



รายงานการวิจัย

การศึกษาออกแบบความสัมพันธ์แบบจำลองความจุช่องสัญญาณ
กับแบบรูปสายอากาศสำหรับช่องสัญญาณแบบมัลติอินพุต-มัลติเอาต์พุต

RELATIONS BETWEEN CHANNEL CAPACITY AND ANTENNA
RADIATION PATTERN FOR MULTIPLE-INPUT MULTIPLE-
OUTPUT SYSTEMS

ได้รับทุนอุดหนุนจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

600254604

SUT7-709-52-12-36

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



249194



รายงานการวิจัย

การศึกษาออกแบบความสัมพันธ์แบบจำลองความจุช่องสัญญาณ
กับแบบรูปสายอากาศสำหรับช่องสัญญาณแบบมัลติอินพุท-มัลติเอาต์พุท

**RELATIONS BETWEEN CHANNEL CAPACITY AND ANTENNA
RADIATION PATTERN FOR MULTIPLE-INPUT MULTIPLE-
OUTPUT SYSTEMS**

คณะผู้วิจัย



หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญชัย ทองโสภณ

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2551

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถดำเนินการได้และได้รับผลสำเร็จบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ทุกประการ โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ปีงบประมาณ พ.ศ. 2551 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและขอขอบคุณ ดร.อภิชาติ อินทรพานิชย์ ซึ่งเป็นผู้ให้คำปรึกษา ให้ข้อมูลและให้คำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย คุณประพล จาระตะกู วิศวกรศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ช่วยอำนวยความสะดวกทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบ คุณชนเสฏฐ์ ทศศิกรพัฒน์ และคุณจรินทร์ศักดิ์ แซ่เตียว ที่ช่วยทำการวัดทดสอบงานวิจัยรวมถึงการจัดรูปเล่มรายงานการวิจัยครั้งนี้

ชาญชัย ทองโสภ

ตุลาคม 2552

ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาเทคนิคต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานระบบการสื่อสารไร้สาย อาทิ การใช้ความถี่ซ้ำ การใช้สายอากาศแบบหลายองค์ประกอบ เป็นต้น และ การใช้สายอากาศแบบหลายองค์ประกอบ ก็เป็นเทคนิคหนึ่งที่สามารถเพิ่มความสามารถของระบบการสื่อสารไร้สายได้ โดยไม่ต้องการย่านความถี่เพิ่ม สำหรับเทคนิคด้านสายอากาศที่เรียกว่า ระบบมัลติเพิลอินพุท-ซิงเกิลเอาต์พุท เป็นระบบที่ใช้สายอากาศหลาย ๆ องค์ประกอบ ทั้งในด้านส่งและด้านรับ โดยเป็นเทคนิคในการเพิ่มความสามารถในการรับส่งข้อมูลในระบบไร้สาย โดยความจุช่องสัญญาณจะเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้น ตามจำนวนของสายอากาศที่เพิ่มขึ้น

งานวิจัยนี้ เป็นการนำเสนอการศึกษาพัฒนาแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุช่องสัญญาณกับแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ สำหรับระบบมัลติเพิลอินพุท-มัลติเพิลเอาต์พุท โดยอาศัยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ซึ่งความจุช่องสัญญาณที่พิจารณาจะเป็นตัวแปรสุ่ม โดยอาศัยการหาค่าส่วนเติมเต็มของฟังก์ชันการแจกแจงสะสม ซึ่งนำไปสู่การทดสอบผลของแบบจำลองด้วยการวัดค่าช่องสัญญาณ โดยอาศัยเครื่องมือวัด และใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาลักษณะของแบบรูปการแผ่พลังงาน และชนิดของสายอากาศที่ทำให้ค่าความจุช่องสัญญาณเพิ่มขึ้น สำหรับสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ซึ่งจากแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุช่องสัญญาณกับแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่นำเสนอนี้พบว่า สายอากาศแบบมีทิศทางนั้นสามารถช่วยเพิ่มค่าความจุช่องสัญญาณได้มากกว่าสายอากาศรูปแบบอื่นเมื่อพิจารณาในสภาวะแวดล้อมภายนอกอาคาร

Abstract

249194

The development of new technique in pass few years that solve problem of wireless communication system limitation such as a frequency reused and Multi-Element Array: MEA is discovered. The MEAs technique can increase channel capacity with the same bandwidth. MIMO is one of technique using more antennas for a transmitter and a receiver to increase channel capacity. The channel capacity of this technique will be linearly increased with number of antenna.

This research presents a model to study the relation between the channels capacity and antenna radiation pattern using numerical method for multiple input-multiple output (MIMO) by using numerical method. And Channel capacity is observed by a Complementary Cumulative Distribution Function (CCDF). This leads to a test of the model by measuring the signal by the instrument. The antenna type that make up the channel capacity increases. For various conditions which model the relationship between the channel capacities with the radiation pattern of the antenna was found. From our propose model show that the directional antenna can improve the MIMO capacity in outdoor scenario, when the directional antenna is in proper direction. Directional antenna can increase the capacity of the channel over the antenna pattern when the outdoor environment. Finally, this model will test with measurement tools in difference antenna configuration and environment. The model of the relationship between the channel capacity with the radiation pattern of the antenna was found that the directional antenna can be increased the channel capacity more than the isotropic and dipole antennas when consider with the outdoor environment.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ

บทที่

1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของเรื่อง.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 ปรัชญาหรือค่านิยมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
1.6.1 งานวิจัยที่ศึกษาแบบจำลองช่องสัญญาณระบบมัลติเฟลอินพุท- มัลติเฟลเอาต์พุท.....	4
1.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับความจุของระบบมัลติเฟลอินพุท-มัลติเฟล เอาต์พุท	5
1.6.3 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติมิวชวลคัปปลิงที่มีผลกับความจุ ช่องสัญญาณระบบมัลติเฟลอินพุท-มัลติเฟลเอาต์พุท.....	5
2 ทฤษฎีพื้นฐาน	8
2.1 บทนำ	8
2.2 กระบวนการเชิงสุ่ม	8
2.2.1 ตัวแปรสุ่ม.....	8

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.2	ค่าเฉลี่ย.....10
2.2.3	ค่าอัตราสัมพันธ์.....11
2.2.4	ค่าอัตราโคเวเรียนซ์.....11
2.2.5	สหสัมพันธ์ไขว้.....12
2.2.6	คุณสมบัติเออร์โกดิก.....12
2.3	ทฤษฎีข่าวสาร.....13
2.3.1	การนิยามปริมาณข่าวสาร.....14
2.3.2	การนิยามปริมาณเอนโทรปี.....14
2.3.3	แบบจำลองช่องสัญญาณ.....15
2.3.4	ข่าวสารร่วม.....17
2.3.5	ความจุช่องสัญญาณ.....20
2.3.6	เอนโทรปีสำหรับแหล่งกำเนิดข่าวสารแบบต่อเนื่อง.....21
2.3.7	แหล่งกำเนิดข่าวสารที่มีเอนโทรปีสูงสุด.....23
2.3.8	ข่าวสารร่วมสำหรับตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่อง.....25
2.3.9	ทฤษฎีความจุช่องสัญญาณ.....26
2.4	ทฤษฎีสายอากาศเบื้องต้น.....28
2.4.1	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ.....28
2.4.2	แบบรูปสายอากาศ.....30
2.4.3	แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นหลัก.....31
2.4.4	พูของการแผ่พลังงาน.....33
2.4.5	บริเวณต่างๆของสนามจากสายอากาศ.....33
2.4.6	เรเดียนและสเตอเรเดียน.....34
2.4.7	ความกว้างลำคลื่นกำลัง.....35
2.4.8	ความหนาแน่นของการแผ่พลังงานของคลื่น.....35
2.4.9	ความเข้มของการแผ่พลังงาน.....37
2.4.10	สภาพเจาะจงทิศทาง.....38
2.4.11	อัตราขยายของสายอากาศ.....42

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.12 ประสิทธิภาพของสายอากาศ	44
2.4.13 ประสิทธิภาพของลำคลื่น	45
2.4.14 โพลาริเซชัน	45
2.5 สรุป	50
3 ทฤษฎีแบบจำลองระบบมัลติเพล็กซ์-มัลติเพลเอท์พุท	51
3.1 บทนำ	51
3.2 แบบจำลองระบบเบื้องต้น	51
3.3 แบบจำลองช่องสัญญาณ	53
3.3.1 แบบจำลองช่องสัญญาณแบบมีความอิสระต่อกันและมี การแจกแจงเหมือนกัน	53
3.3.2 แบบจำลองช่องสัญญาณแบบ “One-Ring”	54
3.3.3 แบบจำลองช่องสัญญาณเชิงพื้นที่	56
3.4 ความจุช่องสัญญาณ	57
3.4.1 ค่าความจุของระบบซิงเกิลอินพุท-ซิงเกิลเอาท์พุท	59
3.4.2 ค่าความจุของระบบซิงเกิลอินพุท-มัลติเพลเอท์พุทและระบบ มัลติเพลอินพุท-ซิงเกิลเอาท์พุท	59
3.5 ความจุช่องสัญญาณระบบมัลติเพลอินพุท-มัลติเพลเอท์พุท	62
3.5.1 กรณีที่ไม่ทราบข้อมูลช่องสัญญาณของภาคส่ง (เงื่อนไขกำลังงาน มีค่าเท่ากัน)	62
3.5.2 กรณีที่เราทราบข้อมูลช่องสัญญาณของภาคส่ง (เงื่อนไขกำลังงาน แบบวอเตอร์ฟิลลิ่ง)	65
3.6 การวัดประสิทธิภาพระบบมัลติเพลอินพุท-มัลติเพลเอท์พุท	66
3.7 สรุป	68
4 การพัฒนาแบบจำลองระบบมัลติเพลอินพุท-มัลติเพลเอท์พุท	70
4.1 บทนำ	70

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การวิเคราะห์และพัฒนาแบบจำลองความจุช่องสัญญาณ.....	70
4.2.1 แบบจำลองสำหรับแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสองมิติ.....	70
4.2.2 แบบจำลองสำหรับแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศสามมิติ.....	74
4.3 สรุป.....	76
5 ผลการจำลองแบบและการวัดผล	77
5.1 บทนำ	77
5.2 ข้อมูลแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศ.....	77
5.3 ผลการจำลองแบบโดยพิจารณาแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ.....	85
5.3.1 ผลการจำลองแบบสำหรับแบบจำลองแบบสองมิติ.....	85
5.3.2 ผลการจำลองแบบสำหรับแบบจำลองแบบสามมิติ.....	91
5.4 การวัดผลแบบจำลอง.....	100
5.4.1 การวัดผลแบบจำลองในสภาวะภายในและภายนอกอาคาร	100
5.4.2 ผลการวัดค่าความจุช่องสัญญาณในสภาวะภายในและภายนอกอาคาร....	102
5.5 สรุป.....	104
6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	105
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	105
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	106
รายการอ้างอิง.....	107
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา	109
ประวัติผู้เขียน	116

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1	ค่าความจุของช่องสัญญาณ $C_{om,0.1}$ ที่ได้จากการจำลองแบบ สำหรับการแจกแจงแบบ เอกรูปและการแจกแจงแบบลาปลาเซียน เมื่อใช้สายอากาศชนิดต่าง ๆ99
5.2	ค่าอัตราขยายและความสูญเสียของระบบที่ใช้ในการวัด102
5.3	ค่าความจุของช่องสัญญาณของสายอากาศ Dipole และ Yagi-Uda ทั้งในสภาวะแวดล้อมภายในและภายนอกอาคาร เมื่อเปรียบเทียบกับ สายอากาศแบบ Isotropic104

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	แบบจำลองช่องสัญญาณแบบไม่มีความจำ16
2.2	แผนภาพเวกเตอร์แสดงค่าต่าง ๆ ของข่าวสารในระบบการสื่อสาร20
2.3	ระบบพิกัดที่ใช้แสดงคุณสมบัติของการแผ่พลังงานของคลื่น30
2.4	แบบรูปของสายอากาศแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว.....31
2.5	แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นหลัก ระนาบ E และ H ของสายอากาศปากแตร32
2.6	แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ.....33
2.7	การแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศ.....34
2.8	แสดงคำจำกัดความของเรเดียน และ สเตอเรเดียน35
2.9	มุมตันของลำคลื่นซึ่งแบบรูปของการแผ่พลังงานของคลื่นที่ไม่สมมาตรและสมมาตร.....41
2.10	ขั้วอ้างอิง และการสูญเสียของสายอากาศ.....43
2.11	ลักษณะของโพลาริเซชัน46
2.12	เวกเตอร์หนึ่งหน่วยสำหรับ โพลาริเซชันของคลื่นและของสายอากาศ50
3.1	แบบจำลองระบบมัลติเพิลอินพุท-มัลติเพิลเอาต์พุท54
3.2	แบบจำลองช่องสัญญาณแบบ “One-Ring”56
3.3	แบบจำลองช่องสัญญาณเชิงพื้นที่สำหรับระบบ MIMO ขนาด 2×257
3.4	แบบจำลองช่องสัญญาณระบบซิงเกิลอินพุท-ซิงเกิลเอาต์พุท60
3.5	แบบจำลองช่องสัญญาณระบบซิงเกิลอินพุท-มัลติเพิลเอาต์พุท61
3.6	แบบจำลองช่องสัญญาณระบบมัลติเพิลอินพุท-ซิงเกิลเอาต์พุท61
3.7	เปรียบเทียบค่าสัดส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนกับค่าความจุช่องสัญญาณของระบบ SISO SIMO และ MISO62
3.8	ช่องสัญญาณแบบไอเคน65
3.9	ช่องสัญญาณแบบวอเตอร์ฟิลลิ่ง67
3.10	ค่า CDF ของความจุช่องสัญญาณ 2×2 MIMO แบบ i.i.d. ที่ SNR = 10 dB68
3.11	ค่า CCDF ของความจุช่องสัญญาณ 2×2 MIMO แบบ i.i.d. ที่ SNR = 10 dB69
4.1	ค่ามุมและระนาบในลักษณะสามมิติ73
4.2	อัตรายายสัญญาณและอัตรายายสายอากาศที่พิจารณาในระนาบแนวนอน.....74

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3	อัตราขยายสัญญาณและอัตราขยายสายอากาศที่พิจารณาในระนาบสามมิติ.....76
5.1	โครงสร้างสายอากาศไดโพลจากโปรแกรม SuperNEC.....79
5.2	โครงสร้างสายอากาศยาก็อูคะห้วงค์ประกอบจากโปรแกรม SuperNEC79
5.3	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบไดโพล.....80
5.4	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบยาก็อูคะห้วงค์ประกอบ.....80
5.5	แบบรูปการแผ่พลังงานสองมิติของสายอากาศแบบไดโพล.....81
5.6	แบบรูปการแผ่พลังงานสามมิติของสายอากาศแบบไดโพล.....82
5.7	แบบรูปการแผ่พลังงานสองมิติของสายอากาศแบบยาก็อูคะห้วงค์ประกอบ.....82
5.8	แบบรูปการแผ่พลังงานสามมิติของสายอากาศแบบยาก็อูคะห้วงค์ประกอบ.....83
5.9	ข้อมูลแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ.....83
5.10	แบบรูปการแผ่พลังงานสองมิติแบบนอร์มอลไลซ์สำหรับสายอากาศแบบไดโพล และยาก็อูคะห้วงค์ประกอบ.....85
5.11	แบบรูปการแผ่พลังงานสามมิติแบบนอร์มอลไลซ์สำหรับสายอากาศไดโพล.....85
5.12	แบบรูปการแผ่พลังงานสามมิติแบบนอร์มอลไลซ์สำหรับสายอากาศยาก็อูคะ ห้วงค์ประกอบ.....86
5.13	การกระจายของสัญญาณที่มีการแจกแจงแบบเอกรูป.....87
5.14	การกระจายทิศทางของของสัญญาณที่สายอากาศภาครับที่มีการแจกแจงแบบเอกรูป.....87
5.15	การกระจายของสัญญาณที่มีการแจกแจงแบบลาปลาเซียน.....88
5.16	การกระจายทิศทางของของสัญญาณที่สายอากาศภาครับที่มีการแจกแจงแบบ ลาปลาเซียน.....88
5.17	ขั้นตอนการจำลองแบบสำหรับแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสองมิติ.....89
5.18	ความจุช่องสัญญาณ CCDF สำหรับการแจกแจงแบบเอกรูปที่มุม $\theta = 90, \phi = 0$90
5.19	ความจุช่องสัญญาณ CCDF สำหรับการแจกแจงแบบลาปลาเซียนที่มุม $\theta = 90, \phi = 0$91
5.20	ความจุช่องสัญญาณ CCDF สำหรับการแจกแจงแบบลาปลาเซียนที่มุม $\theta = 90, \phi = 60$91
5.21	ทิศทางของสัญญาณที่เข้ามาที่สายอากาศในระนาบแนวนอน.....93
5.22	ทิศทางของสัญญาณที่เข้ามาที่สายอากาศในระนาบแนวตั้ง.....93

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.23 การกระจายของสัญญาณที่ด้านรับแบบสามมิติที่มีการแจกแจงแบบเอกรูป	94
5.24 การกระจายของสัญญาณที่ด้านรับแบบสามมิติที่มีการแจกแจงแบบลาปลาเซียน	94
5.25 ขั้นตอนการจำลองแบบสำหรับแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสามมิติ	95
5.26 ความจุช่องสัญญาณ $C_{out,0.1}$ ของสายอากาศแบบไอโซทรอปิกในทิศทางต่าง ๆ สำหรับการแจกแจงแบบเอกรูป	96
5.27 ความจุช่องสัญญาณ $C_{out,0.1}$ ของสายอากาศแบบไอโซทรอปิกในทิศทางต่าง ๆ สำหรับการแจกแจงแบบลาปลาเซียน	97
5.28 ความจุช่องสัญญาณ $C_{out,0.1}$ ของสายอากาศแบบไดโพลในทิศทางต่าง ๆ สำหรับการแจกแจงแบบเอกรูป	98
5.29 ค่าความจุช่องสัญญาณ $C_{out,0.1}$ ของสายอากาศแบบไดโพลในทิศทางต่าง ๆ สำหรับการแจกแจงแบบลาปลาเซียน	98
5.30 ค่าความจุช่องสัญญาณ $C_{out,0.1}$ ของสายอากาศแบบยาგიอูคะห้ำองค้ประกอบ ในทิศทางต่าง ๆ สำหรับการแจกแจงแบบเอกรูป	99
5.31 ค่าความจุช่องสัญญาณ $C_{out,0.1}$ ของสายอากาศแบบยาგიอูคะห้ำองค้ประกอบ ในทิศทางต่าง ๆ สำหรับการแจกแจงแบบลาปลาเซียน	99
5.32 แผนภาพแสดงการเชื่อมต่อระบบที่ใช้ในการวัดค่าสัญญาณ	102
5.33 ชุดอุปกรณ์วัดค่าช่องสัญญาณ	102
5.34 ความจุช่องสัญญาณ $C_{out,0.1}$ ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารเปรียบเทียบระหว่าง สายอากาศแบบต่างๆ	104
5.35 ความจุช่องสัญญาณ $C_{out,0.1}$ ในสภาวะแวดล้อมภายนอกอาคารเปรียบเทียบระหว่าง สายอากาศแบบต่างๆ	104