

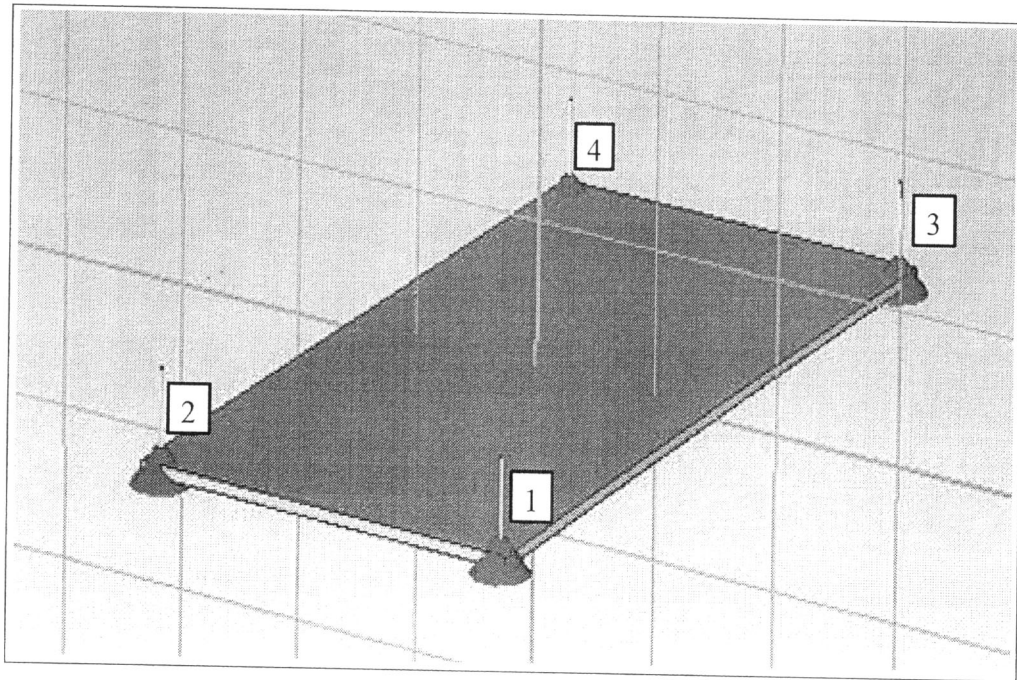
บทที่ 4 การทดสอบวิธีหาดำเนินที่เหมาะสม

4.1 กล่าวนำ

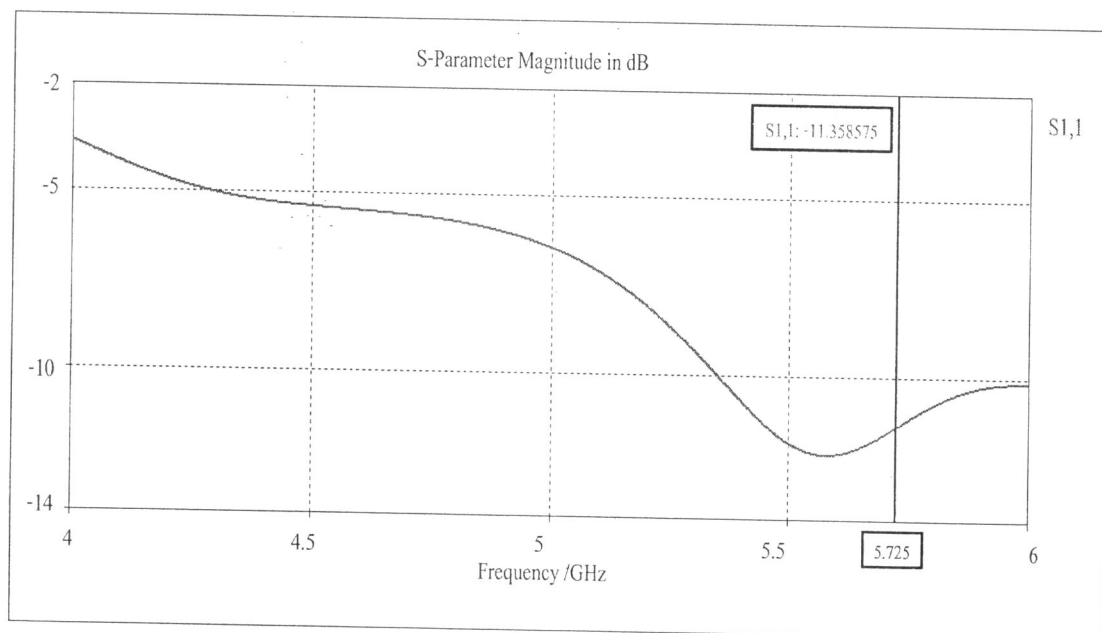
เนื้อหาก่อนหน้านี้อธิบายถึงทฤษฎีพื้นฐานการสื่อสารในระบบโมโม โดยกล่าวถึงทฤษฎีความจุช่องสัญญาณ โดยได้ทำการแสดงสมการช่องสัญญาณ 2 แบบจำลองคือ ช่องสัญญาณแบบมีความอิสระต่อกันและมีการแจกแจงเหมือนกัน โดยพิจารณาช่องสัญญาณการจางหายแบบเลย์ลี และช่องสัญญาณแบบ “Two-Ring” โดยพิจารณากรณีที่กระทำกันระหว่างภาครับและภาคส่งจากนั้นได้อธิบายถึงปรากฏการณ์การเชื่อมต่อร่วมที่ผลต่อการจัดวางสายอากาศโดยประยุกต์ทฤษฎี N-พอร์ต โดยใช้การพิจารณา Z อิมพีแดนซ์ เพื่อพิจารณาถึงผลกระทบของการจัดวางสายอากาศโดยพิจารณาค่าความจุช่องสัญญาณในระบบโมโม โดยใช้วิธีการหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดระเบียบวิธีจินเนติกอัลกอริทึมมาใช้ในการหาดำเนินที่เหมาะสมของการจัดวางสายอากาศบนโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยได้ใช้ optimization toolbox ในโปรแกรมแมทแล็บเพื่อหาดำเนินที่เหมาะสมที่สุดในการจัดวางสายอากาศ จากนั้นได้ใช้โปรแกรม CST microwave studio ในการจำลองแบบก่อนทำการวัดจริง

4.2 รูปแบบการจัดวางตำแหน่งสายอากาศ (ANTENNA CONFIGURATION)

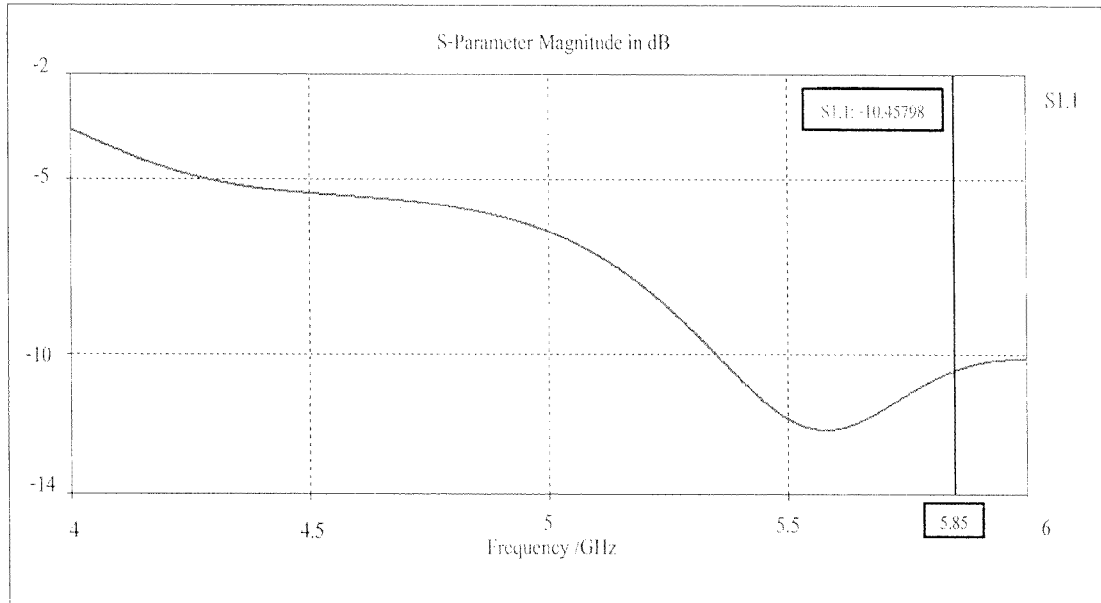
ในเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์ถึงผลกระทบของการจัดวางตัวของสายอากาศ ในโครงการวิจัยนี้ สายอากาศที่ใช้คือ สายอากาศโมโนโพลซึ่งเป็นสายอากาศเส้นลวดตรงที่มีต้นแบบมาจากสายอากาศไดโพล เพียงแต่นำมาใช้เพียงครึ่งหนึ่งของความยาวไดโพลและมีการป้อนสัญญาณเข้าที่กึ่งกลางของไดโพลโดยเทียบกับระนาบกราวด์ (ground plane) ดังนั้นความยาวของโมโนโพลจึงเท่ากับหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่นใช้งาน โดยได้ทำการออกแบบสายอากาศในย่านความถี่ 5.725-5.85 GHz ซึ่งสามารถรองรับคลื่นความถี่ตามมาตรฐาน IEEE 802.16c (Mobile wimax ได้จำลองผลจากโปรแกรม CST microwave studio ก่อนทำการสร้างวัดจริง



รูปที่ 4-1 ผลการจำลองด้วยโปรแกรม CST microwave studio

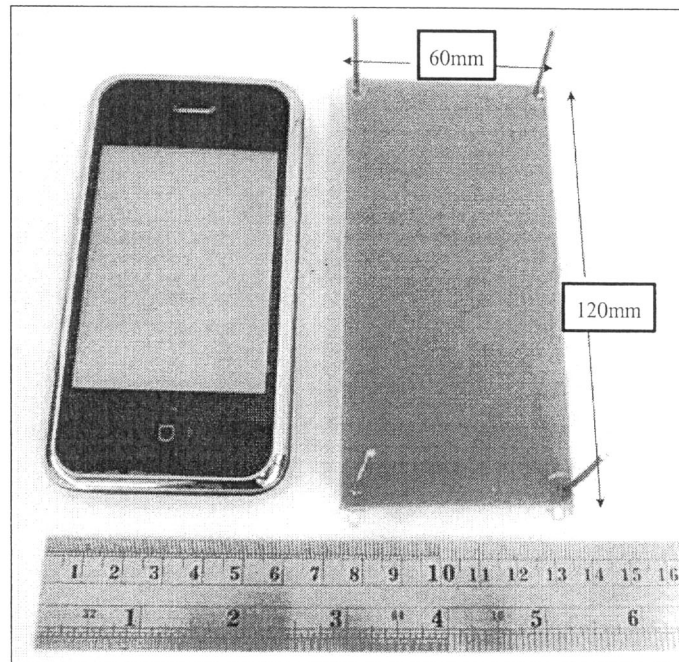


รูปที่ 4-2 ผลค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ s11 ที่ ที่ความถี่ 5.725 GHz

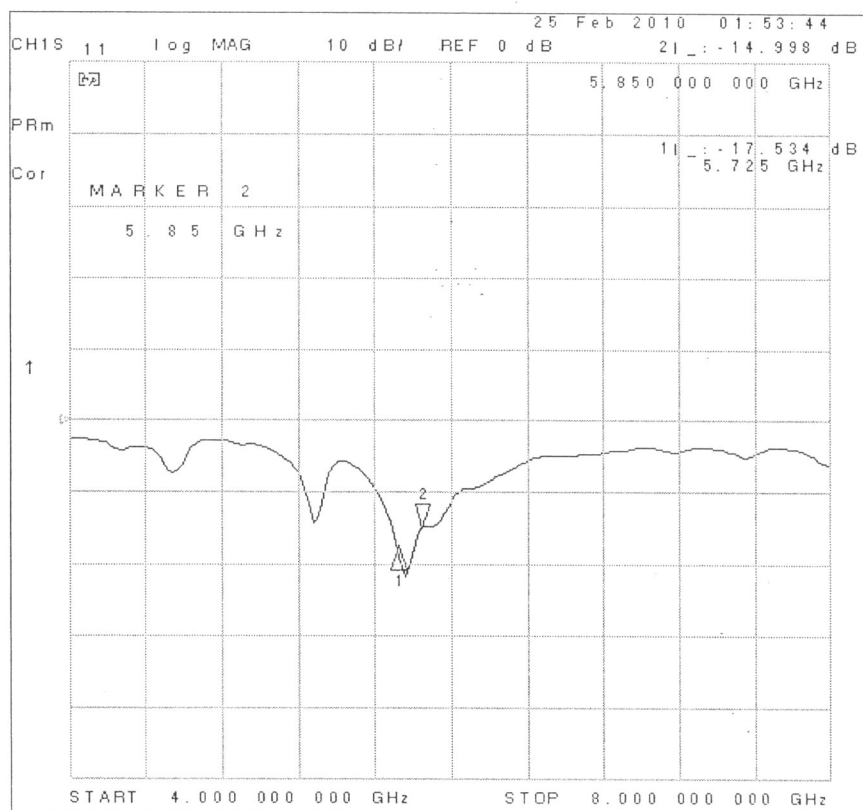


รูปที่ 4-3 ผลค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ s11 ที่ความถี่ 5.85GHz

เมื่อได้ทำการจำลองการสร้างสายอากาศในโปรแกรม CST microwave studio จากรูปที่ 4-1 ซึ่งได้แสดงผลค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ s11 ในช่วงความถี่ที่ใช้งานจากรูปที่ 4-2 และ 4-3 แสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ s11 มีค่าที่ต่ำกว่า -10db ซึ่งถือว่าใช้งานได้และต่อมาจึงได้มาทำการสร้างวัตถุจริง



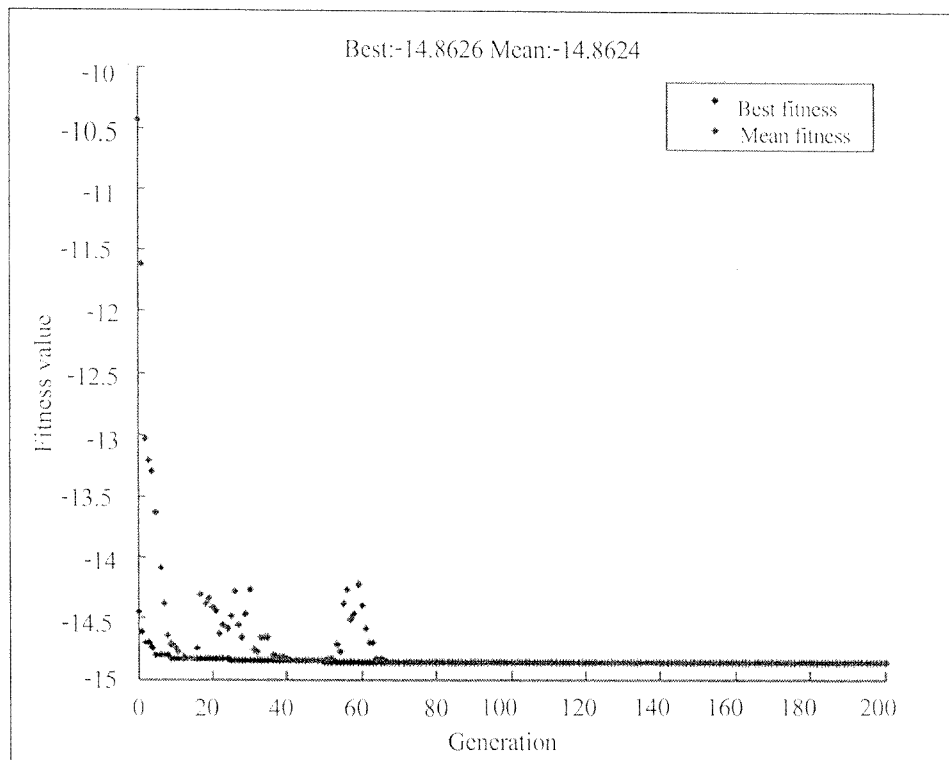
รูปที่ 4-4 ตัวอย่างการจัดวางสายอากาศโมโนโพลบนโทรศัพท์เคลื่อนที่



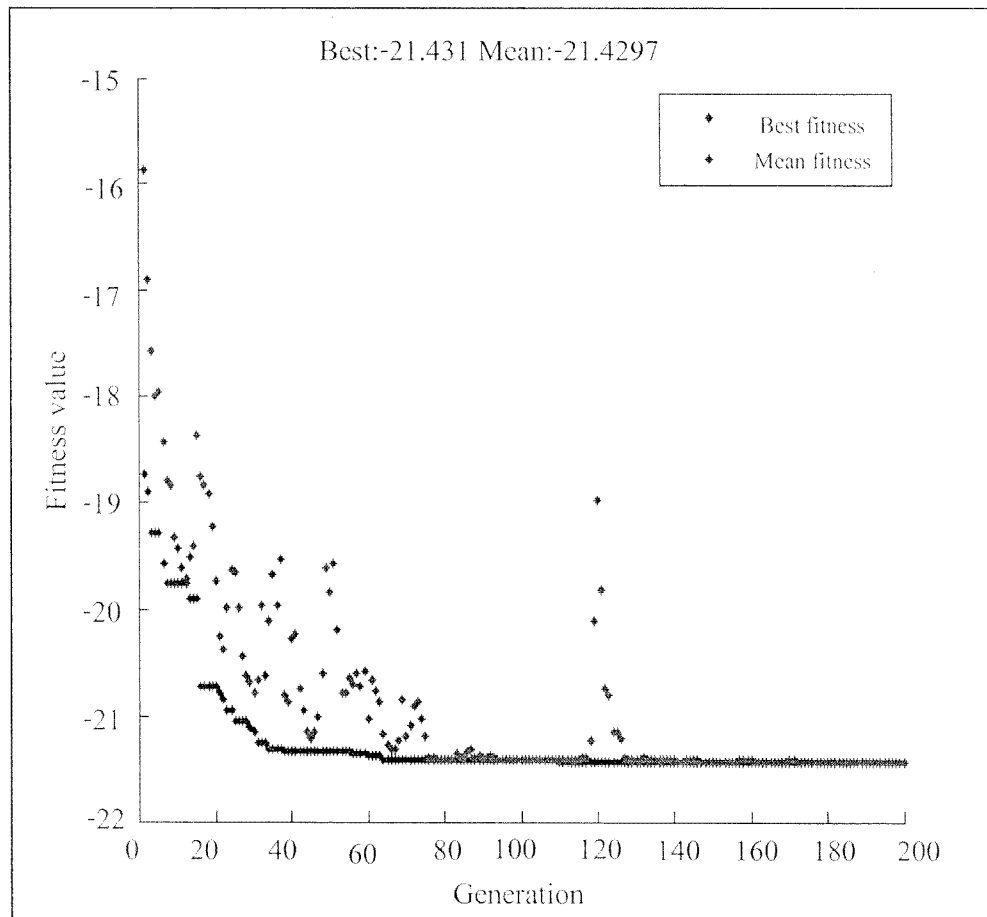
รูปที่ 4-5 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ s11 ที่ 5.725-5.85 GHz

4.3 ผลจากการหาตำแหน่งการจัดวางสายอากาศด้วยเทคนิควิวิจินเนติกอัลกอริทึมในช่องสัญญาณแบบมีความอิสระต่อกันและมีการแจกแจงเหมือนกันโดยพิจารณาช่องสัญญาณการจางหายแบบเบย์ลี

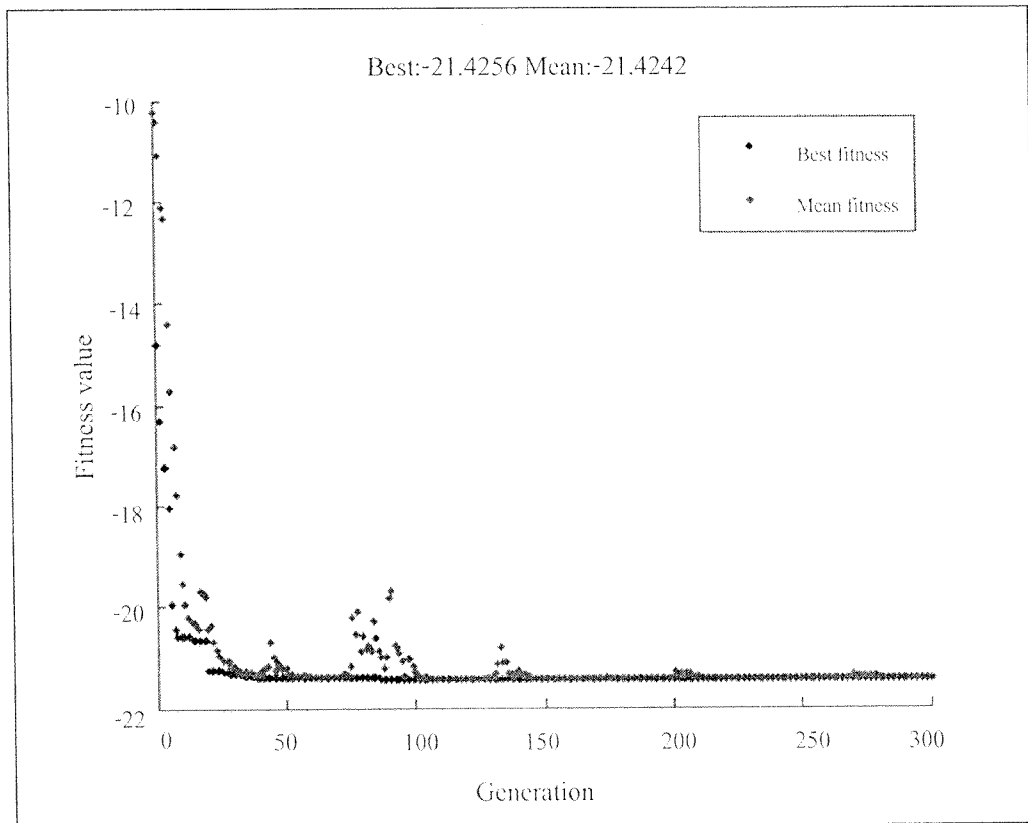
ผลจากการจำลองแบบในการหาระยะและตำแหน่งการจัดวางตัวของสายอากาศบนโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยใช้ optimization toolbox ในโปรแกรมแมทแลบโดยหาตำแหน่งการจัดวางสายอากาศในช่องสัญญาณแบบมีความอิสระต่อกันและมีการแจกแจงเหมือนกันโดยพิจารณาช่องสัญญาณการจางหายแบบเบย์ลีในระบบโมโม 3x3 และ 4x4 ดังแสดงในรูปที่ 4-6 และ 4.7 จากรูปค่าของ Generation เปรียบเสมือนจำนวนรอบของการค้นหาคำตอบที่ได้กำหนดไว้ในตารางที่ 3-1 ค่า Best fitness เป็นค่าจุของช่องสัญญาณ ที่ดีที่สุดในแต่ละรอบของการค้นหาคำตอบ ส่วนค่า Mean fitness เป็นค่าเฉลี่ย ความจุของช่องสัญญาณจากคำตอบทั้งหมดของการค้นหาในแต่ละรอบเช่นกัน คำตอบที่ดีที่สุดของการค้นหาจะสิ้นสุดที่ Generation ที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งค่า Best fitness และ Mean fitness จะไม่มีคำตอบที่สามารถปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้ดีกว่านี้แล้วดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4-6 สำหรับการหาตำแหน่งที่ดีที่สุดของสายอากาศจำนวน 3 ต้น จะเห็นได้จากช่วง Generation ตั้งแต่ 70 กราฟจะเป็นเส้นตรงไม่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพของค่าความจุของช่องสัญญาณ โดยค่าความจุของช่องสัญญาณ ที่ดีที่สุด หรือสำหรับค่า Best fitness อยู่ที่ 14.8626 dB เช่นเดียวกับ ค่าความ จุ ของ ช่อง สัญ ญาณ เฉ ลี่ย หรือ ค่า Mean fitness เท่ากับ 14.8624 dB ซึ่งในส่วนนี้ก็จะได้คำตอบของตำแหน่งและระยะสำหรับการจัดวางสายอากาศที่ให้สมรรถนะของระบบมีประสิทธิภาพดีที่สุดในรูปที่ 4-7 สำหรับการหาตำแหน่งที่ดีที่สุดของสายอากาศ4ต้นจะเห็นได้ว่าจะเห็นได้จากช่วง Generation ตั้งแต่ 130 กราฟจะเป็นเส้นตรงไม่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพของค่าความจุของช่องสัญญาณ แล้ว โดยค่าความจุของช่องสัญญาณที่ดีที่สุดหรือสำหรับค่า Best fitness อยู่ที่ 21.43 dB เช่น เดียว กับ ค่า ค วาม จุ ของ ช่อง สัญ ญาณ เฉ ลี่ย หรือ ค่า Mean fitness เท่ากับ 21.4297 dB ซึ่งในส่วนนี้ก็จะได้คำตอบของตำแหน่งและระยะสำหรับการจัดวางสายอากาศที่ให้สมรรถนะของระบบมีประสิทธิภาพดีที่สุดซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบจำนวน Generation และจำนวน Population เพิ่มขึ้นเป็นจำนวน 300 ซึ่งแสดงในรูปที่ 4-8 ผลที่ได้ไม่ทำให้ค่า Best fitness เพิ่มขึ้นแต่อย่างใดในทางกลับกันจะเสียเวลาในการหาคำตอบที่นานขึ้นมาก



รูปที่ 4-6 ผลของการหาคำแหน่งการจัดวางสายอากาศ3ต้นที่ดีที่สุดด้วยวิธีจินเนติกอัลกอริทึมบนเครื่องมือ optimization toolbox ในช่องสัญญาณแบบมีความอิสระต่อกัน และมีการแจกแจงเหมือนกันโดยพิจารณาช่องสัญญาณการจางหายแบบเลย์ลี



รูปที่ 4-7 ผลของการหาตำแหน่งการจัดวางสายอากาศ 4 ต้นที่ดีที่สุดด้วยวิธีจินเนติกอัลกอริทึมบนเครื่องมือ optimization toolbox ในช่องสัญญาณแบบมีความอิสระต่อกัน และมีการแจกแจงเหมือนกัน โดยพิจารณาช่องสัญญาณการจางหายแบบเลย์ดี

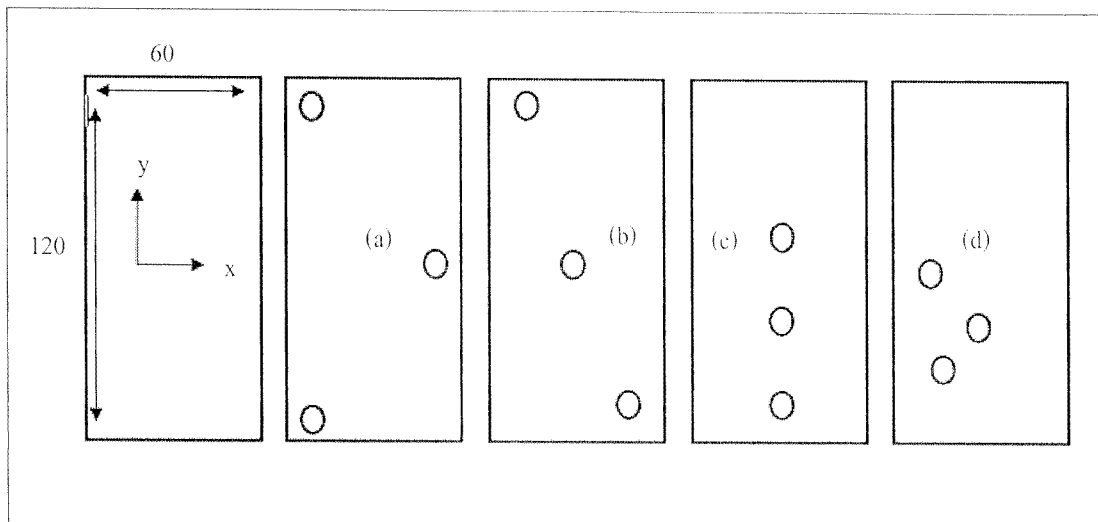


รูปที่ 4-8 ผลของการหาคำแหน่งการจัดวางสายอากาศ 4 ต้นที่ดีที่สุดด้วยวิธีจินเนติกอัลกอริทึมบนเครื่องมือ optimization toolbox ในช่องสัญญาณแบบมีความอิสระต่อกัน และมีการแจกแจงเหมือนกัน โดยพิจารณาช่องสัญญาณการจางหายแบบเฉลี่ยดีในการเปรียบเทียบการเพิ่ม generation และ population

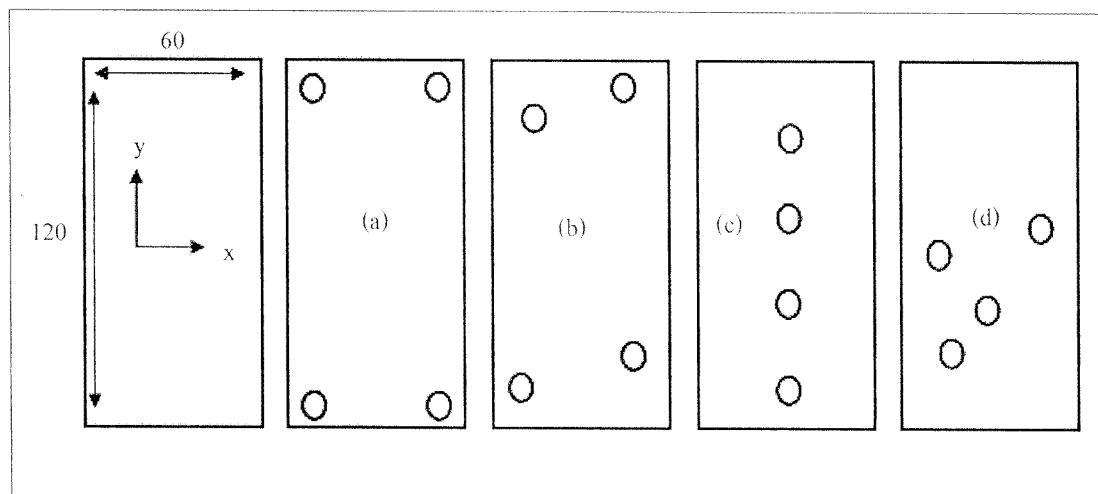
ตารางที่ 4-1 แสดงการจัดวางตัวของสายอากาศโดยพิจารณาช่องสัญญาณแบบมีความอิสระต่อกันและมีการแจกแจงเหมือนกัน ในระบบโมโม 3x3 และ 4x4

ผลตำแหน่ง	ตำแหน่งการจัดวางสายอากาศบนพิกัด x y (มิลลิเมตร)			
	1	2	3	4
MIMO 3x3	(56,8)	(19,59)	(3,117)	N/A
MIMO 4x4	(4,7)	(48.25,15)	(13,97.75)	(45.5,118.5)

เพื่อเป็นการเปรียบเทียบสมรรถนะการจัดวางสายอากาศจากการหาตำแหน่งการจัดวางบนพื้นที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยเทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุดจากวิธีจินเนติกอัลกอริทึม จึงได้ทำการสุ่มการจัดวางตัวของสายอากาศของระบบโมโม 3x3 และ 4x4 ขึ้นมาในการเปรียบเทียบสมรรถนะว่ามีประสิทธิภาพที่เหนือกว่าจริงโดยการสุ่มการจัดวางสายอากาศของแต่ละจำนวนของสายอากาศที่จะนำมาเปรียบเทียบมีรายละเอียดดังนี้

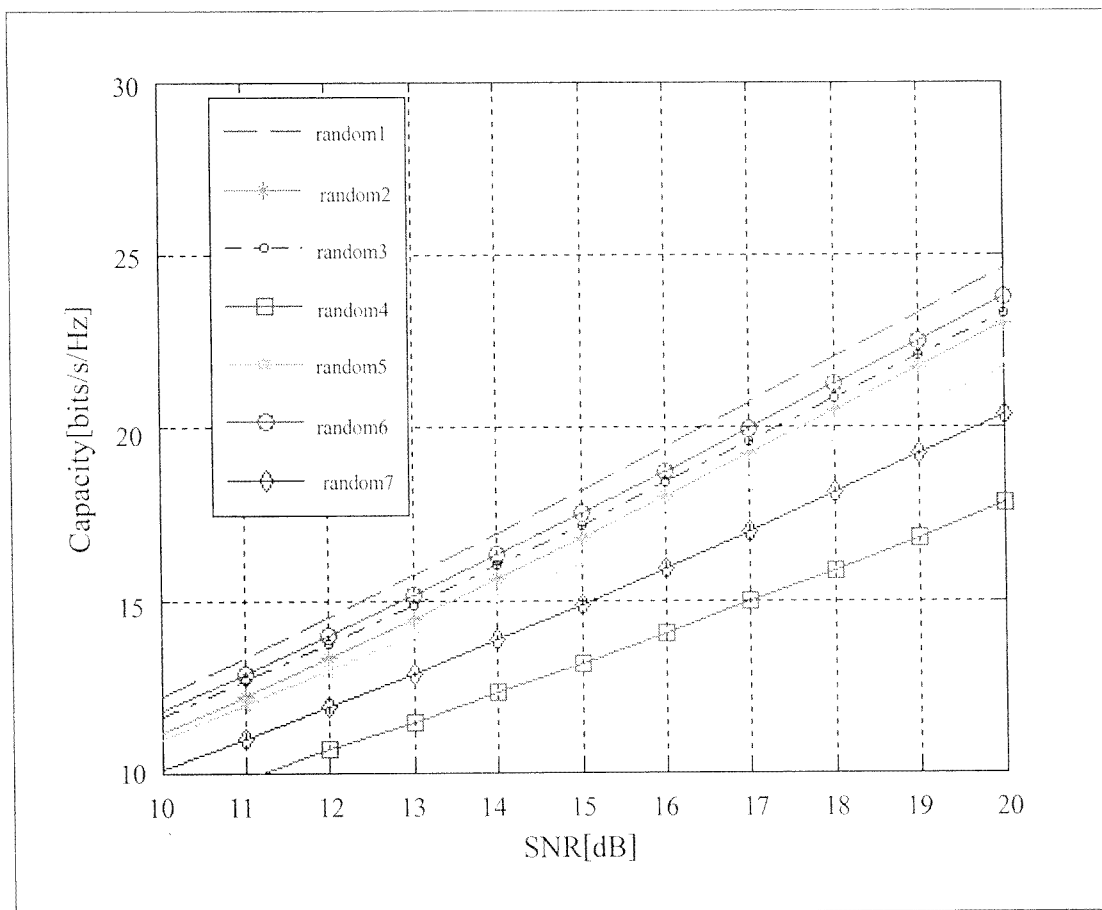


รูปที่ 4-9 การจัดวางสายอากาศ 3 ต้นในแต่ละกรณีบนพื้นที่โทรศัพท์เคลื่อนที่



รูปที่ 4-10 การจัดวางสายอากาศ 4 ต้นในแต่ละกรณีบนพื้นที่โทรศัพท์เคลื่อนที่

จากรูปที่ 4-9 และ 4-10 แสดงการจัดวางสายอากาศ 3 ต้นในแต่ละกรณีบนพื้นที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยในกรณี (a) แสดงการจัดวางสายอากาศไว้ที่มุมของพื้นที่กรณี (b) แสดงการจัดวางสายอากาศในตำแหน่งที่ได้ผลมาจากเทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุดจากวิธีจีนเนติกอัลกอริทึมกรณี (c) แสดงการจัดวางสายอากาศแบบเส้นตรงซึ่งมีระยะห่างแลมด้า / 2 กรณี (d) แสดงการจัดวางสายอากาศในรูปแบบสุ่มโดยในกรณี (d) ได้ทำการสุ่มทั้งหมด 7 ครั้ง ซึ่งแสดงในรูปที่ 4-11 โดยเลือกครั้งที่ดีที่สุดมาเปรียบเทียบซึ่งสามารถทำการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมแมทแลปโดยพิจารณาค่าความจุช่องสัญญาณ



รูปที่ 4-11 ความจุช่องสัญญาณเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนในกรณีโมโม 4x4 ในกรณีสุ่มเปรียบเทียบ

ตารางที่ 4-2 แสดงตำแหน่งของการจัดวางสายอากาศในระบบโมโม 3x3

MIMO 3x3 Case	ตำแหน่งการจัดวางสายอากาศบนพิกัด x y (มิลลิเมตร)		
	Antenna (1)	Antenna (2)	Antenna (3)
(a) corner	5,5	55,60	5,115
(b) GA	56,8	19,59	3,117
(c) linear	30,5	30,31.2	30,57.4
(d) random	17,35	34,48	15,62

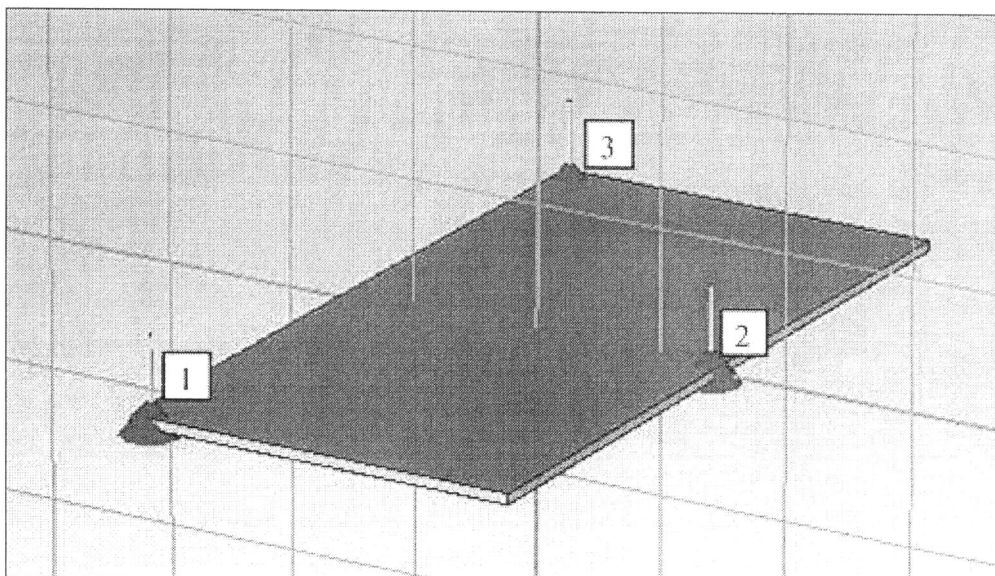
ตารางที่ 4-3 แสดงตำแหน่งของการจัดวางสายอากาศในระบบโมโม 4x4

MIMO 4x4 Case	ตำแหน่งการจัดวางสายอากาศบนพิกัด x y (มิลลิเมตร)			
	Antenna (1)	Antenna (2)	Antenna (3)	Antenna (4)
(a) corner	5,5	55,5	5,115	55,115
(b) GA	4,7	48.25,15	13,97.75	45.5,118.5
(c) linear	30,5	30,31.2	30,57.4	30,83.6
(d) random	17,35	34,48	15,62	50,76

4.4 ผลการจำลองการหาตำแหน่งโดยใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบ

หาค่าความจุของช่องสัญญาณ

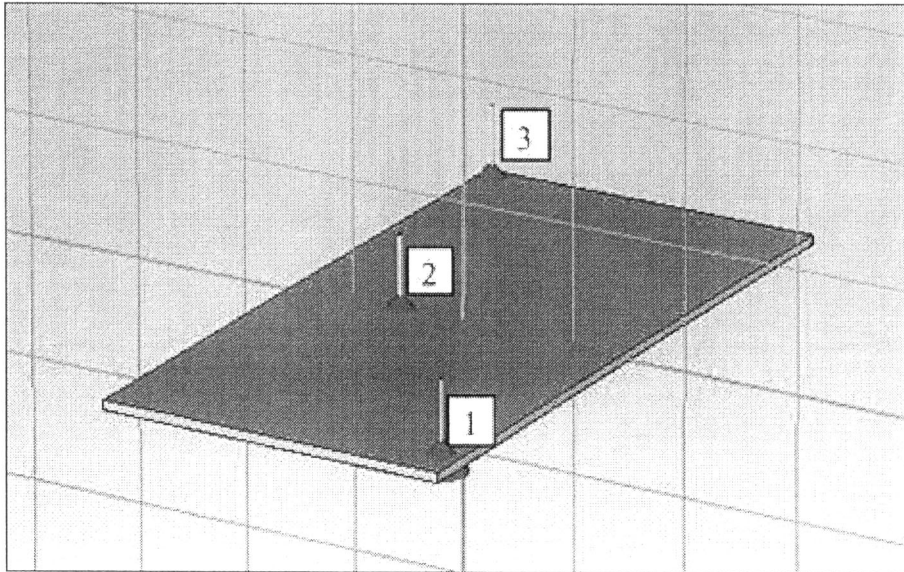
เนื่องจากหัวข้อที่ 4.2 ได้ค่าตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของการจัดวางสายอากาศบนโทรศัพท์เคลื่อนที่จากโปรแกรมวิธีจินเนติกอัลกอริทึมแล้วได้ทำการเปรียบเทียบในกรณีอื่น ๆ ในส่วนนี้จะทำการจำลองผลของตำแหน่งของการจัดวางสายอากาศในแต่ละกรณีโดยใช้โปรแกรม CST microwave studio เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบว่าผลตำแหน่งที่ได้จากระเบียบวิธีจินเนติกอัลกอริทึมจะเป็นผลตำแหน่งที่ดีที่สุดหรือไม่



รูปที่ 4-12 การจำลองผลตำแหน่งการจัดวางสายอากาศ 3 ต้นในกรณี (a)

ตารางที่ 4-4 แสดงค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 3 ต้นในกรณี (a)

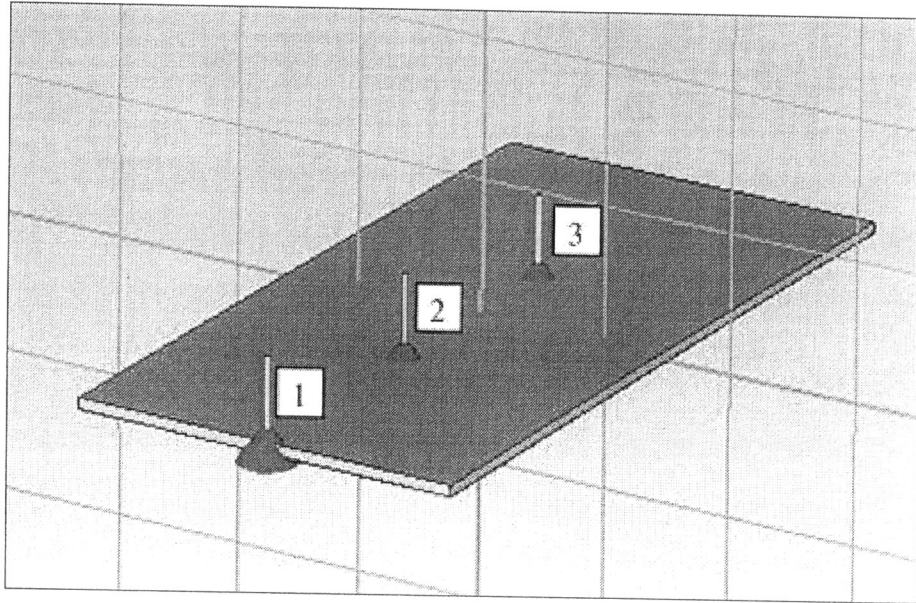
ค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ		
$82.9106 + 19.1599i$	$60.7859 + 9.0942i$	$62.859 - 9.0942i$
$61.4237 + 8.4030i$	$87.3967 - 10.3660i$	$61.3426 - 16.2045i$
$61.4237 + 8.4030i$	$61.3426 - 16.2045i$	$86.4104 - 12.7832i$



ตารางที่ 4-5 การจำลองผลตำแหน่งการจัดวางสายอากาศ 3 ต้นในกรณี (b)

ตารางที่ 4-5 แสดงค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 3 ต้นในกรณี (b)

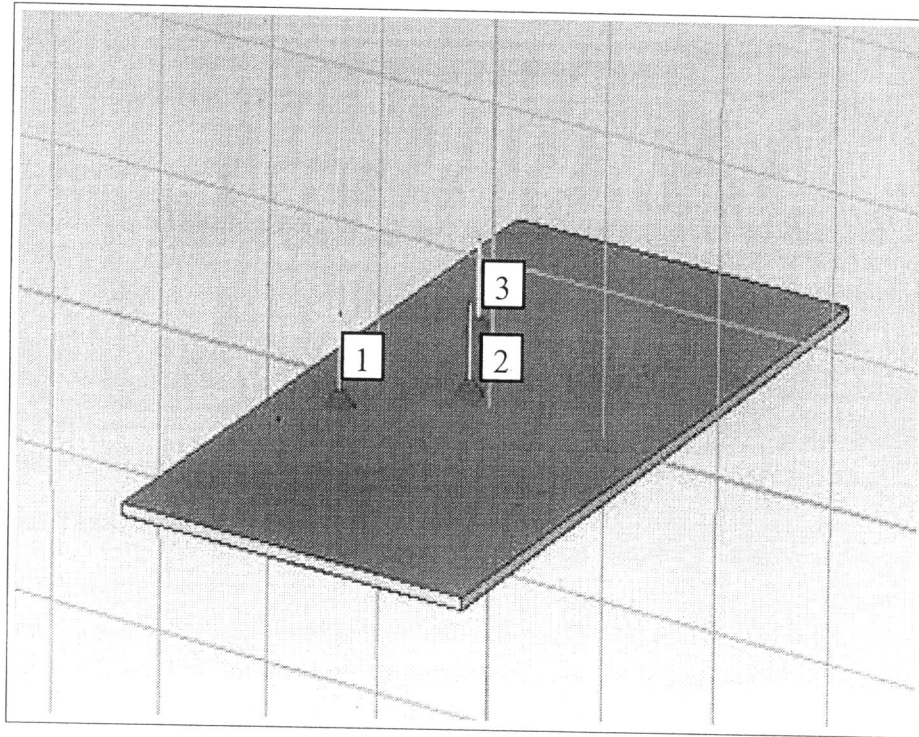
ค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ		
$67.1701 + 7.9998i$	$24.7015 - 16.6921i$	$36.3233 - 3.2461i$
$24.7015 - 16.6921i$	$79.3011 + 32.9975i$	$21.1141 - 1.0218i$
$36.3233 - 3.2461i$	$21.1141 - 1.0218i$	$44.6995 + 2.5203i$



รูปที่ 4-13 การจำลองผลตำแหน่งการจัดวางสายอากาศ 3 ต้นในกรณี (c)

ตารางที่ 4-6 แสดงค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 3 ต้นในกรณี (c)

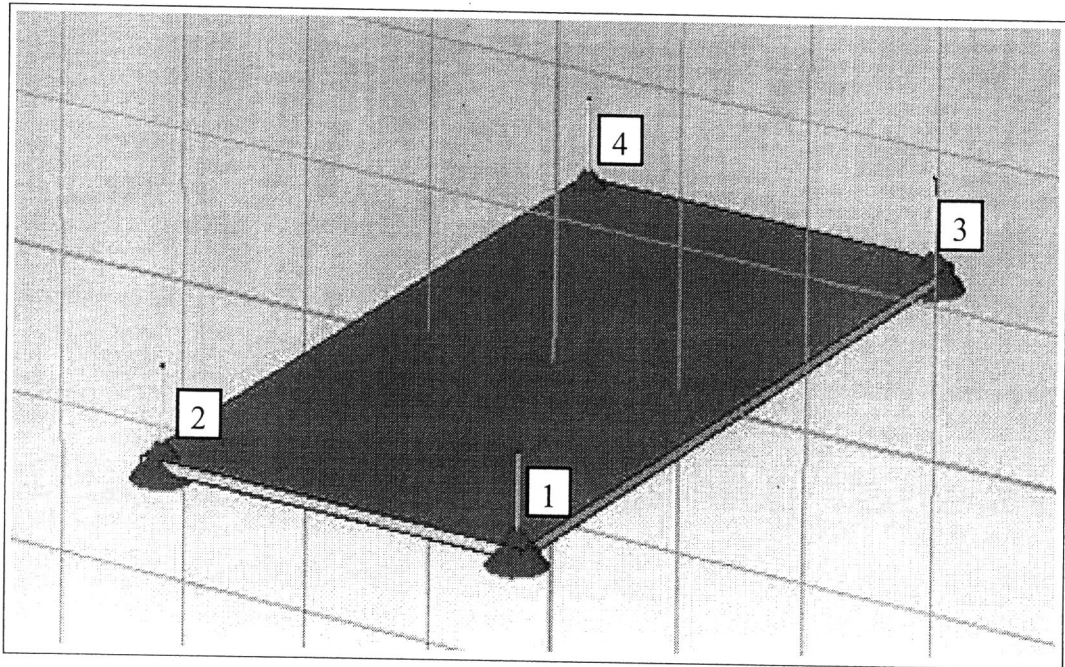
ค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ		
$35.7580 + 6.7937i$	$39.1246 + 4.1474i$	$49.6078 - 5.3033i$
$39.1246 + 4.1474i$	$34.1137 + 6.1019i$	$32.5709 + 1.9579i$
$49.6078 - 5.3033i$	$32.5709 + 1.9579i$	$33.9153 - 20.2793i$



รูปที่ 4-14 การจำลองผลตำแหน่งการจัดวางสายอากาศ 3 ต้นในกรณี (d)

ตารางที่ 4-7 แสดงค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 3 ต้นในกรณี (d)

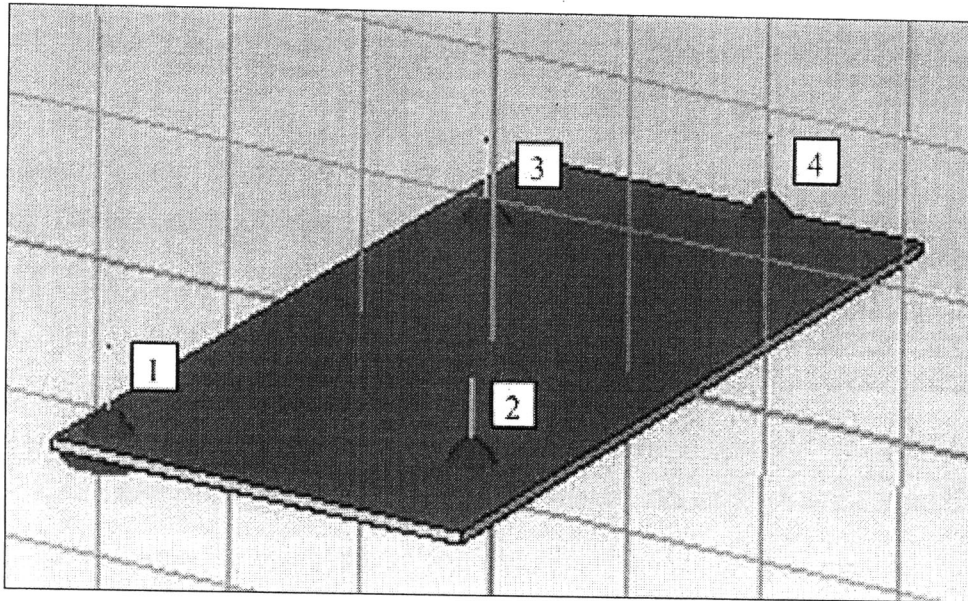
ค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ		
$35.7580 + 6.7937i$	$39.1246 + 4.1474i$	$49.6078 - 5.3033i$
$39.1246 + 4.1474i$	$34.1137 + 6.1019i$	$32.5709 + 1.9579i$
$49.6078 - 5.3033i$	$32.5709 + 1.9579i$	$33.9153 - 20.2793i$



รูปที่ 4-15 การจำลองผลตำแหน่งการจัดวางสายอากาศ 4 ต้นในกรณี (a)

ตารางที่ 4-8 แสดงค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 4 ต้นในกรณี (a)

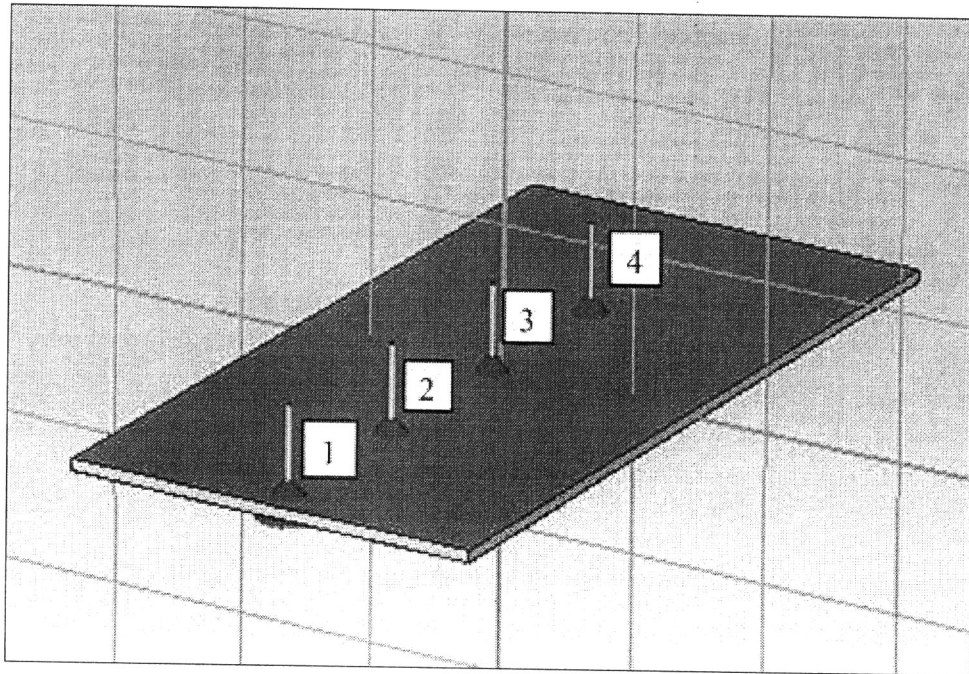
ค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ			
$32.315 - 7.051i$	$49.277 - 1.027i$	$48.815 + 0.163i$	$50.976 + 1.177i$
$49.277 - 1.027i$	$35.860 - 62.375i$	$50.532 + 0.836i$	$49.070 - 0.006i$
$48.815 + 0.163i$	$50.532 + 0.836i$	$33.204 - 39.147i$	$48.596 - 1.080i$
$50.976 + 1.177i$	$49.079 - 0.006i$	$48.596 - 1.080i$	$31.056 - 16.724i$



รูปที่ 4-16 การจำลองผลตำแหน่งการจัดวางสายอากาศ 4 ต้นในกรณี (b)

ตารางที่ 4-9 แสดงค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 4 ต้นในกรณี (b)

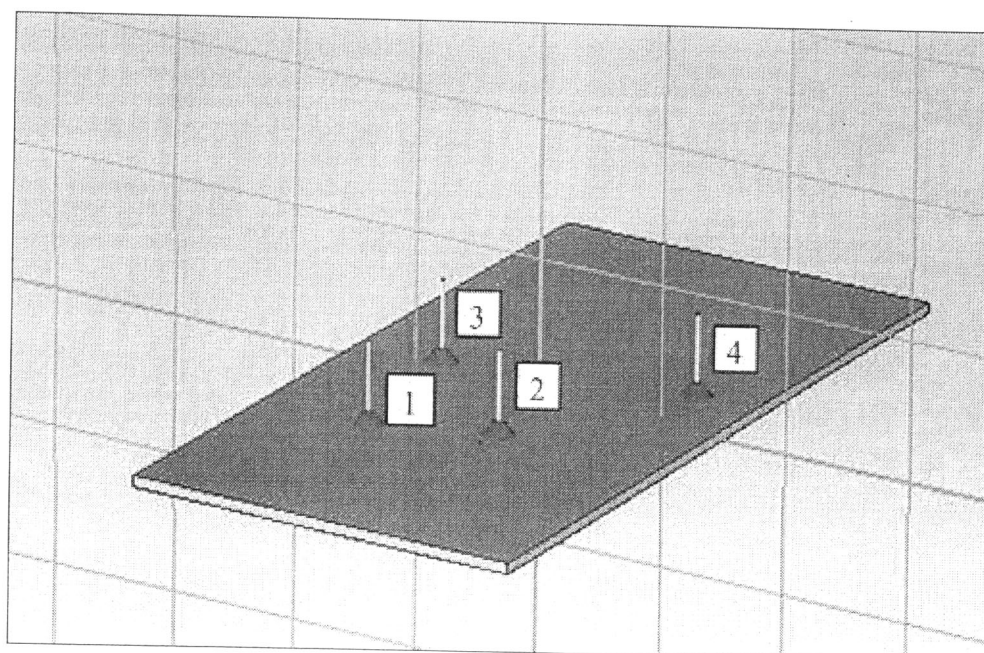
ค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ			
$28.718 - 12.426i$	$49.675 + 0.278i$	$50.379 - 0.469i$	$49.632 - 0.173i$
$49.675 + 0.278i$	$35.627 - 7.659i$	$50.957 + 1.077i$	$51.131 - 0.385i$
$50.379 - 0.469i$	$50.957 + 1.077i$	$27.971 - 6.877i$	$49.078 - 2.259i$
$49.632 - 0.173i$	$55.357 - 4.001i$	$49.078 - 2.259i$	$30.138 - 8.137i$



รูปที่ 4-17 การจำลองผลตำแหน่งการจัดวางสายอากาศ 4 ต้นในกรณี (c)

ตารางที่ 4-10 แสดงค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 4 ต้นในกรณี (c)

ค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ			
$47.274 + 7.243i$	$52.639 - 1.831i$	$49.669 - 0.681i$	$48.719 + 0.019i$
$52.639 - 1.831i$	$80.427 - 1.941i$	$53.068 - 2.170i$	$48.862 + 0.543i$
$50.646 - 0.423i$	$53.068 - 2.170i$	$71.0518 - 37.868i$	$50.964 - 1.833i$
$47.274 + 7.243i$	$52.639 - 1.831i$	$49.669 - 0.681i$	$48.719 + 0.019i$



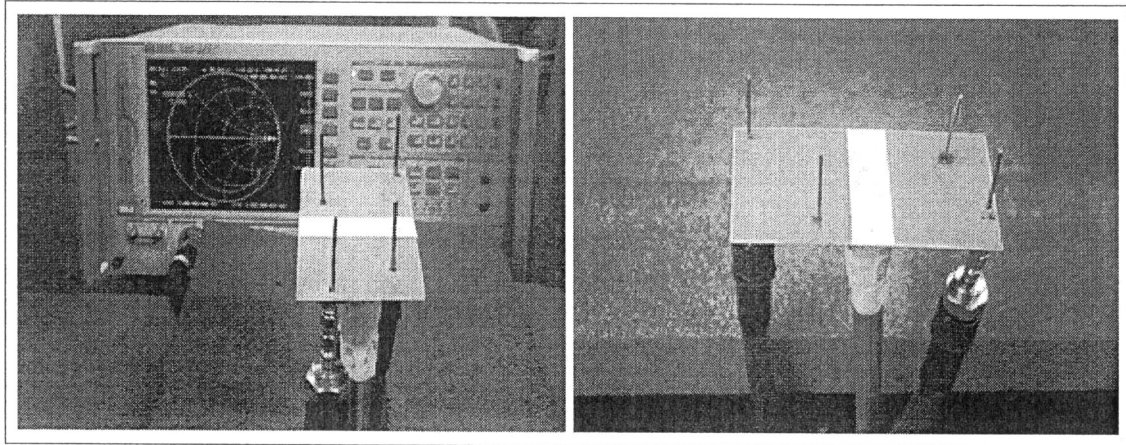
รูปที่ 4-18 การจำลองผลตำแหน่งการจัดวางสายอากาศ 4 ต้นในกรณี (d)

ตารางที่ 4-11 แสดงค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 4 ต้นในกรณี (d)

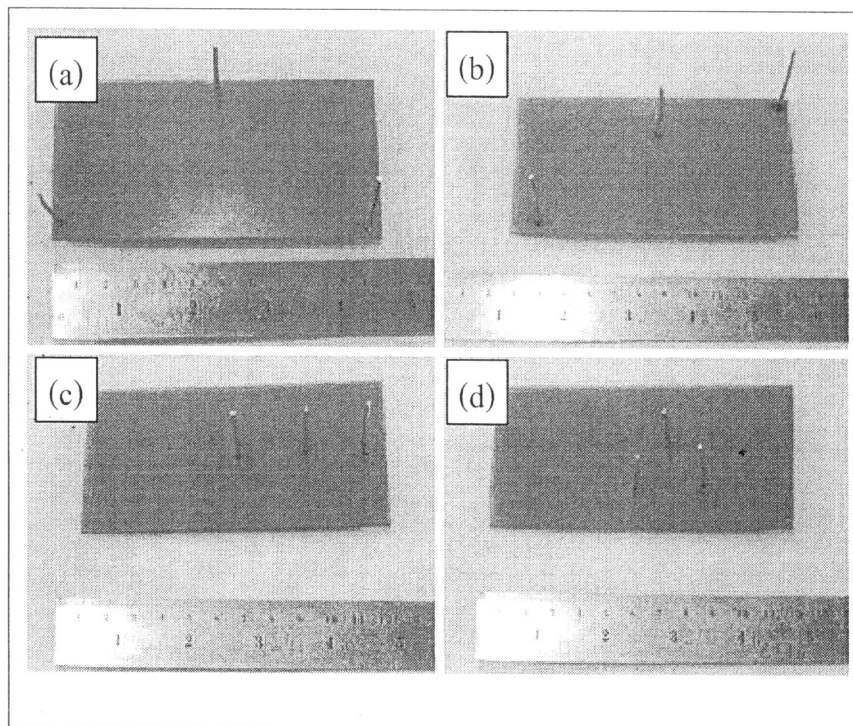
ค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ			
37.533 -14.186i	62.268 - 2.181i	55.434 - 4.269i	48.447 - 0.675i
62.268 - 2.181i	77.724 -21.634i	50.566 + 0.329i	51.925 - 4.045i
55.434 - 4.269i	50.566 + 0.329i	90.910 + 6.197i	53.481+ 0.758i
48.447 - 0.675i	51.925 - 4.045i	53.481 + 0.758i	37.322 -24.040i

4.5 การทดสอบระบบไมโมในสถานการณ์จริง

จากหัวข้อที่ 4.3 ได้แสดงการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST microwave studio เพื่อเปรียบเทียบผลความจุของช่องสัญญาณในหัวข้อนี้ได้เสนอการวัดผลจริงโดยผ่านเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่าย (Network Analyzer) เพื่อวัดผลค่า Z อิมพีแดนซ์เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความจุของช่องสัญญาณในระบบไมโมต่อไป

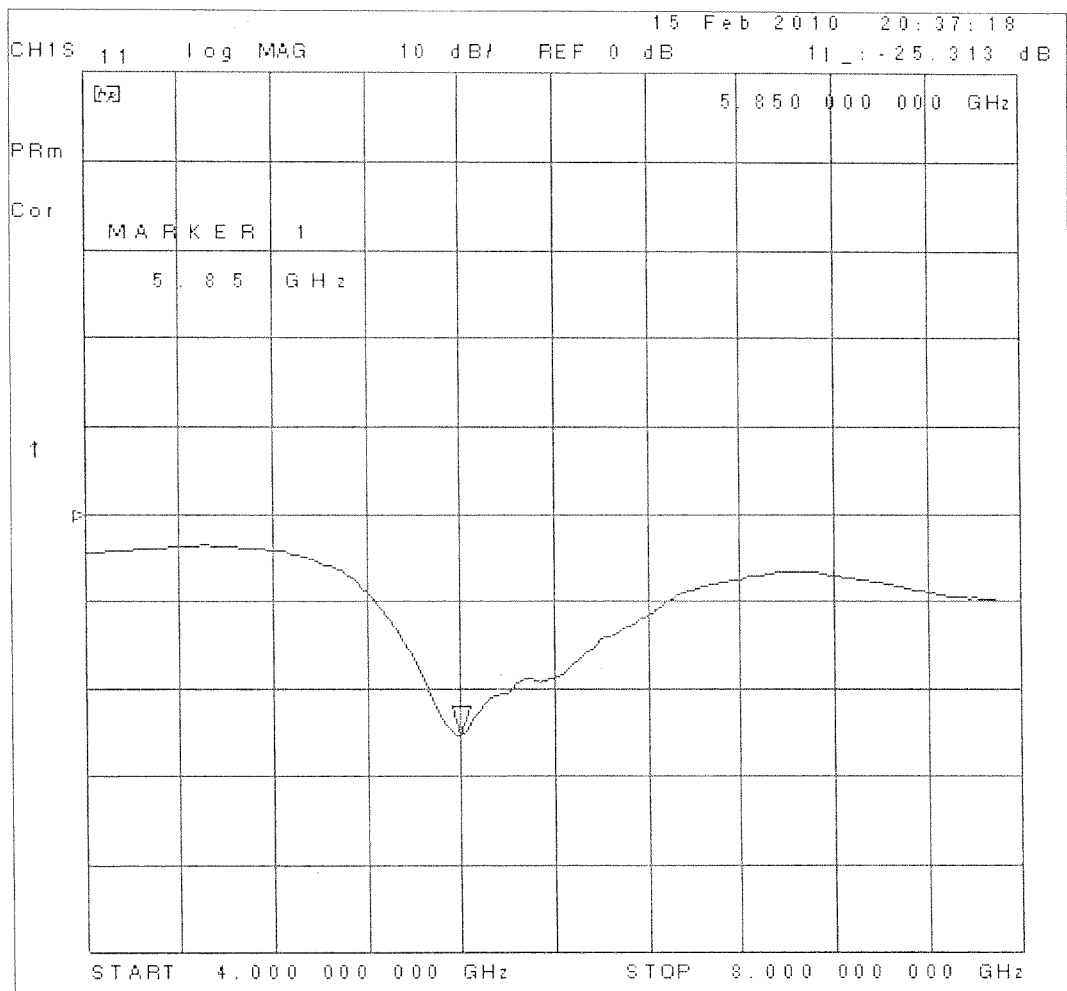


รูปที่ 4-19 การวัดผลค่า Z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศผ่านเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่าย

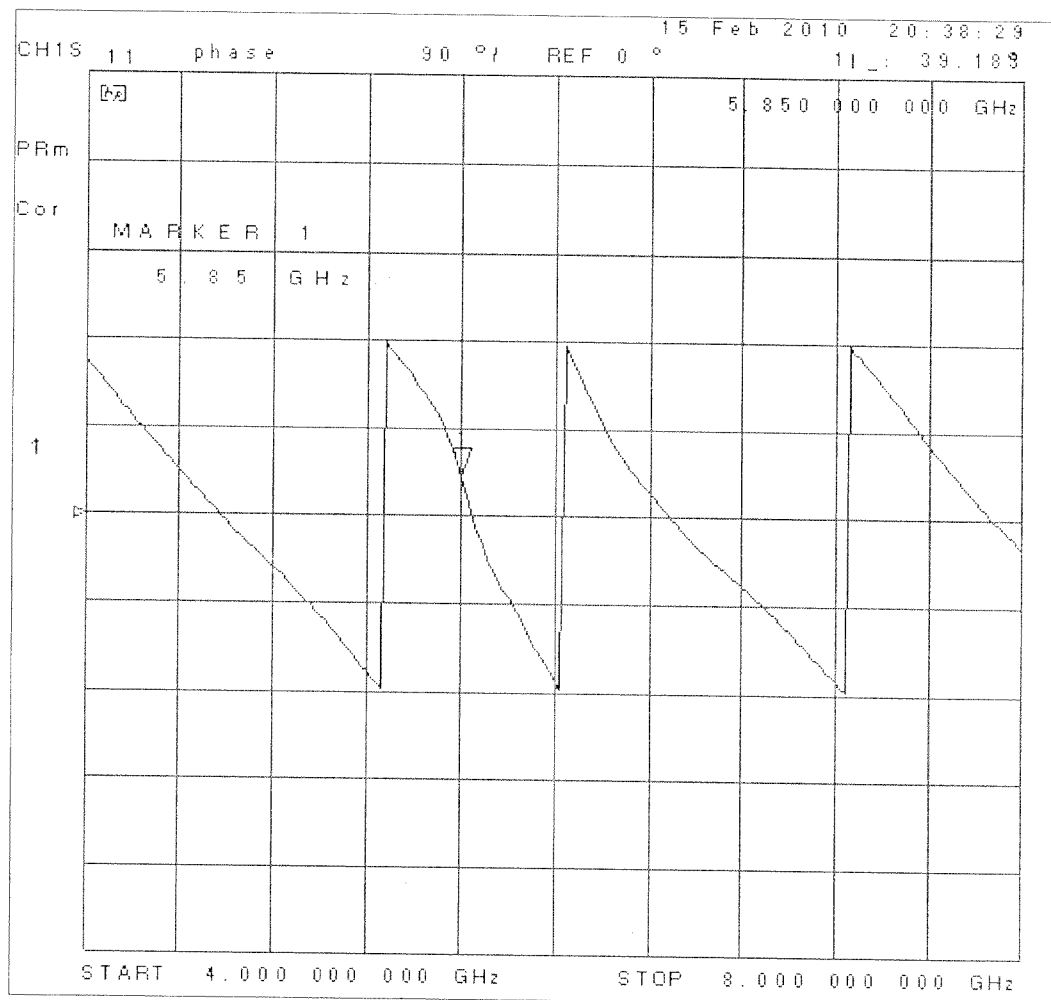


รูปที่ 4-20 การจัดวางสายอากาศ 3 ต้นในแต่ละกรณี

ตัวอย่างผลวัดค่าโดยค่า Z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศทั้งขนาดและเฟสถูกวัดจากเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่าย (S_{ii}, S_{ij}) โดยแต่ละอิมพีแดนซ์จะวัดทั้งหมด 5 ครั้ง โดยกำหนดให้ ($S_{ij} = S_{ji}$) เป็นไปตามทฤษฎีบทภาวะย้อนกลับ (Reciprocity theorem)



รูปที่ 4-21 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ s11 ที่ 5.85 GHz



รูปที่ 4-22 ผลวัดค่าเฟสของสายอากาศ s11 ที่ 5.85 GHz

ตารางที่ 4-12 แสดงค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 3 ต้นในกรณี (a)

ค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ		
44.4545 - 5.9706i	55.6711 + 5.8918i	45.5511 - 2.2106i
55.6711 + 5.8918i	39.1023 + 3.9536i	36.7929 - 4.2588i
45.5511 - 2.2106i	36.7929 - 4.2588i	41.1227 - 0.3986i

ตารางที่ 4-13 แสดงค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 3 ต้นในกรณี (b)

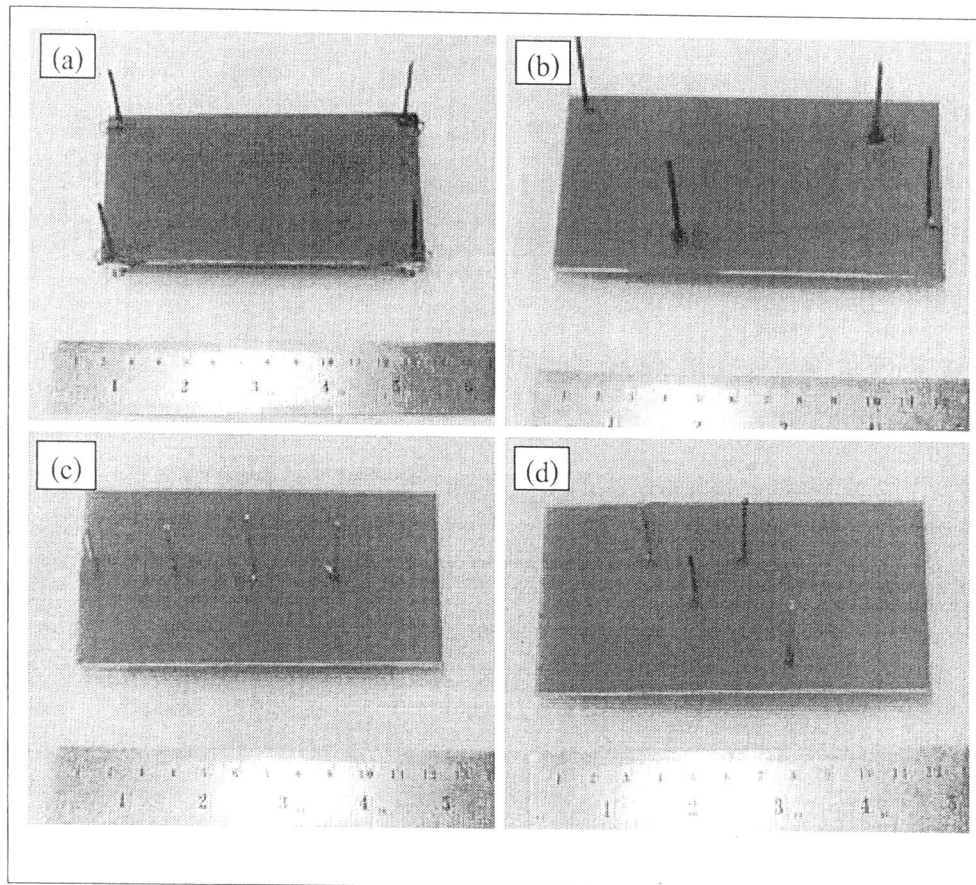
ค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ		
$45.2170 + 1.9319i$	$46.2529 - 6.4398i$	$49.6559 + 3.3805i$
$46.2529 - 6.4398i$	$48.7856 + 5.1962i$	$58.2485 - 0.0352$
$49.6559 + 3.3805i$	$58.2485 - 0.0352$	$43.8575 + 2.6449i$

ตารางที่ 4-14 แสดงค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 3 ต้นในกรณี (c)

ค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ		
$43.5483 + 9.8344i$	$57.3383 + 34.6093i$	$43.9455 - 0.6267i$
$57.3383 + 34.6093i$	$32.7836 - 3.5909i$	$39.0168 - 15.5302i$
$43.9455 - 0.6267i$	$39.0168 - 15.5302i$	$40.5706 + 12.5839i$

ตารางที่ 4-15 แสดงค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 3 ต้นในกรณี (d)

ค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ		
$66.2659 - 2.1630i$	$44.8552 - 17.8197i$	$52.7667 - 2.5044i$
$44.8552 - 17.8197i$	$62.3751 - 7.3388i$	$68.6169 - 38.8172i$
$44.8552 - 17.8197i$	$52.7667 - 2.5044i$	$54.7666 + 1.0867i$



รูปที่ 4-23 การจัดวางสายอากาศ 4 ต้นในแต่ละกรณี

ตารางที่ 4-16 แสดงค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 4 ต้นในกรณี (a)

ค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ			
35.322 - 22.040i	62.268 - 2.181i	55.434 - 4.269i	48.447 - 0.675i
62.268 - 2.181i	37.724 - 21.634i	50.566 + 0.329i	51.925 - 4.045i
55.434 - 4.269i	50.566 + 0.329i	38.533 - 14.186i	53.481 + 0.758i
48.447 - 0.675i	51.925 - 4.045i	53.481 + 0.758i	37.322 - 24.040i

ตารางที่ 4-17 แสดงค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 4 ต้นในกรณี (b)

ค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ			
$40.274 + 7.243i$	$52.639 - 1.831i$	$49.669 - 0.681i$	$48.719 + 0.019i$
$52.639 - 1.831i$	$42.427 - 1.941i$	$53.068 - 2.170i$	$48.862 + 0.543i$
$49.669 - 0.681i$	$53.068 - 2.170i$	$41.051 - 37.868i$	$50.964 - 1.833i$
$48.719 + 0.019i$	$48.862 + 0.543i$	$50.964 - 1.833i$	$43.465 - 31.376i$

ตารางที่ 4-18 แสดงค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 4 ต้นในกรณี (c)

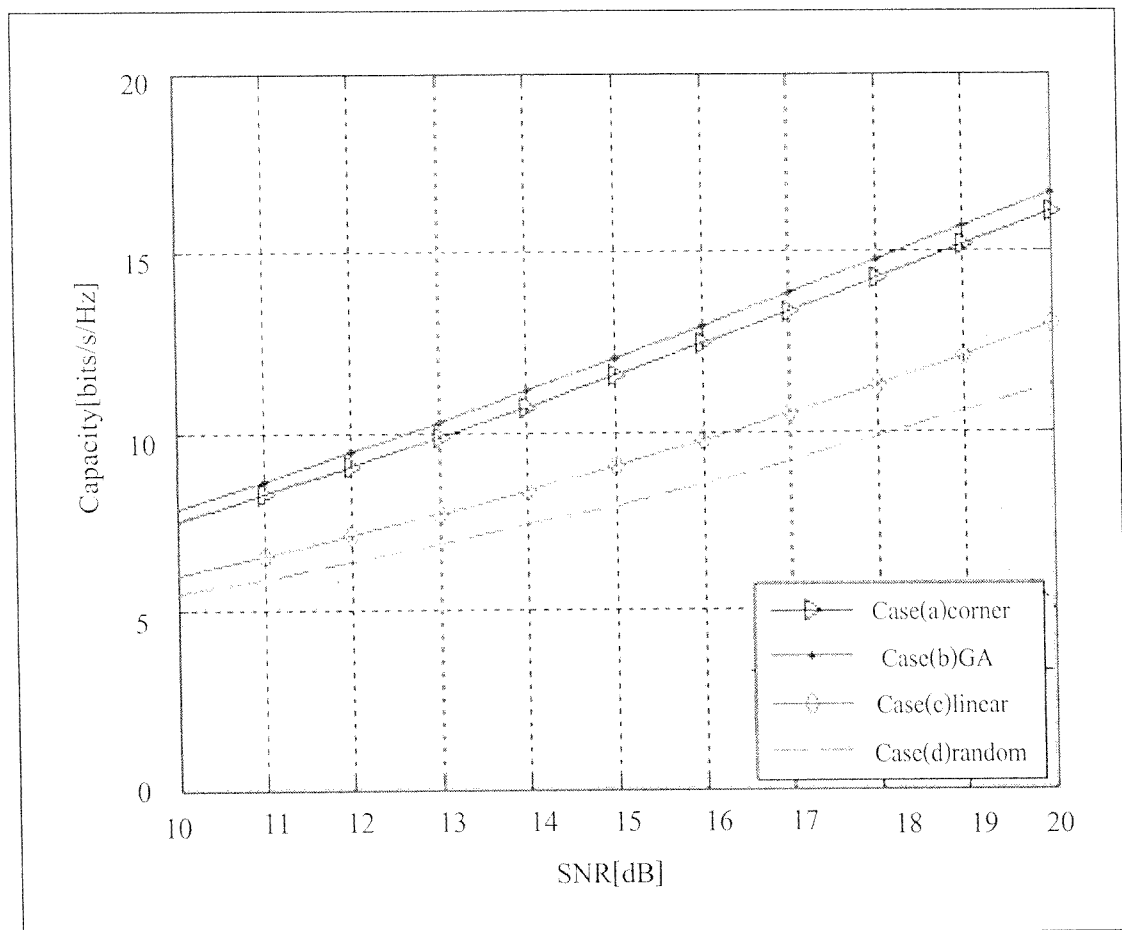
ค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ			
$30.718 - 12.426i$	$49.675 + 0.278i$	$50.379 - 0.469i$	$49.632 - 0.173i$
$49.675 + 0.278i$	$35.627 - 7.659i$	$50.957 + 1.077i$	$51.131 - 0.385i$
$50.379 - 0.469i$	$50.957 + 1.077i$	$27.971 - 6.877i$	$49.078 - 2.259i$
$49.632 - 0.173i$	$51.131 - 0.385i$	$49.078 - 2.259i$	$30.138 - 8.137i$

ตารางที่ 4-19 แสดงค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 4 ต้นในกรณี (d)

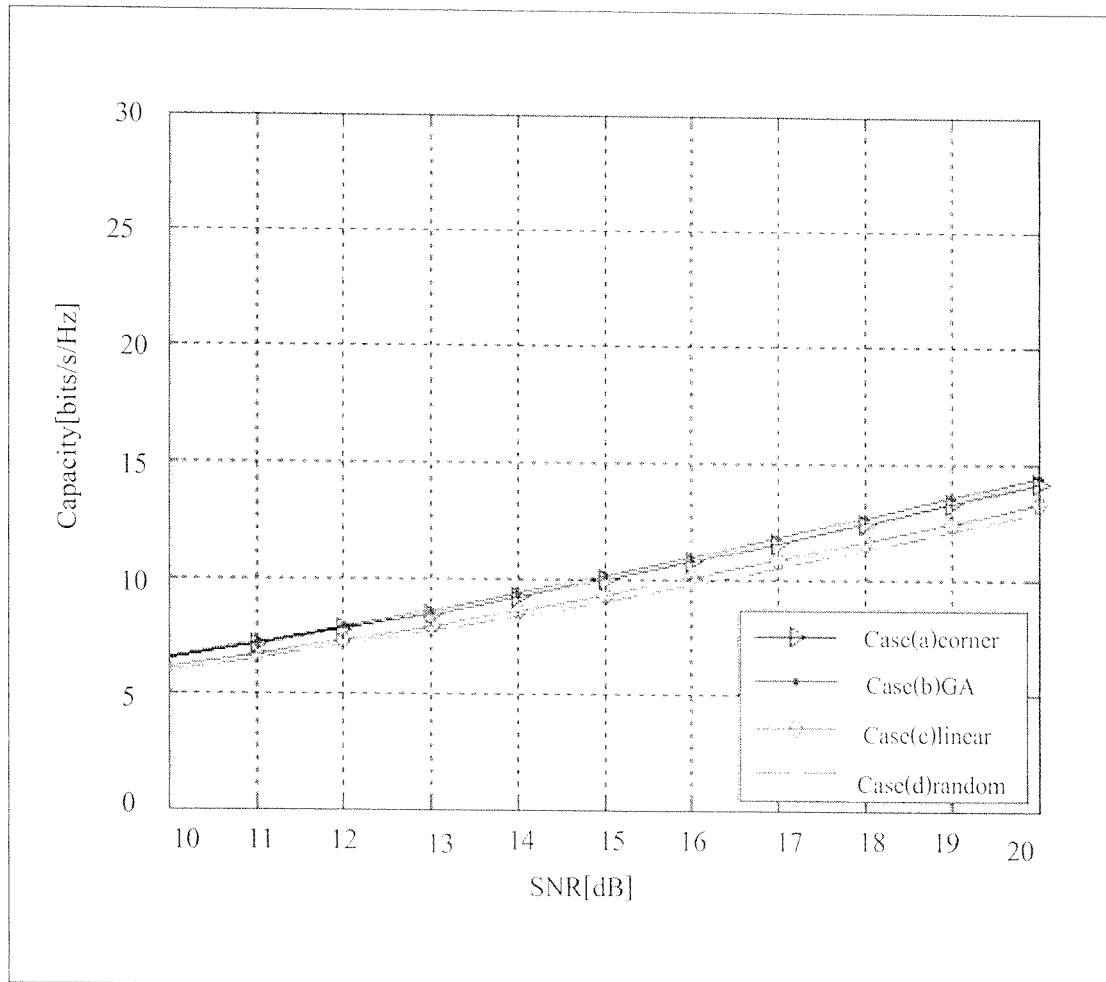
ค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ			
$62.350 - 14.028i$	$51.925 - 9.527i$	$45.059 - 4.120i$	$49.856 + 3.626i$
$51.925 - 9.527i$	$42.760 - 5.224i$	$49.856 + 3.626i$	$45.059 - 4.120i$
$45.059 - 4.120i$	$49.856 + 3.626i$	$68.557 - 9.958i$	$51.925 - 9.527i$
$49.856 + 3.626i$	$45.059 - 4.120i$	$51.925 - 9.527i$	$70.192 - 9.163i$

4.6 การหาความจุช่องสัญญาณ

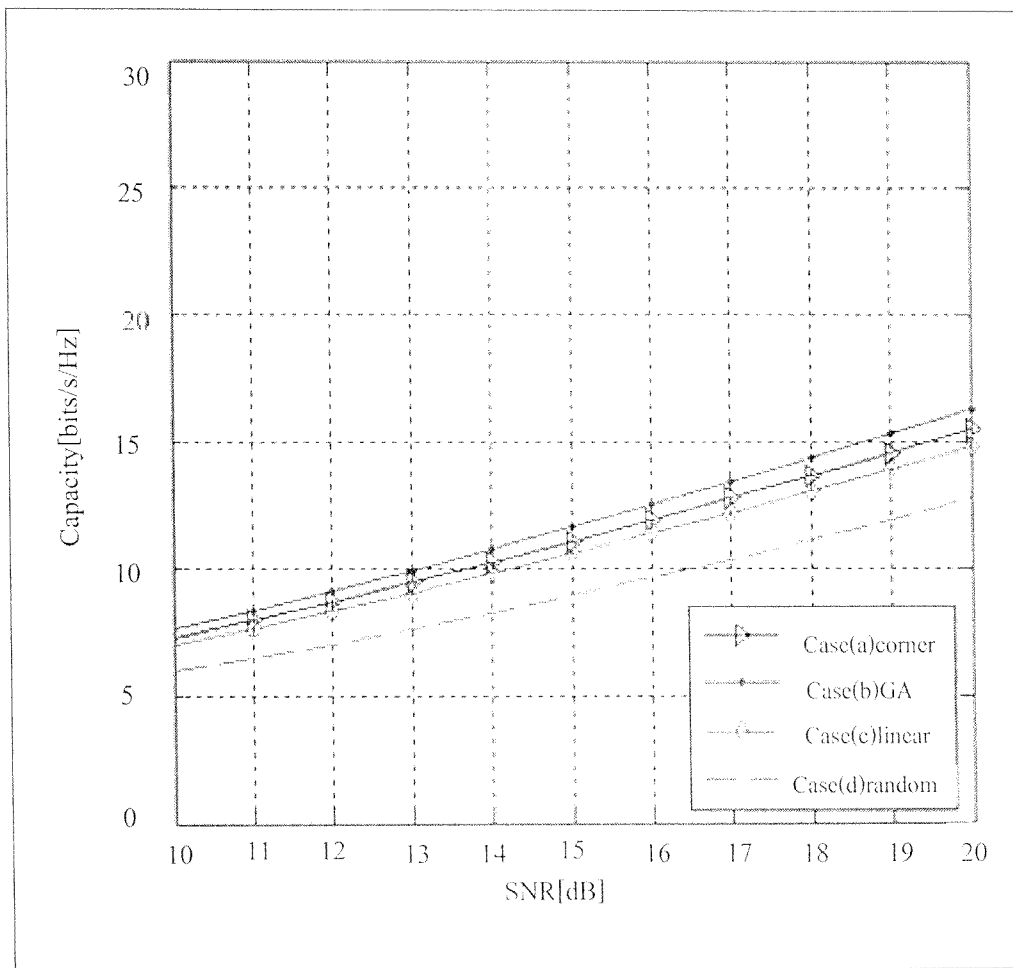
การหาความจุของช่องสัญญาณในโครงการวิจัยนี้จะเปรียบเทียบผลความจุช่องสัญญาณ 3 ส่วนเมื่อได้ค่าผลตำแหน่งการจัดวางสายอากาศจากโปรแกรมวิธีจินเนติกอัลกอริทึม สามารถนำมาหาค่าความจุของช่องสัญญาณนำมาเปรียบเทียบกับ การจัดวางสายอากาศในกรณีอื่น ๆ ได้และเมื่อได้ผลตำแหน่งของการจัดวางสายอากาศจากวิธีจินเนติกอัลกอริทึม และได้นำมาจำลองผลตำแหน่งผ่านโปรแกรม CST microwave studio และวัดจริง ซึ่งจะได้อ่านค่า Z อิมพีแดนซ์เพื่อนำไปแทนในสมการ 3.10 แล้วทำการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมเมทแลป จะสามารถหาค่าความจุของช่องสัญญาณได้ดังต่อไปนี้



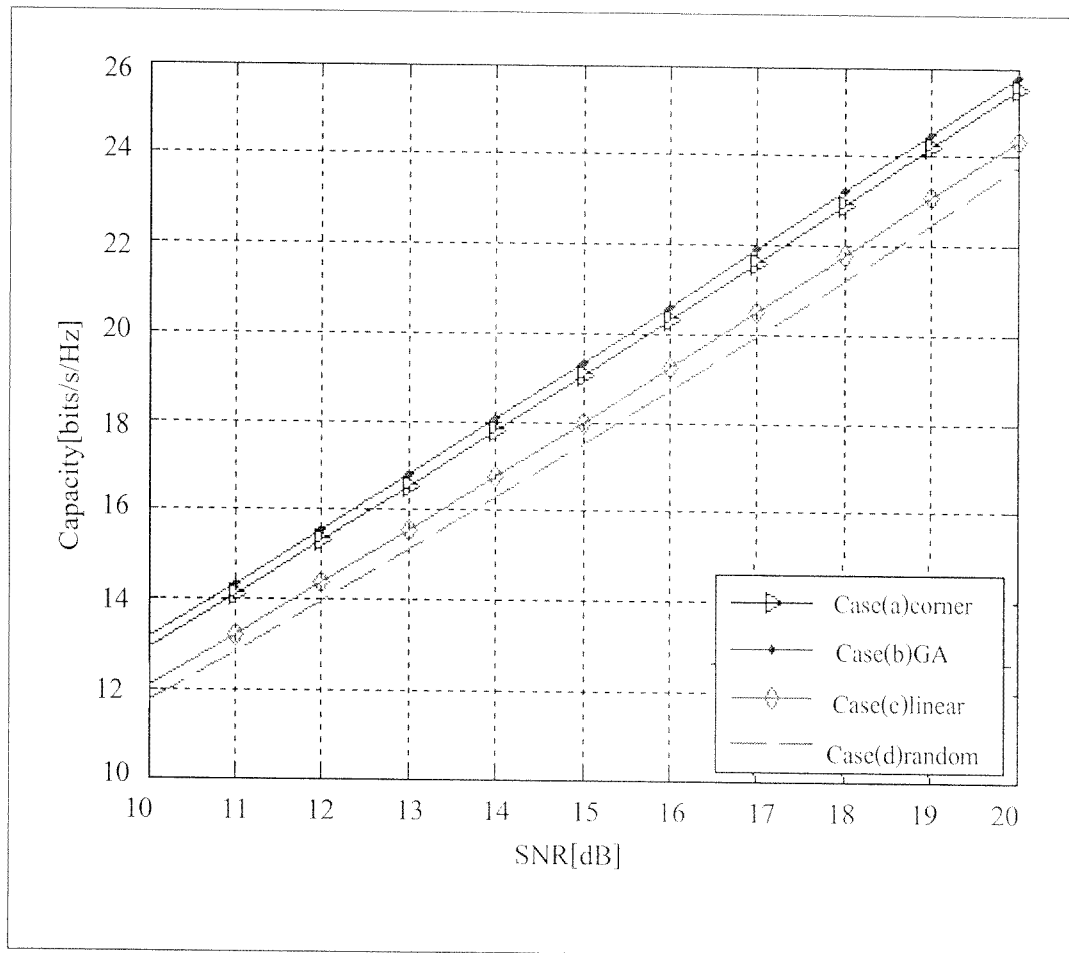
รูปที่ 4-24 ความจุช่องสัญญาณเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนในกรณีโมโม 3x3 โดยใช้ผลตำแหน่งจากวิธีจินเนติกอัลกอริทึม



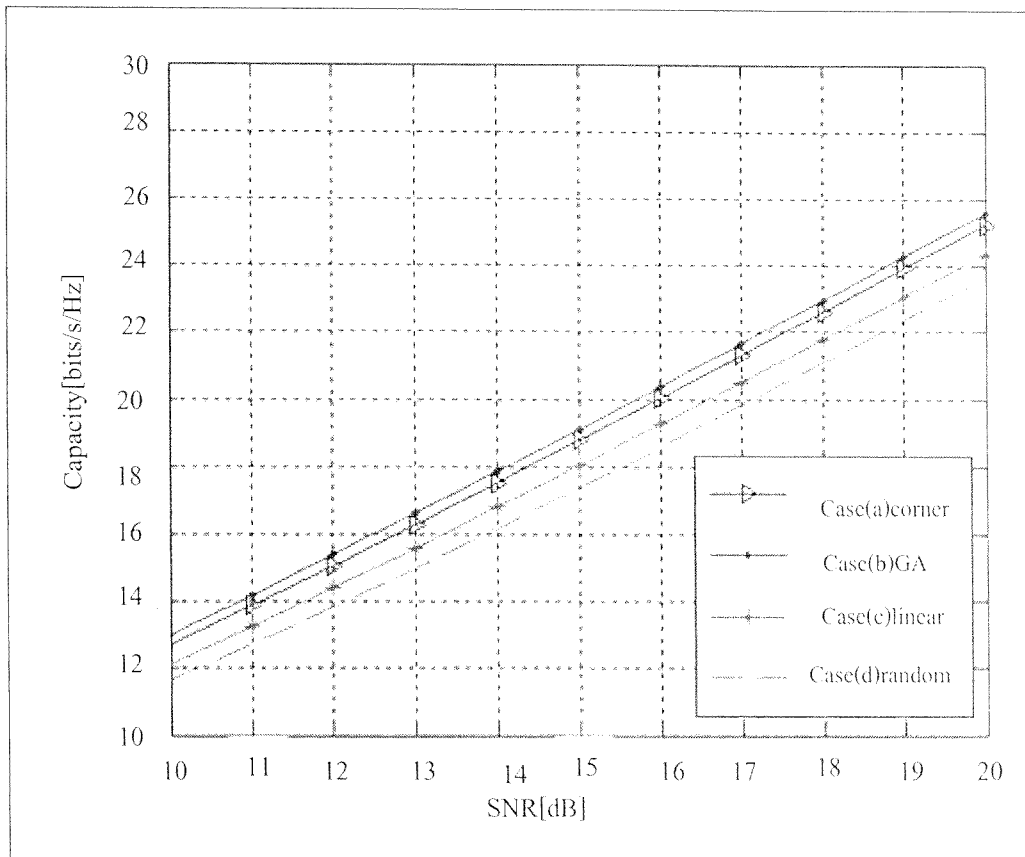
รูปที่ 4-25 ความจุช่องสัญญาณเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนในกรณีโมโม 3x3 โดยใช้ผล Z อิมพีแดนซ์จากโปรแกรม CST microwave studio



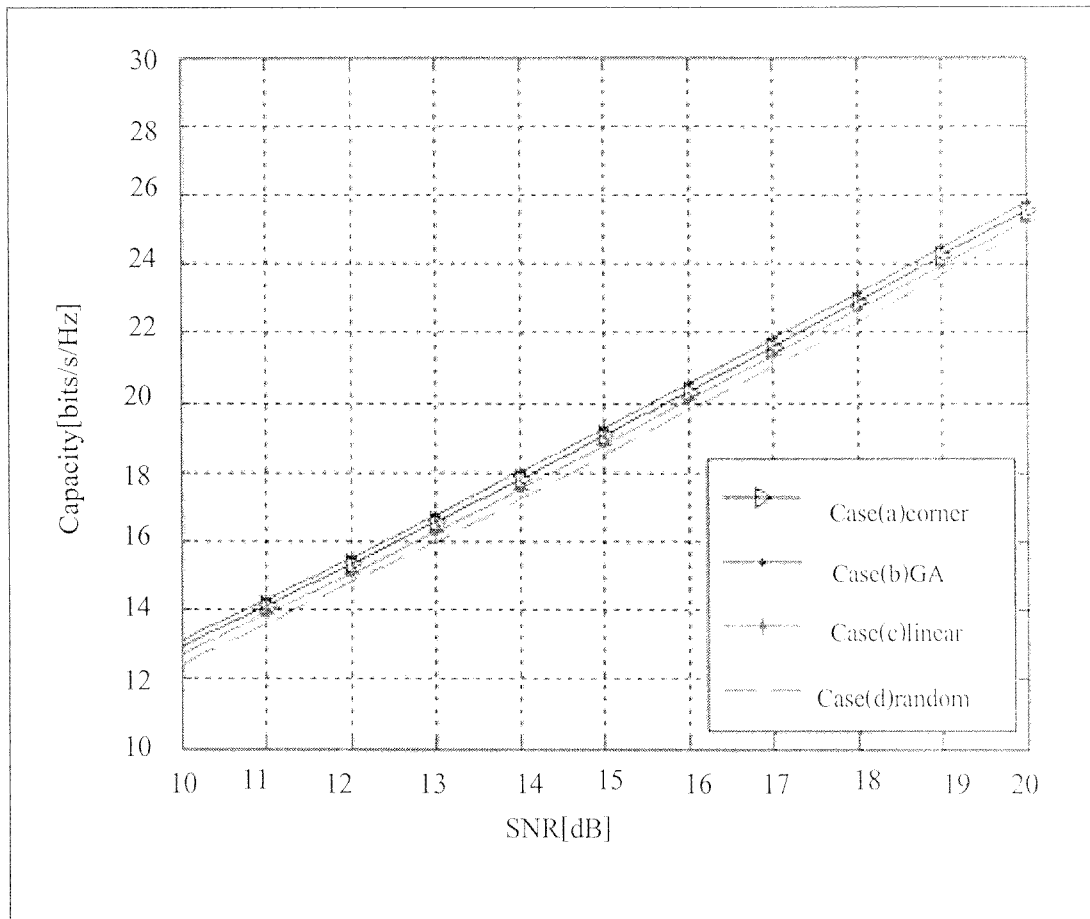
รูปที่ 4-26 ความจุช่องสัญญาณเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนในกรณีโมโม 3x3 โดยใช้ผล Z อิมพีแดนซ์จากการวัดจริง



รูปที่ 4-27 ความจุช่องสัญญาณเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนในกรณีโมโม 4x4 โดยใช้ผล
คำนวณจากวิธีจินเนติกอัลกอริทึม



รูปที่ 4-28 ความจุช่องสัญญาณเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนในกรณีโมโม 4x4 โดยใช้ผล Z อิมพีแดนซ์จากโปรแกรม CST microwave studio



รูปที่ 4-29 ความจุช่องสัญญาณเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนในกรณีโมโม 4x4 โดยใช้ผล Z อิมพีแดนซ์จากการวัดจริง

4.6.1 วิเคราะห์ผลการจำลองแบบและการทดสอบ

จากการทดสอบการจำลองแบบโดยโปรแกรมเมทแลปเพื่อหาตำแหน่งการจัดวางสายอากาศบนอุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบ MIMO 3x3 และ 4x4 ซึ่งใช้วิธีจินเนติกอัลกอริทึมเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดซึ่งผลตำแหน่งที่ได้จากวิธีจินเนติกอัลกอริทึมได้ผลค่าความจุช่องสัญญาณที่ดีที่สุดเปรียบเทียบกับตำแหน่งในกรณีอื่น ๆ ทั้งผลการจำลองด้วยโปรแกรม CST microwave studio และการวัดจริง ซึ่ง ผลการทดสอบแสดงว่าผลของตำแหน่งที่ได้จากวิธีจินเนติกอัลกอริทึมมีความถูกต้องและให้ผลค่าความจุช่องสัญญาณมากกว่ากรณีเปรียบเทียบกับอื่น ๆ ทุกกรณีการทดลองดังกล่าวสามารถเป็นที่ยืนยันว่าการจัดวางสายอากาศด้วยตำแหน่งที่ได้จากการหาคำตอบที่ดีที่สุดจากวิธีจินเนติกอัลกอริทึม สามารถมาเพิ่มความจุของช่องสัญญาณได้

4.7 จากการหาตำแหน่งการจัดวางสายอากาศด้วยเทคนิควิจิณณดิคอัลกอริทึมในช่องสัญญาณแบบ

“Two-Ring” โดยพิจารณามุมที่กระทำกันระหว่างภาครับและภาคส่ง

ผลจากการจำลองแบบในการหาระยะและตำแหน่งการจัดวางตัวของสายอากาศบนโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยใช้ optimization toolbox ในโปรแกรมแมทแลปโดยหาตำแหน่งการจัดวางสายอากาศในช่องสัญญาณแบบ “Two-Ring” โดยพิจารณามุมที่กระทำกันระหว่างภาครับ และภาคส่งจากรูปที่ 2-3 โดยจะทำการหาตำแหน่งของการจัดวางสายอากาศในระบบโมโม 4x4 ซึ่งจะได้ตำแหน่งในแต่ละกรณีดังตารางที่ 4-20 โดยได้ทำการจำลองผลผ่านโปรแกรมแมทแลป และทำการวัดจริงโดยผ่านเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่าย เพื่อวัดค่าอิมพีแดนซ์

ตารางที่ 4-20 แสดงผลตำแหน่งการจัดวางสายอากาศซึ่งได้จากวิจิณณดิคอัลกอริทึมในแต่ละกรณี

MIMO	ตำแหน่งการจัดวางสายอากาศบนพิกัด x y (มิลลิเมตร)			
	Antenna (1)	Antenna (2)	Antenna (3)	Antenna (4)
4x4 Case				
360-360	11.94,14.14	59.85,1.77	16.48,97.08	46.84,104.99
360-60	16.52,19.36	49.27,12.478	19.87,95.20	48.19,97.82
60-360	14.08,16.68	52.51,8.11	16.83,99.42	44.2,94.48
60-60	16.38,10.4	51.91,12.38	15.58,88.96	47.37,87.62
average	14.73,15.14	53.39,8.68	17.19,95.17	46.65,96.23

ตารางที่ 4-21 แสดงค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 4 ต้นในกรณีมุมส่งที่ 360 และมุมรับที่ 360

ค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ			
$44.137 + 2.431i$	$52.324 - 3.974i$	$51.552 - 1.493i$	$48.457 - 0.011i$
$52.324 - 3.974i$	$47.164 + 5.033i$	$50.782 - 1.465i$	$49.133 - 1.681i$
$51.552 - 1.493i$	$50.782 - 1.465i$	$47.943 + 0.896i$	$52.894 - 1.401i$
$48.4578 - 0.011i$	$49.133 - 1.681i$	$52.894 - 1.401i$	$46.435 - 1.148i$

ตารางที่ 4-22 แสดงค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 4 ต้นในกรณีมุมส่งที่ 360 และมุมรับที่ 60

ค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ			
$44.124 + 0.430i$	$47.387 - 3.394i$	$52.197 + 1.595i$	$51.779 - 0.340i$
$47.387 - 3.394i$	$46.786 + 5.059i$	$50.450 - 1.085i$	$52.630 + 0.130i$
$52.197 + 1.595i$	$50.450 - 1.085i$	$45.254 + 3.870i$	$52.701 + 0.232i$
$51.779 - 0.340i$	$52.630 + 0.130i$	$52.701 + 0.239i$	$46.715 + 1.057i$

ตารางที่ 4-23 แสดงค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 4 ต้นในกรณีมุมส่งที่ 60 และมุมรับที่ 360

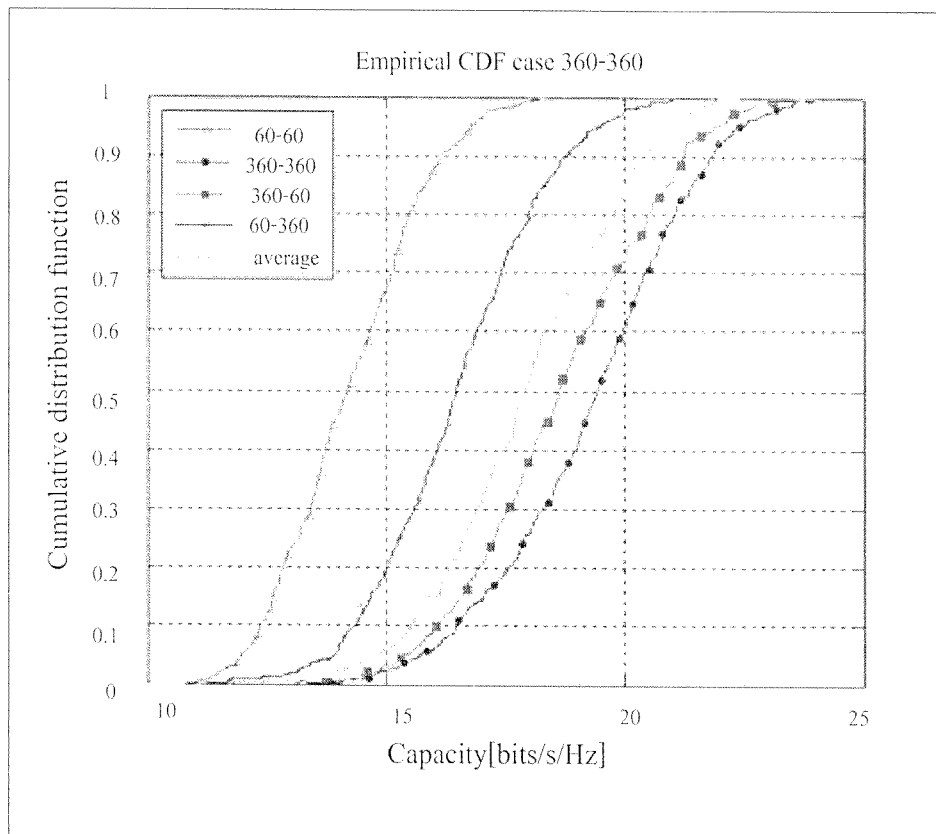
ค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ			
$44.351 - 1.377i$	$49.451 - 4.223i$	$51.872 + 1.608i$	$52.324 + 2.592i$
$49.459 - 4.227i$	$45.205 + 2.726i$	$50.436 - 1.071i$	$53.174 - 1.174i$
$51.872 + 1.601i$	$50.436 - 1.071i$	$43.185 + 2.633i$	$53.195 - 0.344i$
$52.324 + 2.599i$	$53.174 - 1.174i$	$53.195 - 0.344i$	$47.849 - 0.716i$

ตารางที่ 4-24 แสดงค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 4 ต้นในกรณีมุมส่งที่ 60 และมุมรับที่ 60

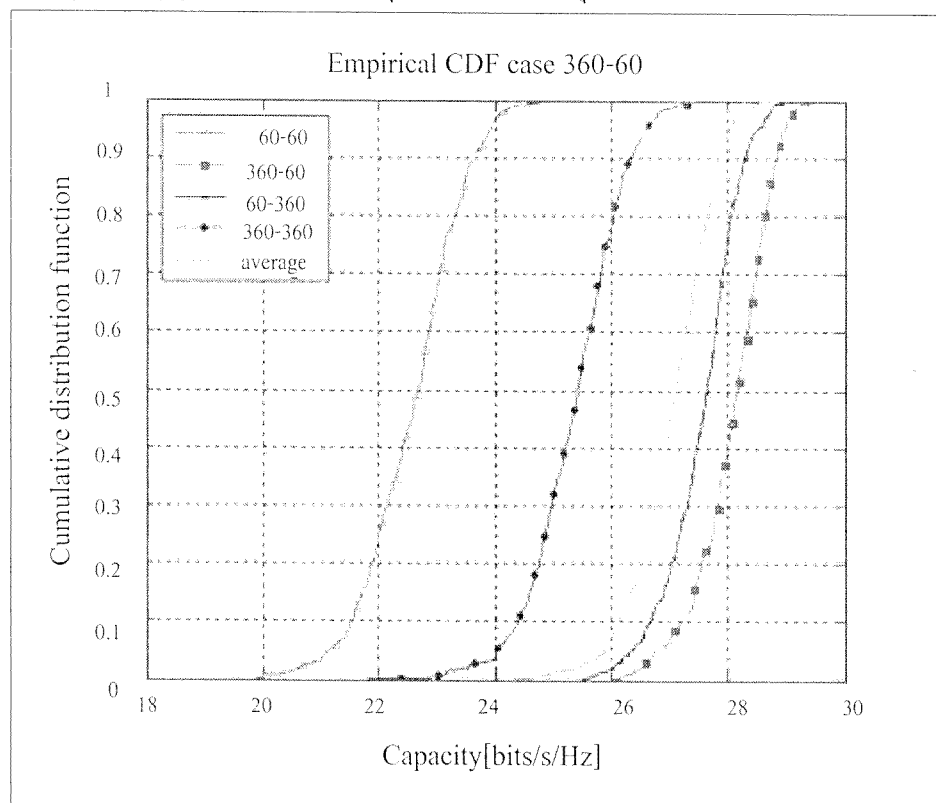
ค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ			
$46.021 + 2.017i$	$53.447 - 3.407i$	$51.645 + 1.425i$	$52.020 + 0.781i$
$53.447 - 3.407i$	$50.245 + 4.352i$	$51.572 - 0.365i$	$52.101 + 0.654i$
$51.645 + 1.425i$	$51.572 - 0.365i$	$45.677 - 0.470i$	$53.937 - 1.697i$
$52.020 + 0.781i$	$52.101 + 0.654i$	$53.937 - 1.697i$	$50.620 - 2.089i$

ตารางที่ 4-25 แสดงค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 4 ต้นในกรณีค่าเฉลี่ยจากกรณีทั้งหมด

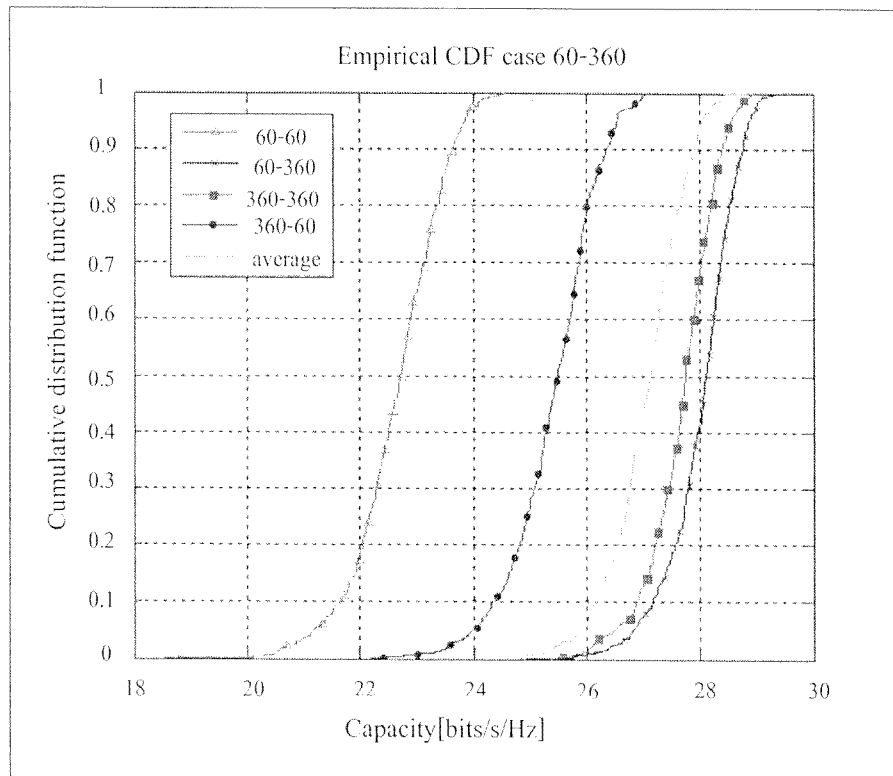
ค่า z อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ			
$43.331 - 1.339i$	$48.559 - 3.923i$	$52.873 + 1.729i$	$52.334 - 4.512i$
$48.559 - 3.923i$	$42.215 + 4.723i$	$49.426 - 1.271i$	$52.234 + 1.224i$
$52.873 + 1.729i$	$49.426 - 1.271i$	$44.292 - 2.613i$	$51.421 + 1.239i$
$52.334 - 4.512i$	$52.234 + 1.224i$	$51.421 + 1.239i$	$43.849 - 0.216i$



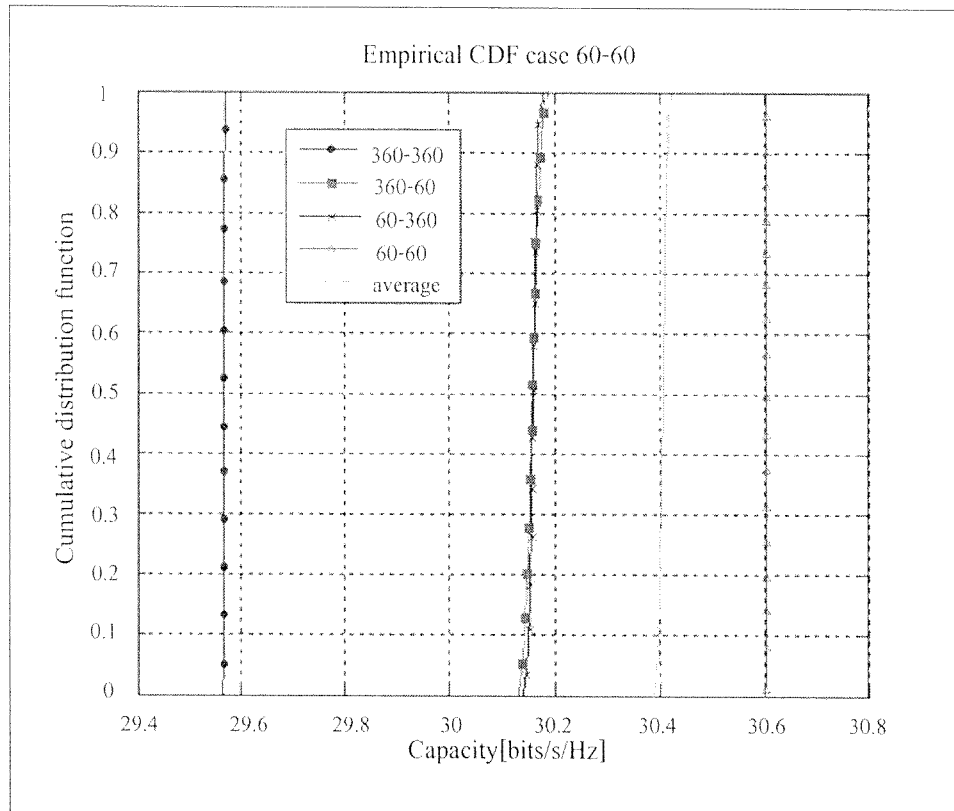
รูปที่ 4-30 ความจุช่องสัญญาณ CDF สำหรับมุมส่งที่ 360 และมุมรับที่ 360 เปรียบเทียบกับกรณีอื่น



รูปที่ 4-31 ความจุช่องสัญญาณ CDF สำหรับมุมส่งที่ 360 และมุมรับที่ 60 เปรียบเทียบกับกรณีอื่น



รูปที่ 4-32 ความจุช่องสัญญาณ CDF สำหรับมุมส่งที่ 60 และมุมรับที่ 360 เปรียบเทียบกับกรณีอื่น



รูปที่ 4-33 ความจุช่องสัญญาณ CDF สำหรับมุมส่งที่ 60 และมุมรับที่ 60 เปรียบเทียบกับกรณีอื่น

4.7.1 วิเคราะห์ผลการจำลองแบบและการทดสอบ

จะเห็นได้ว่าผลตำแหน่งที่ได้จากวิธีจินเนติกอัลกอริทึมจะได้ผลของค่าความจุช่องสัญญาณที่ดีที่สุดในกรณีของตัวเองซึ่งเปรียบเทียบกับกรณีอื่น ๆ แสดงให้เห็นว่าผลตำแหน่งที่ได้จากวิธีจินเนติกอัลกอริทึมให้ผลที่ถูกต้องและผลของค่าเฉลี่ยของตำแหน่งเป็นผลที่สามารถใช้ได้จริงซึ่งดูจากรูปที่ 4-31 4-32 4-33 และ 4-34 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยจะให้ผลความจุช่องสัญญาณที่ดีเป็นอันดับต้น ๆ ซึ่งแสดงถึงว่าค่าเฉลี่ยของตำแหน่งก็สามารถนำมาใช้งานได้ การทดลองดังกล่าวสามารถเป็นที่ยืนยันว่าการจัดวางสายอากาศด้วยตำแหน่งที่ได้จากการหาคำตอบที่ดีที่สุดจากวิธีจินเนติกอัลกอริทึมโดยพิจารณาในช่องสัญญาณที่แตกต่างกันก็ยังคงให้ผลดีและแม่นยำ

4.8 กล่าวท้ายบท

ในบทนี้แสดงผลที่ได้จากการจำลองผลโดยวิเคราะห์ผลจากการหาตำแหน่งที่เหมาะสมของการจัดวางตัวของสายอากาศโดยพิจารณาถึงผลกระทบจากปรากฏการณ์การเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศรวมถึงการจำลองผลและการทดลองสำหรับการวัดจริงโดยพิจารณาใน 2 ช่องสัญญาณที่แตกต่างกันคือในช่องสัญญาณแบบมีความอิสระต่อกันและมีการแจกแจงเหมือนกัน โดยพิจารณาช่องสัญญาณการจางหายแบบเลสลีย์และช่องสัญญาณแบบ “Two-Ring” โดยพิจารณามุมที่กระทำกันระหว่างภาครับและภาคส่ง จากผลที่ได้จากการค้นหาตำแหน่งการจัดวางสายอากาศในการพิจารณาความจุช่องสัญญาณ ผลที่ได้จากการจัดวางสายอากาศด้วยตำแหน่งที่ได้จากวิธีจินเนติกอัลกอริทึมมีประสิทธิภาพที่เหนือกว่าตำแหน่งการจัดวางสายอากาศในกรณีอื่น ๆ ไม่ว่าจะพิจารณาช่องสัญญาณแบบไหน