

การศึกษาสมรรถนะของสายอากาศแก่งโดยใช้ตัวจำลองแบบ



นางสาวมนต์ทิพย์ภา อินทรารุธ

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-332-927-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- 8 ส.ค. 2544

119428333

PERFORMANCE STUDY OF A SMART ANTENNA USING A SIMULATOR



Miss Monthippa Indravuth

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering**

Graduate School

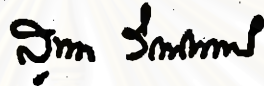
Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-332-927-7

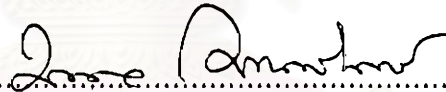
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาสมรรถนะของสายอากาศแก่งโดยใช้ตัวจำลองแบบ
โดย นางสาวมนต์ทิพย์ภา อินทราวุธ
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย ไวยาพัฒนกร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กิระนันท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



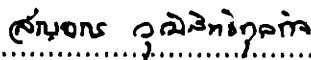
.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.มงคล เดชนครินทร์)



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย ไวยาพัฒนกร)



.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทัพบิม อ่างแก้ว)



.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ลัดณงกร วุฒิสิริกุลกิจ)

มนตรีพิทยา อินทราชู : การศึกษาสมรรถนะของสายอากาศแ่งโดยใช้ตัวจำลองแบบ (PERFORMANCE STUDY OF A SMART ANTENNA USING A SIMULATOR) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร.ฉัตรชัย ไวยาพัฒน์กร; 125 หน้า. ISBN 974-332-927-7

ปัญหาอันเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้ใช้บริการในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบไร้สายในปัจจุบันและความไม่เพียงพอของทรัพยากรความถี่ที่มีอยู่จำกัดจึงจำเป็นต้องมีการแก้ไข สายอากาศแ่งคือ คำตอบหนึ่งของปัญหาเนื่องจากเมื่อมีการใช้สายอากาศแ่งที่สถานีฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบไร้สายจะทำให้สามารถเพิ่มความถี่ซ้ำและลดขนาดของเซลล์ในระบบลงได้โดยไม่มีผลกระทบเนื่องจากสัญญาณรบกวนจากเซลล์ที่ใช้ความถี่ซ้ำกัน ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ศึกษาสมรรถนะของสายอากาศแ่งโดยใช้ตัวจำลองแบบเพื่อส่งมอบองค์ความรู้สำหรับการพัฒนาระบบให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

ระบบของสายอากาศแ่งประกอบด้วยส่วนหลัก 2 ส่วน คือสายอากาศและระบบประมวลผลสัญญาณ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้สายอากาศไมโครสตริปแ่งลำดับเชิงเส้น 8 องค์ประกอบ ส่วนระบบประมวลผลใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบค่ากำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด และแบบ Howells-Applebaum การทดสอบสมรรถนะของตัวจำลองแบบทำการสร้างสถานการณ์ที่เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นแล้วจึงเก็บข้อมูลทั้ง 8 องค์ประกอบของสายอากาศแ่งลำดับไปประมวลผลสัญญาณด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อกำหนดน้ำหนักที่เหมาะสมให้กับสัญญาณทั้ง 8 องค์ประกอบ ผลตอบที่สนใจคือแบบรูปการแผ่พลังงานในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการและสัญญาณรบกวน

จากการทดสอบสมรรถนะตัวจำลองแบบของสายอากาศแ่งเทียบกับทางทฤษฎี พบว่าความสามารถของสายอากาศแ่งขึ้นอยู่กับส่วนประกอบหลักทั้งสอง และผลของมิววลคัปปลิงที่เกิดขึ้นกระทบต่อความสามารถในการปรับเปลี่ยนลำคลื่นของสายอากาศ หรืออีกนัยหนึ่งคือความสามารถในการลดผลกระทบเนื่องจากสัญญาณรบกวน แต่ปัญหานี้บรรเทาได้ด้วยวิธีชดเชยผลมิววลคัปปลิงที่ผู้วิจัยได้เสนอไว้ในวิทยานิพนธ์ สำหรับขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นพบว่าขั้นตอนวิธีแบบ Howells-Applebaum มีประสิทธิภาพในการก่อรูปลำคลื่นไปในทิศทางที่ต้องการสูงกว่าขั้นตอนวิธีแบบค่ากำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด ดังนั้นประสิทธิภาพสูงสุดของสายอากาศแ่งเมื่อใช้สายอากาศแ่งลำดับชนิดหนึ่งๆ เกิดขึ้นเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum ร่วมกับการชดเชยผลเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลคัปปลิงของสายอากาศ

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

##4070379521 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: SMART ANTENNA /BEAMFORMING ALGORITHM

MONTHIPPA INDRAVUTH : PERFORMANCE STUDY OF A SMART ANTENNA
USING A SIMULATOR. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. CHATCHAI
WAIYAPATTANAKORN, Ph.D. 125 pp. ISBN 974-332-927-7

The present increasing trend of the number of users of the mobile telephone system causes concern on the insufficiency of the limited frequency spectrum resource. A smart antenna is a solution to this problem. Using the smart antenna at the base station results in greater frequency reusability and decrease in the cell's size without detrimental effects due to co-channel interference. This thesis studies the performances of the smart antenna by using a simulator in order to accrue knowledge for future development of better systems.

The smart antenna consists of two principal parts: the antenna and the signal processing unit. For the antenna, the microstrip linear array of eight elements is used. For signal processing, the LMS and the Howells-Applebaum algorithms are employed. In testing performances of the simulator, data from all 8 elements are collected amidst interference and further processed for obtaining the optimum weights, then applied to control the signal magnitude and phase in each element. Results are presented in the form of radiation pattern in the desired and undesired directions.

It was found that the capability of the smart antenna depends upon the two principal parts: the antenna and the signal processing unit. The mutual coupling effects on the array antenna has significantly degraded the capability in beam steering. This is alleviated by the method of mutual coupling compensation proposed in this thesis. In the signal processing aspect, the Howells-Applebaum algorithm is more efficient in beam steering to the desired directions than the LMS algorithm. Finally the smart antenna can reach its best when the Howells-Applebaum is used together with the mutual coupling compensation method.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....

ปีการศึกษา.....2542.....

ลายมือชื่อนิสิต..........

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..........

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย ไวยาทพัฒนกร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร.มงคล เดชนครินทร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทับทิม อ่างแก้ว และ อาจารย์ ดร.ลัญจกร วุฒิสัทธาฤทธิกุล ที่ได้กรุณาสละเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คุณพีระพงษ์ อุทาสกุล ที่เป็นกำลังใจให้ผู้วิจัยและเอื้อเฟื้อแรงงานในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ฝ่ายอาคารสถานที่ และ ฝ่ายซ่อมบำรุง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และไฟฟ้าในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ โครงการสนับสนุนผู้มีความสามารถพิเศษในการเป็นอาจารย์ ทบวงมหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทางด้านทุนการศึกษา

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ที่ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าสื่อสารทุกคนที่ให้คำแนะนำ และ ช่วยเหลือผู้วิจัยตลอดมา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ ภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อ ภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 แนวเหตุผล.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตของโครงการวิทยานิพนธ์.....	3
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.6 ค่าโครงของวิทยานิพนธ์.....	4
2 หลักการพื้นฐานของสายอากาศแก่ง.....	5
2.1 ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่น.....	6
2.1.1 ขั้นตอนวิธีแบบค่ากำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด.....	7
2.1.2 ขั้นตอนวิธีแบบ Howells-Applebaum.....	10
2.2 ขั้นตอนวิธีในการปรับตัว.....	13
2.2.1 ขั้นตอนวิธีแบบ SMI.....	14
2.2.2 ขั้นตอนวิธีแบบ RLS.....	15
2.3 วิธีในการประมาณทิศทางมาถึงของสัญญาณ.....	15
2.3.1 วิธี Bartlett.....	16
2.3.2 ตัวประมาณแบบ MVDR.....	16

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.3.3 วิธี MUSIC.....	17
2.4 ดัชนีความเก่ง.....	18
2.5 ผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวฮวลด์ปปลิง	21
2.6 การชดเชยผลเนื่องจากปรากฏการณ์มิวฮวลด์ปปลิง.....	25
3 การจำลองแบบเพื่อทดสอบสมรรถนะของสายอากาศเก่ง	31
3.1 สายอากาศที่ใช้ในการจำลองแบบ	32
3.2 สมรรถนะในการปรับเปลี่ยนลำคลื่นและตำแหน่งศูนย์ของสายอากาศเก่งกรณีอุดมคติ	34
3.3 ผลกระทบเนื่องจากปรากฏการณ์มิวฮวลด์ปปลิงที่มีต่อการปรับเปลี่ยนลำคลื่น ของสายอากาศเก่ง	45
3.4 สมรรถนะของสายอากาศเก่งกับการเพิ่มประสิทธิภาพของ ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบรังผึ้ง.....	51
3.5 สมรรถนะในการประมาณทิศทางมาถึงของสัญญาณที่ต้องการ	54
3.6 สรุป.....	56
4 การทดสอบสมรรถนะตัวจำลองแบบสายอากาศเก่ง.....	59
4.1 สายอากาศที่ใช้ทำตัวจำลองแบบ	59
4.2 อุปกรณ์และสถานที่ทดสอบ	62
4.3 การทดสอบสมรรถนะของตัวจำลองแบบ.....	64
4.4 สมรรถนะของตัวจำลองแบบเมื่อทำการชดเชยผลเนื่องจากมิวฮวลด์ปปลิง	92
4.5 สรุป.....	94
5 บทสรุป	97
5.1 สรุปงานวิจัย.....	97
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	98
รายการอ้างอิง	100

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก	103
ภาคผนวก ข	108
ภาคผนวก ค	115
ภาคผนวก ง	119
ประวัติผู้วิจัย	125



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
3.1 พารามิเตอร์ในการจำลองแบบเพื่อทดสอบสมรรถนะของสายอากาศแก่ง ทั้ง 12 กรณี.....	35
3.2 ดัชนีความเก่งของสายอากาศแก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells- Applebaum และ LMS ในสถานการณ์ต่าง ๆ.....	45
3.3 ดัชนีความเก่งของสายอากาศแก่งเมื่อรวมผลเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวลคัปปลิง เทียบกับกรณีอุดมคติทั้ง 12 กรณี.....	49
3.4 ความเก่งของสายอากาศแก่งเมื่อชดเชยผลเนื่องจากปรากฏการณ์มิวชวล- คัปปลิงเทียบกับในกรณีที่ไม่มีการชดเชยและทางอุดมคติทั้ง 12 กรณี.....	52
3.5 ความคลาดเคลื่อนของการประมาณทิศทางการมาถึงของสัญญาณ กับทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการสำหรับกรณีที่ 1.....	56
3.6 ความคลาดเคลื่อนของการประมาณทิศทางการมาถึงของสัญญาณ กับทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการสำหรับกรณีที่ 2.....	58
4.1 พารามิเตอร์ในการสร้างสถานการณ์ที่เกิดสัญญาณรบกวนทั้ง 20 กรณีในการทดสอบ สมรรถนะของตัวจำลองแบบสายอากาศแก่งทั้ง 20 กรณี.....	66
4.2 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 1 ของตัวจำลองแบบเทียบกับการคำนวณจำลองแบบ.....	68
4.3 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 2 ของตัวจำลองแบบเทียบกับการคำนวณจำลองแบบ.....	69
4.4 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 3 ของตัวจำลองแบบเทียบกับการคำนวณจำลองแบบ.....	70
4.5 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 4 ของตัวจำลองแบบเทียบกับการคำนวณจำลองแบบ.....	71
4.6 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 5 ของตัวจำลองแบบเทียบกับการคำนวณจำลองแบบ.....	73
4.7 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 6 ของตัวจำลองแบบเทียบกับการคำนวณจำลองแบบ.....	74
4.8 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 7 ของตัวจำลองแบบเทียบกับการคำนวณจำลองแบบ.....	76
4.9 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 8 ของตัวจำลองแบบเทียบกับการคำนวณจำลองแบบ.....	77
4.10 ดัชนีความเก่งในกรณีที่ 9 ของตัวจำลองแบบเทียบกับการคำนวณจำลองแบบ.....	78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.11	ดัชนีความถี่ในกรณีที่ 10 ของตัวจำลองแบบเทียบกับการคำนวณจำลองแบบ..... 79
4.12	ดัชนีความถี่ในกรณีที่ 11 ของตัวจำลองแบบเทียบกับการคำนวณจำลองแบบ..... 81
4.13	ดัชนีความถี่ในกรณีที่ 12 ของตัวจำลองแบบเทียบกับการคำนวณจำลองแบบ..... 82
4.14	ดัชนีความถี่ในกรณีที่ 13 ของตัวจำลองแบบเทียบกับการคำนวณจำลองแบบ..... 83
4.15	ดัชนีความถี่ในกรณีที่ 14 ของตัวจำลองแบบเทียบกับการคำนวณจำลองแบบ..... 84
4.16	ดัชนีความถี่ในกรณีที่ 15 ของตัวจำลองแบบเทียบกับการคำนวณจำลองแบบ..... 86
4.17	ดัชนีความถี่ในกรณีที่ 16 ของตัวจำลองแบบเทียบกับการคำนวณจำลองแบบ..... 87
4.18	ดัชนีความถี่ในกรณีที่ 17 ของตัวจำลองแบบเทียบกับการคำนวณจำลองแบบ..... 88
4.19	ดัชนีความถี่ในกรณีที่ 18 ของตัวจำลองแบบเทียบกับการคำนวณจำลองแบบ..... 89
4.20	ดัชนีความถี่ในกรณีที่ 19 ของตัวจำลองแบบเทียบกับการคำนวณจำลองแบบ..... 91
4.21	ดัชนีความถี่ในกรณีที่ 20 ของตัวจำลองแบบเทียบกับการคำนวณจำลองแบบ..... 92
4.22	ดัชนีความถี่ของตัวจำลองแบบของสายอากาศถี่เมื่อทำการชดเชยผลมิววล- คัปปลิงเปรียบเทียบกับกรณีที่มิได้ชดเชยผลของมิววลคัปปลิง 93

สารบัญรูป

รูป	หน้า
1.1	สายอากาศแก่งในสภาวะที่เกิดสัญญาณรบกวน..... 2
2.1	ระบบของสายอากาศแก่งในสภาวะที่เกิดสัญญาณรบกวน..... 7
2.2	ระบบสายอากาศแก่งที่ใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ LMS..... 8
2.3	ระบบสายอากาศแก่งที่ใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ Howells-Applebaum 11
2.4	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่ง (สายอากาศไมโครสตริปแถวลำดับเชิงเส้น 8 องค์ประกอบ) ชนิด ก (เส้นประ) และชนิด ข (เส้นทึบ) ในสภาวะเกิดสัญญาณรบกวน ที่มีทิศทางการมาถึงของสัญญาณคือ -60 , -40 , -20 และ 60 องศา..... 19
2.5	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่ง (สายอากาศไมโครสตริปแถวลำดับเชิงเส้น 8 องค์ประกอบ) ในสภาวะสงบ (เส้นทึบ) และในสภาวะเกิดสัญญาณรบกวนที่มีทิศทางการมาถึงของสัญญาณคือ 0 และ -40 องศา โดยก่อรูปลำคลื่นด้วยขั้นตอนวิธีแบบ Howells-Applebaum (เส้นประ)..... 21
2.6	ปรากฏการณ์มีวขวลคัปปลิงระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ 24
3.1	ลักษณะทางกายภาพของสายอากาศไมโครสตริปแถวลำดับเชิงเส้น 8 องค์ประกอบ 33
3.2	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปแถวลำดับ 8 องค์ประกอบใน ระนาบ $E_{\phi=0}$ แต่ละองค์ประกอบมีขนาด $3.8 \times 8.3 \text{ ซม.}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่าง องค์ประกอบเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวคลื่นซึ่งได้จากผลการคำนวณทางทฤษฎี..... 34
3.3	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นด้วยการ กำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 1 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบ (เส้นประ) และอัตราส่วนสัญญาณรบกวน ต่อสัญญาณที่ต้องการ (N/S) มีเท่ากับ 0.004 36
3.4	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นด้วยการ กำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 2 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.25 37

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
3.5	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นด้วยการกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 3 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.004 38
3.6	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นด้วยการกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 4 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.25 39
3.7	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นด้วยการกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 5 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.004 40
3.8	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นด้วยการกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 6 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.25 40
3.9	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นด้วยการกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 7 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.004 41
3.10	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นด้วยการกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 8 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.25 42
3.11	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นด้วยการกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 9 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.004 42

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
3.12	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นด้วยการกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 10 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.25 43
3.13	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นด้วยการกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 11 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.004 44
3.14	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นด้วยการกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 12 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.25 45
3.15	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 1 โดยรวมผลมิววลคัปปลิง (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบในอุดมคติ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.004 48
3.16	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 3 โดยรวมผลมิววลคัปปลิง (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบในอุดมคติ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.004 48
3.17	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเมื่อชดเชยผลมิววลคัปปลิงในกรณีที่ 1 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบเมื่อไม่รวมผลมิววลคัปปลิง (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.004 50
3.18	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเมื่อชดเชยผลมิววลคัปปลิงในกรณีที่ 2 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบเมื่อไม่รวมผลมิววลคัปปลิง (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.25 50

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
3.19	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเมื่อชดเชยผลมิววลคัปปลิงในกรณีที 7 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบเมื่อไม่รวมผลมิววลคัปปลิง (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.004 51
3.20	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเมื่อชดเชยผลมิววลคัปปลิงในกรณีที 8 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบเมื่อไม่รวมผลมิววลคัปปลิง (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.25 51
3.21	โครงข่ายรูปร่างของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบรังผึ้งที่มีรูปแบบการใช้ความถี่ซ้ำเท่ากับ 4 53
3.22	อัตราส่วนของสัญญาณพาห์ต่อสัญญาณรบกวนของสายอากาศแก่งเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ LMS, Howells-Applebaum และเมื่อทำการชดเชยผลเนื่องจากมิววลคัปปลิงเมื่อเทียบกับการไม่ใช้สายอากาศแก่ง 55
4.1	สายอากาศไมโครสตริปแฉวลำดับเชิงเส้น 8 องค์ประกอบออกแบบไว้ที่ความถี่ 1.8 GHz ด้วยแบบจำลองชนิดโพรงในโหมด TM ₁₀ และป้อนกำลังด้วยสายส่งแบบแกนร่วม 61
4.2	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปแฉวลำดับเชิงเส้น 8 องค์ประกอบที่มีลักษณะทางกายภาพดังรูป 4.1 (เส้นทึบ) เทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานที่รวมผลเนื่องจากปรากฏการณ์มิววลคัปปลิงทางทฤษฎี (เส้นประ)..... 62
4.3	สายอากาศปากแตรทรงพีระมิดที่มีอัตราขยายเท่ากับ 15 เดซิเบล และทำงานที่ความถี่ 1.7-2.6 GHz..... 63
4.4	สายอากาศไดโพลที่สามารถปรับขนาดทางไฟฟ้าขององค์ประกอบเพื่อให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์ในช่วง 470 –1700 MHz..... 64
4.5	สนามฟุตบอล ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย..... 64
4.6	แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบสายอากาศแก่งในสถานการณ์ที 1 (เส้นทึบ) เทียบกับการคำนวณจำลองแบบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.3..... 67

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป		หน้า
4.18	แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบสายอากาศเก่งในสถานการณ์ที่ 13 (เส้นทึบ) เทียบกับการคำนวณจำลองแบบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.3	83
4.19	แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบสายอากาศเก่งในสถานการณ์ที่ 14 (เส้นทึบ) เทียบกับการคำนวณจำลองแบบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.3	84
4.20	แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบสายอากาศเก่งในสถานการณ์ที่ 15 (เส้นทึบ) เทียบกับการคำนวณจำลองแบบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.5	85
4.21	แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบสายอากาศเก่งในสถานการณ์ที่ 16 (เส้นทึบ) เทียบกับการคำนวณจำลองแบบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.5	87
4.22	แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบสายอากาศเก่งในสถานการณ์ที่ 17 (เส้นทึบ) เทียบกับการคำนวณจำลองแบบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.3	88
4.23	แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบสายอากาศเก่งในสถานการณ์ที่ 18 (เส้นทึบ) เทียบกับการคำนวณจำลองแบบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.3	89
4.24	แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบสายอากาศเก่งในสถานการณ์ที่ 19 (เส้นทึบ) เทียบกับการคำนวณจำลองแบบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.5	90
4.25	แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบสายอากาศเก่งในสถานการณ์ที่ 20 (เส้นทึบ) เทียบกับการคำนวณจำลองแบบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.5	92
4.26	กราฟแสดงค่าดัชนีความเก่งเมื่อปรับเทียบกับค่าดัชนีความเก่งที่ต่ำที่สุดในทั้ง 20 กรณี เมื่อชุดเซตผลมีวขวลคัปปลิง สำหรับตัวจำลองแบบของสายอากาศเก่งในสถานการณ์เดียวกับการคำนวณจำลองแบบ	94
ก.1	วงรอบของการสร้างสัญญาณอ้างอิงสำหรับขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่นแบบ LMS	104
ก.2	รีจิสเตอร์แบบเลื่อนและป้อนกลับ (feedback shift register)	105
ก.3	ลักษณะโดยทั่วไปของ $\phi_{data}(t)$, $\phi_{code}(t)$ และ $\phi(t)$	105

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
ก.4	วงรอบของกระบวนการสร้างสัญญาณอ้างอิงสำหรับการมอดูเลต แบบสเปกตรัมแผ่ด้วยสองเฟส 106
ข.1	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 1 โดยรวม ผลมิวซลคัปปลิง (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบที่อุดมคติ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.004 108
ข.2	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 2 โดยรวม ผลมิวซลคัปปลิง (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบที่อุดมคติ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.25 109
ข.3	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 3 โดยรวม ผลมิวซลคัปปลิง (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบที่อุดมคติ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.004 109
ข.4	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 4 โดยรวม ผลมิวซลคัปปลิง (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบที่อุดมคติ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.25 110
ข.5	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 5 โดยรวม ผลมิวซลคัปปลิง (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบที่อุดมคติ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.004 110
ข.6	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 6 โดยรวม ผลมิวซลคัปปลิง (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบที่อุดมคติ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.25 111
ข.7	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 7 โดยรวม ผลมิวซลคัปปลิง (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบที่อุดมคติ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.004 111

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
ข.8	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 8 โดยรวม ผลมิวซวลคัปปลิง (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบที่อุดมคติ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.25 112
ข.9	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 9 โดยรวม ผลมิวซวลคัปปลิง (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบที่อุดมคติ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.004 112
ข.10	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 10 โดยรวม ผลมิวซวลคัปปลิง (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบที่อุดมคติ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.25 113
ข.11	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 11 โดยรวม ผลมิวซวลคัปปลิง (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบที่อุดมคติ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.004 113
ข.12	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งเมื่อกำหนดสถานการณ์ในกรณีที่ 12 โดยรวม ผลมิวซวลคัปปลิง (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบที่อุดมคติ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.25 114
ค.1	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเมื่อชดเชยผลมิวซวลคัปปลิงในกรณีที่ 1 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบเมื่อไม่รวมผลมิวซวลคัปปลิง (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.004 115
ค.2	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเมื่อชดเชยผลมิวซวลคัปปลิงในกรณีที่ 2 (เส้นทึบ) เทียบกับสภาวะสงบเมื่อไม่รวมผลมิวซวลคัปปลิง (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.25 115

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
ค.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเมื่อชดเชยผลมิววลคัปปลิงในกรณีที่ 3 (เส้นทึบ) เทียบกับสถานะสงบเมื่อไม่รวมผลมิววลคัปปลิง (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.004	116
ค.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเมื่อชดเชยผลมิววลคัปปลิงในกรณีที่ 4 (เส้นทึบ) เทียบกับสถานะสงบเมื่อไม่รวมผลมิววลคัปปลิง (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.25	116
ค.5 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเมื่อชดเชยผลมิววลคัปปลิงในกรณีที่ 5 (เส้นทึบ) เทียบกับสถานะสงบเมื่อไม่รวมผลมิววลคัปปลิง (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.004	116
ค.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเมื่อชดเชยผลมิววลคัปปลิงในกรณีที่ 6 (เส้นทึบ) เทียบกับสถานะสงบเมื่อไม่รวมผลมิววลคัปปลิง (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.25	116
ค.7 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเมื่อชดเชยผลมิววลคัปปลิงในกรณีที่ 7 (เส้นทึบ) เทียบกับสถานะสงบเมื่อไม่รวมผลมิววลคัปปลิง (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.004	117
ค.8 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเมื่อชดเชยผลมิววลคัปปลิงในกรณีที่ 8 (เส้นทึบ) เทียบกับสถานะสงบเมื่อไม่รวมผลมิววลคัปปลิง (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.25	117
ค.9 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเมื่อชดเชยผลมิววลคัปปลิงในกรณีที่ 9 (เส้นทึบ) เทียบกับสถานะสงบเมื่อไม่รวมผลมิววลคัปปลิง (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.004	117

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
ง.19 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบเมื่อชุดเรขผลมิวทวลคัปปลิงในกรณีที่ 19 (เส้นทึบ) เทียบกับการคำนวณจำลองแบบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.5.....	124
ง.20 แบบรูปการแผ่พลังงานของตัวจำลองแบบเมื่อชุดเรขผลมิวทวลคัปปลิงในกรณีที่ 20 (เส้นทึบ) เทียบกับการคำนวณจำลองแบบ (เส้นประ) และ N/S มีค่าเท่ากับ 0.5.....	124



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำสำคัญและคำอธิบายสัญลักษณ์

smart antenna	สายอากาศแก่ง
beamforming algorithm	ขั้นตอนวิธีในการก่อรูปลำคลื่น
Least Mean Square	ค่ากำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด
microstrip antenna array	สายอากาศไมโครสตริปแถวลำดับ
mutual coupling	มีวขวลคัปปลิง
mutual impedance	มีวขวลคัปปลิงอิมพีแดนซ์
direction of arrival	ทิศทางการมาถึงของสัญญาณ
radiation pattern	แบบรูปการแผ่พลังงาน
signal vector	เวกเตอร์ของสัญญาณ
cellular mobile telephone system	ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบรังผึ้ง
W	เมทริกซ์ค่าน้ำหนักของสัญญาณ
C	เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของสัญญาณ
X	เมทริกซ์สัญญาณในสายอากาศแถวลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย