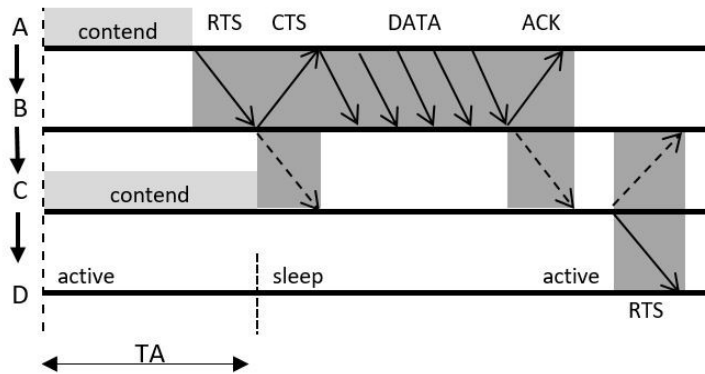
ภาพประกอบที่ 1.6 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของ T-MAC protocol ทุกโหนดจะตื่นขึ้นมาเพื่อสื่อสารกับโหนดอื่นเป็นระยะๆ จากนั้นจะเข้าสู่ sleep mode อีกครั้งจนถึง frame ถัดไปในขณะเดียวกันข้อความใหม่จะถูกจัดคิวโหนด

สื่อสารกันโดยใช้ Request-To-Send (RTS), Clear-To-Send (CTS), Data, Acknowledgement (ACK) ซึ่งให้ทั้งการหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูลและการส่งข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ โหนดจะคอยรับและส่งสัญญาณอยู่ตลอดเวลาช่วงเวลาที่ใช้งานจะสิ้นสุดลงเมื่อไม่มีการเปิดใช้งานเกิดขึ้นในช่วงเวลา TA ดังนั้น TA จะกำหนดจำนวนเวลาที่ไม่ได้ใช้งานต่อเฟรม

Frame synchronization ได้รับแรงบันดาลใจจากการทำ virtual clustering โดยเมื่อโหนดเริ่มทำงานจะต้องรอ SYNC packet ซึ่งมีเวลาจนกว่า frame ถัดไปจะเริ่มทำงาน หากโหนดได้รับ SYNC packet จากโหนดอื่นจะทำตาม SYNC packet นั้นและส่งการ SYNC ของตัวเองตามลำดับ หากโหนดมีกำหนดเวลาและรับข้อมูล SYNC ด้วยตารางเวลาที่แตกต่างจากโหนดอื่น โหนดนั้นจะต้องนำตารางเวลาทั้งสองมาใช้ นอกจากนี้ยังต้องส่งข้อมูล SYNC ด้วยตารางเวลาของตนเองไปยัง โหนดอื่นเพื่อให้ โหนดอื่นรู้เกี่ยวกับการมีอยู่ของกำหนดการอื่นๆ หากโหนดเริ่มส่งสัญญาณเมื่อเริ่มต้นเฟรมของโหนดอื่นมันอาจส่งสัญญาณไปยังอีก โหนดหนึ่งซึ่งอยู่ใกล้เคียงรูปแบบการ synchronization ที่อธิบายไว้ซึ่งเรียกว่าการทำ virtual clustering เรียกร้องให้ โหนดสร้างกลุ่มด้วยตารางเวลาเดียวกันโดยไม่บังคับใช้ตารางเวลานี้กับ โหนดทั้งหมดในเครือข่าย

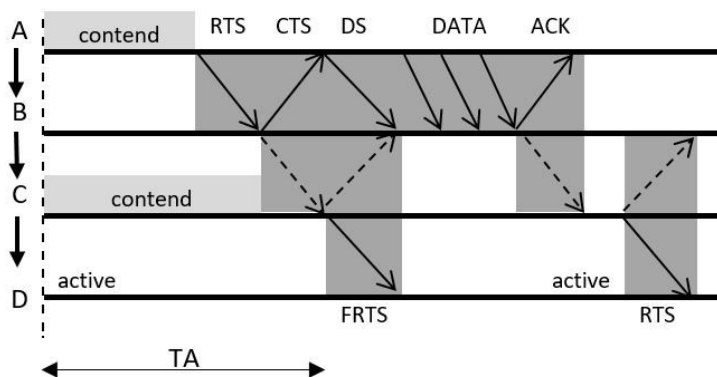
เมื่อไม่มีการส่งสัญญาณ โหนดจะเริ่มรีเซ็ตการส่งสัญญาณโดยทั่วไปแล้วรูปแบบ back-off ช่วยลดความน่าจะเป็นของการชนเมื่อโหนดสูงในขณะที่สุดความหน่วงแฝงเมื่อโหนดต่ำการส่ง RTS ใน T-MAC จึงเริ่มต้นด้วยการรอและฟังเวลาแบบสุ่มภายในช่วงเวลาการแข่งขันที่แน่นอนช่วงเวลานี้ถูกปรับสำหรับจำนวนโหนดสูงสุด เมื่อโหนดส่ง RTS แต่ไม่ได้รับ CTS กลับหนึ่งในสามสิ่งเกิดขึ้น 1. โหนดรับไม่ได้ยิน RTS เนื่องจากการชนกัน หรือ 2. โหนดรับไม่ได้รับการตอบกลับเนื่องจากได้ยิน RTS หรือ CTS หรือ 3. โหนดที่รับนั้นหลับ เมื่อ โหนดส่งไม่ได้รับคำตอบภายในช่วงเวลา TA มันอาจเข้าสู่ sleep mode อย่างไรก็ตามมันอาจจะผิดในกรณีที่ 1 และ 2: เราจะมีสถานการณ์ที่ โหนดส่งกำลังเข้าสู่ sleep mode ในขณะที่โหนดรับยังคงทำงานอยู่เนื่องจากสถานการณ์นี้อาจเกิดขึ้นแม้ที่ข้อความแรกของ frame ปริมาณงานจะลดลงอย่างมาก ดังนั้นโหนดควรลองอีกครั้งโดยส่ง RTS ใหม่ หากยังคงไม่มีการตอบกลับหลังจากผ่านการลองใหม่สองครั้งมันควรจะเลิกและเข้าสู่ sleep mode ในการกำหนดค่า TA ควรจะมีระยะเวลา $TA > C + R + T$ โดยที่ C คือความยาวของช่วงเวลา contention interval R คือความยาวของแพ็กเก็ต RTS และ T คือเวลาเปิดเครื่อง

การทดลองการจำลองเบื้องต้นพบว่ามีปัญหาเกี่ยวกับ T-MAC protocol เมื่อการสื่อสารผ่านเครือข่ายส่วนใหญ่เป็นทิศทางเดียวเช่นในรูปแบบการสื่อสารแบบ node-to-sink ปัญหานี้เป็นเรื่องง่ายในภาพประกอบที่ 7 โหนด A มีการส่งข้อมูลแต่ โหนด D ไม่ได้รับสัญญาณอะไรเหมือนกับ โหนดอื่นๆ โดยที่ข้อความไหลจากบนลงล่าง ดังนั้นโหนด A ส่งไปที่ B, B เท่านั้นถึง C และ C เท่านั้นถึง D ที่นี้ลองพิจารณา โหนด C ทุกครั้งที่ต้องการส่งข้อความถึง D มันจะต้องต่อสู้เพื่อสื่อสารและอาจส่งไปที่โหนด B เราเชื่อว่าปัญหาอาจเกิดขึ้นในรูปแบบ Asymmetric communication ดังภาพประกอบที่ 1.7



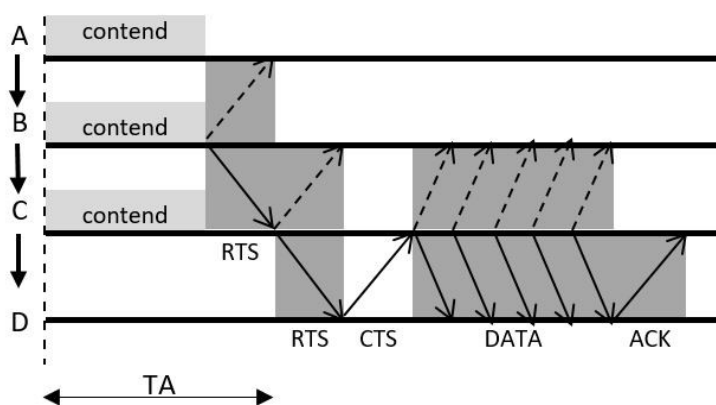
ภาพประกอบที่ 1.7 ปัญหาที่ node D เข้าสู่ sleep mode ก่อนที่โหนด C จะส่ง RTS ไปให้

วิธีแก้ปัญหาคือรูปแบบที่เราเรียกว่า future request-to-send แนวคิดก็คือเพื่อให้ โหนดอื่นรู้ว่าเรายังมีข้อความอยู่ แต่เราไม่ได้รับอนุญาตให้ส่งข้อความ โดยทำงานได้ดังนี้ถ้าโหนดได้ยิน control packet (CTS) ที่กำหนดไว้สำหรับโหนดอื่นมันอาจส่ง future-request-to-send (FRTS) packet เช่นโหนด C ในภาพประกอบที่ 1.8 FRTS packet มีความยาวของการสื่อสาร blocking data (ข้อมูลนี้อยู่ใน CTS packet) โหนดที่ได้รับ FRTS packet รู้ว่ามันจะเป็นเป้าหมายในอนาคตของ RTS packet และจะต้องตื่นขึ้นในเวลาสั้นเพื่อป้องกันไม่ให้โหนดอื่นใช้ช่องสัญญาณในช่วงเวลานี้โหนดที่ส่ง RTS เริ่มต้น (โหนด A ในภาพประกอบที่ 1.8) จะส่ง Data-Send (DS) packet ขนาดเล็กหลังจาก DS packet มันจะต้องส่ง normal data packet ทันทีสำหรับ FRTS solution ในการทำงาน TA จะต้องเพิ่มขึ้นตามความยาวของ CTS ดังต่อไปนี้ จากภาพประกอบที่ 1.8 การใช้คุณสมบัติ FRTS เพิ่มปริมาณงานสูงสุดในรูปแบบการสื่อสารทิศทางเดียวประมาณ 75% อย่างไรก็ตามเนื่องจาก overhead ที่สูงขึ้นของ DS และ FRTS packets การใช้พลังงานจึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



ภาพประกอบที่ 1.8 Future-request-to-send packet

วิธีที่สองคือรูปแบบที่เราเรียกว่า full-buffer priority โหนดได้รับ RTS packet ที่กำหนดไว้โหนดนั้นจะส่ง RTS packet ของตนเองไปยังโหนดอื่นทันทีแทนที่จะตอบกลับด้วย CTS เช่นปกติ ในภาพประกอบที่ 1.9 มันแสดง 2 ผลลัพธ์ ประการแรกโหนดมีโอกาสที่สูงขึ้นในการส่งข้อความของตัวเอง เนื่องจากมันชนะในการส่งข้อมูลเมื่อได้ยินการแข่งขัน RTS ในภาพประกอบที่ 1.9 โหนด C อาจส่งต่อไปยัง โหนด D หลังจากสูญเสียการแข่งขันไปที่ โหนด B ดังนั้นความน่าจะเป็นที่ปัญหาการนอนหลับเร็วจะเกิดขึ้นน้อยกว่า ประการที่สองโครงสร้าง full-buffer priority แนะนำรูปแบบที่จำกัดของการควบคุมการไหลเข้าสู่เครือข่าย ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบในรูปแบบการสื่อสารแบบ nodes-to-sink ในภาพประกอบที่ 1.9 โหนด B ถูกป้องกันไม่ให้ส่งจนกว่า โหนด C มีพื้นที่ buffer เพียงพอ

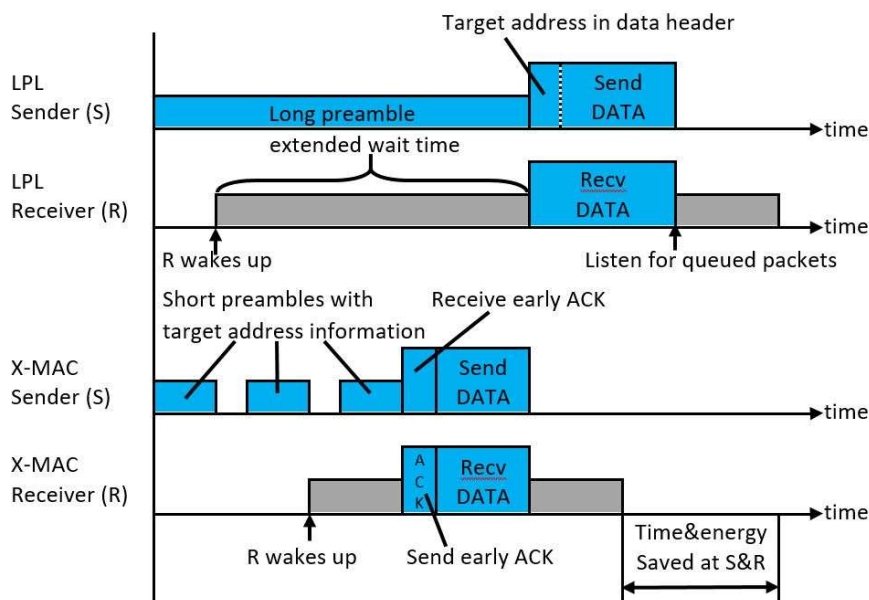


ภาพประกอบที่ 1.9 Taking priority เมื่อได้รับ RTS

การจำลองข้อมูลในโปรแกรมแสดงให้เห็นว่า T-MAC protocol นำเสนอวิธีการลดการใช้พลังงานในสภาพแวดล้อมที่มีความผันผวนซึ่งอัตราข้อความผันผวนในเวลาหรือในสถานที่การใช้ T-MAC protocol ได้แสดงให้เห็นว่าในระหว่างที่โหลดสูง node จะสื่อสารโดยไม่ต้องนอนหลับ แต่ในช่วงที่โหลดต่ำมากโหนดจะใช้เวลาติดต่อสื่อสารเพียง 2.5% ของเวลาช่วยประหยัดได้มากถึง 96%.

1.6.4 X-MAC: A Short Preamble MAC Protocol for Duty-Cycled Wireless Sensor Networks.(X-MAC) [5]

ในบทความนี้ได้แนะนำเสนอ X-MAC protocol ซึ่งเป็นโปรโตคอลที่มีการใช้พลังงานต่ำสำหรับ WSNs โดยโปรโตคอลในชั้น MAC layer เป็นพื้นฐานที่พัฒนาสำหรับ duty-cycled WSNs เช่น BMAC ซึ่งเป็น MAC protocol เริ่มต้นสำหรับ TinyOS ในขณะที่ “low power listening” นั้นที่เรียบง่าย, asynchronous, และประหยัดพลังงานแต่มีการเปิดเครื่องรับเป็นเวลานานทำให้ไม่มีประสิทธิภาพในการทำงาน X-MAC นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาเหล่านี้โดยใน short preamble ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1.10

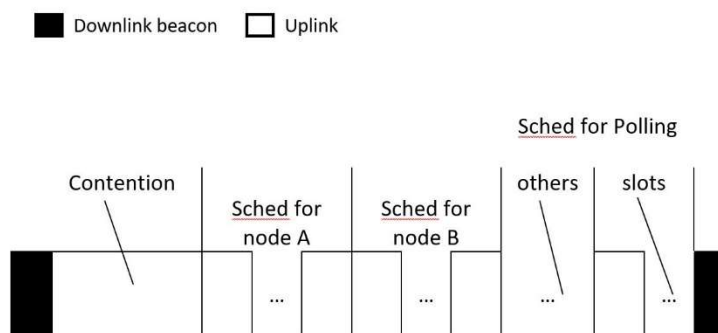


ภาพประกอบที่ 1.10 เปรียบเทียบระยะเวลาระหว่าง LPL's extended preamble กับ X-MAC's short preamble

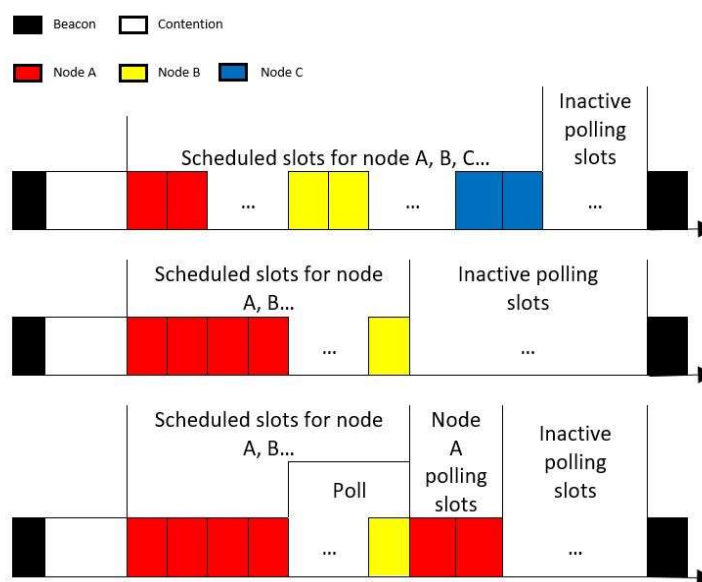
X-MAC ใช้วิธี strot preamble approach โดยส่งชุดของ short preamble packets แต่ละชุดประกอบด้วย ID ของ node เป้าหมายชุดของ short preamble packets นั้นมีความคล้ายคลึงกับ continuous preamble การหยุดชั่วคราวระหว่าง preamble packets ช่วยให้ โหนดเป้าหมายส่ง acknowledgment ที่หยุดลำดับของ preamble packets การตัด preamble จะช่วยประหยัดพลังงานทั้งเครื่องส่งและเครื่องรับ และช่วยให้ลดเวลาในการตอบสนอง โหนดที่ไม่ใช่เป้าหมายซึ่งได้ยิน preamble สามารถกลับไปนอนได้ทันทีแทนที่จะตื่นตัวสำหรับ full preamble เช่นเดียวกับ LPL ทั่วไป บทความนี้แสดงให้เห็นถึง lightweight algorithm สำหรับการปรับ X-MAC เพื่อเลือกช่วงเวลาการนอนหลับที่เหมาะสมและการฟังที่เหมาะสม ซึ่งสามารถทำงานได้ดีกว่า LPL ทั่วไป

1.6.5 CA-MAC: A Hybrid Context-aware MAC Protocol for Wireless Body Area Networks.(CA-MAC) [6]

งานวิจัยที่นำเสนอรูปแบบการติดต่อสื่อสารไร้สายแบบ CA-MAC ซึ่งผสมระหว่าง TDMA-based MAC and contention-based MAC โดยได้ออกแบบ frame structure ตามภาพประกอบที่ 1.11 โดยในตอนเริ่มต้น master โหนดจะส่ง beacon packet ไปที่เซ็นเซอร์โหนดต่างๆในระบบเพื่อจัดสรรช่วงเวลาในการส่งข้อมูลของแต่ละตัว เมื่อมีความต้องการในการใช้งาน bandwidth ที่เปลี่ยนไประบบสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามภาพประกอบที่ 1.12



ภาพประกอบที่ 1.11 โครงสร้าง CA-MAC frame



ภาพประกอบที่ 1.12 การจัดการ Traffic-aware adjustment of TDMA slots

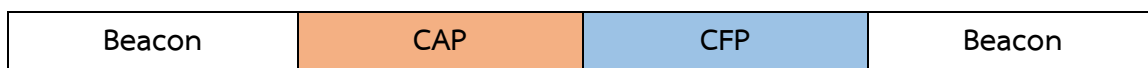
1.6.6 An All Dynamic MAC Protocol for Wireless Body Area Network (AD-MAC) [7]

งานวิจัยนี้นำเสนอรูปแบบการติดต่อไร้สายกำลังต่ำจากตัวเซ็นเซอร์โหนดต่างๆที่ติดตามร่างกายมนุษย์โดยใช้ AD-MAD protocol เป็นตัวจัดการการติดต่อสื่อสารโดยจะแบ่งลำดับความสำคัญของแต่ละโหนดโดยจะแบ่งระดับความสำคัญออกเป็น 3 ระดับที่ level 0 มีความสำคัญมากที่สุด และ level 2 มีความสำคัญต่ำที่สุด เป็นตามตารางที่ 1.1 โดยโหนดที่มีความสำคัญสูงจะมี Contention Window (CW) Bounds ที่น้อยที่สุด

ตารางที่ 1.1 Contention Window Bounds for AD-MAC.

User Priority	AD-MAC	
	CW_{min}	CW_{max}
2	4	8
1	2	8
0	1	4

ในการออกแบบ Super-frame structure จะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง Contention Access Phase (CAP) และ Contention Free Phase (CFP) ตามภาพประกอบที่ 1.13 โดยในช่วง CAP จะใช้ CSMA/CA ในการจัดการส่งข้อมูล และ CFP จะใช้ TDMA ในการจัดสรรช่วงเวลาในการส่งข้อมูลจากโหนดต่างๆที่ไม่ใช่ central node โดยจัดเรียงตามลำดับความสำคัญ



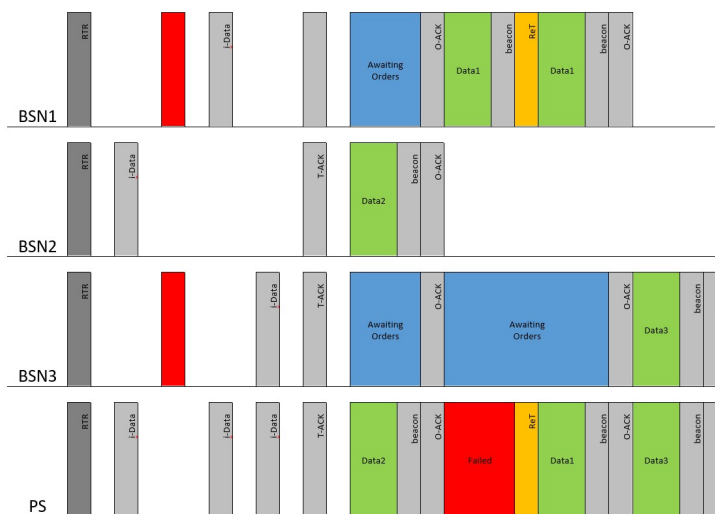
ภาพประกอบที่ 1.13 โครงสร้างของ Super-frame ใน AD-MAC

ประสิทธิภาพของ AD-MAC เมื่อนำไปจำลองในโปรแกรม OMNET++ เปรียบเทียบกับ IEEE802.15.6 MAC และ CA-MAC เปรียบเทียบการสูญเสียแพ็กเก็ตของแต่ละโหนด จะเห็นว่า AD-MAC มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแพ็กเก็ต packet loss ต่ำที่สุดในทุกๆโหนดในการใช้พลังงานของแต่ละแบบจะเห็นว่าแบบ AD-MAC ใช้พลังงานต่ำที่สุดในทุกๆโหนด

1.6.7 Wireless Body Area Networks MAC Protocol for Energy Efficiency and Extending Lifetime. (HyMAC) [8]

Wireless body area networks (WBANs) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของ Internet of things และ sensor networks กำลังกลายเป็นสิ่งสำคัญในการตรวจสอบสุขภาพและบริการความบันเทิง เช่น เซ็นเซอร์โหนดในแอปพลิเคชันเหล่านี้จำเป็นต้องส่งข้อมูลไปยัง personal station (PS) และรับข้อมูลควบคุมจาก PS เพื่อปรับโหมดการทำงานอย่างไรก็ตามความแตกต่างระหว่าง PS กับเซ็นเซอร์โหนดคือ PS ไม่มีปัญหาเรื่องการใช้พลังงาน ซึ่งต่างจากเซ็นเซอร์โหนดที่จะทำการชาร์จใหม่ได้ยาก ทำให้เซ็นเซอร์โหนดจะประสบปัญหาการขาดแคลนพลังงานซึ่งส่งผลต่ออายุการใช้งานของเซ็นเซอร์โหนด เพื่อแก้ปัญหานี้เราได้ออกแบบโปรโตคอลในชั้น MAC layer ใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและยืดอายุการใช้งานของ body sensor nodes (BSNs) ใน WBAN protocol ที่นำเสนอใช้รูปแบบ hybrid ซึ่งใช้ประโยชน์จากทั้ง CSMA/CA และ TDMA ตามภาพประกอบที่ 1.14

ในการออกแบบ WBAN system ใช้ลักษณะการติดต่อกันแบบ star-topology ในการติดต่อสื่อสารกันตั้งแต่ 3 ถึง 9 BSNs โดยมี PS เป็นตัวรวบรวมข้อมูลจาก BSN จากนั้นส่งข้อมูลไปยังเครือข่ายและรับคำสั่งจากเครือข่ายเพื่อควบคุม BSNs โดย ผ่าน PS นั้น BSNs สามารถเข้าถึงเครือข่ายและการวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบ IoT



ภาพประกอบที่ 1.14 ตัวอย่าง sending period ของสาม nodes ใน BANs

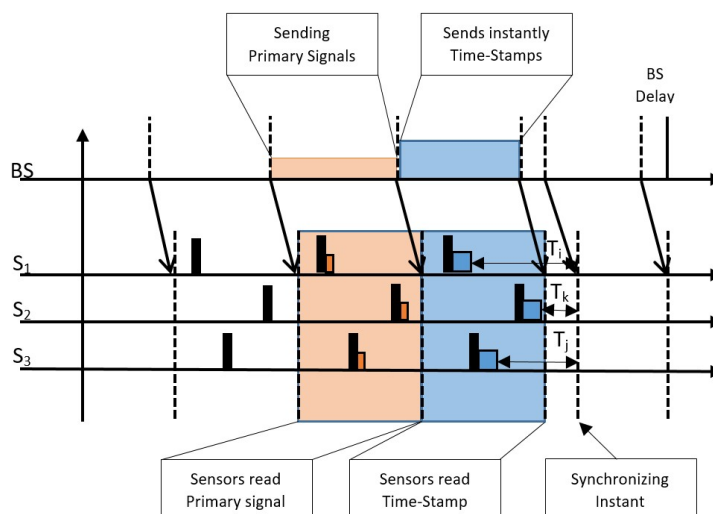
ในส่วนนี้เราจะอธิบายโครงสร้าง CSMA/CA-TDMA hybrid ของ protocol ที่เสนอโดยละเอียดสำหรับ sending period ของ BSNs ช่วงเวลานี้ถือได้ว่าเป็น receiving period ของ PS ในตอนแรกในช่วง CSMA/CA นั้น PS จะส่งสัญญาณ ready to receive (RTR) ไปยัง BSNs ทั้งหมดเพื่อแจ้งให้แต่ละ BSNs ทราบว่าสามารถรับข้อมูลได้ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1.14 เราใช้ 3 BSN เป็นตัวอย่าง จากนั้น BSNs ทั้งหมดจะเริ่มต้น CSMA/CA และส่ง information data (i-Data) ไปยัง PS ตามขนาด CW ของ CSMA/CA i-Data ของ BSN มีข้อมูลของตัวเองรวมถึง ID number เพื่อประหยัดพลังงาน PS จะเผยแพร่ total acknowledgment (T-ACK) เมื่อสิ้นสุดรอบระยะเวลาการทำงานของ CSMA/CA เพื่อแจ้งให้ BSN ทั้งหมดได้รับ i-Data แทนที่จะส่ง ACK ทุกครั้งหลังจากได้รับ i-Data ลำดับการส่งสัญญาณของ BSN รวมอยู่ใน T-ACK ดังนั้น BSN ทุกคนจะรู้คิวการส่งสัญญาณในช่วงเวลา TDMA ที่กำลังจะมาถึง

ในช่วงเวลา TDMA ของรูปแบบ hybrid อันดับแรกเราขอแนะนำสถานะ awaiting orders (AO) ของ protocol ที่เสนอซึ่งเป็นสถานะที่ไม่ได้ใช้งานเฉพาะจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาของ TDMA เท่านั้น หาก BSNs อยู่ในสถานะ AO synchronous clock จะยังคงทำงานอยู่ การดำเนินการอื่นของโหนดจะหยุดเพื่อประหยัดพลังงาน เฉพาะ active beacon ที่ระบุหมายเลขของโหนดเท่านั้นที่สามารถใช้งาน BSNs ที่สอดคล้องกันจากสถานะ AO ไปยัง active states ดังตัวอย่างที่แสดงในภาพประกอบที่ 1.14 BSN 2 เป็นคนแรกที่ส่งข้อมูลตามด้วย BSN 1 และ BSN 3 เป็นคนสุดท้ายในตอนท้ายของแต่ละ data packet จะมีสัญญาณ beacon ให้แจ้ง PS และหลีกเลี่ยงการสูญเสียแพ็กเก็ตเกิดขึ้นตอนแรกคือ BSN 2 ส่ง Data2 ไปยัง PS โดยมี beacon สิ้นสุดที่ส่วนท้ายของ data packet, PS ได้รับ Data2 สำเร็จแล้ว และ

เผยแพร่ order acknowledgment (O-ACK) ไปยัง node ถัดไปพร้อม active beacon และ node's ID ของ BSN 1 ของ node ในคิวการส่งถัดไปตามตัวอย่างของภาพประกอบที่ 1.14 จากนั้น BSN1 จะเริ่มการส่งทันทีที่ได้รับ O-ACK เพื่ออธิบายช่วงเวลาที่ทำกรส่งใหม่เรา ถือว่า BSN 1 ล้มเหลวในการส่งข้อมูลครั้งแรก ดังนั้น BSN 1 ไม่ได้รับ O-ACK หลังจากส่ง beacon สิ้นสุด เป็นผลให้ BSN 1 ส่ง retransmission beacon (ReT) เพื่อแจ้งให้ PS ทราบว่าการส่งสัญญาณใหม่จะเริ่มขึ้น PS ส่ง O-ACK ให้ทุกโหนด หลังจากได้รับ beacon สิ้นสุดจาก BSN 1 ในช่วงระยะเวลาการส่งและช่วงเวลาที่ทำกรส่งใหม่ของ BSN 1 นั้น BSN 3 จะอยู่ใน AO เพื่อประหยัดพลังงาน สุดท้ายการทำงานทั้งหมดของโปรโตคอลจะสิ้นสุดหลังจาก BSN3 ส่งข้อมูลไปยัง PS ผลการวิเคราะห์และการศึกษาแบบจำลอง แสดงให้เห็นว่า HyMAC มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานดีกว่า QS-PS ที่ 6-10% และมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานดีกว่า CPMAC ที่ 10-15%

1.6.8 TBCD-TDM: Novel Ultra-low Energy Protocol for Implantable Wireless Body Sensor Networks.(TBCD-TDM) [9]

ในบทความนี้แนะนำเสนอวิธีการสื่อสารใน implantable wireless body sensor networks (IWBSNs) ที่ต้องการความน่าเชื่อถือ ขนาดที่เล็กมาก การใช้งานแบตเตอรี่ที่ยาวนานและรวบรวมข้อมูลประมวลผลและส่งสัญญาณแบบไร้สายอย่างมีประสิทธิภาพ สิ่งนี้จะช่วยพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยและลดความเสี่ยงของการติดเชื้อเนื่องมาจากการผ่าตัดบ่อยๆ ในการส่งค่าของข้อมูลในแต่ละรอบข้อมูลจะถูกเข้ารหัสและสัญญาณข้อมูลขนาดที่สั้นมากเท่านั้นที่จะถูกส่งไปยัง base station (BS) เพื่อจะช่วยให้อายุการใช้งานแบตเตอรี่ของ sensor node ในร่างกาย โดยตัวรับส่งจะมีช่วงเวลาการทำงานที่ต่ำซึ่งเป็น sleep mode เกือบตลอดเวลา



ภาพประกอบที่ 1.15 โครงสร้าง Time Synchronization

Time synchronization ใน WSNs มีบทบาทสำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องรองรับกับเซ็นเซอร์แบบกระจายศูนย์ขนาดใหญ่ในโครงสร้างของ WSNs คุณลักษณะที่สำคัญที่สุดที่ควรพิจารณาใน time synchronization สำหรับ WSNs ได้แก่ อายุการใช้งาน ความแม่นยำและประสิทธิภาพ ในบทความนี้มีการนำเสนอ time synchronization algorithm แบบใหม่ที่ใช้งานกับโปรโตคอลการสื่อสารที่เสนอสำหรับ IWBSN ในภาพประกอบที่ 1.15 แสดงการทำงานระหว่างสาม sensor node (S1, S2 และ S3) และ BS ใน algorithm นี้เมื่อใดก็ตามที่ BS ตรวจพบความแตกต่างของเวลาจากเซ็นเซอร์โหนดหนึ่งโหนดขึ้นไปมันจะหยุดอ่านข้อมูลจากเซ็นเซอร์โหนด และเข้าสู่ synchronization mode จากนั้นจะส่งสัญญาณสั้นๆ (Pr_Signal) อย่างต่อเนื่องภายในหนึ่งรอบ sensor cycle นี่คือการแจ้งให้เซ็นเซอร์โหนดทั้งหมดเข้าสู่ synchronization mode ใน sensor cycle ต่อไป sensor cycle เป็นเวลาที่เซ็นเซอร์โหนดทั้งหมดส่งข้อความครั้งเดียวในภาพประกอบที่ 1.15 Time-Stamp ที่เซ็นเซอร์อ่าน S1, S2 และ S3 แสดงตามลำดับเป็น T_i , T_j และ T_k Time-Stamp เหล่านี้ถูกคำนวณใน BS เพื่อให้ Sync_Counters ที่ลดลงทั้งหมดใน เซ็นเซอร์โหนดทั้งหมดถึงศูนย์ในเวลาเดียวกันซึ่งเป็นการ synchronization วิธีนี้ เซ็นเซอร์โหนดจะอยู่ใน listening mode สั้นที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้จนกว่าจะได้รับ Pr_Signal จากนั้นเตรียมตัวสำหรับ Sync_Cycle เพื่ออ่าน Time-Stamp

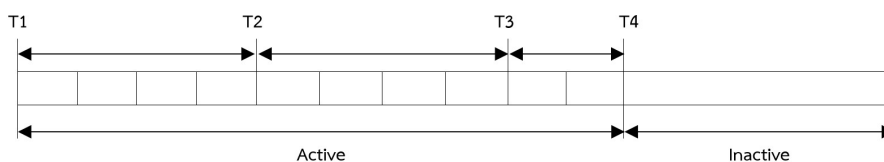
1.6.9 A Cooperative Medium Access Control Protocol for Mobile Clusters in Wireless Body Area Networks. (Cooperative-MAC) [10]

ความก้าวหน้าในเทคโนโลยีของ wireless sensor network (WSN) ทำให้การพัฒนาด้านการดูแลสุขภาพเป็นผลให้แอปพลิเคชันด้านการดูแลสุขภาพแบบไร้สายจำนวนมากกำลังเกิดขึ้นในหลาย ๆ สถานการณ์มันเป็นเรื่องธรรมดามากที่โหนดมีความสามารถในการเคลื่อนที่ตัวอย่างเช่น โหนดใน body area networks เคลื่อนที่ไปพร้อมกับ การเคลื่อนไหวของผู้ใช้ โปรโตคอลในชั้น MAC layer ในแอปพลิเคชันดังกล่าวควรคำนึงถึงความคล่องตัวของกลุ่มด้วย

ในบทความนี้นำเสนอวิธี hybrid protocol ระหว่าง TDMA based and FDMA based เพื่อจัดการกับ mobile clusters ใน WSNs. ในตอนแรกต้องการแบ่งเครือข่ายทั้งหมดออกเป็นสองเครือข่ายย่อยที่แยกออกเป็น environmental network และ wireless body area network (WBAN) ในแต่ละเครือข่ายใช้ความถี่ที่แตกต่างกันสองแบบในการสื่อสารระหว่างกันด้วยวิธีการจัดการโปรโตคอลแบบ hybrid นี้สามารถหลีกเลี่ยงการชนใน mobile cluster ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากเครือข่ายที่มีขนาดเล็กใช้ความถี่ที่แตกต่างกันในการส่งสัญญาณความพยายามในการชิงโครโนซ์และความร่วมมือระหว่างเครือข่ายย่อยทั้งสองจึงเป็นสิ่งจำเป็น ในส่วนนี้บทความเสนอโปรโตคอลในชั้น MAC layer ของที่มีส่วน environmental sub-network ส่วน body area sub network เป็นส่วนที่ร่วมมือกันของทั้งสองเครือข่ายที่มีขนาดเล็ก

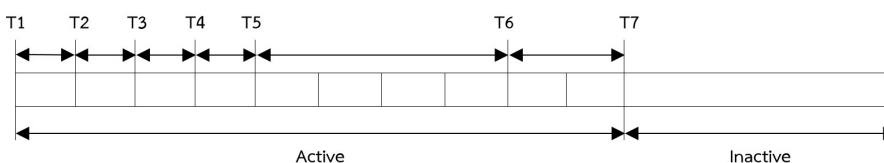
เซ็นเซอร์ใน environmental sub-network ปฏิบัติตามกลไกการเข้าถึงช่องสัญญาณตามกำหนดเวลาทุก TDMA frame แบ่งออกเป็น active part และ inactive part นอกจากนี้ active part จะถูกแบ่งพาร์ติชันออกเป็นหลาย

ช่องด้วยขนาดเดียวกัน โหนดยังคงทำงานอยู่ใน active part และปิดสัญญาณวิทยุใน inactive part ภาพประกอบที่ 1.16 เป็นรูปภาพที่แสดงโครงสร้างของ TDMA frame สำหรับ environmental nodes โดยละเอียด



ภาพประกอบที่ 1.16 TDMA frame สำหรับ environmental network

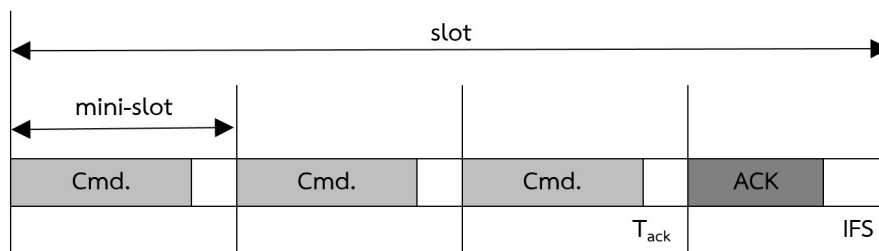
Body area network มักจะประกอบด้วยเซ็นเซอร์ที่สวมใส่และฝังอยู่หลายตัวเพื่อวัดสัญญาณชีพที่บ่งบอกถึงสภาพร่างกายที่แข็งแรงของผู้ใช้ในการทำงานเดียวกัน เซ็นเซอร์ทั้งหมดเหล่านี้จะถือว่าเป็นตัวรับส่งสัญญาณเดียว แต่พวกเขาสามารถเปลี่ยนเป็นช่องเซ็นเซอร์สิ่งแวดล้อม โดยใน subnetwork แบบที่มี 1 hop วิธีแบบ star-based โหนดทำหน้าที่เป็น cluster head (CH) และ โหนดอื่น ๆ ถ่ายโอนข้อความที่รับรู้ไปยัง CH ไม่มีการสื่อสารระหว่างโหนดใกล้เคียงกัน โครงสร้างของ TDMA frame ของ WBANs นั้นเหมือนกับโครงสร้างของ environmental network ภาพประกอบที่ 1.17 เป็นรูปภาพเพื่อแสดงโครงสร้างของ TDMA frame ของ WBANs



ภาพประกอบที่ 1.17 TDMA frame สำหรับ WBAN

1.6.10 Hybrid Unified-Slot Access Protocol for Wireless Body Area Networks. (HUA-MAC) [11]

Wireless body area network (WBANs) solution เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่เกิดขึ้นใหม่เพื่อแก้ไขปัญหาการเชื่อมต่อพื้นที่ขนาดเล็กกรอบ ๆ ร่างกายมนุษย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานทางการแพทย์ตามโครงสร้าง superframe รวมของ IEEE 802.15.4 modified medium access control (MAC) protocol ชื่อ Hybrid Unified-slot Access (HUA) protocol สำหรับ WBANs นั้นเน้นที่ความเรียบง่าย ความน่าเชื่อถือและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เมื่อพิจารณาถึงการสนับสนุนเทคโนโลยีหลากหลาย physical layer (PHY), ultra-wide band (UWB), the slotted ALOHA ถูกใช้ในช่วงการเข้าถึง contention (CAP) เพื่อร้องขอการจัดสรรช่วงเวลา Mini-slot method ได้รับการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการแข่งขันยิ่งกว่านั้นการจัดสรร slot ที่เพียงพอในช่วง contention-free period (CFP) ทำให้ HUA สามารถปรับให้เข้ากับการรับส่งข้อมูลที่แตกต่างกันรวมถึงแอปพลิเคชันทางการแพทย์และไม่ใช่การแพทย์



ภาพประกอบที่ 1.18 Mini-slot concept

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการแข่งขันได้นำแนวคิดของ mini-slot มาใช้ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1.18 slot CAP หนึ่งอันประกอบด้วยสล็อตขนาดเล็ก 4 สล็อต การสื่อสารและการตอบรับจะเสร็จสมบูรณ์ภายในสล็อตขนาดเล็ก 4 สล็อต สล็อตขนาดเล็กจำนวนมากเพิ่มระยะเวลาของสล็อตซึ่งอาจทำให้ทรัพยากรสิ้นเปลืองสำหรับการส่ง CFP เพราะเราใช้ประโยชน์จากระยะเวลาเดียวกันสำหรับ CFP slot และ CAP slot ดังนั้น HUA MAC protocol จึงออกแบบให้มีสล็อตขนาดเล็ก 4 สล็อต

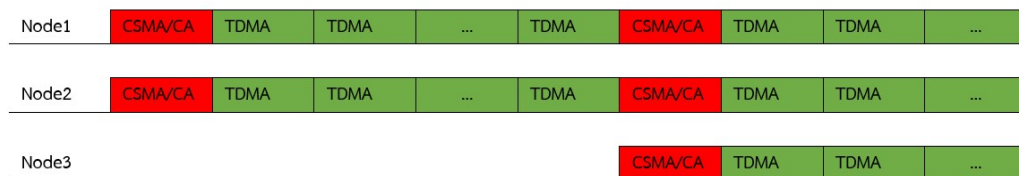
ผลการจำลองแสดงว่า โปรโตคอลลดความน่าจะเป็นของการชนของข้อมูลใน CAP ได้อย่างมีประสิทธิภาพและขยาย slots ใน CFP เพื่อรองรับปริมาณการใช้งานที่มากขึ้นด้วยการรับประกัน quality of service (QoS)

ตารางที่ 1.2 เปรียบเทียบการทบทวนวรรณกรรม

ชื่อ MAC Protocol	กลไกการทำงาน	รูปแบบการต่อเชื่อม	รูปแบบการควบคุมการสื่อสาร	มาตรฐานทางการสื่อสาร	จุดเด่นสำคัญในการติดต่อสื่อสาร	สิ่งที่สนใจศึกษา	การทดสอบ	จำนวนโหนดที่ใช้งาน	ความถี่ที่ใช้
LD-TDMA Y-2009	TDMA	Star	Centralized	-	ใช้พลังงานต่ำและมีการใช้งานใน Analog Devices ADF7020 RF transceivers	energy efficiency and duty cycle	ทดสอบในตัวอุปกรณ์ ADF7020 RF, ISM Band, FSK/ASK Transceiver IC	20 โหนด	433 MHz
CF-MAC Y-2005	TDMA	Mesh	Decentralized	-	-การทำให้เสถียรในตัวเองและไม่จำเป็นต้องมี global time reference. -protocol จะทำให้เสถียรอัตโนมัติเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเครือข่ายใด ๆ	-	ศึกษาข้อมูลทางทฤษฎี	-	-
T-MAC Y-2003	CSMA/CA	Tree	Decentralized	IEEE 802.11	รองรับการเปลี่ยนแปลงของโหนดในเวลาและสถานที่ โดยปรับ duty-cycle ในลักษณะที่แปลกใหม่ ลดปริมาณของพลังงานที่สูญเสียไปเมื่อไม่ได้ใช้งาน	energy efficiency	-จำลองข้อมูลในโปรแกรม OMNeT++ -ทดสอบในตัวอุปกรณ์ EYES hardware	4 โหนด	868.35 MHz
X-MAC Y-2006	CSMA/CA	Star	Centralized	IEEE 802.15.4	การสื่อสารพลังงานต่ำใช้วิธี strobed preamble ที่ส่งชุดของ short preamble packets ไปยังผู้รับเป้าหมาย	energy efficiency and lightweight algorithm	ทดสอบในตัวอุปกรณ์ Chipcon CC2420	9 โหนด	2.4 GHz
CA-MAC Y-2011	CSMA/CA+TDMA	Star	Centralized	IEEE 802.15.4 IEEE 802.15.6	การนำเสนอ dynamic control mechanism เพื่อแก้ไขปัญหาช่องสัญญาณ fading โดยปรับเปลี่ยนโครงสร้าง MAC frame	transmission reliability and efficiency	จำลองข้อมูล	4 โหนด	2.4 GHz
AD-MAC Y-2016	CSMA/CA+TDMA	Star	Centralized	IEEE 802.15.6	Protocol นี้ นำเสนอ dynamic priority control, dynamic timeslot allocation mechanism และ dynamic length allocation mechanism ทำให้ได้การส่งสัญญาณที่เชื่อถือได้และสิ้นเปลืองพลังงานต่ำ	energy efficiency, delay and reliability	จำลองข้อมูลในโปรแกรม OMNET++	5 โหนด	2.4 GHz
HyMAC Y-2018	CSMA/CA+TDMA	Star	Centralized	IEEE 802.15.6	AO state ลดการใช้พลังงานสำหรับ BSN เพื่อประหยัดพลังงานและยืดอายุการใช้งานของ BSN	energy efficiency	จำลองข้อมูลในโปรแกรม NS-3.26	9 โหนด	2.4 GHz
Proposed method	CSMA/CA+TDMA	Mesh	Decentralized	IEEE 802.15.4	ใช้ CSMA/CA ในช่วงแรกในการจัดการ time slot ของแต่ละ nodes แล้วแต่ละ nodes ส่งข้อมูลแบบ TDMA ทำให้มีช่วงเวลา sleep ที่นานทำให้ใช้งานได้ยาวนานขึ้น	energy efficiency and reliability	ทดสอบในตัวอุปกรณ์จริง	3 โหนด	2.4 GHz

1.7 ประเด็นวิจัย

การทำงานโดยรวมของทั้งระบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ จะเป็นการออกแบบวิธีการสื่อสารข้อมูลในชั้นของ MAC Protocol โดยที่ได้ออกแบบเป็นการรวมกันของวิธีการสื่อสารแบบ CSMA/CA และวิธีการสื่อสารแบบ TDMA เข้ามารวมกันเพื่อให้เครือข่ายมีประสิทธิภาพในการสื่อสารและประหยัดพลังงาน โดยเราใช้วิธีการสื่อสารแบบ CSMA/CA มาจัดสรรช่วงเวลาในการส่งแพ็คเก็ตของแต่ละโหนดในระบบ และใช้วิธีการสื่อสารแบบ TDMA ในการส่งแพ็คเก็ตให้มีประสิทธิภาพในการสื่อสารและประหยัดพลังงาน โดยช่วงที่โหนดไม่ได้อยู่ในช่วงเวลาที่ส่งจะเข้าสู่ sleep mode ทำให้ใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพประกอบที่ 1.19 การทำงานของระบบ

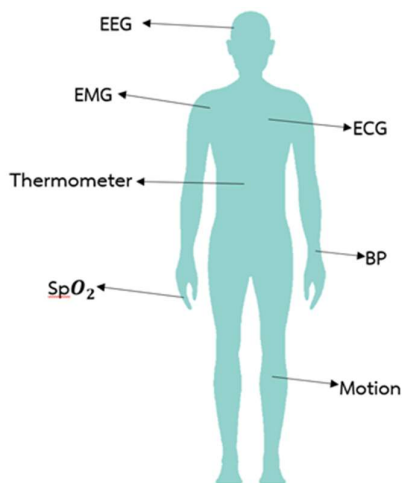
จากภาพประกอบที่ 1.19 แสดงช่วงจังหวะเวลาในการใช้วิธีการสื่อสารแบบ CSMA/CA และวิธีการสื่อสารแบบ TDMA โดยในช่วงแรกมีสองโหนดเท่านั้นในเครือข่าย เมื่อเวลาผ่านไปมีโหนดสามต้องการเข้ามาอยู่ในเครือข่าย โดยต้องรอให้ถึงช่วงการทำ CSMA/CA ใหม่ก่อน ถึงจะสามารถแย่งชิงช่วงเวลาในการส่งแบบ TDMA ในรอบใหม่ได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 Wireless Body Area Networks (WBANs)

Wireless body area networks (WBANs) เป็นส่วนหนึ่งของ Wireless sensor networks (WSNs) โดยที่ WBAN มีความเฉพาะด้านที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารไร้สายจากเซ็นเซอร์วัดสัญญาณชีพที่ได้จากร่างกายมนุษย์หรือภายในร่างกาย WBANs เป็นเครือข่ายไร้สายที่มีขนาดเล็ก และมีความจำเป็นที่จะต้องใช้พลังงานต่ำแต่จะต้องมีความน่าเชื่อถือ WBANs เป็นเทคโนโลยีที่สำคัญในการดูแลสุขภาพผู้ป่วยแบบ real-time และวินิจฉัยโรค ตัวอย่างค่าต่าง ๆ ที่สามารถวัดได้จากร่างกายมนุษย์ประกอบไปด้วยดังภาพประกอบที่ 2.1 [12-16] และความแตกต่างกันระหว่างมาตรฐาน IEEE 802.15.6 กับมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ตามตารางที่ 2.1



ภาพประกอบที่ 2.1 ตัวอย่างของความหลากหลายของ nodes ใน WBANs

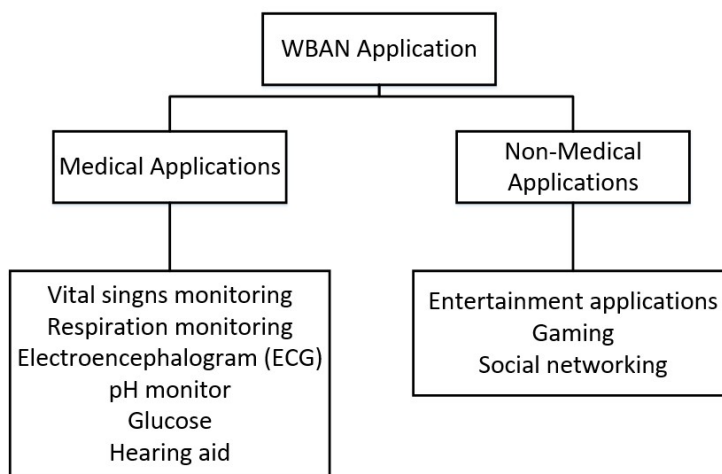
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบกันระหว่าง WBANs IEEE 802.15.6 กับ WSNs IEEE 802.15.4

Conditions	IEEE 802.15.6 (WBANs)	IEEE 802.15.4 (WSNs)
Deployment and Density	เครือข่ายใน WBANs ไม่ได้ขึ้นอยู่กับอย่างหนาแน่น ดังนั้นจำนวนโหนดที่จำเป็นเท่านั้นที่จะถูกใช้งาน ในกรณีที่โหนดเสียหาย WBANs การเปลี่ยนโหนดนั้นทำได้ยาก	เครือข่ายใน WSNs อยู่กันอย่างหนาแน่น ในกรณีที่โหนดเสียหาย WSNs สามารถเปลี่ยนโหนดเสียหายได้อย่างง่าย
Data Rate	WBANs มีอัตราการส่งข้อมูลที่มีเสถียรภาพมากกว่า	WSNs มีอัตราการส่งข้อมูลที่มีเสถียรภาพน้อยกว่า

Conditions	IEEE 802.15.6 (WBANs)	IEEE 802.15.4 (WSNs)
Latency	WBANs ประสบปัญหา latency น้อยกว่า ในกรณีของการล้มเหลวในการส่งข้อมูล และ การใช้พลังงานแบตเตอรี่	WSNs ประสบปัญหา latency มากกว่า ในกรณีของการล้มเหลวในการส่งข้อมูล
Mobility	โหนดใน WBANs ถูกใช้งานในรูปแบบ mobility โดยผู้ใช้งานจะสวมใส่หรือฝังไว้ในตัวของผู้ใช้งาน	โหนดใน WSNs มักจะเป็นโหนดที่อยู่นิ่งอยู่นิ่ง

2.2 IEEE 802.15.6 [17][18][19]

IEEE 802 ได้ทำการจัดกลุ่มงานที่มีชื่อว่า IEEE802.15.6 ไว้สำหรับเป็นมาตรฐานของ WBANs วัตถุประสงค์ของ IEEE 802.15.6 คือการสร้างมาตรฐานการสื่อสารที่ได้รับการปรับปรุงให้เหมาะสมกับ inbody / onbody nodes ที่ใช้พลังงานต่ำเพื่อให้บริการทางการแพทย์และที่ไม่ใช่ทางการแพทย์ที่หลากหลาย มีมาตรฐานความปลอดภัยด้วยขนาดของเครือข่ายที่ลดลงและความสามารถที่เพิ่มขึ้นของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจาก Moore's Law จึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่อุปกรณ์ขนาดเล็กและพกพาจะได้รับการพัฒนาเพื่อการสื่อสารรอบ ๆ ร่างกายมนุษย์ IEEE Std 802.15.6 เป็นมาตรฐานสำหรับการสื่อสารไร้สายระยะสั้นในบริเวณใกล้เคียงหรือภายในร่างกายมนุษย์ (แต่ไม่จำกัดเฉพาะมนุษย์) มันใช้ คลื่นความถี่ ISM และคลื่นความถี่อื่น ๆ เช่นเดียวกับคลื่นความถี่ที่สอดคล้องกับหน่วยงานกำกับดูแลทางการแพทย์และการสื่อสารที่บังคับใช้ช่วยให้อุปกรณ์ทำงานด้วยพลังงานการส่งที่ต่ำมาก เพื่อความปลอดภัยลด specific absorption rate (SAR) เข้าสู่ร่างกายและยึดอายุแบตเตอรี่



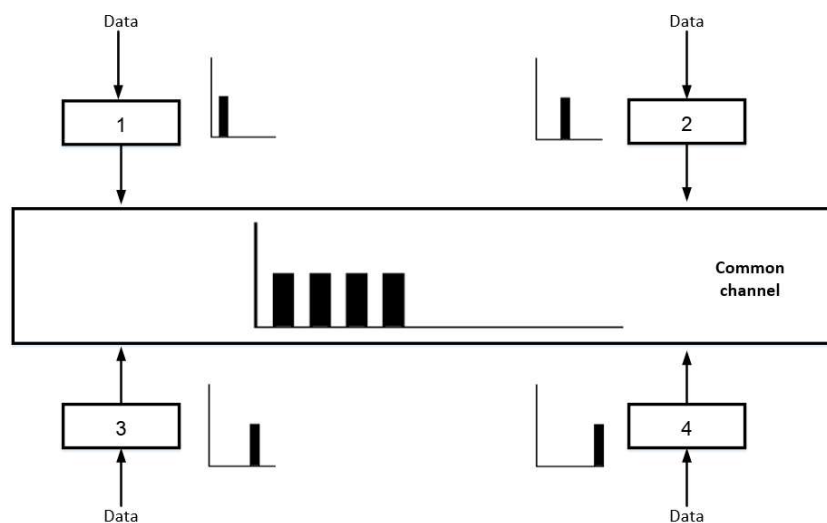
ภาพประกอบที่ 2.2 WBAN Application

WBAN Application ที่กำหนดเป้าหมายตามมาตรฐาน IEEE802.15.6 แบ่งออกเป็นทางการแพทย์และที่ไม่ใช่ทางการแพทย์ตามที่แสดงในภาพประกอบที่ 2.2 ในการใช้งานทางการแพทย์จะมีการรวบรวมข้อมูลที่สำคัญ

ของผู้ป่วยอย่างต่อเนื่องและส่งต่อไปยัง monitoring station ข้อมูลที่ได้สามารถนำมาเพื่อใช้ในการป้องกันการเกิด occurrence of myocardial infarction (การเกิดกล้ามเนื้อหัวใจตาย) และการรักษาโรคต่างๆ เช่น gastrointestinal tract (โรคเกี่ยวกับทางเดินอาหาร), cancer (โรคมะเร็ง), asthma (โรคหอบหืด) และ neurological disorder (โรคเกี่ยวกับความผิดปกติทางระบบประสาท) ทั้งนี้ยังสามารถนำมาใช้เพื่อช่วยเหลือผู้พิการ การใช้งานที่ไม่ใช่แอปพลิเคชันทางการแพทย์รวมถึงการถ่ายโอนข้อมูล, เกมส์และ เครื่องช่วยทางสังคม ในการเล่น เกมจะใช้เซ็นเซอร์ใน WBANs มาควบคุมคำสั่งต่างๆในเกมส์ การใช้ WBANs ในเครื่องช่วยทางสังคมโดยที่สามารถ แลกเปลี่ยนโปรไฟล์หรือนามบัตรโดยการจับมือกันเท่านั้น

2.3 Time-Division Multiple Access (TDMA) [20]

Time-division multiple access (TDMA) เป็นการส่งข้อมูลแบบจัดสรรช่วงเวลาในการส่งข้อมูลของแต่ละโหนดที่ต้องการที่จะส่งข้อมูลโดยที่ไม่มีการซ้อนทับกับของช่วงเวลาในการส่งข้อมูลของแต่ละโหนด โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ในการติดต่อสื่อสาร ปัญหาที่พบใน TDMA คือการ synchronization กันระหว่างโหนด โดยแต่ละโหนดจะทราบจุดเริ่มต้นของสล็อต และตำแหน่งของสล็อตแต่อาจเกิด delays ขึ้นได้จึงได้มี guard times ขึ้นมาเพื่อชดเชย delays ดังภาพประกอบที่ 2.3 แสดงการจัดสรรช่วงเวลาในการส่งข้อมูลของแต่ละโหนดใน bandwidth เดียวกัน



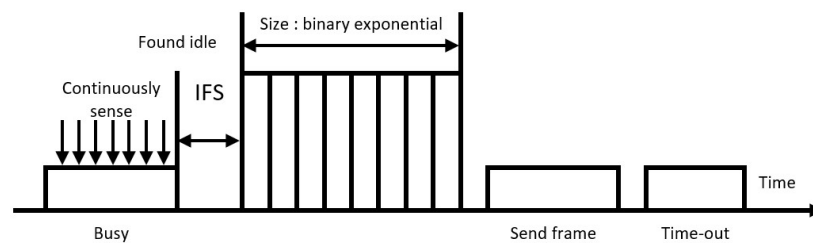
ภาพประกอบที่ 2.3 รูปแบบการจัดสรรช่วงเวลาในการส่งข้อมูลของแต่ละ nodes

2.4 Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) [20]

ในพื้นฐานของ CSMA/CD คือ nodes จำเป็นต้องตรวจพบการชนกันของข้อมูล และเมื่อไม่มีการชนกัน โหนดจะได้รับสัญญาณจากตัวเองเพียงสัญญาณเดียว แต่เมื่อมีการชนกัน โหนดจะได้รับ 2 สัญญาณคือจากของ

ตัวเองและสัญญาณจากโหนดที่ 2 ในการแยกกันระหว่างโหนด 2 โหนดสัญญาณต้องมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามใน wireless network พลังงานส่วนใหญ่ที่ส่งจะหายไปในการส่งสัญญาณ สัญญาณที่ได้รับมีพลังงานน้อยมาก ดังนั้นเวลาที่มีการชนกันของข้อมูลอาจมีพลังงานเพิ่มขึ้นมาแค่ 5 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ทำให้ไม่สามารถตรวจจับการชนกันได้

Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) ที่ได้รับการคิดค้นขึ้นมาสำหรับ wireless network หลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูลโดย 3 กระบวนการนี้ interframe space (IFS), contention window และ acknowledgments ตามที่แสดงในภาพประกอบที่ 2.4

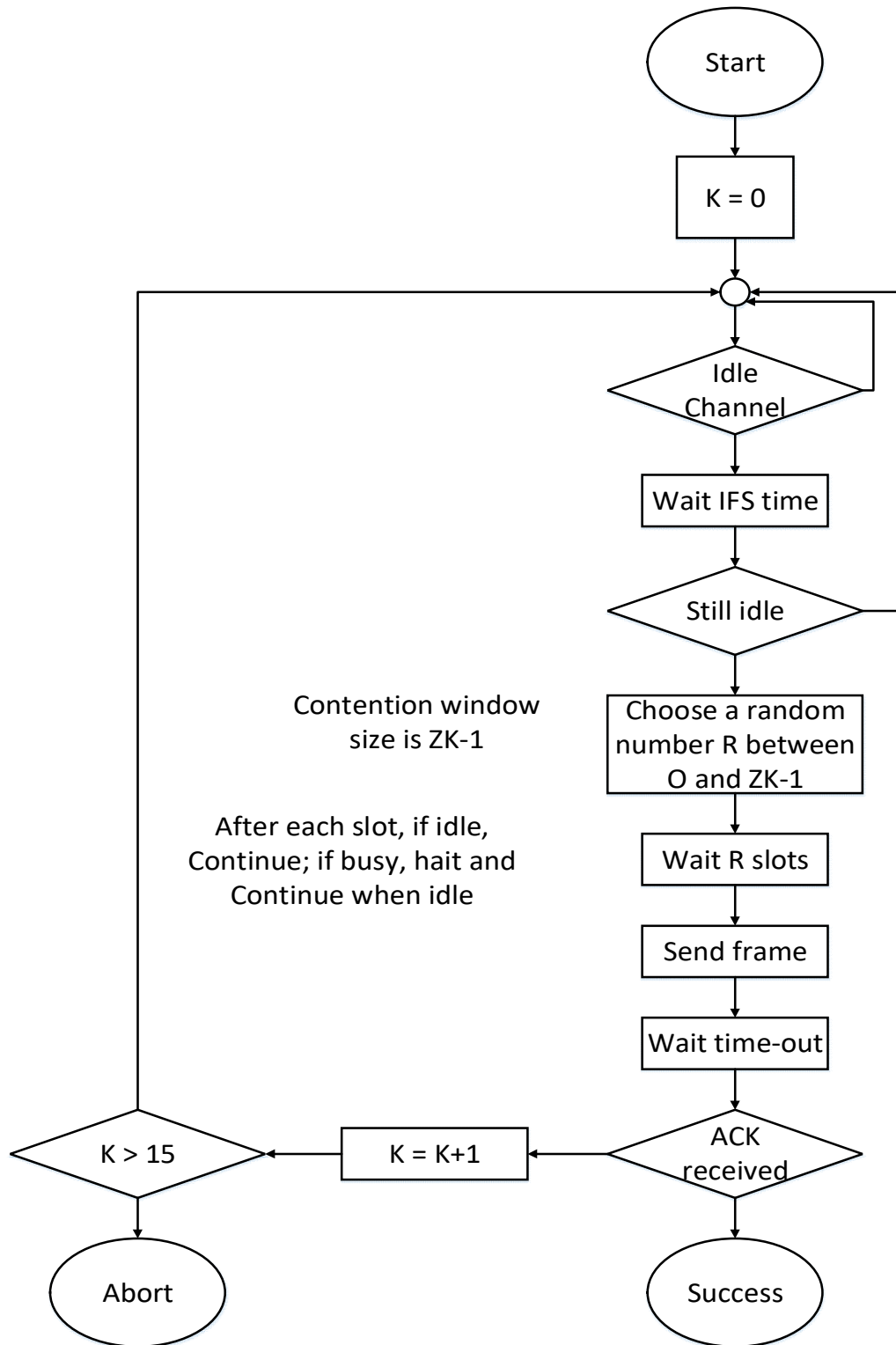


ภาพประกอบที่ 2.4 Timing in CSMA/CA

ขั้นตอนแรก IFS ให้หลีกเลี่ยงการชนโดยเมื่อพบ channel ว่างจะไม่ส่งในทันทีแต่จะรอเป็นระยะเวลาหนึ่งเรียกว่า IFS แม้ว่า channel อาจไม่ได้ใช้งานแต่อาจมีโหนดอื่นอาจเริ่มส่งสัญญาณไปแล้วสัญญาณที่ส่งของโหนดที่อยู่ไกลยังไม่ถึง station IFS time ช่วยให้อำนาจของสัญญาณที่ส่งโดย nodes ที่อยู่ไกลไปถึง station หลังจาก IFS time channel ยังคงไม่ได้ใช้งานโหนดสามารถส่งได้ แต่ถ้ายังต้องรอเวลาเท่ากับ contention time นอกจากนี้ IFS ยังสามารถใช้เพื่อจัดลำดับความสำคัญของโหนด หรือ frame types เช่น โหนดที่กำหนด IFS ที่สั้นกว่าจะมีลำดับความสำคัญสูงกว่า

ตามด้วย Contention window คือระยะเวลาที่แบ่งออกเป็น slots ต่างๆ nodes ที่พร้อมที่จะส่งเลือก number of slots เป็นเวลารอ number of slots ใน window จะเปลี่ยนไปตาม binary exponential back-off strategy ซึ่งหมายความว่าในครั้งแรกจะที่ตั้งค่าเป็นหนึ่ง time slot และจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าในครั้งต่อไปที่ nodes ไม่สามารถตรวจพบ channel ที่ว่างได้หลัง IFS time จุดที่น่าสนใจอย่างหนึ่งของ contention window คือ nodes ต้องรับรู้ถึง channel หลัง time slot อย่างไรก็ตามหาก nodes พบ channel ว่างก็จะเริ่มกระบวนการใหม่ มันจะหยุดจับเวลาและรีเซ็ตอาร์ทเมื่อ channel ไม่ได้ใช้งาน

สุดท้าย Acknowledgment ด้วยกระบวนการป้องกันข้างต้นอาจมีการชนกันของข้อมูลและเกิดความเสียหายของข้อมูลระหว่างการส่ง acknowledgment และ time-out timer สามารถช่วยรับประกันได้ว่าผู้รับได้รับ frame แล้ว ตาม Procedure ในภาพประกอบที่ 2.5



ภาพประกอบที่ 2.5 Flow diagram for CSMA/CA

2.5 เซ็นเซอร์โหนด

2.5.1 TelosB [21]

TelosB mote เป็นแพลตฟอร์มที่เป็น open source ที่ออกแบบมาให้เอื้อต่องานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครือข่ายไร้สายเนื่องจากสามารถเข้าไปโปรแกรมการทำงานของตัวโหนดได้และเป็นอุปกรณ์สื่อสารขนาดเล็กตามภาพประกอบที่ 2.6



ภาพประกอบที่ 2.6 TelosB

จุดเด่นของบอร์ด TelosB

1. IEEE 802.15.4/ZigBee compliant RF transceiver
2. 2.4 to 2.4835 GHz, a globally compatible ISM band
3. 250 kbps data rate
4. Integrated onboard antenna
5. 8 MHz TI MSP430 microcontroller with 10kB RAM
6. Fast wakeup from sleep ($<6\mu\text{s}$)
7. Low current consumption
8. Programming and data collection via USB

ในการใช้งาน TelosB สามารถใช้พลังงานได้จากแบตเตอรี่ โดยตัวบอร์ดนี้ถูกออกแบบมาจากโรงงานให้พอดีกับถ่าน AA สองก้อน โดยช่วงแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้บอร์ดทำงานจะอยู่ระหว่าง 2.1 ถึง 3.6 โวลต์ และต้องมีแรงดันไฟฟ้าอย่างน้อย 2.7 โวลต์สำหรับการโปรแกรมแฟลชไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าหากต่อบอร์ดเข้ากับพอร์ต USB สำหรับการเขียนโปรแกรมหรือใช้งานติดต่อสื่อสาร จะได้รับพลังงานจากตัวคอมพิวเตอร์โดยใช้งานแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 3 โวลต์ และไม่จำเป็นต้องใช้ถ่าน AA

2.5.2 MSP430F1611 MCU

ไมโครโพรเซสเซอร์ MSP430F1611 เป็นไมโครโพรเซสเซอร์ที่ใช้พลังงานต่ำเป็นพิเศษซึ่งมี 10kB of RAM, 48kB of flash และ 128 Byte of information storage โดย 16-bit RISC processor นี้มีการใช้กระแสไฟฟ้าแบบแอคทีฟและ sleep mode ที่ใช้กระแสไฟฟ้าต่ำมาก MSP430 มี digitally controlled oscillator (DCO) ควบคุมอยู่ภายในโดยสามารถทำงานได้ถึง 8 MHz และ DCO สามารถเปิดจาก sleep mode มาพร้อมทำงานใน 6 ไมโครวินาที แต่ที่ทำงานปกติ 292 นาโนวินาที ที่อุณหภูมิห้อง โดยเงื่อนไขการใช้งานทั่วไปดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 Typical Operating Conditions of MSP430F1611 [21]

Typical Operating Conditions	MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage during program execution	1.8		3.6	V
Supply voltage during flash memory programming	2.7		3.6	V
Operating free air temperature	-40		85	°C
Low frequency crystal frequency		32.768		kHz
Active current at Vcc = 3V, 1MHz		500	600	µA
Sleep current in LPM3 Vcc = 3V, 32.768kHz active		2.6	3.0	µA
Wake up from LPM3 (low power mode)			6	µA

2.5.3 CC2420 transceiver

ชิปสื่อสาร CC2420 เป็นชิปสื่อสารที่รองรับมาตรฐาน IEEE 802.15.4 มีส่วนที่เป็น Physical layer และ MAC layer โดยใช้งานที่ความถี่ 2.4 GHz ที่ออกแบบมาสำหรับแอปพลิเคชันไร้สายพลังงานต่ำและแรงดันไฟฟ้าต่ำ โดยเงื่อนไขการใช้งานทั่วไปดังตารางที่ 2.3 [21]

ตารางที่ 2.3 Output power configuration for the CC2420 [21]

PA_LEVEL	TXCTRL register	Output Power [dBm]	Current Consumption [mA]
31	0xA0FF	0	17.4
27	0xA0FB	-1	16.5
23	0xA0F7	-3	15.2
19	0xA0F3	-5	13.9
15	0xA0EF	-7	12.5
11	0xA0EB	-10	11.2
7	0xA0E7	-15	9.9
3	0xA0E3	-25	8.5

ตารางที่ 2.4 Typical Operating Conditions of CC2420 [21]

Typical Operating Conditions	MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage during radio operation (Vreg on)	2.1		3.6	V
Operating free air temperature	-40		85	°C
RF frequency range	2400		2483.5	MHz
Transmit bit rate	250		250	kbps
Nominal output power	-3	0		dBm
Programmable output power range		40		dBm
Receiver sensitivity	-90	-94		dBm
Current consumption: Radio transmitting at 0 dBm		17.4		mA
Current consumption: Radio receiving		19.7		mA
Current consumption: Radio on, Oscillator on		365		μA
Current consumption: Idle mode, Oscillator off		20		μA
Current consumption: Power Down mode, Vreg off			1	μA
Voltage regulator current draw	13	20	29	μA
Radio oscillator startup time		580	860	μs

2.6 ซอฟต์แวร์

2.6.1 Linux & Ubuntu

Linux (ลินุกซ์) คือระบบปฏิบัติการแบบ UNIX (ยูนิกซ์) เช่นเดียวกับ ดอส ไมโครซอฟต์วินโดวส์ โดยระบบปฏิบัติการแบบยูนิกซ์ใช้ลินุกซ์เคอร์เนลเป็นศูนย์กลางทำงานร่วมกับไลบรารีและเครื่องมืออื่น ลินุกซ์เป็นระบบปฏิบัติการที่ซอฟต์แวร์เสรี (Free Software) และ ซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ส (Open Source) ทำให้มีผู้นำไปใช้งานและพัฒนาอย่างมาก เริ่มแรกลินุกซ์พัฒนาบนคอมพิวเตอร์ที่ใช้งาน chipset Intelx86 (32bit) แล้วจึงพัฒนาให้รองรับกับ platform อื่นๆทั่วไป

Ubuntu (อูบุนตุ) เป็นระบบปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ซึ่งมีพื้นฐานอยู่บนระบบปฏิบัติการลินุกซ์ประกอบไปด้วยกัน 2 แบบคือ desktop และ server โดยหลักการแล้วทั้ง 2 แบบใช้งานเหมือนกันแต่แบบใน desktop จะมีหน้า GUI ในการทำงาน งานวิจัยฉบับนี้ใช้งานอูบุนตุเวอร์ชัน 14.04 64bit

2.6.2 TinyOS

TinyOS เป็นซอฟต์แวร์โอเพนซอร์สที่ออกแบบมาสำหรับอุปกรณ์ไร้สายพลังงานต่ำมีใช้งานอยู่ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (WSNs), smartdust, ubiquitous computing, personal area networks, building

automation, และ smart meters ในการใช้งาน TinyOS จะใช้งานภาษา nesC ซึ่งมีความใกล้เคียงกับภาษา C แต่มีปรับแต่งให้เข้าซิดจำกัดเรื่องหน่วยความจำในโหนดสื่อสาร โดย TinyOS ทำงานอยู่บนระบบปฏิบัติการลินุกซ์

2.6.3 Python

ภาษาโปรแกรม Python คือภาษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ระดับสูง โดยถูกออกแบบมาให้เป็นภาษาสคริปต์ที่อ่านง่าย โดยตัดความซับซ้อนของโครงสร้างและไวยากรณ์ของภาษาออกไป ในส่วนของการแปลงชุดคำสั่งที่เราเขียนให้เป็นภาษาเครื่อง Python มีการทำงานแบบ Interpreter คือเป็นการแปลชุดคำสั่งทีละบรรทัด เพื่อป้อนเข้าสู่หน่วยประมวลผลให้คอมพิวเตอร์ทำงานตามที่เราต้องการ นอกจากนั้นภาษาโปรแกรม Python ยังสามารถนำไปใช้ในการเขียนโปรแกรมได้หลากหลายประเภท โดยไม่ได้จำกัดอยู่ที่งานเฉพาะทางใดทางหนึ่ง (General-purpose language) จึงทำให้มีการนำไปใช้กันแพร่หลายในหลายกลุ่มงาน

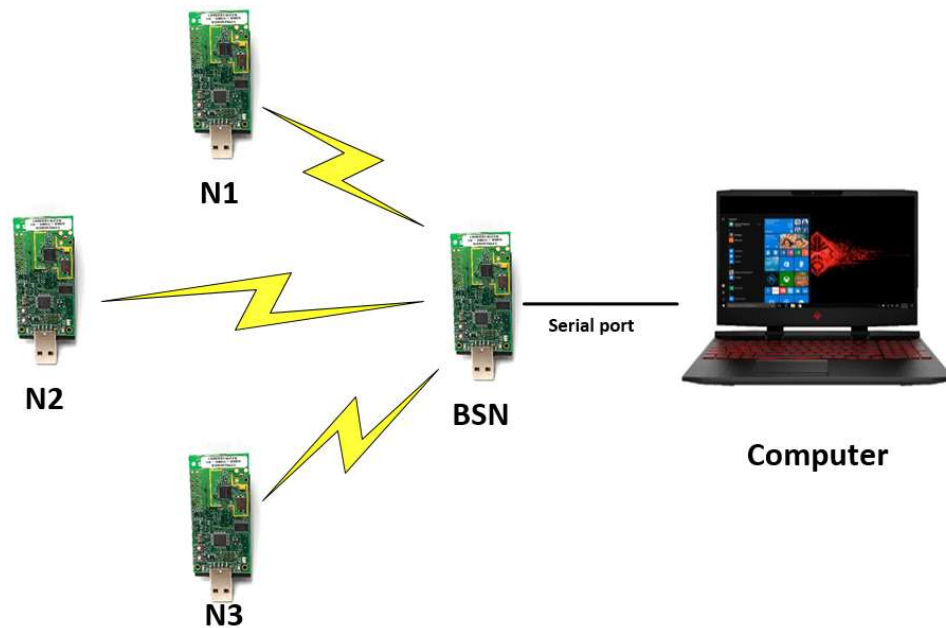
บทที่ 3

รูปแบบการติดต่อสื่อสาร

หัวข้อนี้จะอธิบายรูปแบบการติดต่อสื่อสารที่นำเสนอ ประกอบไปด้วย ระบบเครือข่ายสื่อสารที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ วิธีการส่งข้อมูลติดต่อสื่อสาร และการทำงานโดยรวมของระบบเพื่อใช้ในการออกแบบโปรโตคอลมีประสิทธิภาพในการสื่อสารและประหยัดพลังงาน

3.1 ระบบเครือข่ายสื่อสารที่นำเสนอ

3.1.1 โครงสร้างเครือข่าย



ภาพประกอบที่ 3.1 โครงสร้างของเครือข่ายสื่อสาร

โครงสร้างการทำงานของเครือข่ายสื่อสารแบ่งเป็นประเภทตามลักษณะหน้าที่การทำงานสามารถจัดอุปกรณ์ได้ออกเป็น 3 ประเภทคือ

1. โหนด หรือ Mote สื่อสาร

การทำงานของ โหนด จะทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลไปที่ สถานีฐาน จากภาพประกอบที่ 3.3 N1, N2 และ N3 จะทำหน้าที่ส่งข้อมูลจาก Body sensor มาที่สถานีฐาน โดยในการทดลองจะเป็นการจำลองข้อมูลแล้วส่งมาที่สถานีฐาน

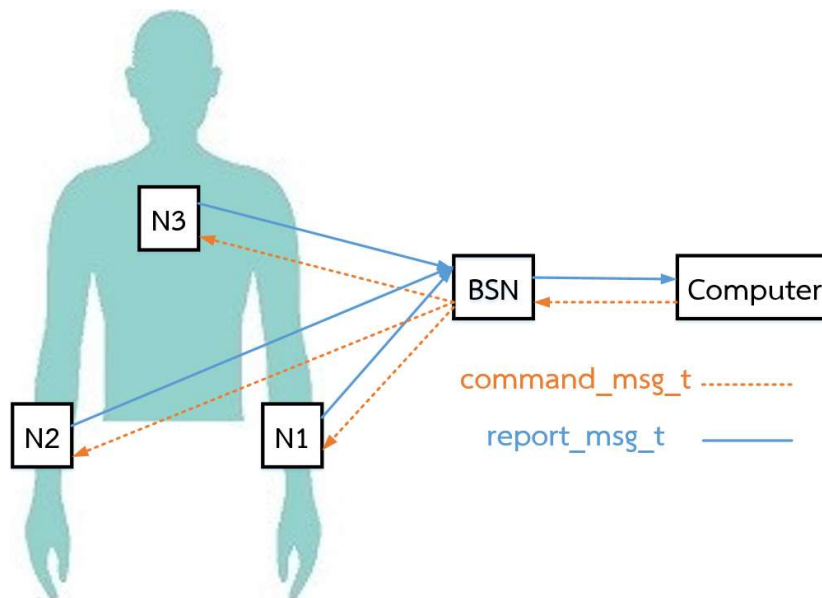
2. สถานีฐาน (BSN)

การทำงานของสถานีฐานจะมีหน้าที่ส่งคำสั่งเริ่มต้นการสื่อสาร รวมทั้งการตั้งค่าต่างๆในการส่งข้อมูลของแต่ละโหนดและทำการรับข้อมูลจากตัวโหนดมา แล้วส่งไปเก็บข้อมูลยังคอมพิวเตอร์

3. คอมพิวเตอร์ (Computer)

ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่รับมาจากแต่ละโหนดจากสถานีฐาน โดยผ่านทาง Serial port โดยใช้งาน Python เป็นตัวจัดการกับข้อมูลที่ส่งมาจากสถานีฐาน ตามภาพประกอบที่ 3.2 เพื่อมาหาประสิทธิภาพในการส่งข้อมูล

ภาพประกอบที่ 3.2 การทำงานของการส่งข้อมูลมาเก็บในคอมพิวเตอร์



ภาพประกอบที่ 3.3 การทำงานโดยรวมของเครือข่าย

จากภาพประกอบที่ 3.3 แสดงการทำงาน โดยรวมของเครือข่ายโดยเริ่มแรกคอมพิวเตอร์จะส่ง command_msg_t มายังสถานีฐาน แล้วสถานีฐานทำการ broadcast ส่งแพ็คเกจให้กับทุกโหนดในเครือข่าย

(เส้นประ) เมื่อโหนดได้รับ `command_msg_t` โหนดก็จะนำค่าที่ได้มาประมวลผล แล้วเริ่มทำการส่ง `report_msg_t` กลับมายังสถานีฐาน (เส้นทึบ)

3.1.2 แพ็กเก็ต

โครงสร้างของแพ็กเก็ตที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารโดย TinyOS ไม่สามารถแก้ไขโครงสร้างแพ็กเก็ตของการสื่อสารได้โดยตรงตารางที่ 3.1 เป็นโครงสร้างของ `message_t` ประกอบไปด้วย Header, Footer และ Metadata จะถูก TinyOS สร้างขึ้นโดยอัตโนมัติ เราสามารถกำหนด Data ได้โดยที่มีขนาดไม่เกิน 28 bytes

ตารางที่ 3.1 โครงสร้างของ `message_t`

Name	Size (bytes)	Description
Header	-	Header data of packet
Data	28	Data of packet
Footer	-	Footer data of packet
Metadata	-	Metadata data of packet

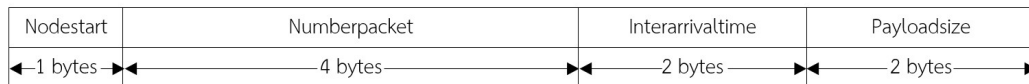
ในโครงสร้างภายในของ Header ใน TinyOS ที่เป็นของ CC2420 จะประกอบไปด้วย `length`, `fcf`, `dsn`, `dustpan`, `dest`, `src`, `network` และ `type` โดยส่วนประกอบทั้งหมดของ Header จะถูกสร้างเมื่อมีการจะส่งข้อความ

ตารางที่ 3.2 โครงสร้างของ Header

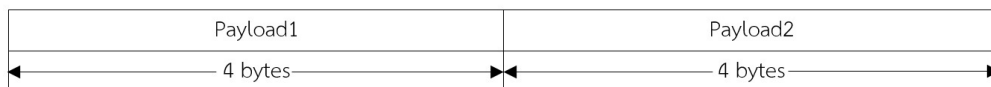
Name	Size (bytes)	Description
<code>length</code>	1	Length = length of the header + payload of the packet, minus the size of the length byte itself.
<code>fcf</code>	2	Frame Control Field, defined in the 802.15.4 specs and the CC2420 datasheet.
<code>dsn</code>	1	Data Sequence Number, a number incremented for each packet sent by a particular node. This is used in acknowledging that packet, and also filtering out duplicate packets.
<code>destpan</code>	2	The destination PAN (personal area network) ID, so your network can sit side by side with another TinyOS network and not interfere.

Name	Size (bytes)	Description
dest	2	The destination address of this packet. 0xFFFF is the broadcast address.
src	2	The local node ID that generated the message.
network	1	The TinyOS network ID, for interoperability with other types of 802.15.4 networks.
type	1	TinyOS AM type. When you create a new AMSenderC(AM_MYMSG), the AM_MYMSG definition is the type of packet.

ในวิทยานิพนธ์นี้ Data เราได้ออกแบบไว้ 2 แบบคือ `command_msg_t` และ `report_msg_t` โดย `command_msg_t` เป็นข้อความที่ส่งจากสถานีฐานไปบอกโหนดทุกโหนดให้เริ่มต้นการส่งข้อมูลและควบคุม parameter ต่างๆในการส่งข้อมูลตามภาพประกอบที่ 3.4 และ `report_msg_t` เป็นข้อความที่ส่งจากโหนดมายังสถานีฐานแล้วส่งต่อไปเก็บที่คอมพิวเตอร์ตามภาพประกอบที่ 3.5



ภาพประกอบที่ 3.4 โครงสร้างของ `command_msg_t`

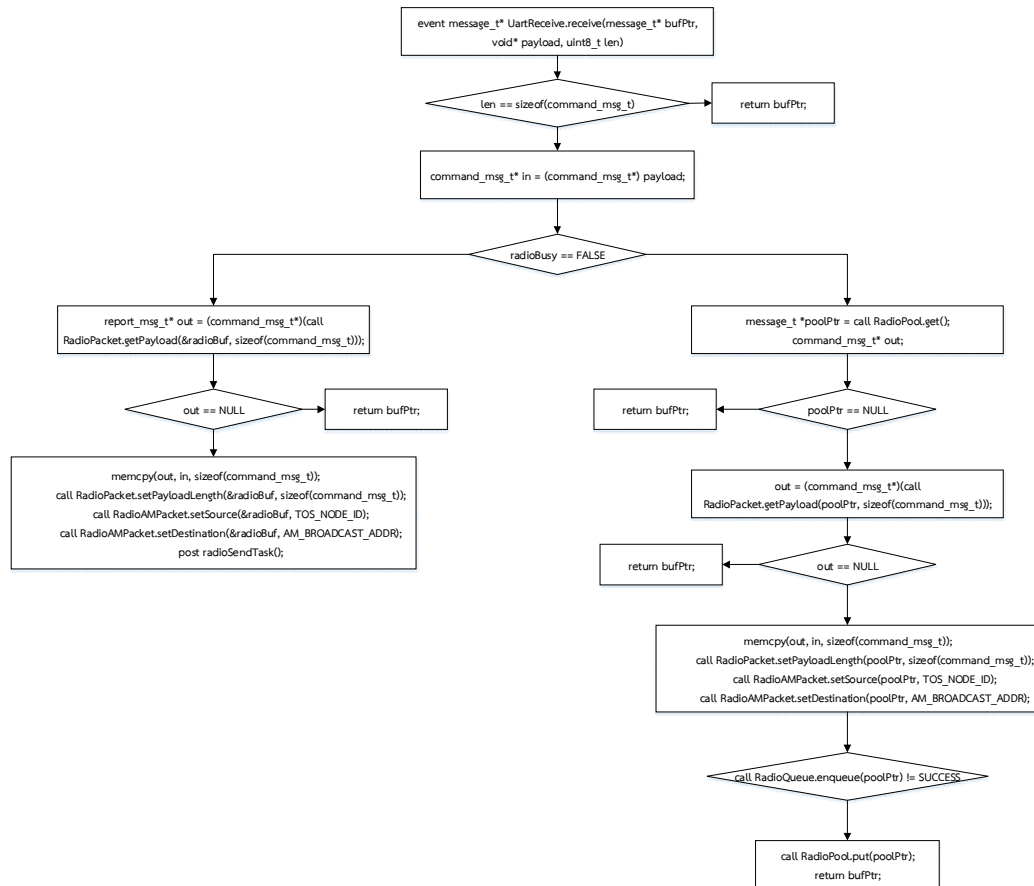


ภาพประกอบที่ 3.5 โครงสร้างของ `report_msg_t`

3.2 วิธีการส่งข้อมูลติดต่อสื่อสาร

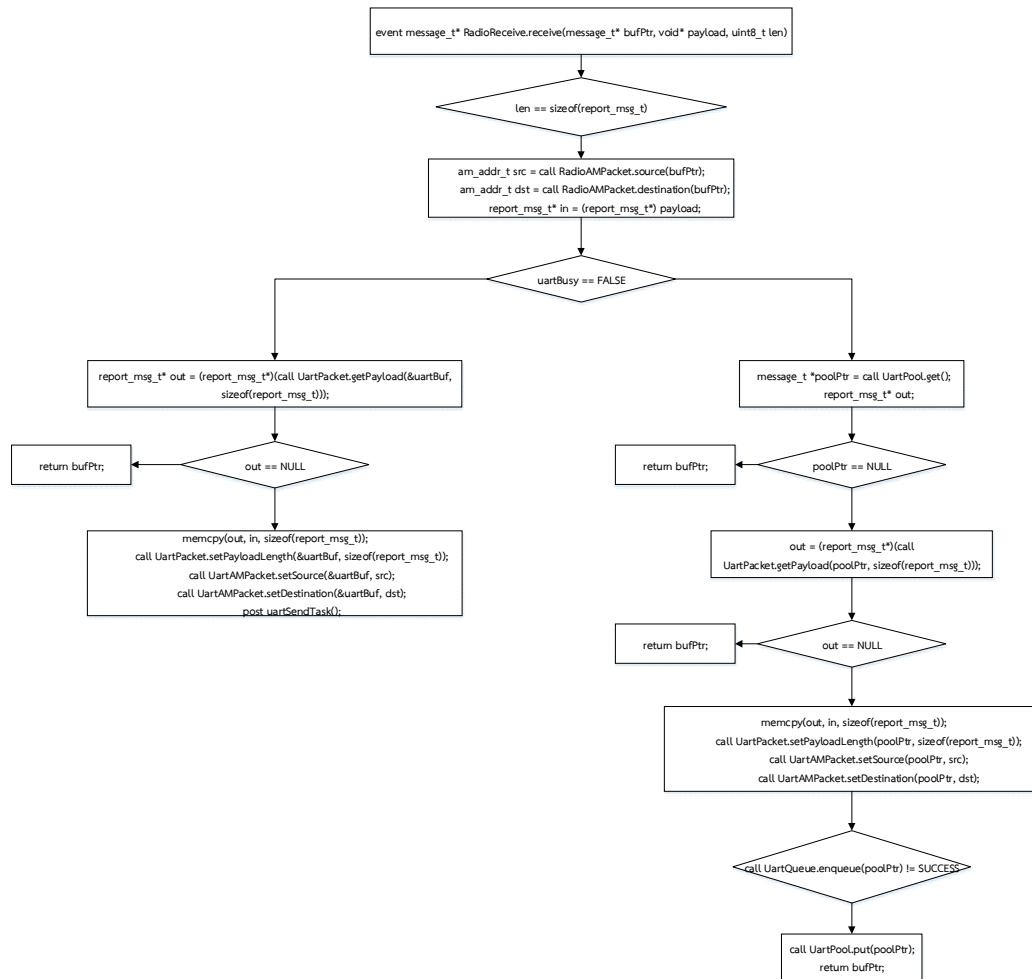
3.2.1 การทำงานของสถานีฐาน

การทำงานของสถานีฐานแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นส่วนที่รับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์แล้วส่งไป command ควบคุมโหนดทุกโหนดในระบบ และส่วนที่สองเป็นการทำงานเมื่อสถานีฐานรับข้อมูลจากโหนดในระบบแล้วส่งข้อมูลไปเก็บในคอมพิวเตอร์



ภาพประกอบที่ 3.6 ขั้นตอนการทำงานของสถานีฐานในการส่ง command ควบคุมโหนดอื่นๆ

จากภาพประกอบที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการทำงานของสถานีฐานในการส่ง command ควบคุมโหนดอื่น ๆ เมื่อสถานีฐานได้รับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์แล้วตรวจสอบขนาดของแพ็คเกจว่าตรงกับ command_msg_t ให้เริ่มการส่งข้อมูลจะมีการตรวจสอบว่าช่องสัญญาณว่างหรือไม่ ถ้าว่างจะทำการส่งข้อมูลแบบ Broadcast ให้ทุกโหนดในระบบเริ่มส่งข้อมูล ถ้าไม่ว่างจะเก็บข้อมูลไว้ใน Queue แล้วส่งข้อมูลใหม่เมื่อช่องสัญญาณว่าง



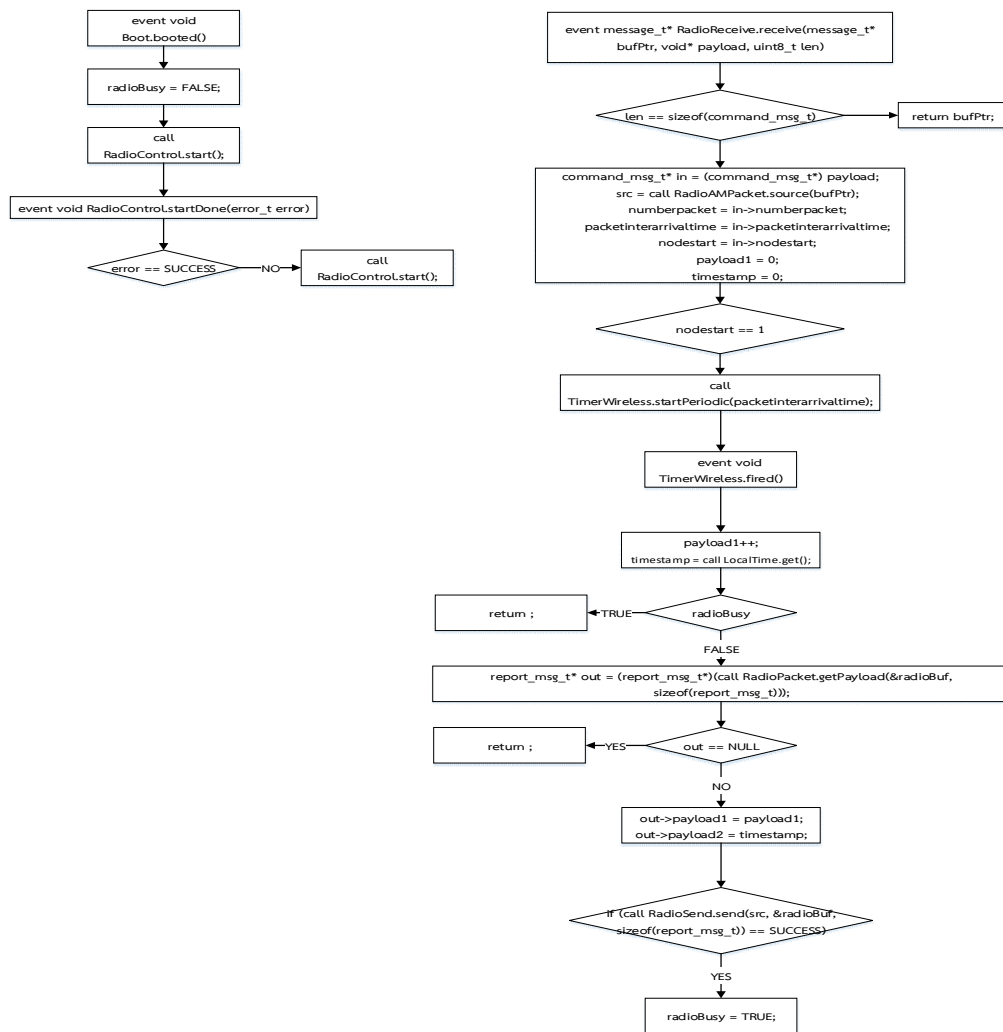
ภาพประกอบที่ 3.7 ขั้นตอนการทำงานของสถานีฐานในการส่งข้อมูลที่รับจากโหนดอื่น ๆ มาเก็บที่คอมพิวเตอร์

จากภาพประกอบที่ 3.7 แสดงขั้นตอนการทำงานของสถานีฐานในการส่งข้อมูลที่รับจากโหนดอื่น ๆ มาเก็บที่คอมพิวเตอร์ โดยเมื่อสถานีฐานได้รับข้อมูลจากโหนดที่ส่งมา แล้วตรวจสอบขนาดของแพ็คเกจว่าตรงกับ report_msg_t จากนั้นตรวจสอบว่า Serial port ว่างหรือไม่ ถ้าว่างจะทำการส่งข้อมูลไปที่คอมพิวเตอร์ ถ้าไม่ว่างจะเก็บข้อมูลไว้ใน Queue แล้วส่งข้อมูลใหม่เมื่อ Serial port ว่าง

3.2.2 การทำงานของโหนดสื่อสาร

การทำงานของโหนดแบ่งออกเป็น 3 การทดลอง โดยในการทดลองแรกจะเป็นการทดสอบประสิทธิภาพเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในการสื่อสารว่าส่งผลต่อประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลอย่างไร โดยพารามิเตอร์ที่ศึกษาประกอบไปด้วย Packet inter-arrival time, Packet Sizes จำนวนของโหนดสื่อสารในระบบ และ Time-symbol การทดลองที่สองจะเป็นการทดสอบประสิทธิภาพการสื่อสารเมื่อเปลี่ยนสภาพแวดล้อมในการทดสอบทั้งในร่มและกลางแจ้งว่าส่งผลต่อประสิทธิภาพอย่างไร โดยทั้งสองการทดลองการทำงานของโหนด จะไปตามขั้นตอนในภาพประกอบที่ 3.8 และการทดลองที่สามจะเป็นการทดลองการติดต่อสื่อสารในชั้นของ MAC

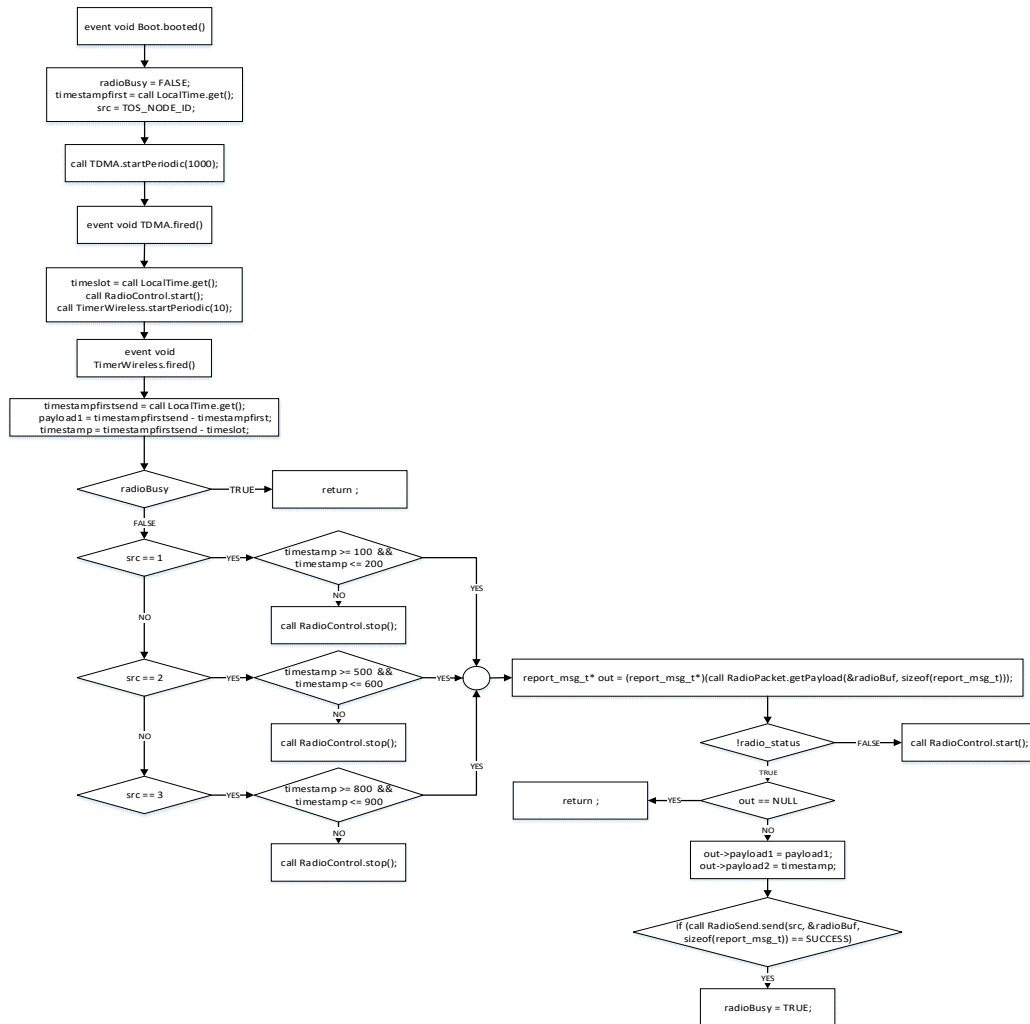
Protocol ที่ในงานวิจัยนี้ออกแบบไว้โดยในช่วงแรกโหนดแต่ละโหนดจะแย่งกันเพื่อจัดลำดับช่วงเวลาในการส่งข้อมูล เมื่อจัดลำดับเสร็จจะทำการส่งข้อมูลภายในช่วงเวลาของตัวเอง โดยในการทดลองนี้ยังไม่ได้มีพิจารณาช่วงที่โหนดแย่งกันจัดสรรช่วงเวลาในการส่งแพ็คเก็ต แต่จะทำการศึกษาประสิทธิภาพของการที่โหนดแต่ละตัวส่งข้อมูลไม่พร้อมกันในช่วงเวลาของตัวเอง และวัตพลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูลนี้ด้วย โดยการทำงานจะเป็นไปตามขั้นตอนในภาพประกอบที่ 3.9



ภาพประกอบที่ 3.8 ขั้นตอนการทำงานของโหนดที่ไม่มีภารกิจปิดการทำงานของชิปสื่อสาร CC2420

ในการทำงานของโหนดเมื่อไม่มีภารกิจปิดการทำงานของชิปสื่อสาร CC2420 ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.8 โดยเริ่มต้นการทำงานจากการสั่งเปิดใช้งานชิปสื่อสาร CC2420 แล้วโหนดก็รอรับ command_msg_t ที่ส่งมาจากสถานีฐาน แล้วนำค่าตัวแปรที่ส่งมากับ command_msg_t เก็บไว้ในตัวแปรที่โหนดสร้างขึ้น จากนั้นเริ่มต้นการทำงานแบบเป็นรอบโดยมีการเก็บค่า payload1 ที่บวกเพิ่มขึ้นทุกรอบการส่งแพ็คเก็ตและ timestamp ที่เก็บค่า

จาก LocalTime จากนั้นตรวจสอบช่องสัญญาณว่างหรือไม่ ถ้าว่างจะทำการสร้าง report_msg_t ขึ้นมาจากนั้น ตรวจสอบว่า report_msg_t มีค่าหรือไม่ ถ้ามีก็จะนำค่า payload1 มาใส่ใน payload1 ของ report_msg_t และ timestamp มาใส่ใน payload2 ของ report_msg_t จากนั้นทำการส่ง report_msg_t ไปที่สถานีฐาน



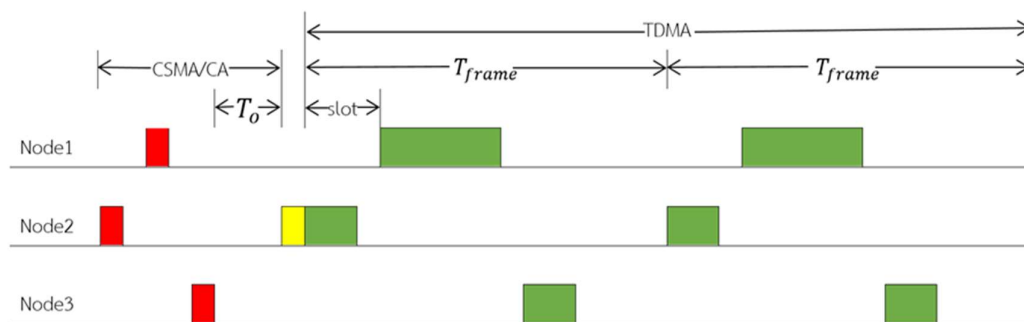
ภาพประกอบที่ 3.9 ขั้นตอนการทำงานของโหนดเมื่อมีการเปิดปิดการทำงานชิปสื่อสาร CC2420

ในการทำงานของโหนดเมื่อมีการเปิดปิดการทำงานชิปสื่อสาร CC2420 ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.9 โดยเริ่มต้นทำงานจากการ timestampfirst ที่เก็บค่าจาก LocalTime และค่า src บอกว่าเป็นโหนดอะไร แล้วโหนดเริ่มทำงาน TDMA ทำงานเป็นช่วงเวลาอิงตามช่วงเวลา T_{frame} จากนั้น timeslot ที่เก็บค่าจาก LocalTime ของแต่ละรอบที่เข้ามาใน TDMA เปิดการทำงานของชิปสื่อสาร CC2420 เริ่มทำงาน TimerWireless ทำงานที่เป็นรอบตามเวลาที่กำหนด จากนั้น timestampfirstsend ที่เก็บค่าจาก LocalTime และค่า payload1 คือค่าเวลาตั้งแต่โหนดเริ่มทำงาน มาจาก timestampfirstsend ลบกับ timestampfirst ได้เวลาตั้งแต่โหนดเริ่มต้นขึ้นมาทำงาน และค่า timestamp มาจาก timestampfirstsend ลบกับ timeslot ได้เวลาของโหนดใน 1 สล็อต แล้ว

ตรวจสอบช่องสัญญาณว่าว่างหรือไม่ จากนั้นโหนดจะทำงานเมื่ออยู่ใน timestamp ที่กำหนดของแต่ละโหนดถ้าไม่อยู่ในช่วงเวลาที่กำหนดก็จะปิดการทำงานของชิปสื่อสาร CC2420 จากนั้นจะทำการสร้าง report_msg_t ขึ้นมา จากนั้นตรวจสอบว่า report_msg_t มีค่าหรือไม่ ถ้ามีก็นำค่าเวลาดั้งแต่โหนดเริ่มทำงานมาใส่ใน payload1 ของ report_msg_t และ timestamp มาใส่ใน payload2 ของ report_msg_t จากนั้นทำการส่ง report_msg_t ไปที่สถานีฐาน

3.3 การทำงานของระบบที่นำเสนอ

การทำงานโดยรวมของทั้งระบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะเป็นการออกแบบวิธีการสื่อสารข้อมูลในชั้นของ MAC Protocol โดยที่ได้ออกแบบเป็นการรวมกันของวิธีการสื่อสารแบบ CSMA/CA และวิธีการสื่อสารแบบ TDMA เข้ามารวมกัน จำนวนของขนาดข้อมูลที่ต้องการส่งในแต่ละโหนด และโหนดจะรู้ลำดับช่วงเวลาของสล็อตของโหนดตัวเองและโหนดข้างเคียง และจำนวนสล็อตรวมทั้งหมดในหนึ่ง T_{frame} เมื่อจัดสรรลำดับการส่งข้อมูลเรียบร้อยแล้วจะรอเป็นเวลา T_o แล้วจึงเริ่มช่วงที่สองใช้ TDMA ส่งข้อมูลไปที่สถานีฐานโดยโหนดแรกที่จะทำการส่งข้อมูลจะส่งสัญญาณเริ่มต้นให้ทุกโหนดในเครือข่ายทราบว่า จะเริ่มทำการส่งข้อมูลแล้วและส่งข้อมูลต่อทันที จากนั้นจะเข้าสู่ sleep mode จะตื่นอีกครั้งเมื่อถึงคิวการส่งของตัวเองใน T_{frame} ถัดไปเท่านั้นดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.10 โดยอยู่บนขอบเขตของการวิจัยที่ไม่มีการเพิ่มลดจำนวนโหนดในเครือข่าย



ภาพประกอบที่ 3.10 การจัดสรร slot โดยรวมของ protocol

โดยในการออกแบบการติดต่อสื่อสารใช้เป็นแบบ Mesh แต่ละโหนดจะมีการติดต่อสื่อสารกันภายในเครือข่าย เพื่อจัดสรรช่วงเวลาในการส่งข้อมูลตามภาพประกอบที่ 3.10 ในเครือข่ายประกอบไปด้วย 3 โหนดและสถานีฐาน แต่ละโหนดจะมีการใช้กลไกการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบ CSMA/CA ในการจัดสรรตำแหน่งของข้อมูลในการส่งแพ็คเก็ต ก่อนที่จะส่งข้อมูลสัญญาณชีพไปยังสถานีฐานโดยใช้กลไกการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบ TDMA ในการส่งข้อมูลเพื่อป้องกันการชนกันของข้อมูลแต่ละโหนด โดยจะมีการเว้นช่วงเวลา guard times หลังจากส่งข้อมูลเมื่อส่งข้อมูลเสร็จจะเข้าสู่ sleep mode เพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและสามารถทำงานได้ต่อเนื่อง

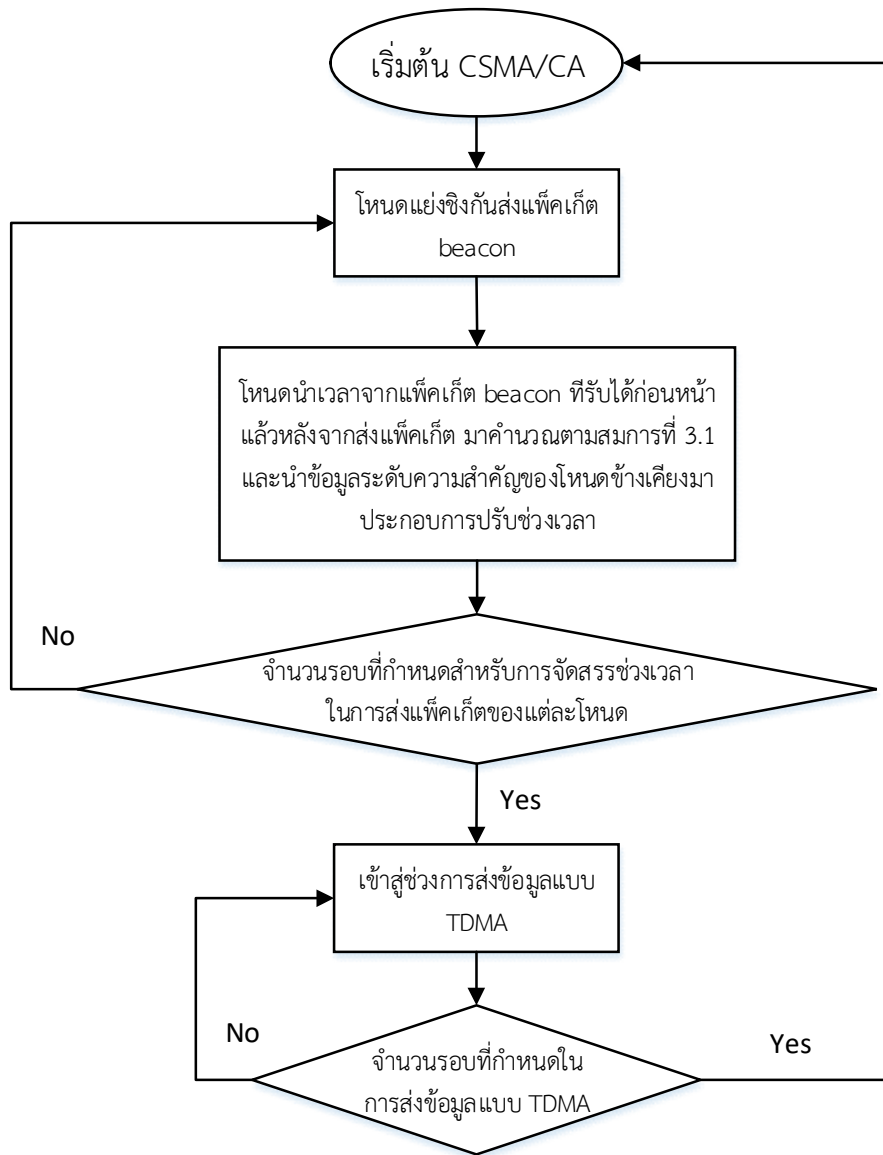
ยาวนาน โดยการทดลองในงานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาการใช้พลังงานและประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลในช่วงที่เป็น TDMA เท่านั้น

การจัดสรรตำแหน่งในการส่งข้อมูลเราได้ออกแบบให้ใช้กลไกการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบ CSMA/CA ในการแย่งชิงการส่ง beacon สำหรับจัดสรรช่วงเวลาภายใน $1 T_{frame}$ ในแต่ละโหนดในระบบให้ไม่ชนกัน โดยแต่ละโหนดจะส่งและฟังสัญญาณ beacon จากโหนดก่อนหน้าและโหนดถัดไปแล้วนำมาปรับช่วงเวลาในการส่งของตัวเอง ตามสมการที่ 3.1 [22]

$$t_{curr}^{(k+1)} = T_{frame} + (1 - \alpha)t_{curr}^{(k)} + \alpha \frac{t_{previous}^{(k)} + t_{next}^{(k)}}{2} \quad (3.1)$$

โดยที่ $t_{curr}^{(k+1)}$ คือเวลาที่โหนดจะส่งแพ็คเก็ต beacon ใน T_{frame} ถัดไป α ค่าที่กำหนดว่าเราจะอิงกับช่วงเวลาของโหนดก่อนหน้าและโหนดถัดไปมากน้อยแค่ไหน $t_{curr}^{(k)}$ คือเวลาที่โหนดจะส่งแพ็คเก็ต beacon $t_{previous}^{(k)}$ คือเวลาที่รับแพ็คเก็ต beacon จากโหนดก่อนหน้า $t_{next}^{(k)}$ คือเวลาที่รับแพ็คเก็ต beacon จากโหนดถัดไป ในการออกแบบของเราในตัวแพ็คเก็ต beacon เราจะใส่ข้อมูลระดับความสำคัญของโหนดแต่ละโหนด ลำดับการทำงานในการจัดสรรตำแหน่งในการส่งข้อมูลตามภาพประกอบที่ 3.11

ในการให้ระดับความสำคัญของแต่ละโหนดจะแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับปกติ ระดับสำคัญ และระดับสำคัญมาก โดยแต่ละระดับความสำคัญที่เพิ่มขึ้นจะมีสิทธิในการส่งข้อมูลที่มากขึ้น เนื่องจากใน WBANs ในแต่ละช่วงเวลาโหนดมีความต้องการปริมาณในการส่งข้อมูลที่ไม่เท่ากัน และความสำคัญของแต่ละโหนดก็ไม่เท่ากัน โดยในการใช้งาน WBANs สัญญาณชีพและสัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้จากร่างกายคนแต่ละสัญญาณมีความต้องการระดับความสำคัญในการส่งข้อมูลที่ไม่เท่ากันจึงทำให้ต้องมีการแบ่งระดับความสำคัญ



ภาพประกอบที่ 3.11 ขั้นตอนการทำงานในช่วงจัดสรรลำดับการส่งแพ็คเก็ต

บทที่ 4

การทดลอง ผลทดลอง และ การวิเคราะห์ผล

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ออกแบบรูปแบบการติดต่อสื่อสารของ WBANs ในชั้นของ MAC Protocol โดยได้ร่วมกันระหว่าง CSMA/CA กับ TDMA ในช่วงที่เป็น CSMA/CA ได้ศึกษาผลกระทบของ Packet inter-arrival time, Packet Sizes จำนวนของโหนดสื่อสารในระบบ และ Time-symbol จากนั้นในวิทยานิพนธ์ก็จะมาทดสอบว่าในสภาพแวดล้อมจริงที่ใช้งาน WBANs ส่วนในช่วงที่เป็น TDMA เราให้ความสำคัญในการใช้พลังงาน และการจัดลำดับความสำคัญของโหนดที่ส่งข้อมูล

4.1 การทดลอง

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้มีการแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลองหลักๆได้แก่ 1) การศึกษาตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการติดต่อสื่อสาร 2) สภาพแวดล้อม 3) การศึกษาเกี่ยวกับพลังงาน ในแต่ละการทดลองมีการใช้กำลังส่งสูงสุดที่ 0 dBm และใช้ช่องสัญญาณสุดท้ายของช่องสัญญาณทั้งหมด 16 ช่อง ในความถี่มาตรฐาน IEEE 802.15.4 ที่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์

ในงานวิจัยนี้มีการวัดประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลจาก Packet delivery ratio (PDR) ดังสมการที่ 4.1 คือ อัตราส่วนระหว่างแพ็คเกจที่โหนดส่งออกไป (*send_packet*) เปรียบเทียบกับจำนวนแพ็คเกจที่โหนดปลายทางได้รับ (*receive_packet*) PDR เป็นค่าบ่งบอกถึงความสามารถของการสื่อสารของระบบเครือข่าย โดยในทุกการทดลองย่อยเราใช้ค่า PDR ในการวัดประสิทธิภาพ สมการคำนวณ PDR คือ

$$PDR(\%) = \frac{\text{receive_packet}}{\text{send_packet}} \times 100 \quad (4.1)$$

ตารางที่ 4.1 รูปแบบในการทดลอง

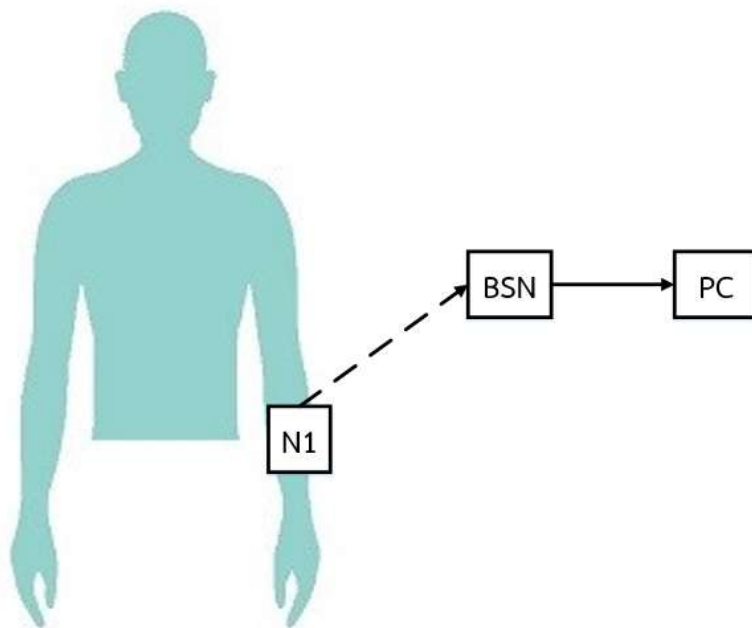
การทดลอง	จำนวนโหนดที่ใช้ งาน	ตำแหน่งที่ติดตั้ง โหนดบนร่างกาย	สถานที่ทดสอบ	Protocol	packet size (byte)
การศึกษาตัวแปรสำคัญที่มี ผลต่อการติดต่อสื่อสาร	1-3	variety	อยู่แต่ในห้อง	CSMA/CA	10-36
สภาพแวดล้อม	3	yes	มีทั้งนอกห้องและ ในห้อง	CSMA/CA	16
การศึกษาเกี่ยวกับพลังงาน	3	no	อยู่แต่ในห้อง	TDMA + CSMA/CA	16

4.1.1 การศึกษาตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการติดต่อสื่อสาร

ในการทดลองศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการติดต่อสื่อสาร ได้ยึดตามการฟังก์ชันทำงานพื้นฐานของชิป CC2420 ที่ทำงานอยู่บนระบบปฏิบัติการ TinyOS โดยตัวแปรสำคัญที่ศึกษาในการทดลองนี้ประกอบไปด้วย Packet inter-arrival time, Packet Size จำนวนของโหนดสื่อสารในระบบ และ Time-symbol โดย Packet inter-arrival time เป็นตัวแปรสำคัญในการกำหนดปริมาณความถี่ในการส่งข้อมูล ที่ส่งผลต่อปริมาณข้อมูลที่สามารถส่งได้ โดยเมื่อค่า Packet inter-arrival time ต่ำลง ทำให้ความถี่ในการส่งข้อมูลมีมากขึ้น โดยต้องแลกมากับข้อมูลที่สูญหายไประหว่างการส่งข้อมูล ต่อมา Packet Size เป็นตัวแปรสำคัญในการกำหนดขนาดของข้อมูลที่จะส่งใน 1 แพ็คเก็ต โดยเมื่อ Packet Size มีขนาดใหญ่ขึ้น ก็สามารถส่งข้อมูลได้มากขึ้น โดยในระบบปฏิบัติการ TinyOS จำกัดขนาด Packet Size ไว้ใหญ่ที่สุดที่อนุญาตให้ขนาดไม่เกิน 28 ไบต์ อีกหนึ่งตัวแปรที่สนใจคือ จำนวนของโหนดสื่อสารในระบบ เมื่อมีการใช้งานจริงของเครือข่ายที่เป็น WBANs จะมีการวัดค่าสัญญาณต่าง ๆ จากร่างกายมนุษย์ จึงทำให้ในเครือข่ายที่เป็น WBANs มีโหนดในระบบอยู่หลายโหนด และมีระยะไม่ห่างกันมาก ส่วนตัวแปรสุดท้ายคือ Time-symbol ที่เป็นตัวแปรที่จะกำหนดระยะเวลาในการรอเมื่อช่องสัญญาณไม่ว่าง ทำให้เห็นผลต่อประสิทธิภาพการในการสื่อสารได้อย่างชัดเจน เมื่อมีการปรับค่า Time-symbol

4.1.1.1 ปรับค่า Packet inter-arrival time และ Packet Size

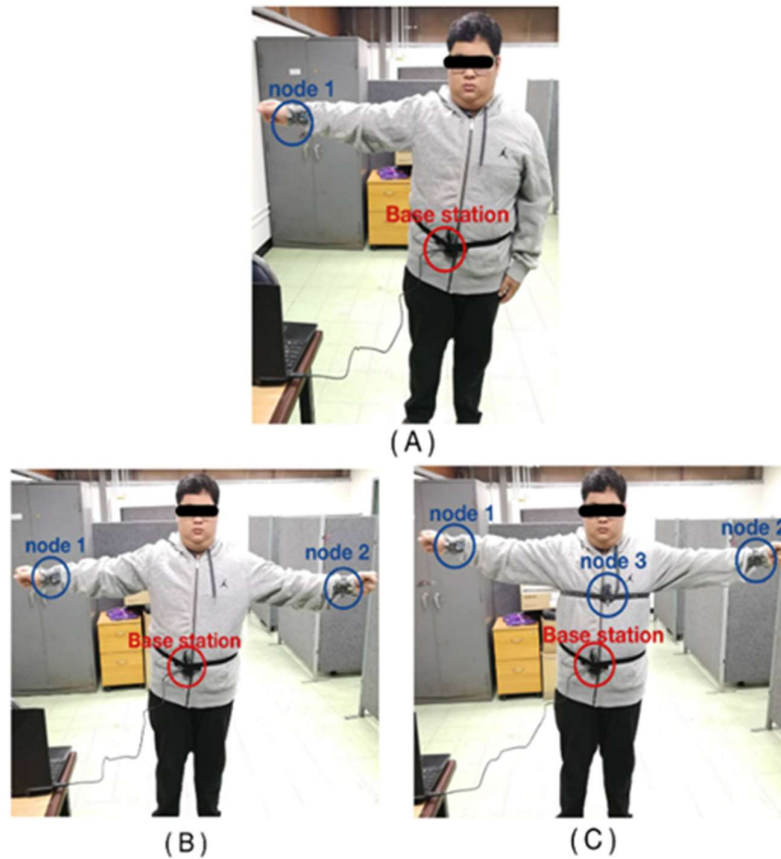
การทดลองนี้เราทดลองหาผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสาร เมื่อเรามีการเปลี่ยนแปลงค่า Packet inter-arrival time และขนาดของ Packet Sizes โดยในการทดลองจะให้โหนด 1 โหนด ส่งข้อมูลมาที่สถานีฐาน แล้วจากสถานีฐานส่งข้อมูลไปเก็บที่คอมพิวเตอร์ ตามภาพประกอบที่ 4.1 โครงสร้างในการทดลองปรับค่า Packet inter-arrival time 5, 8, 10, 13, 15, 18 และ 20 มิลลิวินาที และ Packet Sizes 10, 16, 24 และ 36 ไบต์



ภาพประกอบที่ 4.1 โครงสร้างในการทดลองปรับค่า Packet inter-arrival time และ Packet Size

4.1.1.2 ปรับค่า Packet inter-arrival time และเพิ่มจำนวนโหนดในระบบ

การทดลองนี้เราทดลองหาผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสาร เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า Packet inter-arrival time และมีการเพิ่มโหนดเข้ามาในเครือข่าย โดยในการทดลองจะเพิ่มโหนดเข้ามาจาก 1 โหนด เป็น 2 โหนด และ 3 โหนด ตามลำดับ ดังภาพประกอบที่ 4.2 และตามการทดลองปรับค่า Packet inter-arrival time 5, 8, 10, 13, 15, 18 และ 20 มิลลิวินาที โดยในภาพประกอบที่ 4.2 A เป็นการทดลองติดโหนด 1 โหนดไว้ที่แขนข้างขวาของผู้ทดสอบ และติดตั้งสถานีฐานไว้ที่บริเวณเอวของผู้ทดสอบ ในภาพประกอบที่ 4.2 B เป็นการทดลองติดโหนด 2 โหนดไว้ที่แขนข้างขวาและซ้ายของผู้ทดสอบ และติดตั้งสถานีฐานไว้ที่บริเวณเอวของผู้ทดสอบ ในภาพประกอบที่ 4.2 C เป็นการทดลองติดโหนด 3 โหนดไว้ที่แขนข้างขวา แขนข้างซ้าย และบริเวณหน้าอกของผู้ทดสอบ โดยติดตั้งสถานีฐานไว้ที่บริเวณเอวของผู้ทดสอบ



ภาพประกอบที่ 4.2 (A) ทดลองมี 1 โหนดในระบบ
(B) ทดลองมี 2 โหนดในระบบ (C) ทดลองมี 3 โหนดในระบบ

4.1.1.3 ปรับค่า Time-symbol

การส่งข้อมูลในบอร์ด TelosB การทำงานพื้นฐานของบอร์ดเป็นการทำงานบนมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ที่ใช้วิธีการติดต่อสื่อสารแบบ CSMA/CA โดยจะมีการแย่งชิงกันส่งแพ็คเก็ต เมื่อโหนดที่ต้องการส่งแพ็คเก็ตเกิดตรวจสอบแล้วช่องสัญญาณไม่ว่าง จะมีการรออยู่ช่วงเวลาหนึ่ง ที่เรียกว่า backoff โดยที่ backoff จะขึ้นอยู่กับค่า Time-symbol โดยค่า backoff จะมีด้วยกันสองช่วงคือ initial และ congestion วิธีการคำนวณค่า backoff ในตอนแรกต้องนำ Time-symbol มาแปลงเป็น Backoff-period โดย $\text{Backoff-period} = 20/\text{Time-symbol}$ และเมื่อได้ค่า Backoff-period แล้วนำมาหา initial backoff โดย $31 * \text{Backoff-period}$ และ congestion backoff โดย $7 * \text{Backoff-period}$ ค่าทั้งสองจะได้ค่ามาในหน่วย jiffies และ 10 jiffies เท่ากับ 320 ไมโครวินาที ในการทดลองนี้เราจะทดลองปรับค่า Time-symbol จาก 1 ถึง 5 เมื่อแปลงค่ามาแล้วจะเป็นไปตามตารางที่ 4.1 และปรับค่า Packet inter-arrival time เป็น 5, 10 และ 18 มิลลิวินาที

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง TimeSymbol กับช่วงเวลา backoff ใน initial และ congestion

Time-symbol	Backoff-period	initial backoff		congestion backoff	
		jiffies	microsec	jiffies	microsec
1	20	620	19840	140	4480
2	10	310	9920	70	2240
3	7*	207*	6613*	47*	1493*
4	5	155	4960	35	1120
5	4	124	3968	28	896

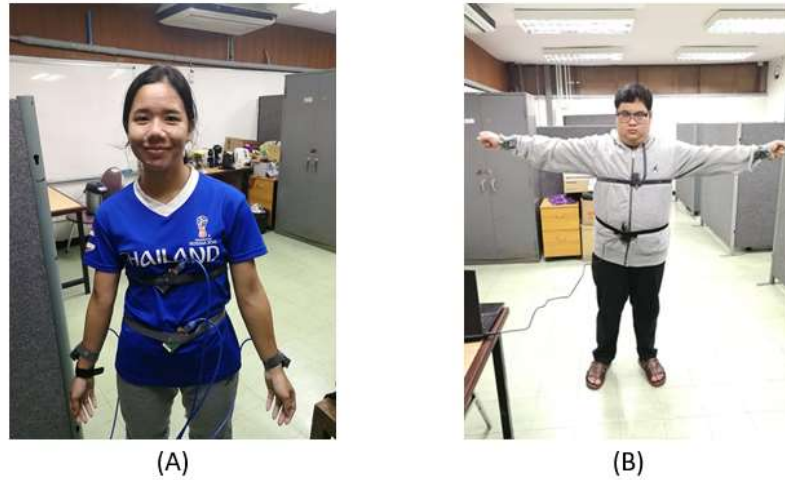
* ค่าที่แสดงได้รับการปิดเศษแล้ว

4.1.2 สภาพแวดล้อม

การใช้งานเครือข่ายที่เป็น WBANs มักจะมีการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย การทดลองนี้จึงเป็นการจำลองการทดสอบวัดค่าประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารที่มีความใกล้เคียงกับการใช้งานจริง ตัวอย่างเช่น การเก็บค่าพารามิเตอร์จากตัวนักกีฬาหรือจากผู้ป่วยในโรงพยาบาลทำให้ต้องมีการทดลองทั้งในอาคารและนอกอาคาร

4.1.2.1 ในเพศชายและเพศหญิง

การทดลองนี้เราทดลองวัดผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสาร เมื่อเรามีการเปลี่ยนแปลงตัวบุคคลในการทดลองโดยจะแบ่งเป็นการทดลองในเพศหญิงและการทดลองในเพศชายตามภาพประกอบที่ 4.3 เนื่องจากในการติดต่อสื่อสารแบบ WBANs เป็นการที่โหนดสื่อสารติดอยู่บนหรือในร่างกายของมนุษย์ ในภาพประกอบที่ 4.3 A เป็นการทดลองติดโหนด 3 โหนดไว้ที่แขนข้างขวา ซ้าย และบริเวณหน้าอกของผู้ทดสอบ โดยติดตั้งสถานีฐานไว้ที่บริเวณเอวของผู้ทดสอบที่เป็นเพศหญิง และในภาพประกอบที่ 4.3 B เป็นการทดลองติดโหนด 3 โหนดไว้ที่แขนข้างขวา ซ้าย และบริเวณหน้าอกของผู้ทดสอบโดยติดตั้งสถานีฐานไว้ที่บริเวณเอวของผู้ทดสอบที่เป็นเพศชาย



ภาพประกอบที่ 4.3 (A) การทดลองในเพศหญิง (B) การทดลองในเพศชาย

4.1.2.2 ยืนนิ่งในอาคารและนอกอาคาร

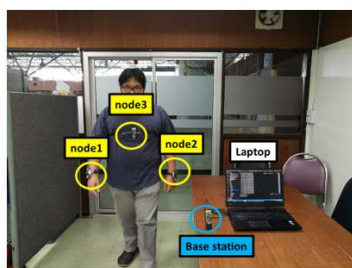
ในการทดลองนี้เราวัดผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบโดยจะทดสอบทั้งในตัวอาคารและนอกอาคารตามภาพประกอบที่ 4.4 เราทดลองติดโหนด 3 โหนดไว้ที่ตัวบุคคลยืนนิ่งแล้วส่งแพ็คเก็ตมาที่ตัวสถานีฐาน โดยเราเปลี่ยนค่า Packet inter-arrival time ทั้งหมดด้วยกัน 3 ค่า คือ 5, 10 และ 18 มิลลิวินาที ในภาพประกอบที่ 4.4 (A) เป็นการทดลองติดโหนด 3 โหนดไว้ที่แขนข้างขวา ซ้าย และบริเวณหน้าอกของผู้ทดสอบโดยติดตั้งสถานีฐานไว้ที่บนโต๊ะบริเวณใกล้กับตัวของตัวผู้ทดสอบความสูง 1 เมตรภายในห้องในตัวอาคาร และภาพประกอบที่ 4.4 (B) เป็นการทดลองติดโหนด 3 โหนดไว้ที่แขนข้างขวา ซ้าย และบริเวณหน้าอกของผู้ทดสอบโดยติดตั้งสถานีฐานไว้ที่บนเก้าอี้บริเวณใกล้กับตัวของตัวผู้ทดสอบความสูง 1 เมตรภายนอกตัวอาคาร



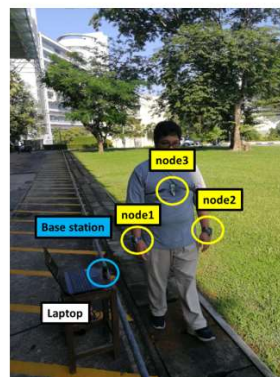
ภาพประกอบที่ 4.4 (A) การทดลองยืนนิ่งในอาคาร (B) การทดลองยืนนิ่งนอกอาคาร

4.1.2.3 เดินในอาคารและนอกอาคาร

ในการทดลองนี้เราวัดผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบโดยจะทดสอบทั้งในตัวอาคารและนอกอาคารตามภาพประกอบที่ 4.5 เราทดลองติดโหนด 3 โหนด ไว้ที่ตัวบุคคลเดินไปมาเป็นเส้นตรงแล้วส่งแพ็คเก็ตเกิดมาที่ตัวสถานีฐาน โดยเปลี่ยนค่า Packet inter-arrival time ทั้งหมดด้วยกัน 3 ค่า คือ 5, 10 และ 18 มิลลิวินาที ในภาพประกอบที่ 4.5 (A) เป็นการทดลองติดโหนด 3 โหนดไว้ที่แขนข้างขวา ซ้าย และบริเวณหน้าอกของตัวผู้ทดสอบโดยติดตั้งสถานีฐานไว้ที่บนโต๊ะความสูง 1 เมตรภายในห้องในตัวอาคารแล้วให้ตัวของผู้ทดสอบเดินไปมาเป็นเส้นตรงระยะทาง 5 เมตร และในภาพประกอบที่ 4.5 (B) เป็นการทดลองติดโหนด 3 โหนดไว้ที่แขนข้างขวา ซ้าย และบริเวณหน้าอกของตัวผู้ทดสอบโดยติดตั้งสถานีฐานไว้ที่บนเก้าอี้ความสูง 1 เมตรภายนอกตัวอาคารแล้วให้ตัวของผู้ทดสอบเดินไปมาเป็นเส้นตรงระยะทาง 5 เมตร



(A)

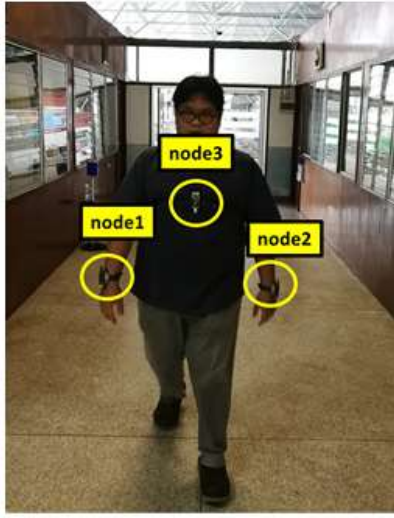


(B)

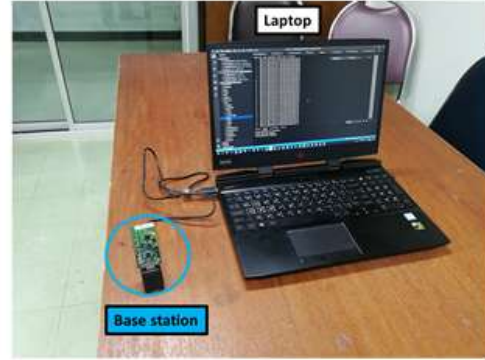
ภาพประกอบที่ 4.5 (A) การทดลองเดินไปมาเป็นเส้นตรงภายในอาคาร (B) การทดลองเดินไปมาเป็นเส้นตรงภายนอกอาคาร

4.1.2.4 เปลี่ยนตำแหน่งของสถานีฐาน

ในการทดลองนี้เราวัดผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความสูงของสถานีฐานที่ใช้ในการทดสอบโดยจะทดสอบเดินตามเส้นทางในตัวอาคาร ตามภาพประกอบที่ 4.6 เราทดลองติดโหนด 3 โหนด ไว้ที่ตัวบุคคล และสถานีฐานที่ความสูง 1 และ 2.5 เมตร โดยจากภาพประกอบที่ 4.6 (A) เป็นการทดลองติดโหนด 3 โหนด ไว้ที่แขนข้างขวา ซ้าย และบริเวณหน้าอกของตัวผู้ทดสอบ แล้วให้ตัวผู้ทดสอบเดินสู่ไปในตัวอาคารที่มีการแบ่งห้องมีการบดบังการส่งแพ็คเก็ตเกิดมาที่สถานีฐาน โดยภาพประกอบที่ 4.6 (B) เป็นการติดตั้งตัวสถานีฐานที่ตั้งอยู่บนโต๊ะที่มีความสูง 1 เมตรและอยู่ในห้อง ภาพประกอบที่ 4.6 (C) เป็นเป็นการติดตั้งตัวสถานีฐานที่ตั้งไว้บนกำแพงที่ความสูง 1 เมตรและอยู่หน้าห้อง ภาพประกอบที่ 4.6 (D) เป็นเป็นการติดตั้งตัวสถานีฐานที่ตั้งไว้บนกำแพงที่ความสูง 2.5 เมตรและอยู่หน้าห้อง จากภาพประกอบที่ 4.7 แสดงเส้นทางที่ใช้ในการเดินภายในตัวอาคารในการทดสอบนี้



(A)



(B)

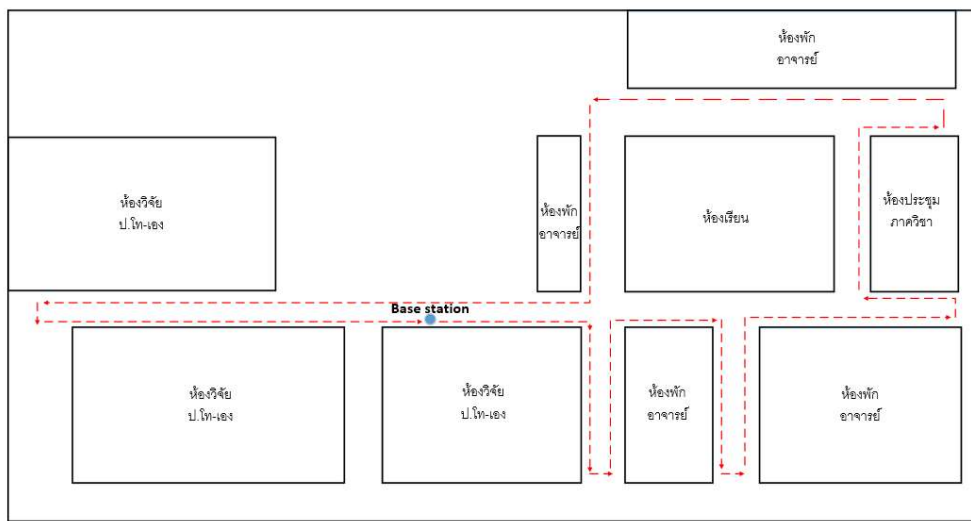


(C)



(D)

ภาพประกอบที่ 4.6 (A) ทดลองเดินสวมในอาคาร (B) สถานีฐานมีความสูง 1 เมตร ในห้อง
(C) สถานีฐานมีความสูง 1 เมตร หน้าห้อง (D) สถานีฐานมีความสูง 2.5 เมตร หน้าห้อง



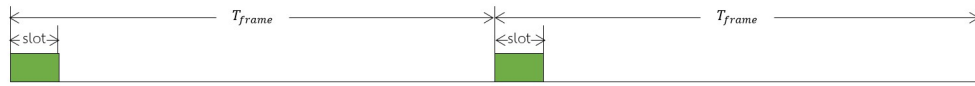
ภาพประกอบที่ 4.7 เส้นทางเดินภายในตัวอาคาร

4.1.3 การศึกษาเกี่ยวกับพลังงาน

การใช้งานการติดต่อสื่อสารที่เป็นแบบ WBANs ในบางกรณีมีความจำเป็นที่จะต้องใช้งานได้เป็นเวลานาน เนื่องจากตัวเซ็นเซอร์มีความยากที่จะเข้าไปเปลี่ยนแบตเตอรี่ เช่นตัวเซ็นเซอร์ที่มีการฝังอยู่ในร่างกาย เรื่องประสิทธิภาพในการใช้พลังงานจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ ในหัวข้อการทดลองนี้จึงเป็นการทดลองการทำงานชิปสื่อสาร CC2420 เพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานโดยให้โหนดเมื่อไม่มีการส่งแพ็คเก็ตเกิดให้ทำการปิดการใช้งานชิปสื่อสาร CC2420 และเมื่อโหนดต้องการส่งแพ็คเก็ตเกิดก็จะเปิดการทำงานของชิปสื่อสาร CC2420 และในการติดต่อสื่อสารที่เป็น WBANs ความสำคัญของข้อมูลที่เซ็นเซอร์โหนดต้องการที่จะส่งและปริมาณข้อมูลที่ต้องการส่งของโหนดแต่ละตัวมีความต้องการที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นการจัดลำดับความสำคัญของโหนดแต่ละตัวในเครือข่ายให้มีสิทธิ์ในการส่งข้อมูลที่ไม่เท่ากัน จึงเป็นส่วนหนึ่งในการออกแบบการสื่อสารของ WBANs ของงานวิจัยนี้ จากข้อมูลเกี่ยวกับโหนดสื่อสาร TelosB [21] จะแสดงให้เห็นว่าเมื่อโหนดมีการรับส่งข้อมูลจะมีการใช้พลังงานที่สูงที่สุดโดยที่เมื่อโหนดอยู่ในช่วงส่งข้อมูลจะใช้กระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 17.4 มิลลิแอมแปร์ และเมื่อโหนดอยู่ในช่วงรับข้อมูลจะใช้กระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 19.7 มิลลิแอมแปร์ จึงทำให้เห็นว่าชิปสื่อสาร CC2420ที่ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลเป็นจุดที่ใช้พลังงานมากที่สุด

4.1.3.1 เปิดปิดชิปสื่อสาร CC2420

ในการทดลองนี้เราทดลองเปิดปิดชิปสื่อสาร CC2420 โดยจากภาพประกอบที่ 4.8 แสดงการทำงานเปิดปิดโดยเรากำหนดช่วงการเปิดปิดเป็นสล็อตโดย 1 สล็อตจะใช้เวลา 3 วินาทีและใน $1 T_{frame}$ จะใช้เวลา 10 วินาที สาเหตุที่ต้องให้เวลาต่อ 1 สล็อตนานถึง 3 วินาทีเป็นเพราะข้อจำกัดในตัวอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดกระแสไฟฟ้า โดยตัวอุปกรณ์ที่ใช้วัดกระแสมีอัตราการสุ่มตัวอย่างสัญญาณ (Sampling Rate) อยู่ที่ 2 ตัวอย่างต่อวินาที ทำให้ต้องเพิ่มช่วงเวลาสล็อตให้มากขึ้นเพื่อสามารถวัดกระแสช่วงที่ส่งแพ็คเก็ตกับช่วงที่ปิดชิปสื่อสาร CC2420



ภาพประกอบที่ 4.8 การทดลองเปิดปิด RadioControl

โดยที่ตัวอุปกรณ์ที่เราใช้ในการวัดพลังงานเป็นอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าผ่านช่อง USB จากค่าที่เราวัดกระแสไฟฟ้ามาได้จะแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือช่วงที่ชิปสื่อสาร CC2420 เปิดใช้งานและช่วงที่ชิปสื่อสาร CC2420 ปิดใช้งาน โดยจะนำเอาทั้งสองช่วงนี้มารวมกันโดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.2

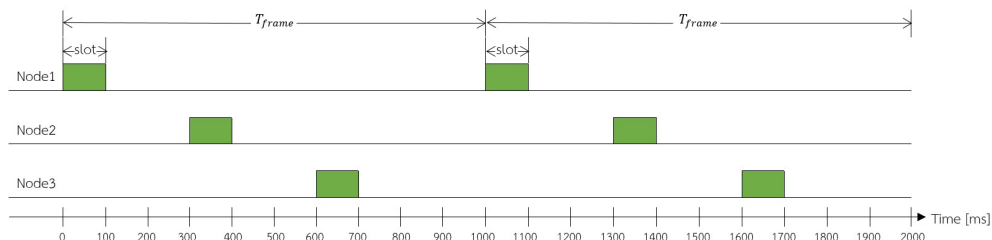
$$P_{total} = T_{awake}VI_{awake} + T_{sleep}VI_{sleep} \quad (4.2)$$

- โดยที่ P_{total} คือพลังงานทั้งหมดที่โหนดใช้ในหนึ่ง T_{frame} มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อ T_{frame} [W/T_{frame}]
 V คือแรงดันไฟฟ้าที่โหนดใช้งานมีหน่วยเป็นโวลต์ [V]
 T_{awake} คือช่วงเวลาที่ยโหนดทำการส่งแพ็คเก็ตมีหน่วยเป็นวินาที [S]
 I_{awake} คือกระแสไฟฟ้าที่โหนดใช้งานในช่วงที่ยโหนดทำการส่งแพ็คเก็ตมีหน่วยเป็นแอมแปร์ [A]
 T_{sleep} คือช่วงเวลาที่ยโหนดไม่ทำการส่งแพ็คเก็ตมีหน่วยเป็นวินาที [S]
 I_{sleep} คือกระแสไฟฟ้าที่โหนดใช้งานในช่วงที่ยโหนดไม่ทำการส่งแพ็คเก็ตมีหน่วยเป็นแอมแปร์

[A]

4.1.3.2 การติดต่อสื่อสารในช่วง TDMA

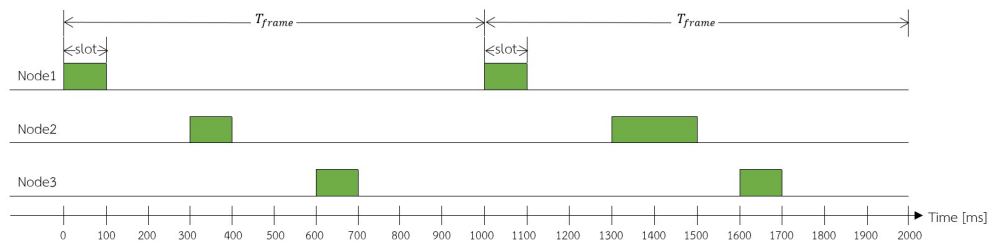
ในการทดลองนี้เราได้ทำการแบ่งสล็อตในโหนดแต่ละตัวทำการส่งแพ็คเก็ตมาตามนี้ฐานไม่ให้ตรงกันโดยจากภาพประกอบที่ 4.9 เป็นการแสดงการแบ่งการส่งข้อมูลแพ็คเก็ตของแต่ละโหนด โดยจะกำหนดให้แต่ละสล็อตมีขนาด 100 มิลลิวินาที และในหนึ่ง T_{frame} มีขนาด 1000 มิลลิวินาที โหนดที่ 1 จะส่งแพ็คเก็ตตั้งแต่วเวลา 0-100 มิลลิวินาที โหนดที่ 2 จะส่งแพ็คเก็ตตั้งแต่วเวลา 300-400 มิลลิวินาที และโหนดที่ 3 จะส่งแพ็คเก็ตตั้งแต่วเวลา 600-700 มิลลิวินาที



ภาพประกอบที่ 4.9 การทดลองเปิดปิด RadioControl แบบแต่ละโหนดเวลาไม่ตรงกัน

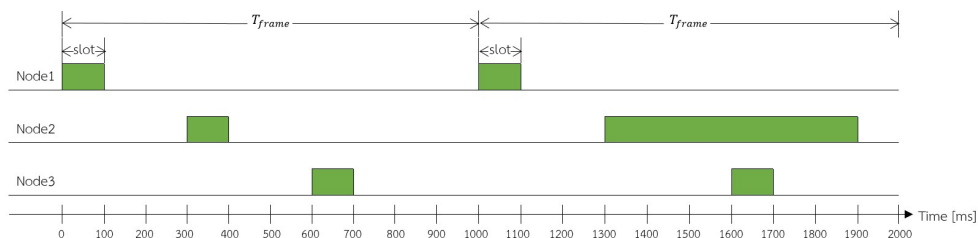
4.1.3.3 การติดต่อสื่อสารในช่วง TDMA ที่ความสำคัญในการส่งข้อมูลของแต่ละโหนดไม่เท่ากัน

ในการทดลองนี้เราทดลองให้ลำดับความสำคัญของแต่ละโหนดไม่เท่ากัน โดยโหนดที่มีความสำคัญมากกว่าจะมีสิทธิ์ในการส่งแพ็คเกจเกิดมากกว่าโหนดที่มีความสำคัญน้อยกว่าโดยในภาพประกอบที่ 4.10 เป็นการแสดงการแบ่งการส่งข้อมูลแพ็คเกจเกิดของแต่ละโหนดโดยจะกำหนดให้แต่ละสล็อตมีขนาดเวลา 100 มิลลิวินาที และในหนึ่ง T_{frame} มีขนาดเวลา 1000 มิลลิวินาที โหนดที่ 1 จะส่งแพ็คเกจเกิดตั้งแต่เวลา 0-100 มิลลิวินาที โหนดที่ 2 จะส่งแพ็คเกจเกิดตั้งแต่เวลา 300-400 มิลลิวินาที และโหนดที่ 3 จะส่งแพ็คเกจเกิดตั้งแต่เวลา 600-700 มิลลิวินาที และเมื่อเวลาผ่านไปโหนดที่ 2 มีความระดับความสำคัญเพิ่มขึ้นจากระดับปกติเป็นระดับสำคัญ จึงได้เพิ่มจากเดิมส่งอยู่ที่ 1 สล็อตเป็นส่ง 2 สล็อตโดยจะส่งแพ็คเกจเกิดตั้งแต่เวลา 300-500 มิลลิวินาทีเป็นการเพิ่มความสำคัญของโหนดที่ 2 ขึ้นมา



ภาพประกอบที่ 4.10 การทดลองปรับความสำคัญในการส่งของแต่ละโหนดไม่เท่ากัน

ภาพประกอบที่ 4.11 เป็นการแสดงการแบ่งการส่งข้อมูลแพ็คเกจเกิดของแต่ละโหนดโดยจะกำหนดให้แต่ละสล็อตมีขนาด 100 มิลลิวินาที และในหนึ่ง T_{frame} มีขนาด 1000 มิลลิวินาที โหนดที่ 1 จะส่งแพ็คเกจเกิดตั้งแต่ 0-100 มิลลิวินาที โหนดที่ 2 จะส่งแพ็คเกจเกิดตั้งแต่ 300-400 มิลลิวินาที และโหนดที่ 3 จะส่งแพ็คเกจเกิดตั้งแต่ 600-700 มิลลิวินาทีและเมื่อเวลาผ่านไปโหนดที่ 2 มีความต้องการที่จะส่งแพ็คเกจที่มากขึ้นเป็นอย่างมากจึงได้เพิ่มจากเดิมส่งอยู่ที่ 1 สล็อตเป็นส่ง 9 สล็อตโดยจะส่งแพ็คเกจเกิดตั้งแต่ 0-900 มิลลิวินาทีโดยเว้นไว้ 1 สล็อต เพื่อแยกระหว่าง T_{frame} เป็นการเพิ่มความสำคัญมากของโหนดที่ 2 โดยจะทำการส่งแพ็คเกจเกิดตลอดทั้ง T_{frame}



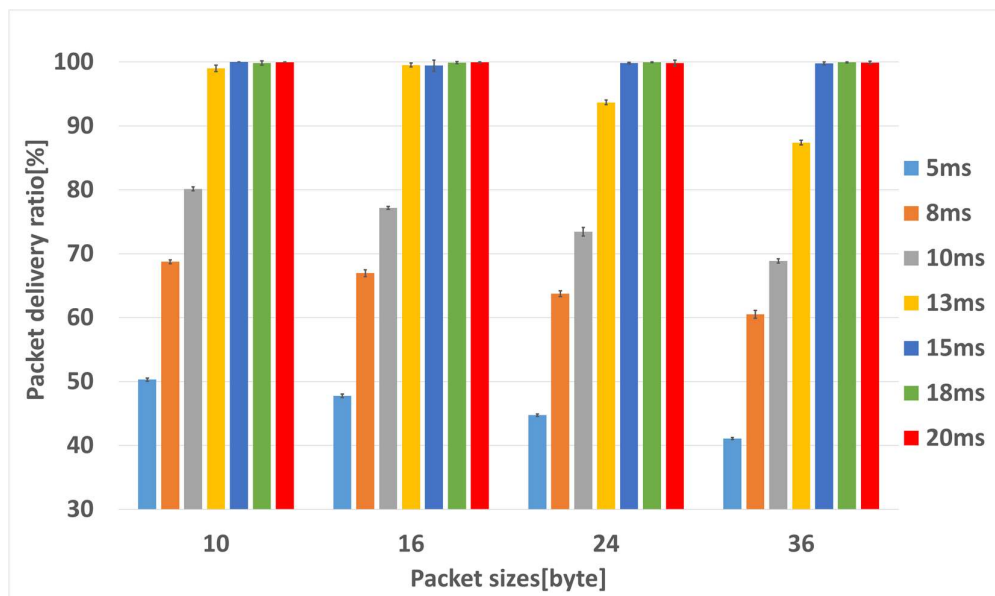
ภาพประกอบที่ 4.11 การทดลองปรับความสำคัญในการส่งของแต่ละโหนดไม่เท่ากัน

4.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.2.1 ผลการศึกษาตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการติดต่อสื่อสาร

4.2.1.1 ผลการทดลองปรับค่า Packet inter-arrival time และ Packet Sizes

จากการทดลองนี้เราทดลองหาผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารสายจำนวนหนึ่งโหนดในเครือข่าย เมื่อเรามีการเปลี่ยนแปลงค่า Packet inter-arrival time และขนาดของ Packet Sizes จากภาพประกอบที่ 4.12 กราฟแท่งแสดงค่า PDR ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการปรับค่า Packet inter-arrival time และขนาดของ Packet Sizes โดยที่ Packet inter-arrival time มีค่า 5 มิลลิวินาที (กราฟสีฟ้า) และที่ขนาดของ Packet Sizes เท่ากับ 10, 16, 24, 36 ไบต์มีค่า PDR เฉลี่ยเท่ากับ 50.31, 47.76, 44.74, 41.08 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ Packet inter-arrival time มีค่า 8 มิลลิวินาที (กราฟสีส้ม) และที่ขนาดของ Packet Sizes เท่ากับ 10, 16, 24, 36 ไบต์มีค่า PDR เฉลี่ยเท่ากับ 68.76, 66.96, 63.77, 60.51 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ Packet inter-arrival time มีค่า 10 มิลลิวินาที (กราฟสีเทา) และที่ขนาดของ Packet Sizes เท่ากับ 10, 16, 24, 36 ไบต์มีค่า PDR เฉลี่ยเท่ากับ 80.16, 77.19, 73.43, 68.88 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ Packet inter-arrival time มีค่า 13 มิลลิวินาที (กราฟสีเหลือง) และที่ขนาดของ Packet Sizes เท่ากับ 10, 16, 24, 36 ไบต์มีค่า PDR เฉลี่ยเท่ากับ 99.03, 99.53, 93.69, 87.4 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ Packet inter-arrival time มีค่า 15 มิลลิวินาที (กราฟสีน้ำเงิน) และที่ขนาดของ Packet Sizes เท่ากับ 10, 16, 24, 36 ไบต์มีค่า PDR เฉลี่ยเท่ากับ 100, 99.45, 99.83, 99.78 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ Packet inter-arrival time มีค่า 18 มิลลิวินาที (กราฟสีเขียว) และที่ขนาดของ Packet Sizes เท่ากับ 10, 16, 24, 36 ไบต์มีค่า PDR เฉลี่ยเท่ากับ 99.84, 99.92, 99.98, 99.95 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ Packet inter-arrival time มีค่า 20 มิลลิวินาที (กราฟสีแดง) และที่ขนาดของ Packet Sizes เท่ากับ 10, 16, 24, 36 ไบต์มีค่า PDR เฉลี่ยเท่ากับ 99.99, 99.95, 99.85, 99.92 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยค่าที่ได้มาจากการทดลองซ้ำ 10 ครั้ง ครั้งละ 1000 แพ็คเก็ตแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย



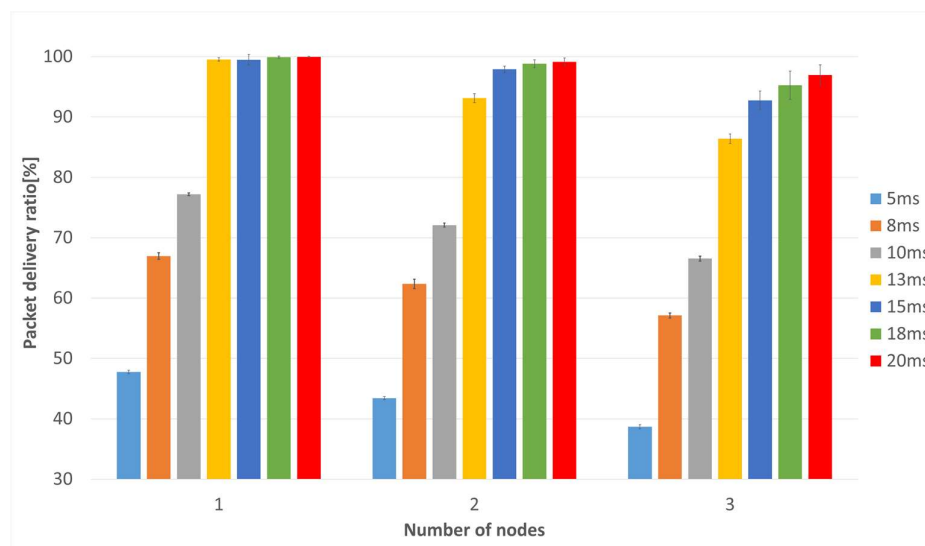
ภาพประกอบที่ 4.12 ผลเมื่อปรับเปลี่ยนค่า Packet inter-arrival time และขนาดของ Packet Sizes

จากผลการทดลองปรับเปลี่ยนค่า Packet inter-arrival time และขนาดของ Packet Sizes พบว่าเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของ Packet inter-arrival time มีผลทำให้ PDR มีค่าสูงขึ้น เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของขนาดของ Packet

Sizes มีผลทำให้ PDR ลดลง และจากการทดลองช่วง Packet inter-arrival time ตั้งแต่ที่ 15 มิลลิวินาทีเป็นต้นไป ขนาดของของ Packet Sizes ที่เพิ่มขึ้นจะไม่ส่งผลต่อค่า PDR

4.2.1.2 ผลการทดลองปรับค่า Packet inter-arrival time และเพิ่มจำนวนโหนดในระบบ

การทดลองนี้เราทดลองหาผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารไร้สายจำนวน 1-3 โหนดในเครือข่าย เมื่อเรามีการเปลี่ยนแปลงค่า Packet inter-arrival time และมีการเพิ่มโหนดเข้ามาในเครือข่ายจากภาพประกอบที่ 4.13 กราฟแท่งแสดงค่า PDR ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการปรับค่า Packet inter-arrival time และเพิ่มจำนวนโหนดในระบบโดยที่ Packet inter-arrival time มีค่า 5 มิลลิวินาที (กราฟสีฟ้า) และมีโหนดอยู่ในเครือข่ายหนึ่งโหนดสองโหนดและสามโหนดมีค่า PDR เฉลี่ยเท่ากับ 47.76, 43.41, 38.69 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ Packet inter-arrival time มีค่า 8 มิลลิวินาที (กราฟสีส้ม) และมีโหนดอยู่ในเครือข่ายหนึ่งโหนดสองโหนดและสามโหนดมีค่า PDR เฉลี่ยเท่ากับ 66.96, 62.34, 57.12 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ Packet inter-arrival time มีค่า 10 มิลลิวินาที (กราฟสีเทา) และมีโหนดอยู่ในเครือข่ายหนึ่งโหนดสองโหนดและสามโหนดมีค่า PDR เฉลี่ยเท่ากับ 77.19, 72.09, 66.54 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ Packet inter-arrival time มีค่า 13 มิลลิวินาที (กราฟสีเหลือง) และมีโหนดอยู่ในเครือข่ายหนึ่งโหนดสองโหนดและสามโหนดมีค่า PDR เฉลี่ยเท่ากับ 99.53, 93.13, 86.41 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ Packet inter-arrival time มีค่า 15 มิลลิวินาที (กราฟสีน้ำเงิน) และมีโหนดอยู่ในเครือข่ายหนึ่งโหนดสองโหนดและสามโหนดมีค่า PDR เฉลี่ยเท่ากับ 99.45, 97.89, 92.76 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ Packet inter-arrival time มีค่า 18 มิลลิวินาที (กราฟสีเขียว) และมีโหนดอยู่ในเครือข่ายหนึ่งโหนดสองโหนดและสามโหนดมีค่า PDR เฉลี่ยเท่ากับ 99.92, 98.81, 95.26 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ Packet inter-arrival time มีค่า 20 มิลลิวินาที (กราฟสีแดง) และมีโหนดอยู่ในเครือข่ายหนึ่งโหนดสองโหนดและสามโหนดมีค่า PDR เฉลี่ยเท่ากับ 99.95, 99.11, 96.94 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยค่าที่ได้มาจากการทดลองซ้ำ 10 ครั้ง ครั้งละ 1000 แพ็คเก็ต แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

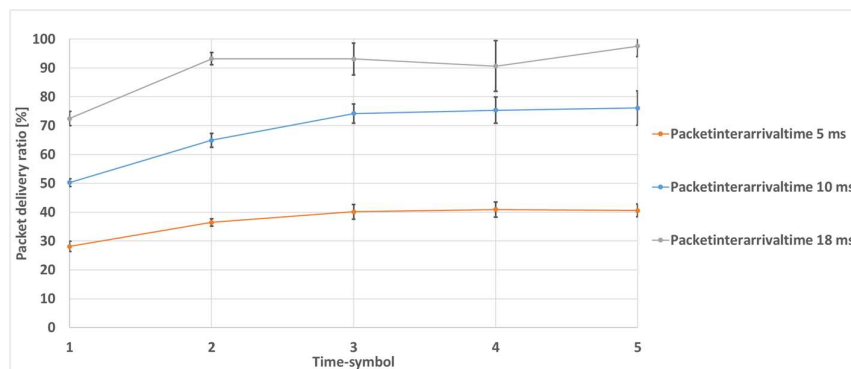


ภาพประกอบที่ 4.13 ผลเมื่อปรับค่า Packet inter-arrival time และเพิ่มจำนวนโหนดในระบบ

จากผลการทดลองปรับเปลี่ยนค่า Packet inter-arrival time และมีการเพิ่มโหนดเข้ามาในเครือข่าย พบว่าเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของ Packet inter-arrival time มีผลทำให้ PDR มีค่าสูงขึ้น เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนดเข้ามาในระบบมีผลทำให้ PDR มีค่าลดลงและจากการทดลองพบว่าที่ Packet inter-arrival time มีค่าตั้งแต่ 15 มิลลิวินาทีขึ้นไปเมื่อเพิ่มจำนวนโหนดเข้ามาในระบบและก็ยังให้ค่า PDR ที่สูงเกินกว่า 90 เปอร์เซ็นต์

4.2.1.3 ผลการทดลองปรับค่า Time-symbol

การทดลองนี้เราทดลองหาผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารไร้สายจำนวน 3 โหนดในเครือข่าย เมื่อเรามีการเปลี่ยนแปลงค่า Packet inter-arrival time และมีการปรับค่า Time-symbol จากภาพประกอบที่ 4.14 กราฟเส้นแสดงค่า PDR ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการปรับค่า Packet inter-arrival time และปรับค่า Time-symbol โดยที่ Packet inter-arrival time มีค่า 5 มิลลิวินาที (กราฟสีส้ม) ที่ค่า Time-symbol เป็น 1, 2, 3, 4 และ 5 มีค่า PDR เท่ากับ 28.12, 36.43, 40.11, 40.92 และ 40.6 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ Packet inter-arrival time มีค่า 10 มิลลิวินาที (กราฟสีฟ้า) ที่ค่า Time-symbol เป็น 1, 2, 3, 4 และ 5 มีค่า PDR เท่ากับ 50.24, 64.94, 74.19, 75.34 และ 76.09 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ Packet inter-arrival time มีค่า 18 มิลลิวินาที (กราฟสีเทา) ที่ค่า Time-symbol เป็น 1, 2, 3, 4 และ 5 มีค่า PDR เท่ากับ 72.44, 93.21, 93.13, 90.63 และ 97.56 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยในแต่ละการทดลองแต่ละโหนดจะส่งแพ็คเก็ตมาที่สถานีฐานจำนวน 30,000 แพ็คเก็ตแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย



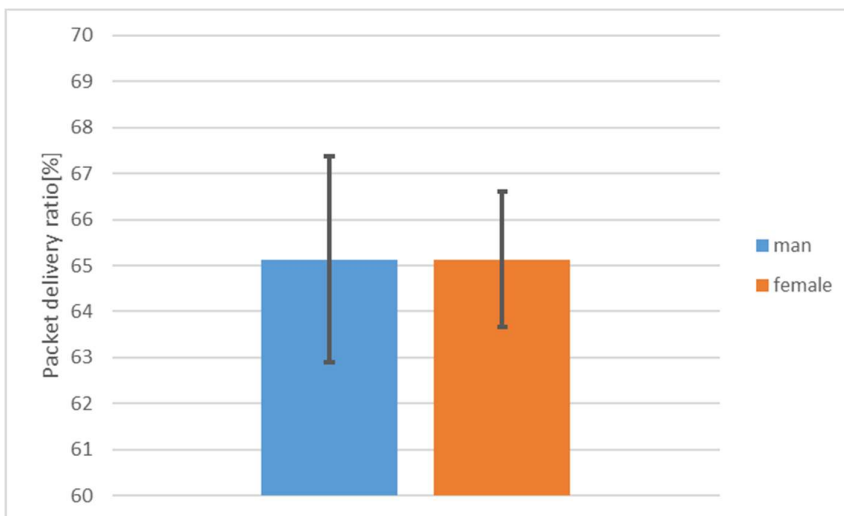
ภาพประกอบที่ 4.14 ผลเมื่อปรับค่า Packet inter-arrival time และ Time-symbol

จากผลการทดลองปรับเปลี่ยนค่า Packet inter-arrival time และมีปรับค่า Time-symbol จากภาพประกอบที่ 4.14 จะเห็นได้ว่า ที่ Time-symbol มีค่าเท่ากับ 1 ค่า PDR ของ Packet inter-arrival time ทั้งสามค่าต่ำที่สุดและเพิ่มขึ้นเมื่อค่า Time-symbol เพิ่มขึ้นจนถึงที่ Time-symbol มีค่าเท่ากับ 3 ค่า PDR ของ Packet inter-arrival time ทั้งสามค่าเริ่มคงที่แม้ว่าจะเพิ่มค่า Time-symbol ค่า PDR ก็ไม่ได้เพิ่มตาม

4.2.2 ผลการศึกษาจากสภาพแวดล้อมจริง

4.2.2.1 ผลการทดลองในเพศชายและเพศหญิง

การทดลองนี้เราทดลองหาผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารไร้สายจำนวน 3 โหนดในเครือข่าย เมื่อเรามีการเปลี่ยนแปลงผู้ทดสอบโดยทดลองส่งข้อมูลทั้งในเพศชายและเพศหญิง จากภาพประกอบที่ 4.15 กราฟที่ทดลองในเพศชาย (กราฟสีฟ้า) มีค่า PDR เฉลี่ยเท่ากับ 65.13 เปอร์เซ็นต์และกราฟที่ทดลองในเพศหญิง (กราฟสีส้ม) มีค่า PDR เฉลี่ยเท่ากับ 65.13 เปอร์เซ็นต์ โดยในแต่ละการทดลองแต่ละโหนดจะส่งแพ็คเกจที่มาที่สถานีฐานจำนวน 66,000 แพ็คเกจ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย



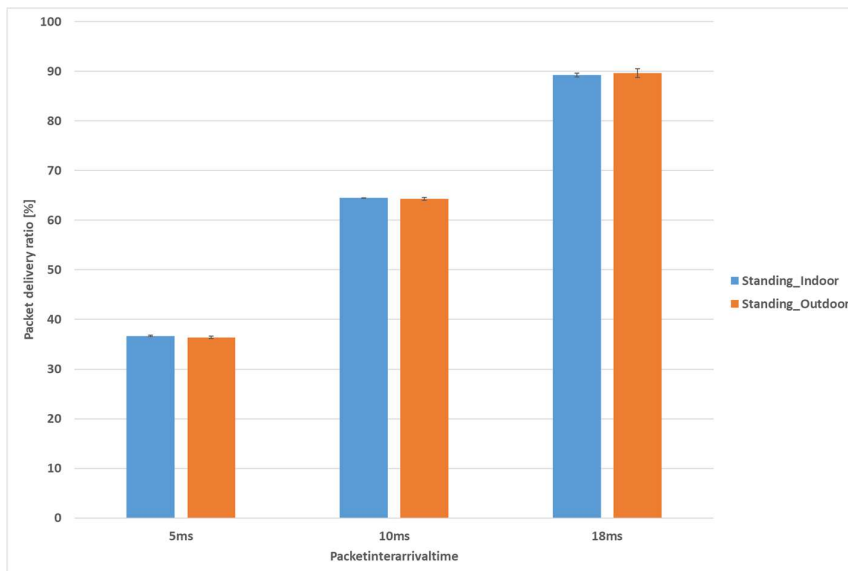
ภาพประกอบที่ 4.15 ผลการทดลองในเพศชายและเพศหญิง

ผลการทดลองนี้เราทดลองหาผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารเมื่อเรามีการเปลี่ยนแปลงผู้ทดสอบโดยทดลองส่งข้อมูลทั้งในเพศชายและเพศหญิงจากผลการทดลองที่ได้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในการทดลองระหว่างเพศชายและเพศหญิงโดยจากภาพประกอบที่ 4.15 จะเห็นว่าในเพศชายมีการแกว่งตัวของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงกว่าเพศหญิงถึง 1.52 เท่า

4.2.2.2 ผลการทดลองยืนนิ่งในอาคารและนอกอาคาร

จากการทดลองนี้เราวัดผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารไร้สายจำนวน 3 โหนดในเครือข่าย เมื่อเรามีการเปลี่ยนแปลงสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบโดยจะทดสอบยืนนิ่งทั้งในต้วอาคารและนอกอาคาร ภาพประกอบที่ 4.16 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง PDR กับ Packet inter-arrival time โดยเราทดลองยืนนิ่งในอาคาร (กราฟสีฟ้า) ที่ Packet inter-arrival time 5 มิลลิวินาที PDR เฉลี่ยเท่ากับ 36.69 เปอร์เซ็นต์ Packet inter-arrival time 10 มิลลิวินาที PDR เฉลี่ยเท่ากับ 64.45 เปอร์เซ็นต์ Packet inter-arrival time 18 มิลลิวินาที

PDR เฉลี่ยเท่ากับ 89.21 เปอร์เซ็นต์ และทดลองยืนนิ่งนอกรอาคาร (กราฟสี่เหลี่ยม) ที่ Packet inter-arrival time 5 มิลลิวินาที PDR เฉลี่ยเท่ากับ 36.40 เปอร์เซ็นต์ Packet inter-arrival time 10 มิลลิวินาที PDR เฉลี่ยเท่ากับ 64.29 เปอร์เซ็นต์ Packet inter-arrival time 18 มิลลิวินาที PDR เฉลี่ยเท่ากับ 89.57 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าที่ได้มาจากการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ต่อครั้งใช้เวลาเก็บข้อมูล 5 นาที แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย



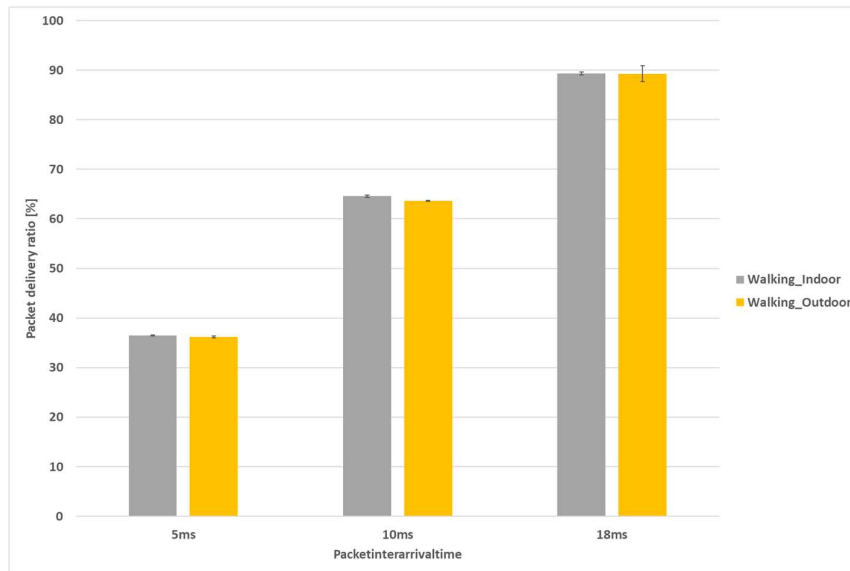
ภาพประกอบที่ 4.16 ผลการทดลองยืนนิ่งทั้งในอาคารและภายนอก

จากผลการทดลองยืนนิ่งทั้งในอาคารและภายนอกของอาคารจากการทดลองปรับ Packet inter-arrival time ทั้งสามค่าแสดงให้เห็นว่าเมื่อเรายืนนิ่งอยู่กับที่ทั้งในตัวอาคารและนอกตัวอาคารไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.2.2.3 ผลการทดลองเดินในอาคารและนอกอาคาร

จากการทดลองนี้เราวัดผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารไร้สายจำนวน 3 โหนดในเครือข่าย เมื่อเรามีการเปลี่ยนแปลงสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบโดยจะทดสอบเดินไปมาเป็นเส้นตรงทั้งในตัวอาคารและนอกรอาคาร ภาพประกอบที่ 4.17 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง PDR กับ Packet inter-arrival time โดยเราทดลองเดินไปมาเป็นเส้นตรงในอาคาร (กราฟสี่เหลี่ยม) ที่ Packet inter-arrival time 5 มิลลิวินาที PDR เฉลี่ยเท่ากับ 36.49 เปอร์เซ็นต์ Packet inter-arrival time 10 มิลลิวินาที PDR เฉลี่ยเท่ากับ 64.57 เปอร์เซ็นต์ Packet inter-arrival time 18 มิลลิวินาที PDR เฉลี่ยเท่ากับ 89.32 เปอร์เซ็นต์ และทดลองเดินไปมาเป็นเส้นตรงนอกรอาคาร (กราฟสี่เหลี่ยม) ที่ Packet inter-arrival time 5 มิลลิวินาที PDR เฉลี่ยเท่ากับ 36.17 เปอร์เซ็นต์ Packet inter-arrival time 10 มิลลิวินาที PDR เฉลี่ยเท่ากับ 63.64 เปอร์เซ็นต์ Packet inter-arrival time 18 มิลลิวินาที PDR เฉลี่ย

เท่ากับ 89.28 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าที่ได้มาจากการทดลองซ้ำกัน 5 ครั้ง ต่อครั้งใช้เวลาเก็บข้อมูล 5 นาที แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย



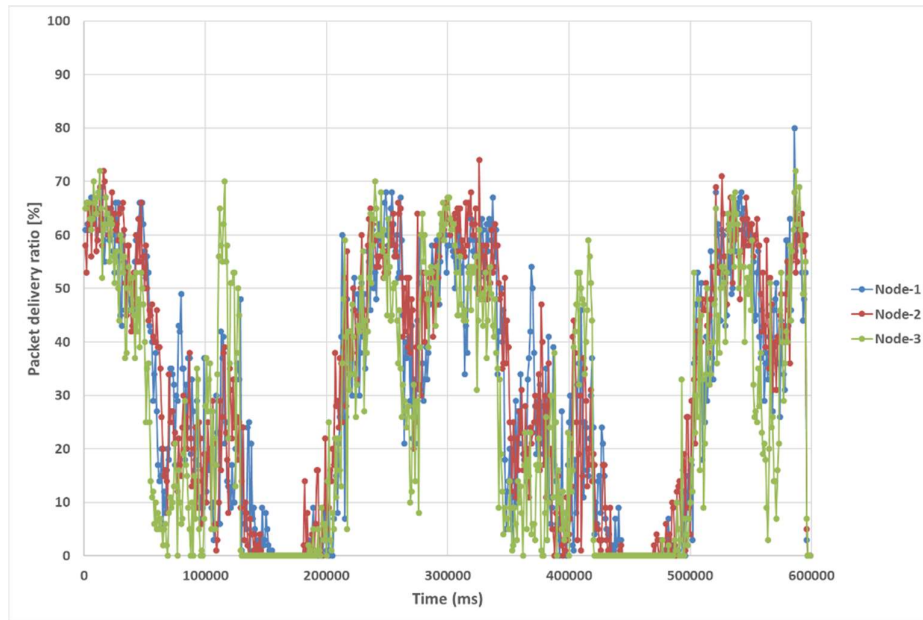
ภาพประกอบที่ 4.17 ผลการทดลองเดินไปมาเป็นเส้นตรงทั้งในอาคารและภายนอก

จากผลการทดลองเดินไปมาเป็นเส้นตรงทั้งในอาคารและภายนอกของอาคารจากการทดลองปรับ Packet inter-arrival time ทั้งสามค่าแสดงให้เห็นว่าเมื่อเราเดินไปมาเป็นเส้นตรงที่ทั้งในตัวอาคารและนอกตัวอาคารไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

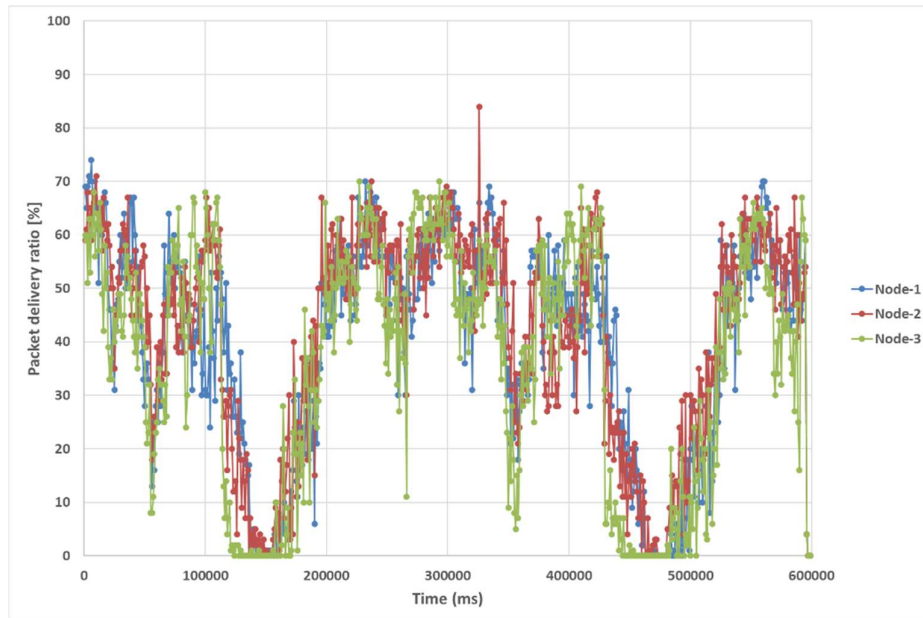
4.2.2.4 ผลการทดลองเปลี่ยนตำแหน่งของสถานีฐาน

ในการวัดประสิทธิภาพในการสื่อสารระหว่างตัวโหนดในเครือข่ายจำนวน 3 โหนด โดยจากภาพประกอบที่ 4.18 4.19 และ 4.20 เราจะวัดประสิทธิภาพโดยเราใช้กรอบเวลาทุก ๆ เวลา 1 วินาที หรือ 1000 มิลลิวินาทีมาหาค่า PDR โดยนำข้อมูลที่สถานีฐานรับได้ไปเข้าโปรแกรม python ในการนับว่าใน 1 วินาที หรือ 1000 มิลลิวินาทีในแต่ละโหนดมีแพ็คเก็ตส่งมายังสถานีฐานกี่แพ็คเก็ตจากนั้นจึงนำมาสร้างกราฟเพื่อแสดงถึงค่า PDR ที่แต่ละจุดที่เดินผ่าน

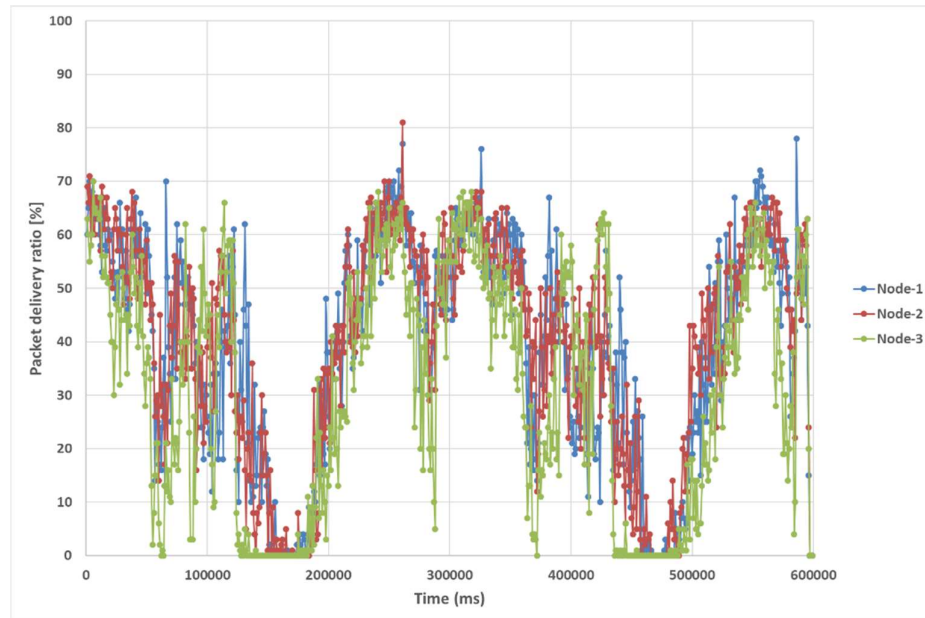
จากภาพประกอบที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PDR กับเวลาที่สถานีฐานสูง 1 เมตรในห้อง ภาพประกอบที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PDR กับเวลาที่สถานีฐานสูง 1 เมตรนอกห้องและภาพประกอบที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PDR กับเวลาที่สถานีฐานสูง 2.5 เมตรนอกห้อง โดยที่ในการทดลองเราจะทำการเดินภายในตัวอาคารจะเห็นว่าจุดที่ตัวโหนดไม่สามารถที่จะส่งแพ็คเก็ตกลับมาที่สถานีฐานได้โดยที่ เมื่อสถานีฐานอยู่นอกห้องจะมีช่วงที่ส่งแพ็คเก็ตกลับมาไม่ได้น้อยกว่าสถานีฐานที่อยู่ในห้อง



ภาพประกอบที่ 4.18 ค่า PDR ที่สถานีฐานสูง 1 เมตร ในห้อง

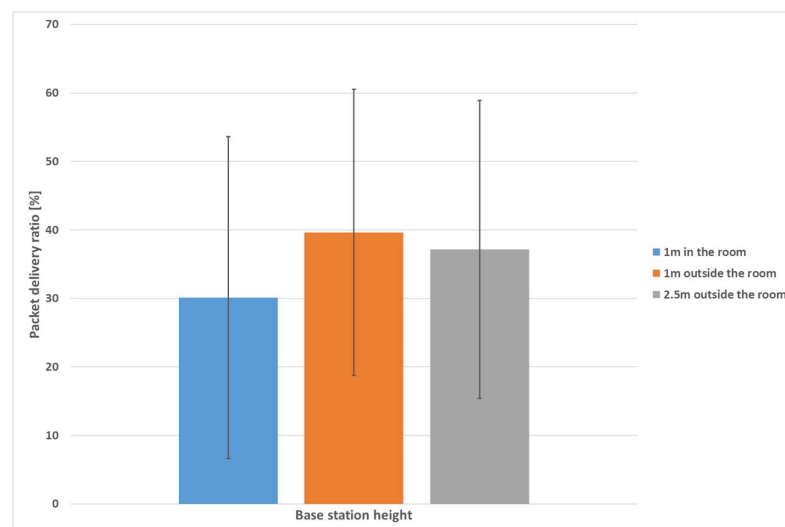


ภาพประกอบที่ 4.19 ค่า PDR ที่สถานีฐานสูง 1 เมตร นอกห้อง



ภาพประกอบที่ 4.20 ค่า PDR ที่สถานีฐานสูง 2.5 เมตร นอกห้อง

จากการทดลองนี้เราวัดผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารเมื่อเรามีการเปลี่ยนแปลงความสูงของสถานีฐาน ภาพประกอบที่ 4.21 แสดง PDR ที่แตกต่างกันระหว่างที่สถานีฐานมีความสูง 1 เมตร ทั้งในและนอกห้อง ที่สถานีฐานมีความสูง 2.5 เมตร นอกห้อง โดยที่ความสูง 1 เมตร ในห้อง (กราฟสีฟ้า) มีค่า PDR เท่ากับ 30.12 เปอร์เซ็นต์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 23.51 เปอร์เซ็นต์ ที่ความสูง 1 เมตร นอกห้อง (กราฟสีส้ม) มีค่า PDR เท่ากับ 39.62 เปอร์เซ็นต์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 20.88 เปอร์เซ็นต์ ที่สถานีฐานมีความสูง 2.5 เมตรนอกห้อง (กราฟสีเทา) มีค่า PDR เท่ากับ 37.14 เปอร์เซ็นต์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 21.75 เปอร์เซ็นต์ โดยในแต่ละการทดลองแต่ละโหนดจะส่งแพ็คเก็ตมาใช้เวลา 10 นาที หรือ 60,000 วินาที แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย



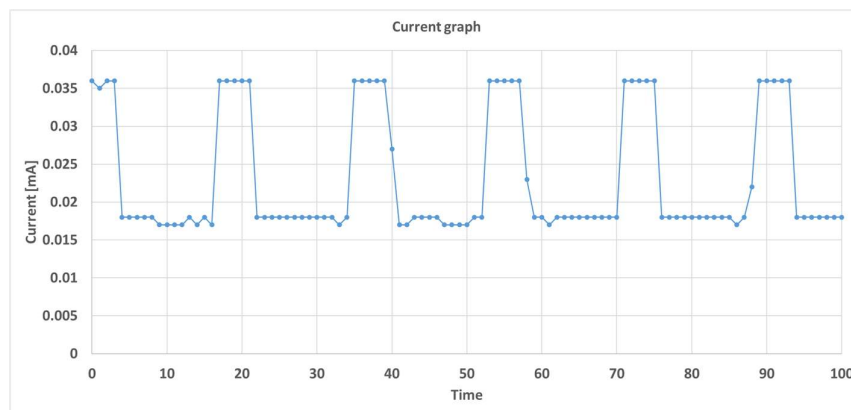
ภาพประกอบที่ 4.21 ผลเมื่อเปลี่ยนแปลงความสูงของสถานีฐาน

จากผลการทดลองเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของสถานีฐานผลที่ได้คือ เมื่อสถานีฐานอยู่นอกห้องจะสามารถรับส่งสัญญาณได้ดีกว่าที่สถานีฐานอยู่ในห้อง ดังจะเห็นได้จากค่า PDR ที่มากกว่าของสถานีฐานที่อยู่นอกห้องและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยกว่าของสถานีฐานที่อยู่นอกห้องทำให้รู้ได้ว่ามีช่วงที่สัญญาณขาดหายไปที่น้อยกว่าสถานีฐานที่อยู่ในห้องและที่สถานีฐานมีความสูงมากขึ้นส่งผลให้ค่า PDR ลดต่ำลงแต่ไม่ได้มีผลอย่างมีนัยสำคัญ

4.2.3 ผลการศึกษาเกี่ยวกับพลังงาน

4.2.3.1 ผลการทดลองเปิดปิดชิปสื่อสาร CC2420

จากการทดลองนี้เราทดลองเปิดปิดชิปสื่อสาร CC2420 จำนวนหนึ่งโหนดในเครือข่ายส่งข้อมูลไปที่สถานีฐานแล้วทำการบันทึกผลตามเวลาที่ต่อเนื่อง โดยจากภาพประกอบที่ 4.8 แสดงการทำงานเปิดปิดโดยเรากำหนดช่วงการเปิดปิดเป็นสล็อต โดยหนึ่งสล็อตจะใช้เวลา 3 วินาทีและในหนึ่ง T_{frame} จะใช้เวลา 10 วินาที สาเหตุที่เราต้องให้เวลาต่อ 1 สล็อตนานถึง 3 วินาที จะเห็นว่ากราฟกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากภาพประกอบที่ 4.22 มีความสอดคล้องกันโดยจากกราฟแสดงช่วงที่โหนดเปิดการใช้งานชิปสื่อสาร CC2420 มีการใช้งานกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 0.036 แอมแปร์ และเมื่ออยู่ในช่วงที่โหนดปิดการใช้งานชิปสื่อสาร CC2420 มีการใช้งานกระแสไฟฟ้าลดลงมาอยู่ที่ 0.018 แอมแปร์



ภาพประกอบที่ 4.22 กระแสไฟฟ้าที่โหนดใช้งาน

เราสามารถคำนวณพลังงานที่โหนดใช้โดยรวมในหนึ่ง T_{frame} ได้จากสมการที่ 4.2 โดย V เท่ากับ 3 โวลต์ T_{awake} เท่ากับ 3 วินาที T_{sleep} เท่ากับ 7 วินาที I_{awake} เท่ากับ 0.036 แอมแปร์และ I_{sleep} เท่ากับ 0.018 แอมแปร์

$$P_{total} = T_{awake}VI_{awake} + T_{sleep}VI_{sleep}$$

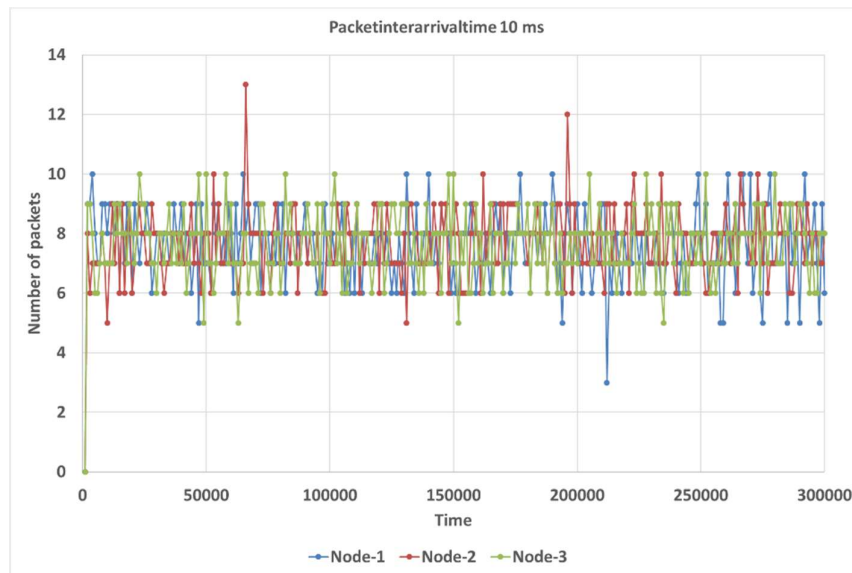
$$P_{total} = (3)(3)(0.036) + (7)(3)(0.018)$$

$$P_{total} = 0.324 + 0.378$$

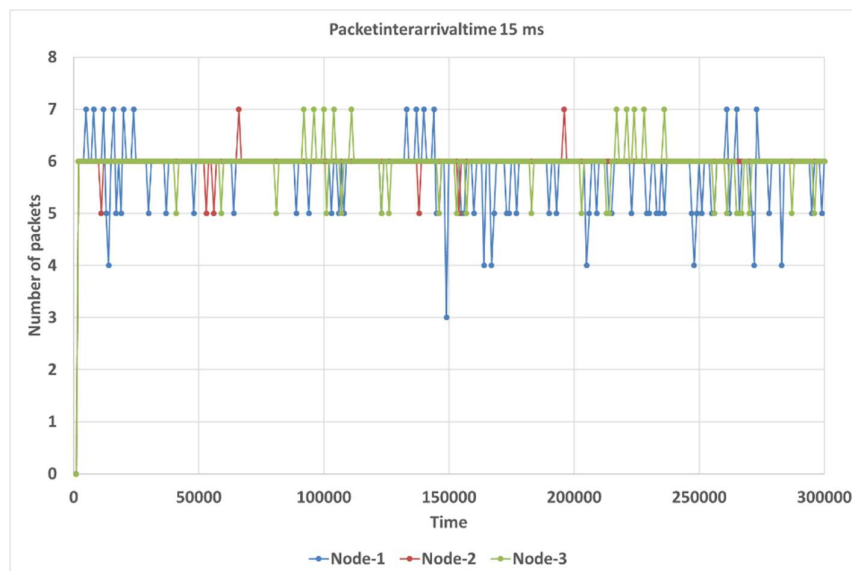
$$P_{total} = 0.702 [W/T_{frame}]$$

4.2.3.2 ผลการทดลองสื่อสารในช่วง TDMA

ผลการทดลองนี้เราได้ทำการแบ่งสล็อตในโหนดแต่ละตัวทำการส่งแพ็คเก็ตที่มาสถานีฐานไม่ให้ตรงกันจำนวนทั้งหมด 3 โหนด จากภาพประกอบที่ 4.23 แสดงจำนวนแพ็คเก็ตที่สถานีฐานรับมาจากโหนดแต่ละตัวในช่วงเวลาหนึ่ง T_{frame} โดยใช้ Packet inter-arrival time ที่ 10 มิลลิวินาทีโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 7.64 แพ็คเก็ตต่อ T_{frame} และภาพประกอบที่ 4.24 ใช้ Packet inter-arrival time ที่ 15 มิลลิวินาทีโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 5.93 แพ็คเก็ตต่อ T_{frame}

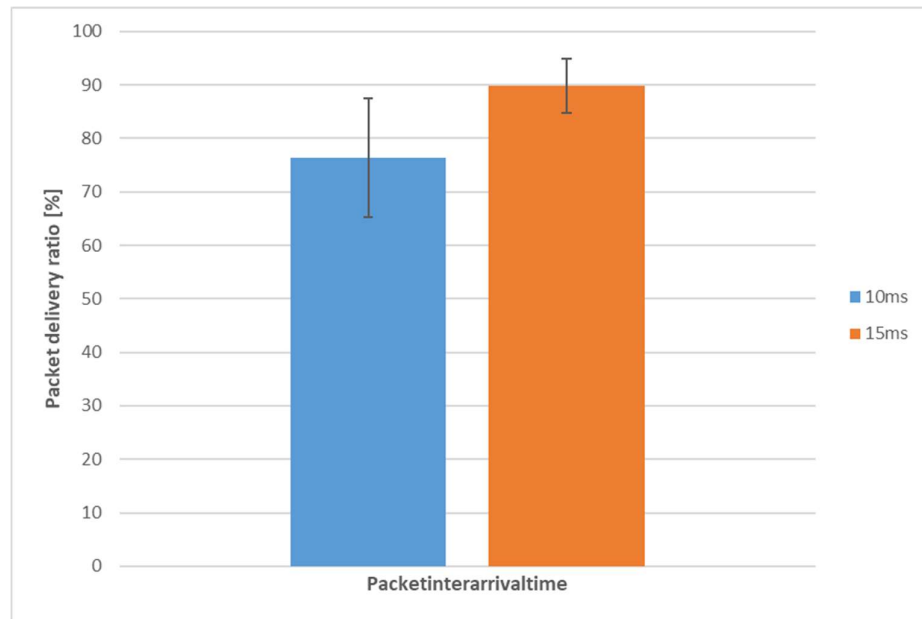


ภาพประกอบที่ 4.23 จำนวนแพ็คเก็ตที่รับได้ใน 1 สล็อตที่ Packet inter-arrival time 10 มิลลิวินาที



ภาพประกอบที่ 4.24 จำนวนแพ็คเก็ตที่รับได้ใน 1 สล็อตที่ Packet inter-arrival time 15 มิลลิวินาที

จากนั้นในแต่ละการทดลองแต่ละโหนดจะส่งแพ็คเก็ตตามที่สถานีฐานใช้เวลาเก็บข้อมูล 5 นาที แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ดังภาพประกอบที่ 4.25 เป็นการเปรียบเทียบ PDR ระหว่าง Packet inter-arrival time 10 มิลลิวินาที (กราฟสีฟ้า) เฉลี่ยค่า PDR อยู่ที่ 76.45 เปอร์เซ็นต์ และ Packet inter-arrival time 15 มิลลิวินาที (กราฟสีส้ม) เฉลี่ยค่า PDR อยู่ที่ 89.84 เปอร์เซ็นต์



ภาพประกอบที่ 4.25 ค่า PDR ของทั้งที่ Packet inter-arrival time 10 และ 15 มิลลิวินาที

เราสามารถคำนวณพลังงานที่โหนดใช้โดยรวมในหนึ่ง T_{frame} ได้จากสมการที่ 4.2 โดย V เท่ากับ 3 โวลต์ T_{awake} เท่ากับ 100 มิลลิวินาที T_{sleep} เท่ากับ 900 มิลลิวินาที I_{awake} เท่ากับ 0.036 แอมแปร์และ I_{sleep} เท่ากับ 0.018 แอมแปร์

$$P_{total} = T_{awake}VI_{awake} + T_{sleep}VI_{sleep}$$

$$P_{total} = (100 \times 10^{-3})(3)(0.036) + (900 \times 10^{-3})(3)(0.018)$$

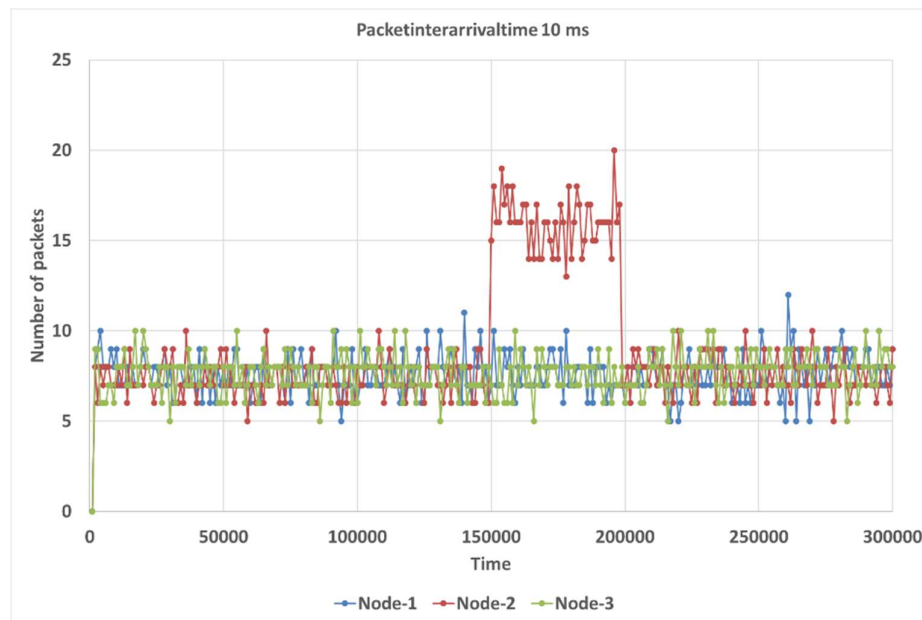
$$P_{total} = 0.0108 + 0.0486$$

$$P_{total} = 0.0594 [W/T_{frame}]$$

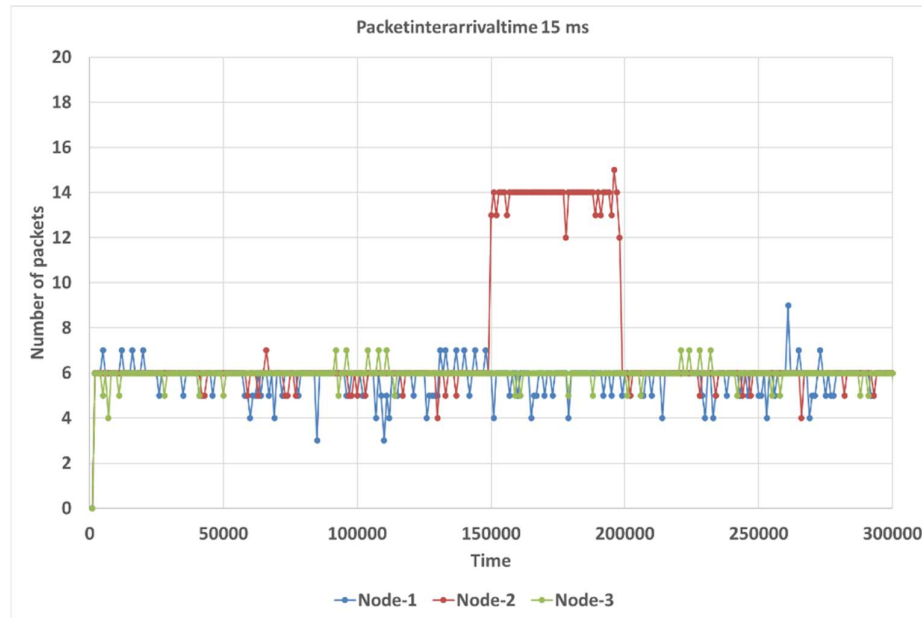
ผลการทดลองนี้เราทดลองส่งแพ็คเก็ตแต่ละโหนดไม่ตรงกันทำให้สามารถมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการส่งแพ็คเก็ตที่มีโหนด 1 โหนดในเครือข่าย และในการทดลองเปรียบเทียบกันระหว่าง Packet inter-arrival time ที่ 10 มิลลิวินาทีและ 15 มิลลิวินาที จากผลการทดลองจะเห็นว่าที่ 10 มิลลิวินาทีมีค่า PDR ต่ำกว่าที่ 15 มิลลิวินาที ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ แต่ที่ 10 มิลลิวินาที ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าสูงกว่าที่ 15 มิลลิวินาที

4.2.3.3 ผลการทดลองติดต่อสื่อสารในช่วง TDMA ที่ความสำคัญในการส่งข้อมูลของแต่ละโหนดไม่เท่ากัน

การทดลองนี้เราทดลองให้ลำดับความสำคัญของแต่ละโหนดไม่เท่ากับโดยโหนดที่มีความสำคัญมากกว่าจะมีสิทธิในการส่งแพ็คเก็ตเกิดมากกว่าโหนดที่มีความสำคัญน้อยกว่า ในใช้จำนวน 3 โหนดในเครือข่าย โดยในภาพประกอบที่ 4.26 ใช้ Packet inter-arrival time ที่ 10 มิลลิวินาทีและภาพประกอบที่ 4.27 ใช้ Packet inter-arrival time ที่ 15 มิลลิวินาที เป็นการทดลองให้โหนด 2 มีความสำคัญขึ้นมาเป็นระดับกลาง โดยที่ Packet inter-arrival time ที่ 10 มิลลิวินาที ช่วงที่ทำการส่งแบบปกติจำนวนแพ็คเก็ตที่สถานีฐานรับมาจากโหนดแต่ละตัวในช่วงเวลาหนึ่ง T_{frame} มีจำนวนเฉลี่ยอยู่ที่ 7.51 แพ็คเก็ตต่อ T_{frame} และช่วงที่เพิ่มความสำคัญของโหนด 2 มาเป็นระดับกลางมีจำนวนเฉลี่ยอยู่ที่ 10.33 แพ็คเก็ตต่อ T_{frame} ที่ Packet inter-arrival time ที่ 15 มิลลิวินาที ช่วงที่ทำการส่งแบบปกติจำนวนแพ็คเก็ตที่สถานีฐานรับมาจากโหนดแต่ละตัวในช่วงเวลาหนึ่ง T_{frame} มีจำนวนเฉลี่ยอยู่ที่ 5.89 แพ็คเก็ตต่อ T_{frame} และช่วงที่เพิ่มความสำคัญของโหนด 2 มาเป็นระดับกลางมีจำนวนเฉลี่ยอยู่ที่ 8.48 แพ็คเก็ตต่อ T_{frame} โดยในแต่ละการทดลองแต่ละโหนดจะส่งแพ็คเก็ตมาใช้เวลา 5 นาที่ ในการส่งแพ็คเก็ต



ภาพประกอบที่ 4.26 จำนวนแพ็คเก็ตที่รับได้ใน 1 สล็อตที่ Packet inter-arrival time 10 มิลลิวินาที



ภาพประกอบที่ 4.27 จำนวนแพ็คเก็ตที่รับได้ใน 1 สล็อตที่ Packet inter-arrival time 15 มิลลิวินาที

เราสามารถคำนวณพลังงานในช่วงที่โหนดมีความสำคัญระดับสำคัญใช้โดยรวมในหนึ่ง T_{frame} ได้จากสมการที่ 4.2 โดย V เท่ากับ 3 โวลต์ T_{awake} เท่ากับ 200 มิลลิวินาที T_{sleep} เท่ากับ 800 มิลลิวินาที I_{awake} เท่ากับ 0.036 แอมแปร์ และ I_{sleep} เท่ากับ 0.018 แอมแปร์

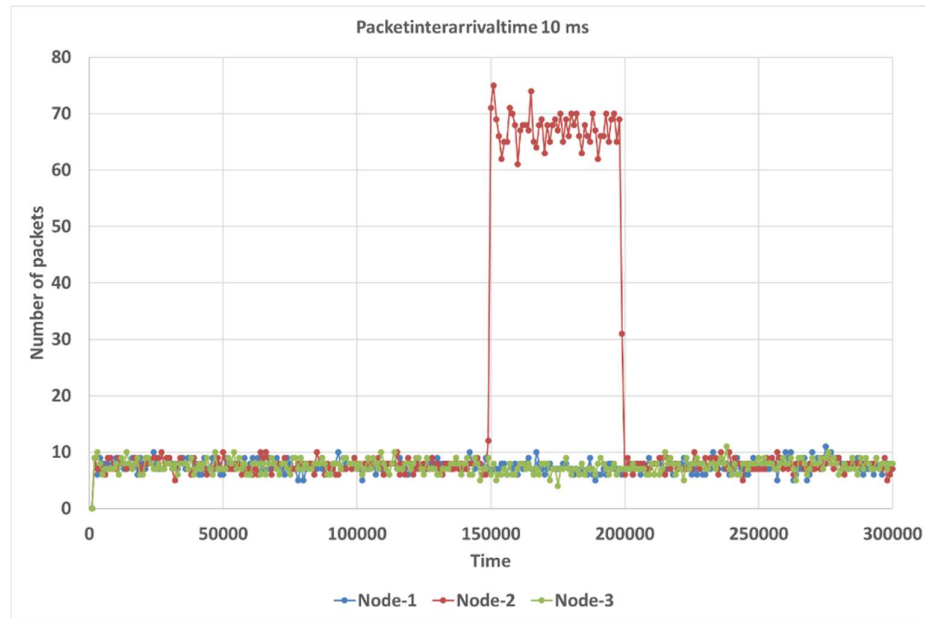
$$P_{total} = T_{awake}VI_{awake} + T_{sleep}VI_{sleep}$$

$$P_{total} = (200 \times 10^{-3})(3)(0.036) + (800 \times 10^{-3})(3)(0.018)$$

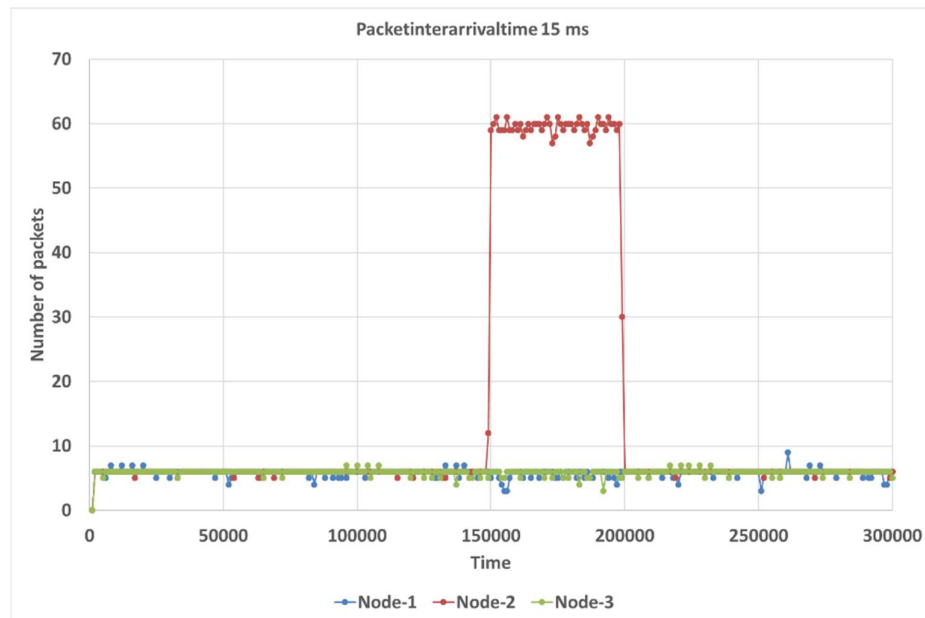
$$P_{total} = 0.0216 + 0.0432$$

$$P_{total} = 0.0648 [W/T_{frame}]$$

ในภาพประกอบที่ 4.28 โดยใช้ Packet inter-arrival time ที่ 10 มิลลิวินาที และภาพประกอบที่ 4.29 โดยใช้ Packet inter-arrival time ที่ 15 มิลลิวินาที เป็นการทดลองให้โหนด 2 มีความสำคัญขึ้นมาเป็นระดับสูงสุด โดยที่ Packet inter-arrival time ที่ 10 มิลลิวินาที ช่วงที่ทำการส่งแบบปกติจำนวนแพ็คเก็ตที่สถานีฐานรับมาจากโหนดแต่ละตัวในช่วงเวลาหนึ่ง T_{frame} มีจำนวนเฉลี่ยอยู่ที่ 7.66 แพ็คเก็ตต่อ T_{frame} และช่วงที่เพิ่มความสำคัญของโหนด 2 มาเป็นระดับสูงสุดมีจำนวนเฉลี่ยอยู่ที่ 27.09 แพ็คเก็ตต่อ T_{frame} ที่ Packet inter-arrival time ที่ 15 มิลลิวินาทีช่วงที่ทำการส่งแบบปกติจำนวนแพ็คเก็ตที่สถานีฐานรับมาจากโหนดแต่ละตัวในช่วงเวลาหนึ่ง T_{frame} มีจำนวนเฉลี่ยอยู่ที่ 5.93 แพ็คเก็ตต่อ T_{frame} และช่วงที่เพิ่มความสำคัญของโหนด 2 มาเป็นระดับสูงสุดมีจำนวนเฉลี่ยอยู่ที่ 23.59 แพ็คเก็ตต่อ T_{frame} โดยในแต่ละการทดลองแต่ละโหนดจะส่งแพ็คเก็ตมาใช้เวลา 5 นาที่ ในการส่งแพ็คเก็ต



ภาพประกอบที่ 4.28 จำนวนแพ็คเก็ตที่รับได้ใน 1 สล็อตที่ Packet inter-arrival time 10 มิลลิวินาที



ภาพประกอบที่ 4.29 จำนวนแพ็คเก็ตที่รับได้ใน 1 สล็อตที่ Packet inter-arrival time 15 มิลลิวินาที

เราสามารถคำนวณพลังงานในช่วงที่โหนดมีความสำคัญระดับสำคัญมากใช้โดยรวมในหนึ่ง T_{frame} ได้จากสมการที่ 4.2 โดย V เท่ากับ 5 โวลต์ T_{awake} เท่ากับ 900 มิลลิวินาที T_{sleep} เท่ากับ 100 มิลลิวินาที I_{awake} เท่ากับ 0.036 แอมแปร์และ I_{sleep} เท่ากับ 0.018 แอมแปร์

$$P_{total} = T_{awake}VI_{awake} + T_{sleep}VI_{sleep}$$

$$P_{total} = (900 \times 10^{-3})(3)(0.036) + (100 \times 10^{-3})(3)(0.018)$$

$$P_{total} = 0.0972 + 0.0054$$

$$P_{total} = 0.1026 [W/T_{frame}]$$

จากการทดลองนี้เราทดลองให้โหนด 2 เมื่อส่งแพ็คเก็ตไปซักระยะหนึ่งแล้วได้เพิ่มความสำเร็จให้เป็นระดับกลางตามภาพประกอบที่ 4.25 และ 4.26 และให้เป็นระดับสูงสุดตามภาพประกอบที่ 4.27 และ 4.28 โดยเมื่อมีความสำคัญสูงขึ้นโหนดที่มีความสำคัญจะสามารถส่งแพ็คเก็ตมากขึ้นแต่ต้องแลกกับการที่โหนดนั้นต้องใช้พลังงานมากขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.3 การใช้พลังงานในแต่ละระดับความสำคัญ

พลังงานในช่วงที่	พลังงานที่ใช้ $[W/T_{frame}]$
โหนดไม่มีการปิดชิปสื่อสาร CC2420	0.1080
โหนดมีความสำคัญระดับปกติ	0.0594
โหนดมีความสำคัญระดับสำคัญ	0.0648
โหนดมีความสำคัญระดับสำคัญมาก	0.1026

จากตารางที่ 4.2 แสดงการใช้พลังงานในแต่ละระดับความสำคัญ โดยพลังงานในช่วงที่โหนดมีความสำคัญระดับปกติ ใช้โดยรวมในหนึ่ง T_{frame} ใช้พลังงานน้อยกว่าพลังงานในช่วงที่โหนดไม่มีการปิดชิปสื่อสาร CC2420 ใช้โดยรวมในหนึ่ง T_{frame} เท่ากับ 45 เปอร์เซ็นต์ พลังงานในช่วงที่โหนดมีความสำคัญระดับสำคัญ ใช้โดยรวมในหนึ่ง T_{frame} ใช้พลังงานน้อยกว่าพลังงานในช่วงที่โหนดไม่มีการปิดชิปสื่อสาร CC2420 ใช้โดยรวมในหนึ่ง T_{frame} เท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานในช่วงที่โหนดมีความสำคัญระดับสำคัญมาก ใช้โดยรวมในหนึ่ง T_{frame} ใช้พลังงานน้อยกว่าพลังงานในช่วงที่โหนดไม่มีการปิดชิปสื่อสาร CC2420 ใช้โดยรวมในหนึ่ง T_{frame} เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในการติดต่อสื่อสารแบบ WBAN มีความเฉพาะเจาะจงในการใช้การติดต่อสื่อสารไร้สายจากเซ็นเซอร์ โหนดเพื่อทำการวัดสัญญาณชีพที่ได้จากร่างกายมนุษย์หรือภายในร่างกาย โดยในงานวิจัยฉบับนี้เป็นการออกแบบ โปรโตคอลในชั้นของ MAC layer ให้มีประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารและมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ สูงสุด งานวิจัยฉบับนี้มีการออกแบบโปรโตคอลในชั้นของ MAC layer ให้มีด้วยกันทั้งหมด 2 ช่วงคือช่วงที่มีการ จัดสรรช่วงเวลาในการส่งข้อมูลโดยใช้การแย่งชิงแบบ CSMA/CA ในการแย่งกันส่ง beacon ในการจัดสรรช่วงเวลา การส่งและบอกระดับความสำคัญของเซ็นเซอร์โหนด ช่วงที่ 2 จะเป็นช่วงเวลาทีโหนดจะส่งข้อมูลแพ็คเก็ตโดยจะส่ง ในช่วงเวลาที่ได้จัดสรรในช่วงแรก เมื่อส่งแพ็คเก็ตเสร็จก็จะทำการเข้าสู่ sleep mode เป็นการประหยัดพลังงานที่ เซ็นเซอร์โหนดใช้ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ในการทดลองเราแบ่งเป็น 3 การทดลองใหญ่ๆด้วยกันคือ 1) การทดลอง เกี่ยวกับตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการติดต่อสื่อสาร 2) สภาพแวดล้อมของการทดลอง 3) การทดลองเกี่ยวกับพลังงาน และความสำคัญ ในการทดลองเกี่ยวกับตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการติดต่อสื่อสารเราแบ่งออกเป็นอีก 3 การทดลอง ย่อยประกอบไปด้วย ทดลองปรับค่า Packet inter-arrival time และปรับขนาดของแพ็คเก็ต โดยผลที่ได้ตั้งแต่ Packet inter-arrival time ที่ 15 มิลลิวินาทีเป็นต้นไปมีค่า PDR เกินกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ขนาดของแพ็คเก็ตก็ ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการสื่อสาร ในการทดลองต่อมาเราทดลองปรับค่า Packet inter-arrival time เหมือนใน การทดลองแรกแต่ได้มีการเพิ่มโหนดเข้ามาในระบบสูงสุด 3 โหนด โดยผลที่ได้ตั้งแต่ Packet inter-arrival time ที่ 15 มิลลิวินาทีเป็นต้นไปผลต่างระหว่างที่มี 1 โหนดในระบบกับที่มี 3 โหนดในระบบสูงสุดอยู่ที่ 6.69 เปอร์เซ็นต์ที่ Packet inter-arrival time ที่ 15 มิลลิวินาทีและที่ Packet inter-arrival time สูงกว่านี้ผลต่างระหว่างที่มี 1 โหนดในระบบกับที่มี 3 โหนดในระบบมีค่าต่ำกว่าที่ Packet inter-arrival time ที่ 15 มิลลิวินาที และในการ ทดลองสุดท้ายของการทดลองเกี่ยวกับตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการติดต่อสื่อสาร คือ การทดลองปรับค่า Time-symbol แต่เนื่องจากการที่จะปรับค่า CC2420_TIME_SYMBOL นั้นจำเป็นจะต้องมีการลงโปรแกรมใหม่ทุกครั้ง จึงไม่นำมาใช้ในการใช้งานต่อ จากผลที่ได้จากทั้งสามการทดลองทำให้เราได้ทราบถึงขีดจำกัดของตัวโหนดสื่อสาร และค่าที่ควรเลือกใช้งานให้เหมาะสม หัวข้อถัดมาสภาพแวดล้อมของการทดลองเราแบ่งออกเป็นอีก 4 การทดลอง ย่อยประกอบไปด้วย การทดลองในเพชหญิงและเพศผู้ชายโดยค่า PDR ที่ได้มีความแตกต่างกันอยู่ที่ 0.0015 เปอร์เซ็นต์ทำให้ไม่เห็นความแตกต่างกันในผู้ชายและผู้หญิง การทดลองยี่นนิ่งภายในอาคารและภายนอกอาคาร โดย ผลที่ได้ภายในอาคารและภายนอกอาคารโดยค่า PDR ที่ Packet inter-arrival time ที่ 5 มิลลิวินาทีที่มีความแตกต่างกัน 0.29 เปอร์เซ็นต์ ที่ Packet inter-arrival time ที่ 10 มิลลิวินาทีที่มีความแตกต่างกัน 0.15 เปอร์เซ็นต์ที่ Packet inter-arrival time ที่ 18 มิลลิวินาทีที่มีความแตกต่างกัน 0.37 เปอร์เซ็นต์ จากผลที่ได้การทดลองยี่นนิ่งภายในอาคาร และภายนอกอาคารไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ในการทดลองต่อมาเราทดลองเดินไปมาเป็นเส้นตรงภายใน อาคารและภายนอกอาคารโดยค่า PDR ที่ Packet inter-arrival time ที่ 5 มิลลิวินาทีที่มีความแตกต่างกัน 0.33 เปอร์เซ็นต์ ที่ Packet inter-arrival time ที่ 10 มิลลิวินาทีที่มีความแตกต่างกัน 0.93 เปอร์เซ็นต์ที่ Packet inter-arrival time ที่ 18 มิลลิวินาทีที่มีความแตกต่างกัน 0.045 เปอร์เซ็นต์และในการทดลองสุดท้ายสภาพแวดล้อมของ

การทดลองคือการทดลองเดินในอาคารโดยสถานีฐานมีความสูง 1 เมตรในห้องนอกห้องและ 2.5 เมตรนอกห้อง โดยค่า PDR ที่ความสูง 1 เมตรในห้องนอกห้องมีความแตกต่างกัน 9.50 เปอร์เซ็นต์โดยที่สถานีฐานอยู่นอกห้องมีค่า PDR ที่สูงกว่าสถานีฐานอยู่ในห้อง และที่สถานีฐานนอกห้องที่ความสูง 1 เมตรและ 2.5 เมตรมีค่า PDR ต่างกัน 2.48 เปอร์เซ็นต์โดยที่สถานีฐานสูง 1 เมตรมีค่า PDR สูงกว่าที่ความสูง 2.5 เมตรในการติดต่อสื่อสารแบบ WBAN ไปใช้งานมีความหลากหลายในการประยุกต์กับงานต่างๆที่มีความจำเป็นต้องในสัญญาณชีพที่ได้จากร่างกายมนุษย์ทั้งที่อยู่ภายในตัวอาคารและภายนอกตัวอาคารไม่ว่าจะเป็นการวัดสัญญาณชีพจากผู้ป่วยที่อยู่บนเตียงหรือนักกีฬาในสนามเพื่อนำมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพและรักษาผู้ป่วย และในหัวข้อสุดท้ายทดลองเกี่ยวกับพลังงานและความสำคัญแบ่งออกเป็นอีก 3 การทดลองย่อยประกอบไปด้วย การทดลองเปิดปิดชิปสื่อสาร CC2420 โดยเมื่อโหมดเปิดใช้งานชิปสื่อสาร CC2420 เปรียบเทียบกับช่วงที่โหมดปิดใช้งานชิปสื่อสาร CC2420 พลังงานลดลงไป 50 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองต่อมาเราทดลองทดลองสื่อสารในช่วง TDMA ผลที่ได้แต่ละโหมดใช้พลังงาน $0.0594 [W/T_{frame}]$ และในการทดลองสุดท้ายของทดลองเกี่ยวกับพลังงานและความสำคัญโดยเมื่อเราเพิ่มระดับความสำคัญให้โหมดสองให้เป็นระดับกลางคือมีช่วงเวลาในการส่งแพ็คเก็ตเกิดจาก 1 สล็อตเพิ่มมาเป็น 2 สล็อตทำให้ส่งแพ็คเก็ตได้มากขึ้นเฉลี่ย 2.24 เท่าทำให้ใช้พลังงานเพิ่มขึ้นจากเดิม 9.09 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับช่วงที่มีความสำคัญในระดับปกติ และในอีกหนึ่งการทดลองเราเพิ่มระดับความสำคัญให้โหมดสองให้เป็นระดับสูงสุดคือมีช่วงเวลาในการส่งแพ็คเก็ตเกิดจาก 1 สล็อตเพิ่มมาเป็น 9 สล็อตทำให้ส่งแพ็คเก็ตได้มากขึ้นเฉลี่ย 9.27 เท่าทำให้ใช้พลังงานเพิ่มขึ้นจากเดิม 72.73 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับช่วงที่มีความสำคัญในระดับปกติ โดยที่ทดลองเกี่ยวกับพลังงานและความสำคัญเนื่องจากใน WBAN มีความหลายหลายของเซ็นเซอร์โหมดที่มีทั้งติดอยู่บนร่างกายและที่ฝังภายในร่างกาย โดยมีความต้องการส่งข้อมูลขนาดที่หลากหลายทำให้ต้องพัฒนาให้มีการประหยัดพลังงานและสามารถปรับความสำคัญของแต่ละโหมด

ในงานวิจัยฉบับนี้ยังขาดช่วงที่จะลำดับช่วงเวลาในการส่งข้อมูลแพ็คเก็ตเกิดโดยจากบทความ [22] แสดงให้เห็นว่าการจะลำดับช่วงเวลาในการส่งข้อมูลแพ็คเก็ตแบบกระจายศูนย์สามารถทำได้โดยอาศัย beacon มาเป็นตัวในการกำหนดช่วงเวลาในการส่ง จากผลการทดลองที่เราทดลองทำให้รู้ว่าสามารถทำการส่งข้อมูลแพ็คเก็ตแบบ TDMA ได้และเมื่อเข้าสู่ sleep mode ก็สามารถประหยัดพลังงานให้โหมดได้อย่างมาก การใช้งาน sleep mode จะสอดคล้องกับ HyMAC ที่เมื่อโหมดไม่มีการใช้งานจะเข้าสู่ AO ที่จะไม่มีการใช้พลังงานในการรับส่งข้อมูล การจัดลำดับความสำคัญในงานวิจัยนี้มีการแบ่งออกเป็น 3 ระดับที่สอดคล้องกับ AD-MAC แตกต่างกันตรงที่ AD-MAC จะแบ่งระดับความสำคัญตาม CW ที่อยู่ในขั้นตอนการติดต่อสื่อสารแบบ CSMA/CA แต่ในงานวิจัยนี้แบ่งระดับความสำคัญตามปริมาณในการส่งข้อมูลในช่วงการติดต่อสื่อสารแบบ TDMA แต่ในงานวิจัยนี้เมื่อทำการส่งข้อมูลแบบ TDMA แล้วจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงลำดับการส่งข้อมูลได้เหมือนกับ CA-MAC แต่ protocol ที่เราก่อแบบเมื่อโหมดใดโหมดหนึ่งต้องการส่งข้อมูลที่มากขึ้นก็จะไม่สนใจโหมดข้างเคียงจะทำการส่งข้อมูลออกไป โดยที่ทั้ง 3 protocol ที่กล่าวมาข้างต้นนั้นได้ทำการจำลองการสื่อสารในโปรแกรมเท่านั้นไม่ได้ทำการทดลองจริงเหมือนในงานวิจัยฉบับนี้

บรรณานุกรม

- [1] V. R. Karuppiyah Ramachandran, E. D. Ayele, N. Meratnia, and P. J. M. Havinga, "Potential of wake-up radio-based MAC protocols for implantable body sensor networks (IBSN)—a survey," *Sensors (Switzerland)*, vol. 16, no. 12, pp. 1–31, 2016.
- [2] S. Marinkovic, C. Spagnol and E. Popovici, "Energy-Efficient TDMA-Based MAC Protocol for Wireless Body Area Networks," 2009 Third International Conference on Sensor Technologies and Applications, Athens, Glyfada, pp. 604-609, 2009.
- [3] C. Busch, M. Magdon-Ismael, F. Sivrikaya, and B. Yener, "Contention-Free MAC Protocols for Wireless Sensor Networks," pp. 245–259, 2010.
- [4] T. van Dam and K. Langendoen, "An Adaptive EnergyEfficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks." Proc. first Int. Conf. Embed. networked Sens. Syst. - SenSys '03, p. 171, 2003.
- [5] M. Buettner, G. V Yee, E. Anderson, and R. Han, "X-MAC: A short preamble MAC protocol for duty-cycled wireless sensor networks." *ACM Sensys*, no.4, pp. 307–320, 2006.
- [6] B. Liu, Z. Yan, and C. W. Chen, "CA-MAC: A hybrid context-aware MAC protocol for wireless body area networks," 2011 IEEE 13th Int. Conf. e-Health Networking, Appl. Serv. Heal. 2011, pp. 213–216, 2011.
- [7] J. Wang, Y. Xie, Q. Yi, "AN ALL DYNAMIC MAC PROTOCOL FOR WIRELESS BODY AREA NETWORK.", 11th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2015.
- [8] X. Yang, L. Wang, and Z. Zhang, "Wireless Body Area Networks MAC Protocol For Energy Efficiency and Extending Lifetime," *IEEE Sensors Lett.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–4, 2018.
- [9] F. Fereydouni Forouzandeh, O. Ait Mohamed, M. Sawan, and F. Awwad, "TBCD-TDM: Novel ultra-low energy protocol for implantable wireless body sensor networks," *GLOBECOM - IEEE Glob. Telecommun. Conf.*, pp. 1–6, 2009.
- [10] R. Wang, H. Wang, H. E. Roman, Y. Wang, and D. Xu, "A cooperative medium access control protocol for mobile clusters in wireless body area networks," 2013 1st Int. Symp. Futur. Inf. Commun. Technol. Ubiquitous Heal. Ubi-HealthTech 2013, pp. 1–4, 2013.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [11] C. Li, J. Li, B. Zhen, H. B. Li, and R. Kohno, "Hybrid Unified-slot Access protocol for wireless body area networks," *Int. J. Wirel. Inf. Networks*, vol. 17, no. 3–4, pp. 150–161, 2010.
- [12] Z. Mahsa and S. Hadi, "EEG-based single-channel authentication systems with optimum electrode placement for different mental activities," *Biomedical Journal*, vol. 42, no. 4, pp. 261–267, 2019.
- [13] N.U. Ahamed, K. Sundaraj, M. Alqahtani, O. Altwijri, A. Md. Ali, and A. Md. Islam, "EMG-force Relationship During Static Contraction: Effects on Sensor Placement Locations on Biceps Brachii Muscle," *Technology and Health Care*, vol. 22, no. 4, pp. 505-513, 2014
- [14] O. Kwon, J. Jeong, HB. Kim, IH. Kwon, SY. Park, JE. Kim and Y. Choi, "Electrocardiogram Sampling Frequency Range Acceptable for Heart Rate Variability Analysis," *Healthc Inform Res*, vol. 24, no. 3, pp. 198-206, 2018.
- [15] Z. Popovic, P. Momenroodaki and R. Scheeler, "Toward wearable wireless thermometers for internal body temperature measurements," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 10, pp. 118-125, 2014.
- [16] L. Januszkiewicz, P. Di Barba, S. Hausman "Field-Based Optimal Placement of Antennas for Body-Worn Wireless Sensors," *Sensors*, vol. 16, no. 5, pp. 713, 2016.
- [17] K. S. Kwak, S. Ullah, and N. Ullah, "An overview of IEEE 802.15.6 standard," 2010 3rd Int. Symp. Appl. Sci. Biomed. Commun. Technol. ISABEL 2010, pp. 1–6, 2010.
- [18] S. Ullah, M. Mohaisen, and M. A. Alnuem, "A review of IEEE 802.15.6 MAC, PHY, and security specifications," *Int. J. Distrib. Sens. Networks*, vol. 2013, 2013.
- [19] Institute of Electrical and Electronics Engineers. and IEEE-SA Standards Board., IEEE standard for local and metropolitan area networks. Part 15.6, Wireless body area networks, no. February. 2012.
- [20] B. A. Forouzan and S. C. Fegan, *Data communications and networking*. McGraw-Hill Higher Education, 2007.
- [21] Moteiv Corporation, "Telos (Rev B) : PRELIMINARY Datasheet (12/5/2004) ", Dec 2020.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [22] D. Buranapanichkit and Y. Andreopoulos, "Distributed Time-Frequency Division Multiple Access Protocol for Wireless Sensor Networks," IEEE Wireless Comm. Letters, vol. 1, no. 5, pp. 440-443, Oct 2012.

ภาคผนวก

An Experimental Study of Dynamic Capabilities in a Wireless Body Area Network

Pitchakron Thippun
Department of Electrical
Engineering, Faculty of
Engineering, Prince of
Songkla University
hyok1234@gmail.com

Apidet Booranawong
Department of Electrical
Engineering, Faculty of
Engineering, Prince of
Songkla University
apidet.boo@gmail.com

Dujdow Buranapanichkit
Department of Electrical
Engineering, Faculty of
Engineering, Prince of
Songkla University
dujdow.b@psu.ac.th

Wiklom Teerapabkajornet
Department of Electrical
Engineering, Faculty of
Engineering, Prince of
Songkla University
wiklom.t@psu.ac.th

Abstract— Nowadays, medical technology is very important for patient care. The evaluation and planning of treatment need to keep the information for the benefit of patients. Wireless Body Area Networks (WBANs) is a wireless communication technology which can help to communicate measurement data from the human body with different requirements. Here, WBANs can monitor the important signals from the human body such as electrocardiogram (ECG), electromyography (EMG), heart rate, blood pressure, and others. Data transmission via wireless communication networks is one of the challenges to obtain high network efficiency and low data loss. This paper presents an experimental study of dynamic capabilities in WBANs, where various packet sizes, different packet inter-arrival times, and different number of nodes applied in the network are tested. By this propose, how such important factors affect WBAN performances can be investigated. Additionally, the optimal values of such factors set for WSNs are illustrated. The experiment has been implemented using TelosB sensor nodes with the IEEE 802.15.4 standard. Experimental results demonstrate that the packet size, the packet inter-arrival time, and the number of nodes are the important factors which significantly affect the WBAN communication reliability as indicated by the packet delivery ratio.

Keywords— component; Wireless Body Area Network; packet size; inter-arrival time; number of nodes

I. INTRODUCTION

Wireless Body Area Network (WBAN) is a special type of Wireless Sensor Networks (WSNs) that it requires a low-power wireless sensor node, high network efficiency, and low data loss to support specific applications. In WBANs, all wireless sensor nodes are placed or embedded in the human body for health monitoring. The sizes of measured data are also different depending on body sensor nodes, such as EMG, ECG, heart rate, blood pressure, and so on [1].

In communication protocols, WBANs use the Medium Access Control (MAC) Protocol to access the wireless communication channel and to increase the efficiency of the network. Generally, it uses the Time-Division Multiple Access (TDMA) protocol and the Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) protocol. It has also been found that there are using both TDMA and CSMA/CA together such as a hybrid Context-Aware MAC Protocol

(CA-MAC), an All Dynamic MAC Protocol (AD-MAC), and Hybrid MAC Protocol (HyMAC) [3][4][5]. Whereas some uses only TDMA operation such as Low Duty-cycle TDMA (LD-TDMA) [2].

The LD-TDMA protocol [2] is actually implemented in Analog Devices ADF 7020 RF. In such a work, the master node is used to manage and control the transmission sequence of other nodes in the network. For the CA-MAC protocol [3], the master node sends the beacon packets to the sensors in the system to allocate the data transmission time of each item. For the AD-MAD protocol [4], it is a communication manager that divides the priority of each node into three different levels. Here, level 0 is the most important priority, and level 2 is the least important priority by using the Contention Window (CW) as a priority divider. Note that, the AD-MAC protocol is designed and simulated on the OMNET++ program to evaluate its performance. In this protocol, they focus on the performance of packet loss rate, energy consumption, and time delay distribution. In addition, in the experiment, each node has the different transmitted packet rates depending on the demand of data communication diversely. Finally, for the HyMAC protocol [5], it uses the star-topology for the communication among the body sensor nodes (i.e. 3 to 9 sensor nodes in the network). The personal station is also configured to control and collect data from all body sensor nodes. We note that, for the work in [5], the body sensor nodes can access the network and analyze data. This is a part of the IoT system. In addition, the HyMAC protocol is developed and evaluated on the NS-3.26 simulator. From the work in [6], ECG data are divided into low priority, medium priority, and high priority in wireless networks. Data are unnecessary to be detected frequently, like heartbeat data. They are set as the low frequency with the defined sampling rate and the size of a packet.

In this experimental study, the standard protocol is based on the CSMA/CA protocol, which is the fundamental and standard MAC protocol for wireless network communication. TelosB sensor nodes with the IEEE 802.15.4 standard are employed for the test. To study the communication reliability in the term of the packet delivery ratio, the packet size, the packet inter-arrival time, and the number of nodes in the network are varied dynamically. Here, the packet delivery ratio is the proportion of the number of received packets and the

number of transmitted packets. This is in line with the requirements of WBANs, since the sensor devices for measuring signals from the human body have various data transmission needs.

The structure of this paper is organized as follows. Section II provides the experiment system, including the experimental setup and the test cases. Section III provides results and discussion. Finally, we conclude the paper in Section IV.

II. EXPERIMENT SYSTEM

A. Experimental set up

In our experiment, data are sent from sensor nodes to a base station, and the base station transfers the data to store in the computer via a serial port. Sensor nodes and the base station are attached to the human body, and they are implemented on the TelosB sensor node processed using MCU TI MSP430F1611 RAM 10 Kb and RF Chip Texas Instruments® CC2420 Frequency Band 2.4 GHz ~ 2.485 GHz with the IEEE 802.15.4 standard and connect TelosB to the laptop via serial port use the baud rate of 115200 bps. As seen in figure 1, the experiment has been set up.

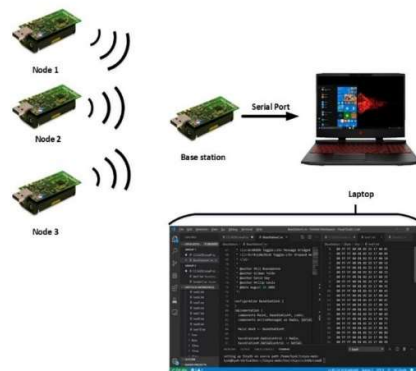


Figure 1. Architecture of the experiment

B. Test cases

Two test cases are described here.

Test case I: a sensor node sends data to the base station by changing both the packet size from 10 to 36 bytes and the packet inter-arrival time from 5 to 20 milliseconds, to study the effect on the packet delivery ratio, as demonstrated in figure 2(A).

Test case II: we add more sensor nodes into the network (i.e. two and three nodes for transmitting data). They send the data one thousand packets to the base station at the same time, with the fixed packet size of 16 bytes or 8 bytes payload. However, the network system also varies the packet inter-arrival times from 5 ms to 20 ms similar to test case I, to discover the effect on the packet delivery ratio, as illustrated the experiment set up in figure 2(B) and 2(C).

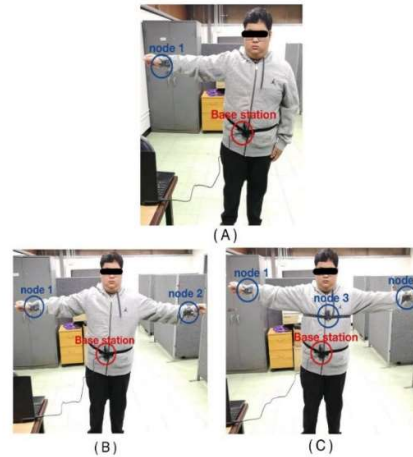


Figure 2. Experimental set up

TABLE I. Parameters used for the experiment

Parameters	Value (Test case I)	Value (Test case II)
No. nodes	1 node	1, 2, 3 nodes
Packet inter-arrival time	5ms, 8ms, 10ms, 13ms, 15ms, 18ms, and 20ms	5ms, 8ms, 10ms, 13ms, 15ms, 18ms, and 20ms
Packet size	10 bytes, 16 bytes, 24 bytes, and 36 bytes	16 bytes

Note: From various parameters tested in both the test case I and the test case II, the parameters were changed according to the TABLE I. In the test case I, one node was used to change the packet inter-arrival time from 5-20 milliseconds and packet sizes from 10-36 byte. In the test case II, three nodes were used to change the packet inter-arrival time from 5-20 milliseconds similar to test case I, and the packet size was fixed at 16 bytes.

III. RESULTS AND DISCUSSION

According to the test case I, the results show that the change of the packet size and the packet inter-arrival time affects the packet delivery ratio as seen in figure 3. Here, when the packet size increases, the packet delivery ratio decreases. Whereas the packet inter-arrival time increases, the packet delivery ratio also increases. At the packet inter-arrival time of 5 milliseconds and the packet size of 10 bytes, the packet delivery ratio is 50.31%. When the packet size is 36 bytes, the packet delivery ratio is decreased almost 10% from the compared value. Therefore, increasing the size of the packet causes the decrease of the packet delivery ratio. At the same point, we compare with the packet inter-arrival time, 13 millisecond, the packet delivery ratio is 99.03%. Hence, increasing the packet inter-arrival time to be 15, 18, and 20 milliseconds. The results of the packet delivery ratio equal to 100%, 99.84%, and 99.99%, respectively. By the results, it has been shown that when the packet inter-arrival time is greater than 13 milliseconds, it will not affect the packet delivery ratio. The communication reliability reaches 100%, approximately.

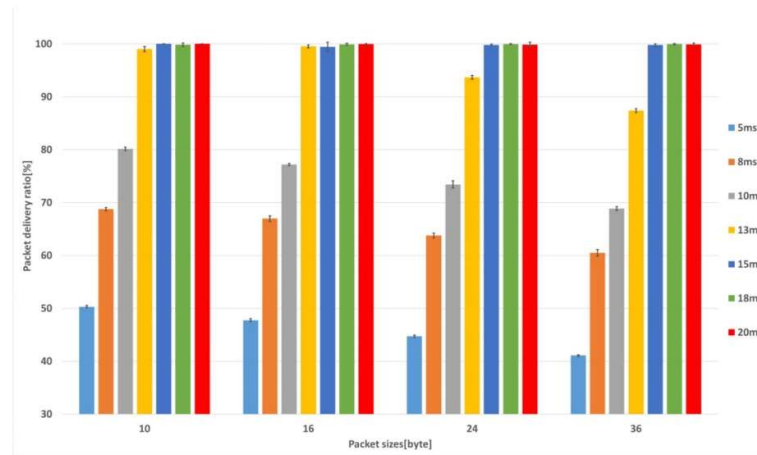


Figure 3. The packet delivery ratio in the test case I

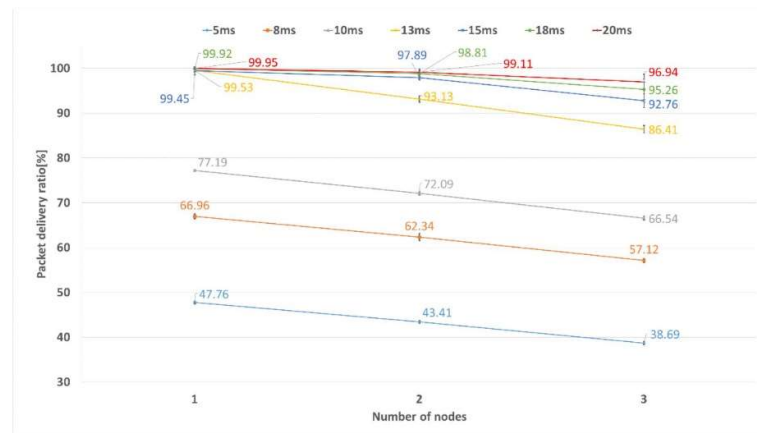


Figure 4. The packet delivery ratio in the test case II

According to the test case II, the results show that the increase of the number of nodes in the network and the packet inter-arrival time has a significant effect on the packet delivery ratio as demonstrated in figure 4. When increasing the number of nodes, the packet delivery ratio decreases. While the packet inter-arrival time increases, the packet delivery ratio increases. At the packet inter-arrival time of 5 millisecond and the packet size of 16 bytes, the packet delivery ratio is 47.76%, 43.41%, and 38.69% for one, two, and three transmitting nodes, respectively. Therefore, adding the number of nodes into the network, the packet delivery ratio decreases.

According to the test case II, the packet delivery ratio of more than 80% requires a packet inter-arrival time of 13 milliseconds or more. In the TABLE II shows the packet delivery ratio that is more than 80% of the experiment sending data from one, two, and three nodes in the network. From the experiment, it can be seen that when adding nodes to the network at the same packet inter-arrival time when the number of nodes increases, the packet delivery ratio is reduced. From Table II, determine the packet inter-arrival time is 13ms, one node packet delivery ratio is 99.53%, two node packet delivery ratio is 93.13%, and three node packet delivery ratio is 86.41%. Define packet inter-arrival time 15ms one node packet delivery ratio 99.45%, two node packet delivery ratio 97.89% and three node packet delivery

ratio 92.76%. Define packet inter-arrival time 18ms one node packet delivery ratio 99.92%, two node packet delivery ratio 98.81% and three node packet delivery ratio 95.26%. Finally, define packet inter-arrival time 20ms one node packet delivery ratio 99.95%, two node packet delivery ratio 99.11% and three node packet delivery ratio 96.94%. Here, the results show that when increasing the number of nodes, the packet delivery ratio will decrease, but increasing the packet inter-arrival time will increase the packet delivery ratio. By our study, how the different packet sizes, the packet inter-arrival times, and the number of nodes in the network affect the communication reliability of WBANs is demonstrated.

TABLE II. Packet delivery ratio greater than 80%

No. nodes	Packet inter-arrival time			
	13 ms	15 ms	18 ms	20 ms
1 node	99.53%	99.45%	99.92%	99.95%
2 nodes	93.13%	97.89%	98.81%	99.11%
3 nodes	86.41%	92.76%	95.26%	96.94%

IV. CONCLUSION

This experiment is implemented using the sensor node TelosB. The experimental results show that the packet size, the packet inter-arrival time, and the number of nodes in the network are all important factors affecting the network communication reliability of WBANs in the term of the packet delivery ratio.

In the future work, we will design and develop an appropriate communication protocol in the MAC layer for WBANs to increase the network efficiency with respect to the effects of the packet size, the packet inter-arrival time, and the number of nodes. Such a proposed communication protocol will be implemented with focusing on network performance and energy efficiency.

REFERENCES

- [1] S. Drude., "Requirements and application scenarios for body area networks," Mobile and Wireless Communications Summit, 2007. 16th IST, pp.1-5, 1-5 July 2007
- [2] S. Marinkovic, C. Spagnol and E. Popovici, "Energy-Efficient TDMA-based MAC Protocol for Wireless Body Area Networks." 2009 Third International Conference on Sensor Technologies and Applications, pp. 604-609, 2009.
- [3] B. Liu, Z. Yan, and C. W. Chen, "CA-MAC: A hybrid context-aware MAC protocol for wireless body area networks," 2011 IEEE 13th Int. Conf. e-Health Networking, Appl. Serv. Heal. 2011, pp. 213-216, 2011.
- [4] J. Wang, Y. Xie, Q. Yi, "An all dynamic MAC protocol for wireless body area network.", 11th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2015.
- [5] X. Yang, L. Wang, and Z. Zhang, "Wireless Body Area Networks MAC Protocol For Energy Efficiency and Extending Lifetime," IEEE Sensors Letter., vol. 2, no. 1, pp. 1-4, 2018.
- [6] I. Khalil and F. Sufi, "Real-time ECG data transmission with Wavelet Packet Decomposition over wireless networks," 2008 International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, Sydney, NSW, 2008, pp. 267-272

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายพิชชากร ทิพย์พันธ์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 6110120053

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมชีวการแพทย์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2560

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

1. ทุนบัณฑิตศึกษาวิศวกรรมศาสตร์
2. ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

P. Thippun, A. Booranawong, D. Buranapanichkit and W. Teerapabkajorndet, "An Experimental Study of Dynamic Capabilities in a Wireless Body Area Network," 2020 12th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST), Pattaya, Chonburi, Thailand, 2020, pp. 164-167