



รายงานการวิจัย

การพัฒนาสายอากาศที่ประมวลผลเชิงมุมเพื่อเพิ่มความจุของช่องสัญญาณใน
ระบบไมโม

Development of Angular Processing Antenna for Channel Capacity

Enhancement in MIMO System

ได้รับทุนอุดหนุนการทำวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

๖ ๐๐๒๔๘๐๕๕

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



รายงานการวิจัย



การพัฒนาสายอากาศที่ประมวลผลเชิงมุมเพื่อเพิ่มความจุของช่องสัญญาณใน
ระบบไมโม

Development of Angular Processing Antenna for Channel Capacity
Enhancement in MIMO System

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิระพงษ์ อูฑารสกุล

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2553

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

เมษายน 2554

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยสำหรับโครงการวิจัยนี้ ขอขอบคุณนักศึกษาในที่ปรึกษาของผู้วิจัยหลายๆ คนที่ช่วยเก็บผลการทดลองและมีส่วนร่วมดำเนินการวิจัยในหลายส่วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งนางสาวอภิญา อินทร์นอก และขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนต์ ทัพย์ภา อูฑารสกุล สำหรับคำแนะนำในเชิงวิชาการที่เป็นประโยชน์

ผู้วิจัย

เมษายน 2554

บทคัดย่อ

242905

ระบบโมโมเป็นระบบที่มีสายอากาศแถวลำดับทั้งภาครับและภาคส่ง ความจุช่องสัญญาณในระบบโมโม สามารถเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นตามจำนวนคู่ของสายอากาศระหว่างภาครับและภาคส่ง ซึ่งโดยปกติช่องสัญญาณในระบบโมโมเป็นการประมวลผลแถวลำดับ (Array Processing) แต่ในทางตรงกันข้ามช่องสัญญาณประกอบด้วยปัจจัยเชิงมุมเป็นหลัก เช่น มุมของสัญญาณที่เกิดจากการตกกระทบและสะท้อนกับสิ่งแวดล้อม โดยอ้างอิงมุมจากตำแหน่งของสายอากาศแถวลำดับ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงตรวจหาคุณลักษณะของระบบโมโมด้วยการประมวลผลเชิงมุม (Angular Processing) เปรียบเทียบกับการประมวลผลแถวลำดับจากการจำลองแบบพบว่าการประมวลผลเชิงมุมให้ความจุของช่องสัญญาณมากกว่าการประมวลผลแถวลำดับ ทำให้งานวิจัยนี้สนใจการพัฒนาสายอากาศที่สามารถประมวลผลเชิงมุมในทางปฏิบัติได้จริง แนวทางการพัฒนานั้นแบ่งเป็นสองแนวคิดคือการสร้างสายอากาศชนิดใหม่เพื่อให้ประมวลผลเชิงมุมได้ หรือการสร้างอุปกรณ์ที่แปลงสายอากาศปกติให้สามารถประมวลผลเชิงมุมได้ จากการศึกษาพบว่าแนวทางที่สองดีกว่าในเรื่องของการประยุกต์เข้ากับระบบโมโมแบบปกติ งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้การพัฒนาสายอากาศที่ประมวลผลเชิงมุมตามแนวคิดที่สองและงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการทำการประมวลผลเชิงมุมในทางปฏิบัติโดยเลือกใช้บัทเลอร์ เมทริกซ์ (Butler Matrix) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนการประมวลผลแถวลำดับให้เป็นการประมวลผลเชิงมุม ข้อดีของบัทเลอร์ เมทริกซ์ สามารถทำให้เกิดมุมในแต่ละทิศทางได้ทันที เมื่อนำสายอากาศตัวเดิมต่อเข้ากับบัทเลอร์ เมทริกซ์ แล้วจะได้สัญญาณขาออกเป็นการประมวลผลเชิงมุมในทางปฏิบัติ ซึ่งแนวคิดนี้น่าสนใจเพราะมีวิธีการดำเนินงานง่าย ไม่ซับซ้อน และไม่เปลืองค่าใช้จ่ายในการหาตัวปรับเฟส โดยงานวิจัยนี้ได้ทดสอบวัดช่องสัญญาณเพื่อศึกษาสมรรถนะความจุช่องสัญญาณในระบบโมโมเมื่อใช้การประมวลผลเชิงมุมเปรียบเทียบกับ การประมวลผลแถวลำดับ ผลที่ได้จากการวัดจริงพบว่าความจุช่องสัญญาณจากการประมวลผลเชิงมุมเพิ่มขึ้นกว่าการประมวลผลแถวลำดับ

Abstract

242905

MIMO system is based on the array antennas at both transmitter and receiver. The capacity of MIMO system increases as the number of antenna pairs between receiver and transmitter increases. Normally, the channel matrix is considered by array processing. However, the channel matrix includes main angular factors such as angle of incidents and reflections due to environment. Therefore, it's interesting to investigate the performance of MIMO systems using the angular processing in comparing with the array processing. The simulation results reveal that the angular processing outperforms the array processing. In fact, there are two approaches to develop angular processing antennas including the new antenna design and the conversion of array to angular processing. The second approach is practically accepted in order to apply on any existing MIMO systems. This research develops the angular processing antenna based on the second approach. Also this research verifies the concept of angular processing in practice by applying Butler matrix. The advantage of the Butler matrix is to convert array processing to angular processing by just inserting Butler matrix right after array antennas. Thus, the output signals achieved by the proposed system become the practical angular processing. It's attractive to practically use such a system because it's easy to implement, uncomplicated and low cost. In addition, this research carries out the measured channels to investigate the MIMO capacity using angular processing in comparing with the array processing. The results confirm that the angular processing realized by Butler matrix outperforms the conventional array processing.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการวิจัย.....	3
1.3 แนวทางการดำเนินการวิจัย.....	3
1.4 ผลสำเร็จของ โครงการ.....	3
1.5 การสำรวจปริทรรศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับ โครงการวิจัย.....	3
1.5.1 ความจุช่องสัญญาณระบบโมโม.....	4
1.5.2 การประมวลผลแถวลำดับในระบบโมโม.....	4
1.5.3 การประมวลผลเชิงมุมในระบบโมโม.....	5
บทที่ 2 ความจุช่องสัญญาณในระบบโมโมที่ใช้การประมวลผลแถวลำดับ.....	6
2.1 กล่าวนำ.....	6
2.2 ระบบโมโมที่เป็นแถบความถี่แคบ (Narrowband MIMO Model).....	7
2.3 การแยกช่องสัญญาณแบบขนานในระบบโมโม.....	7
2.4 ความจุช่องสัญญาณในระบบโมโม (MIMO channel capacity).....	10
2.4.1 ช่องสัญญาณไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Static channel).....	10
2.4.2 ช่องสัญญาณที่มีการจางหาย (Fading channel).....	13
2.4.3 ความจุช่องสัญญาณที่เกิดจากการประมวลผลแถวลำดับ.....	14
2.5 กล่าวท้ายบท.....	14
บทที่ 3 ความจุช่องสัญญาณในระบบโมโมที่ใช้การประมวลผลเชิงมุม.....	16

3.1	กล่าวนำ.....	16
3.2	ความจุช่องสัญญาณการประมวลผลเชิงมุม.....	16
3.3	การประยุกต์ใช้บัทเลอร์ เมทริกซ์กับการประมวลผลเชิงมุม.....	18
3.3.1	โครงข่ายก่อรูปลำคลื่นแบบบัทเลอร์ เมทริกซ์.....	19
3.3.2	การหาช่องสัญญาณและความจุช่องสัญญาณจากแบบบัทเลอร์ เมทริกซ์.....	25
3.4	เปรียบเทียบระหว่างการประมวลผลแถวลำดับและโดเมนเชิงมุม.....	26
3.4.1	วิเคราะห์การประมวลผลแถวลำดับ.....	26
3.4.2	วิเคราะห์การประมวลผลเชิงมุม.....	27
3.5	กล่าวท้ายบท.....	29
บทที่ 4	การสร้างชุดทดสอบและผลการทดลอง.....	30
4.1	กล่าวนำ.....	30
4.2	การทดสอบระบบไม โมด้วยการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์.....	31
4.2.1	วิธีการประมวลผลแถวลำดับ.....	31
4.2.2	วิธีการประมวลผลเชิงมุม.....	32
4.3	การออกแบบ สร้าง และวัดผลบัทเลอร์ เมทริกซ์.....	35
4.3.1	การออกแบบบัทเลอร์ เมทริกซ์.....	35
4.3.2	การสร้างบัทเลอร์ เมทริกซ์.....	41
4.3.3	ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์จากบัทเลอร์ เมทริกซ์.....	42
4.4	การทดสอบระบบไม โมในสถานการณ์จริง.....	54
4.4.1	การทดสอบชุดอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับการวัดช่องสัญญาณ.....	54
4.4.2	การหาความจุช่องสัญญาณ.....	61
4.5	การทดสอบทิศทางการรับสัญญาณในสถานการณ์จริง.....	63
4.6	วิเคราะห์ผลการจำลองแบบและการทดสอบ.....	65
4.7	กล่าวท้ายบท.....	65
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	66
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	66
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	67
	บรรณานุกรม.....	68
	ภาคผนวก ก การเผยแพร่ผลงานวิจัย.....	71

ภาคผนวก ข บทความวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่.....	72
ประวัติผู้วิจัย.....	92

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2-1 การรับส่งข้อมูลในระบบไมโม	6
รูปที่ 2-2 การเข้ารหัสที่ภาคส่งและและสัญญาณที่รับได้.....	8
รูปที่ 2-3 แสดงการเดินทางของคลื่นในแต่ละทิศทางของระบบไมโม	9
รูปที่ 3-1 ตัวอย่างช่องสัญญาณจากการประมวลผลเชิงมุม เมื่อมุมที่ส่งออกไปและรับเข้ามามีขนาดที่ต่างกัน	17
รูปที่ 3-2 วงจรก่อรูปลำคลื่นแบบแบบบัทเลอร์ เมทริกซ์	19
รูปที่ 3-3 แบบรูปการแผ่พลังงานในแต่ละทิศทางของ โครงข่ายก่อรูปลำคลื่นแบบบัทเลอร์ เมทริกซ์.....	21
รูปที่ 3-4 ตัวคัปเปอ์แบบไฮบริดจ์ 90 องศา (Hybrid coupler 90°).....	21
รูปที่ 3-5 ตัวไขว้สัญญาณ (crossover)	22
รูปที่ 3-6 ตัวเลื่อนเฟส 45 องศา (phase shifters 45°).....	23
รูปที่ 3-7 ความยาวของเส้นทางการเดินทางของพลังงานภายในตัวไขว้สัญญาณ	24
รูปที่ 4-1 แสดงทิศทางการส่งและรับข้อมูลของระบบไมโม.....	31
รูปที่ 4-2 ความจุช่องสัญญาณเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน	34
รูปที่ 4-3 คัปเปอ์แบบไฮบริดจ์ 90 องศา.....	35
รูปที่ 4-4 คัปเปอ์แบบไฮบริดจ์ 90 องศาที่ออกแบบเสร็จ.....	37
รูปที่ 4-5 ตัวไขว้สัญญาณ	38
รูปที่ 4-6 ตัวไขว้สัญญาณที่ออกแบบเสร็จ.....	39
รูปที่ 4-7 ตัวเลื่อนเฟส 45 องศา	39
รูปที่ 4-8 ความยาวของเส้นทางการเดินทางของพลังงานภายในตัวไขว้สัญญาณ	40
รูปที่ 4-9 ค่าความยาวของตัวเลื่อนเฟส 45 องศาภายใน โครงข่ายที่ออกแบบเสร็จ	41
รูปที่ 4-10 โครงข่ายก่อรูปลำคลื่นบัทเลอร์ เมทริกซ์ที่สร้างจากการออกแบบ	41
รูปที่ 4-11 วัดค่าพลังงานระหว่างพอร์ต P1 กับพอร์ต E1 (S_{11} มีค่าเท่ากับ -10.017 dB).....	42
รูปที่ 4-12 วัดค่าพลังงานระหว่างพอร์ต P2 กับพอร์ต E2 (S_{11} มีค่าเท่ากับ -22.047 dB).....	42
รูปที่ 4-13 วัดค่าพลังงานระหว่างพอร์ต P3 กับพอร์ต E3 (S_{11} มีค่าเท่ากับ -18.154 dB).....	43
รูปที่ 4-14 วัดค่าพลังงานระหว่างพอร์ต P4 กับพอร์ต E4 (S_{11} มีค่าเท่ากับ -12.319 dB).....	43
รูปที่ 4-15 วัดค่าเฟสระหว่างพอร์ต P1 กับพอร์ต E1 มีค่าเท่ากับ 158 องศา	44

รูปที่ 4-16 วัดค่าเฟสระหว่างพอร์ต P1 กับพอร์ต E 2 มีค่าเท่ากับ 25 องศา	44
รูปที่ 4-17 วัดค่าเฟสระหว่างพอร์ต P1 กับพอร์ต E3 มีค่าเท่ากับ -122 องศา.....	45
รูปที่ 4-18 วัดค่าเฟสระหว่างพอร์ต P2 กับพอร์ต E4 มีค่าเท่ากับ 118 องศา	45
รูปที่ 4-19 วัดค่าเฟสระหว่างพอร์ต P2 กับพอร์ต E1 มีค่าเท่ากับ -87 องศา.....	46
รูปที่ 4-20 วัดค่าเฟสระหว่างพอร์ต P2 กับพอร์ต E2 มีค่าเท่ากับ -137 องศา.....	46
รูปที่ 4-21 วัดค่าเฟสระหว่างพอร์ต P2 กับพอร์ต E3 มีค่าเท่ากับ 176 องศา	47
รูปที่ 4-22 วัดค่าเฟสระหว่างพอร์ต P2 กับพอร์ต E4 มีค่าเท่ากับ 137 องศา	47
รูปที่ 4-23 วัดค่าเฟสระหว่างพอร์ต P3 กับพอร์ต E1 มีค่าเท่ากับ 132 องศา	48
รูปที่ 4-24 วัดค่าเฟสระหว่างพอร์ต P3 กับพอร์ต E2 มีค่าเท่ากับ 178 องศา	48
รูปที่ 4-25 วัดค่าเฟสระหว่างพอร์ต P3 กับพอร์ต E3 มีค่าเท่ากับ -139 องศา.....	49
รูปที่ 4-26 วัดค่าเฟสระหว่างพอร์ต P3 กับพอร์ต E4 มีค่าเท่ากับ -98 องศา.....	49
รูปที่ 4-27 วัดค่าเฟสระหว่างพอร์ต P4 กับพอร์ต E1 มีค่าเท่ากับ 136 องศา	50
รูปที่ 4-28 วัดค่าเฟสระหว่างพอร์ต P4 กับพอร์ต E2 มีค่าเท่ากับ -90 องศา.....	50
รูปที่ 4-29 วัดค่าเฟสระหว่างพอร์ต P4 กับพอร์ต E3 มีค่าเท่ากับ 40 องศา	51
รูปที่ 4-30 วัดค่าเฟสระหว่างพอร์ต P4 กับพอร์ต E4 มีค่าเท่ากับ 176 องศา	51
รูปที่ 4-31 แบบรูปการแผ่พลังงานในแต่ละทิศทาง.....	53
รูปที่ 4-32 รูปแสดงการประยุกต์ใช้บัทเลอร์ เมทริกซ์เข้ากับสายอากาศที่ภาคส่งและภาครับ	54
รูปที่ 4-33 โครงสร้างของระบบที่ใช้ในการวัดช่องสัญญาณ.....	55
รูปที่ 4-34 แผนสำหรับวัดช่องสัญญาณ.....	55
รูปที่ 4-35 ความจุช่องสัญญาณเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน ในแต่ละจุดที่ทำการวัด ...	61
รูปที่ 4-36 ค่าเฉลี่ยรวมความจุช่องสัญญาณทั้งสองกรณีเมื่อเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน	62
รูปที่ 4-37 ทิศทางการหมุนของสายอากาศแถวลำดับที่ภาครับ	63
รูปที่ 4-38 ค่าเฉลี่ยของความจุของช่องสัญญาณ (bits/s/Hz) เทียบกับอัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) สำหรับตำแหน่งที่ 5.....	64

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3-1 แสดงเฟสของสายอากาศ ทิศทางของลำคลื่น และเฟสที่มาจากบัทเลอร์ เมทริกซ์ในรูปแบบที่ 3-2 ตามทฤษฎี.....	20
ตารางที่ 4-1 แสดงเฟสของสายอากาศ ทิศทางของลำคลื่น ของบัทเลอร์เมทริกซ์ที่ได้จากการวัด	52
ตารางที่ 4-2 แสดงค่าเฉลี่ยความจุช่องสัญญาณในแต่ละจุดที่ทำการวัดผล เมื่อ SNR = 10 dB	62
ตารางที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยของความจุของช่องสัญญาณ (bps/Hz) ของทุกตำแหน่งเมื่อ SNR=10 dB	64