



รายงานฉบับสมบูรณ์

Final Report

สายอากาศปรับตัวบนอุปกรณ์มือถือ

Handset Adaptive Antenna

1. ศาสตราจารย์ ดร.โมไนย ไกรฤกษ์
Mr.Monail Krairiksh
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์
Mr.Chuwong Phongcharoenpanich
3. นายเอกรัฐ บุญงา
Mr.Akkarat Boonpoonga
4. นายธัญวัฒน์ ลิ้มปิติ
Mr.Thunyawat Limpiti
5. นายธนวุฒิ ตันติโสภารักษ์
Mr.Tanawut Tantisopharak

ห้องปฏิบัติการวิจัยการสื่อสารไร้สาย

สำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

CH
K
871.67
A33
664
Communication Laboratory
Research Center for Communications and Information Technology

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

September 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทสรุปย่อ	II
บทคัดย่อ	III
1 บทนำ	1
2 การเริ่มต้นด้วยฮาร์ดแวร์สำหรับสายอากาศปรับตัว	3
3 การสร้างฮาร์ดแวร์และผลการทดสอบ	6
4 บทสรุป	12
เอกสารอ้างอิง	13
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก สรุปผลงานภายใต้โครงการฯ	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ได้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตรยังประเทศ
สิงคโปร์ซึ่งเป็นภาคี Patent Cooperation Treaty (PCT) และได้รับอนุมัติ International Application Number
PCT/SG2008/000067 เป็นที่เรียบร้อยแล้ว

ขอขอบคุณโครงการวิจัยประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2550 ในโครงการวิจัยของสำนักวิจัยการสื่อสาร
และเทคโนโลยีสารสนเทศ (Research Center for Communications and Information Technology : ReCCIT)
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2550 วงเงินงบประมาณ
242,317.00 บาท ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย



RCH
TK
78 71.67
. A 33
ศ 66A

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 83856
วัน,เดือน,ปี..... 19 ก.ย. 2551

b. 11986360
j.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทสรุปย่อ

รายงานนี้ได้นำเสนอเทคนิคที่มีราคาต่ำเพื่อกระบวนการเริ่มต้นของสายอากาศปรับตัวที่ใช้ อัลกอริทึม CMA เทคนิคนี้จะใช้วงจรฮาร์ดแวร์ที่ง่าย เช่น ตัวเลื่อนเฟส 1 บิตและตัววัดกำลังงาน ได้พัฒนาตัว ฮาร์ดแวร์ต้นแบบซึ่งใช้ FPGA และอุปกรณ์ RF ที่เกี่ยวข้องเพื่อยืนยันความสามารถของระบบที่นำเสนอ ผล การจำลองแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงคุณสมบัติการลู่เข้าของอัลกอริทึม CMA ได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ได้ทดสอบระบบที่นำเสนอด้วยสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสที่แบนกะทัดรัดสี่ลากลืนที่ทำงานที่ ความถี่ใช้งาน 1.95 GHz ผลที่ได้จากการทดลองได้แสดงให้เห็นความสามารถของเทคนิคการเริ่มต้นด้วยการ ใช้ฮาร์ดแวร์ว่าสามารถทำงานได้เป็นอย่างดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

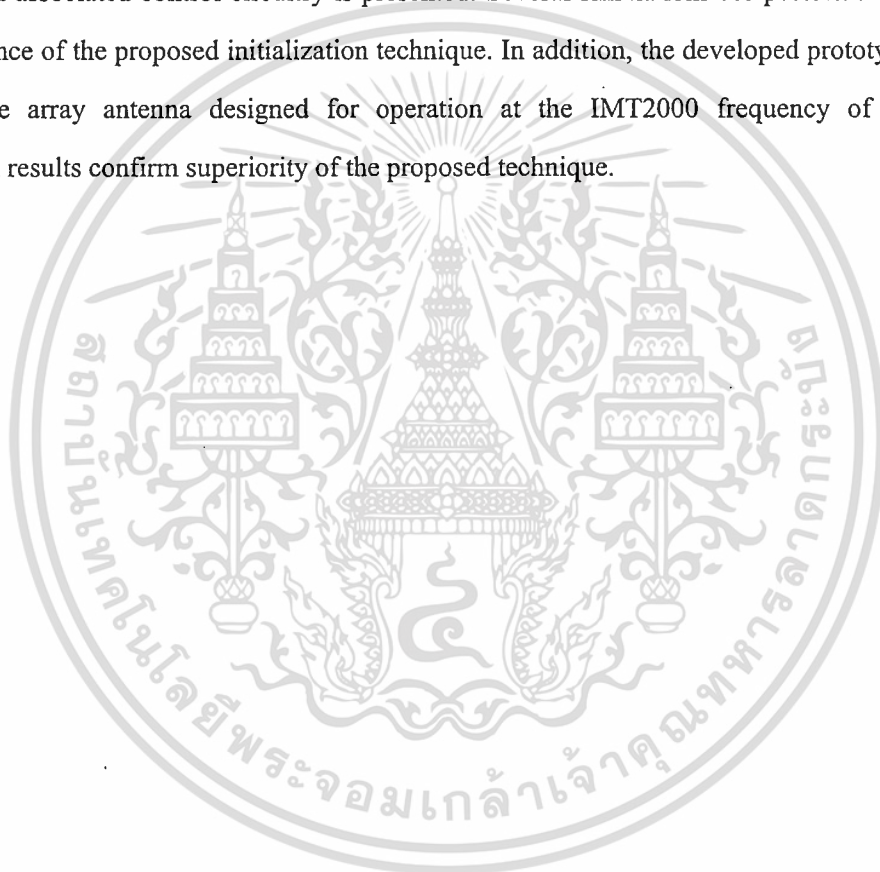
รายงานนี้นำเสนอเทคนิคที่มีประสิทธิภาพด้านราคาสำหรับการเริ่มต้นของสายอากาศปรับตัวซึ่งใช้อัลกอริทึม CMA เทคนิคนี้ใช้ตัวเลื่อนเฟส 1 บิตและตัววัดกำลังงานซึ่งปกติจะถูกใช้ในระบบสายอากาศหลายลำคลื่นเพื่อหาทิศทางของลำคลื่นที่มีกำลังงานรับสูงสุด ลำคลื่นดังกล่าวจะถูกนำไปใช้เป็นลำคลื่นเริ่มต้นของอัลกอริทึม CMA รายงานนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาระบบการเริ่มต้นด้วยฮาร์ดแวร์ของอัลกอริทึม CMA นอกจากนี้จะนำเสนอการสร้าง FPGA ของส่วนประมวลผลอัลกอริทึม CMA และวงจรควบคุมที่เกี่ยวข้อง จะจำลองระบบการเริ่มต้นที่นำเสนอเพื่อประเมินประสิทธิภาพ นอกจากนี้จะทำการทดสอบต้นแบบที่ถูกพัฒนาร่วมกับสายอากาศแถวลำดับปรับเฟส ที่ความถี่ 1.95 GHz ผลการทำลองจะยืนยันความสามารถของเทคนิคที่นำเสนอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

A cost-effective approach for initialization of an adaptive antenna based on the constant modulus algorithm (CMA) is proposed. The technique utilizes 1 bit phase shifters and a power detector, which are normally integrated with a multibeam antenna, to determine the maximum power beam direction. Consequently, the beam is exploited as an initial beam for CMA. Development of hardware-assisted initialization is discussed. In addition, field programmable gate array implementation of a CMA processor and associated control circuitry is presented. Several simulations are performed to evaluate the performance of the proposed initialization technique. In addition, the developed prototype is tested with a phase array antenna designed for operation at the IMT2000 frequency of 1.95 GHz. Experimental results confirm superiority of the proposed technique.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศปรับตัวบนอุปกรณ์มือถือ

บทคัดย่อ

รายงานนี้นำเสนอเทคนิคที่มีประสิทธิภาพด้านราคาสำหรับการเริ่มต้นของสายอากาศปรับตัวซึ่งใช้อัลกอริทึม CMA เทคนิคนี้ใช้ตัวเลื่อนเฟส 1 บิตและตัววัดกำลังงานซึ่งปกติจะถูกใช้ในระบบสายอากาศหลายลำคลื่นเพื่อหาทิศทางของลำคลื่นที่มีกำลังงานรับสูงสุด ลำคลื่นดังกล่าวจะถูกนำไปใช้เป็นลำคลื่นเริ่มต้นของอัลกอริทึม CMA รายงานนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาระบบการเริ่มต้นด้วยฮาร์ดแวร์ของอัลกอริทึม CMA นอกจากนี้จะนำเสนอการสร้าง FPGA ของส่วนประมวลผลอัลกอริทึม CMA และวงจรควบคุมที่เกี่ยวข้อง จะจำลองระบบการเริ่มต้นที่นำเสนอเพื่อประเมินประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ จะทำการทดสอบต้นแบบที่ถูกพัฒนาพร้อมกับสายอากาศแฉก ลำดับปรับเฟส ที่ความถี่ 1.95 GHz ผลการทดลองจะยืนยันความสามารถของเทคนิคที่นำเสนอ

1. บทนำ

ด้วยการเพิ่มขึ้นที่รวดเร็วของอุปสงค์ในระบบการสื่อสารไร้สาย ผลของเฟดดิ้งหลายวิถี และการแทรกสอดท่ามกลางการสื่อสารนำมาซึ่งปัญหาที่สำคัญ โดยปกติแล้วความรุนแรงของปัญหาขึ้นอยู่กับระบบที่เราพิจารณา ยกตัวอย่างเช่น ในระบบ DS-CDMA (direct sequence-code division multiple access) การหน่วงของวิถีสำหรับผู้ใช้แต่ละคนปกติจะกระจายในระดับ chips การแทรกสอดของสัญลักษณ์ใกล้เคียง (intersymbol interference: ISI) ซึ่งเกิดจากการหน่วงของการเดินทางผ่านช่องสัญญาณหลายวิถีจะมีค่าน้อยและโดยทั่วไปจะสามารถละลายได้ [1] การลดลงของประสิทธิภาพของระบบ DS-CDMA ส่วนมากจะเกิดจากการแทรกสอดจากการเข้าใช้งานร่วมกัน ซึ่งเราสามารถลดผลกระทบดังกล่าวได้โดยการใช้สายอากาศฉลาด (smart antenna)

โดยทั่วไปเราสามารถแบ่งสายอากาศฉลาดออกเป็น 3 กลุ่มคือ สายอากาศไดเวอร์ซิตี สายอากาศสวิตซ์ลำคลื่น และสายอากาศปรับตัว การปรับค่าสัมประสิทธิ์ของสายอากาศปรับตัวจะขึ้นอยู่กับสัญญาณอ้างอิง (reference signal) ซึ่งบ่อยครั้งจะถูกเรียกว่าลำดับนำร่อง (training sequence) อัลกอริทึม LMS (least mean square) RLS (recursive least square) และอัลกอริทึมที่สืบเนื่องกันนี้จะ เป็นอัลกอริทึมปรับตัวที่ถูกนำไปใช้ในระบบสายอากาศปรับตัว [2]

ในช่วงสิบปีที่ผ่านมา อัลกอริทึมปรับตัวแบบบอด (blind adaptive algorithm) ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากสำหรับระบบการสื่อสารไร้สาย [3] เนื่องจากอัลกอริทึมนี้ไม่จำเป็นต้องใช้สัญญาณอ้างอิง หนึ่งในอัลกอริทึมนี้ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคืออัลกอริทึม CMA (constant modulus algorithm) เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

modulus algorithm) [4] ซึ่งสามารถลดสัญญาณแทรกสอดได้ด้วยเงื่อนไขซึ่งสัญญาณส่งต้องมีขนาดที่คงที่ ยกตัวอย่างเช่นสัญญาณที่มอดูเลตด้วยเฟสหรือความถี่ สัญญาณแทรกสอดจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของขนาดของสัญญาณรับ อัลกอริทึม CMA จะใช้คุณสมบัติของสัญญาณส่งที่รู้ก่อนว่ามีขนาดที่คงที่ในการปรับตัว

อัลกอริทึม CMA ได้ถูกนำเสนอครั้งแรกสำหรับระบบการปรับเท่า(equalization) [4] และหลังจากนั้นได้ถูกนำไปใช้ในระบบสายอากาศปรับตัว โดยได้มีการศึกษาประสิทธิภาพอย่างกว้างขวาง [5]-[8] ใน [9] ได้นำเสนอการสร้างสายอากาศปรับตัวซึ่งใช้อัลกอริทึม CMA สำหรับระบบการสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้การมอดูเลตแบบ GMSK (Gaussian minimum shift keying) โดยที่ประสิทธิภาพของอัลกอริทึม CMA ได้นำเสนอใน [10] ใน [11] และ [12] อัลกอริทึม CMA ได้ถูกนำไปใช้เพื่อลดสัญญาณแทรกสอดของสัญญาณร่วมในการสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่ [12] ได้นำเสนอแล้วลำดับอัลกอริทึม CMA หลายสเตจซึ่งได้มีการจัดเรียงกระบวนการกำจัดและกู้คืนสัญญาณเป็นแบบเคสเคด นอกจากนี้ยังได้นำอัลกอริทึม SMI (sample matrix inversion) มาประยุกต์ใช้ในการปรับค่าวงน้ำหนักรวมของเทคนิคการกำจัดสัญญาณเพื่อเพิ่มอัตราความผิดพลาดบิต (bit error rate: BER) ใน [13] ได้มีการปรับเปลี่ยนอัลกอริทึม CMA เพื่อควบคุมการปรับลำคลื่นทางไมโครเวฟผ่านวงจรเลื่อนเฟสที่เปลี่ยนค่าได้ ซึ่งถูกเรียกว่า M-CMA นอกจากนี้ อัลกอริทึม CMA ยังได้นำไปใช้สำหรับการกู้คืนสัญญาณในสภาพแวดล้อมการเฟดดิ้งแบบเร็ว (fast fading) [14]

ข้อเสียที่สำคัญของการประยุกต์ใช้อัลกอริทึม CMA ในระบบสายอากาศปรับตัวคือมีอัตราการลู่เข้าที่ช้า [15]-[18] ได้นำเสนอว่าการลู่เข้าของอัลกอริทึม CMA จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการเริ่มต้นของอัลกอริทึม CMA [15]-[17] เมื่อเร็ว ๆ นี้ วิธีที่สามารถแก้ปัญหาการลู่เข้าดังกล่าวได้นำเสนอ โดยการใช้คำตอบที่ได้จากอัลกอริทึม SMI มาเริ่มต้นกระบวนการของอัลกอริทึม CMA [18] แต่อย่างไรก็ตาม มีข้อเสียของการนำเสนอนี้คือ จำเป็นต้องใช้การคำนวณที่มากสำหรับอัลกอริทึม SMI และอัลกอริทึม SMI จำเป็นต้องใช้สัญญาณอ้างอิงเพื่อช่วยในการปรับตัว

[19] นำเสนออัลกอริทึม RLS-CMA เพื่อเพิ่มอัตราการลู่เข้าโดยการเปลี่ยนอัลกอริทึม CMA ให้เป็นอัลกอริทึมใหม่โดยใช้พื้นฐานการทำให้เหมาะสมที่สุด (optimization) ของ RLS ถึงแม้ว่าจะสามารถปรับปรุงอัตราการลู่เข้าได้ แต่ก็ต้องใช้การคำนวณที่มากขึ้น ดังนั้นอัลกอริทึมทั้งสองที่กล่าวมาข้างต้นจึงไม่เหมาะสมสำหรับการสร้างฮาร์ดแวร์ นอกจากนี้ยังมีเทคนิคอื่นที่ถูกนำเสนอใน [3] ซึ่งสามารถการแก้ปัญหาการลู่เข้าได้ แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้ก็ยังไม่ได้้นำไปประยุกต์ใช้ในการนำไปสร้างจริงมาพิจารณา

เมื่อสัญญาณตกกระทบสายอากาศ สายอากาศจะมีลำคลื่นที่มีกำลังงานมากที่สุดเสมอ ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่ดีที่จะใช้ลำคลื่นดังกล่าวนี้ช่วยในการเริ่มต้นอัลกอริทึม CMA ในเทคนิคที่นำเสนอใน [21] ด้วยการจำลอง ระบบเริ่มต้นด้วยการสแกนลำคลื่นและหาลำคลื่นที่มีกำลังงานมากที่สุดซึ่งจะถูกนำไปใช้ในการเริ่มต้นสายอากาศปรับตัว หลังจากนั้นอัลกอริทึม CMA จะถูกนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารผลงานวิจัยที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการค้าเท่านั้น ขอสงวนสิทธิ์ในชื่อและเครื่องหมายการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการปรับลำคลื่นของสายอากาศ เทคนิคนี้ได้แสดงให้เห็นว่าสามารถปรับปรุงคุณสมบัติการ
 ถู่เข้าของอัลกอริทึม CMA ได้อย่างมีนัยสำคัญ

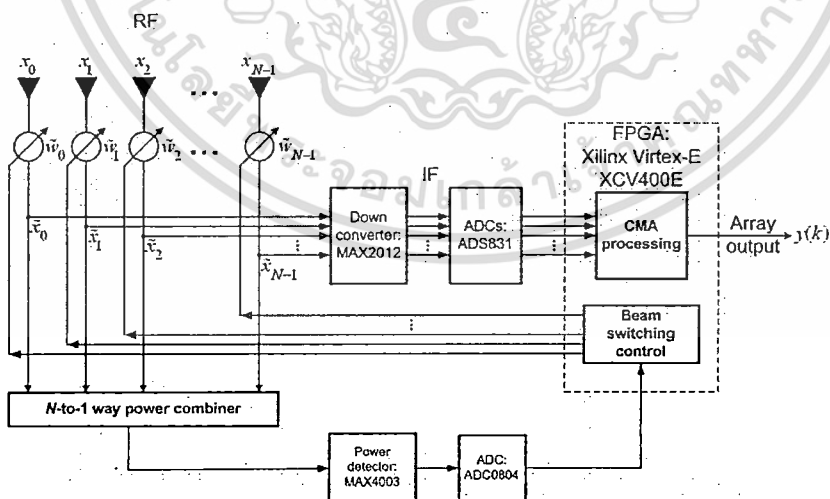
ในรายงานนี้ จะกล่าวถึงการสร้างเทคนิคที่น่าเสนอ จะแสดงให้เห็นว่าเทคนิคที่ใช้เริ่มต้น
 ดังกล่าวสามารถสร้างได้โดยง่ายโดยใช้ฮาร์ดแวร์ที่ง่ายซึ่งมีแคว้งจรเลื่อนเฟสและตัววัดกำลังงาน
 นอกจากนี้ยังจะกล่าวถึงการสร้างสายอากาศปรับตัวและหน่วยประมวลผลที่เกี่ยวข้องกันโดยการใช้
 FPGA (field programmable gate array) จะศึกษาประสิทธิภาพของการสร้าง FPGA ของระบบ
 สายอากาศปรับตัวที่ใช้อัลกอริทึม CMA ด้วยการช่วยเหลือการเริ่มต้นด้วยฮาร์ดแวร์

ในหัวข้อที่สองจะนำเสนอโครงสร้างสายอากาศแคว้งลำดับปรับเฟสที่ปรับตัวได้และสมการ
 การปรับตัวของอัลกอริทึม CMA จะนำเสนอเทคนิคการเริ่มต้นดังกล่าว การสร้างฮาร์ดแวร์จะกล่าว
 ในหัวข้อที่ 3 จะเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการจำลองซึ่งใช้สายอากาศแคว้งลำดับปรับเฟสที่
 แบบกะทัดรัดสี่ลำคลื่น (flat four-beam compact phased array antenna) [20] ซึ่งออกแบบให้ทำงาน
 ที่ความถี่ 1.95 GHz ของระบบ IMT2000 จะกล่าวถึงบทสรุปในหัวข้อสุดท้าย

2. การเริ่มต้นด้วยฮาร์ดแวร์สำหรับสายอากาศปรับตัว

2.1 สายอากาศแคว้งลำดับปรับเฟสที่ปรับตัวได้ที่ใช้อัลกอริทึม CMA

ถ้าสัญญาณส่งถูกมอดูเลตด้วยขนาดที่คงที่ อัลกอริทึม CMA จะสามารถกำจัดสัญญาณ
 แทรกสอดซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของขนาดในสัญญาณรับได้ ตัวอย่างการมอดูเลตด้วยขนาดที่
 คง ได้แก่ FM และ QPSK เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ อัลกอริทึม CMA จะถูกใช้ในระบบสายอากาศ
 ปรับตัว



รูปที่ 1 โครงสร้างแคว้งลำดับปรับเฟสที่ปรับตัวได้โดยใช้อัลกอริทึม CMA ซึ่งนำเสนอ

รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของแคว้งลำดับปรับเฟสที่ปรับตัวได้โดยใช้ อัลกอริทึม
 CMA สัญญาณเชิงซ้อนซึ่งรับด้วยองค์ประกอบที่ i ของแคว้งลำดับสายอากาศจะถูกปรับเฟส หลัง
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับเฟส อินพุตประสิทธิผลของระบบสายอากาศที่ใช้อัลกอริทึม CMA $\tilde{x}_i(k)$ จะถูกคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนักเชิงซ้อนที่ปรับได้ $\tilde{w}_i(k)$ โดย k แทนดัชนีของเวลา เอาท์พุต $y(k)$ ของแถวลำดับของสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสที่ปรับตัวได้สามารถหาได้จากผลการรวมกันของการคูณของ $\tilde{w}_i(k)\tilde{x}_i(k)$ ดังแสดงในสมการ

$$y(k) = \sum_{i=0}^{N-1} \tilde{w}_i(k)^* \tilde{x}_i(k), \quad (1)$$

หรือสามารถเขียนในรูปเมตริกซ์ง่าย ๆ ดังนี้

$$y(k) = \tilde{\mathbf{w}}^H(k) \tilde{\mathbf{x}}(k) \quad (2)$$

โดย $\tilde{\mathbf{w}}(k) = [\tilde{w}_0(k), \tilde{w}_1(k), \dots, \tilde{w}_{N-1}(k)]^T$ และ $\tilde{\mathbf{x}}(k) = [\tilde{x}_0(k), \tilde{x}_1(k), \dots, \tilde{x}_{N-1}(k)]^T$ เป็นค่าถ่วงน้ำหนักและอินพุตประสิทธิผลตามลำดับ N เป็นจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศ ในกรณีที่ไม่มีกรรสุญเสีย เราสามารถสมมติได้ว่าสัญญาณส่งมีขนาดเท่ากับหนึ่ง ดังนั้นอัลกอริทึม CMA จะปรับ $\tilde{\mathbf{w}}(k)$ โดยใช้ฟังก์ชันประสิทธิภาพของอัลกอริทึม CMA (CMA cost function) ดังนี้

$$J(\tilde{\mathbf{w}}(k)) = \{[\tilde{\mathbf{w}}^H(k)\tilde{\mathbf{x}}(k)]^2 - 1\}, \quad (3)$$

โดยฟังก์ชันประสิทธิภาพของอัลกอริทึม CMA นี้จะถูกทำให้มีค่าน้อยที่สุดโดยใช้เทคนิค steepest descent ซึ่งจะนำไปใช้ในการหาค่าถ่วงน้ำหนักซึ่งสามารถหาได้ดังสมการ

$$\tilde{\mathbf{w}}(k+1) = \tilde{\mathbf{w}}(k) - 4\mu\tilde{\mathbf{x}}(k)y^*(k)(|y(k)|^2 - 1) \quad (4)$$

โดย μ คือค่าคงที่ขั้นที่ใช้ในการปรับตัว

เป็นที่สังเกตได้จากรูปที่ 1 ว่าแตกต่างจากโครงสร้างของสายอากาศแถวลำดับปรับตัวปรับโดยใช้อัลกอริทึม CMA ทั่วไป โดยสัญญาณเบสแบนที่รับจะถูกปรับเฟสก่อนที่จะถูกถ่วงน้ำหนักด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก $\tilde{\mathbf{w}}(k)$

2.2 การเริ่มต้นด้วยฮาร์ดแวร์

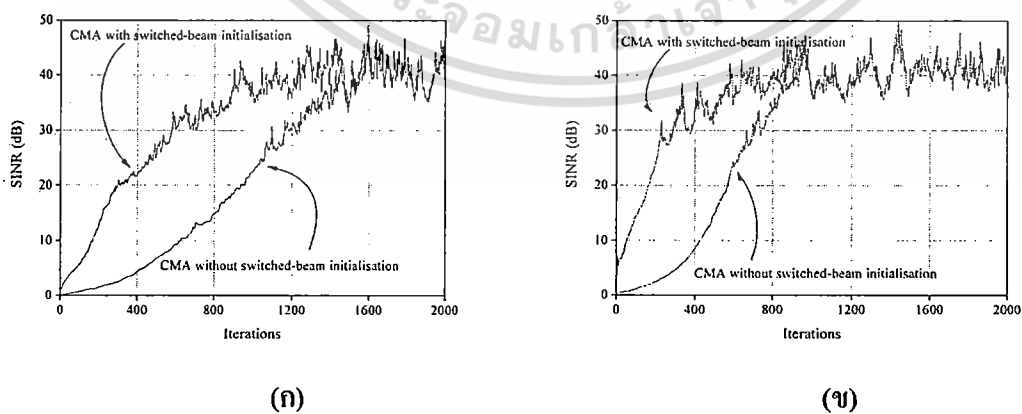
ในระบบสายอากาศหลายลำคลื่น โดยทั่วไปจะสามารถสวิตช์ลำคลื่นโดยใช้วงจรเลื่อนเฟสซึ่งทำงานที่ความถี่ RF หรือ IF หัวใจที่สำคัญของการเริ่มต้นด้วยฮาร์ดแวร์ของสายอากาศปรับตัวที่เราแนะนำคือฮาร์ดแวร์ส่วนที่เพิ่มเข้ามาในระบบทั่วไป เพื่อหาค่าพลังงานของสัญญาณรับสูงสุดของลำคลื่น หลังจากนั้นลำคลื่นที่ได้จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการปรับตัวโดยใช้อัลกอริทึม CMA เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 1 ระบบที่นำเสนอจะนำวงจรเลื่อนเฟส 1 บิตมาใช้ในการปรับลำคลื่น เราสามารถสร้างวงจรเลื่อนเฟส 1 บิตได้ง่ายๆ โดยการใช้พินไดโอดซึ่งจะถือว่าการสร้างฮาร์ดแวร์ที่มีราคาถูก นอกจากนี้เราสามารถหาคำสั่งงานโดยใช้ตัววัดคำสั่งงานด้วยวงจรง่ายๆ และการปรับตัวของของอัลกอริทึม CMA จะถูกสร้างโดยการใช้ FPGA เป็นที่เห็นได้ชัดว่าเทคนิคที่นำเสนอนี้ไม่จำเป็นต้องใช้สัญญาณอ้างอิงช่วยในการปรับตัวเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มีอยู่ [18]-[19] ซึ่งจำเป็นต้องใช้

2.3 การพิสูจน์เทคนิคที่นำเสนอด้วยการจำลอง

เราได้จำลองระบบที่นำเสนอเพื่อยืนยันความสามารถเทคนิคของการเริ่มต้นด้วยฮาร์ดแวร์ที่นำเสนอ ในการจำลองได้ใช้สายอากาศรับเป็นสายอากาศที่มีองค์ประกอบ 4 องค์ประกอบแบบรอบทิศทาง จาก [20] และการเปลี่ยนค่าเฟสตามตารางที่ 1 สายอากาศจะสามารถปรับลำคลื่นหลักได้สี่ทิศทาง ได้แก่ 45° 135° 225° และ 315° ถึงแม้ว่าความเป็นจริงสายอากาศจะยังสามารถปรับลำคลื่นไปในทิศทางอื่นๆ ได้มากกว่านี้ ลำคลื่นสี่ทิศทางก็เพียงพอสำหรับงานนี้ เนื่องจากว่าสายอากาศมีความกว้างลำคลื่นมากกว่า 90° ซึ่งการปรับลำคลื่นไปในสี่ทิศทางดังกล่าวจะสามารถครอบคลุมพื้นที่ใช้งานได้นั้นคือ 360°

ในระบบการจำลองนี้ สัญญาณพืงประสงค์และสัญญาณแทรกสอดเป็นสัญญาณที่ถูกมอดูเลตแบบ $\pi/4$ -QPSK ในช่องสัญญาณ AWGN ในทางปฏิบัติ โดยทั่วไปคำสั่งงานของสัญญาณพืงประสงค์จะมากกว่าสัญญาณแทรกสอด ดังนั้นในการจำลองนี้เรากำหนดให้คำสั่งงานของสัญญาณพืงประสงค์มากกว่าสัญญาณแทรกสอด 3 dB เราแบ่งการจำลองเป็นสองเงื่อนไขด้วยมุมตกกระทบของสัญญาณพืงประสงค์ ซึ่งได้แก่ 80° และ 120° โดยคงมุมตกกระทบของสัญญาณแทรกสอดไว้ที่ 30° ลำคลื่นหลักของสายอากาศที่นำเสนอเพื่อการเริ่มต้นกระบวนการของอัลกอริทึม CMA ซึ่งไปที่มุม 45° ซึ่งเป็นลำคลื่นที่เหมาะสมจากสี่ลำคลื่นของสายอากาศ



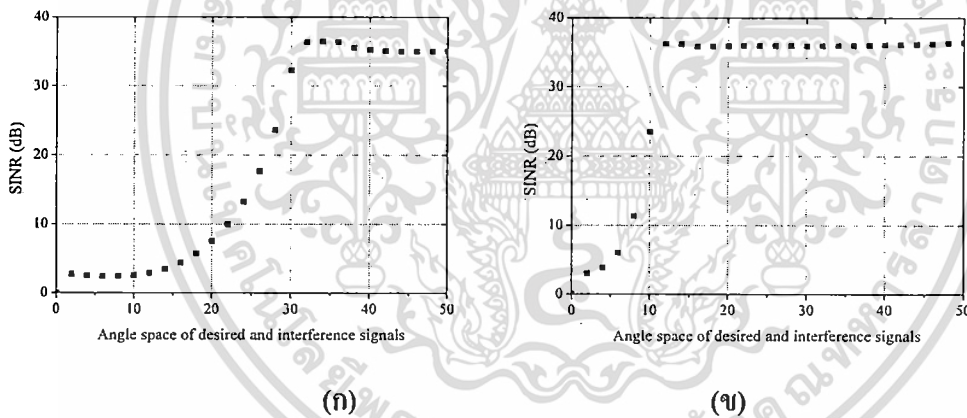
รูปที่ 2 การเคลื่อนที่ของ SINR (ก) กรณีที่ 1 (ข) กรณีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2 (ก) แสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวน (signal-to-interference plus noise ratio: SINR) ของกรณีที่ 1 เมื่อใช้เทคนิคที่นำเสนอและสายอากาศ CMA ทั่วไป จากรูปแสดงให้เห็นว่าสายอากาศปรับตัวที่นำเสนอโดยใช้การเริ่มต้นด้วยฮาร์ดแวร์มีอัตราการลู่เข้าที่เร็วกว่าเทคนิคทั่วไป

รูปที่ 2 (ข) แสดงผลการจำลองจากกรณีที่ 2 จากรูปจะเห็นว่าอัตราการลู่เข้าของสายอากาศปรับตัวที่นำเสนอโดยใช้การเริ่มต้นด้วยฮาร์ดแวร์ยังคงเร็วกว่าเทคนิคทั่วไป นอกจากนี้ ในกรณีที่ 2 ยังมีอัตราการลู่เข้าที่เร็วกว่าในกรณีที่ 1 เนื่องจากทิศทางของสัญญาณแทรกสอดอยู่ห่างจากลำคลื่นหลักที่ใช้เริ่มต้นมากกว่า

นอกจากนี้เรายังศึกษาผลที่เกิดจากการเปลี่ยนมุมตกกระทบของสัญญาณแทรกสอด โดยคงทิศทางของสัญญาณพึงประสงค์ไว้ที่มุม 30° และค่อยๆลดมุมสัญญาณแทรกสอดจากมุม 80° เป็น 30° รูปที่ 3 (ก) และ (ข) แสดง SINR ซึ่งได้จากสายอากาศที่นำเสนอที่ทำการวนซ้ำที่ 2,000 และ 40,000 เทียบกับความกว้างของมุมระหว่างมุมของสัญญาณพึงประสงค์และสัญญาณแทรกสอด จากรูปแสดงให้เห็นว่าอัตราการลู่เข้าของอัลกอริทึม CMA จะขึ้นอยู่กับความกว้างของมุมตกกระทบของสัญญาณ



รูปที่ 3 SINR ที่ได้จากสายอากาศปรับตัวที่นำเสนอที่การทำซ้ำที่ (ก) 2,000 (ข) 4,000

3. การสร้างฮาร์ดแวร์และผลการทดสอบ

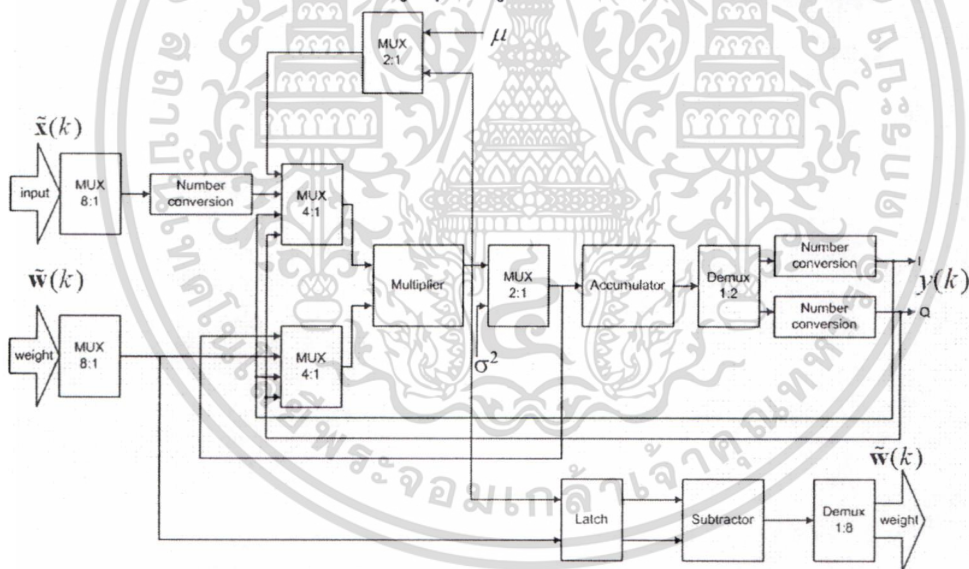
3.1 การสร้างตัวต้นแบบ

เราได้สร้างตัวต้นแบบโดยได้สรุปคุณสมบัติของตัวต้นแบบในตารางที่ 2 ระบบที่สร้างประกอบด้วยอุปกรณ์ RF ตัววัดกำลังงาน ตัวแปลงผันสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณเชิงเลข (ADCs) และหน่วยประมวลผลสัญญาณ จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าสัญญาณ RF ที่ความถี่ 1.95 GHz ที่รับได้สี่ช่องสัญญาณจากแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศได้ถูกป้อนเข้าตัวเลื่อนเฟส 1 บิต ได้ออกแบบสวิตช์ซึ่งใช้ควบคุมตัวเลื่อนเฟสด้วยการหน่วงด้วยสายสัญญาณโดยใช้ไดโอดเบอร์ Phillips BAP51-02 ไดโอดแบบอนุกรมได้เชื่อมติดระหว่างพอร์ตอินพุตและพอร์ตเอาต์พุตของตัวเลื่อนเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละตัว ในขณะที่วางไดโอดแบบขนานระหว่างกลางของเส้นสัญญาณที่ใช้ห้วง เอาท์พุทกำลังงานของแต่ละตัวของตัวเลื่อนเฟสถูกแบ่งอย่างเท่าๆกัน โดยใช้ตัวเชื่อมต่อแบบเส้นสาขา (branch-line coupler) สัญญาณที่ได้จากพอร์ตรองของตัวเชื่อมต่อแบบเส้นสาขาสีตัวได้ถูกรวมกันด้วยตัวรวมกำลังงานแบบตัว T และส่งต่อให้ตัววัดกำลังงานด้วยไอซี MAX4003 สัญญาณ RF แต่ละช่องสัญญาณที่ได้จากอีกส่วนของตัวเชื่อมต่อแบบเส้นสาขาได้ถูกแปลงเป็นสัญญาณ IF ที่ความถี่ 50 kHz ด้วยตัวแปลงสัญญาณ IQ โดยใช้ MAX2102 สัญญาณ IF ทุกตัวจะถูกกรองโดยใช้ตัวกรองความถี่และขยายด้วยออป-แอมป์เบอร์ OPA842 และแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล ด้วยไอซีเบอร์ ADS831 ด้วยอัตราการสุ่ม 250 kHz สัญญาณดิจิทัลที่เป็นเอาท์พุทของ ADCs ได้ถูกป้อนให้บอร์ด FPGA เบอร์ Virtex-E XCV400E เพื่อการประมวลผลสัญญาณ

การเชื่อมต่อระหว่างบอร์ดและคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลจะเชื่อมต่อผ่านพอร์ตขนาน นอกจากการประมวลผลสัญญาณแล้ว ฟังก์ชันการควบคุมต่างๆยังคงถูกสร้างโดยใช้ FPGA โดยจะสร้างสัญญาณควบคุมสำหรับตัวเลื่อนเฟส 1 บิต นั่นก็คือ ฟินไดโอดซึ่งใช้เพื่อการปรับค่าคลื่น หลังจากนั้นจะทำการเปรียบเทียบกำลังงานของสัญญาณรับ ของแต่ละลำคลื่นซึ่งวัดโดยตัววัดกำลังงานและหลังจากนั้นลำคลื่นที่มีกำลังงานสูงสุดจะถูกใช้สำหรับการเริ่มต้นอัลกอริทึม CMA



รูปที่ 4 โครงสร้างตัวประมวลผลการปรับตัวของอัลกอริทึม CMA

รูปที่ 4 แสดงโครงสร้างของหน่วยประมวลผลสัญญาณของการปรับตัวของอัลกอริทึม CMA ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ (3) และ (4) โครงสร้างจะเป็นส่วนประมวลผลแบบการคูณและสะสม (multiply and accumulate: MAC) แบบ floating-point ซึ่งประกอบด้วยวงจรรคูณ วงจรสะสม ตัวมัลติเพล็กซ์ และแลทช์ ถึงแม้การสร้างฮาร์ดแวร์ด้วยเลขคณิตแบบ floating-point จะค่อนข้างซับซ้อนแต่จะมีข้อดีคือมีความถูกต้องแม่นยำสูง นอกจากนี้ยังสามารถลดปัญหาที่เกิดจากการตัดเศษ (truncation) และการคำนวณซึ่งเกิดจาก μ มีค่าน้อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

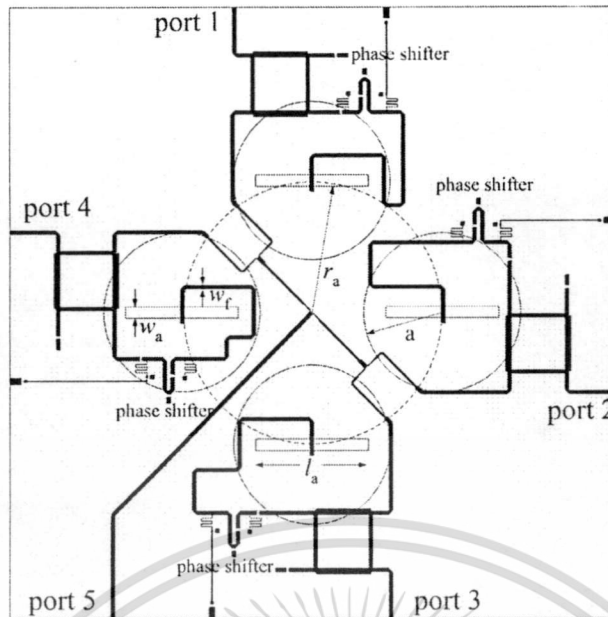
จากรูปที่ 4 จะเห็นว่า ตัวมัลติเพล็กซ์ได้ถูกใช้เพื่อเลือกองค์ประกอบเวกเตอร์ $\tilde{\mathbf{x}}(k)$ และ $\tilde{\mathbf{w}}(k)$ เอาท์พุทของตัวมัลติเพล็กซ์จะถูกให้แก่หน่วยที่เปลี่ยนเลข fixed-point เป็น floating-point ตัวมัลติเพล็กซ์จะถูกใช้เพื่อแยกค่าจริงและจินตภาพของสัญญาณเอาท์พุทที่ได้ $y(k)$ หน่วยประมวลผลที่ได้ออกแบบจะทำงานแบบเวลาจริง (real time) ที่ความถี่สัญญาณนาฬิกา (clock) 16 MHz ในการสร้าง FPGA จะใช้ 29,878 เกท ใน 1,504 สไลด์

3.2 สายอากาศแถวลำดับปรับเฟสที่แบนกะทัดรัดสี่ลำคลื่น

[20] ได้นำเสนอสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสที่แบนกะทัดรัดสี่ลำคลื่นเพื่อระบบการสื่อสาร DCS-1800 ที่ความถี่ 1.8 GHz ในรายงานนี้จะใช้สายอากาศนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเทคนิคที่นำเสนอโดยออกแบบสายอากาศใหม่ที่มีความถี่ 1.95 GHz

สายอากาศทำงานที่โหมด TM_{210} จะให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางในระนาบเอซิมัท เราเลือกใช้แพทช์วงกลมในการสร้างเพื่อให้แบนและกะทัดรัด ได้ออกแบบทิศทางของลำคลื่นในมุมเงย (θ_0) เท่ากับ 30° เพื่อปรับลำคลื่นให้เหมาะสมสำหรับพื้นที่ใช้งาน ในการออกแบบสายอากาศนี้แพทช์วงกลมมีรัศมี 68 มิลลิเมตร วงจรป้อน (feed network) ได้ถูกสร้างโดยใช้ FR-4 โดยมีความสูง (h_1) 1.5 มิลลิเมตร และค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_{r1}) เป็น 4.3 และฐานรอง (substrate) RO3003 โดยมีความสูง (h_2) 0.65 มิลลิเมตร และค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_{r3}) เป็น 3.0 จะใช้โฟมแทรกระหว่างแพทช์และวงจรป้อนเพื่อเพิ่มความกว้างลำคลื่นของสายอากาศ แพทช์สี่ตัวจะถูกใช้เป็นองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ จาก [20] รัศมีแถวลำดับเท่ากับ 0.375λ หรือ 57.7 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้รับอัตราส่วนหน้าต่อหลัง (front-to-back: F/B) ที่ดี

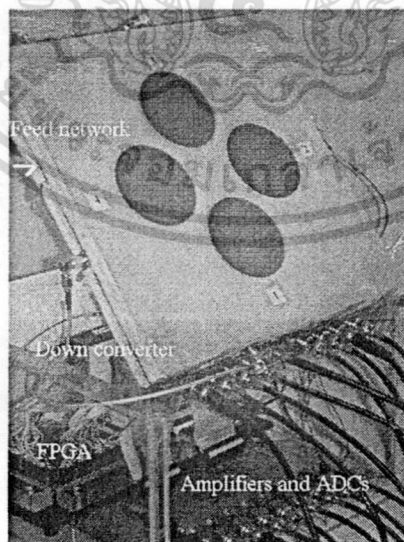
รูปที่ 5 แสดงโครงข่ายการป้อน เราสามารถสรุปพารามิเตอร์ของโครงสร้างการป้อนนี้ โดยมีความกว้างอะเพอร์เจอร์ (w_p) เป็น 5.33 มิลลิเมตร ความยาวอะเพอร์เจอร์ (l_p) เป็น 53.30 มิลลิเมตร ความกว้างเส้นสัญญาณที่ใช้ป้อน (w_f) เป็น 2.00 มิลลิเมตร และความยาวของสายท่อนสั้น (stub) (l_s) เป็น 3.55 มิลลิเมตร



รูปที่ 5 แบบสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสที่เบนกะทศรัศมีลำคลื่นกับตัวเชื่อมต่อ
เส้นสาขาและตัวรวมกำลังงานแบบ T สองสเตจ

3.3 ผลการทดลอง

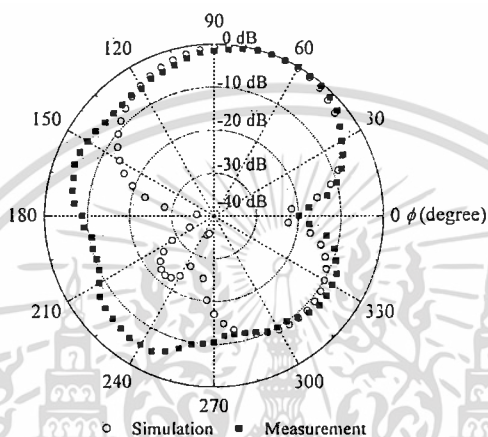
รูปที่ 6 แสดงตัวต้นแบบของระบบสายอากาศปรับตัวที่นำเสนอ เราได้สร้างสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสก่อนที่จะประเมินประสิทธิภาพของระบบทั้งหมด โดยค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน (voltage standing-wave ratio: VSWR) ของพอร์ตอินพุตสี่พอร์ตและพอร์ตเอาต์พุตหนึ่งพอร์ตมีค่า 1.26 1.17 1.24 1.18 และ 1.45 ตามลำดับ ที่แถบความถี่ที่ได้ออกแบบระหว่าง 1.92 ถึง 1.98 GHz VSWR ทั้งหมดอยู่ในช่วง 1.5:1



รูปที่ 6 ตัวต้นแบบสายอากาศปรับตัวที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

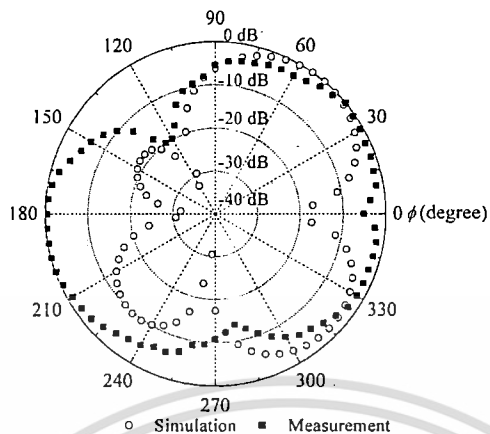
เราทดสอบระบบสายอากาศที่นำเสนอในห้องไม่สะท้อน (anechoic chamber) สัญญาณพียง ประสงค์และสัญญาณแทรกสอดตกกระทบที่มุม 30° และ 120° ตามลำดับ สัญญาณเหล่านี้ถูกมอดูเลตแบบ $\pi/4$ -QPSK ด้วยอัตรา 10 kbps ระยะระหว่างสายอากาศรับและส่งเป็น 0.5 เมตร และ มีความสูง 2.2 เมตร ได้ปรับกำลังงานที่ส่งของสัญญาณพียงประสงค์ให้มากกว่าสัญญาณแทรกสอด 3 dB ได้ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองและการจำลอง ในการจำลองจะใช้การประมาณ ด้วยสมการของแพทช์ด้วยโมเดลแบบโพรง [23]-[24] โดยได้จำลองเป็นตัวนำไฟฟ้าสองตัวซ้อนกัน ซึ่งแทนแพทช์และกราวด์ตามลำดับ



รูปที่ 7 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ใช้สำหรับอัลกอริทึม CMA

รูปที่ 7 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ใช้เริ่มต้นซึ่งได้จากการวัดและการจำลองของ สายอากาศ ซึ่งวัดสายอากาศหลังการสวิตช์ลำคลื่น เวลาที่ใช้สำหรับการหาลำคลื่นเริ่มต้นเท่ากับ 500 ns โดยที่ใช้สัญญาณนาฬิกา 16 MHz ลำคลื่นหลักที่มีกำลังงานสูงสุดชี้ไปที่มุม 60° ความคลาดเคลื่อนจากผลที่ได้จากการจำลองนั้นเกิดจากผลขององค์ประกอบแพทช์วงกลม แต่อย่างไรก็ตามลำคลื่นทั้งสองทิศทางยังสามารถครอบคลุมพื้นที่การใช้งานได้ ลำคลื่นที่ได้นี้จะถูกใช้ สำหรับการเริ่มต้นอัลกอริทึม CMA อย่างอัตโนมัติ จากการใช้นี้ได้กล่าว SINR เริ่มต้นที่ได้เท่ากับ 3.6 dB หลังจากนั้นจะประมวลผลโดยการใช้อัลกอริทึม CMA รูปที่ 8 แสดงแบบรูปการแพร่กระจาย คลื่นที่วัดเปรียบเทียบกับผลการจำลองที่ได้จากสายอากาศปรับตัวที่การทำซ้ำที่ 1,100 ซึ่งเทียบเท่า กับใช้เวลา $4.4 \mu s$ โดยความถี่ที่ใช้ในส้อมเท่ากับ 250 kHz จะเห็นได้ว่าจะมีทิศทางของลำคลื่นหลัก เป็น 40° และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นศูนย์ที่มุม 123° ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีผลที่สอดคล้อง กับสัญญาณพียงประสงค์ (30°) และสัญญาณแทรกสอด (120°) ถึงแม้ผลที่ได้จากการวัดจะไม่ เหมือนกับผลที่ได้จากการจำลองมากเท่าที่ควร ความคลาดเคลื่อนดังกล่าวเกิดจากผลของ ปฏิกิริยาการเชื่อมต่อร่วม (mutual coupling effect) ระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศและการ

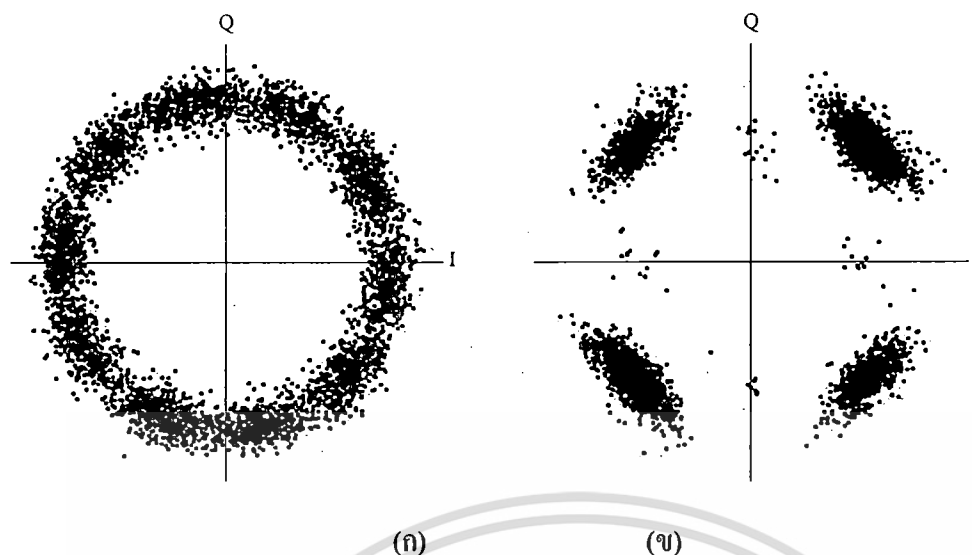
เบี่ยงเบนซึ่งเกิดจากแผ่นตัวนำ [25] SINR ที่ได้หลังการปรับตัวมีค่าเท่ากับ 22.1 dB ซึ่งดีกว่าค่าเริ่มต้นซึ่งเท่ากับ 3.6 dB สังเกตว่า SINR ที่ได้จากการจำลองมีค่าเท่ากับ 33.2 dB



รูปที่ 8 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นซึ่งได้หลังจากอัลกอริทึม CMA ลู่เข้า

เมื่อสัญญาณแทรกสอดถูกเปลี่ยนให้อยู่ที่มุม 80° SINR จะมีค่าเท่ากับ 0.3 dB SINR ที่ได้หลังการปรับตัวจะเท่ากับ 19.3 dB อัตราการลู่เข้าในกรณีนี้จะช้ากว่าในกรณีก่อนหน้า โดยการลู่เข้าใช้จำนวนการทำซ้ำ 1,800 SINR ที่เริ่มต้นกรณีนี้มีค่าน้อยกว่า SINR ในกรณีก่อนหน้า [25] การลู่เข้าจึงช้ากว่าในกรณีแรก

สุดท้าย รูปที่ 9 แสดง constellation ของสัญญาณเอาท์พุทของระบบสายอากาศที่นำเสนอ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึม CMA ลู่เข้าเมื่อสัญญาณ IF มีขนาดที่คงที่ การกระจายของ constellation นี้เกิดจากความไม่เป็นอุดมคติในตัวแปลงความถี่ลง เช่นความถี่ของ local oscillator อาจะคลาดเคลื่อน หรือเกิดจากสัญญาณรบกวน สัญญาณ IF ที่ได้จะถูกแปลงความถี่ลงเป็นสัญญาณเบสแบน โดยใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นมิกเซอร์และตัวกรองความถี่เชิงอุดมคติ constellation เอาท์พุทของสัญญาณเบสแบนแสดงในรูปที่ 9 (ข) ซึ่งคล้ายกับ constellation ของ $\pi/4$ -QPSK ถึงแม้ว่าจะมีความจำเป็นในการปรับปรุงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ RF เพื่อให้ระบบที่นำเสนอมีความสมบูรณ์มากขึ้น แต่ในบทความนี้เราต้องการแสดงให้เห็นว่าเทคนิคการเริ่มต้นด้วยฮาร์ดแวร์นี้สามารถทำงานได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 9 constellation ของสัญญาณเอาท์พุทของระบบสายอากาศปรับตัวที่นำเสนอหลังการลู่เข้าที่ความถี่ (ก) IF (ข) เบสแบน

4. บทสรุป

รายงานนี้ได้นำเสนอเทคนิคที่มีราคาต่ำเพื่อกระบวนการเริ่มต้นของสายอากาศปรับตัวที่ใช้อัลกอริทึม CMA เทคนิคนี้จะใช้วงจรรหัสตัวที่ง่าย เช่น ตัวเลื่อนเฟส 1 บิตและตัววัดกำลังงาน ได้พัฒนาตัวฮาร์ดแวร์ต้นแบบซึ่งใช้ FPGA และอุปกรณ์ RF ที่เกี่ยวข้องเพื่อยืนยันความสามารถของระบบที่นำเสนอ ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่ามีการปรับปรุงคุณสมบัติการลู่เข้าของอัลกอริทึม CMA ได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ได้ทดสอบระบบที่นำเสนอด้วยสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสที่แบนกะทัดรัดสี่ลำคลื่นที่ทำงานที่ความถี่ใช้งาน 1.95 GHz ผลที่ได้จากการทดลองได้แสดงให้เห็นความสามารถของเทคนิคการเริ่มต้นด้วยการใช้ฮาร์ดแวร์ที่สามารถทำงานได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] H. V. Poor and G. W. Wornell, *Wireless Communications Signal Processing Perspectives*, Prentice-Hall, New Jersey, 1998.
- [2] I.C. Liberti, Jr. and T. S. Rappaport, *Smart Antennas for Wireless Communications: IS-95 and Third Generation CDMA Applications*. New Jersey: Prentice-Hall, 1999.
- [3] S. Haykin (Eds.), *Unsupervised Adaptive Filtering*, New York, John Willey & Sons, 2000.
- [4] D.N. Godard, "Self-recovering equalization and carrier tracking in two-dimensional data communication systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-28(11), pp. 1867-1875, Nov. 1980.
- [5] R. Gooch and J. Lundell, "The CM array: An adaptive beamformer for constant modulus signal," in *Proc. ICASSP'86*, vol. 4, pp. 2523-2526, Apr. 1986.
- [6] J. R. Treichler and M. G. Larimore, "New Processing techniques based on the constant modulus adaptive algorithm," *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Processing*, vol. ASSP-33, pp. 420-431, Apr. 1985.
- [7] M. Fujimoto, N. Kikuma, and N. Inagaki, "Performance of CMA adaptive array optimized by Marquardt method for suppressing multipath wave," *IEICE Trans.*, vol. J74-B-II, no. 11, pp. 599-607, Nov. 1991.
- [8] H. Furukawa, Y. Kamio, and H. Sasaoka, "Co-channel interference reduction method using CMA adaptive array antenna," in *Proc. IEEE PIMRC'96*, Taipei, pp. 512-516, Oct. 1996.
- [9] T. Ohgane, T. Shimura, N. Matsuzawa, and H. Sasaoka, "An Implementation of a CMA Adaptive Array for High Speed GMSK Transmission in Mobile Communications," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 42, no. 3, pp. 282-288, Aug. 1993.
- [10] T. Ohgane, N. Matsuzawa, T. Shimura, M. Mizuno, and H. Sasaoka, "BER Performance of CMA Adaptive Array for High-Speed GMSK Mobile Communication—A Description of Measurements in Central Tokyo," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 42, no. 4, pp.484-490, Nov. 1993.
- [11] H. Furukawa, Y. Kamio, and H. Sasaoka, "Co-channel interference canceller using CMA adaptive array antenna," *Electronics Letters*, vol. 33, no. 13, pp.1106-1108, June 1997.
- [12] H. Furukawa, Y. Kamio, and H. Sasaoka, "Cochannel Interference Reduction and Path-Diversity Reception Technique Using CMA Adaptive Array Antenna in Digital Land Mobile Communications," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 50, no. 2, pp. 605-615, Mar. 2001.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13]S. Denno and T. Ohira, "Modified Constant Modulus Algorithm for Digital Signal Processing Adaptive Antennas With Microwave Analog Beamforming," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 50, no. 6, pp. 850-857, June 2002.
- [14]A. Mathur, A. V. Keerthi, and J. J. Shynk, "A Variable Step-Size CM Array Algorithm for Fast Fading Channels," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 45, no. 4, pp. 1083-1087, Apr. 1997.
- [15]M. G. Larimore and J. R. Treichler, "Convergence Behavior of the Constant Modulus Algorithm," in *Proc. IEEE ICASSP 83, Boston*, pp. 13-16, 1983.
- [16]N. Kimuma and K. Takao, "Effect of initial values of adaptive array," *IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems*, vol. AES-22, no. 6, pp. 688-694, Nov. 1986.
- [17]K. Takao and H. Matsuda, "The choice of the initial condition of CMA adaptive arrays," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E78-B, no. 11, pp. 1474-1479, Nov. 1995.
- [18]R. Yonezawa and I. Chiba, "A Combination of Two Adaptive Algorithms SMI and CMA," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E84-B, no. 7, pp. 1768-1773, July 2001.
- [19]Y. Chen, T. Le-Ngoe, B. Champagne, and C. Xu, "Recursive Least Squares Constant Modulus Algorithm for Blind Adaptive Array," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 52, no. 5, pp. 1452-1456, May 2004.
- [20]M. Krairiksh, P. Ngamjanyaporn and C. Kessuwan, "A Flat Four-Beam Compact Phased Array Antenna," *IEEE Microwave And Wireless Components Letters*, vol. 12, no 5, pp. 184 – 186, May 2002.
- [21]A. Boonpoonga, P. Sirisuk, and M. Krairiksh, "Improvement of CMA Adaptive Phased Array Antenna by using Switched-beam Initialization," *Proc. 2005 International Technical Conference on Circuits/System, Computers and Communications (ITC-CSCC 2005)*, Korea, July 2005, pp. 221-222.
- [22]R. Prasad, W. Mohr and W. Konhauser, *Third Generation Mobile Communication Systems*, Artech House, Boston, 2000.
- [23]C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, John Wiley & Sons, New York, 1997.
- [24]A. G. Derneryd, "Analysis of the Microstrip Disk Antenna Element," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. AP-27, No. 5, pp. 660-664, Sept. 1979.
- [25]H. Yuan, K. Hirasawa, and Y. Zhang, "The Mutual Coupling and Diffraction Effects on the Performance of a CMA Adaptive Array," *IEEE Trans. On Vehicular Technology*, vol. 47, No. 3, pp. 728-736, Aug. 1998.

ภาคผนวก ก.

สิทธิบัตรยั้งประเทศสิงคโปร์ซึ่งเป็นภาคี Patent Cooperation Treaty (PCT) และได้รับ
อนุมัติ International Application Number PCT/SG2008/000067 เป็นที่เรียบร้อยแล้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้