



แบบจำลองเชิงประจักษ์ของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้ช่องความถี่ซ้อนทับกัน
(Empirical model of Wireless LAN using overlapping frequency)

โดย

นางสาวจันทินี เจริญศิลป์

รหัส B5011674

นางสาวศิริพร สายทอง

รหัส B5011728

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 427499 โครงงานวิศวกรรมโทรคมนาคม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2546
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ประจำภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2553

แบบจำลองเชิงประจักษ์ของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้ช่องความถี่ซ้อนทับกัน
(Empirical model of Wireless LAN using overlapping frequency)

คณะกรรมการสอบโครงงาน

Sont Vatan

(อาจารย์ ดร.สมศักดิ์ วาณิชนันต์ชัย)

กรรมการ/อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

ฟอง อู

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิระพงษ์ อูธารสกุล)

กรรมการ

ประ โยชน์ คำสวัสดิ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร. ประโยชน์ คำสวัสดิ์)

กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับรายงานโครงงานฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม วิชา 427499 โครงงานวิศวกรรม
โทรคมนาคม ประจำปีการศึกษา 2553

โครงการ	แบบจำลองเชิงประจักษ์ของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้ช่อง ความถี่ซ้อนทับกัน
จัดทำโดย	น.ศ. จันทินี เจริญศิลป์ น.ศ. ศิริพร สายทอง
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. สมศักดิ์ วาณิชชอนันต์ชัย
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาคการศึกษาที่	2/ 2553

บทคัดย่อ

(Abstract)

ปัจจุบันการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายมีบทบาทกับชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ก็เป็นอีกช่องทางหนึ่งของการสื่อสารแบบไร้สาย คุณภาพการให้บริการสำหรับระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากปัจจุบันมีการใช้ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งอาจเกิดการใช้ช่องสัญญาณความถี่เดียวกัน ทำให้เกิดการซ้อนทับกันของช่องสัญญาณความถี่ ดังนั้นโครงการนี้จึงได้สร้างแบบจำลองเชิงประจักษ์ขึ้น เพื่อการวิเคราะห์ผลกระทบต่างๆของการใช้ช่องสัญญาณความถี่ที่เกิดการซ้อนทับกันในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

โครงการเรื่องแบบจำลองเชิงประจักษ์ของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้ช่องความถี่ซ้อนทับกัน (Empirical model of Wireless LAN using overlapping frequency) นี้สำเร็จลุล่วงได้เนื่องจากการอนุเคราะห์ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตรวจสอบตลอดจนตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เป็นอย่างดี ด้วยความเมตตาจาก อาจารย์ ดร. สมศักดิ์ วาณิชอนันต์ชัย ซึ่งเป็นที่ปรึกษาของงานโครงการเรื่องนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงด้วยความซาบซึ้งและสำนึกในพระคุณ ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นอกจากนี้ผู้จัดทำรายงานขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติมิตรทุกท่านที่ช่วยส่งเสริมสนับสนุนการเรียนของผู้จัดทำรายงานตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อน ๆ และน้องนักศึกษาสาขาวิชาโทรคมนาคมทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและคอยเป็นกำลังใจในการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์



นางสาวจันทินี เจริญศิลป์

นางสาวศิริพร สายทอง

บทคัดย่อ.....	ก
กิตติกรรมประกาศ.....	ข
สารบัญ	ค
สารบัญภาพ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Local WLANs) คืออะไร.....	1
1.2 หลักการและเหตุผล.....	8
1.3 วัตถุประสงค์.....	8
1.4 ขอบเขตงาน.....	9
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	9
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.1 ผลจากการแทรกสอดของช่องสัญญาณที่อยู่ชิดกัน ในเครือข่ายท้องถิ่น แบบไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11.....	10
2.2 มาตรฐาน IEEE 802.11 WLAN.....	15
2.3 ความรู้พื้นฐานเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติ.....	26
บทที่ 3 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	41
3.1 หลักการสร้างแบบจำลอง.....	41
3.2 การวิเคราะห์หาแบบจำลองที่ดีที่สุด.....	44
3.3 การเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุด.....	47
3.4 สรุป.....	53
บทที่ 4 ผลของการสร้างแบบจำลอง.....	54
4.1 ผลที่ได้จากโปรแกรม Limdep.....	54
4.2 การวิเคราะห์แบบจำลองในโปรแกรม MATLAB.....	68
4.3 สรุป.....	72

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบ.....	72
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	72
5.2 ปัญหาและอุปสรรค.....	73
5.3 ขีดจำกัดของโครงการ.....	74
5.4 ข้อเสนอแนะและวิธีการพัฒนาโครงการ.....	74
ประวัติผู้เขียน.....	7
บรรณานุกรม.....	7
ภาคผนวก	
- ข้อมูลที่ได้จากโครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม ประจำปีการศึกษาที่ 1/2551 เรื่องการวิเคราะห์ผลกระทบของการใช้ช่องความถี่ซ้อนทับกันในเครือข่ายท้องถิ่น ไร้สาย.....	77
- ตารางค่าเปรียบเทียบ สรุปค่า Durbin-Watson Statistic ของแบบจำลองต่างๆ.....	92
- ตาราง Correlation ของแบบจำลอง.....	95
- ตารางการประเมินความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น.....	97

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1	ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของคลื่นความถี่วิทยุและแสงอินฟราเรด..... 6
ตารางที่ 1.2	ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของเทคโนโลยีโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย ประเภทต่าง ๆ 6
ตารางที่ 2.1	ตารางแสดงอัตราการส่งข้อมูลจำเพาะ ของ IEEE 802.11b.....17
ตารางที่ 2.2	ตารางแสดงอัตราการแสดงข้อมูลจำเพาะของ IEEE 802.11a.....19
ตารางที่ 2.3	ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของแต่ละมาตรฐาน ของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย.....20
ตารางที่ 2.4	ตารางแสดงมาตรฐาน IEEE 802.11, 802.11a, 802.11b, 802.11g.....21
ตารางที่ 2.5	ข้อแตกต่างระหว่างความหมายของสถิติในฐานะทางข้อมูลกับวิธีการ.....28
ตารางที่ 2.6	แสดงคุณสมบัติของข้อมูลระดับต่างๆ.....31
ตารางที่ 2.7	แสดงสถิติที่เหมาะสมในการบรรยายข้อมูลที่มีตัวแปรเดียว.....33
ตารางที่ 3.1	รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบความถดถอยเชิงพหุ.....42
ตารางที่ 3.2	รูปแบบฟังก์ชันที่ใช้ในการทดลอง.....45
ตารางที่ 3.3	แบบจำลองที่มีค่าสถิติในการตัดสินใจ.....47
ตารางที่ 5.1	รูปแบบจำลองเชิงประจักษ์ที่ดีที่สุดของแต่ละเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับ.....72

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1	ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของคลื่นความถี่วิทยุและแสงอินฟราเรด..... 6
ตารางที่ 1.2	ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของเทคโนโลยีโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย ประเภทต่าง ๆ 6
ตารางที่ 2.1	ตารางแสดงอัตราการส่งข้อมูลจำเพาะ ของ IEEE 802.11b.....17
ตารางที่ 2.2	ตารางแสดงอัตราการส่งข้อมูลจำเพาะของ IEEE 802.11a.....19
ตารางที่ 2.3	ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของแต่ละมาตรฐาน ของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย.....20
ตารางที่ 2.4	ตารางแสดงมาตรฐาน IEEE 802.11, 802.11a, 802.11b, 802.11g.....21
ตารางที่ 2.5	ข้อแตกต่างระหว่างความหมายของสถิติในฐานะทางข้อมูลกับวิธีการ.....28
ตารางที่ 2.6	แสดงคุณสมบัติของข้อมูลระดับต่างๆ.....31
ตารางที่ 2.7	แสดงสถิติที่เหมาะสมในการบรรยายข้อมูลที่มีตัวแปรเดียว.....33
ตารางที่ 3.1	รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบความถดถอยเชิงพหุ.....42
ตารางที่ 3.2	รูปแบบฟังก์ชันที่ใช้ในการทดลอง.....45
ตารางที่ 3.3	แบบจำลองที่มีค่าสถิติในการตัดสินใจ.....47
ตารางที่ 5.1	รูปแบบจำลองเชิงประจักษ์ที่ดีที่สุดของแต่ละเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับ.....72

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1	การเชื่อมต่อ WLAN.....	1
รูปที่ 1.2	Wireless Card.....	2
รูปที่ 1.3	การเชื่อมต่อระหว่างเพียร์.....	3
รูปที่ 1.4	การเชื่อมต่อ WLAN เข้ากับเครือข่ายไร้สาย.....	3
รูปที่ 1.5	การใช้ WLAN เชื่อมต่อเครือข่ายแบบใช้สาย.....	4
รูปที่ 2.1	2.4 GHz ISM band.....	13
รูปที่ 2.2	PSD of an unfiltered 802.11 DSSS signal.....	14
รูปที่ 2.3	แสดงการเปรียบเทียบอัตราเร็วกับระยะทางระหว่างมาตรฐาน 802.11a และ 802.11b.	19
รูปที่ 2.4	BSS และ ESS.....	23
รูปที่ 2.5	การทำงานในโหมด Adhoc หรือ Peer-to-Peer Mode.....	24
รูปที่ 2.6	Hidden Node Problem และ กลไก RTS/CTS Handshake.....	25
รูปที่ 4.1 ก	เปรียบเทียบการซ้อนทับของสัญญาณแบบ 3 มิติ.....	70
รูปที่ 4.1 ข	เปรียบเทียบการซ้อนทับของสัญญาณแบบ 3 มิติ.....	71

บทที่ 1

บทนำ

1.1 เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Local WLANs) คืออะไร

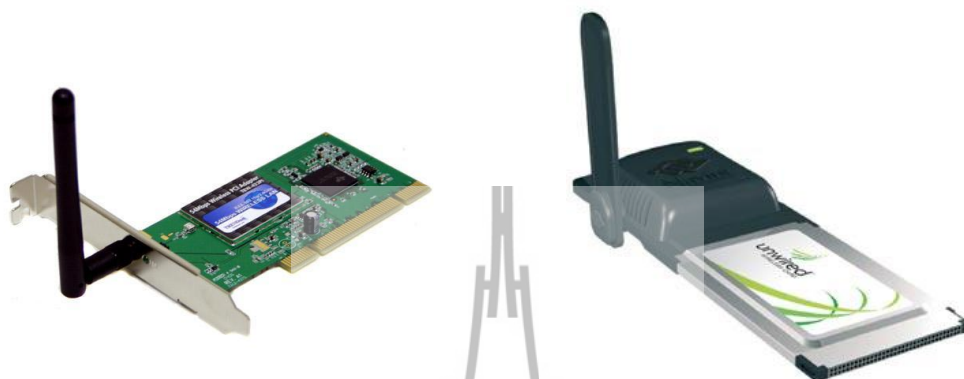
ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย หรือ WLAN (Wireless LAN) คือ ระบบสื่อสารข้อมูลไร้สายแบบหนึ่งเป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นสูง ได้มีการพัฒนาขึ้นมาอย่างรวดเร็ว ส่วนใหญ่จะนิยมติดตั้งเพิ่มเติมหรือแทนที่ระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบใช้สายสัญญาณ สามารถพบเห็นระบบนี้ได้ตามโรงเรียน มหาวิทยาลัย ออฟฟิศและจุดที่ให้บริการสาธารณะ ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจะใช้คลื่นวิทยุ (Radio Frequency: RF) เป็นสัญญาณ และใช้อากาศเป็นตัวนำสัญญาณ ทำให้ลดปริมาณสายสัญญาณที่ใช้ ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายรู้จักอีกชื่อหนึ่งว่า 802.11 networking เนื่องจากว่าในปี ค.ศ. 1997 คณะกรรมการของ IEEE ได้ประกาศมาตรฐาน IEEE 802.11 WLAN ออกมา ในตอนนั้นความเร็วสูงสุดของมาตรฐานอยู่ที่ 2 Mbps ซึ่งค่อนข้างช้า จึงได้มีการตั้งทีมงานขึ้นมาเพื่อพัฒนามาตรฐานให้ดียิ่งขึ้น จนในปัจจุบันระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายสามารถรับส่งข้อมูลได้ถึง 54 Mbps ซึ่งมีความเร็วกว่าอีเทอร์เน็ต (Ethernet) แบบ 10Base-T ประโยชน์ที่สำคัญของการใช้ระบบนี้คือ ความสะดวกในการเคลื่อนย้ายคอมพิวเตอร์ในเครือข่าย ปัจจุบันระบบเครือข่ายไร้สายกำลังได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะองค์กรที่ใช้คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก (Notebook) ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะมีการเคลื่อนย้าย

Diagram



รูปที่ 1.1 การเชื่อมต่อ WLAN

สำหรับการใช้งานระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องการใช้งานจะต้องมีการติดตั้งเน็ตเวิร์กการ์ดแบบไร้สาย(Wireless Card) โดยเฉพาะก่อน สำหรับการใช้งาน Wireless ในโน้ตบุ๊กบางเครื่อง จะมีติดตั้งให้มาอยู่แล้วแต่ ถ้าไม่มี ก็สามารถติดตั้งเพิ่มเข้าไปได้



รูปที่ 1.2 Wireless Card

1.1.1 หลักการทำงานของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

การทำงานของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายนั้นจะคล้ายๆกับวิทยุสื่อสารทุกๆไปก็คือเริ่มแรกต้องแปลงข้อมูลที่ต้องการจะส่งให้อยู่ในรูปของสัญญาณวิทยุ แล้วส่งสัญญาณออกไปโดยใช้เสาอากาศ (Antenna) เป็นตัวส่ง อีกด้านหนึ่งก็จะใช้เสาอากาศเป็นตัวรับสัญญาณเช่นกัน แล้วจึงแปลงสัญญาณกลับมาเป็นข้อมูลตามเดิม โดยสัญญาณวิทยุที่ใช้ในของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายนั้นจะแตกต่างจากวิทยุสื่อสารตรงที่ คลื่นวิทยุของของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจะมีความถี่ (frequency) มากกว่า การเข้ารหัสเพื่อเปลี่ยนเป็นสัญญาณวิทยุมีประสิทธิภาพดีกว่าของวิทยุสื่อสาร ทำให้สามารถส่งข้อมูลได้มากกว่า ทั้งยังมี ความสามารถเปลี่ยนช่วงความถี่ของสัญญาณได้อีก โดยที่สามารถแบ่งช่วงความถี่ (band width) ได้ถึง 12 ช่อง (channels) และสามารถเปลี่ยนช่วงความถี่ของสัญญาณไปมาได้อย่างรวดเร็ว ช่วยป้องกันไม่ให้ถูกคลื่นรบกวนและทำให้แต่ละเครื่องสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ โดยไม่ถูกรบกวนจากเครื่องอื่นแม้จะเชื่อมต่อกันอยู่หลายเครื่อง

1.1.2 โทโปโลยีของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

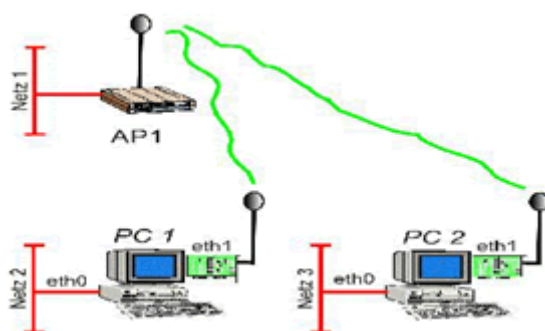
โทโปโลยีของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายอาจเป็นแบบธรรมดาหรืออาจเป็นแบบซับซ้อนก็ได้ โดยแบบที่ง่ายที่สุดก็โดยการเชื่อมต่อกันของคอมพิวเตอร์ 2 เครื่อง ที่ติดตั้งเน็ตเวิร์กการ์ดแบบไร้สาย ซึ่งเรียกว่า “เครือข่ายแบบเพียร์ทูเพียร์ (Peer-to-Peer)” ส่วนเครือข่ายผสมระหว่างเครือข่ายไร้สายกับใช้สาย จุดที่เชื่อมต่อระหว่างสองเครือข่ายนี้จะเรียก “แอ็กเซสส์พอยต์ หรือ AP (Access Point)” หรืออาจเรียกว่าฮับ (Hub) ก็ได้ ซึ่งแต่ละจุดสามารถเชื่อมต่อเครื่องไคลเอนท์ (Client) ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายได้ประมาณ 10-50 ไคลเอนท์หนึ่งและแอ็กเซสส์พอยต์ส่วนอุปกรณ์เครือข่ายและคอมพิวเตอร์ที่ใช้ช่องสัญญาณในการรับส่งข้อมูลจะเรียกว่า BSS (Basic Service Set) ส่วนระยะระหว่างเครื่องไคลเอนท์และแอ็กเซสส์พอยต์จะขึ้นอยู่กับสถานที่ตั้ง ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่ประมาณ 150 – 300 เมตร ถ้าต้องการขยายเครือข่ายก็สามารถทำได้โดยใช้แอ็กเซสส์พอยต์หลายๆ เครื่อง



รูปที่ 1.3 การเชื่อมต่อระหว่างเพียร์ทูเพียร์



รูปที่ 1.4 การเชื่อมต่อ WLAN เข้ากับเครือข่ายไร้สาย



รูปที่ 1.5 การใช้ WLAN เชื่อมต่อเครือข่ายแบบใช้สาย

1.1.3 เทคโนโลยีระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

1.1.3.1. เทคโนโลยีคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency - RF)

การส่งสัญญาณโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ คลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency - RF) มีคุณสมบัติเด่นคือ เป็นช่วงคลื่นที่สามารถใช้งานได้ง่าย, ส่งไปได้ระยะทางไกล, สามารถเดินทางผ่านวัตถุกีดขวางต่าง ๆ ได้ดีและยังเดินทางออกจากแหล่งกำเนิดไปได้ในทุกทิศทาง โดยการรับส่งสัญญาณโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุนี้โดยทั่วไปจะมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบ narrowband และ แบบ spread – spectrum ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

➤ Narrowband

คลื่นวิทยุที่ใช้ส่งข้อมูลสำหรับเทคโนโลยีนี้จะใช้เพียงความถี่เดียว ระบบคลื่นวิทยุแบบแถบความถี่แคบจะรับส่งข้อมูลโดยใช้สเปกตรัมบางส่วนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งในที่นี้ใช้แถบความถี่ ISM (industrial, scientific, and medical) การป้องกันการรบกวนของคลื่นสามารถทำได้โดยการกำหนดให้ผู้ใช้งานแต่ละคนใช้ช่องความถี่ที่ต่างกัน ซึ่งเป็นการป้องกันไม่ให้ผู้ใช้แต่ละคนดูข้อมูลของกันและกันแต่ข้อจำกัดของการใช้สัญญาณแบบนี้ คือ จะต้องขออนุญาตจาก FCC (federal communication committee) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่กำหนดช่วงความถี่ในการใช้สัญญาณคลื่นความถี่วิทยุแบบแถบความถี่แคบนี้

➤ Spread Spectrum

การส่งสัญญาณแบบสเปกตรัม (Spread Spectrum) คือการผสมผสานระหว่างเทคโนโลยีแวนโรว์แบนด์และบรอดแบนด์ กล่าวคือ ช่วงความถี่ที่ใช้จะกว้างแต่จะแบ่งออกเป็นช่องสัญญาณย่อยหลายๆ ช่อง แล้วส่งสัญญาณโดยใช้ช่องสัญญาณทีละช่อง ระบบเครือข่ายไร้สายส่วนใหญ่จะใช้เทคโนโลยีนี้ จุดประสงค์ของการออกแบบเทคโนโลยีนี้คือ การแลกเปลี่ยนกันระหว่างความเร็วกับความเชื่อถือได้ กล่าวคือ การส่งข้อมูลด้วยเทคโนโลยีนี้จะใช้ช่องความถี่กว้าง ทำให้สัญญาณมีกำลังมากขึ้น ทำให้การรับสัญญาณง่ายขึ้น ซึ่งจะส่งสัญญาณโดยใช้แถบความถี่ ISM และไม่จำเป็นต้องได้รับอนุญาตจาก FCC เทคโนโลยีนี้จะแบ่งออกเป็น

- **Frequency-Hopping Spread Spectrum (FHSS)** เทคโนโลยีนี้จะใช้สัญญาณแบบแวนโร วแบนด์ แต่จะทำการเปลี่ยนความถี่ตามลำดับที่ฝั่งรับและฝั่งส่งให้เข้าใจตรงกัน ซึ่งลำดับนี้จะดูเหมือนกับการสุ่ม (Random) สำหรับสถานีอื่น
- **Direct-Sequence Spread Spectrum (DSSS)** จะใช้ความถี่ขนาดกว้างในการส่งสัญญาณ แต่จะมีวิธีการกู้คืนข้อมูลด้วยการสร้างบิตเพิ่มเติม ซึ่งจะเรียกว่าชิปปิงโค้ด (Chipping Code) ขนาดโค้ดนี้ยิ่งยาวเท่าใดยิ่งทำให้ความเป็นได้ในการกู้คืนข้อมูลสูงมากขึ้น แต่ก็ใช้แบนด์วิธเพิ่มขึ้น
- **High Rate Direct-Sequence Spread Spectrum (HR/DSSS)** เทคนิคการส่งสัญญาณจะคล้ายๆ DSSS แต่ส่งในอัตราข้อมูลที่สูงกว่า
- **Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)** จะใช้เทคนิคการมัลติเพล็กซ์ความถี่ในการส่งสัญญาณ

1.1.3.2. เทคโนโลยี Infrared

เทคโนโลยีนี้จะใช้คลื่นอินฟราเรด สำหรับการส่งสัญญาณข้อมูล คลื่นอินฟราเรดนี้จะมีค่าที่สูงมากซึ่งจะอยู่ใต้แสงที่มองเห็น คุณสมบัติของคลื่นนี้ก็จะเหมือนกับแสงคือ ไม่สามารถเดินทางผ่านวัตถุที่ทึบแสงได้ ดังนั้นการใช้งานค่อนข้างน้อย และระยะการรับส่งสัญญาณยังได้ไม่ไกล โดยเฉลี่ยจะอยู่ประมาณ 1 เมตร อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีนี้นิยมใช้กับอุปกรณ์ไร้โมทคอนโทรลของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในบ้าน ส่วนใหญ่การใช้งานทางด้านเครือข่ายนั้นยังมีน้อยแต่ก็เหมาะสำหรับการสร้างเครือข่ายย่อยที่ไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงมากนัก

1.1.3.3. เทคโนโลยี Laser

สภาพแวดล้อมที่ใช้เลเซอร์นั้น เปรียบได้กับเครือข่ายที่ใช้ระบบสายไฟเบอร์โดยที่ไม่ใช่สายไฟเบอร์ อย่างไรก็ตาม LAN ส่วนใหญ่จะใช้ LED (Light Emitting Diode) เนื่องจากเลเซอร์เป็นแสงที่มองเห็น ดังนั้นอุปกรณ์นี้จึงเป็นแบบ ไลน์ ออฟไซต์ (Light-of-Sight Device) หรืออุปกรณ์ที่ต้องการรับสัญญาณจะต้องอยู่ในแนวที่มองเห็นกัน ซึ่งสัญญาณอาจถูกลดทอนได้ง่ายโดยหมอก ควัน หรือฝน เป็นต้น ที่อยู่ระหว่างอุปกรณ์รับส่ง ข้อกังวลอีกอย่างหนึ่งที่ใช้อุปกรณ์ประเภทนี้คือ แสงเลเซอร์อาจทำให้เกิดอันตรายให้กับแก้วตาหรือระบบประสาทของมนุษย์อย่างถาวรได้ ดังนั้น การติดตั้งควรให้ความระมัดระวังเกี่ยวกับเรื่องนี้อย่างมากด้วย

ตารางที่ 1.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของคลื่นความถี่วิทยุและแสงอินฟราเรด

	spread spectrum	narrowband microwave	infrared
frequency	902 MHz to 928 MHz; 2.4 GHz to 2.4385 GHz; 5.725 GHz to 5.825 GHz	18.825 GHz to 19.205 GHz	3×10^{14} Hz
Maximum coverage	105 to 800 feet, or up to 50,000 square feet	40 to 130 feet, or up to 5,000 square feet	30 to 80 feet
line of sight	no	no	yes
transmitted power	less than 1 W.	25 mW.	N/A
Licensed required	no	yes	no
interbuilding use	possible with antenna	no	possible
rated speed (% of 10 Mbps wire)	20-50	33	50-100

ตารางที่ 1.2 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของเทคโนโลยีโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายประเภทต่าง ๆ

	infrared		spread spectrum		radio
	diffused infrared	direct beam	FHSS	DSSS	narrowband
data rate (Mbps)	1-4	10	1-3	2-20	5-10
Mobility	stationary / mobile	line of sight	mobile	stationary / mobile	
range (ft)	50-200	80	100-300	100-800	40-130
Detectability	negligible		little		some
modulation tech.	OOK		GFSK	QPSK	FS/QPSK
access method	CSMA	token ring, CSMA	CSMA		aloha, CSMA

1.1.4 ข้อดีของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

- ความคล่องตัว : ผู้ใช้สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายไร้สายที่ไหนก็ได้ภายในองค์กร ซึ่งบริเวณนั้นอาจไม่สามารถติดตั้งสายสัญญาณได้
- ความสะดวกในการติดตั้ง และจัดการง่าย : เนื่องจากไม่ต้องมีการใช้สายสัญญาณในการเชื่อมต่อ ทำให้สามารถติดตั้งได้เร็วขึ้น ไม่ต้องมาเดินสายสัญญาณให้ยุ่งยาก
- ความยืดหยุ่น : เทคโนโลยี Wireless นี้ทำให้สามารถเชื่อมต่อแต่ละเครื่องเข้าด้วยกันแม้กระทั่งที่สายสัญญาณ ไม่สามารถเข้าถึงกันได้
- ประหยัดค่าใช้จ่าย : ถึงแม้ตัวฮาร์ดแวร์ของเทคโนโลยีนี้จะมีราคาค่อนข้างสูง แต่ในบางกรณีค่าติดตั้งสายสัญญาณอาจจะสูงกว่าก็ได้ และในบางกรณีที่สายอาจจะเก่าจำเป็นต้องมีการติดตั้งใหม่ แต่สำหรับเทคโนโลยีไม่จำเป็น
- ความสามารถในการขยายเครือข่าย : ระบบเครือข่ายแบบนี้สามารถปรับแต่งได้หลายแบบ ใช้ได้กับเครือข่ายขนาดเล็กไปจนถึงเครือข่ายขนาดใหญ่

1.1.5 ข้อเสียของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

- อัตราข้อผิดพลาดของข้อมูล : สำหรับเครือข่ายที่ใช้สายสัญญาณอัตราการเกิดข้อผิดพลาดระหว่างการรับส่งข้อมูล แทบจะไม่มี แต่ในระบบไร้สายแล้วอัตราข้อผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลจะค่อนข้างสูง เนื่องจากการใช้คลื่นวิทยุ โดยสิ่งที่เป็นเหตุให้เกิดข้อผิดพลาดนี้ได้ดังนี้ คลื่นรบกวน เส้นทางข้อมูลหลายทาง การลดทอนของสัญญาณค่อนข้างสูง การรบกวนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น
- ความปลอดภัยของข้อมูล : เราไม่สามารถกำหนดทิศทางและขอบเขตของคลื่นวิทยุได้ ซึ่งข้อมูลที่ส่งด้วยคลื่นอาจถูกตรวจจับได้ง่าย
- การรบกวน : ในเครือข่ายที่ใช้สาย เฉพาะเครื่องที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบเท่านั้นที่สามารถส่งสัญญาณข้อมูลได้ แต่สำหรับเครือข่ายไร้สายแล้วเครื่องที่อยู่ต่างเครือข่ายกันก็สามารถส่งข้อมูลได้ ทำให้เกิดการรบกวนกันขึ้นได้ นอกจากนั้นยังรวมไปถึง โทรศัพท์ไร้สาย เตาไมโครเวฟ เป็นต้น
- กำลังไฟฟ้าสำรอง : เครื่องส่วนใหญ่ที่ใช้เทคโนโลยีนี้ในการเชื่อมต่อก็จะเป็นโน้ตบุ๊ก ซึ่งในการเชื่อมต่อต้องใช้กำลังไฟค่อนข้างสูง

1.2 หลักการและเหตุผล

ปัจจุบันการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายมีบทบาทกับชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้คุณภาพของสัญญาณที่เกิดจากอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณหรือคลื่นความถี่มีความสำคัญเป็นอย่างมากในการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย แต่เนื่องจากการใช้งานย่านความถี่ในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ถูกกำหนดด้วยมาตรฐาน IEEE 802.11 ซึ่งกำหนดให้ใช้งานที่ย่านความถี่ 2.4 GHz โดยช่องสัญญาณความถี่สำหรับใช้งานมี 11 ช่อง แต่จะมีเพียง 3 ช่องสัญญาณความถี่ที่ไม่ซ้อนทับกัน (nonoverlapping) ได้แก่ ช่องสัญญาณความถี่ 1, 6, 11 ดังนั้น ในแต่ละอาคารสถานที่หากกำหนดให้อุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณที่มีช่องสัญญาณความถี่ที่ใกล้เคียงกัน (adjacent channel) ซึ่งเป็นช่องความถี่ที่มีแถบความถี่ (Bandwidth) ซ้อนทับกันจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนกันขึ้น ส่งผลให้คุณภาพของการติดต่อสื่อสารลดน้อยลง เพื่อแก้ปัญหาการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่สำหรับใช้งานให้เหมาะสม จึงต้องมีการกำหนดให้ใช้ช่องความถี่ให้เหมาะสม หากเกิดการซ้อนทับกันของช่องสัญญาณความถี่จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพการให้บริการ

โครงการนี้จะทำการสร้างแบบจำลอง เพื่อศึกษาผลกระทบต่างๆ ของการใช้ช่องความถี่ซ้อนทับกัน ในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย เช่น ปริมาณ Throughput, Data Rate, SINR, Signal Strength, percentage of overlap เป็นต้น เพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพการสื่อสารภายในระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์

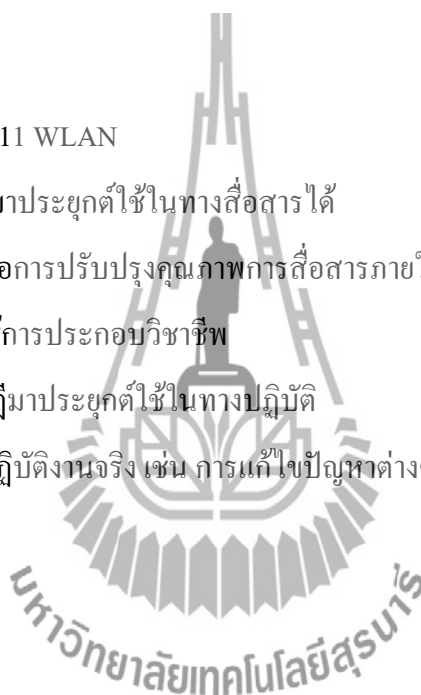
เพื่อสร้างแบบจำลองเชิงประจักษ์ที่ดีที่สุด ที่สามารถนำมาใช้งานในการวิเคราะห์ห่อแอกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

1.4 ขอบเขตงาน

1. ศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับ IEEE 802.11 WLANs, การใช้ช่องสัญญาณซ้อนทับกัน
2. ศึกษาโปรแกรม Limdep เพื่อใช้ประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลอง
3. ทำการสร้างแบบจำลองทั้งหมดที่เป็นไปได้ และเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุด
4. ศึกษาโปรแกรม Matlab เพื่อใช้ในการนำเสนอแบบจำลอง

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้เกี่ยวกับ IEEE 802.11 WLAN
2. สามารถนำความรู้ทางสถิติมาประยุกต์ใช้ในทางสื่อสารได้
3. ผลงานที่ได้เป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงคุณภาพการสื่อสารภายในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย
4. สามารถนำความรู้ที่ได้มาใช้ในการประกอบวิชาชีพ
5. สามารถนำความรู้ทางทฤษฎีมาประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ
6. สามารถแก้ปัญหาจากการปฏิบัติงานจริง เช่น การแก้ไขปัญหาต่างๆ การทำงานเป็นทีม



บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โครงการแบบจำลองเชิงประจักษ์ของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้ช่องความถี่ซ้อนทับกันนี้ ได้มีการประยุกต์ใช้หลักการแทรกสอดของช่องสัญญาณที่อยู่ชิดกันในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายร่วมกับการสร้างแบบจำลองโดยวิธีการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุด โดยนำเอาข้อมูลที่มีอยู่มาสร้างแบบจำลองที่เป็นไปได้ทั้งหมดและทำการเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุด ซึ่งทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องในแต่ละส่วนดังกล่าว มีดังต่อไปนี้

2.1 ผลจากการแทรกสอดของช่องสัญญาณที่อยู่ชิดกันในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11

ปัจจุบันช่องสัญญาณความถี่ใน ISM bands ที่ใช้สำหรับเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 มีไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ซึ่งการจัดการเกี่ยวกับคลื่นความถี่วิทยุในปัจจุบันจะถูกจำกัดให้ช่องสัญญาณที่ไม่ซ้อนทับกันมีจำนวนน้อยลง โดยการยกเลิกสามช่องสัญญาณที่น่าจะเกิดการซ้อนทับกันของช่วงความถี่ 2.4 GHz สำหรับเครือข่ายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงผลจากการแทรกสอดของช่องสัญญาณที่อยู่ชิดกันซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการซ้อนทับกันของช่องสัญญาณบางส่วน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอแบบจำลองที่สามารถกำหนดให้อยู่ภายใต้ของสภาวะการใช้งานช่องสัญญาณที่อยู่ชิดกันได้ และยังมีส่วนช่วยในกระบวนการจัดการเกี่ยวกับคลื่นความถี่วิทยุที่แตกต่างกัน

2.1.1 บทนำ

ในปัจจุบันเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายมีการเจริญเติบโตก้าวหน้าเป็นอย่างมากโดยขาดการควบคุมเนื่องจากความถี่ในช่วง ISM bands นี้เป็นช่วงความถี่อิสระ หรือความถี่สาธารณะที่ผู้ใช้สามารถใช้งานได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย เพราะเป็นช่วงความถี่ของการใช้งานในด้านอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ นอกจากนั้นเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องก็มีราคาถูกลงและได้มาตรฐานอีกด้วย ในพื้นที่ที่มีผู้ใช้งานจำนวนมากหรือในเขตชุมชนเมืองพบว่าผู้ใช้งานระบบทั้งในบริเวณสาธารณะและที่อยู่อาศัยจะใช้แถบความถี่สเปกตรัมร่วมกันซึ่งมักมีไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้งาน อธิบายได้ตาม [1] จะเกิดความวุ่นวายขึ้นภายในเครือข่ายเนื่องจากไม่มีการวางแผนและการจัดการที่ดี

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาดังครุณีที่ม้กจะพบบ่อยในระบบ นั้นคือการเกิดควมหนาแน่นที่โนด เมื่โนดข้างเคียงมีจำนวนเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการแทรกสอดเพิ่มมากขึ้นซึ่งจะมีผลต่อสมรรถนะของเครือข่าย โดยปกติแล้วการแทรกสอดจะมี 2 แบบ ได้แก่การแทรกสอดจากการใช้ช่องสัญญาณร่วมกัน (co-channel interference) คือใช้ช่องสัญญาณความถี่ร่วมกันในการรับ-ส่งสัญญาณ และการแทรกสอดจากช่องสัญญาณที่อยู่ชิดกัน (adjacent channel interference) ซึ่งเกิดจากช่องสัญญาณความถี่ที่อยู่ชิดกันหรือเกิดการซ้อนทับกันบางส่วนในการรับ -ส่งสัญญาณ ในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย เส้นทางในการสื่อสารของโนดจะใช้สื่อกลางร่วมกันเหมือนกับเชกเมนต้อีเธอร์เน็ต สำหรับเทคนิค CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) ในการเข้าใช้สื่อกลางจะถูกควบคุมด้วยแบบแผนของระบบ โดยมีหลักการทํางานคือเมื่โนดที่ต้องการจะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลได้รับสิทธิในการเข้าใช้ช่องสัญญาณแล้วจะทำการส่งแพ็กเก็ตเกิดขึ้น ๆ ที่เรียกว่า RTS (Request To Send) เพื่อเป็นการจองช่องสัญญาณ ก่อนที่จะส่งแพ็กเก็ตเกิดข้อมูลจริงซึ่งแพ็กเก็ต RTS ประกอบไปด้วยระยะเวลาที่คาดว่าใช้ช่องสัญญาณจนแล้วเสร็จ (Duration ID) รวมถึง Address ของโนดผู้ส่งและผู้รับ เมื่โนดผู้รับได้ยินสัญญาณ RTS ก็จะตอบรับกลับมาด้วยการส่งสัญญาณ CTS (Clear To Send) ซึ่งจะบ่งบอกข้อมูลระยะเวลาที่คาดว่าโนดที่กำลังจะทำการส่งข้อมูลนั้นจะใช้ช่องสัญญาณจนแล้วเสร็จ หลักการก็คือทุก ๆ โนดใน BSS หรือ IBSS ควรจะได้ยินสัญญาณ RTS หรือไม่มี CTS อย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งสองอย่าง เมื่ได้รับ RTS หรือ CTS ทุก ๆ โนดจะทราบถึงว่าช่วงเวลาที่จะบุไว้ใน Duration ID ซึ่งช่องสัญญาณจะถูกใช้และทุกโนดที่ยังไม่ได้รับสิทธิในการเข้าใช้ช่องสัญญาณจะตั้งค่า NAV (Network Allocation Vector) ให้เท่ากับ Duration ID ซึ่งแสดงถึงช่วงเวลาที่ยังไม่สามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณได้ ทุก ๆ โนดจะใช้กลไก Virtual Carrier Sense ดังกล่าวผนวกกับการฟังสัญญาณในช่องสัญญาณจริง ๆ ในการตรวจสอบว่าช่องสัญญาณว่างอยู่หรือไม่ ในกรณีศึกษาพบว่าเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 จะมีความแตกต่างจากเครือข่ายเคลื่อนที่วิทยุอื่น ๆ เนื่องจากการแทรกสอดจากการใช้ช่องสัญญาณร่วมกันจะมีอิทธิพลมากกว่า ถึงแม้ว่าจะไม่มีทราฟฟิกแต่โนดอาจจะถ่วงเวลาให้การรับ-ส่งข้อมูลนั้นช้าลง เมื่อมีการส่ง sense ไปยังสื่อกลาง โดยระบบจะมีการตรวจสอบโนดอื่น ๆ ว่ามีการใช้ช่องสัญญาณหรือไม่จากเชลการแทรกสอด เรียกโนดเหล่านั้นว่า *exposed terminals*

สำหรับการแทรกสอดจากช่องสัญญาณที่อยู่ชิดกันจะมีผลทำให้ SINR (Signal to Interference and Noise Ratio) มีค่าลดลงและจำนวนข้อมูลผิดพลาดที่รับได้จะเพิ่มขึ้น ซึ่งการที่จะลดผลจากการแทรกสอดนั้นต้องมีการออกแบบเครือข่ายที่ดีมีตำแหน่งของจุดเข้าถึงเครือข่ายที่ดี มีความสามารถในการส่งผ่านและมีการจัดสรรช่องสัญญาณที่ดี

เครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 มีความถี่ปฏิบัติการคือ 5 GHz (.11a) และ 2.4 GHz (.11b/g) การสื่อสารในช่วงความถี่นี้ต้องการเทคนิคที่สามารถครอบคลุมในช่วงความถี่ปฏิบัติการนั้นได้ โดยการจำกัดกำลังในการรับ -ส่งข้อมูลเพื่อให้มีผลกระทบของการแทรกสอดจากอุปกรณ์น้อยที่สุด ในอดีตสัญญาณจะมีความกว้างแถบ (bandwidth) ประมาณ 20 MHz แต่ต่อมาได้มีการปรับปรุงให้

ช่องสัญญาณสามารถใช้ประโยชน์ได้มากขึ้นโดยการกำหนดให้มีการแบ่งความถี่ 5 MHz ระหว่างสัญญาณพาหะเพื่อนำไปใช้งาน ทำให้มีช่องสัญญาณอย่างน้อย 5 ช่องสัญญาณ ซึ่งถูกแบ่งออกมานั้นสามารถรับรองได้ว่าในการสื่อสารพร้อม ๆ กันของสองช่องสัญญาณจะไม่เกิดการรบกวนกันของแต่ละช่องสัญญาณ ดังนั้นในช่วงความถี่ 5 GHz จึงมีช่องสัญญาณมากถึง 19 ช่องสัญญาณ (12 ช่องสัญญาณในอเมริกา) ที่จะไม่เกิดการซ้อนทับกันของช่องสัญญาณและในช่วงความถี่ 2.4 GHz มีเพียง 3 ช่องสัญญาณเท่านั้นจาก 13 ช่องสัญญาณ (11 ช่องสัญญาณในอเมริกา) ที่เกิดการซ้อนทับกัน (มักจะเป็นช่องสัญญาณที่ 3, 6 และ 11) แสดงดังรูปที่ 1 โดยก่อนหน้านี้ได้มีการทดลองศึกษาถึงการแบ่งของ 4 ช่องสัญญาณ ที่สามารถถูกใช้โดยไม่มีการลดสมรรถนะของช่องสัญญาณดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถใช้ช่องสัญญาณที่ 1, 5, 9 และ 13 ได้ โดยแนวคิดของการใช้ทุก ๆ ช่องสัญญาณที่ใช้ประโยชน์ได้นำเสนอโดยเป็นครั้งแรก สำหรับงานวิจัยนี้ เราได้นำเสนอการศึกษาวิเคราะห์ถึงผลกระทบของการแทรกสอดจากช่องสัญญาณที่อยู่ติดกันในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 a/b/g ซึ่งได้ผลมาจากการวัดทดลองและการประมวลผลให้มีวัตถุประสงค์ช่วยเหลือกลไกการบริหารจัดการทรัพยากรคลื่นวิทยุอื่นโดยการให้คำแนะนำในการใช้ช่องสัญญาณบางส่วนที่ซ้อนทับกัน เช่นเราสามารถอธิบายสิ่งที่อยู่ภายใต้สถานการณ์ที่ปฏิบัติได้ การศึกษาที่คล้ายกันที่เน้นเรื่องของการกระจายตัวของสเปกตรัมโดยตรงที่ได้รับการเผยแพร่ก่อนหน้านี้ แต่ลักษณะการถ่ายทอดเป็นไปแบบเรียบง่าย

2.1.2 โพรโตคอลของ IEEE 802.11

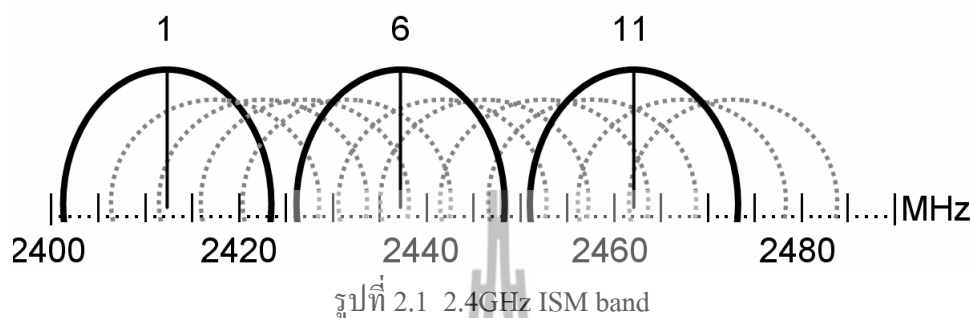
ที่ IEEE 802.11 MAC จัดให้มีกระบวนการอยู่สองโหมด : คือ โหมด Distributed Coordination Function (การกระจายประสานงานฟังก์ชัน) หรือ (DCF) และโหมด Point Coordination Function (จุดประสานงานฟังก์ชัน) หรือ (PCF) ที่ DCF จะใช้กลไกการ CSMA/CA ในการแย่งชิง MAC ที่ PCF คือข้อเสนอในการแย่งชิงการเข้าถึงที่อิสระ ทั้งสองโหมดสามารถกลับใช้งานทางเวลา

การทำงานของ DCF จะมีลักษณะ ดังนี้ ก่อนที่จะเริ่มต้นการส่ง สถานีจะพิจารณาว่าช่องสัญญาณว่างหรือไม่ ถ้าสื่อที่กลางรู้สึกว่างในระหว่างระยเวลานั้นจะเรียกว่า Distributed Interframe Space (DIFS) สถานีจะสามารถทำการส่งได้ ถ้าสื่อกลางไม่ว่าง การส่งจะล่าช้าจนกระทั่งช่องสัญญาณว่างอีกครั้ง ลักษณะทางกายภาพ และ virtual carrier-sense functions ใช้ตรวจสอบสถานะของกลาง Virtual carrier sense คือเครือข่ายจัดสรรเวกเตอร์ Network Allocation Vector (NAV) NAV ช่วยคาดการณ์การจราจรอนาคตบนสื่อตามระยะเวลาที่ประกาศในเฟรม อย่างพื้นฐาน ฟิสิคัลเลเยอร์จัดให้สื่อกลางที่ใช้ส่งนั้นมีสถานะ ว่างหรือไม่ ว่าง การยอมรับโดยการตรวจสอบของพลังงานใดๆ จะถูกกำหนดให้อยู่เหนือพลังงาน Threshold (P_{th}) ฟิสิคัลเลเยอร์ยังสามารถรายงานสื่อกลางที่ไม่ว่างซึ่งตรวจสอบด้วยสัญญาณของ 802.11 (สูงหรือต่ำกว่า P_{th})

ที่ slotted ไบนารี เอกโพเนนเชียล ช่วง backoff มีลักษณะเหมือนกันใน $[0, CW-1]$ ที่ CW มีการแย่งชิงหน้าต่าง ค่าเวลาของ backoff จะลดลงที่ยาวนานกว่าช่องที่มี sense ว่าง และจะหยุดที่มีความคืบหน้าการ

ส่ง จะกลับมาใช้งานได้อีกครั้งเมื่อช่องสัญญาณว่างสำหรับ DIFS ที่มากกว่าเมื่อหมดเวลาของ backoff สถานีจะเริ่มทำการส่ง หลังจากทำการรับแต่ละเฟรมข้อมูลได้สำเร็จ เครื่องรับจะทำการส่งเฟรม

Acknowledgment frame (ACK) หลังจากทีสิ้นสุด Short Interframe Space (SIFS) ค่าของ CW ทำการตั้งไปให้มีค่าที่ต่ำ CW_{min} ในการพยายามส่งครั้งแรก และทำการ ascends จำนวนเต็มของพลังงานทั้งสองในแต่ละครั้งของการเริ่มส่งข้อมูลอีกครั้ง รวมทั้งเป็นการพิจารณาถึงค่า CW_{max} ไว้ล่วงหน้าได้



การอธิบายโปรโตคอลที่กล่าวมานั้นเรียกว่า basic or two-way handshaking mechanism ในส่วนเพิ่มเติม นอกจากนี้ยังมีข้อกำหนดที่ประกอบด้วย 4 วิธี ของการแลกเปลี่ยนโปรโตคอลซึ่งเรียกว่ากลไก RTS/CTS เป็นอัตราขยายช่องทางของสถานีในการเข้าผ่านกระบวนการแย่งชิงที่ได้อธิบายมาก่อนหน้านี้ และส่งเฟรมพิเศษที่เรียกว่า Request to send (RTS) ที่เครื่องรับจะส่งเฟรม Clear to Send (CTS) หลังจากช่วงของ SIFS ภายหลังการร้องขอ สถานีอนุญาตให้เริ่มทำการส่งเฟรมข้อมูลหลังจากระยะเวลาของ SIFS วัตถุประสงค์หลักของ RTS/CTS handshake เป็นปัญหาละเอียดยที่ซ่อนภายใน กลไกเป็นลูกจ้างเพื่อลดระยะเวลาที่ขาดทุนที่มีสาเหตุมาจากการชนกัน โดยที่เฟรม RTS จะสั้นกว่าเฟรมข้อมูลมากๆ

สุดท้ายที่ IEEE 802.11 DCF MAC โปรโตคอลสนับสนุนการบริการการติดตั้ง (BSS) 2 ประเภท: BSS แบบอิสระที่เรียกว่า ad-hoc network ซึ่งไม่มีการเชื่อมต่อไปยังเครือข่ายไร้สาย และโครงสร้างพื้นฐานของ BSS ซึ่งตัว AP เชื่อมต่อกับเครือข่ายแบบไร้สาย ประเภทที่ 2 ของ BSS ย่อยเชื่อมต่อไปยัง Cellular network กับสถานีฐาน

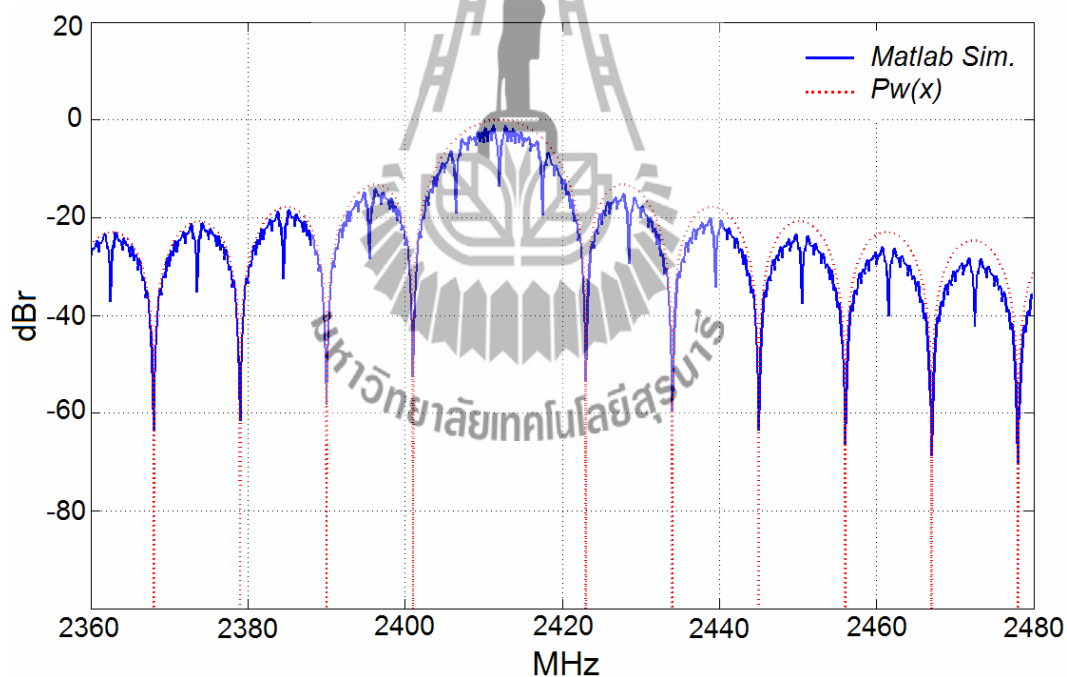
2.1.3 การกระจายสัญญาณ

IEEE 802.11 ได้กำหนดเทคนิคการกระจายสัญญาณที่ต่างกัน , แต่อุปกรณ์ที่พบเห็นตามท้องตลาดทุกวันนี้มีฐานบน DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) และ OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ใน DSSS ข้อมูลที่สถานีส่งเป็นการรวมด้วยอัตราบิตที่มีการลำดับบิตของการกระจายข้อมูลของผู้ใช้ในความถี่โดยค่าปัจจัยที่เท่ากันของอัตราการกระจายตัว ที่ IEEE 802.11 มาตรฐานที่ระบุการใช้รหัส

ของผู้ร้อง (1 และ 2 Mbps) และการใช้ CCK (Complementary Code Keying ใน 5.5 และ 11 Mbps) สำหรับการลำดับชีพในระบบ DSSS การมอดูเลชันโดยตรงมีผลต่อการกระจายสัญญาณทำให้แบนด์วิดท์ มีความกว้างมากขึ้น และกำลังงานของสเปกตรัมสามารถอธิบายได้ด้วยสมการนี้

$$P_{DSSS}(x) = \begin{cases} \left(\frac{\sin(2\pi x)}{2\pi x} \right)^2 & x \neq 0 \\ 1 & x = 0 \end{cases} \quad (1)$$

โดย x ทำหน้าที่เป็นฟังก์ชันความถี่กลาง f_c และแบนด์วิดท์ของโหลบลึก $b_m : x(f_c, b_m) = (f - f_c)/b_m$ โดยกฎหัวแม่มือทั่วไปของระบบ DSSS เป็นระบบจาก Null ไปถึง Null โดยแบนด์วิดท์เป็น $2x$ ของอัตราชีพเนื่องจากทุกๆ DSSS การมอดูเลชันจะใช้อัตราชีพที่ 11 Mbps จาก Null ไปถึง Null แบนด์วิดท์ของการกระจายสัญญาณ (b_m) เป็น 22 MHz ดังรูปที่ 2 สเปกตรัมถูกกำหนดโดยสมการ (1) ที่เปรียบเทียบกับ Matlab simulations ประกอบด้วยการสุ่มลำดับสัญญาณที่สร้างขึ้นเพื่อแสดงข้อมูลทำการส่ง การกระจายข้อมูลใช้ 11 บิต ลำดับของผู้ร้องขอและสุดท้ายผู้ให้บริการนำคลื่นไปประยุกต์ใช้



รูปที่ 2.2 PSD of an unfiltered 802.11 DSSS signal

ที่ IEEE 802.11 a/g มาตรฐาน ระบบ OFDM ที่ชั้น Physical Layer นั้นมีการแยกข้อมูลสัญญาณข้าม 52 ผู้ให้บริการ ส่วนผู้ให้บริการย่อยเป็นผู้ให้บริการนักบินที่ใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงเพื่อการฟื้นความถี่หรือการเกิด Phase Shift ที่เหลือ 48 ย่อยผู้ให้บริการให้ทำการแยกเครือข่ายไร้สายต่างหากเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลแบบขนาน ผลจากผู้ให้บริการความถี่ย่อย จะเว้นช่วงความถี่ 0.3125 MHz (20MHz/64) และแบนด์วิดท์รวมเป็น 20 MHz

แต่จะมีพื้นที่ใช้งานจริงเพียง 16.6 MHz เท่านั้น ตามที่วิเคราะห์ใน [11] สเปกตรัมของสัญญาณรวมเป็น กำลังสเปกตรัมของแต่ละผู้ให้บริการย่อย ($P_{sk}(f)$) ความหนาแน่นของกำลังงานจะได้รับจากการแปลงฟูเรียร์ของเวลาที่กำหนดโดยฟังก์ชันของหน้าต่างตามมาตรฐาน

$$W(f) = T_s \frac{\sin(\pi T_s f)}{\pi T_s f} \cdot \frac{\cos(\pi T_{TR} f)}{1 - 4T_{TR}^2 f^2} \cdot e^{-j\pi T_s f} \quad (2)$$

โดย T_s เป็นสัญลักษณ์ระยะเวลา ($4\mu s$) และ T_{TR} คือการเปลี่ยนเวลา, ประมาณ 100 ns ค่าของ T_s และ T_{TR} มีการมอดูเลชันเหมือนกันทั้งหมด จากนั้น สำหรับ k th ผู้ให้บริการย่อย $P_{sk}(f) = |W(f - 0.3125k)|^2 / T_s; k = \pm 1; \pm 2; \dots; \pm 52/2$. สเปกตรัมของผู้ให้บริการ OFDM เป็นเพียง ผลกระทบจากสัญลักษณ์ท่าทางของหน้าต่าง และอัตราสัญลักษณ์

2.2 มาตรฐาน IEEE 802.11 WLAN

เทคโนโลยีสำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ ผ่านสื่อไร้สายที่รู้จักกันมีอยู่หลายเทคโนโลยีเช่น Bluetooth, IEEE 802.11, IrDA, HiperLAN, HomeRF, และ GPRS เป็นต้น แต่เทคโนโลยีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดสำหรับ WLAN คือเทคโนโลยีตามมาตรฐาน IEEE 802.11 เนื่องจากอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN มีราคาไม่แพงนักและถูกลงเรื่อยๆ อีกทั้งมีสมรรถนะในการรับส่งข้อมูลค่อนข้างสูง ง่ายต่อการติดตั้งและใช้งาน IEEE 802.11 WLAN ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมากขึ้นเรื่อยๆ และมีแนวโน้มว่าในอนาคตอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ต่างๆ จะมีอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ติดตั้งจากโรงงานหรือ Built-in มาด้วย

แต่อย่างไรก็ตาม ความง่ายและสะดวกต่อการติดตั้งและใช้งานของอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ก็นำมาซึ่งความไม่ปลอดภัยของเครือข่ายด้วยเช่นกัน อีกทั้งเทคโนโลยี IEEE 802.11 WLAN อยู่ในช่วงเริ่มต้นเท่านั้น (ยังไม่ถึงจุดสมบูรณ์และอิ่มตัว) ทำให้ยังมีช่องโหว่ด้านความปลอดภัยอีกมาก ดังนั้นผู้ที่เลือกใช้ IEEE 802.11 WLAN ควรมีความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีและตระหนักถึงช่องโหว่ต่างๆ รวมถึงการรักษาความปลอดภัยอย่างเหมาะสม

2.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมาตรฐาน IEEE 802.11

มาตรฐาน IEEE 802.11 ซึ่งได้รับการตีพิมพ์ครั้งแรกเมื่อปีพ.ศ. 2540 โดย IEEE (The Institute of Electronics and Electrical Engineers) และเป็นเทคโนโลยีสำหรับ WLAN ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด คือข้อกำหนด (Specification) สำหรับอุปกรณ์ WLAN ในส่วนของ Physical (PHY) Layer และ Media Access Control (MAC) Layer โดยในส่วนของ PHY Layer มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดให้อุปกรณ์มี

ความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1, 2, 5.5, 11 และ 54 Mbps โดยมีสื่อ 3 ประเภทให้เลือกใช้ ได้แก่ คลื่นวิทยุที่ความถี่สาธารณะ 2.4 และ 5 GHz และ อินฟราเรด (Infrared) (1 และ 2 Mbps เท่านั้น) สำหรับในส่วนของ MAC Layer มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดให้มีกลไกการทำงานที่เรียกว่า CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับหลักการ CSMA/CD (Collision Detection) ของมาตรฐาน IEEE 802.3 Ethernet ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปในเครือข่าย LAN แบบใช้สายนำสัญญาณ นอกจากนี้ในมาตรฐาน IEEE 802.11 ยังกำหนดให้มีทางเลือกสำหรับสร้างความปลอดภัยให้กับเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN โดยกลไกการเข้ารหัสข้อมูล (Encryption) และการตรวจสอบผู้ใช้ (Authentication) ที่มีชื่อเรียกว่า WEP (Wired Equivalent Privacy) ด้วย

2.2.2 วิวัฒนาการของมาตรฐาน IEEE 802.11

มาตรฐานหลักของระบบเครือข่ายไร้สายและอุปกรณ์เครือข่ายไร้สาย คือ มาตรฐาน IEEE 802.11 เป็นมาตรฐานระบบเครือข่ายไร้สายที่ถูกกำหนดขึ้นโดย Institute of Electrical and Electronic Engineers ซึ่งเป็นองค์กรกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับการสื่อสารของอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ โดยในส่วนของมาตรฐาน IEEE 802.XX นั้น จะเป็นเรื่องเกี่ยวกับการสื่อสารผ่านเครือข่าย เช่น IEEE 802.3 ก็คือมาตรฐานของเครือข่ายแบบ Ethernet โดย ในส่วนย่อย IEEE 802.11 ก็จะเป็นการสื่อสารกับเครือข่าย แต่เป็นแบบไร้สายนั่นเอง

มาตรฐาน IEEE 802.11 นั้นเริ่มประกาศใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1997 มาตรฐานที่เกิดขึ้นนี้ยังมีข้อจำกัดในด้านเทคโนโลยี ซึ่งกำหนดระบบการส่งสัญญาณด้วยความเร็ว 2 Mbps และได้มีการพัฒนาเรื่อยมา โดยมีส่วนย่อยอยู่ด้วยกันถึง 9 ส่วน คือ a, b, c, d, e, f, g, h และ i โดยแต่ละชนิดนั้นก็จะมีลักษณะหรือมาตรฐานของรายละเอียดต่างกันไป ซึ่งหลังจาก 9 กลุ่มย่อยนี้ พัฒนามาตรฐาน IEEE 802.11 ในด้านต่างๆ จนเสร็จสิ้นแล้ว จึงได้มีการนำเอามาตรฐานที่พัฒนาเสร็จแล้วมานำเสนอและผลิตออกเป็นผลิตภัณฑ์ออกวางจำหน่าย โดยผลิตภัณฑ์แรกที่ถูกวางจำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาโดยกลุ่มย่อย b จึงทำให้เกิดมาตรฐาน IEEE 802.11b ในปี ค.ศ. 1999 ย่านความถี่ที่เริ่มใช้ เบื้องต้น คือ 2.4 GHz โดยมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงสุดอยู่ที่ 11 Mbps ได้วางตลาดก่อน ผลิตภัณฑ์กลุ่มอื่น จึงเป็นกลุ่มที่มาตรฐานได้รับการยอมรับ และเป็นที่รู้จักมากที่สุดในช่วงนี้ จากนั้นจึงตามด้วยกลุ่ม a ที่ออกความถี่สูงสุดถึง 5 GHz และมีความเร็วสูงสุดถึง 54 Mbps ในเรื่องนี้ไม่เกี่ยวกับว่า a จะเก่ากว่า b และ c จะออกมาใหม่ในอนาคตตามตัวอักษร แต่จะขึ้นอยู่กับว่ามาตรฐานของกลุ่มใดทำเสร็จก่อนก็จะออกเปิดตัวก่อน โดยไม่เรียงลำดับตามตัวอักษรโดยคณะทำงานกลุ่มที่มีผลงานที่น่าสนใจและเป็นที่รู้จักกันดีได้แก่ IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11e, IEEE 802.11g, และ IEEE 802.11i

- **IEEE 802.11b**

มาตรฐาน IEEE 802.11b ซึ่งเป็นมาตรฐานระบบเครือข่ายไร้สายที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดในโลก เพราะมีการเปิดตัวก่อนมาตรฐานอื่นและมีผลิตภัณฑ์ออกวางจำหน่ายแล้วมากและแพร่หลายที่สุด มาตรฐาน IEEE 802.11b นั้นล่าสุดได้รับการตั้งชื่อใหม่ว่า Wi-Fi โดยได้รับการรับรองมาตรฐานและกำหนดรายละเอียดโดยกลุ่ม WECA หรือ wireless Ethernet Compatibility Alliance ที่ประกอบด้วยสมาชิกจากผู้ผลิตในอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ชื่อดังอย่าง 3 com, Cisco Systems, Intersil, Agere Systems, Nokia และ Symbol Technologies ซึ่งปัจจุบันก็ยังมีสมาชิกจากบริษัทต่างๆ อีกกว่า 110 บริษัทเข้าร่วมอยู่ในมาตรฐานนี้

สำหรับรายละเอียดด้านคุณสมบัติของ IEEE 802.11b จะสามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 11 Mbps โดยใช้ความถี่คลื่นวิทยุที่ 2.4 GHz ใช้เทคนิคการส่งสัญญาณแบบ DSSS โดยย่านความถี่ที่ใช้เป็น ISM (Industrial, Scientific and Medical) band จากระดับความเร็วที่ค่อนข้างต่ำ คือทำได้เพียง 11 Mbps เท่านั้น เมื่อเทียบกับระบบ LAN แบบมีสาย ที่มาตรฐานปัจจุบัน อยู่ที่ระดับ 100 Mbps และล่าสุดมาตรฐานความเร็ว 1 Gbps กำลังเป็นที่ยอมรับและนิยมใช้งานมากขึ้นเรื่อยๆ ก็จะทำให้เห็นว่า IEEE 802.11b นั้นค่อนข้างช้ากว่ามากไม่เพียงเท่านั้น คลื่นความถี่วิทยุที่ 2.4 GHz ที่ IEEE 802.11b ใช้อยู่นั้นยังมีอุปกรณ์อื่นๆ ร่วมใช้งานอยู่ด้วยหลายชนิด เช่น เตาไมโครเวฟ หรือ โทรศัพท์มือถือ ซึ่งหากมีอุปกรณ์เหล่านี้ทำงานอยู่ใกล้ๆ กับเครือข่าย IEEE 802.11b ก็จะทำให้ความเร็วในการรับส่งข้อมูลช้าลง แต่จุดเด่นก็คือการใช้ความถี่คลื่นวิทยุที่ค่อนข้างต่ำ เพียง 2.4 GHz นั้นทำให้ IEEE 802.11b มีระยะทางในการติดต่อระหว่างอุปกรณ์ค่อนข้างไกล ทำให้ชุดเครือข่ายไร้สายแบบ IEEE 802.11b ไม่จำเป็นต้องมีจุดรับส่งสัญญาณ หรือที่เรียกกันว่า Access Point หรือ Hot Spot มากนัก ซึ่งช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายได้ดี

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงอัตราการส่งข้อมูลเฉพาะ ของ IEEE 802.11b

Data Rate (Mbps) อัตราการส่งข้อมูล	Code Length ความยาวของรหัส	Modulation ชนิดของ การมอดูเลต	Symbol Rate (Mbps) อัตรา Symbol	Bits/Symbol
1	11 (Barker sequence) ลำดับของบาร์เกอร์	BPSK	1	1
2	11 (Barker sequence) ลำดับของ บาร์เกอร์	QPSK	1	2
5.5	8(CCK)	QPSK	1.375	4
11	8(CCK)	QPSK	1.375	8

- **IEEE 802.11a**

มาตรฐาน IEEE 802.11a นั้นเกิดขึ้นหลังการวางตลาดของมาตรฐาน IEEE 802.11b โดยผลิตภัณฑ์ IEEE 802.11a มีจุดเด่นที่เหนือกว่า IEEE 802.11b ตรงที่ความเร็วในการรับส่งข้อมูลนั้นจะเร็วกว่า คือ ทำได้สูง สุดถึง 54 Mbps และเร็วกว่า IEEE 802.11b ในทุกระยะทาง (ความเร็วของเครือข่ายไร้สายทุกมาตรฐานจะลดลง เมื่อระยะทางมากขึ้น) โดยมีความถี่คลื่นวิทยุอยู่ที่ 5 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่วิทยุ ของ Unlicensed National Information Infrastructure (U-NII) band มีความกว้างของความถี่ทั้งหมด 300 MHz โดยแบ่งเป็น 3 ระดับ ระดับละ 100 MHz คือ ต่ำ, ปานกลาง และสูง ซึ่งแต่ละระดับมีระดับมีการสามารถใช้งานและกำลังส่งแตกต่างกัน

- ย่านความถี่ระดับต่ำ (low band) ย่านความถี่ที่ทำงานจาก 5.15 ถึง 5.25 GHz กำลังส่งสูงสุด เท่ากับ 50 mW
- ย่านความถี่ระดับปานกลาง (middle band) ย่านความถี่ที่ทำงานจาก 5.25 ถึง 5.35 GHz ด้วยกำลังส่งสูงสุด เท่ากับ 250 mW
- ย่านความถี่ระดับสูง (high band) ย่านความถี่ที่ทำงานจาก 5.725 ถึง 5.825 GHz ด้วยกำลังส่งสูงสุด เท่ากับ 1000 mW

โดยกำลังส่งที่สูงของเครื่องรับ-ส่งสัญญาณของระบบเครือข่ายไร้สายและช่วงความถี่ 5.8 GHz จะทำให้สามารถส่งสัญญาณติดต่อกัน ระหว่างอาคารหนึ่งกับอีกอาคารหนึ่งได้ ส่วนการใช้งานภายในอาคารจะใช้งานในย่านความถี่ระดับปานกลางและต่ำ ซึ่งในอเมริกาสามารถใช้งานได้ทั้ง 3 ย่านความถี่ แต่ปัญหาเรื่องของกฎหมาย เกี่ยวกับคลื่นความถี่ระดับ 5 GHz ที่ในแถบยุโรปและประเทศญี่ปุ่นมีข้อกำหนด คลื่นข้างเกรงครัด คือ ในยุโรป กำลังทำข้อตกลงร่วมกันระหว่าง IEEE และ European Telecommunications Standards Institute (ETSI) ส่วนในประเทศญี่ปุ่นอนุญาตให้ใช้ได้เฉพาะย่านความถี่ต่ำเท่านั้น

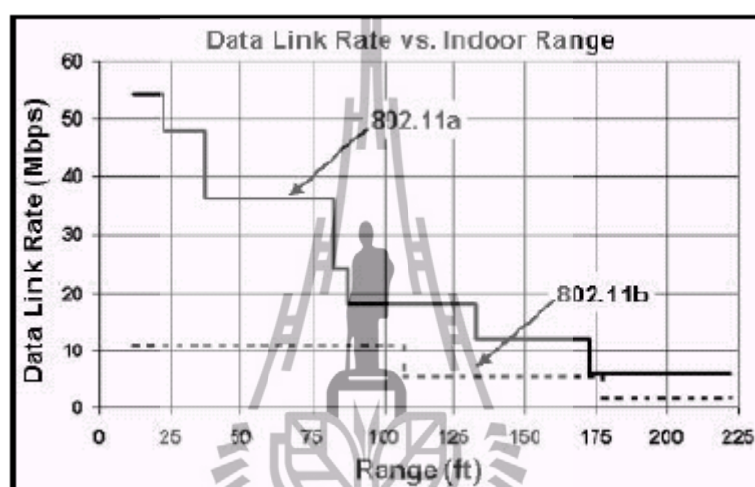
ดังนั้นการใช้งานในย่านความถี่ปานกลางและต่ำ จึงมีความกว้างของสัญญาณรวมกันเท่ากับ 200 MHz สามารถส่งข้อมูลได้ด้วยอัตราเร็วสูงสุดถึง 54 Mbps ได้สำเร็จ โดยใช้หลักการ ส่งสัญญาณความถี่ย่อย โดยอัตราเร็วต่ำๆ พร้อมๆกัน เมื่อนำทั้งหมดมารวมกัน ก็จะสามารถสร้างช่องสัญญาณที่มีอัตราเร็วสูงขึ้นได้ตามที่ได้รับ อนุญาตให้ใช้ช่วงความถี่ดังกล่าว สามารถแบ่งการใช้งานได้ ถึง 8 ช่องสัญญาณโดยไม่ทับซ้อนกัน แต่ละช่อง สัญญาณมีความกว้าง เท่ากับ 20 MHz ใช้การมอดูเลชันแบบ OFDM (Orthogonal Frequency division Multiplex) ในการส่งสัญญาณ ซึ่งเป็นเทคนิคการส่งสัญญาณแบบแยกส่งเป็นความถี่ย่อยๆ (Narrow-band subcarriers) และมีความเป็นอิสระต่อกัน แต่ละความถี่ย่อยจะมีความกว้างเท่ากับ 300 KHz จำนวน 52 ช่องสัญญาณความถี่ย่อย สัญญาณความถี่ย่อยจะทำการรับและส่งข้อมูลโดยส่งไปแบบขนาน ด้านรับสัญญาณจะได้ รับข้อมูลทั้งหมดพร้อมกัน ซึ่งนั่นก็หมายความว่าข้อมูลที่ส่งจะมีขนาดใหญ่ และต้องการความต่อเนื่องในการส่งสัญญาณ เพราะฉะนั้นเพื่อป้องกันการสูญหายของข้อมูล (data loss feature)

จึงเพิ่ม Forward Error Correction (FEC) เข้าไปใน 802.11a ด้วย ซึ่งจะมีเฉพาะใน 802.11a เท่านั้น (ไม่พบใน 802.11b)

อัตราการส่งข้อมูลและระยะทางในการส่งข้อมูล

มาตรฐาน 802.11 a รองรับอัตราความเร็วของการส่งข้อมูล เท่ากับ 6 , 9,12, 18, 24, 36, 48 และ 54 Mbps อัตราความเร็วจะลดลงเองอย่างอัตโนมัติขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่าง Access point กับ เครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย โดยที่ความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps นั้นใช้การมอดูเลชั่นสัญญาณความถี่ย่อยแบบ 64-level Quadrature Amplitude Modulation (64 QAM)

คล้ายกันกับ 802.11 b ที่เครื่องลูกข่ายมาตรฐาน 802.11 a จะมีอัตราเร็วลดลงเหมือนระยะทางจาก Access Point มากขึ้น แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันแล้ว 802.11a ยังมีความเร็วที่เหนือกว่าในทุกะยะทาง



รูปที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบอัตราเร็วกับระยะทางระหว่าง มาตรฐาน 802.11a และ 802.11b

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงอัตราความเร็วการส่งข้อมูลจำเพาะของ IEEE 802.11a

Data Rate(Mbps) อัตราการส่งข้อมูล	Code Rate (R) อัตราส่วนการเข้ารหัส	Modulation ชนิดของการมอดูเลชั่น	Code bits per subcarrier (N _{spc}) จำนวนบิตรหัสของ subcarrier	Code bits per OFDM symbol (N _{csfs}) จำนวนบิตของรหัสต่อ OFDM Symbol	Data bits per OFDM symbol (N _{data}) จำนวนบิตของข้อมูลต่อ OFDM symbol
6	1/2	BPSK	1	48	24
9	3/4	BPSK	1	48	36
12	1/2	QPSK	2	96	48
18	3/4	QPSK	2	96	72
24	1/2	16-QAM	4	192	96
36	3/4	16-QAM	4	192	144
48	2/3	16-QAM	6	288	192
54	3/4	16-QAM	6	288	216

- **IEEE 802.11g**

คณะกรรมการชุด IEEE 802.11g ได้ให้นำเทคโนโลยี OFDM มาประยุกต์ใช้ในช่องสัญญาณวิทยุความถี่ 2.4 GHz ซึ่งอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps ส่วนรหัสมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN จะอยู่ระหว่างรหัสมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11a และ IEEE 802.11b เนื่องจากความถี่ 2.4 GHz เป็นย่านความถี่สาธารณะสากล อีกทั้งอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ IEEE 802.11b WLAN ได้ (backward-compatible) ดังนั้นจึงมีแนวโน้มสูงกว่าอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN จะได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายหากมีราคาไม่แพงจนเกินไปและน่าจะมาแทนที่ IEEE 802.11b ในที่สุด ตามแผนการแล้วมาตรฐาน IEEE 802.11g จะได้รับการตีพิมพ์ประมาณช่วงกลางปี พ.ศ. 2546

ตารางที่ 2.4 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของแต่ละมาตรฐานของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

คุณสมบัติ/มาตรฐาน	802.11	802.11b	802.11g	802.11a
ความเร็ว (Mbps)	1-2 / 2-11	11	22 / 54	54
เทคนิคการส่งคลื่น	FHSS, DSSS	DSSS	DSSS, OFDM	OFDM
ย่านความถี่	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	5 GHz
ตัวกลางในการส่งข้อมูล	อากาศ	อากาศ	อากาศ	อากาศ
กลไกการใช้กันตัวกลาง	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA
ระยะทาง (โดยประมาณ) (ม.)	100-150	100-150	100-150	50-100

ตารางที่ 2.5 ตารางแสดงมาตรฐาน IEEE 802.11, 802.11a, 802.11b, 802.11g

Standard Approved	July 1997	September 1999	September 1999	Draft stage.Completion
เริ่มประกาศใช้	กรกฎาคม 2540	กันยายน 2542	กันยายน 2542	Expected in 2002.
Available Bandwidth	83.5MHz	300 MHz	83.5MHz	83.5 MHz
แบนความถี่ที่สามารถใช้ได้				
Unlicensed Frequencies of Operation	2.4-2.4835 GHz DSSS, FHSS	5.15-5.35 GHz, OFDM 5.725-5.825 GHz, OFDM	2.4-2.4835 GHz DSSS	2.4-2.4835 GHz DSSS, OFDM
ช่วงความถี่ที่สามารถใช้ได้				
Number of Non-Overlapping Channels	3 Indoor/Outdoor	4 Indoor (UNII1) 4 Indoor/Outdoor (UNII2) 4 Indoor/Outdoor (UNII3)	3 Indoor/Outdoor	3 Indoor/Outdoor
จำนวนช่องสัญญาณที่ไม่ทับซ้อนกัน				
Data Rate per Channel	1, 2 Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps	1, 2, 5.5, 11 Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps
อัตราการส่งข้อมูลต่อช่อง				
Modulation type	DQPSK	BPSK (6, 9 Mbps)	DQPSK/CCK	OFDM/CCK (6,9,12,18,24,36,48,54)

- **IEEE 802.11e**

คณะกรรมการชุดนี้ได้รับมอบหมายให้ปรับปรุง MAC Layer ของ IEEE 802.11 เพื่อให้สามารถรองรับการใช้งานหลักการ Quality of Service สำหรับ application เกี่ยวกับมัลติมีเดีย (Multimedia) เนื่องจาก IEEE 802.11e เป็นการปรับปรุง MAC Layer ดังนั้นมาตรฐานเพิ่มเติมนี้จึงสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ทุกเวอร์ชันได้ แต่อย่างไรก็ตามการทำงานของคณะกรรมการชุดนี้ยังไม่แล้วเสร็จในขณะนี้ (พฤษภาคม พ.ศ. 2546)

- **IEEE 802.11i**

คณะกรรมการชุดนี้ได้รับมอบหมายให้ปรับปรุง MAC Layer ของ IEEE 802.11 ในด้านความปลอดภัย เนื่องจากเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN มีช่องโหว่อยู่มากโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเข้ารหัสข้อมูล (Encryption) ด้วย key ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง คณะทำงานชุด IEEE 802.11i จะนำเอาเทคนิคขั้นสูงมาใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลด้วย key ที่มีการเปลี่ยนค่าอยู่เสมอและการตรวจสอบผู้ใช้ที่มีความปลอดภัยสูง มาตรฐานเพิ่มเติมนี้จึงสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ทุกเวอร์ชันได้ แต่อย่างไรก็ตามการทำงานของคณะกรรมการชุดนี้ยังไม่แล้วเสร็จในขณะนี้ (พฤษภาคม พ.ศ. 2546)

2.2.3 โครงสร้างการทำงานของระบบเครือข่ายไร้สาย

ในระบบเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.11 นั้นจะแบ่งระดับชั้นของเทคโนโลยีออกเป็น 4 ระดับ นั่นคือ PHY (Physical Layer หรือ ชั้นกายภาพ) MAC (Media Access Controller หรือตัวควบคุมการเข้าถึงสื่อ) OS (ระบบปฏิบัติการ) และ Application (แอปพลิเคชัน) โดย PHY หรือชั้นกายภาพนั้นก็คือส่วนของฮาร์ดแวร์ที่

แบ่งมาตรฐานออกเป็น a, b และ g โดยหากเลือกต่างชนิดกันก็ไม่สามารถสื่อสารกันรู้เรื่องเพราะเป็นความถี่ที่ต่าง กันจะติดต่อกับส่งข้อมูลกันไม่ได้ โดยปัจจุบันในส่วนของ PHY นี้มีอยู่ทั้งสิ้น 4 มาตรฐาน คือ a, b, g และ IR (อินฟราเรด)

ส่วนต่อมาคือ MAC นั้น เป็นส่วนของการทำงานเกี่ยวกับระบบรักษาความปลอดภัยของเครือข่าย การจัดการโครงสร้างหรือรูปแบบของข้อมูลการแปลงข้อมูล ซึ่งมาตรฐาน IEEE 802.11 นั้นใช้มาตรฐาน MAC เดียวกันทั้งหมด คือ ได้กำหนดทางเลือกของการเข้ารหัสไว้ก่อนทำการส่งข้อมูล โดยใช้อัลกอริทึมการเข้ารหัสแบบ 40 บิต ซึ่งรู้จักกันในชื่อ RC4 นอกจากนั้นผู้ผลิตบางรายก็ยังเสนอให้มีการตรวจสอบก่อนใช้งานเครือข่ายด้วยวิธีการที่เรียกว่า Wired Equivalent Privacy (WEP) shared-key อันเดียวกันจะใช้ในการตรวจสอบก่อนที่จะทำการเข้ารหัสหรือถอดรหัสข้อมูล ซึ่งจะมีเพียงผู้ใช้งานที่ถูกต้องเท่านั้นจึงจะมี shared-key ที่ถูกต้องในการถอดรหัสข้อมูลออกมาได้ เนื่องด้วยเทคโนโลยีไร้สายถูกคิดค้นขึ้นมาจากหน่วยงานทางทหาร ฉะนั้นเรื่องความปลอดภัยจึง เป็นหัวใจสำคัญอย่างยิ่ง นอกจากเรื่องความน่าเชื่อถือกับเรื่องความปลอดภัยแล้วมาตรฐาน 802.11 ในส่วน MAC นี้ ยังมีโหมดสนับสนุนการจัดการพลังงานอีก 2 รูปแบบ คือ Continuous Aware Mode และ Power Saving Polling Mode โดยโหมดแรกสัญญาณวิทยุจะส่งอยู่ตลอดเวลาและทำให้สูญเสียพลังงาน ในขณะที่โหมดต่อมาสัญญาณวิทยุจะอยู่ในสถานะนอนหลับหรือ sleep เพื่อที่จะถนอมพลังงาน

ส่วนของ OS และ Application นั้นก็คือระบบปฏิบัติการภายในเครื่องและแอปพลิเคชันควบคุมการสื่อสาร ซึ่งตรงนี้ก็ใช้งานเหมือนอย่างที่ใช้กันอยู่กับเครือข่ายแบบมีสายในปัจจุบัน

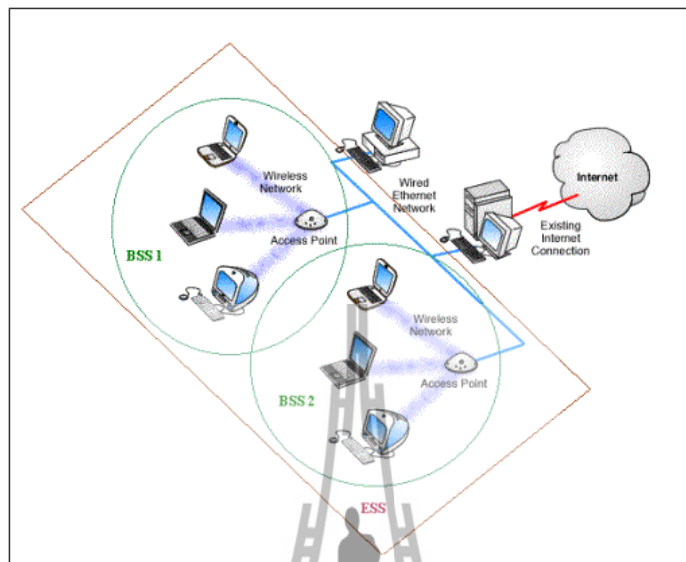
2.2.4 ลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN

มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ภายในเครือข่าย WLAN ไว้ 2 ลักษณะคือ โหมด Infrastructure และ โหมด Ad-Hoc หรือ Peer-to-Peer

2.2.4.1 โหมด Infrastructure

โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ในเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN จะเชื่อมต่อกันในลักษณะของโหมด Infrastructure ซึ่งเป็นโหมดที่อนุญาตให้อุปกรณ์ภายใน WLAN สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่นได้ ในโหมด Infrastructure นี้เครือข่าย IEEE 802.11 WLAN จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 2 ประเภทได้แก่ สถานีผู้ใช้ (Client Station) ซึ่งก็คืออุปกรณ์คอมพิวเตอร์ (Desktop, Laptop, หรือ PDA ต่างๆ) ที่มีอุปกรณ์ Client Adapter เพื่อใช้รับส่งข้อมูลผ่าน IEEE 802.11 WLAN และสถานีแม่ข่าย (Access Point) ซึ่งทำหน้าที่ต่อเชื่อมสถานีผู้ใช้เข้ากับเครือข่ายอื่น (ซึ่งโดยปกติจะเป็นเครือข่าย IEEE 802.3 Ethernet LAN) การทำงานในโหมด Infrastructure มีพื้นฐานมาจากระบบเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ กล่าวคือสถานีผู้ใช้จะสามารถรับส่ง

ข้อมูลโดยตรงกับสถานีแม่ข่ายที่ให้บริการแก่สถานีผู้ใช้นั้นอยู่เท่านั้น ส่วนสถานีแม่ข่ายจะทำหน้าที่ส่งต่อ (forward) ข้อมูลที่ได้รับจากสถานีผู้ใช้ไปยังจุดหมายปลายทางหรือส่งต่อข้อมูลที่ได้รับจากเครือข่ายอื่นมายัง สถานีผู้ใช้



รูปที่ 2.8 BSS และ ESS

Basic Service Set (BSS)

Basic Service Set (BSS) หมายถึงบริเวณของเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN ที่มีสถานีแม่ข่าย 1 สถานี ซึ่งสถานีผู้ใช้งานภายในขอบเขตของ BSS นี้ทุกสถานีจะต้องสื่อสารข้อมูลผ่านสถานีแม่ข่ายดังกล่าวเท่านั้น

Extended Service Set (ESS)

Extended Service Set (ESS) หมายถึงบริเวณของเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN ที่ประกอบด้วย BSS มากกว่า 1 BSS ซึ่งได้รับการเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน สถานีผู้ใช้งานสามารถเคลื่อนย้ายจาก BSS หนึ่งไปอยู่ในอีก BSS หนึ่งได้โดย BSS เหล่านี้จะทำการ Roaming หรือติดต่อสื่อสารกันเพื่อทำการโอนย้ายการให้บริการสำหรับสถานีผู้ใช้งานดังกล่าว

2.2.4.2 โหมด Ad-Hoc หรือ Peer-to-Peer

เครือข่าย IEEE 802.11 WLAN ในโหมด Ad-Hoc หรือ Peer-to-Peer เป็นเครือข่ายที่ปิดคือไม่มีสถานีแม่ข่ายและไม่มี การเชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่น บริเวณของเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN ในโหมด Ad-Hoc จะถูกเรียกว่า Independent Basic Service Set (IBSS) ซึ่งสถานีผู้ใช้หนึ่งสามารถติดต่อสื่อสารข้อมูลกับสถานีผู้ใช้อื่นๆในเขต IBSS เดียวกันได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านสถานีแม่ข่าย แต่สถานีผู้ใช้จะไม่สามารถรับส่งข้อมูลกับเครือข่ายอื่นๆได้



รูปที่ 2.9 การทำงานในโหมด Adhoc หรือ Peer-to-Peer Mode

การเข้าใช้ช่องสัญญาณด้วยกลไก CSMA/CA

บทบาทหนึ่งของ MAC Layer ในมาตรฐาน IEEE 802.11 คือการจัดสรรการเข้าใช้ช่องสัญญาณซึ่งแต่ละสถานีใน BSS หรือ IBSS จะต้องแบ่งกันใช้ช่องสัญญาณที่ถูกกำหนดมาสำหรับใช้งานร่วมกันอย่างเป็นธรรม มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดให้ใช้กลไก CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) เพื่อจัดสรรการใช้ช่องสัญญาณร่วมกันดังกล่าว

- **CSMA with Random Back-Off**

กลไก CSMA (Carrier Sense Multiple Access) with Random Back-Off เป็นเทคนิคอย่างง่ายสำหรับจัดสรรการเข้าใช้ช่องสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคน (ซึ่งต้องแบ่งกันใช้ช่องสัญญาณร่วมกัน) อย่างยุติธรรม กลไกนี้เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น ในมาตรฐาน IEEE 802.3 Ethernet LAN หลักการทำงานของกลไก CSMA คือ เมื่อสถานีหนึ่งต้องการเข้าใช้ช่องสัญญาณ สถานีดังกล่าวจะต้องตรวจสอบช่องสัญญาณก่อนว่ามีสถานีอื่นทำการรับส่งสัญญาณข้อมูลอยู่หรือไม่และรอจนกว่าช่องสัญญาณจะว่าง เมื่อช่องสัญญาณว่างแล้วสถานีที่ต้องการเข้าใช้ช่องสัญญาณจะต้องรอต่อไปอีกระยะหนึ่ง (Random Back-Off) ซึ่งแต่ละสถานีได้กำหนดระยะเวลาในการรอดังกล่าวไว้แล้วด้วยการสุ่มค่าหลังจากเสร็จการใช้ช่องสัญญาณครั้งก่อน สถานีที่สุ่มได้ค่าระยะเวลาในการรอน้อยกว่าก็จะมีสิทธิในการเข้าใช้ช่องสัญญาณก่อน แต่อย่างไรก็ตามในบางกรณีกลไกดังกล่าวอาจจะกำหนดให้สถานีมากกว่าหนึ่งสถานีส่งข้อมูลในเวลา

พร้อมๆ กันซึ่งจะทำให้เกิดการชนกันของสัญญาณได้ ซึ่งหากเกิดการชนกันของสัญญาณขึ้นจะต้องมีการส่งสัญญาณข้อมูลเดิมซ้ำอีกครั้งด้วยกลไกที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

- **CSMA/CD**

กลไก CSMA/CD (Collision Detection) เป็นเทคนิคที่รู้จักกันดีซึ่งถูกนำมาใช้ในมาตรฐาน IEEE 802.3 Ethernet LAN ซึ่งการทำงานกลไก CSMA/CD โดยหลักแล้วเป็นเช่นเดียวกับที่กล่าวไว้ในส่วนของ CSMA with Random Back-Off แต่จะมีรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับการตรวจสอบว่าเกิดการชนกันของสัญญาณหรือไม่ ในกรณีนี้สถานีที่กำลังทำการส่งสัญญาณข้อมูลอยู่จะต้องคอยตรวจสอบด้วยว่ามีการชนกันของสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่ (ในขณะเดียวกันกับที่ทำการส่งสัญญาณข้อมูล) โดยการตรวจวัดระดับ voltage ของสัญญาณในสายสัญญาณว่ามีค่าสูงกว่าปกติหรือไม่ ซึ่งหากระดับ voltage ของสัญญาณในสายสัญญาณในสายสัญญาณมีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนดแสดงว่าเกิดการชนกันของสัญญาณขึ้น ในกรณีดังกล่าวสถานีที่กำลังส่งสัญญาณข้อมูลอยู่จะต้องยกเลิกการส่งสัญญาณทันทีและปฏิบัติตามกลไกที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเพื่อทำการส่งข้อมูลเดิมซ้ำอีกต่อไป

- **CSMA/CA with Acknowledgement**

เป็นที่ควรสังเกตว่าเทคนิค CSMA/CD ไม่สามารถนำมาใช้กับ WLAN ซึ่งใช้การสื่อสารแบบไร้สายได้ สาเหตุหลักๆ ก็คือการตรวจสอบการชนกันของสัญญาณในระหว่างที่ทำการส่งสัญญาณจะต้องใช้อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุที่เป็น Full Duplex (สามารถรับและส่งสัญญาณในเวลาเดียวกันได้) ซึ่งจะมีราคาแพงกว่าอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุที่ไม่สามารถรับและส่งสัญญาณในเวลาเดียวกัน นอกจากนี้แต่ละสถานีใน BSS หรือ IBSS อาจไม่ได้ยินสัญญาณจากสถานีอื่นทุกสถานีหรือปัญหาที่เรียกว่า Hidden Node Problem (ดังในรูปที่ 3: สถานี A ได้ยินสัญญาณจากสถานีแม่ข่าย (Access Point) แต่ไม่ได้ยินสัญญาณจากสถานี C และในทางกลับกันสถานี C ไม่ได้ยินสัญญาณจากสถานี A แต่ได้ยินสัญญาณจากสถานีแม่ข่าย ซึ่งสถานการณ์ดังกล่าวนี้เป็นสถานการณ์เกิดขึ้นใน WLAN โดยทั่วไป) ดังนั้นการตรวจสอบการชนกันของสัญญาณโดยตรงเป็นไปได้ยากหรือเป็นไปได้เลย มาตรฐาน IEEE 802.11 จึงได้กำหนดให้ใช้เทคนิค CSMA/CA with Acknowledgement สำหรับการจัดสรรการใช้ช่องสัญญาณของแต่ละสถานีเพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้ ซึ่งการทำงานของกลไก CSMA/CA โดยหลักแล้วเป็นเช่นเดียวกับที่กล่าวไว้ในส่วนของ CSMA with Random Back-Off แต่จะมีรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับการหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการชนกันของสัญญาณและเทคนิคสำหรับการตรวจสอบว่าเกิดการชนของสัญญาณหรือไม่แบบเป็นนัย โดยสถานีผู้ส่งสัญญาณข้อมูลจะต้องรอรับ Acknowledgement จากสถานีที่ส่งข้อมูลไปให้ หากไม่ได้รับ Acknowledgement กลับมาภายในเวลาที่กำหนดจะถือว่าเกิดการชนของสัญญาณขึ้นและต้องทำการส่งข้อมูลเดิมซ้ำอีกต่อไป



รูปที่ 2.10 Hidden Node Problem และ กลไก RTS/CTS Handshake

สำหรับการหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการชนกันของสัญญาณนั้น มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้ใช้กลไกที่เรียกว่า Virtual Carrier Sense เพื่อแก้ไขปัญหาที่แต่ละสถานีใน BSS หรือ IBSS อาจไม่ได้ยินสัญญาณจากสถานีอื่นบางสถานี (Hidden Node Problem) กลไกดังกล่าวมีการทำงานดังนี้ เมื่อสถานีที่ต้องการจะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลได้รับสิทธิในการเข้าใช้ช่องสัญญาณแล้วจะทำการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลที่เรียกว่า RTS (Request To Send) เพื่อเป็นการจองช่องสัญญาณ ก่อนที่จะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลจริง ซึ่งแพ็กเก็ต RTS ประกอบไปด้วยระยะเวลาที่คาดว่าจะใช้ช่องสัญญาณจนแล้วเสร็จ (Duration ID) รวมถึง Address ของสถานีผู้ส่งและผู้รับ เมื่อสถานีผู้รับได้ยินสัญญาณ RTS ก็จะตอบรับกลับมาด้วยการส่งสัญญาณ CTS (Clear To Send) ซึ่งจะบ่งบอกข้อมูลระยะเวลาที่คาดว่าจะใช้ช่องสัญญาณจนแล้วเสร็จ หลักการก็คือ ทุกๆสถานีใน BSS หรือ IBSS ควรจะได้ยินสัญญาณ RTS หรือไม่ก็ CTS อย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งสองอย่าง เมื่อได้รับ RTS หรือ CTS ทุกๆสถานีจะทราบถึงว่าช่วงเวลาที่จะบุไว้ใน Duration ID ซึ่งช่องสัญญาณจะถูกใช้และทุกสถานีที่ยังไม่ได้ยินสัญญาณในการเข้าใช้ช่องสัญญาณจะตั้งค่า NAV (Network Allocation Vector) ให้เท่ากับ Duration ID ซึ่งแสดงถึงช่วงเวลาที่ยังไม่สามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณได้ ทุกๆสถานีจะใช้กลไก Virtual Carrier Sense ดังกล่าวผนวกกับการฟังสัญญาณในช่องสัญญาณจริงๆ ในการตรวจสอบว่าช่องสัญญาณว่างอยู่หรือไม่

2.3 ความรู้พื้นฐานเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติ

2.3.1 บทนำ

ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมเกิดจากหลายปัจจัย ส่วนหนึ่งมาจากความสามารถในการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล วิธีการทางสถิติช่วยให้นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรสามารถออกแบบการทดลองที่สามารถรับรองผลได้ เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่น่าเชื่อถือจากข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมหรือจากการทดลอง ความรู้ทางสถิตินอกจากจะจำเป็นสำหรับงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมแล้วยังจำเป็นสำหรับกิจกรรมอื่นๆในสังคมด้วย

ในการทำความเข้าใจเทคนิควิธีทางสถิติ สามารถเริ่มต้นโดยการศึกษาเรื่องต่างๆ ต่อไปนี้

- ความหมายของสถิติ
- ประเภทของสถิติ
- ข้อมูล ตัวแปร และระดับการวัดตัวแปร
- การเลือกใช้สถิติเพื่อวิเคราะห์ข้อมูล

ต่อไปนี้จะได้กล่าวถึงรายละเอียดของแต่ละเรื่อง ดังนี้

2.3.1.1 ความหมายของสถิติ

คำว่า “สถิติ” มาจากศัพท์ภาษาอังกฤษว่า “statistics” ซึ่งมีรากศัพท์มาจากคำว่า “state” ดังนั้นตามความหมายดั้งเดิม สถิติ จึงหมายถึง ข้อมูลหรือข่าวสารที่เป็นประโยชน์ต่อรัฐในด้านต่างๆ เช่น ข้อมูลในการวางแผนกำลังคน การเก็บภาษีอากร การประกันสังคม การจัดการศึกษา และการสาธารณสุข เป็นต้น ต่อมาคำว่า สถิติ มีความหมายกว้างขวางขึ้น ซึ่งในปัจจุบัน สถิติมีความหมายต่างๆ ดังนี้

- สถิติ ในความหมายของ “ข้อมูลสถิติ” หมายถึง ตัวเลขที่ใช้แทนข้อเท็จจริงของสิ่งต่างๆ เช่น สถิติการเข้าชั้นเรียน ปริมาณการขายสินค้า สถิติจำนวนบุคลากรของหน่วยงานต่างๆ เป็นต้น
- สถิติ ในความหมายของ “ระเบียบวิธีการทางสถิติ” หมายถึง ระเบียบวิธีการทางสถิติ ซึ่งประกอบด้วย การเก็บรวบรวมข้อมูล การนำเสนอข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการแปลความหมายข้อมูล ดังนั้นสถิติตามความหมายนี้จึงเป็นเครื่องมือสำคัญของนักวิจัย นักวิชาการ และนักบริหาร
- สถิติ ในความหมายของ “ค่าสถิติ” หมายถึง ค่าตัวเลขที่คำนวณได้จาก ข้อมูล กลุ่มตัวอย่าง (Sample data) เช่น ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เป็นต้น
- สถิติ ในความหมายของ “วิชาสถิติ” หมายถึง วิชาวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งซึ่งมีเนื้อหาและรากฐานมาจากวิชาคณิตศาสตร์ (Mathematics) และตรรกวิทยา (logic) โดยสถิติเป็นศาสตร์ของการตัดสินใจภายใต้สถานการณ์ที่ยังไม่แน่นอน

จากความหมายของสถิติในฐานะที่เป็น “ข้อมูล” กับสถิติในฐานะที่เป็น “วิธีการ” มีข้อแตกต่างกัน ดังนี้ (ศิริชัย กาญจนวาสี.2537 : 38)

ตาราง 2.6 ข้อแตกต่างระหว่างความหมายของสถิติในฐานะทางข้อมูลกับวิธีการ

สถิติในฐานะที่เป็นข้อมูล	สถิติในฐานะที่เป็นวิธีการ
1. เป็นปริมาณ (quantitative)	1. เป็นวิธีการปฏิบัติ (operational)
2. มักอยู่ในรูปข้อมูลดิบ (raw state)	2. ช่วยในกระบวนการจัดกระทำข้อมูลดิบ (processing)
3. เป็นการบรรยาย (descriptive)	3. เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ (tool of analysis)
4. เป็นวัตถุดิบที่ถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการ เมื่อข้อมูลถูกจัดกระทำแล้ว สามารถนำมาช่วย ในการตัดสินใจ	4. เป็นระเบียบวิธีทางวิทยาศาสตร์ของการวิเคราะห์ และตีความหมายข้อมูล
5. ตัวของมันเองไม่ค่อยมีความหมาย ถ้าขาด เครื่องมือในการวิเคราะห์	5. เครื่องมือในการวิเคราะห์จะไร้ความหมาย ถ้าปราศจากข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์
6. ธรรมชาติของข้อมูลจะเป็น ตัวกำหนด วิธีการวิเคราะห์	6. เครื่องมือที่ใช้จะเป็นตัวกำหนดวิธีการ เก็บรวบรวมข้อมูล

2.3.1.2 ประเภทของสถิติ

สถิติสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ สถิติเชิงบรรยาย หรือสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) และสถิติเชิงสรุปอ้างอิง หรือสถิติอนุมาน (Inferential Statistics)

สถิติเชิงบรรยาย เป็นสถิติที่มุ่งบรรยาย หรืออธิบายลักษณะของสิ่งที่ศึกษา ซึ่งอาจเป็นกลุ่มตัวอย่าง หรือประชากรก็ได้ การบรรยายนั้นมุ่งบรรยายภาพรวมของข้อมูลชุดนั้น ผลของการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ไม่สามารถนำไปอ้างอิงใช้กับข้อมูลชุดอื่นๆ ได้ เช่น จากการสำรวจความคิดเห็นของนิสิตคณะรัฐศาสตร์กลุ่มหนึ่งได้ข้อสรุป ข้อสรุปนี้เป็นความคิดเห็นของนิสิตคณะรัฐศาสตร์กลุ่มที่สำรวจเท่านั้น ไม่สามารถนำไปสรุปว่าเป็นความคิดเห็นของนิสิตคนอื่น ๆ ในมหาวิทยาลัยเดียวกัน สถิติเชิงบรรยายประกอบด้วย การแจกแจงความถี่ของข้อมูล การนำเสนอข้อมูลในรูปแบบต่างๆ การจัดตำแหน่งเปรียบเทียบข้อมูล การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง การวัดการกระจายของข้อมูล และการวัด ความสัมพันธ์ของข้อมูล

สถิติเชิงสรุปอ้างอิง เป็นสถิติที่ศึกษาข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างของประชากรที่สนใจ เพื่อให้ได้ค่าสถิติ (Sample statistic) จากนั้นนำค่าสถิติที่ได้อ้างอิงไปยังประชากร เพื่อประมาณค่าประชากรว่าควรเป็นเท่าไร เช่น การศึกษาความคิดเห็นของนายทหารจำนวนหนึ่ง แล้วสรุปเป็นความคิดเห็นของนายทหารทั้งกองทัพ ซึ่งกรณีนี้การทำให้ได้มาซึ่งกลุ่มตัวอย่างนายทหารจำนวนหนึ่งที่มีความเป็นตัวแทนของนายทหารทั้งกองทัพมีความสำคัญมาก ผู้สนใจสามารถศึกษาได้จากเรื่องการสุ่มตัวอย่าง

สถิติเชิงสรุปอ้างอิงแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การประมาณค่า (Estimation) และการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis testing)

2.3.1.3 ข้อมูล ตัวแปร และระดับการวัดตัวแปร

ข้อมูล (Data) ข้อมูล เป็นคำกลางๆ ที่ใช้เรียกข่าวสาร หรือข้อเท็จจริงที่อาจเป็นตัวเลขหรือไม่เป็นตัวเลขก็ได้

- ข้อมูลที่เป็นตัวเลข เช่น อายุ รายได้ อุณหภูมิ น้ำหนัก เป็นต้น ข้อมูลชนิดนี้จะมีหน่วยการวัด
- ข้อมูลที่ไม่เป็นตัวเลข เช่น ความคิดเห็น อาชีพ เพศ คุณภาพของ สินค้า เป็นต้น ข้อมูลชนิดนี้จะไม่ มีหน่วยการวัด

ตัวแปร (Variable) ข้อมูลหรือสิ่งที่เราสนใจศึกษา ซึ่งในการวิจัยเรียกว่าตัวแปรนั้น จะมีค่าแตกต่างกันได้ในกลุ่มที่เราไปศึกษา เช่น เพศของนายทหาร มีทั้งหญิง และชาย ความคิดเห็นอาจมีทั้งเห็นด้วย ไม่เห็นด้วย และไม่เห็นความเห็น เมื่อเราพิจารณาข้อมูลเรื่องใดเรื่องหนึ่ง ข้อมูลแต่ละเรื่องนั้นก็นับได้ว่าเป็นตัวแปรตัวหนึ่ง เช่น ข้อมูลเกี่ยวกับนายทหาร ประกอบด้วย เพศ อายุ ความสูง น้ำหนัก ชันยศ สังกัด เป็นต้น ข้อมูลเกี่ยวกับนายทหารแต่ละเรื่องดังกล่าว เป็นสิ่งที่เปลี่ยนแปลงค่าได้ในหมู่นายทหารแต่ละกลุ่ม ข้อมูลดังกล่าวจัดเป็นตัวแปร โดยเพศแปรได้ 2 ค่า คือ ชาย และหญิง กองทัพแปรได้ 3 ค่า คือ กองทัพบก กองทัพเรือ และกองทัพอากาศ ชั้นปีที่ศึกษาอาจแปรได้ 4 ค่า คือ ชั้นปีที่ 1,2,3 และ 4 หรืออาจกำหนดให้ กองทัพแปรค่าได้เพียง 2 ค่า คือ กองทัพอากาศ และอื่น ตามที่ผู้ศึกษาจะกำหนดขึ้น

ระดับการวัดของข้อมูล ข้อมูลสามารถเก็บรวบรวมได้ทั้งจากแหล่งปฐมภูมิ (Primary source) ซึ่งเป็นแหล่งที่เกิดของข้อมูล และจากแหล่งทุติยภูมิ (Secondary source) ซึ่งเป็นแหล่งที่รวบรวม ข้อมูลเอาไว้ก่อนแล้ว ข้อมูลที่รวบรวมได้มาทั้งที่มีค่าเป็นตัวเลขและไม่เป็นตัวเลข สามารถจำแนกประเภทหรือระดับการวัดได้ 4 ระดับ คือ ระดับกลุ่ม (Nominal scale) ระดับจัดอันดับ (Ordinal scale) ระดับช่วง (Interval scale) และระดับอัตราส่วน (Ratio scale)

- ข้อมูลระดับกลุ่ม เป็นข้อมูลที่บอกความแตกต่างของสิ่งที่วัดเป็นกลุ่มเป็นพวก เช่น เพศ สังกัด หมายเลขโทรศัพท์ เลขประจำตัว ตัวเลขแบบนี้ไม่มีค่ามากนักน้อยแตกต่างกัน จะนำมาเปรียบเทียบกับในเชิงพีชคณิตไม่ได้

- ข้อมูลระดับจัดอันดับหรือเรียงลำดับ เป็นข้อมูลที่ระบุตำแหน่งที่ตั้งเรียงตามลำดับมากหรือน้อย เช่น ยศของทหาร แบ่งได้เป็น นายสิบ นายร้อย นายพัน และนายพล หรือลำดับชั้นของข้าราชการ แบ่งได้เป็น ชีหนึ่ง ชีสอง ถึงชีสิบเอ็ด ตัวแปรประเภทนี้แบ่งเป็นกลุ่มย่อย ๆ ซึ่งสามารถเปรียบเทียบว่ากลุ่มใดสูงกว่ากันได้ แต่ช่วงห่างของแต่ละกลุ่มไม่เท่ากัน จะนำมาเปรียบเทียบในเชิงพีชคณิตไม่ได้
- ข้อมูลระดับช่วงหรือระดับอันตรภาค เป็นข้อมูลที่มีค่าเป็นตัวเลข มีช่วงห่างของข้อมูลกลุ่มย่อยเท่าๆ กัน แต่ยังไม่มีความหมายที่แท้จริง เช่น อุณหภูมิของอากาศแบ่งเป็นกลุ่มย่อย ทั้งที่อุณหภูมิเป็นบวกและลบ คะแนนจากการสอบซึ่งมีค่าต่างๆ ตั้งแต่ 0 ขึ้นไป ข้อมูลระดับนี้สามารถนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างโดยการบวกหรือลบกันได้ แต่ยังเปรียบเทียบเป็นจำนวนเท่าไม่ได้ กล่าวคือ ผู้ที่สอบได้ 100 คะแนน ไม่ได้หมายความว่ามีความรู้เป็น 2 เท่าของผู้ที่สอบได้ 50 คะแนน และผู้ที่สอบได้ 0 คะแนน ก็ไม่ได้หมายความว่าไม่มีความรู้ในเรื่องที่สอบเลย
- ข้อมูลระดับอัตราส่วน เป็นข้อมูลที่มีค่าเป็นตัวเลข มีช่วงห่างของข้อมูลกลุ่มย่อย เท่าๆ กัน และมีศูนย์แท้ เช่น รายได้ ความยาว ความสูง น้ำหนัก ข้อมูลระดับนี้สามารถนำมาบวก ลบ คูณ หาร ในเชิงพีชคณิตได้ เช่น ผู้ที่มีรายได้เดือนละ 3 หมื่นบาท เป็นผู้ที่มีรายได้ 3 เท่าของผู้ที่มีรายได้ 1 หมื่นบาท และ ผู้ที่หนัก 100 กิโลกรัม หนักเป็น 2 เท่าของผู้ที่หนัก 50 กิโลกรัม เป็นต้น

คุณสมบัติของข้อมูลระดับต่าง ๆ สรุปได้ดังตาราง 2.7

ตาราง 2.7 แสดงคุณสมบัติของข้อมูลระดับต่าง ๆ

ระดับการวัด ของข้อมูล	คุณสมบัติ				การจัด กระทำ	ทางพีชคณิต
	จัดกลุ่มได้	เรียงลำดับ ได้	ช่วง เท่ากัน	มี ศูนย์แท้	บวก/ลบ	คูณ/หาร
ระดับกลุ่ม	ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ไม่ได้	ไม่ได้
ระดับจัดอันดับ	ใช่	ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ไม่ได้	ไม่ได้
ระดับช่วง	ใช่	ใช่	ใช่	ไม่ใช่	ได้	ไม่ได้
ระดับ อัตราส่วน	ใช่	ใช่	ใช่	ใช่	ได้	ได้

ระดับการวัดของข้อมูลทั้ง 4 ระดับดังกล่าวเรียงลำดับจากการวัดที่หยาบที่สุดถึงละเอียดที่สุดได้ดังนี้ ระดับกลุ่ม ระดับจัดอันดับ ระดับช่วง และระดับอัตราส่วน ข้อมูลจากการวัดเรื่องหนึ่งๆ อาจจำแนกระดับการวัดได้หลายระดับ ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้จำแนกประเภท เช่น ผลการสอบอาจจะระบุในลักษณะต่างๆ ดังนี้

ถ้าระบุว่า สอบ ผ่าน ไม่ผ่านวิชาสถิติ	เป็นการวัดระดับกลุ่ม
ถ้าระบุว่า สอบ ได้ที่ 1 2 3	เป็นการวัดระดับจัดอันดับ
ถ้าระบุว่า สอบได้ 50 75 89 คะแนน	เป็นการวัดระดับช่วง

2.3.1.4 การเลือกใช้สถิติเพื่อวิเคราะห์ข้อมูล

โดยทั่วไปการวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้ ก็เพื่อจะตอบคำถามหรือวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ซึ่งอาจจำแนกได้ 2 ลักษณะใหญ่ๆ ได้แก่ เพื่อบรรยายลักษณะของข้อมูล หรืออธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูล และเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูล การเลือกใช้สถิติให้เหมาะสม นอกจากจะพิจารณาวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว ต้องพิจารณาว่าข้อมูลหรือตัวแปรมีกี่ตัว และตัวแปรวัดในระดับใด เนื่องจากสถิติที่ใช้วิเคราะห์จะแตกต่างกันไป

➤ . สถิติสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลกรณีมีตัวแปรเดียว

กรณีตัวแปรมีตัวเดียว การบรรยายลักษณะของข้อมูล มุ่งบรรยายข้อมูลในประเด็นการแจกแจงความถี่ การวัด แนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง การวัดการกระจาย การวัดความเบ้ และการวัดความโค้ง

➤ สถิติที่ใช้บรรยายลักษณะของตัวแปรระดับกลุ่ม ได้แก่

- การแจกแจงความถี่ สถิติที่เหมาะสมคือ ความถี่ของข้อมูลแต่ละกลุ่มในรูปจำนวน (Frequency) และร้อยละ (Percent)
- การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง สถิติที่เหมาะสม คือ รูดนิยม (Mode)
- การวัดการกระจาย สถิติที่เหมาะสม คือ ความถี่สัมพัทธ์ของข้อมูลที่มีความถี่สูงสุด

➤ สถิติที่ใช้บรรยายลักษณะตัวแปรระดับจัดอันดับ ได้แก่

- การแจกแจงความถี่ สถิติที่เหมาะสม คือ ความถี่ของข้อมูลแต่ละกลุ่มในรูปจำนวน และร้อยละ
- การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง สถิติที่เหมาะสม คือ มัชฐาน (Median)
- การวัดการกระจาย สถิติที่เหมาะสม คือ ส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ (Quartile Deviation)

➤ สถิติที่ใช้บรรยายลักษณะตัวแปรระดับช่วง หรือสูงกว่า ได้แก่

- การแจกแจงความถี่ สถิติที่เหมาะสม คือ ความถี่ของข้อมูลแต่ละช่วงในรูปของจำนวน ร้อยละ และเปอร์เซ็นต์ไทล์ (Percentile) เดไซล์ (Decide) และควอไทล์ (Quartile)

- การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง สถิติที่เหมาะสม คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตหรือมัธยฐานเลขคณิต (Arithmetic Mean) หรือมัธยฐาน
- การกระจาย สถิติที่เหมาะสมคือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และพิสัย (Range)
- ความเบ้ สถิติที่ใช้วัด คือ ค่าความเบ้ (Skewedness)
- ความโด่ง สถิติที่ใช้วัด คือ ค่าความโด่ง (Kurtosis)

การเลือกใช้สถิติเพื่อบรรยายข้อมูลกรณีมีข้อมูลหรือตัวแปรตัวเดียวต้องพิจารณาระดับของข้อมูล และประเด็นที่ต้องการบรรยาย ซึ่งสรุปได้ดังตาราง 2.8

ตาราง 2.8 แสดงสถิติที่เหมาะสมในการบรรยายข้อมูลที่มีตัวแปรเดียว

ระดับของ ตัวแปร	สถิติที่เหมาะสม			
	การแจกแจง ความถี่	การวัดแนวโน้ม เข้าสู่ส่วนกลาง	การวัดการกระจาย	รูปร่าง การกระจายตัว
ระดับกลุ่ม	จำนวน ร้อยละ	ฐานนิยม	ความถี่สัมพัทธ์	ไม่มี
ระดับจัด อันดับ	จำนวน ร้อยละ	มัธยฐาน	ส่วนเบี่ยงเบน ควอไทล์	ไม่มี
ระดับช่วง หรือ สูงกว่า	เปอร์เซ็นต์ไทล์	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต มัธยฐาน	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน พิสัย	ความเบ้ ความโด่ง

สำหรับกรณีที่มีข้อมูลหรือตัวแปรตัวเดียว ไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูล หรือ เปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลได้

➤ สถิติสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลกรณีตัวแปรสองตัว

ในกรณีที่มีข้อมูลหรือตัวแปรสองตัว วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ข้อมูลจำแนกได้ 2 ลักษณะ คือ เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร และเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตัวแปร สิ่งที่ต้องพิจารณาต่อไป คือ ระดับการวัดของตัวแปร ซึ่งกรณีที่มีตัวแปรสองตัว จำแนกกรณีต่างๆ ที่เป็นไปได้ 6 กรณีดังนี้

- กรณีที่ 1 ตัวแปรทั้งสองตัวแปรระดับกลุ่ม
- กรณีที่ 2 ตัวแปรทั้งสองเป็นตัวแปรระดับจัดอันดับ
- กรณีที่ 3 ตัวแปรทั้งสองเป็นตัวแปรระดับช่วงหรือสูงกว่า
- กรณีที่ 4 ตัวแปรตัวหนึ่งเป็นตัวแปรจัดกลุ่ม และอีกตัวแปรหนึ่งเป็นตัวแปรจัดอันดับ
- กรณีที่ 5 ตัวแปรตัวหนึ่งเป็นตัวแปรจัดกลุ่ม และอีกตัวแปรหนึ่งเป็นตัวแปรระดับช่วงหรือสูงกว่า
- กรณีที่ 6 ตัวแปรตัวหนึ่งเป็นตัวแปรจัดอันดับ และอีกตัวแปรหนึ่งเป็นตัวแปรระดับช่วงหรือสูง

กว่า

2.3.4 การใช้สถิติที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ตัวแปร

แต่ละกรณี มีดังนี้

- ตัวแปรทั้งสองเป็นตัวแปรระดับกลุ่ม สถิติที่ใช้วิเคราะห์ เช่น ฟิ (The Phi coefficient) โคครานคิว (Cochran Q) เครมเมอร์ส วี (Cramer's V) สัมประสิทธิ์คอนทินเจนซี (The Contingency coefficient) และไคสแควร์ (Chi-square) เป็นต้น
- ตัวแปรทั้งสองเป็นตัวแปรระดับจัดอันดับ สถิติที่ใช้วิเคราะห์ เช่น ซอมเมอร์ส ดี (Somer's d) สปีร์แมนโร (Spearman's rho) เทา (tau) แกมมา (gamma) และคิมส์ ดี (Kim's d) เป็นต้น
- ตัวแปรทั้งสองตัวแปรระดับช่วง หรือสูงกว่า สถิติที่ใช้วิเคราะห์ เช่น เพียร์สันโปรดักโมเมนต์ (Pearson's Product Moment) บิเซเรียล (Biserial) พอยท์บิเซเรียล (Point Biserial) เทตราคอริก (Tetrachoric) การทดสอบซี (Z-test) และการทดสอบที (t-test) เป็นต้น
- ตัวแปรตัวหนึ่งเป็นตัวแปรจัดกลุ่มและอีกตัวแปรหนึ่งเป็นตัวแปรจัดอันดับ สถิติที่ใช้วิเคราะห์ เช่น การทดสอบของแมน-วิทนี (The Mann-Whitney U Test) ซอมเมอร์ส ดี (Somer's d) การทดสอบมัธยฐาน (Median test) การทดสอบครุสคัล-วอลลิส (Kruskal - Wallis test) เป็นต้น
- ตัวแปรตัวหนึ่งเป็นตัวแปรจัดกลุ่ม และอีกตัวแปรหนึ่งเป็นตัวแปรช่วงหรือสูงกว่า สถิติที่ใช้วิเคราะห์ เช่น อีตาสแควร์ (Eta^2) โอเมกาสแควร์ (Omega^2) เป็นต้น
- ตัวแปรตัวหนึ่งเป็นตัวแปรจัดอันดับ และอีกตัวแปรหนึ่งเป็นตัวแปรช่วงหรือสูงกว่า สถิติที่ใช้วิเคราะห์ เช่น การหาค่าสหสัมพันธ์แบบมัลติซีเรียลของแจนสเปน (Janspen's Coefficient of multiserial correlation)

ในการเลือกใช้สถิตินอกจากพิจารณา วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ข้อมูล จำนวนตัวแปร และระดับการวัดตัวแปรแล้ว ยังต้องพิจารณาเงื่อนไขอื่น ๆ ประกอบด้วย เช่น ลักษณะของตัวแปร (ต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่อง) ประเภทของตัวแปร (ตัวแปรอิสระ หรือตัวแปรตาม) ความสัมพันธ์ของตัวแปร (เป็นเส้นตรง หรือเส้นโค้ง) เป็นต้น นอกจากนี้กรณีที่มีตัวแปรมากกว่าสองตัว วิธีการที่ใช้ก็เพิ่มความซับซ้อนมากขึ้น

2.3.5 แบบจำลองเชิงเส้นทั่วไปและวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

แบบจำลองถดถอยเชิงเส้น (linear regression model) คือ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (dependent variable) Y และตัวแปรอธิบาย (explanatory variable) X รวมทั้งตัวแปรคลาดเคลื่อนหรือตัวแปรรบกวน (error/disturbance term) u นั้นมีลักษณะเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น ถ้าหากเรามีขนาดของตัวอย่างเท่ากับ n กรณีหรือค่าสังเกต (observation) เกี่ยวกับข้อมูลของ Y และ X เราก็จะสามารถจะแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นดังกล่าวได้ดังนี้

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + u_i$$

โดยที่ Y คือ ตัวแปรตาม (dependent variable)

X คือ ตัวแปรอิสระ/ตัวแปรอธิบาย (independent variable)

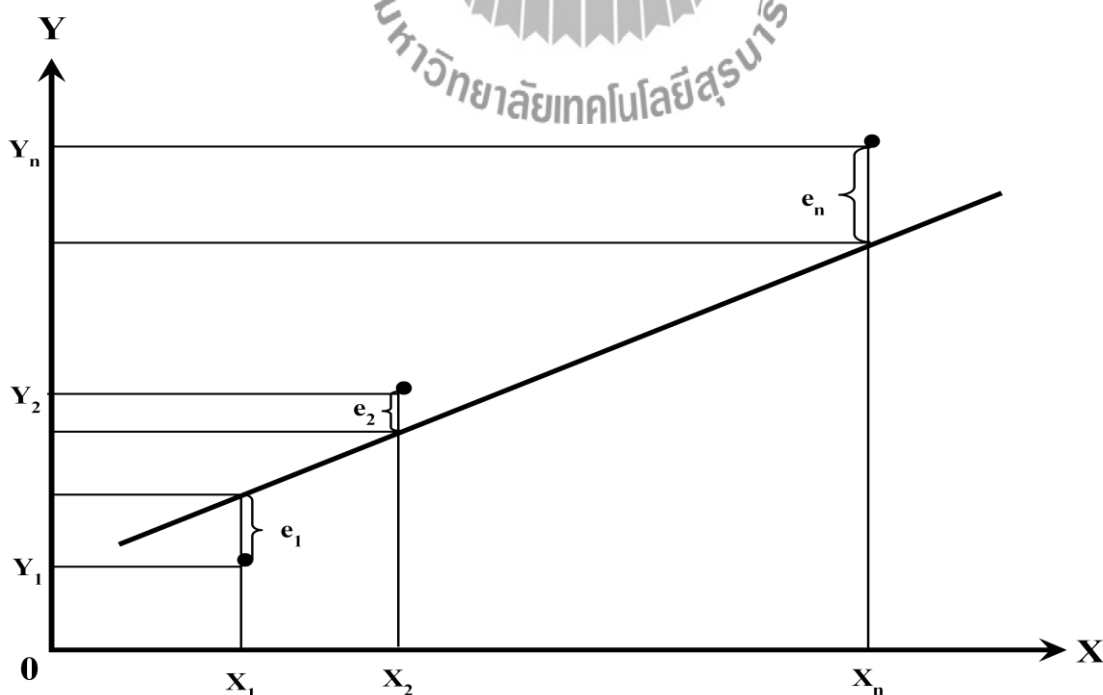
u คือ ตัวคลาดเคลื่อน (error term) [random disturbance term, stochastic term]

α และ β คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย

i คือ ลำดับที่ของค่าสังเกต

การประมาณค่าด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เป็นการประมาณค่าเส้นการถดถอยที่ทำให้ผลบวกของกำลังสองของส่วนที่เบี่ยงเบนไปจากเส้นถดถอย [ค่าคลาดเคลื่อน: Error term] ของค่าสังเกตของตัวแปรมีค่าน้อยที่สุด

$$\hat{Y}_i = \hat{\alpha} + \hat{\beta} X_i + e_i$$



$$e_i = Y_i - \hat{Y}_i$$

หรือ

$$e_i = Y_i - \hat{\alpha} - \hat{\beta}X_i$$

ยกกำลังสอง e_i แล้วบวกกัน n ค่า จะได้ว่า

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{\alpha} - \hat{\beta}X_i)^2$$

ต้องการให้ e_i^2 มีค่าน้อยที่สุด ดังนั้นทำ Partial derivative ของ $\hat{\alpha}$ และ $\hat{\beta}$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sum_{i=1}^n e_i^2}{\partial \hat{\alpha}} &= \frac{\partial \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{\alpha} - \hat{\beta}X_i)^2}{\partial \hat{\alpha}} \\ \therefore \sum Y_i &= \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{\alpha} - \hat{\beta}X_i) = 0 \quad \text{สมการที่ 1} \\ &= n\hat{\alpha} + \hat{\beta} \sum X_i \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sum_{i=1}^n e_i^2}{\partial \hat{\beta}} &= \frac{\partial \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{\alpha} - \hat{\beta}X_i)^2}{\partial \hat{\beta}} \\ &= \sum_{i=1}^n (X_i Y_i - \hat{\beta}X_i^2 - \hat{\alpha}X_i) = 0 \\ \therefore \sum X_i Y_i &= \hat{\alpha} \sum X_i + \hat{\beta} \sum X_i^2 \quad \text{สมการที่ 2} \end{aligned}$$

แก้สมการที่ 1 และสมการที่ 2 จะได้ค่า $\hat{\alpha}$ และ $\hat{\beta}$ ดังนี้

$$\hat{\alpha} = \bar{Y} - \hat{\beta}\bar{X}$$

$$\hat{\beta} = \frac{n\sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{n\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

หรือ

$$\hat{\beta} = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum (X_i - \bar{X})^2} = \frac{\sum X_i Y_i - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum X_i^2 - n\bar{X}^2} = \frac{\text{Cov}(X_i, Y_i)}{\text{Var}(X_i)}$$

2.3.6 สถิติทดสอบเอฟ (F-test Statistic)

เมื่อเราได้ Model ที่ถือว่าดีที่สุดเท่าที่จะหาได้ แต่ก็รู้ว่า Model ดังกล่าวจะใช้ในการ Predict ค่า Y ได้ถูกต้อง เราจำเป็นต้องพิสูจน์ทราบว่า Model ที่ได้นั้นเมื่อนำไป Predict ค่า Y แล้วจะมีความคลาดเคลื่อนมากแค่ไหน หรือก็คือ มี Error ระหว่าง Y และ $\hat{Y}$ มากแค่ไหน

H0: Error ที่เกิดขึ้นที่ (Y) เกือบทั้งหมดมาจากตัวแปรอิสระ

Ha: Error ที่เกิดขึ้นที่ (Y) ส่วนน้อยเท่านั้นที่มาจากตัวแปรอิสระ

หากผลการทดสอบด้วย F-Test พบว่า Accept Ho หรือ F-Statistic ที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่า F-critical ก็ให้ถือว่า Model นั้นมีความผิดพลาดสูง จนไม่อาจยอมรับให้นำไปใช้ต่อไปได้ ก็ถือว่าอย่างอื่นก็ไม่ต้องวิเคราะห์ต่อ ในทางตรงกันข้ามหากผลการทดสอบด้วย F-Test พบว่า Reject Ho หรือ F-Statistic ที่ได้มีค่ามากกว่าค่า F-critical ก็ให้ถือว่า Model นั้น เมื่อนำไป Predict ค่า Y แล้วมีความผิดพลาดน้อยสามารถยอมรับได้ จึงเป็นเหตุให้ Regression analysis ต้องมี ANOVA (การวิเคราะห์ความแปรปรวน แหล่งที่มา <http://www.statistics.ob.tc/reg1.htm>) เพราะใน ANOVA มี F-Test อยู่นั่นเอง

วิธีสูตรสำหรับ - ONE ANOVA F – Test สถิติ คือ

หรือ

$$F = \frac{\text{explained variance}}{\text{unexplained variance}},$$

$$F = \frac{\text{between-group variability}}{\text{within-group variability}}.$$

"ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม" คือ

$$\sum_i n_i (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2 / (K - 1)$$

$\bar{Y}_i$ หมายถึง กลุ่มตัวอย่างค่าเฉลี่ย

n หมายถึง จำนวนของค่าสังเกต

$\bar{Y}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

"ความแปรปรวนภายในกลุ่ม" คือ

$$\sum_{ij} (Y_{ij} - \bar{Y}_{i.})^2 / (N - K),$$

Y_{ij} หมายถึง j^{th} ค่าสังเกตการณ์

K หมายถึง กลุ่ม

N หมายถึง ขนาดของตัวอย่างโดยรวม

2.3.7 ค่า Durbin-Watson stat (d)

เป็นค่าสถิติ ที่ใช้ทดสอบปัญหา Autocorrelation ซึ่งจะทดสอบว่าตัวแปร (ε) มีการกระจาย เป็นอิสระ ตามข้อสมมติหรือไม่ ถ้ามีการกระจายไม่เป็นอิสระ ค่า d จะไม่แตกต่างจาก 2 มาก โดยค่าสถิติ d หรือ d statistic สร้างขึ้นจากนิยามของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนโดยใช้ e_i หรือค่าประมาณ การของค่าความคลาดเคลื่อน (ε_i) ดังนี้

$$e_i = \hat{\rho} e_{i-1} + u_i$$

ค่า $\hat{\rho}$ คือ ค่าตัวประมาณการของ ρ คำนวณได้จาก

$$\hat{\rho} = \frac{\sum_{i=2}^n e_i e_{i-1}}{\sum_{i=2}^n e_{i-1}^2}$$

$$\text{โดยที่ } -1 \leq \hat{\rho} \leq 1$$

การสร้างค่าสถิติ d จะมีสมมติฐานหลัก และสมมติฐานรอง ในการทดสอบดังนี้

$$H_0 : \rho = 0$$

$$H_a : \rho \neq 0$$

ถ้าการทดสอบยอมรับสมมติฐานหลักแสดงว่า ไม่มีความสัมพันธ์ลำดับที่หนึ่งระหว่างค่าความคลาดเคลื่อน จากแบบจำลองถดถอย (no first order autocorrelation) แต่ในกรณีที่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก จะสรุปได้ว่าเกิด ความสัมพันธ์ลำดับที่หนึ่งระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองถดถอย (first order autocorrelation) ซึ่งความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นอาจเป็นได้ทั้งความสัมพันธ์เชิงบวก ($\rho > 0$) และความสัมพันธ์ทางลบ ($\rho < 0$) การสร้างค่าสถิติในการทดสอบ ซึ่งก็คือ ค่าสถิติ d ที่สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$d = \frac{\sum_{i=2}^n [e_i - e_{i-1}]^2}{\sum_{i=2}^n e_i^2}$$

จัดสมการใหม่ จะได้

$$d = \frac{\sum_{i=2}^n [e_i^2 - 2e_i e_{i-1} - e_{i-1}^2]}{\sum_{i=2}^n e_i^2}$$

$$d = \frac{\sum_{i=2}^n e_i^2 - 2 \sum_{i=2}^n e_i e_{i-1} - \sum_{i=2}^n e_{i-1}^2}{\sum_{i=2}^n e_i^2}$$

กำหนดให้จำนวนตัวอย่างมีขนาดใหญ่ หรือ n เข้าใกล้อนันต์ ($n \rightarrow \infty$) ทำให้

$\sum_{i=2}^n e_i^2 = \sum_{i=2}^n e_{i-1}^2 = \sum_{i=2}^n e_i^2$ จากนั้นนำค่าดังกล่าวไปปรับสมการ d ข้างต้นจะได้

$$d = \frac{2 \sum_{i=2}^n e_i^2 - 2 \sum_{i=2}^n e_i e_{i-1}}{\sum_{i=2}^n e_i^2}$$

$$d = 2 \left(1 - \frac{\sum_{i=2}^n e_i e_{i-1}}{\sum_{i=2}^n e_{i-1}^2} \right)$$

$$d = 2 [1 - \rho]$$

แสดงว่าค่า d จะถูกกำหนดความสัมพันธ์ลำดับหนึ่งของค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งผลจากการที่ค่า $\hat{\rho}$ มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 [$-1 \leq \hat{\rho} \leq 1$] ทำให้ค่า d มีค่าระหว่าง 0 ถึง 4 [$0 \leq d \leq 4$] กรณีที่ค่าความคลาดเคลื่อนมีความสัมพันธ์ลำดับหนึ่งในทางลบอย่างสมบูรณ์ [$\hat{\rho} = -1$] ทำให้ d มีค่าเท่ากับ 4 [$4 = d$] ในทางตรงข้ามกรณีที่ค่าความคลาดเคลื่อนมีความสัมพันธ์ลำดับหนึ่งในทางบวกอย่างสมบูรณ์ [$\hat{\rho} = 1$] ทำให้ค่า d มีค่าเท่ากับ 0 [$0 = d$] ส่วนกรณีที่ไมเกิดความสัมพันธ์ลำดับที่หนึ่งระหว่างค่าความคลาดเคลื่อน [$\rho = 0$] ทำให้ค่า d มีค่าเท่ากับ 2 [$2 = d$] ในการตัดสินใจว่าแบบจำลองถดถอยเกิดปัญหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลาดเคลื่อนโดยอาศัยค่า d จะต้อง พิจารณาประกอบกับค่าวิกฤตที่จะได้จากตารางสถิติ d โดยที่ค่าวิกฤตของค่าสถิติ d ที่ได้จากตารางจะประกอบด้วยค่าวิกฤต 2 ค่า คือค่า d_u และค่า d_l

2.3.8 สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination)

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ R^2 เป็นค่าที่อธิบายว่าสมการการถดถอยที่ใช้ประมาณค่ามีความสามารถอธิบายความผันผวน (Variation) ของตัวแปรตามได้มากน้อยเพียงใด หรือตัวแปรอิสระในแบบจำลองอธิบายตัวแปรตามได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งเป็นสัดส่วนของส่วนเบี่ยงเบนของ SSR ต่อ SST มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ดังนี้

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} \quad \text{หรือ} \quad R^2 = \frac{b^2 \sum_{i=1}^n x_i^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2}$$

จัดรูปใหม่โดยแทนค่า $b = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2}$ จะได้

$$R^2 = \left(\frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2][n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \right)^2$$

ความหมายของค่า R^2

- ค่า R^2 เป็น + แสดงว่า x กับ y มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน
- ค่า R^2 เป็น - แสดงว่า x กับ y มีความสัมพันธ์ตรงกันข้าม
- ค่า R^2 เป็น 0 แสดงว่า x กับ y ไม่มีความสัมพันธ์กันเลย
- ค่า $|R^2|$ มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่า x กับ y มีความสัมพันธ์กันมาก
- ค่า $|R^2|$ มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่า x กับ y มีความสัมพันธ์กันน้อย

2.3.9 AIC (Akaike's information criterion)

เป็นตัวชี้วัดความเหมาะสมของการประมาณการแบบจำลองทางสถิติ ซึ่งค่า AIC คือการทดสอบระหว่างโมเดล ในกรณีทั่วไป AIC คือ

$$AIC = 2k - 2\ln(L)$$

k เป็นจำนวนของพารามิเตอร์ในแบบจำลอง

L คือค่าขายใหญ่สุดของความน่าจะเป็น

จากมุมมองของเบย์จากสมการข้างต้น AIC มีความสอดคล้องกันคือ $P(k) \propto \exp(-k)$ เนื่องจากมีจำนวนพารามิเตอร์ k มาก ดังนั้นจึงได้

$$P(k|data) \propto P(data|k)P(k) = \exp(-AIC/2)$$

ส่วนที่เหลือของสมการนี้จะถูกสันนิษฐานว่าเป็นข้อผิดพลาดในรูปแบบปกติและอิสระ ถ้าให้ n เป็นตัวเลขจากการสังเกต จะได้ RSS ดังนี้

$$RSS = \sum_{i=1}^n \hat{\varepsilon}_i^2,$$

สมมติว่าเราไม่ทราบค่าความผิดพลาดของความแปรปรวน การเพิ่มความน่าจะเป็นในการพิจารณาค่าความแปรปรวนจะได้ AIC คือ

$$AIC = 2k + n[\ln(2\pi RSS/n) + 1].$$

จากสมการข้างต้นแยกตัวประกอบ $n \cdot \ln(2\pi)$ ออกจากสมการ ซึ่งเมื่อพิจารณา $n \cdot \ln(2\pi)$ เป็นค่าคงที่ซึ่งไม่มีผลต่อสมการมากนัก เพื่อลดความยุ่งยากของ AIC จะได้

$$AIC = 2k + n[\ln(RSS)] .$$



บทที่ 3

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีการนำเครื่องมือทางด้านเศรษฐมิติมาใช้อย่างกว้างขวาง กอปรกับการพัฒนาโปรแกรมการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐมิติออกมาสนับสนุนมากมายอย่างเช่นโปรแกรม EVIEWS, LIMDEP, SHAZAM, STATA เป็นต้น โปรแกรม LIMDEP เป็นอีกหนึ่งโปรแกรมที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้อย่างกว้างขวางในวงการเศรษฐมิติ โดยเฉพาะการวิเคราะห์ที่เกี่ยวกับแบบจำลอง ที่ตัวแปรตามมีข้อจำกัด ดังในบทนี้จะใช้โปรแกรม LIMDEP ในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย ด้วยวิธีการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุด ดังจะกล่าวต่อไปนี้

3.1 หลักการสร้างแบบจำลอง

จากโครงการเรื่องการวิเคราะห์ผลกระทบของการใช้ช่องความถี่ซ้อนทับกันในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ได้ทำการศึกษาผลกระทบต่างๆ ของการใช้ช่องความถี่ซ้อนทับกันในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายโดยได้ทำการทดสอบวัดสัญญาณที่อาคารเครื่องมือ 4 ชั้น 2 ซึ่งได้นำผลการทดลองมาสร้าง แบบจำลองจากโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูล SPSS โดยทำการเลือกตัวแปร Delay เป็นตัวแปรตามและมีตัวอิสระที่นำเข้าสมการ 3 ตัวแปร คือ %Overlap, Data size, Signal strength

จะได้สมการถดถอยเชิงพหุ
$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + e$$

ค่าประมาณของ Y คือ
$$\hat{Y} = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3$$

จากสมการค่าประมาณของ $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ คือ a, b_1, b_2, b_3 ตามลำดับ

โดยที่ a คือ ระยะตัดแกน Y ซึ่งเมื่อกำหนดให้ $X_1 = X_2 = X_3 = 0$

b_1, b_2, b_3 คือ ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน ซึ่งมีหน่วยเหมือน Y

ตารางที่ 3.1 สรุปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบความถดถอยเชิงพหุ

Overlap <100%	
(-41 dBm) – (-50 dBm)	$Y = (-5.309) + 0.663X_1 + (-0.096)X_2 + 0.028X_3$
(-51 dBm) – (-60 dBm)	$Y = (-16.996) + 0.908X_1 + (-0.265)X_2 + 0.051X_3$
(-61 dBm) – (-70 dBm)	$Y = (-69.496) + 1.903X_1 + (-0.957)X_2 + 0.090X_3$
(-71 dBm) – (-80 dBm)	$Y = (-12.2) + 3.911X_1 + 0.2X_3$
Overlap = 100%	
(-41 dBm) – (-50 dBm)	$Y = (-3.364) + 0.826X_1 + (-0.074)X_2$
(-51 dBm) – (-60 dBm)	$Y = (-207.518) + 3.957X_1 + (-3.47)X_2$

โดยมีการกำหนดตัวแปรโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูล SPSS ดังนี้

Y คือ Delay

X_1 คือ Data size

X_2 คือ Signal strength

X_3 คือ %Overlap

จากการทดลองทั้งหมดจะได้แบบจำลองตามตาราง 3.1 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองมีข้อสังเกตที่น่าสงสัยอยู่หลายข้อและเป็นสาเหตุที่ทำให้เห็นว่าเป็นแบบจำลองที่ยังไม่ดีที่สุด จึงได้ทำการทดลองออกแบบหาแบบจำลองที่ดีที่สุดใหม่ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 ข้อสังเกตแบบจำลอง

จากแบบจำลองอาจเป็นแบบจำลองที่ยังไม่เหมาะสมหรือยังไม่ดีที่สุด โดยได้ทำการตั้งข้อสังเกตหลักๆดังนี้

1. เมื่อต้องการหาค่าที่เป็นรอยต่อจะหาไม่ได้ เช่น เมื่อต้องการที่ความแรง -50.5 dBm จะไม่สามารถหาได้ เพราะไม่รู้จะเลือกจากสมการไหน
2. ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรม SPSS จะไม่แสดงค่า Durbin ซึ่งเป็นค่าที่มีความสำคัญทางด้านการวิเคราะห์มาก และเมื่อนำแต่ละสมการไปวิเคราะห์หาค่า Durbin พบว่าแต่ละสมการมีค่า Durbin ที่น้อยมาก ดังแสดงในตารางภาคผนวก ค่า Durbin ที่น้อยแสดงได้ 2 อย่างคือ สมการยังมีตัวแปรอิสระตัวอื่นที่ขาดหายไปหรืออีกอย่างคือรูปแบบสมการยังเป็นสมการที่ไม่ถูกต้อง
3. การวิเคราะห์ค่าต่างๆ ที่จะใช้เป็นแบบจำลองควรวิเคราะห์ค่าหลายๆ อย่างรวมกันซึ่งโปรแกรม SPSS ยังมีการแสดงค่าต่างๆ ไม่เพียงพอต่อการตัดสินใจเลือกแบบจำลอง

3.1.2 ออกแบบการทดลอง

จากข้อสังเกตได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์ใหม่เพื่อสร้างสมการที่ดีที่สุด โดยได้ทำการออกแบบตัวแปรตามและตัวแปรอิสระใหม่ดังนี้

1. ทำการสร้าง Throughput ซึ่งจะทำการลดตัวแปรลงจากเดิม ซึ่งการลดตัวแปรจะทำให้ค่า Durbin ที่วิเคราะห์ดีขึ้น
2. ทำการสร้างสมการโดยแบ่งเป็น %Overlap ซึ่งจะช่วยให้หาได้ทุกค่าทุกค่าที่ต้องการ
3. จากการลดตัวแปรจะทำให้สมการเป็น $Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$

โดยที่ $Y = \text{throughput}$

$X_1 = \text{ความแรงของสัญญาณ (Signal strength)}$

$X_2 = X_1^2$

จะเห็นว่าสามารถนำไปพล็อตกราฟสามมิติได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์มาก

3.2 การวิเคราะห์หาแบบจำลองที่ดีที่สุด

3.2.1 วิธีการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary Least Square Method)

แนวความคิดของวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุด[เรียกสั้นๆ ว่า OLS] คือ การประมาณค่าเส้นการถดถอยที่สามารถหาได้ โดยการทำให้ผลบวกของกำลังสองของส่วนที่เบี่ยงเบนไปจากเส้นถดถอย [ค่าคลาดเคลื่อน: Error term (ส่วนใหญ่จะแทนด้วยสัญลักษณ์ e/ε)] ของค่าสังเกตของตัวแปรมีค่าน้อยที่สุด วิธีการประมาณค่า OLS เป็นวิธีการประมาณค่าที่สำคัญและมักถูกหยิบยกมาใช้อยู่ในทางเศรษฐมิติวิธีการนี้มีข้อสมมติพื้นฐานที่สำคัญบางประการดังนี้

ข้อสมมติพื้นฐานของวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด

- ก. รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระรวมถึงตัวคลาดเคลื่อนจะต้องเป็นแบบเส้นตรง $[y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i]$
- ข. ตัวแปรอิสระต้องไม่ใช่ตัวแปรสุ่ม กล่าวคือ มีค่าแน่นอน (ตัวแปรอิสระจะต้องเป็น Non – Stochastic Variable)
- ค. ตัวแปรอิสระต้องไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างสมบูรณ์ หรือตัวแปรอิสระไม่ควรมีความสัมพันธ์เชิงเส้นสูงมากเกินไป $[Corr(X_1, X_2) \neq 1]$ [ดูได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficients) ที่ภาคผนวก] หรือไม่ควรมีปัญหา Multicollinearity
- ง. ตัวคลาดเคลื่อน (Error term) จะต้องมีการกระจายแบบปกติ โดยมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และมีค่าความแปรปรวนคงที่ $[\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2), \text{ โดยที่ } E(\varepsilon_i^2) = \sigma^2 \text{ หรือเป็น Homoskedasticity}]$
- จ. ตัวคลาดเคลื่อนจะต้องไม่มีสหสัมพันธ์ระหว่างกัน หรือตัวคลาดเคลื่อนต้องมีการกระจายที่เป็นอิสระแก่กัน $[Cov(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = E(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0 \text{ สำหรับทุกค่าที่ } i \neq j]$ นั่นก็คือไม่มีปัญหา Autocorrelation
- ฉ. ตัวแปรอิสระต้องไม่มีความสัมพันธ์กับตัวคลาดเคลื่อน

3.2.2 รูปแบบสมการถดถอยที่ใช้สร้างแบบจำลอง

ในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรต่างๆ มักมีแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณค่าได้หลายๆ แบบจำลอง ขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูล และทฤษฎี หรือแนวคิด ปกติโดยส่วนใหญ่มักจะใช้แบบจำลอง หรือฟังก์ชันในรูปแบบเส้นตรง (Linear) เนื่องจากเป็นรูปแบบที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจ สำหรับในที่นี้จะนำเสนอรูปแบบฟังก์ชันที่ใช้ในการทดลอง ดังตาราง 3.2

โดยมีการกำหนดตัวแปร โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูล LIMDEP ดังนี้

$Y = \text{throughput}$

$X_1 = \text{ความแรงของสัญญาณ (Signal strength)}$

$X_2 = X_1^2$

ตาราง 3.2 รูปแบบฟังก์ชันที่ใช้ทดลอง

รูปแบบที่	ฟังก์ชัน	สมการ
1	Linear	$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$
2	Linear – Log	$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 \ln X_2$
3	Log – Linear	$\ln Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$
4	Double – Log	$\ln Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 \ln X_2$
5	Linear – Log	$Y = \alpha + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 X_2$
6	Linear – Log	$Y = \alpha + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2$
7	Double – Log	$\ln Y = \alpha + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2$
8	Double – Log	$\ln Y = \alpha + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 X_2$

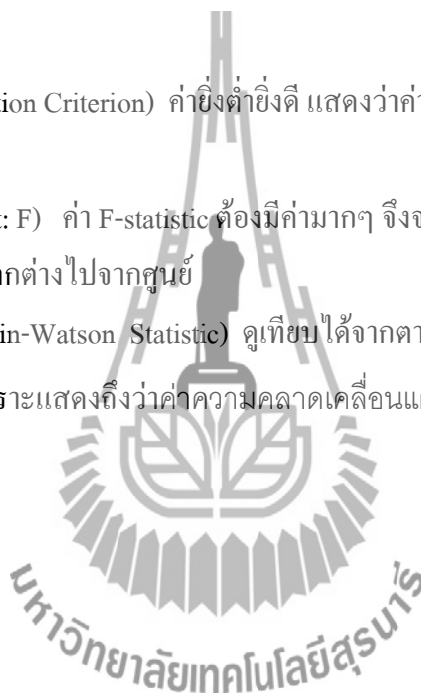
จากการทดลองจะทำการทดลองตั้งแต่รูปแบบที่ 1 ใดดีที่สุด ที่สามารถใช้งานได้จริงตามทฤษฎี

1 ถึง 8 เพื่อจะนำไปทำการวิเคราะห์เลือกว่ารูปแบบ

3.2.3 วิธีการเลือกแบบจำลอง

จากที่กล่าวมาข้างต้นแบบจำลองมีทั้งหมด 4 แบบ เมื่อจำเป็นต้องเลือกแบบจำลอง มีวิธีการพิจารณา โดยเปรียบเทียบค่าสถิติการตัดสินใจของแต่ละแบบจำลองหรือแต่ละฟังก์ชัน ค่าสถิติในการตัดสินใจที่นิยมใช้โดยทั่วไปได้แก่

1. R^2 (R-squared) ค่ายิ่งสูงยิ่งดี เพราะ แสดงว่าตัวแปรอิสระสามารถอธิบายตัวแปรตามได้ดี (แต่ควรใช้ Quasi R^2 ในการเปรียบเทียบ)
2. R (Adjusted R-squared) ควรมีค่าใกล้เคียง R^2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มตัวแปรอิสระไม่ได้ส่งผลต่อ R^2
3. AIC (Akaike's Information Criterion) ค่ายิ่งต่ำยิ่งดี แสดงว่าค่าคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนน้อย
4. F – statistic (Model test: F) ค่า F-statistic ต้องมีค่ามากๆ จึงจะแสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระมีค่าแตกต่างไปจากศูนย์
5. Durbin-Watson (Durbin-Watson Statistic) ดูเทียบได้จากตารางตาราง Durbin-Watson Test ในที่นี้เลือกค่าเข้าใกล้ 2 เพราะแสดงถึงว่าค่าความคลาดเคลื่อนแต่ละค่าเป็นอิสระกัน



3.3 การเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุด

จากการทดลองได้ทำการแสดงแบบจำลองต่างๆ พร้อมด้วย ค่าสถิติในการตัดสินใจที่นิยมใช้ โดยทั่วไป โดยแบ่งได้ตามตาราง 3.3 ดังนี้

ตาราง 3.3 แบบจำลองที่มีค่าสถิติในการตัดสินใจที่

overlap	ความสำคัญ ลำดับที่	แบบจำลอง
0%	1	$\text{Log}(Y) = -3.4034 + (-1.6959)X_1 + (-0.001719)X_2$ $R^2 \text{ (R-squared)} = 0.893021$ $R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.89146$ $\text{AIC (Akaike's Information Criterion)} = -1.093$ $F \text{ test} = 571.81$ $\text{Durbin-Watson} = 2.19012$
	2	$\text{Log}(Y) = -33.3056 + (0.2354)X_1 + (5.8627)\text{Log}(X_2)$ $R^2 \text{ (R-squared)} = 0.889068$ $R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.88745$ $\text{AIC (Akaike's Information Criterion)} = -1.057$ $F \text{ test} = 548.99$ $\text{Durbin-Watson} = 2.16317$
	3	$Y = -1.2335 + (-0.1514)X_1 + (-0.0016)X_2$ $R^2 \text{ (R-squared)} = 0.871841$ $R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.86997$ $\text{AIC (Akaike's Information Criterion)} = -.325$ $F \text{ test} = 465.99$ $\text{Durbin-Watson} = 1.86860$

	4	$Y = -30.9007 + (0.2471)X_1 + (5.8035) \text{Log}(X_2)$ $R^2 \text{ (R-squared)} = 0.871229$ $R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.86935$ $\text{AIC (Akaike's Information Criterion)} = -0.320$ $F \text{ test} = 463.45$ $\text{Durbin-Watson} = 1.85536$
5%	1	$\text{Log}(Y) = -3.4806 + (-0.1633)X_1 + (-0.001641) X_2$ $R^2 \text{ (R-squared)} = 0.799109$ $R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.79618$ $\text{AIC (Akaike's Information Criterion)} = -.512$ $F \text{ test} = 272.48$ $\text{Durbin-Watson} = 1.21670$
	2	$\text{Log}(Y) = -32.2848 + (0.2248)X_1 + (5.6392)\text{Log}(X_2)$ $R^2 \text{ (R-squared)} = 0.797032$ $R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.79407$ $\text{AIC (Akaike's Information Criterion)} = -.502$ $F \text{ test} = 268.99$ $\text{Durbin-Watson} = 1.21696$
	3	$Y = -28.9338 + (0.2206)X_1 + (5.3366)\text{Log}(X_2)$ $R^2 \text{ (R-squared)} = 0.751928$ $R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.74831$ $\text{AIC (Akaike's Information Criterion)} = 0.035$ $F \text{ test} = 207.63$ $\text{Durbin-Watson} = 1.02499$

	4	$Y = -1.5760 + (-0.1432)X_1 + (-0.0015)X_2$ $R^2 \text{ (R-squared)} = 0.750452$ $R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.74681$ $\text{AIC (Akaike's Information Criterion)} = 0.041$ $F \text{ test} = 206.00$ $\text{Durbin-Watson} = 1.03341$
25%	1	$Y = 1.9855 + (0.002009)X_1 + (-0.0002689)X_2$ $R^2 \text{ (R-squared)} = 0.910640$ $R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.90934$ $\text{AIC (Akaike's Information Criterion)} = -1.577$ $F \text{ test} = 698.06$ $\text{Durbin-Watson} = 1.52414$
	2	$Y = -2.7430 + (0.06565)X_1 + (0.9254)\text{Log}(X_2)$ $R^2 \text{ (R-squared)} = 0.910581$ $R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.90928$ $\text{AIC (Akaike's Information Criterion)} = -1.576$ $F \text{ test} = 697.56$ $\text{Durbin-Watson} = 1.52351$
	3	$\text{Log}(Y) = -2.4329 + (-0.1241)X_1 + (-0.0014)X_2$ $R^2 \text{ (R-squared)} = 0.879903$ $R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.87815$ $\text{AIC (Akaike's Information Criterion)} = -.564$ $F \text{ test} = 501.87$ $\text{Durbin-Watson} = 1.19173$

	4	$\text{Log}(Y) = -26.9819 + (0.2101)X_1 + (4.8205)\text{Log}(X_2)$ $R^2 \text{ (R-squared)} = 0.877275$ $R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.87548$ $\text{AIC (Akaike's Information Criterion)} = -0.543$ $F \text{ test} = 489.66$ $\text{Durbin-Watson} = 1.19173$
50%	1	$Y = 2.3838 + (0.01628)X_1 + (-0.0001502)X_2$ $R^2 \text{ (R-squared)} = 0.884450$ $R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.88276$ $\text{AIC (Akaike's Information Criterion)} = -1.292$ $F \text{ test} = 524.32$ $\text{Durbin-Watson} = 1.78530$
	2	$Y = -0.06444 + (0.05077)X_1 + (0.4854)\text{Log}(X_2)$ $R^2 \text{ (R-squared)} = 0.884184$ $R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.88259$ $\text{AIC (Akaike's Information Criterion)} = -1.291$ $F \text{ test} = 523.47$ $\text{Durbin-Watson} = 1.78509$
	3	$\text{Log}(Y) = -2.2294 + (-0.1170)X_1 + (-0.0013)X_2$ $R^2 \text{ (R-squared)} = 0.874862$ $R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.87303$ $\text{AIC (Akaike's Information Criterion)} = -0.494$ $F \text{ test} = 478.89$ $\text{Durbin-Watson} = 1.37055$

	4	$\text{Log}(Y) = -25.6627 + (0.2036)X_1 + (4.6079)\text{Log}(X_2)$ $R^2 \text{ (R-squared)} = 0.871828$ $R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.86996$ $\text{AIC (Akaike's Information Criterion)} = -0.470$ $F \text{ test} = 465.94$ $\text{Durbin-Watson} = 1.38320$
75%	1	$Y = 1.6989 + (-0.003928)X_1 + (-0.0003002)X_2$ $R^2 \text{ (R-squared)} = 0.900683$ $R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.89923$ $\text{AIC (Akaike's Information Criterion)} = -1.590$ $F \text{ test} = 621.21$ $\text{Durbin-Watson} = 1.57415$
	2	$Y = -3.5797 + (0.06711)X_1 + (1.0331)\text{Log}(X_2)$ $R^2 \text{ (R-squared)} = 0.900620$ $R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.89915$ $\text{AIC (Akaike's Information Criterion)} = -1.589$ $F \text{ test} = 620.63$ $\text{Durbin-Watson} = 1.57344$
	3	$\text{Log}(Y) = -2.7001 + (-0.1310)X_1 + (-0.0014)X_2$ $R^2 \text{ (R-squared)} = 0.875313$ $R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.87349$ $\text{AIC (Akaike's Information Criterion)} = -0.532$ $F \text{ test} = 480.88$ $\text{Durbin-Watson} = 1.25107$

	4	$\text{Log}(Y) = -28.1418 + (0.2157)X_1 + (4.997)\text{Log}(X_2)$ $R^2 \text{ (R-squared)} = 0.872288$ $R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.87042$ $\text{AIC (Akaike's Information Criterion)} = -0.508$ $F \text{ test} = 467.86$ $\text{Durbin-Watson} = 1.26544$
100%	1	$Y = -41.7164 + (0.3430)X_1 + (7.6664)\text{Log}(X_2)$ $R^2 \text{ (R-squared)} = 0.757037$ $R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.75047$ $\text{AIC (Akaike's Information Criterion)} = -0.777$ $F \text{ test} = 115.29$ $\text{Durbin-Watson} = 0.86537$
	2	$Y = -4.1707 + (-0.2462)X_1 + (-0.002814)X_2$ $R^2 \text{ (R-squared)} = 0.756950$ $R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.75038$ $\text{AIC (Akaike's Information Criterion)} = -0.777$ $F \text{ test} = 115.23$ $\text{Durbin-Watson} = 0.86668$
	3	$Y = -4.1707 + (-0.2462)X_1 + (-0.2814)X_2$ $R^2 \text{ (R-squared)} = 0.633150$ $R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.62323$ $\text{AIC (Akaike's Information Criterion)} = 0.725$ $F \text{ test} = 63.86$ $\text{Durbin-Watson} = 0.87710$

	4	$\text{Log}(Y) = -109.7747 + (-0.8108)X_1 + (19.2332)\text{Log}(X_2)$ $R^2 \text{ (R-squared)} = 0.630834$ $R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.62086$ $\text{AIC (Akaike's Information Criterion)} = 0.732$ $F \text{ test} = 63.23$ $\text{Durbin-Watson} = 0.88135$
--	---	--

ใน ผลการทดลองทั้งหมดจะเห็นได้ว่า ค่าสถิติในการตัดสินใจของแต่ละแบบทดลอง ซึ่งค่า R^2 (R-squared), R (Adjusted R-squared) และ AIC (Akaike's Information Criterion) จะมีค่าใกล้เคียงกันมาก และเป็นไปตามข้อตกลงในการพิจารณา ซึ่งไม่แตกต่างกัน ในที่นี้จึงเน้นความสำคัญที่ ค่า F - statistic (Model test: F) และ Durbin-Watson (Durbin-Watson Statistic) ซึ่งทั้งสองค่านี้จะต้องมีหลักการเลือกดังที่กล่าวมาข้างต้น เพราะฉะนั้นจากการพิจารณาเลือกแบบจำลองตามหลักเศรษฐมิติ จึงได้ผลดังนี้

ตัวอย่างเช่น ที่ overlap 25% แบบจำลองที่ดีที่สุดคือ

$$Y = 1.9855 + (0.002009)X_1 + (-0.0002689)X_2$$

$$R^2 \text{ (R-squared)} = 0.910640 \text{ (ในการวิเคราะห์แบบจำลองทั้งหมดมีค่าไม่ต่างกัน)}$$

$$R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.90934 \text{ (ค่ามีค่าใกล้เคียง R)}$$

$$\text{AIC (Akaike's Information Criterion)} = -1.577 \text{ (ค่ายิ่งต่ำยิ่งดี ในการวิเคราะห์แบบจำลองทั้งหมดมีค่าไม่ต่างกัน)}$$

$$F \text{ test} = 698.06 \text{ (ค่ามากยิ่งดี ในการวิเคราะห์แบบจำลองทั้งหมดแบบจำลองนี้มีค่ามากที่สุด)}$$

$$\text{Durbin-Watson} = 1.52414 \text{ (ควรมีค่าใกล้ 2 ในการวิเคราะห์แบบจำลองทั้งหมดแบบจำลองนี้มีค่าใกล้สองมากที่สุด)}$$

จากการพิจารณาผลการทดลองทั้งหมดทุก %overlap แบบจำลองที่ดีที่สุดมี

$$\text{สมการของแบบจำลอง คือ } Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$$

3.4 สรุป

การสร้างแบบจำลองโดย วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary Least-Squares (OLS) ที่ดีที่สุดควรเป็นไปตามเงื่อนไขของการเลือก ในบทนี้ได้ทำการสร้างและพิจารณาเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดซึ่งการเลือกแบบจำลองต้องมีค่า R^2 (R-squared), R (Adjusted R-squared), AIC (Akaike's Information Criterion), F - statistic (Model test: F) และ Durbin-Watson (Durbin-Watson Statistic) เป็นไปตามเงื่อนไขของการเลือก ซึ่งจะนำมาสู่แบบจำลองที่ดีตามหลักเศรษฐมิติ

บทที่ 4

ผลของการสร้างแบบจำลอง

ในเนื้อหาบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ผลของการสร้างแบบจำลอง ในด้านเศรษฐมิติที่สำคัญรวมถึงทำการแสดงค่าต่างๆที่มีผลในแบบจำลองและทำการสร้างกราฟในโปรแกรม MATLAB เพื่อวิเคราะห์ลักษณะของปริมาณ Throughput ในกรณีต่างๆ ดังจะกล่าวต่อไปนี้

4.1 ผลที่ได้จากโปรแกรม Limdep

ในส่วนของโปรแกรม Limdep จะเป็นการวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐมิติที่ได้จากแบบจำลอง จะแสดงค่าต่างๆที่สำคัญได้ดังต่อไปนี้

มีการซ้อนทับของช่องสัญญาณ (%Overlap) = 0%

ตามตารางข้างล่างนี้เป็นการวิเคราะห์ถึงผลโดยยกตัวแปรอิสระ Y (throughput) ตัวแปรตาม X1(ความแรงของสัญญาณ) และค่า X2(X1') ดังจะอธิบายต่อไปนี้

```

+-----+
| Ordinary least squares regression      Weighting variable = none
| Dep. var. = Y1      Mean=    1.628922180      , S.D.=    .5643436531
|
| Model size: Observations = 140, Parameters =    3, Deg.Fr.= 137 |
| Residuals:  Sum of squares= 5.673512835 ,      Std.Dev.=    .20350 |
| Fit: R-squared= .871841, Adjusted R-squared =    .86997 |
| Model test: F[ 2, 137] = 465.99,      Prob value =    .00000 |
| Diagnostic: Log-L = 25.7570, Restricted(b=0) Log-L = -118.0567 |
|      LogAmemiyaPrCrt.= -3.163, Akaike Info. Crt.=    -.325 |
| Autocorrel: Durbin-Watson Statistic = 1.86860,      Rho =    .06570 |
+-----+
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
|Variable|Coefficient|Standard Error|t-ratio|P[|T|>t]|Mean of X|
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
|Constant|-1.233531203|.70291578|-1.755|.0815| |
|X1|-.1514668233|.23893533E-01|-6.339|.0000|-60.00000|
|X2|-.1682582707E-02|.19859627E-03|-8.472|.0000|3700.0000|

```

(Note: E+nn or E-nn means multiply by 10 to + or -nn power.)

จากผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ด้วยวิธีการ OLS แบบปกติ ที่ได้จากโปรแกรม

LIMDEP สามารถนำมาเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Y = -1.2335 + (-0.1514)X_1 + (-0.0016)X_2$$

t-statistic (-1.755) (-6.339) (-8.472)

$$R^2 = 0.871841$$

$$R = 0.86997$$

$$F\text{-statistic } [2, 137] = 465.99 \text{ (Prob. = 0.0000)}$$

$$\text{Durbin-Watson} = 1.86860$$

จากสมการข้างต้นสามารถอธิบายได้ว่า

สมการข้างต้น ตัวแปรความแรงสัญญาณมีค่าเป็นลบ จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร X_1 มีเครื่องหมายเป็นลบ “ - “ แสดงได้ว่าถ้าตัวแปรความแรงสัญญาณ (X_1) เพิ่มขึ้น 1 % ปริมาณ throughput (Y) จะเพิ่ม 0.1514 % และเครื่องหมายหน้าตัวแปร X_2 เป็นลบ “ - “ แสดงได้ว่าถ้าใน ขณะที่ X_1 เพิ่ม 1% จะทำให้ X_2 ลด 0.0016%

สรุปได้ว่า เมื่อความแรงของสัญญาณมากขึ้น ปริมาณ throughput ก็จะมากด้วย

การทดสอบค่าสถิติ

- **ค่า t-statistic** เพื่อทดสอบนัยสำคัญของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Dependent variables) และตัวแปรอิสระ (Independent variable) ของสมการ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระ สามารถดูได้จากค่า probability ของตัวแปรแต่ละตัว ซึ่งแสดงในผล PRINT-OUT ($P[|T| > t]$) ใน Column สุดท้าย ซึ่งค่า Prob. ของตัวแปร X_1 มีค่าเท่ากับ 0.0000 หมายความว่า Y และ X_1 มีความสัมพันธ์กันอยู่ที่นัยสำคัญที่ประมาณ $(1-0.0000)*100$ หรือประมาณร้อยละ 100 และค่า Prob. ของตัวแปร X_2 มีค่าเท่ากับ 0.0000 หมายความว่า Y และ X_2 มีความสัมพันธ์กันอยู่ที่นัยสำคัญที่ประมาณ $(1-0.0000)*100$ หรือประมาณร้อยละ 100 ซึ่งค่า Prob. ยิ่งน้อยแสดงว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ แตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญ หรือสามารถ ปฏิเสธสมมติฐานว่าง (Reject Null Hypothesis) ที่ว่า $b_1 = 0$ ซึ่งแสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์นั้นใช้ได้
- **ค่า F-Statistic** เพื่อทดสอบนัยสำคัญของตัวแปรทุกตัวในสมการ ถ้าตัวแปรในสมการทุกตัวมีนัยสำคัญ ก็แสดงว่าสมการดังกล่าว เป็นสมการที่ดี สำหรับค่า F-statistics ที่ได้มีค่า

เท่ากับ 465.99 และค่าของ F-Prob. จะเท่ากับ 0.0000 ซึ่งเข้าใกล้ 0 หมายถึงการมีนัยสำคัญ โดยการประมาณจะให้ผลใกล้เคียงกับข้อมูล

- **ค่า R-Squared (R^2)** เป็นค่าสถิติ ที่แสดงถึงสัดส่วน หรือร้อยละของความผิดพลาด ที่แบบจำลองสามารถอธิบายได้จากสมการที่ประมาณการ ค่า $R^2 = 0.871841$ หรือ 87.18 % ค่า R^2 นี้อธิบายได้ว่า ผลของ Y ที่ได้เป็นผลหรืออิทธิพลจากตัวแปร X_1 และ X_2 87.18 % ส่วนที่เหลืออีก 12.82 % เป็นผลจากตัวแปรหรือปัจจัยอื่นที่ไม่ทราบได้ ดังนั้นหากสมการมีค่า R square ยิ่งสูงเท่าใด ความแม่นยำของการนำสมการไปใช้เพื่อทำนายหรือคาดคะเนผลลัพธ์ย่อมมีสูงมากยิ่งขึ้น โดยทั่วไป สมการที่มักนำไปใช้ควรมีค่า R Square อย่างน้อย 0.75 (Haaland , 1989 และ Hu , 1999) หากสูงกว่า 0.90 ถือว่าดีมาก (ค่า R^2 มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยที่ 0 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์ใด ๆ ระหว่างตัวแปรตามและอิสระ 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์) อย่างไรก็ตามค่า R^2 เป็นการประมาณ Goodness of fit ที่เกินจริง จึงมักใช้ค่า adjusted R square ในการวัด Goodness of fit แทน (Hu, 1999) โดยทั่วไป adjusted R Square จะมีค่าต่ำกว่าค่า R^2 เล็กน้อย และในบางกรณีอาจพบเป็นค่าติดลบได้
- **ค่า Durbin-Watson stat (d)** เป็นค่าสถิติ ที่ใช้ทดสอบปัญหา Autocorrelation ซึ่งจะทดสอบว่าตัวรบกวน (e) มีการกระจายเป็นอิสระ ตามข้อสมมติหรือไม่ ถ้ามีการกระจายเป็นอิสระ ค่า d จะไม่ต่างจาก 2 มาก ค่าที่ได้เท่ากับ 1.86860 ซึ่งไม่ต่างจาก 2 มาก แสดงว่าตัวรบกวนดังกล่าวมีการกระจายเป็นอิสระ

มีการซ้อนทับของช่องสัญญาณ (%Overlap) = 5%

ตามตารางข้างล่างนี้เป็นการวิเคราะห์ถึงผลโดยยกตัวแปรอิสระ Y (throughput) ตัวแปรตาม X1(ความแรงของสัญญาณ) และค่า X2(X1²) ดังจะได้อธิบายต่อไปนี้

```

+-----+
| Ordinary      least squares regression      Weighting variable = none
|
| Dep. var. = Y1      Mean=      1.375309384      , S.D.=      .4855574774
|
| Model size: Observations = 140, Parameters = 3, Deg.Fr.=      137 |
| Residuals: Sum of squares= 8.178043752 , Std.Dev.=      .24432 |
| Fit: R-squared= .750452, Adjusted R-squared =      .74681 |
| Model test: F[ 2, 137] = 206.00, Prob value =      .00000 |
| Diagnostic: Log-L = .1619, Restricted(b=0) Log-L =      -97.0055 |
| LogAmemiyaPrCrt.= -2.797, Akaike Info. Crt.=      .041 |
| Autocorrel: Durbin-Watson Statistic = 1.03341, Rho =      .48330 |
+-----+
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
|Variable| Coefficient| Standard Error |t-ratio |P[|T|>t] | Mean of
X|
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
Constant -1.576013399 .84392138 -1.867 .0640
X1 -.1432383543 .28686599E-01 -4.993 .0000 -60.000000
X2 -.1525129318E-02 .23843488E-03 -6.396 .0000 3700.0000

```

(Note: E+nn or E-nn means multiply by 10 to + or -nn power.)

จากผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ด้วยวิธีการ OLS แบบปกติ ที่ได้จากโปรแกรม LIMDEP สามารถนำมาเขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$Y = -1.5760 + (-0.1432)X_1 + (-0.0015)X_2$$

$$t\text{-statistic} \quad (-1.867) \quad (-4.993) \quad (-6.396)$$

$$R^2 \text{ (R-squared)} = 0.750452$$

$$R \text{ (Adjusted R-squared)} = 0.74681$$

$$F \text{ test} = 206.00 (\text{Prob.} = 0.0000)$$

$$\text{Durbin-Watson} = 1.03341$$

จากสมการข้างต้นสามารถอธิบายได้ว่า

สมการข้างต้น ตัวแปรความแรงสัญญาณมีค่าเป็นลบ จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร

X1 มีเครื่องหมายเป็นลบ “ - “ แสดงได้ว่าถ้าตัวแปรความแรงสัญญาณ (X1) เพิ่มขึ้น 1 % ปริมาณ

throughput(Y) จะเพิ่ม 0.1432 % และเครื่องหมายหน้าตัวแปร X2 เป็นลบ “-“ แสดงได้ว่าถ้าใน ขณะที่ X1 เพิ่ม 1% จะทำให้ X2 ลด 0.0015%

สรุปได้ว่า เมื่อความแรงของสัญญาณมาก ขึ้น ปริมาณ throughput ก็จะมากด้วย

การทดสอบค่าสถิติ

- **ค่า t-statistic** เพื่อทดสอบนัยสำคัญของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Dependent variables) และตัวแปรอิสระ (Independent variable) ของสมการ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระ สามารถดูได้จากค่า probability ของตัวแปรแต่ละตัว ซึ่งแสดงในผล PRINT-OUT ($P[|T| > t]$) ใน Column สุดท้าย ซึ่งค่า Prob. ของตัวแปร X1 มีค่าเท่ากับ 0.0000 หมายความว่า Y และ X1 มีความสัมพันธ์กันอยู่ที่นัยสำคัญที่ประมาณ $(1-0.0000)*100$ หรือประมาณร้อยละ 100 และค่า Prob. ของตัวแปร X2 มีค่าเท่ากับ 0.0000 หมายความว่า Y และ X2 มีความสัมพันธ์กันอยู่ที่นัยสำคัญที่ประมาณ $(1-0.0000)*100$ หรือประมาณร้อยละ 100 ซึ่งค่า Prob. ยิ่งน้อยแสดงว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ แตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญ หรือสามารถ ปฏิเสธสมมติฐานว่าง (Reject Null Hypothesis) ที่ว่า $b_1 = 0$ ซึ่งแสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์นั้นใช้ได้
- **ค่า F-Statistic** เพื่อทดสอบนัยสำคัญของตัวแปรทุกตัวในสมการ ถ้าตัวแปรในสมการทุกตัวมีนัยสำคัญ ก็แสดงว่าสมการดังกล่าว เป็นสมการที่ดี สำหรับค่า F-statistics ที่ได้มีค่าเท่ากับ 206.00 และค่าของ F-Prob. จะเท่ากับ 0.0000 ซึ่งเข้าใกล้ 0 หมายถึงการมีนัยสำคัญ โดยการประมาณจะให้ผลใกล้เคียงกับข้อมูล
- **ค่า R-Squared (R^2)** เป็นค่าสถิติ ที่แสดงถึงสัดส่วน หรือร้อยละของความผิดพลาด ที่แบบจำลองสามารถอธิบายได้จากสมการที่ประมาณการ ค่า $R^2 = 0.750452$ หรือ 75.04 % ค่า R^2 นี้อธิบายได้ว่า ผลของ Y ที่ได้เป็นผลหรืออิทธิพลจากตัวแปร X1 และ X2 75.04 % ส่วนที่เหลืออีก 24.96 % เป็นผลจากตัวแปรหรือปัจจัยอื่นที่ไม่ทราบได้ ดังนั้นหากสมการมีค่า R square ยิ่งสูงเท่าใด ความแม่นยำของการนำสมการไปใช้เพื่อทำนายหรือคาดคะเน ผลลัพธ์ย่อมมีสูงมากยิ่งขึ้น โดยทั่วไป สมการที่มักนำไปใช้ควรมีค่า R Square อย่างน้อย 0.75 (Haaland , 1989 และ Hu , 1999) หากสูงกว่า 0.90 ถือว่าดีมาก (ค่า R^2 มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยที่ 0 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์ใด ๆ ระหว่างตัวแปรตามและอิสระ 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์) อย่างไรก็ตามค่า R^2 เป็นการประมาณ Goodness of fit ที่

เกินจริง จึงมักใช้ค่า adjusted R square ในการวัด Goodness of fit แทน (Hu, 1999) โดยทั่วไป adjusted R Square จะมีค่าต่ำกว่า R Square เล็กน้อย และในบางกรณีอาจพบเป็นค่าติดลบได้

- ค่า Durbin-Watson stat (d) เป็นค่าสถิติที่ใช้ทดสอบปัญหา Autocorrelation ซึ่งจะทดสอบว่าตัวรบกวน (e) มีการกระจายเป็นอิสระ ตามข้อสมมติหรือไม่ ถ้ามีการกระจายเป็นอิสระ ค่า d จะไม่ต่างจาก 2 มาก ค่าที่ได้เท่ากับ 1.03341 ซึ่งต่างจาก 2 มาก แสดงว่าตัวรบกวนดังกล่าวมีการกระจายไม่เป็นอิสระ

มีการซ้อนทับของช่องสัญญาณ (%Overlap) = 25%

ตามตารางข้างล่างนี้เป็นการวิเคราะห์ถึงผลโดยยกตัวแปรอิสระ Y (throughput) ตัวแปรตาม X1(ความแรงของสัญญาณ) และค่า X2(X1²) ดังจะได้อธิบายต่อไปนี้

```

+-----+
| Ordinary least squares regression Weighting variable = none
| Dep. var. = Y1 Mean= .8697539683 , S.D.= .3614231922
| Model size: Observations = 140, Parameters = 3, Deg.Fr.= 137 |
| Residuals: Sum of squares= 1.622517418 Std.Dev.= .10883 |
| Fit: R-squared= .910640, Adjusted R-squared = .90934 |
| Model test: F[ 2, 137] = 698.06, Prob value = .00000 |
| Diagnostic: Log-L = -113.3850, Restricted(b=0) Log-L = -55.6708 |
| LogAmemiyaPrCrt.= -4.415, Akaike Info. Crt.= -1.577 |
| Autocorrel: Durbin-Watson Statistic = 1.52414, Rho = .23793 |
+-----+
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
|Variable |Coefficient |Standard Error|t-ratio |P[|T|>t] | Mean of X|
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Constant 1.985554498 .37589968 5.282 .0000
| X1 .2009484133E-02 .12777593E-01 .157 .8753 -60.000000
| X2 -.2689814814E-03 .10620373E-03 -2.533 .0124 3700.0000

```

(Note: E+nn or E-nn means multiply by 10 to + or -nn power.)

จากผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ด้วยวิธีการ OLS แบบปกติ ที่ได้จากโปรแกรม LIMDEP สามารถนำมาเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Y = 1.9855 + (0.002009)X_1 + (-0.0002689)X_2$$

t-statistic (5.282) (0.157) (-2.533)

$$R^2 = 0.910640$$

$$R = 0.90934$$

$$F\text{-statistic } [2, 137] = 698.06 \text{ (Prob.} = 0.0000)$$

$$\text{Durbin-Watson} = 1.52414$$

จากสมการข้างต้นสามารถอธิบายได้ว่า

สมการข้างต้น ตัวแปรความแรงสัญญาณ (dB) มีค่าเป็นลบ จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร X_1 มีเครื่องหมายเป็นลบ “ + ” แสดงได้ว่าถ้าตัวแปรความแรงสัญญาณ (X_1) เพิ่มขึ้น 1 % ปริมาณ throughput (Y) จะเพิ่ม 0.002 % และเครื่องหมายหน้าตัวแปร X_2 เป็นลบ “ - ” แสดงได้ว่าถ้าในขณะที่ X_1 เพิ่ม 1% จะทำให้ X_2 ลดลง 0.0002%

สรุปได้ว่า เมื่อความแรงของสัญญาณมากขึ้น ปริมาณ throughput ก็จะมากด้วย

การทดสอบค่าสถิติ

- **ค่า t-statistic** เพื่อทดสอบนัยสำคัญของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Dependent variables) และตัวแปรอิสระ (Independent variable) ของสมการ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระ สามารถดูได้จากค่า probability ของตัวแปรแต่ละตัว ซึ่งแสดงในผล PRINT-OUT ($P[|T| > t]$) ใน Column สุดท้าย ซึ่งค่า Prob. ของตัวแปร X_1 มีค่าเท่ากับ 0.8753 หมายความว่า Y และ X_1 มีความสัมพันธ์กันอยู่ที่นัยสำคัญที่ประมาณ $(1-0.8753)*100$ หรือประมาณร้อยละ 12.47 และค่า Prob. ของตัวแปร X_2 มีค่าเท่ากับ 0.0124 หมายความว่า Y และ X_2 มีความสัมพันธ์กันอยู่ที่นัยสำคัญที่ประมาณ $(1-0.0124)*100$ หรือประมาณร้อยละ 98.76 ซึ่งค่า Prob. ยิ่งน้อยแสดงว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ แตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญ หรือสามารถ ปฏิเสธสมมติฐานว่าง (Reject Null Hypothesis) ที่ว่า $b_1 = 0$ ซึ่งแสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์นั้นใช้ได้
- **ค่า F-Statistic** เพื่อทดสอบนัยสำคัญของตัวแปรทุกตัวในสมการ ถ้าตัวแปรในสมการทุกตัวมีนัยสำคัญ ก็แสดงว่าสมการดังกล่าว เป็นสมการที่ดี สำหรับค่า F-statistics ที่ได้มีค่าเท่ากับ 698.06 และค่าของ F-Prob. จะเท่ากับ 0.0000 ซึ่งเข้าใกล้ 0 หมายถึงการมีนัยสำคัญ โดยการประมาณจะให้ผลใกล้เคียงกับข้อมูล

- ค่า **R-Squared (R^2)** เป็นค่าสถิติ ที่แสดงถึงสัดส่วน หรือร้อยละของความผิดพลาด ที่แบบจำลองสามารถอธิบายได้จากสมการที่ประมาณการ ค่า $R^2 = 0.910640$ หรือ 91.06 % ค่า R^2 นี้อธิบายได้ว่า ผลของ Y ที่ได้เป็นผลหรืออิทธิพลจากตัวแปร X_1 และ X_2 91.06 % ส่วนที่เหลืออีก 8.94 % เป็นผลจากตัวแปรหรือปัจจัยอื่นที่ไม่ทราบได้ ดังนั้นหากสมการมีค่า R square ยิ่งสูงเท่าใด ความแม่นยำของการนำสมการไปใช้เพื่อทำนายหรือคาดคะเนผลลัพธ์ย่อมมีสูงมากยิ่งขึ้น โดยทั่วไป สมการที่มักนำไปใช้ควรมีค่า R Square อย่างน้อย 0.75 (Haaland , 1989 และ Hu , 1999) หากสูงกว่า 0.90 ถือว่าดีมาก (ค่า R^2 มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยที่ 0 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์ใด ๆ ระหว่างตัวแปรตามและอิสระ 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์) อย่างไรก็ตามค่า R^2 เป็นการประมาณ Goodness of fit ที่เกินจริง จึงมักใช้ค่า adjusted R square ในการวัด Goodness of fit แทน (Hu, 1999) โดยทั่วไป adjusted R Square จะมีค่าต่ำกว่าค่า R^2 เล็กน้อย และในบางกรณีอาจพบเป็นค่าติดลบได้
- ค่า **Durbin-Watson stat (d)** เป็นค่าสถิติ ที่ใช้ทดสอบปัญหา Autocorrelation ซึ่งจะทดสอบว่าตัวรบกวน (e) มีการกระจายเป็นอิสระ ตามข้อสมมติหรือไม่ ถ้ามีการกระจายเป็นอิสระ ค่า d จะไม่ต่างจาก 2 มาก ค่าที่ได้เท่ากับ 1.52414 ต่างจาก 2 แต่ก็ยังเป็นค่าที่ใช้ได้ แสดงว่าตัวรบกวนดังกล่าวมีการกระจายเป็นอิสระ

มีการซ้อนทับของช่องสัญญาณ (%Overlap) = 50%

ตามตารางข้างล่างนี้เป็นการวิเคราะห์ถึงผลโดยยกตัวแปรอิสระ Y (throughput) ตัวแปรตาม X_1 (ความแรงของสัญญาณ) และค่า $X_2(X_1^2)$ ดังจะได้อธิบายต่อไปนี้

+-----+

```

| Ordinary      least squares regression   Weighting variable = none
|
| Dep. var. = Y1   Mean=   .8506887538      , S.D.=   .3664804972      |
| Model size: Observations = 140, Parameters = 3, Deg.Fr.= 137 |
| Residuals: Sum of squares= 2.157179569      , Std.Dev.=   .12548 |
| Fit:      R-squared=   .884450, Adjusted R-squared =   .88276 |
| Model test: F[ 2, 137] = 524.32, Prob value =   .00000 |
| Diagnostic: Log-L = 93.4475, Restricted(b=0) Log-L = -57.6162 |
|           LogAmemiyaPrCrt.= -4.130, Akaike Info. Crt.= -1.292 |
| Autocorrel: Durbin-Watson Statistic = 1.78530, Rho = .10735 |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
|Variable|Coefficient | Standard Error |t-ratio|P[|T|>t | Mean of X|
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
|Constant| 2.383848227 | .43343145      | 5.500  |.0000   |
|X1       |.1628669453E-01 | .14733214E-01 | 1.105  |.2709   | -60.000000
|X2       |-.1502588652E-03 | .12245830E-03 | -1.227 |.2219   | 3700.0000

```

(Note: E+nn or E-nn means multiply by 10 to + or -nn power.)

$$Y = 2.3838 + (0.01628)X1 + (-0.0001502) X2$$

t-statistic (5.500) (1.105) (-1.227)

$$R^2 = 0.884450$$

$$R = 0.88276$$

F-statistic [2, 137] = 524.32 (Prob. = 0.0000)

Durbin-Watson = 1.78530

จากสมการข้างต้นสามารถอธิบายได้ว่า

สมการข้างต้น ตัวแปรความแรงสัญญาณ (dB) มีค่าเป็นลบ จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร X1 มีเครื่องหมายเป็นลบ “ + “ แสดงได้ว่าถ้าตัวแปรความแรงสัญญาณ (X1) เพิ่มขึ้น 1 % ปริมาณ throughput (Y) จะเพิ่ม 0.0162 % และเครื่องหมายหน้าตัวแปร X2 เป็นลบ “-“ แสดงได้ว่าถ้าในขณะที่ X1 เพิ่ม 1% จะทำให้ X2 ลดลง 0.0001%

สรุปได้ว่า เมื่อความแรงของสัญญาณมาก ขึ้น ปริมาณ throughput ก็จะมากด้วย

การทดสอบค่าสถิติ

- ค่า t-statistic เพื่อทดสอบนัยสำคัญของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Dependent variables) และตัวแปรอิสระ (Independent variable) ของสมการ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระ สามารถดูได้จากค่า probability ของตัวแปรแต่ละตัว

ซึ่งแสดงในผล PRINT-OUT ($P[|T| > t]$) ใน Column สุดท้าย ซึ่งค่า Prob. ของตัวแปร X1 มีค่าเท่ากับ 0.2709 หมายความว่า Y และ X1 มีความสัมพันธ์กันอยู่ที่นัยสำคัญที่ประมาณ $(1-0.2709)*100$ หรือประมาณร้อยละ 72.91 และค่า Prob. ของตัวแปร X2 มีค่าเท่ากับ 0.2219 หมายความว่า Y และ X2 มีความสัมพันธ์กันอยู่ที่นัยสำคัญที่ประมาณ $(1-0.2219)*100$ หรือประมาณร้อยละ 77.81 ซึ่งค่า Prob. ยิ่งน้อยแสดงว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ แตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญ หรือสามารถ ปฏิเสธสมมติฐานว่าง (Reject Null Hypothesis) ที่ว่า $b_1 = 0$ ซึ่งแสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์นั้นใช้ได้

- **ค่า F-Statistic** เพื่อทดสอบนัยสำคัญของตัวแปรทุกตัวในสมการ ถ้าตัวแปรในสมการทุกตัวมีนัยสำคัญ ก็แสดงว่าสมการดังกล่าว เป็นสมการที่ดี สำหรับค่า F-statistics ที่ได้มีค่าเท่ากับ 524.32 และค่าของ F-Prob. จะเท่ากับ 0.0000 ซึ่งเข้าใกล้ 0 หมายถึงการมีนัยสำคัญ โดยการประมาณจะให้ผลใกล้เคียงกับข้อมูล
- **ค่า R-Squared (R^2)** เป็นค่าสถิติ ที่แสดงถึงสัดส่วน หรือร้อยละของความผิดพลาด ที่แบบจำลองสามารถอธิบายได้จากสมการที่ประมาณการ ค่า $R^2 = 0.884450$ หรือ 88.44 % ค่า R^2 นี้้อธิบายได้ว่า ผลของ Y ที่ได้เป็นผลหรืออิทธิพลจากตัวแปร X1 และ X2 88.44 % ส่วนที่เหลืออีก 11.56 % เป็นผลจากตัวแปรหรือปัจจัยอื่นที่ไม่ทราบได้ ดังนั้นหากสมการมีค่า R square ยิ่งสูงเท่าใด ความแม่นยำของการนำสมการไปใช้เพื่อทำนายหรือคาดคะเนผลลัพธ์ย่อมมีสูงมากยิ่งขึ้น โดยทั่วไป สมการที่มักนำไปใช้ควรมีค่า R Square อย่างน้อย 0.75 (Haaland , 1989 และ Hu , 1999) หากสูงกว่า 0.90 ถือว่าดีมาก (ค่า R² มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยที่ 0 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์ใด ๆ ระหว่างตัวแปรตามและอิสระ 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์) อย่างไรก็ตามค่า R² เป็นการประมาณ Goodness of fit ที่เกินจริง จึงมักใช้ค่า adjusted R square ในการวัด Goodness of fit แทน (Hu, 1999) โดยทั่วไป adjusted R Square จะมีค่าต่ำกว่าค่า R Square เล็กน้อย และในบางกรณีอาจพบเป็นค่าติดลบได้
- **ค่า Durbin-Watson stat (d)** เป็นค่าสถิติ ที่ใช้ทดสอบปัญหา Autocorrelation ซึ่งจะทดสอบว่าตัวรบกวน (e) มีการกระจายเป็นอิสระ ตามข้อสมมติหรือไม่ ถ้ามีการกระจายเป็นอิสระ ค่า d จะไม่ต่างจาก 2 มาก ค่าที่ได้เท่ากับ 1.78530 ซึ่งไม่ต่างจาก 2 มาก เป็นค่าที่ใช้ได้ แสดงว่าตัวรบกวนดังกล่าวมีการกระจายเป็นอิสระ

มีการซ้อนทับของช่องสัญญาณ (%Overlap) = 75%

ตามตารางข้างล่างนี้เป็นการวิเคราะห์ถึงผลโดยยกตัวแปรอิสระ Y (throughput) ตัวแปรตาม X1(ความแรงของสัญญาณ) และค่า X2(X1²) ดังจะได้อธิบายต่อไปนี้

+-----+ Ordinary least squares regression Weighting variable = none Dep. var. = Y1 Mean= .8236491453 , S.D.= .3405856270 Model size: Observations = 140, Parameters = 3, Deg.Fr.= 137 Residuals: Sum of squares= 1.601360787 , Std.Dev.= .10811 Fit: R-squared= .900683, Adjusted R-squared = .89923 Model test: F[2, 137] = 621.21, Prob value = .00000 Diagnostic: Log-L = 114.3038, Restricted(b=0) Log-L = -47.3572 LogAmemiyaPrCrt.= -4.428, Akaike Info. Crt.= -1.590 Autocorrel: Durbin-Watson Statistic = 1.57415, Rho = .21292 +-----+					
+-----+ Variable Coefficient Standard Error t-ratio P[T >t] Mean of X +-----+					
Constant	1.698902218	.37344089	4.549	.0000	
X1	-.3928009766E-02	.12694013E-01	-.309	.7575	-60.000000
X2	-.3002523402E-03	.10550904E-03	-2.846	.0051	3700.0000

(Note: E+nn or E-nn means multiply by 10 to + or -nn power.)

$$Y=1.6989+(-0.003928)X1+(-0.0003002) X2$$

$$t\text{-statistic} \quad (4.549) \quad (-0.309) \quad (-2.846)$$

$$R^2 = 0.900683$$

$$R = 0.89923$$

$$F\text{-statistic } [2, 137] = 621.21 \text{ (Prob.} = 0.0000)$$

$$\text{Durbin-Watson} = 1.57415$$

จากสมการข้างต้นสามารถอธิบายได้ว่า

สมการข้างต้น ตัวแปรความแรงสัญญาณมีค่าเป็นลบ จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร X1 มีเครื่องหมายเป็นลบ “ - “ แสดงได้ว่าถ้าตัวแปรความแรงสัญญาณ (X1) เพิ่มขึ้น 1 % ปริมาณ throughput(Y) จะเพิ่ม 0.0039% และเครื่องหมายหน้าตัวแปร X2 เป็นลบ “-“ แสดงได้ว่าถ้าใน ขณะที่ X1 เพิ่ม 1% จะทำให้ X2 ลด 0.00003%

สรุปได้ว่า เมื่อความแรงของสัญญาณมาก ขึ้น ปริมาณ throughput ก็จะมากด้วย

การทดสอบค่าสถิติ

- **ค่า t-statistic** เพื่อทดสอบนัยสำคัญของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Dependent variables) และตัวแปรอิสระ (Independent variable) ของสมการ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระ สามารถดูได้จากค่า probability ของตัวแปรแต่ละตัว ซึ่งแสดงในผล PRINT-OUT ($P[|T| > t]$) ใน Column สุดท้าย ซึ่งค่า Prob. ของตัวแปร X1 มีค่าเท่ากับ 0.7575 หมายความว่า Y และ X1 มีความสัมพันธ์กันอยู่ที่นัยสำคัญที่ประมาณ $(1-0.7575)*100$ หรือประมาณร้อยละ 24.25 และค่า Prob. ของตัวแปร X2 มีค่าเท่ากับ 0.0051 หมายความว่า Y และ X2 มีความสัมพันธ์กันอยู่ที่นัยสำคัญที่ประมาณ $(1-0.0051)*100$ หรือประมาณร้อยละ 99.49 ซึ่งค่า Prob. ยิ่งน้อยแสดงว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ แตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญ หรือสามารถ ปฏิเสธสมมติฐานว่าง (Reject Null Hypothesis) ที่ว่า $b_1 = 0$ ซึ่งแสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์นั้นใช้ได้
- **ค่า F-Statistic** เพื่อทดสอบนัยสำคัญของตัวแปรทุกตัวในสมการ ถ้าตัวแปรในสมการทุกตัวมีนัยสำคัญ ก็แสดงว่าสมการดังกล่าว เป็นสมการที่ดี สำหรับค่า F-statistics ที่ได้มีค่าเท่ากับ 621.21 และค่าของ F-Prob. จะเท่ากับ 0.0000 ซึ่งเข้าใกล้ 0 หมายถึงการมีนัยสำคัญ โดยการประมาณจะให้ผลใกล้เคียงกับข้อมูล
- **ค่า R-Squared (R^2)** เป็นค่าสถิติ ที่แสดงถึงสัดส่วน หรือร้อยละของความผิดพลาดที่แบบจำลองสามารถอธิบายได้จากสมการที่ประมาณค่า ค่า $R^2 = 0.900683$ หรือ 90.06 % ค่า R^2 นี้อธิบายได้ว่า ผลของ Y ที่ได้เป็นผลหรืออิทธิพลจากตัวแปร X1 และ X2 90.06 % ส่วนที่เหลืออีก 9.94 % เป็นผลจากตัวแปรหรือปัจจัยอื่นที่ไม่ทราบได้ ดังนั้นหากสมการมีค่า R square ยิ่งสูงเท่าใด ความแม่นยำของการนำสมการไปใช้เพื่อทำนายหรือคาดคะเนผลลัพธ์ย่อมมีสูงมากยิ่งขึ้น โดยทั่วไป สมการที่มักนำไปใช้ควรมีค่า R Square อย่างน้อย 0.75 (Haaland , 1989 และ Hu , 1999) หากสูงกว่า 0.90 ถือว่าดีมาก (ค่า R² มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยที่ 0 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์ใด ๆ ระหว่างตัวแปรตามและอิสระ 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์) อย่างไรก็ตามค่า R² เป็นการประมาณ Goodness of fit ที่เกินจริง จึงมักใช้ค่า adjusted R square ในการวัด Goodness of fit แทน (Hu, 1999) โดยทั่วไป adjusted R Square จะมีค่าต่ำกว่า R Square เล็กน้อย และในบางกรณีอาจพบเป็นค่าติดลบได้

- ค่า Durbin-Watson stat (d) เป็นค่าสถิติที่ใช้ทดสอบปัญหา Autocorrelation ซึ่งจะทดสอบว่าตัวรบกวน (e) มีการกระจายเป็นอิสระ ตามข้อสมมติหรือไม่ ถ้ามีการกระจายเป็นอิสระ ค่า d จะไม่ต่างจาก 2 มาก ค่าที่ได้เท่ากับ 1.57415 ต่างจาก 2 แต่ก็ยังเป็นค่าที่ใช้ได้ แสดงว่าตัวรบกวนดังกล่าวมีการกระจายเป็นอิสระ

มีการซ้อนทับของช่องสัญญาณ (%Overlap) = 100%

ตามตารางข้างล่างนี้เป็นการวิเคราะห์ถึงผลโดยยกตัวแปรอิสระ Y (throughput) ตัวแปรตาม X1(ความแรงของสัญญาณ) และค่า X2(X1') ดังจะได้อธิบายต่อไปนี้

+-----+ Ordinary least squares regression Weighting variable = none Dep. var. = Y1 Mean= .9220259740 , S.D.= .3221973069 Model size: Observations = 77, Parameters = 3, Deg.Fr.= 74 Residuals: Sum of squares= 1.917574686 , Std.Dev.= .16098 Fit: R-squared= .756950, Adjusted R-squared = .75038 Model test: F[2, 74] = 115.23, Prob value = .00000 Diagnostic: Log-L = -32.9124, Restricted(b=0) Log-L = -21.5455 LogAmemiyaPrCrt.= -3.615, Akaike Info. Crt.= -.777 Autocorrel: Durbin-Watson Statistic = .86668, Rho = .56666 +-----+					
+-----+ Variable Coefficient Standard Error t-ratio P[T >t] Mean of X +-----+					
Constant	-4.170731206	2.0066555	-2.078	.0411	
X1	-.2462909890	.77130836E-01	-3.193	.0021	-52.402597
X2	-.2814369490E-02	.78447731E-03	-3.832	.0003	2776.2987

(Note: E+nn or E-nn means multiply by 10 to + or -nn power.)

$$Y = -4.1707 + (-0.2462)X1 + (-0.002814) X2$$

$$t\text{-statistic} \quad (-2.078) \quad (-3.193) \quad (-3.832)$$

$$R^2 = 0.756950$$

$$R = 0.75038$$

$$F\text{-statistic } [2, 137] = 115.23 \text{ (Prob.} = 0.0000)$$

$$\text{Durbin-Watson} = 0.86668$$

จากสมการข้างต้นสามารถอธิบายได้ว่า

สมการข้างต้น ตัวแปรความแรงสัญญาณมีค่าเป็นลบ จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร X1 มีเครื่องหมายเป็นลบ “ - “ แสดงได้ว่าถ้าตัวแปรความแรงสัญญาณ (X1) เพิ่มขึ้น 1 % ปริมาณ throughput (Y) จะเพิ่ม 0.2462% และเครื่องหมายหน้าตัวแปร X2 เป็นลบ “-“ แสดงได้ว่าถ้าใน ขณะที่ X1 เพิ่ม 1% จะทำให้ X2 ลด 0.0028%

สรุปได้ว่า เมื่อความแรงของสัญญาณมาก ขึ้น ปริมาณ throughput ก็จะมากด้วย

การทดสอบค่าสถิติ

- **ค่า t-statistic** เพื่อทดสอบนัยสำคัญของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Dependent variables) และตัวแปรอิสระ (Independent variable) ของสมการ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระ สามารถดูได้จากค่า probability ของตัวแปรแต่ละตัว ซึ่งแสดงในผล PRINT-OUT ($P[|T| > t]$) ใน Column สุดท้าย ซึ่งค่า Prob. ของตัวแปร X1 มีค่าเท่ากับ 0.0021 หมายความว่า Y และ X1 มีความสัมพันธ์กันอยู่ที่นัยสำคัญที่ประมาณ $(1-0.0021)*100$ หรือประมาณร้อยละ 99.79% และค่า Prob. ของตัวแปร X2 มีค่าเท่ากับ 0.0003 หมายความว่า Y และ X2 มีความสัมพันธ์กันอยู่ที่นัยสำคัญที่ประมาณ $(1-0.0003)*100$ หรือประมาณร้อยละ 99.97% ซึ่งค่า Prob. ยิ่งน้อยแสดงว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ แตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญ หรือสามารถ ปฏิเสธสมมติฐานว่าง (Reject Null Hypothesis) ที่ว่า $b_1 = 0$ ซึ่งแสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์นั้นใช้ได้
- **ค่า F-Statistic** เพื่อทดสอบนัยสำคัญของตัวแปรทุกตัวในสมการ ถ้าตัวแปรในสมการทุกตัวมีนัยสำคัญ ก็แสดงว่าสมการดังกล่าว เป็นสมการที่ดี สำหรับค่า F-statistics ที่ได้มีค่าเท่ากับ 115.23 และค่าของ F-Prob. จะเท่ากับ 0.0000 ซึ่งเข้าใกล้ 0 หมายถึงการมีนัยสำคัญ โดยการประมาณจะให้ผลใกล้เคียงกับข้อมูล
- **ค่า R-Squared (R^2)** เป็นค่าสถิติ ที่แสดงถึงสัดส่วน หรือร้อยละของความผิดพลาดที่แบบจำลองสามารถอธิบายได้จากสมการที่ประมาณการ ค่า $R^2 = 0.756950$ หรือ 75.69 % ค่า R^2 นี้อธิบายได้ว่า ผลของ Y ที่ได้เป็นผลหรืออิทธิพลจากตัวแปร X1 และ X2 75.69 % ส่วนที่เหลืออีก 24.31 % เป็นผลจากตัวแปรหรือปัจจัยอื่นที่ไม่ทราบได้ ดังนั้นหากสมการมีค่า R square ยิ่งสูงเท่าใด ความแม่นยำของการนำสมการไปใช้เพื่อทำนายหรือคาดคะเนผลลัพธ์ย่อมมีสูงมากยิ่งขึ้น โดยทั่วไป สมการที่มักนำไปใช้ควรมีค่า R Square อย่างน้อย 0.75 (Haaland , 1989 และ Hu , 1999) หากสูงกว่า 0.90 ถือว่าดีมาก (ค่า R² มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง

- ค่า Durbin-Watson stat (d) เป็นค่าสถิติที่ใช้ทดสอบปัญหา Autocorrelation ซึ่งจะทดสอบว่าตัวรบกวน (e) มีการกระจายเป็นอิสระ ตามข้อสมมติหรือไม่ ถ้ามีการกระจายเป็นอิสระ ค่า d จะไม่ต่างจาก 2 มาก ค่าที่ได้เท่ากับ 0.86668 ซึ่งต่างจาก 2 มาก แสดงว่าตัวรบกวนดังกล่าวมีการกระจายไม่เป็นอิสระ

เมื่อได้แบบจำลองที่ต้องการตามวัตถุประสงค์แล้ว เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ และการใช้งาน
ที่เป็นประโยชน์มากขึ้น สามารถนำมาเปรียบเทียบกับกราฟสามมิติในโปรแกรม
MATLAB ได้ดังนี้

ในการสร้างกราฟเพื่อ วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่ ใช้ช่องความถี่
ซ้อนทับกันในลักษณะปริมาณ Throughput บน MATLAB ได้มีการเขียนคำสั่งดังนี้

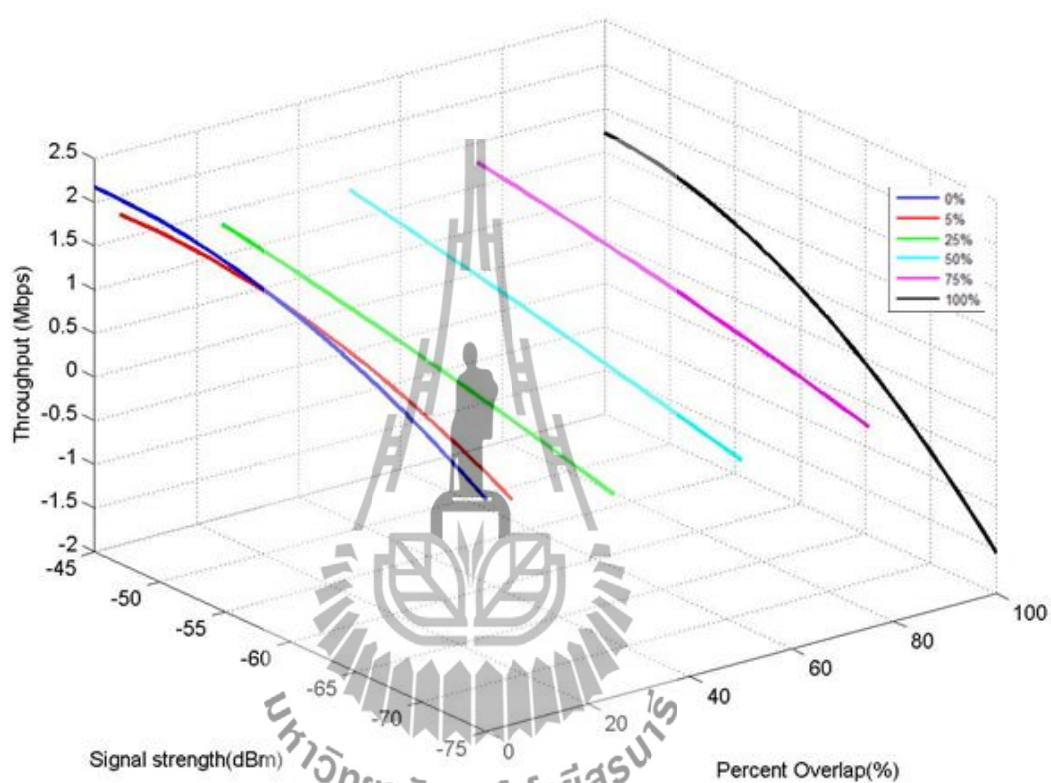
clear all

```
X1=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
```

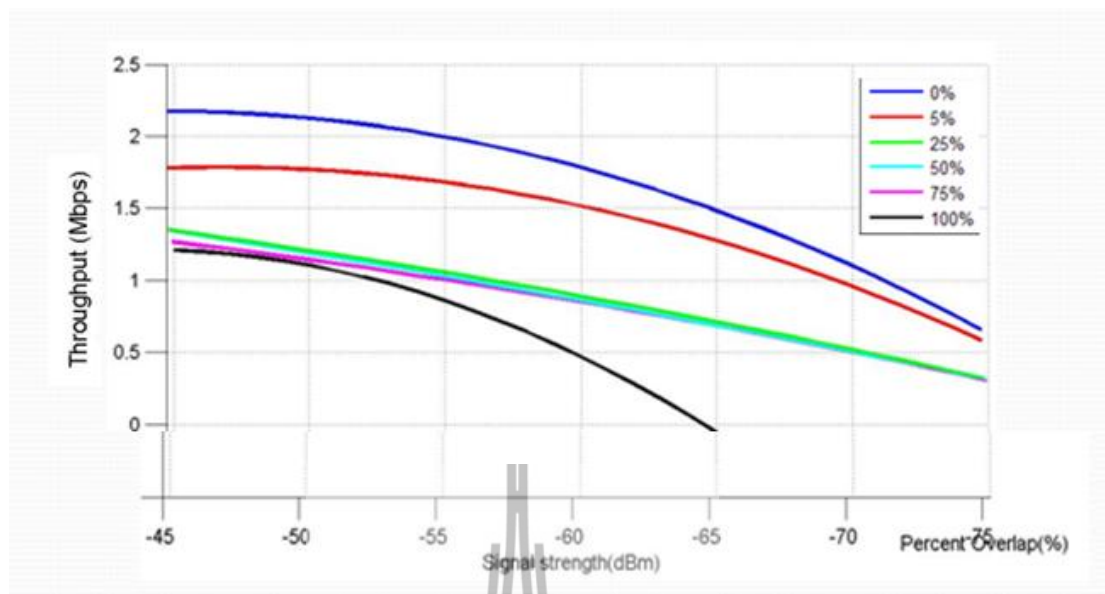
```
X2=[5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5];
```


4.2.2 การวิเคราะห์กราฟจากโปรแกรม MATLAB

เพื่อการเปรียบเทียบใน การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่ ใช้ช่อง ความถี่ซ้อนทับกันในลักษณะปริมาณ Throughput สามารถวิเคราะห์ได้จากกราฟดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1ก เปรียบเทียบการซ้อนทับของสัญญาณแบบ 3 มิติ



รูปที่ 4.1x เปรียบเทียบการซ้อนทับของสัญญาณแบบ 2 มิติ

จากรูปที่ 4.1 จะพบว่าลักษณะของกราฟจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็น Slope จากค่าสูงไปค่าต่ำตามระดับความแรงของสัญญาณ กล่าวคือที่ระดับความแรงสัญญาณสูงปริมาณของ Throughput ที่ได้จะสูง ทำนองเดียวกันที่ระดับความแรงสัญญาณต่ำๆ ปริมาณของ Throughput ที่ได้ก็จะต่ำเช่นกัน โดยที่เส้นกราฟของแต่ละเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับของช่องสัญญาณจะมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยจะเห็นได้ชัดเจนจากรูปที่ 4.1x เมื่อพิจารณาในเรื่องของการซ้อนทับของแต่ละเปอร์เซ็นต์พบว่าที่เปอร์เซ็นต์การซ้อนทับ 0% ปริมาณของ Throughput ที่ระดับความแรงสัญญาณ -45 dBm ที่ออกมาจะมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับ 5% , 25% , 50% , 75% และ 100% และยังเห็นได้ว่าลักษณะของเส้นกราฟจะมีลักษณะเหมือนกันอยู่คือในช่วงความแรงสัญญาณ -45 dB ถึง -50 dB นั้นปริมาณของ Throughput จะค่อยๆลดลง จากนั้นปริมาณของ Throughput จะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน

เมื่อพิจารณากราฟรูปที่ 4.1x ที่ความแรงสัญญาณประมาณ -80 dB ไปจะเห็นว่าปริมาณของ Throughput จะมีค่าไม่ต่างกันมากที่เปอร์เซ็นต์การซ้อนทับ 0%, 5%, 25%, 50%, 75% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มพลังงานเพื่อให้ส่งได้ไกลๆ การซ้อนทับของช่องสัญญาณค่อนข้างไม่มีผลต่อปริมาณ Throughput เลย และเมื่อพิจารณาช่องสัญญาณที่มีการซ้อนทับกัน 25% และ 50% จะ

เห็นได้ว่ามีลักษณะกราฟที่เหมือนกัน ดังนั้นเมื่อมีความจำเป็นจะต้องเลือกช่องสัญญาณที่มีการซ้อนทับกัน 25% หรือ 50% ก็ไม่มีผลต่อปริมาณ Throughput

4.3 สรุป

ในบทนี้ได้ทำการวิเคราะห์ทางด้าน เศรษฐมิติ ที่แสดงถึงค่าการตัดสินใจต่างๆที่มีผลต่อแบบจำลองและเพื่อให้เห็นภาพชัดเจนยิ่งขึ้น ใน ปริมาณ Throughput ที่มีผลต่อช่องสัญญาณที่เกิดการซ้อนทับกัน ได้ทำการสร้างกราฟเพื่อวิเคราะห์ผลจากโปรแกรม MATLAB โดยการวิเคราะห์ที่กล่าวมานี้มีผลต่อการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่จะนำไปใช้งานจริงเป็นอย่างมาก ตรงตามวัตถุประสงค์ของโครงการที่ตั้งไว้



บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบ

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงบทสรุปของโครงการแบบจำลองเชิงประจักษ์ของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้ช่องความถี่ซ้อนทับกัน ซึ่งประกอบไปด้วยปัญหาและอุปสรรค จดจำักัดของโครงการ ข้อเสนอแนะ และวิธีการพัฒนาโครงการต่อไป

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 สรุปผลที่ได้จากสมการแบบจำลองเชิงประจักษ์

จากการทดลองได้ทำการแสดงแบบจำลองเชิงประจักษ์ต่างๆพร้อมด้วยค่าสถิติในการตัดสินใจที่นิยมใช้โดยทั่วไปสามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 5.1 สรุปแบบจำลองเชิงประจักษ์ที่ดีที่สุดของแต่ละเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับ

% Overlap	รูปแบบสมการที่ดีที่สุด
0	$Y = -1.2335 + (-0.1514)X_1 + (-0.0016)X_2$
5	$Y = -1.5760 + (-0.1432)X_1 + (-0.0015)X_2$
25	$Y = 1.9855 + (0.002009)X_1 + (-0.0002689)X_2$
50	$Y = 2.3838 + (0.01628)X_1 + (-0.0001502)X_2$
75	$Y = 1.6989 + (-0.003928)X_1 + (-0.0003002)X_2$
100	$Y = -4.1707 + (-0.2462)X_1 + (-0.2814)X_2$

จากตารางข้างต้นจะพบว่ารูปแบบสมการที่ดีที่สุดของแบบจำลอง คือ $Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$ เมื่อพิจารณาจากสมการเราจะพบว่ายี่งค่าความแรงของสัญญาณเพิ่มมากขึ้น (X1) จะทำให้ค่าของ Throughput (Y) ที่ได้เพิ่มมากขึ้นด้วยซึ่งเป็นไปตามหลักการคือ เมื่อสัญญาณมีความแรงมากทำให้การส่งข้อมูลมีประสิทธิภาพมากขึ้น ด้วย และจากการพิจารณาสมการที่ได้พบว่า ข้อสังเกตแบบจำลอง จาก

โครงการเรื่องการวิเคราะห์ผลกระทบของการใช้ช่องความถี่ซ้อนทับกันในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่มีค่า Durbin น้อยสาเหตุสามารถสรุปได้ว่าที่ Durbin น้อยเป็นเพราะรูปแบบสมการยังเป็นสมการที่ไม่ถูกต้อง

5.1.2 สรุปผลที่ได้จากกราฟ

จากการสร้างแบบจำลองเชิงประจักษ์ด้วยกราฟสามมิติในโปรแกรม MATLAB จะพบว่า

1. เมื่อพิจารณาความแรงของสัญญาณกับปริมาณของ Throughput จะพบว่าสอดคล้องกันกับทางทฤษฎี คือ ค่าความแรงของสัญญาณจะแปรผันตรงกับค่าปริมาณของ Throughput กล่าวคือเมื่อมีความแรงมากขึ้น ปริมาณในการส่งข้อมูล Throughput ก็จะเร็วขึ้นด้วย
2. ปัจจัยในด้านการเพิ่มพลังงานเพื่อให้ส่งได้ไกลๆนั้น เมื่อพิจารณาจากกราฟที่ได้แล้ว พบว่าการซ้อนทับของสัญญาณไม่ได้มีผลทำให้ค่า Throughput มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก

ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายนี้เป็นการศึกษาเพื่อที่จะเน้นไปใน เรื่องของการออกแบบติดตั้งอุปกรณ์เครือข่ายไร้สายให้เกิดการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ในกรณีที่มีการ ติดตั้งตัว Access Point ที่มี 2 ตัวขึ้นไป ในบริเวณเดียวกัน เราสามารถกำหนดค่าของช่องสัญญาณทั้งสองไม่ให้เกิดการซ้อนทับกัน ซึ่งลดการรบกวนกันของสัญญาณทั้งสองช่องทำให้การสื่อสารมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น รวมทั้งการใช้แบบจำลองเชิงประจักษ์เข้าช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลความถูกต้อง และยังช่วยในเรื่องของการการ ติดตั้งระบบในกรณีที่เราไม่สามารถเข้าไปทำการวัดข้อมูลภายในบริเวณนั้นได้

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

1. ปัญหาการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งค่าความถูกต้องของสมการที่ได้ อาจเกิดความผิดพลาด เล็กน้อย
2. ปัญหาการศึกษาทฤษฎีที่ใช้เวลานาน การสร้างสมการที่ดีที่สุด จำเป็นต้องมีการศึกษาทฤษฎีทางสถิติ อย่างแม่นยำ ซึ่งยากต่อความเข้าใจ

5.3 ข้อจำกัดของโครงการ

1. ข้อจำกัดทางด้านแบบจำลองเชิงประจักษ์ที่สร้างขึ้นมาซึ่งแบบจำลองแต่ละแบบอาจจะไม่มีผลหรือมีผลเพียงเล็กน้อย กับประสิทธิภาพของเครือข่ายไร้สาย
2. ในการทดลองหาแบบจำลองที่ดีที่สุดแบบ OLS มีได้เพียง 4 แบบ ในทั้งหมด 8 แบบ เนื่องจากมีข้อจำกัดเกี่ยวกับตัวแปรความแรงสัญญาณ (X1) ซึ่งมีค่าเป็นลบ

5.4 ข้อเสนอแนะและวิธีการพัฒนาโครงการ

1. นำแบบจำลองเชิงประจักษ์ที่ได้ไปรวมเข้ากันกับแบบจำลองของกลุ่มอื่นที่ทำการทดลองในลักษณะเดียวกัน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
2. เราอาจทำการพิจารณาในกรณีที่ผู้ใช้เพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้สมการที่มีความถูกต้องเพิ่มมากขึ้น
3. ควรจะพิจารณาปัจจัยอื่นในการสร้างแบบจำลอง เช่น เมื่อมีจำนวนผู้ใช้งานมากขึ้น ความแรงสัญญาณที่มากขึ้น

ประวัติผู้เขียน



นางสาวจันทินี เจริญศิลป์ เกิดเมื่อวันที่ 23 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2531
ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลบ้านเลื่อม อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนสตรีราชินูทิศ อำเภอเมือง
จังหวัดอุดรธานี เมื่อปี พ.ศ. 2550 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



นางสาวศิริพร สายทอง เกิดเมื่อวันที่ 9 พฤศจิกายน พ.ศ. 2531
ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลเนินมะกอก อำเภอบางมูลนาก จังหวัดพิจิตร
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนบางมูลนากภูมิวิทยาคม อำเภอบางมูลนาก จังหวัดพิจิตร เมื่อปี พ.ศ. 2550 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

น.ส.ทิพย์วิมล ทองห่อ โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม ประจำปีภาคการศึกษาที่ 1/2551 เรื่อง การวิเคราะห์ผลกระทบของการใช้ช่องความถี่ซ้อนทับกันในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

นายธิตพล สืบสุขะ โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม ประจำปีภาคการศึกษาที่ 1/2551 เรื่อง การวิเคราะห์ผลกระทบของการใช้ช่องความถี่ซ้อนทับกันในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

นายอักรพงศ์ อ้นทอง การวิเคราะห์สมการถดถอย สถาบันวิจัยสังคม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

นายอักรพงศ์ อ้นทอง คู่มือการใช้โปรแกรม LIMDEP เบื้องต้น: สำหรับการวิเคราะห์ทางเศรษฐมิติ

สถาบันวิจัยสังคมมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

<http://www.eco.ru.ac.th/eco/nongnut/part4.html>

http://www.nidambell.net/ekonomiz/eview_doc/eview_manual2.htm

http://www.acord92.si/ftp/MSI/MSI_GX700E/G71NDW2055/VISTA32/Intel%20Wireless%20Lan/XP/Docs/THA/wlan.htm

www.doe.eng.cmu.ac.th/~tharadol/teach/ee341/341_47/341_47rp/WLANWIFI.doc

www.wirelessnetwork.th.gs/web-w/wirelessnetwork/std-wireless.html - 32k -

แหล่งที่มา: N.E.Savin and Kenneth J. White, “The Durbin-Watson Test for Serial Correlation with Extreme Sample Sizes or Many Regressors”, *Econometrica*, 45 (8), Nov. 1977, pp. 1989-1996.

หนังสือ Basic Econometrics by Damodar N Gujarati

ภาคผนวก

ข้อมูลการทดลองที่ได้จากโครงงานวิศวกรรมโทรคมนาคม ประจำปีการศึกษาที่ 1/2551

เรื่อง การวิเคราะห์ผลกระทบของการใช้ช่องความถี่ซ้อนทับกันในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

กรณีที่ 1 มีการซ้อนทับของช่องสัญญาณ (%Overlap) <100% และความแรงของสัญญาณ -41 dBm ถึง -50 dBm

การป้อนข้อมูลใน SPSS สำหรับการสร้างแบบจำลองของกรณีที่มีการซ้อนทับของช่องสัญญาณ (%Overlap) <100% และความแรงของสัญญาณ -41 dBm ถึง -50 dBm

y	x1	x2	x3
1	2	-45	0
1.05	2	-50	0
2.05	4	-45	0
2.1	4	-50	0
2.95	6	-45	0
3	6	-50	0
3.9	8	-45	0
4.35	8	-50	0
4.25	10	-45	0
4.9	10	-50	0
1.5	2	-45	5

y	x1	x2	x3
7.15	8	-50	50
8.05	10	-45	50
8.85	10	-50	50
1.65	2	-45	25
1.85	2	-50	25
2.8	4	-45	25
3.3	4	-50	25
4.25	6	-45	25
4.8	6	-50	25
5.7	8	-45	25
7.1	8	-50	25

y	x1	x2	x3
4.25	6	-45	50
4.85	6	-50	50
5.8	8	-45	50
6.95	8	-50	50
8	10	-45	50
8.8	10	-50	50
1.75	2	-45	75
1.9	2	-50	75
2.9	4	-45	75
3.4	4	-50	75
4.4	6	-45	75

1.55	2	-50	5	7.95	10	-45	25	4.9	6	-50	75
------	---	-----	---	------	----	-----	----	-----	---	-----	----

ตารางกรณี 1 ต่อ

2.5	4	-45	5	8.6	10	-50	25	5.8	8	-45	75
2.5	4	-50	5	1.5	2	-45	5	7	8	-50	75
2.5	4	-50	5	1.5	2	-45	5	7	8	-50	75
3.3	6	-45	5	1.65	2	-50	5	8.15	10	-45	75
3.35	6	-50	5	2.5	4	-45	5	9	10	-50	75
4	8	-45	5	3.25	4	-50	5	1.8	2	-45	75
4.1	8	-50	5	3.3	6	-45	5	2	2	-50	75
4.95	10	-45	5	3.3	6	-50	5	3	4	-45	75
5	10	-50	5	4	8	-45	5	3.25	4	-50	75
1.65	2	-45	25	4.1	8	-50	5	4.45	6	-45	75
1.8	2	-50	25	4.95	10	-45	5	5	6	-50	75
2.75	4	-45	25	5.05	10	-50	5	5.85	8	-45	75
3.25	4	-50	25	1	2	-45	0	7.05	8	-50	75
4.2	6	-45	25	1	2	-50	0	8.4	10	-45	75
4.85	6	-50	25	2.05	4	-45	0	9.05	10	-50	75
5.8	8	-45	25	2	4	-50	0	1.75	2	-45	50
7	8	-50	25	2.4	6	-45	0	1.85	2	-50	50
8	10	-45	25	2.9	6	-50	0	2.85	4	-45	50
8.7	10	-50	25	3.2	8	-45	0	3.25	4	-50	50
1.75	2	-45	50	3.55	8	-50	0	4.15	6	-45	50

1.85	2	-50	50
2.85	4	-45	50

4.4	10	-45	0
4.45	10	-50	0

4.8	6	-50	50
4.3	8	-45	50

ตารางกรณี 1 ต่อ

3.35	4	-50	50
4.3	6	-45	50
4.9	6	-50	50
5.85	8	-45	50
7	8	-50	50
7.85	10	-45	50
8.85	10	-50	50
1.8	2	-45	75
2	2	-50	75
2.95	4	-45	75
3.4	4	-50	75
4.5	6	-45	75
5	6	-50	75
5.9	8	-45	75
7	8	-50	75
8.25	10	-45	75
9.1	10	-50	75
1.85	2	-45	75
2.05	2	-50	75
3.05	4	-45	75
3.35	4	-50	75

1	2	-45	0
1	2	-50	0
2	4	-45	0
2.05	4	-50	0
2.8	6	-45	0
2.9	6	-50	0
3.75	8	-45	0
4.25	8	-50	0
4.2	10	-45	0
4.8	10	-50	0
1.35	2	-45	5
1.4	2	-50	5
2.3	4	-45	5
2.3	4	-50	5
3.2	6	-45	5
3.2	6	-50	5
3.85	8	-45	5
4.3	8	-50	5
4.8	10	-45	5
4.9	10	-50	5
1.6	2	-45	25

7	8	-50	50
7.85	10	-45	50
8.7	10	-50	50
1.6	2	-45	25
1.75	2	-50	25
2.7	4	-45	25
3.2	4	-50	25
4.15	6	-45	25
4.65	6	-50	25
5.6	8	-45	25
6.95	8	-50	25
7.85	10	-45	25
8.45	10	-50	25
1.45	2	-45	5
1.5	2	-50	5
2.4	4	-45	5
2.4	4	-50	5
3.2	6	-45	5
3.25	6	-50	5
3.9	8	-45	5
4.05	8	-50	5

4.5	6	-45	75
5.1	6	-50	75

1.7	2	-50	25
2.65	4	-45	25

4.9	10	-45	5
5	10	-50	5

ตารางกรณี 1 ต่อ

y	x1	x2	x3
5.9	8	-45	75
7.2	8	-50	75
8.35	10	-45	75
9.15	10	-50	75
1.8	2	-45	50
1.9	2	-50	50
2.95	4	-45	50
3.35	4	-50	50
4.25	6	-45	50
4.9	6	-50	50
4.4	8	-45	50

y	x1	x2	x3
3.15	4	-50	25
4.15	6	-45	25
4.75	6	-50	25
5.75	8	-45	25
6.85	8	-50	25
7.9	10	-45	25
8.65	10	-50	25
1.7	2	-45	50
1.8	2	-50	50
2.8	4	-45	50
3.25	4	-50	50

y	x1	x2	x3
1	2	-45	0
1	2	-50	0
2	4	-45	0
2	4	-50	0
2.35	6	-45	0
2.8	6	-50	0
3.1	8	-45	0
3.5	8	-50	0
3.65	10	-45	0
4.4	10	-50	0

กรณีที่ 2 มีการซ้อนทับของช่องสัญญาณ (%Overlap) <100% และความแรงของสัญญาณ -51 dBm ถึง -60 dBm

การป้อนข้อมูลใน SPSS สำหรับการสร้างแบบจำลองของกรณีที่มีการซ้อนทับของช่องสัญญาณ (%Overlap) <100% และความแรงของสัญญาณ -51 dBm ถึง -60 dBm

y	x1	x2	x3	y	x1	x2	x3	y	x1	x2	x3
1.15	2	-55	0	10.85	8	-60	50	5.05	6	-55	50
1.25	2	-60	0	9.1	10	-55	50	7.45	6	-60	50
2.15	4	-55	0	14.75	10	-60	50	7.25	8	-55	50
2.3	4	-60	0	2	2	-55	25	10.8	8	-60	50
3.1	6	-55	0	2	2	-60	25	8.9	10	-55	50
3.25	6	-60	0	4.35	4	-55	25	14.65	10	-60	50
4.25	8	-55	0	3.7	4	-60	25	2.1	2	-55	75
4.3	8	-60	0	5	6	-55	25	2.2	2	-60	75
5	10	-55	0	7.5	6	-60	25	4.5	4	-55	75
5.15	10	-60	0	7.2	8	-55	25	3.7	4	-60	75
1.6	2	-55	5	10.15	8	-60	25	5.2	6	-55	75
1.7	2	-60	5	8.9	10	-55	25	7.75	6	-60	75
2.45	4	-55	5	14.55	10	-60	25	7.3	8	-55	75
2.6	4	-60	5	1.6	2	-55	5	10.75	8	-60	75
3.45	6	-55	5	1.65	2	-60	5	9.3	10	-55	75
3.5	6	-60	5	2.45	4	-55	5	14.7	10	-60	75

ตารางกรณีที่ 2 ต่อ

y	x1	x2	x3
4.3	8	-55	5
4.35	8	-60	5
5.1	10	-55	5
5.05	10	-60	5
1.95	2	-55	25
2.05	2	-60	25
4.3	4	-55	25
3.6	4	-60	25
5.05	6	-55	25
7.4	6	-60	25
7.2	8	-55	25
10.45	8	-60	25
8.85	10	-55	25
14.35	10	-60	25
2.05	2	-55	50
2.15	2	-60	50
4.55	4	-55	50
3.7	4	-60	50
5.15	6	-55	50
7.5	6	-60	50

y	x1	x2	x3
2.6	4	-60	5
3.45	6	-55	5
3.55	6	-60	5
4.3	8	-55	5
4.35	8	-60	5
5.1	10	-55	5
5.22	10	-60	5
1	2	-55	0
1.15	2	-60	0
2.1	4	-55	0
2.2	4	-60	0
3	6	-55	0
3.1	6	-60	0
3.9	8	-55	0
4	8	-60	0
4.5	10	-55	0
4.6	10	-60	0
1.1	2	-55	0
1.15	2	-60	0
2.1	4	-55	0

y	x1	x2	x3
2.05	2	-55	75
2.15	2	-60	75
4.65	4	-55	75
3.7	4	-60	75
5.25	6	-55	75
7.8	6	-60	75
7.35	8	-55	75
10.6	8	-60	75
9.2	10	-55	75
14.6	10	-60	75
2.05	2	-55	50
2.1	2	-60	50
4.45	4	-55	50
3.55	4	-60	50
5.1	6	-55	50
7.5	6	-60	50
7.25	8	-55	50
10.8	8	-60	50
9	10	-55	50
14.55	10	-60	50

7.3	8	-55	50	2.2	4	-60	0	1.85	2	-55	25
10.7	8	-60	50	3.05	6	-55	0	1.95	2	-60	25

ตารางกรณี 2 ต่อ

8.95	10	-55	50	3.15	6	-60	0	4.25	4	-55	25
14.65	10	-60	50	4.3	8	-55	0	4.25	4	-60	25
2.15	2	-55	75	4.2	8	-60	0	4.85	6	-55	25
2.25	2	-60	75	4.85	10	-55	0	7.4	6	-60	25
4.65	4	-55	75	5	10	-60	0	7.05	8	-55	25
3.75	4	-60	75	1.45	2	-55	5	10.05	8	-60	25
5.25	6	-55	75	1.5	2	-60	5	8.75	10	-55	25
7.5	6	-60	75	2.2	4	-55	5	14.15	10	-60	25
7.4	8	-55	75	2.5	4	-60	5	1.55	2	-55	5
10.8	8	-60	75	3.3	6	-55	5	1.6	2	-60	5
9.4	10	-55	75	3.35	6	-60	5	2.45	4	-55	5
14.8	10	-60	75	4.35	8	-55	5	2.5	4	-60	5
2.1	2	-55	75	4.3	8	-60	5	3.4	6	-55	5
2.3	2	-60	75	4.95	10	-55	5	3.5	6	-60	5
4.7	4	-55	75	5.05	10	-60	5	4.25	8	-55	5
3.75	4	-60	75	1.8	2	-55	25	4.3	8	-60	5
5.3	6	-55	75	1.95	2	-60	25	5.05	10	-55	5
7.9	6	-60	75	4.2	4	-55	25	5.15	10	-60	5
7.4	8	-55	75	4.25	4	-60	25	1	2	-55	0
10.95	8	-60	75	4.95	6	-55	25	1.1	2	-60	0
9.3	10	-55	75	7.3	6	-60	25	2.1	4	-55	0

14.8	10	-60	75	7.1	8	-55	25	2.15	4	-60	0
2.1	2	-55	50	10.05	8	-60	25	2.95	6	-55	0

ตารางกรณีที่ 2 ต่อ

2.15	2	-60	50	8.65	10	-55	25	3.1	6	-60	0
4.55	4	-55	50	14.25	10	-60	25	3.8	8	-55	0
3.65	4	-60	50	2	2	-55	50	3.9	8	-60	0
5.2	6	-55	50	2.1	2	-60	50	4.45	10	-55	0
7.55	6	-60	50	4.5	4	-55	50	4.55	10	-60	0
7.35	8	-55	50	4.3	4	-60	50				

กรณีที่ 3 มีการซ้อนทับของช่องสัญญาณ(%Overlap) <100% และความแรงของสัญญาณ -61 dBm ถึง -70 dBm

การป้อนข้อมูลใน SPSS สำหรับการสร้างแบบจำลองของกรณีที่มีการซ้อนทับของช่องสัญญาณ (%Overlap) <100% และความแรงของสัญญาณ -61 dBm ถึง -70 dBm

y	x1	x2	x3	y	x1	x2	x3	y	x1	x2	x3
1.35	2	-65	0	20.4	8	-70	50	8.15	6	-65	50
2.45	2	-70	0	15.5	10	-65	50	15.7	6	-70	50
2.3	4	-65	0	29.5	10	-70	50	11.8	8	-65	50
4.3	4	-70	0	2.55	2	-65	25	19.8	8	-70	50
3.3	6	-65	0	3.05	2	-70	25	15.5	10	-65	50
5.95	6	-70	0	4.5	4	-65	25	29.7	10	-70	50
7.05	8	-65	0	6.45	4	-70	25	2.65	2	-65	75
8.2	8	-70	0	8.1	6	-65	25	3.2	2	-70	75

8.75	10	-65	0
12.6	10	-70	0

15.4	6	-70	25
11.5	8	-65	25

4.7	4	-65	75
6.55	4	-70	75

ตารางกรณี 3 ต่อ

1.8	2	-65	5
2.5	2	-70	5
3	4	-65	5
4.85	4	-70	5
3.95	6	-65	5
6.15	6	-70	5
7.15	8	-65	5
8.35	8	-70	5
9	10	-65	5
15.9	10	-70	5
2.55	2	-65	25
3.1	2	-70	25
4.45	4	-65	25
6.4	4	-70	25
8.1	6	-65	25
15.3	6	-70	25
11.4	8	-65	25
19.7	8	-70	25
15	10	-65	25
29.4	10	-70	25
2.65	2	-65	50

19.7	8	-70	25
14.9	10	-65	25
29.5	10	-70	25
1.85	2	-65	5
2.55	2	-70	5
3	4	-65	5
4.9	4	-70	5
3.9	6	-65	5
6.1	6	-70	5
7.2	8	-65	5
8.35	8	-70	5
9.05	10	-65	5
15.9	10	-70	5
1.2	2	-65	0
2.7	2	-70	0
2.15	4	-65	0
4.6	4	-70	0
3.3	6	-65	0
6.15	6	-70	0
5.55	8	-65	0
8.5	8	-70	0

8.2	6	-65	75
15.6	6	-70	75
11.9	8	-65	75
20.3	8	-70	75
15.7	10	-65	75
29.5	10	-70	75
2.7	2	-65	75
3.15	2	-70	75
4.75	4	-65	75
6.45	4	-70	75
8.25	6	-65	75
15.7	6	-70	75
12	8	-65	75
20.4	8	-70	75
15.5	10	-65	75
29.8	10	-70	75
2.5	2	-65	50
3.1	2	-70	50
4.5	4	-65	50
6.55	4	-70	50
8.3	6	-65	50

3.2	2	-70	50
4.6	4	-65	50

7.25	10	-65	0
8.9	10	-70	0

15.7	6	-70	50
11.8	8	-65	50

ตารางกรณี 3 ต่อ

y	x1	x2	x3
6.55	4	-70	50
11.8	8	-65	50
20.3	8	-70	50
15.5	10	-65	50
29.8	10	-70	50
8.25	6	-65	50
15.8	6	-70	50
2.7	2	-65	75
3.3	2	-70	75
4.65	4	-65	75
6.6	4	-70	75
8.3	6	-65	75
15.8	6	-70	75
12	8	-65	75
20.4	8	-70	75
15.7	10	-65	75
29.8	10	-70	75
2.8	2	-65	75
3.25	2	-70	75
4.75	4	-65	75

y	x1	x2	x3
1.2	2	-65	0
2.05	2	-70	0
2.2	4	-65	0
4.05	4	-70	0
3.2	6	-65	0
5.75	6	-70	0
6.9	8	-65	0
7	8	-70	0
8.6	10	-65	0
9.45	10	-70	0
1.7	2	-65	5
2.35	2	-70	5
2.8	4	-65	5
4.8	4	-70	5
3.9	6	-65	5
5.95	6	-70	5
7.1	8	-65	5
8.25	8	-70	5
8.85	10	-65	5
15.5	10	-70	5

y	x1	x2	x3
20.1	8	-70	50
15.4	10	-65	50
28.7	10	-70	50
2.45	2	-65	25
3	2	-70	25
4.4	4	-65	25
6.35	4	-70	25
8	6	-65	25
15.3	6	-70	25
11.1	8	-65	25
19.4	8	-70	25
14.4	10	-65	25
29.2	10	-70	25
1.75	2	-65	5
2.45	2	-70	5
2.85	4	-65	5
4.8	4	-70	5
3.8	6	-65	5
6	6	-70	5
7.1	8	-65	5

6.5	4	-70	75
8.3	6	-65	75

2.45	2	-65	25
3.05	2	-70	25

8.25	8	-70	5
8.95	10	-65	5

ตารางกรณี 3 ต่อ

y	x1	x2	x3
16	6	-70	75
12.1	8	-65	75
20.6	8	-70	75
15.7	10	-65	75
30	10	-70	75
2.6	2	-65	50
3.2	2	-70	50
4.6	4	-65	50
6.6	4	-70	50
8.35	6	-65	50
y	x1	x2	x3
16	6	-70	50
11.9	8	-65	50

y	x1	x2	x3
4.3	4	-65	25
6.35	4	-70	25
8	6	-65	25
15.1	6	-70	25
11.3	8	-65	25
19.4	8	-70	25
14.8	10	-65	25
28.8	10	-70	25
2.55	2	-65	50
3.1	2	-70	50
y	x1	x2	x3
4.6	4	-65	50
6.45	4	-70	50

y	x1	x2	x3
15.5	10	-70	5
1.15	2	-65	0
2.55	2	-70	0
2.15	4	-65	0
4.5	4	-70	0
3.25	6	-65	0
6.15	6	-70	0
5.5	8	-65	0
8.4	8	-70	0
7.2	10	-65	0
y	x1	x2	x3
8.8	10	-70	0

กรณีที่ 4มีการซ้อนทับของช่องสัญญาณ (%Overlap) <100% และความแรงของสัญญาณ -71 dBm ถึง -80 dBm

การป้อนข้อมูลใน SPSS สำหรับการสร้างแบบจำลองของกรณีที่มีการซ้อนทับของช่องสัญญาณ (%Overlap) <100% และความแรงของสัญญาณ -71 dBm ถึง -80 dBm

y	x1	x2	x3	y	x1	x2	x3	y	x1	x2	x3
2.9	2	-75	0	20.3	10	-75	0	15.05	8	-75	5
4.8	4	-75	0	3	2	-75	5	21	10	-75	5
7.45	6	-75	0	5	4	-75	5	3.8	2	-75	25
14.65	8	-75	0	7.5	6	-75	5	11.3	4	-75	25
20.25	6	-75	25	42.05	10	-75	25	11.5	4	-75	50
32.85	8	-75	25	3	2	-75	5	20.7	6	-75	50
42	10	-75	25	5.1	4	-75	5	33.65	8	-75	50
3.9	2	-75	50	7.55	6	-75	5	43.95	10	-75	50
11.65	4	-75	50	15.1	8	-75	5	4.05	2	-75	75
33.8	8	-75	50	20.9	10	-75	5	11.55	4	-75	75
44.25	10	-75	50	2.75	2	-75	0	20.75	6	-75	75
21	6	-75	50	4.75	4	-75	0	33.5	8	-75	75
4	2	-75	75	7.55	6	-75	0	51.9	10	-75	75
11.8	4	-75	75	10.95	8	-75	0	3.9	2	-75	75
21.15	6	-75	75	14.5	10	-75	0	11.55	4	-75	75
33.85	8	-75	75	2.3	2	-75	0	20.95	6	-75	75
48.5	10	-75	75	4.65	4	-75	0	33.6	8	-75	75
4.05	2	-75	75	7.25	6	-75	0	44.05	10	-75	75

11.7	4	-75	75	14.1	8	-75	0	3.95	2	-75	50
------	---	-----	----	------	---	-----	---	------	---	-----	----

ตารางกรณี 4 ต่อ

y	x1	x2	x3	y	x1	x2	x3	y	x1	x2	x3
21.15	6	-75	75	19.9	10	-75	0	11.65	4	-75	50
33.9	8	-75	75	2.9	2	-75	5	20.75	6	-75	50
44.3	10	-75	75	4.85	4	-75	5	33.45	8	-75	50
4	2	-75	50	7.25	6	-75	5	43.95	10	-75	50
11.75	4	-75	50	14.45	8	-75	5	3.75	2	-75	25
21.05	6	-75	50	20.5	10	-75	5	11	4	-75	25
33.75	8	-75	50	3.6	2	-75	25	20.05	6	-75	25
44.2	10	-75	50	11	4	-75	25	32.3	8	-75	25
3.9	2	-75	25	19.65	6	-75	25	41.85	10	-75	25
11.25	4	-75	25	32	8	-75	25	2.8	2	-75	5
20.2	6	-75	25	41.7	10	-75	25	5	4	-75	5
32.75	8	-75	25	3.8	2	-75	50	7.45	6	-75	5
15	8	-75	5	4.65	4	-75	0	14.35	10	-75	0
20.55	10	-75	5	7.45	6	-75	0				
2.75	2	-75	0	10.9	8	-75	0				

กรณีที่ 5 มีการซ้อนทับของช่องสัญญาณ (%Overlap) = 100% และความแรงของสัญญาณ -41 dBm ถึง -50 dBm

การป้อนข้อมูลใน SPSS สำหรับการสร้างแบบจำลองของกรณีไม่มีการซ้อนทับของช่องสัญญาณ (%Overlap) = 100% และความแรงของสัญญาณ -41 dBm ถึง -50 dBm

y	x1	x2	x3
2	2	-45	100
2.1	2	-50	100
3.15	4	-45	100
3.65	4	-50	100
4.9	6	-45	100
5.1	6	-50	100
6.05	8	-45	100

y	x1	x2	x3
6.8	8	-50	100
8.65	10	-45	100
9.05	10	-50	100
2	2	-45	100
2.05	2	-50	100
3.1	4	-45	100
3.6	4	-50	100

y	x1	x2	x3
4.8	6	-45	100
5	6	-50	100
6	8	-45	100
6.6	8	-50	100
8.55	10	-45	100
8.95	10	-50	100

กรณีที่ 6 มีการซ้อนทับของช่องสัญญาณ (%Overlap) = 100% และความแรงของสัญญาณ -51 dBm ถึง -60 dBm

ตารางที่ 5.7 การป้อนข้อมูลใน SPSS สำหรับการสร้างแบบจำลองของกรณีไม่มีการซ้อนทับของช่องสัญญาณ (%Overlap) = 100% และความแรงของสัญญาณ -51 dBm ถึง -60 dBm

y	x1	x2	x3
2.2	2	-55	100
2.35	2	-60	100
4.55	4	-55	100
5.6	4	-60	100
7.25	6	-55	100
20.8	6	-60	100
10.1	8	-55	100

y	x1	x2	x3
39.8	8	-60	100
11.6	10	-55	100
2.15	2	-55	100
2.3	2	-60	100
4.45	4	-55	100
5.4	4	-60	100
7.15	6	-55	100

y	x1	x2	x3
20.7	6	-60	100
9.9	8	-55	100
46.3	8	-60	100
11.5	10	-55	100
60.85	10	-60	100



ตารางเปรียบเทียบ สรุปค่า Durbin-Watson Statistic ของแบบจำลองต่างๆ

แบบจำลอง		ค่าสถิติ
แบบจำลองเดิม ที่แบ่งตามความแรงสัญญาณ		
Overlap <100%		
(-41 dBm) – (-50 dBm)	$Y = (-5.309) + 0.663X_1 + (-0.096)X_2 + 0.028X_3$	$R^2 = 0.868708$ $R = 0.86670$ $AIC = 2.423$ $F \text{ test} = 432.28$ $Durbin-Watson = 0.61494$
(-51 dBm) – (-60 dBm)	$Y = (-16.996) + 0.908X_1 + (-0.265)X_2 + 0.051X_3$	$R^2 = 0.757222$ $R = 0.75351$ $AIC = 3.952$ $F \text{ test} = 203.77$ $Durbin-Watson = 1.47375$
(-61 dBm) – (-70 dBm)	$Y = (-69.496) + 1.903X_1 + (-0.957)X_2 + 0.090X_3$	$R^2 = 0.774603$ $R = 0.77115$ $AIC = 5.362$ $F \text{ test} = 224.53$ $Durbin-Watson = 1.48055$

(-71 dBm) – (-80 dBm)	$Y = (-12.2) + 3.911X_1 + 0.2X_3$	$R^2 = 0.829803$ $R = 0.82629$ $AIC = 6.352$ $F \text{ test} = 236.46$ $\text{Durbin-Watson} = 1.44248$
Overlap = 100%		
(-41 dBm) – (-50 dBm)	$Y = (-3.364) + 0.826X_1 + (-0.074)X_2$	$R^2 = 0.983423$ $R = 0.98147$ $AIC = 0.757$ $F \text{ test} = 504.27$ $\text{Durbin-Watson} = 0.83553$
(-51 dBm) – (-60 dBm)	$Y = (-207.518) + 3.957X_1 + (-3.47)X_2$	$R^2 = 0.675000$ $R = 0.63437$ $AIC = 7.603$ $F \text{ test} = 16.62$ $\text{Durbin-Watson} = 2.89221$
แบบจำลองที่สร้างขึ้นใหม่ แบ่งตาม %Overlap		
Overlap = 0%	$Y = -1.2335 + (-0.1514)X_1 + (-0.0016)X_2$	$R^2 = 0.893021$ $R = 0.89146$ $AIC = -1.093$ $F \text{ test} = 571.81$ $\text{Durbin-Watson} = 2.19012$

Overlap = 5%	$Y = -1.5760 + (-0.1432)X_1 + (-0.0015)X_2$	$R^2 = 0.799109$ $R = 0.79618$ $AIC = -.512$ $F \text{ test} = 272.48$ $\text{Durbin-Watson} = 1.21670$
Overlap = 25%	$Y = 1.9855 + (0.002009)X_1 + (-0.0002689)X_2$	$R^2 = 0.910640$ $R = 0.90934$ $AIC = -1.577$ $F \text{ test} = 698.06$ $\text{Durbin-Watson} = 1.52414$
Overlap = 50%	$Y = 2.3838 + (0.01628)X_1 + (-0.0001502)X_2$	$R^2 = 0.884450$ $R = 0.88276$ $AIC = -1.292$ $F \text{ test} = 524.32$ $\text{Durbin-Watson} = 1.78530$
Overlap = 75%	$Y = 1.6989 + (-0.003928)X_1 + (-0.0003002)X_2$	$R^2 = 0.900683$ $R = 0.89923$ $AIC = -1.590$ $F \text{ test} = 621.21$ $\text{Durbin-Watson} = 1.57415$
Overlap = 100%	$Y = -4.1707 + (-0.2462)X_1 + (-0.002814)X_2$	$R^2 = 0.75047$ $AIC = -0.777$ $F \text{ test} = 115.29$ $\text{Durbin-Watson} = 0.86537$

ตาราง Correlation ของแบบจำลอง

แบบจำลองเดิม ที่แบ่งตามความแรงสัญญาณ																											
Overlap <100%	(-41 dBm) – (-50 dBm) Correlation Matrix for Listed Variables	$Y = (-5.309) + 0.663X_1 + (-0.096)X_2 + 0.028X_3$ <table><tr><td></td><td>Y</td><td>X1</td><td>X2</td><td>X3</td></tr><tr><td>Y</td><td>1.00000</td><td>.85344</td><td>-.10940</td><td>.35831</td></tr><tr><td>X1</td><td>.85344</td><td>1.00000</td><td>.00000</td><td>.00000</td></tr><tr><td>X2</td><td>-.10940</td><td>.00000</td><td>1.00000</td><td>.00000</td></tr><tr><td>X3</td><td>.35831</td><td>.00000</td><td>.00000</td><td>1.00000</td></tr></table>		Y	X1	X2	X3	Y	1.00000	.85344	-.10940	.35831	X1	.85344	1.00000	.00000	.00000	X2	-.10940	.00000	1.00000	.00000	X3	.35831	.00000	.00000	1.00000
		Y	X1	X2	X3																						
	Y	1.00000	.85344	-.10940	.35831																						
	X1	.85344	1.00000	.00000	.00000																						
	X2	-.10940	.00000	1.00000	.00000																						
X3	.35831	.00000	.00000	1.00000																							
(-51 dBm) – (-60 dBm) Correlation Matrix for Listed Variables	$Y = (-16.996) + 0.908X_1 + (-0.265)X_2 + 0.051X_3$ <table><tr><td></td><td>Y</td><td>X1</td><td>X2</td><td>X3</td></tr><tr><td>Y</td><td>1.00000</td><td>.73921</td><td>-.19063</td><td>.41767</td></tr><tr><td>X1</td><td>.73921</td><td>1.00000</td><td>.00000</td><td>.00000</td></tr><tr><td>X2</td><td>-.19063</td><td>.00000</td><td>1.00000</td><td>.00000</td></tr><tr><td>X3</td><td>.41767</td><td>.00000</td><td>.00000</td><td>1.00000</td></tr></table>		Y	X1	X2	X3	Y	1.00000	.73921	-.19063	.41767	X1	.73921	1.00000	.00000	.00000	X2	-.19063	.00000	1.00000	.00000	X3	.41767	.00000	.00000	1.00000	
	Y	X1	X2	X3																							
Y	1.00000	.73921	-.19063	.41767																							
X1	.73921	1.00000	.00000	.00000																							
X2	-.19063	.00000	1.00000	.00000																							
X3	.41767	.00000	.00000	1.00000																							
(-61 dBm) – (-70 dBm) Correlation Matrix for Listed Variables	$Y = (-69.496) + 1.903X_1 + (-0.957)X_2 + 0.090X_3$ <table><tr><td></td><td>Y</td><td>X1</td><td>X2</td><td>X3</td></tr><tr><td>Y</td><td>1.00000</td><td>.73879</td><td>-.32824</td><td>.34791</td></tr><tr><td>X1</td><td>.73879</td><td>1.00000</td><td>.00000</td><td>.00000</td></tr><tr><td>X2</td><td>-.32824</td><td>.00000</td><td>1.00000</td><td>.00000</td></tr><tr><td>X3</td><td>.34791</td><td>.00000</td><td>.00000</td><td>1.00000</td></tr></table>		Y	X1	X2	X3	Y	1.00000	.73879	-.32824	.34791	X1	.73879	1.00000	.00000	.00000	X2	-.32824	.00000	1.00000	.00000	X3	.34791	.00000	.00000	1.00000	
	Y	X1	X2	X3																							
Y	1.00000	.73879	-.32824	.34791																							
X1	.73879	1.00000	.00000	.00000																							
X2	-.32824	.00000	1.00000	.00000																							
X3	.34791	.00000	.00000	1.00000																							
(-71 dBm) – (-80 dBm) Correlation Matrix for Listed Variables	$Y = (-12.2) + 3.911X_1 + 0.2X_3$ <table><tr><td></td><td>Y</td><td>X1</td><td>X3</td></tr><tr><td>Y</td><td>1.00000</td><td>.81151</td><td>.41382</td></tr><tr><td>X1</td><td>.81151</td><td>1.00000</td><td>.00000</td></tr><tr><td>X3</td><td>.41382</td><td>.00000</td><td>1.00000</td></tr></table>		Y	X1	X3	Y	1.00000	.81151	.41382	X1	.81151	1.00000	.00000	X3	.41382	.00000	1.00000										
	Y	X1	X3																								
Y	1.00000	.81151	.41382																								
X1	.81151	1.00000	.00000																								
X3	.41382	.00000	1.00000																								
Overlap = 100%	(-41 dBm) – (-50 dBm) Correlation Matrix for Listed Variables	$Y = (-3.364) + 0.826X_1 + (-0.074)X_2$ <table><tr><td></td><td>Y</td><td>X1</td><td>X2</td></tr><tr><td>Y</td><td>1.00000</td><td>.98858</td><td>-.07832</td></tr><tr><td>X1</td><td>.98858</td><td>1.00000</td><td>.00000</td></tr><tr><td>X2</td><td>-.07832</td><td>.00000</td><td>1.00000</td></tr></table>		Y	X1	X2	Y	1.00000	.98858	-.07832	X1	.98858	1.00000	.00000	X2	-.07832	.00000	1.00000									
	Y	X1	X2																								
Y	1.00000	.98858	-.07832																								
X1	.98858	1.00000	.00000																								
X2	-.07832	.00000	1.00000																								

	(-51 dBm) – (-60 dBm) Correlation Matrix for Listed Variables	$Y = (-207.518) + 3.957X_1 + (-3.47)X_2$		
		Y	X1	X2
		Y	1.00000	.84186
		X1	.84186	1.00000
		X2	.00000	.00000
แบบจำลองที่สร้างขึ้นใหม่ แบ่งตาม %Overlap				
Overlap = 0% Correlation Matrix for Listed Variables	$Y = -1.2335 + (-0.1514)X_1 + (-0.0016)X_2$			
	Y1	X1	X2	
	Y1	1.00000	-.89705	.00000
	X1	-.89705	1.00000	.00000
	X2	.00000	.00000	.00000
Overlap = 5% Correlation Matrix for Listed Variables	$Y = -1.5760 + (-0.1432)X_1 + (-0.0015)X_2$			
	Y1	X1	X2	
	Y1	1.00000	-.82215	.00000
	X1	-.82215	1.00000	.00000
	X2	.00000	.00000	.00000
Overlap = 25% Correlation Matrix for Listed Variables	$Y = 1.9855 + (0.002009)X_1 + (-0.0002689)X_2$			
	Y1	X1	X2	
	Y1	1.00000	-.95208	.00000
	X1	-.95208	1.00000	.00000
	X2	.00000	.00000	.00000
Overlap = 50% Correlation Matrix for Listed Variables	$Y = 2.3838 + (0.01628)X_1 + (-0.0001502)X_2$			
	Y1	X1	X2	
	Y1	1.00000	-.93978	.00000
	X1	-.93978	1.00000	.00000
	X2	.00000	.00000	.00000
Overlap = 75% Correlation Matrix for Listed Variables	$Y = 1.6989 + (-0.003928)X_1 + (-0.0003002)X_2$			
	Y1	X1	X2	
	Y1	1.00000	-.94595	.00000
	X1	-.94595	1.00000	.00000
	X2	.00000	.00000	.00000
Overlap = 100% Correlation Matrix for Listed Variables	$Y = -4.1707 + (-0.2462)X_1 + (-0.002814)X_2$			
	Y1	X1	X2	
	Y1	1.00000	.84186	.00000
	X1	.84186	1.00000	.00000
	X2	.00000	.00000	.00000