



การจัดการทรัพยากรในระบบ CDMA
(Resource Allocation in CDMA Systems)

โดย

นายพิพัฒนัย ทิปากาสิตคุณ

รหัสนักศึกษา B4709985

นายโกวิทย์ หาญวิชา

รหัสนักศึกษา B4700364

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษารายวิชา 427494 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
และวิชา 427499 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
ประจำภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2550
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2545
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

หัวข้อโครงการ (ภาษาไทย)	Resource Allocation in CDMA Systems การจัดการทรัพยากรในระบบซีดีเอ็มเอ	
นักศึกษา	นายพิพัฒน์ ธิปภาสติดุล	รหัสนักศึกษา B4709985
	นายโกวิทย์ หาญวิชา	รหัสนักศึกษา B4700364
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
ภาคการศึกษาที่	3/2550	
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี หัตถกรรม	

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบ CDMA (Code Division Multiple Access) ซึ่งเกี่ยวข้องกับ การวิเคราะห์ความล้มเหลวของผู้ให้บริการด้านเสียงและด้านข้อมูลในระบบกับความน่าจะเป็นในการที่จะทำให้ระบบใช้งานอยู่ได้ (Outage Probability) การพิจารณากลุ่มการบริการแบบหลายคลาสทั้ง CBR และ VBR รวมถึงการหาทราฟฟิค (Throughput) ที่ทำให้ทรัพยากรที่มีในระบบอยู่ถูกใช้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดย ได้ทำการนำเสนอในรูปแบบกราฟฟิก โดยการเขียนโปรแกรม GUI (Graphic User Interface) ด้วย MATLAB

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี หัตถกรรม ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และคอยให้คำแนะนำในโครงการเมื่อเกิดปัญหาต่าง ๆ มาโดยตลอดตั้งแต่เริ่มต้นทำโครงการ จนกระทั่งโครงการนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่านและอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่เป็นผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกคนที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือมาโดยตลอด

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้ารวมทั้งผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจที่ดีเสมอมา คอยห่วงใย และให้การสนับสนุนทางการศึกษามาโดยตลอด

คุณความดีอันใดที่เกิดจากโครงการฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายโกวิท หาดูวิชา

นายพิพัฒน์ ธิปภาสติดุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	ง
สารบัญตาราง	ฉ
 บทที่ 1 บทนำ	 1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตการทำงาน	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
 บทที่ 2 หลักการพื้นฐานของทราฟฟิกและการวิเคราะห์ความจุของระบบCDMA	 3
2.1 หลักการพื้นฐานของ CDMA (Code Division Multiple Access)	3
2.1.1 สัญญาณแทรกสอดในการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป (Forward Link Interference)	3
2.1.1.1 สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ (Same-Cell Interference)	3
2.1.1.2 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น (Other-Cell Interference)	4
2.1.2 สัญญาณแทรกสอดในการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ (Reverse Link Interference)	5
2.1.2.1 การแทรกสอดภายในเซลล์ (Same-Cell Interference)	5
2.1.2.2 การแทรกสอดจากเซลล์อื่น (Other-Cell Interference)	5
2.1.3 ผลของการโหลดคิง	6
2.1.3.1 การควบคุมกำลังแบบลูปเปิด (Open Loop Power Control)	8
2.1.3.2 การควบคุมกำลังแบบลูปปิด (Close Loop Power Control)	9
2.2 หลักการพื้นฐานของทราฟฟิกในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่	11
2.3 ระดับการบริการ (Grade of Service)	12
2.3.1 เออร์แลง-บี (Erlang-B)	13
2.3.2 เออร์แลง-ซี (Erlang-C)	13
2.4 ความจุเออร์แลงของระบบ CDMA	13
2.5 แบบจำลองของระบบและการวิเคราะห์	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 ความจุของระบบCDMAแบบเซลล์เดี่ยว (Single Cell CDMA Capacity)	16
2.7 ความจุของระบบCDMAแบบหลายเซลล์ (Multiple Cell CDMA Capacity)	18
 บทที่ 3 ผลกระทบของ Traffic activity บนระบบ CDMA	 23
3.1 แบบจำลองทราฟฟิก	23
3.2 ค่าความน่าจะเป็นที่ยอมรับได้กับความจุระบบ	25
3.2.1 AILM	26
3.2.2 SILM	27
3.3 การวิเคราะห์และสรุปผล	30
 บทที่ 4 โครงสร้างในการจัดสรรทรัพยากรของระบบ CDMA ให้มีประสิทธิภาพ	 36
4.1 ความจุของระบบกับทรัพยากรที่ยังไม่ถูกใช้งาน	36
4.2 อัตราการบริการที่ทำให้ Throughput มีค่าสูงสุด	38
4.3 การวิเคราะห์และสรุปผล	44
 บทที่ 5 การออกแบบและการใช้งานโปรแกรม	 50
5.1 ส่วนของ Graphic User Interface	50
5.1.1. ส่วนหน้าต่างแสดงผล	51
5.1.2. ส่วน Menu bar	52
5.1.3. ส่วน Input	52
5.1.4. ส่วน Output	53
5.1.5. ส่วนปุ่มคำสั่ง	54
5.1.6. ส่วนการตกแต่งโปรแกรม	55
5.2 ส่วนของ การแสดงรูปภาพที่อยู่ใน Axes	56
5.2.1. ส่วนของรังผึ้ง	56
5.2.2. ส่วนของการพลอตจุดที่ผู้ใช้บริการที่เข้าใช้งานในระบบ	56
5.2.4. ส่วนของการพลอตจุดที่แสดงการเกิดการบล็อก	57
5.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม	57

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	64
6.1 บทสรุป	64
6.2 ปัญหาและอุปสรรค	65
6.3 จุดจำกัดของโครงการ	65
6.4 ประโยชน์ที่ได้จากการทำโครงการ	65
6.5 การนำไปใช้งานของโครงการ	65
6.6 ข้อเสนอแนะ	65
บรรณานุกรม	66
ประวัติผู้เขียน	67
ภาคผนวก	68

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.11 แสดงถึงกราฟระหว่าง Required outage probability ($P_{0_{req}}$) กับ Blocking probability โดย α_v กับ α_d คงที่	35
รูปที่ 4.1 ผลที่เกิดขึ้นจากอัตราการใช้ที่เกี่ยวเนื่องกับการจัดสรรทรัพยากร $\frac{\partial R}{\partial \gamma}$ โดยการเปลี่ยนแปลงค่า $E_b/I_0, q$	38
รูปที่ 4.2 สถานะของทรัพยากรระบบของกลุ่มบริการ 3 กลุ่มโดยกลุ่มแรกเป็นกลุ่มบริการแบบ CBR ส่วนกลุ่มที่เหลือเป็นกลุ่มบริการแบบ VBR	39
รูปที่ 4.3 เป็นการจัดสรรทรัพยากรที่เหลืออยู่ (a) แบ่งให้กับผู้ใช้บริการกลุ่ม VBR ทุกกลุ่มเท่าๆกัน (b) แบ่งให้กับผู้ใช้บริการกลุ่ม VBR กลุ่ม 1 เท่านั้น (c) แบ่งให้กับผู้ใช้บริการกลุ่ม VBR กลุ่ม 2 เท่านั้น	40
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราแฟกเตอร์ของกลุ่มบริการแบบ VBR ทั้ง 3 กลุ่ม	42
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างของทรูพท์ที่ตั้งค่าของอัตราแฟกเตอร์ตามรูปที่ 4.4	43
รูปที่ 4.6 แสดงถึงกราฟระหว่าง Rate factor (a_j) กับ The remaining resources (Γ) โดยให้ $q_{v_j} = 5$	44
รูปที่ 4.7 แสดงถึงกราฟระหว่าง Rate factor (a_j) กับ The remaining resources (Γ) โดยให้ $q_{v_j} = 7$	45
รูปที่ 4.8 แสดงถึงกราฟระหว่าง Rate factor (a_j) กับ The remaining resources (Γ) โดยให้ $q_{v_j} = 10$	45
รูปที่ 4.9 แสดงถึงกราฟระหว่าง Rate factor (a_j) กับ Maximum number of user โดยให้ $q_{v_j} = 5$	46
รูปที่ 4.10 แสดงถึงกราฟระหว่าง Rate factor (a_j) กับ Maximum number of user โดยให้ $q_{v_j} = 7$	47
รูปที่ 4.11 แสดงถึงกราฟระหว่าง Rate factor (a_j) กับ Maximum number of user โดยให้ $q_{v_j} = 10$	47
รูปที่ 4.12 แสดงถึงกราฟระหว่าง Rate factor (a_j) กับ Throughput (T) โดยให้ $q_{v_j} = 5, 7, 10$	48
รูปที่ 4.13 แสดงถึงกราฟระหว่าง Rate factor (a_1, a_2) กับ Throughput (T)	49

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.1 แสดงหน้าต่างการทำงานของโปรแกรม	50
รูปที่ 5.2 แสดงรูปรังผึ้ง (Cellular) ในกรณีที่ไม่เกิดการบล็อก	58
รูปที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการที่เป็นแบบแอททิฟและจำนวนผู้ใช้บริการในขณะที่ไม่มีการบล็อก	59
รูปที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่เกิดขึ้นในระบบกับความน่าจะเป็นที่ระบบสามารถยอมรับได้ในขณะที่ไม่มีการบล็อก	60
รูปที่ 5.5 แสดงรูปรังผึ้ง (Cellular) ในกรณีที่เกิดการบล็อก	61
รูปที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการที่เป็นแบบแอททิฟและจำนวนผู้ใช้บริการในขณะที่มีการบล็อก	62
รูปที่ 5.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่เกิดขึ้นในระบบกับความน่าจะเป็นที่ระบบสามารถยอมรับได้ในขณะที่มีการบล็อก	63

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงพารามิเตอร์ของระบบ CDMA ที่รองรับการบริการด้านเสียง IS-95	17
ตารางที่ 2.2 รายละเอียดของ CDMA ชนิดแถบความถี่กว้าง (3 G)	18
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ของกลุ่มบริการแบบอัตราบิตคงที่ 1 กลุ่ม และกลุ่มบริการแบบอัตราบิตที่แปรผัน 3 กลุ่มในระบบ CDMA	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

การติดต่อไร้สายในปัจจุบันมีความต้องการในการบริการสื่อสารมัลติมีเดียเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ทั้งการบริการด้านเสียง และการรับ – ส่งข้อมูลต่างๆ จึงได้นำเอาเทคโนโลยี CDMA เข้ามาใช้เพื่อรองรับบริการสื่อสารมัลติมีเดียในระบบสื่อสารไร้สายทั้งในปัจจุบันและกำลังจะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้นี้อีกด้วย โดยในปัจจุบันจำนวนของผู้ใช้บริการเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งมีผลกระทบอย่างมากต่อทรัพยากรในระบบที่มีอยู่อย่างจำกัด ผู้ให้บริการจึงจะต้องหาวิธีการในการจัดสรรทรัพยากรของระบบที่มีอยู่ให้รับได้ตามจำนวนผู้ให้บริการที่มากขึ้น โดยไม่ให้เกิดผลกระทบต่อผู้ให้บริการ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อทำการศึกษาแบบจำลอง Traffic โดยใช้แบบจำลองหลายรูปแบบ เพื่อจำลองการใช้งานของผู้ใช้ว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไรกับความจุของระบบ
2. เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของ Traffic Activity ต่างๆ ที่มีผลต่อความจุของระบบ CDMA
3. เพื่อทำการศึกษาวิธีการต่างๆ ที่จะนำมาใช้ในการจัดสรรแบนด์วิดธ์ของระบบให้มีประสิทธิภาพโดยใช้วิธีการหลายรูปแบบเพื่อที่จะดูว่าวิธีการใดเหมาะสมกับระบบที่ใช้มากที่สุด
4. เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของวิธีการต่างๆ ที่จะนำมาใช้ว่าจะส่งผลอย่างไรบ้างกับระบบเครือข่าย
5. เพื่อใช้โปรแกรม MATLAB และฟังก์ชันต่างๆ ของโปรแกรม MATLAB ในการคำนวณและแสดงผล

1.3 ขอบเขตการทำงาน

สำหรับการศึกษาของโครงการนี้ เราจะศึกษาการออกแบบโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ความจุของระบบ CDMA ด้วย Graphic User Interface ของโปรแกรม MATLAB เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณผู้ให้บริการด้านเสียงและด้านข้อมูลในระบบ CDMA กับความน่าจะเป็นในการที่จะทำให้ระบบใช้งานอยู่ได้ (Outage Probability) รวมถึงการพิจารณากลุ่มการบริการแบบหลายคลาสทั้ง CBR และ VBR เพื่อนำไปใช้หาทฤษฎีสูงสุด (Throughput Maximization) ในระบบ CDMA

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษา ค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับระบบ CDMA
2. ศึกษาการใช้งาน GUI (Graphic User Interface) และฟังก์ชันต่างๆของ MATLAB เพื่อใช้ในการออกแบบโปรแกรม
3. ออกแบบ Function ที่จำเป็นในส่วน GUI สำหรับใช้ในการเชื่อมการทำงานต่าง ๆ ในส่วนการคำนวณหลักของโปรแกรมเข้ากับส่วนที่เป็น User Interface
4. เขียน Function ในส่วนของ GUI ให้สามารถรับค่า Input ตัวแปรที่ต้องใช้ในการคำนวณ เรียกใช้โปรแกรมส่วนคำนวณ และแสดงผล Output ที่ได้จากการคำนวณ
5. ตรวจสอบการทำงานและความถูกต้องของการใช้โปรแกรม

บทที่ 2

หลักการพื้นฐานของทราฟฟิกและการวิเคราะห์ความจุของระบบCDMA

2.1 หลักการพื้นฐานของ CDMA (Code Division Multiple Access)

หลักการเบื้องต้นของระบบ CDMA ได้จัดแบ่งความถี่ที่มีอยู่ทั้งหมดออกเป็นช่วง โดยแต่ละช่วงมีความกว้างเท่ากับ 1.25 MHz โดยวิธี CDMA สังเกตว่าคลื่นพาห์หนึ่งความถี่มีขนาดแบนด์วิดท์ที่กว้างกว่าของระบบอื่น ๆ เช่น GSM (200 kHz) มาก ด้วยขนาดแบนด์วิดท์ที่กว้างขนาดนี้ CDMA จึงอนุญาตให้ผู้ใช้โทรศัพท์จำนวนมากจำนวนหนึ่งส่งสัญญาณเสียงลงบนคลื่นความถี่เดียวกันได้ ซึ่งหมายความว่าผู้ใช้ทุกๆ คนที่ใช้คลื่นพาห์เดียวกันจะรบกวนกันในเรื่องความถี่ตลอดเวลาการใช้งาน หากแต่ว่าโทรศัพท์แต่ละเครื่องจะสามารถแยกแยะว่าสัญญาณส่วนใดที่เป็นของตนเองได้โดยอาศัยชุดรหัสที่แตกต่างกันในการรับและส่งข้อมูล ด้วยเหตุนี้จึงเรียกระบบนี้ว่า Code Division Multiple Access (CDMA) ชุดรหัสที่ใช้การทำสเปกตรัมเหล่านี้มีชื่อว่า PN (Pseudorandom Noise) ซึ่งชุดรหัสแต่ละชุดที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติที่เรียกว่า Orthogonal กับชุดรหัสอื่น ๆ ทั้งหมด

ขั้นตอนการสร้างสัญญาณสำหรับการส่งออกเริ่มด้วยการนำสัญญาณเสียงที่มีอยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัลซึ่งมีอัตราบิตข้อมูลค่อนข้างต่ำ (เช่น 9600 bps) มาคูณกับสัญญาณ PN ซึ่งมีอัตราบิตข้อมูลที่สูงกว่ามาก (1.228 Mcps) ผลลัพธ์ที่ได้ก็คือ ข้อมูลที่อัตราการส่งสูงกว่าสัญญาณเสียงที่ต้องการจะส่งมาก ด้วยเหตุนี้จึงเรียกว่ามีการสเปกตรัม (Spread Spectrum) เกิดขึ้นและแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูลนี้ก็จะมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วยคือ 1.25 MHz (สัญญาณที่ผ่านกระบวนการสเปกตรัมแล้วมักจะใช้ Mcps แทน Mbps) ส่วนที่เครื่องรับสัญญาณที่ปลายทางก็จะทำการดีสเปกตรัม (Despread) สัญญาณที่รับได้เพียงดังสัญญาณเสียงกลับคืนมา

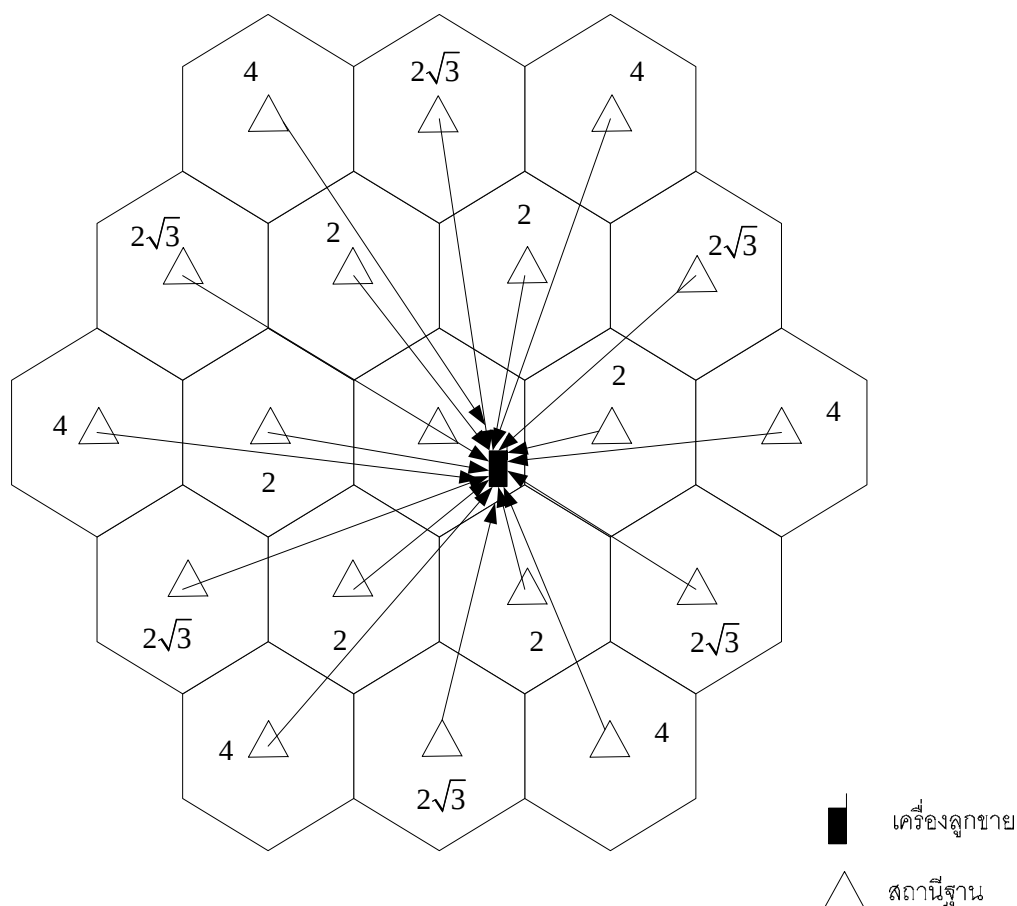
ในระบบซีดีเอ็มเอนั้น ในเซลล์ที่อยู่ติดกันสามารถใช้ความถี่เดียวกันได้ หากพิจารณาจำนวนของผู้ใช้บริการของระบบที่จะรองรับได้นั้น จะมีปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อความจุของระบบ เช่น ปริมาณการแทรกสอดระหว่างผู้ใช้งานด้วยตัวเอง ความถูกต้องของการควบคุมกำลังของเครื่องลูกข่ายอันเนื่องมาจากปัญหาความใกล้-ไกล

2.1.1 สัญญาณแทรกสอดในการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป (Forward Link Interference)

2.1.1.1 สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ (Same-Cell Interference) ในทางอุดมคติแล้วจะไม่มีสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ในการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป เนื่องจากแต่ละช่องสัญญาณในการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปนั้นออโรคอนอลซึ่งกันและกันทุก ๆ ช่องสัญญาณรวมทั้งช่องสัญญาณนำร่องในการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปนั้นจะสามารถแยกแยะสัญญาณออกจากกันได้ โดยการคูณสัญญาณที่รับเข้ามาด้วยขบวนการชิปที่พอเหมาะ แล้วทำการรวมหรืออินทิเกรตชิปในช่วง 64 ชิปของวอลซ์

ฟังก์ชัน (Walsh function) ซึ่งผลที่ได้จากขบวนการนี้ คือสัญญาณขบวนข้อมูลเบสแบนด์ของช่องสัญญาณที่ต้องการโดยปราศจากสัญญาณแทรกสอดใด ๆ จากการสื่อสารในทิศทาง การสื่อสารเชื่อมโยงขาไป แต่อย่างไรก็ตามการแพร่กระจายคลื่นในโทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำให้เกิดการแทรกสอดในทิศทาง การสื่อสารเชื่อมโยงขาไปเนื่องจากการเกิดการหลายวิถี (Multipath) นั่นเอง

2.1.1.2 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น (Other-Cell Interference) ในระบบ CDMA นั้นสัญญาณที่รับได้จากเซลล์อื่น ๆ จะมีลักษณะเป็นสัญญาณแทรกสอดต่อสัญญาณที่รับได้ที่เครื่องลูกข่าย ซึ่งกำลังของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาซึ่งสามารถกำหนดได้ว่าเป็นสัญญาณสุ่มแบบล็อกนอร์มอล นั่นคือกำลังของสัญญาณแทรกสอดจะเป็นตัวแปรสุ่มชนิดเกาส์ (Gaussian)



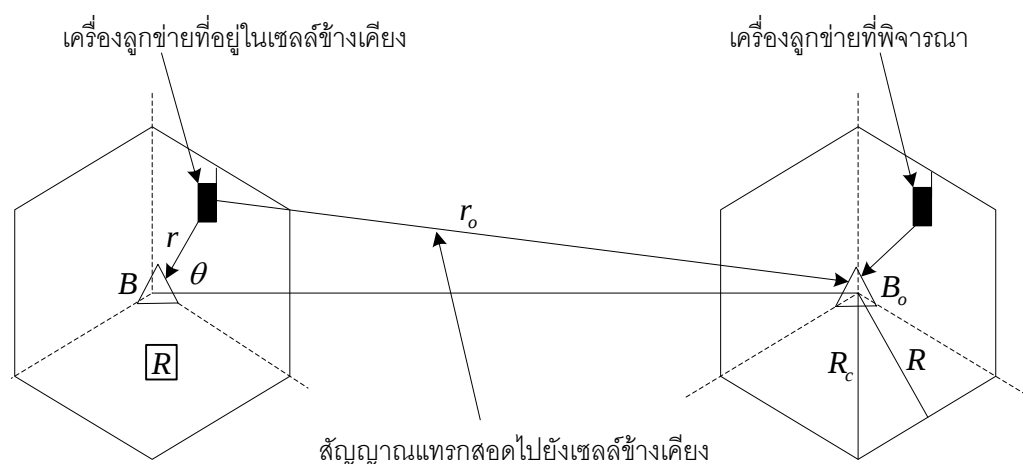
รูปที่ 2.1 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง (Forward Link) ในระบบเซลล์ลาร์ CDMA

2.1.2 สัญญาณแทรกสอดในการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ (Reverse Link Interference)

2.1.2.1 การแทรกสอดภายในเซลล์ (Same-Cell Interference) ในการแทรกสอดที่เกิดขึ้นนี้จะประกอบด้วยผลรวมของสัญญาณจากผู้ให้บริการรายอื่น ๆ ที่ภาครับในสถานีสถานเดียวกัน สำหรับระบบซีดีเอ็มเอสัญญาณที่ใช้โดยเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่องที่ทำการสื่อสารจะใช้ย่านความถี่เดียวกัน ในเวลาเดียวกัน ซึ่งสัญญาณรบกวนแทรกสอดที่เกิดขึ้นจะสามารถจัดอยู่ในรูปของสัญญาณรบกวนชนิดไวท์นอยส์ที่มีย่านความถี่จำกัดได้ (Band-Limited White Noise) โดยเกือบทั้งหมดของสัญญาณรบกวนที่ภาครับของสถานีสถานเดียวกันจะเกิดขึ้นเนื่องมาจากการแทรกสอดของสัญญาณจากเครื่องลูกข่าย จำนวนของผู้ให้บริการที่เข้ามาใช้งานขณะใดขณะหนึ่งจะถูกทำให้มีจำนวนสูงสุดได้ โดยการทำให้กำลังที่รับได้ของแต่ละผู้ให้บริการที่สถานีสถานีนั้นมีค่าเท่ากัน และมีค่าต่ำเท่าที่จะเป็นไปได้ในขณะที่สอดคล้องกับสมรรถนะของการเชื่อมโยง การควบคุมแบบไดนามิกของกำลังที่ส่งของเครื่องลูกข่ายจึงเป็นส่วนที่จำเป็นต่อการออกแบบส่วนการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ

2.1.2.2 การแทรกสอดจากเซลล์อื่น (Other-Cell Interference)

ในรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงลักษณะทางกายภาพของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงในการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับโดยสมมติว่าแต่ละเซลล์มีขนาดเท่ากัน และมีการใช้เทคนิคในการควบคุมกำลังส่ง ซึ่งกำลังสัญญาณแทรกสอดจากเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในเซลล์ข้างเคียง



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะทางกายภาพของสัญญาณรบกวนแทรกสอดในการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ

2.1.3 ผลของการโหลดคิง

การแบ่งเซลล์ออกเป็นเซกเตอร์ย่อย (Sectorization) ที่มีผลต่อความจุ การแทรกสอดจากผู้ใช้บริการอื่นในเซลล์อื่นที่เกิดขึ้นที่เซลล์อ้างอิงสามารถจะถูกทำให้ลดลงได้ เมื่อเซลล์อ้างอิงดังกล่าวถูกทำการแบ่งเซกเตอร์ แทนที่จะใช้สายอากาศรอบทิศทางในระนาบเดียว (Omni-Directional Antenna) ซึ่งมีแพทเทิร์นของสายอากาศเป็น 360 องศา เซลล์สามารถจะถูกแบ่งเป็น 3 เซกเตอร์ ดังนั้นแต่ละเซกเตอร์จะมีการรับสัญญาณ 120 องศา ในการทำเช่นนี้ สายอากาศที่เป็นเซกเตอร์จะปฏิเสธสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้บริการอื่นที่ไม่ได้อยู่ในแพทเทิร์นของสายอากาศ การจัดการดังกล่าวนี้จะลดผลของการโหลดคิงโดยแฟคเตอร์ประมาณค่าเท่ากับ 3 ถ้าเซลล์ที่ถูกแบ่งเซกเตอร์เป็น 6 เซกเตอร์จะส่งผลให้การโหลดคิงลดลงโดยแฟคเตอร์ ประมาณ 6 โดยแฟคเตอร์ดังกล่าวนี้จะถูกเรียกว่าเป็น Sectorization gain

ในการสื่อสารระบบ CDMA นั้นการควบคุมกำลังส่งมีความจำเป็นต่อระบบมาก เนื่องจากผู้ใช้บริการทั้งหมดนั้นใช้ความถี่ทั้งหมดร่วมกันโดยผ่านรหัส PN ดังนั้นผู้ใช้บริการแต่ละรายจึงดูเหมือนเป็นสัญญาณรบกวนต่อผู้ใช้บริการอื่น ดังนั้นกำลังของผู้ใช้บริการแต่ละรายจะต้องมีการควบคุมเพื่อไม่ให้มีผู้ใช้บริการรายใดรายหนึ่งเป็นสัญญาณที่ไปรบกวนต่อผู้ใช้บริการอื่น ๆ ที่ใช้ความถี่ร่วมกันอยู่

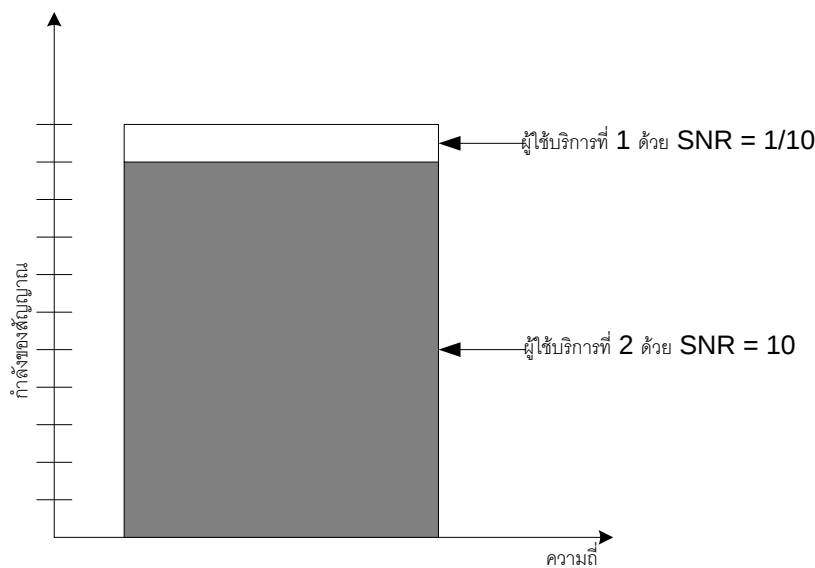
ในการแสดงถึงการควบคุมกำลังส่งนั้นมีความจำเป็นต่อระบบ CDMA อย่างไร เราจะทำการศึกษาในเซลล์เดียวที่มีการสมมติให้มีผู้ใช้บริการอยู่สองราย โดยจะมีการอธิบายในการเชื่อมโยงขาขึ้นซึ่งเป็นส่วนการเชื่อมโยงที่เป็นตัวจำกัดของระบบ CDMA ผู้ใช้บริการที่สองเป็นผู้ใช้บริการที่อยู่ใกล้สถานีฐานมากกว่าผู้ใช้บริการที่หนึ่ง ถ้าในกรณีที่ไม่มี การควบคุมกำลัง ผู้ใช้บริการทั้งคู่จะมีกำลังที่มีค่าแน่นอนซึ่งให้เท่ากับ P อย่างไรก็ตามเพราะว่าความแตกต่างของระยะทางจะส่งผลให้กำลังที่รับได้จากผู้ใช้บริการที่สองจะมีค่ามากกว่ากำลังที่รับได้จากผู้ใช้บริการที่หนึ่ง ถ้าเราสมมติให้ความแตกต่างของระยะทางของผู้ใช้บริการที่สองมากกว่าผู้ใช้บริการที่หนึ่งเป็นสิบเท่า ดังนั้นผู้ใช้บริการที่หนึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรง

ถ้าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการ $\left(\frac{S}{N}\right)_{required}$ มีค่าเท่ากับ 1/10 ดังนั้นเราสามารถจะเห็นความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจนระหว่างค่าของอัตราส่วนต่อสัญญาณรบกวนของทั้งสองผู้ใช้บริการ ถ้าเราไม่ได้คิดสัญญาณรบกวนเชิงความร้อน (Thermal Noise) ดังนั้นอัตราส่วนต่อสัญญาณรบกวนของผู้ใช้บริการที่สอง $\left(\frac{S}{N}\right)_2$ จะมีค่าเท่ากับ 10 และอัตราส่วนต่อสัญญาณรบกวนของผู้ใช้บริการที่หนึ่ง $\left(\frac{S}{N}\right)_1$ จะมีค่าเท่ากับ 1/10 นั่นคือผู้ใช้บริการที่สองจะมีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่สูงกว่าก็จะส่งผลให้คุณภาพสัญญาณดีกว่าผู้ใช้บริการที่

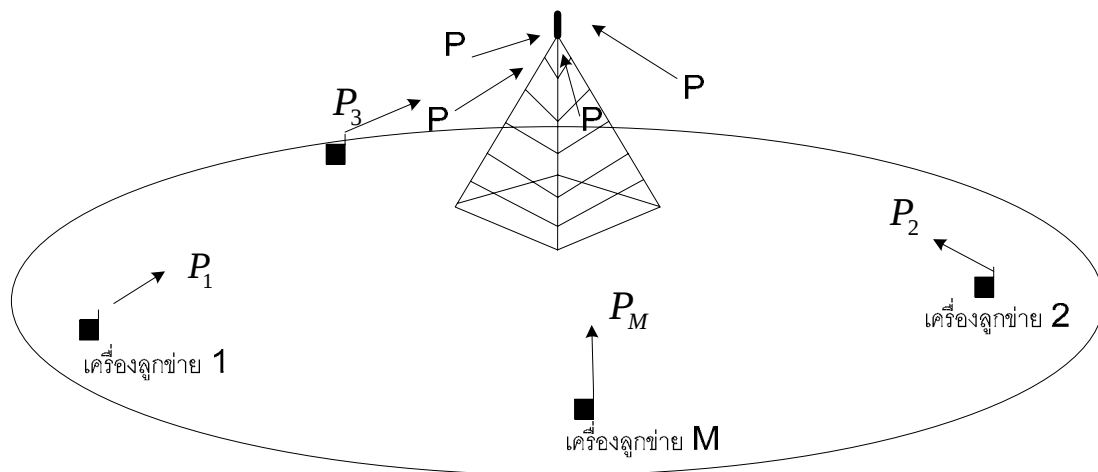
หนึ่ง ซึ่งความไม่เท่ากันนี้จะถูกเรียกว่า ปัญหาความใกล้-ไกล (Near-Far problem) ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

ระบบในจุดดังกล่าวนี้จะเป็นการกล่าวถึงขอบเขตของความจุ เพราะเนื่องจากเหตุผลที่ว่าเราพยายามที่จะเพิ่มผู้ใช้บริการที่สามเข้าไปซึ่งส่งด้วยกำลัง P ณ ตำแหน่งใด ๆ ในเซลล์ ดังนั้นอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของผู้ใช้บริการที่สามไม่สามารถจะถึง $\left(\frac{S}{N}\right)_{required}$ ได้ยิ่งไปกว่านั้นถ้าเราให้ผู้ใช้บริการที่สามเข้าใช้งานในระบบ ไม่เพียงแต่ที่ผู้ใช้บริการที่สามใช้งานไม่ได้ เพราะอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนไม่ถึง $\left(\frac{S}{N}\right)_{required}$ แต่จะส่งผลถึงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของผู้ใช้ที่สองให้ลดลงต่ำกว่า $\left(\frac{S}{N}\right)_{required}$ อีกด้วย

การควบคุมกำลังนั้นถูกสร้างขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาคความใกล้-ไกล และเพื่อให้ได้ความจุที่สูงสุด การควบคุมกำลังจะกระทำโดยให้กำลังที่ถูกส่งมาจากแต่ละผู้ใช้บริการจะถูกควบคุมให้มีการรับได้ของกำลังดังกล่าวที่สถานีฐานมีค่าเท่ากัน ดังในรูปที่ (2.4) แสดงแนวคิดดังกล่าว

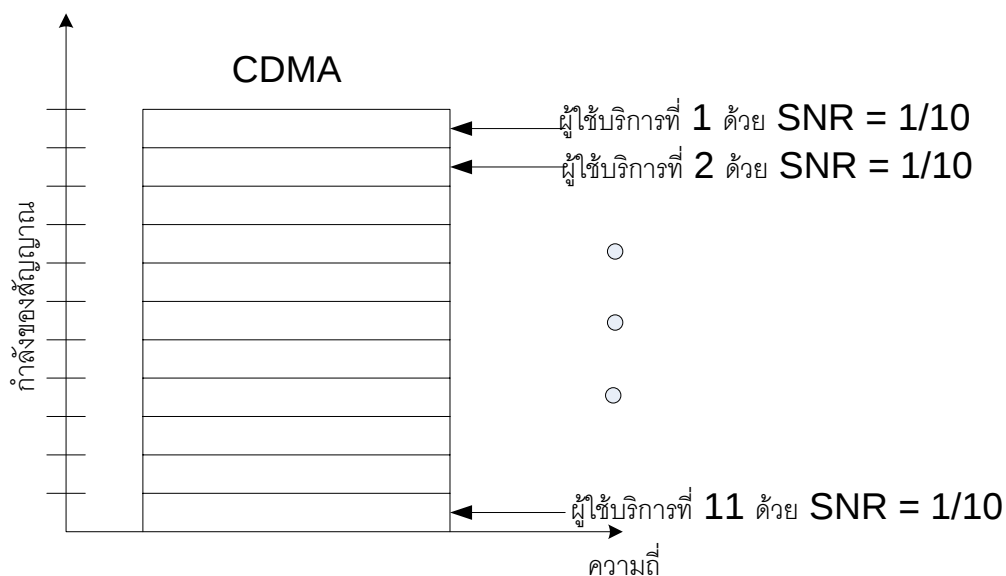


รูปที่ 2.3 แสดงกำลังจากผู้ให้บริการสองรายในสถานีฐาน โดยผู้ใช้บริการที่สองมีค่า SNR มากกว่าผู้ใช้บริการที่หนึ่ง



รูปที่ 2.4 แสดงการควบคุมกำลังที่สมบูรณ์

ภายในเซลล์ถ้ากำลังที่ส่งของแต่ละผู้ใช้บริการถูกควบคุม จะทำให้กำลังที่รับได้ที่สถานีฐานของแต่ละผู้ใช้บริการนั้นมีค่าเท่ากันคือ P_r ดังนั้นจะทำให้สามารถรองรับผู้ใช้บริการได้มากขึ้น จากตัวอย่างที่ผ่านมาถ้า $\left(\frac{S}{N}\right)_{required}$ ยังคงเป็น 1/10 ดังนั้นจำนวนของผู้ใช้บริการทั้งหมดจะเท่ากับ 11 ที่สามารถรองรับได้โดยระบบ CDMA แล้วความจุจะเพิ่มขึ้นได้มากที่สุดจากการควบคุมกำลัง



รูปที่ 2.5 แสดงความจุที่ได้สูงสุดเมื่อกำลังที่รับได้ของผู้ใช้บริการทั้งหมดมีค่าเท่ากันที่สถานีฐาน

2.1.3.1 การควบคุมกำลังแบบลูปเปิด (Open Loop Power Control)

ในรูปแบบของการควบคุมกำลังแบบนี้ ตัวเครื่องลูกข่ายจะเป็นตัวจัดการกระบวนการเอง ทั้งสิ้นไม่ได้เกี่ยวข้องกับสถานีฐานเลย กระบวนการควบคุมแบบเปิดจะเป็นกระบวนการที่กระทำ

อย่างต่อเนื่องหลังจากที่สถานีฐานนั้นรับรู้การขอเข้าใช้งานช่องสัญญาณของเครื่องลูกข่าย และหลังจากที่เครื่องลูกข่ายเริ่มส่งในช่องสัญญาณทราฟฟิก

หลังจากที่มีการเรียกเข้า เมื่อเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ไปรอบ ๆ ภายในเซลล์ แล้วการสูญเสียเชิงระยะทางระหว่างเครื่องลูกข่ายกับสถานีฐานจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง จากผลดังกล่าว กำลังที่ถูกรับได้ที่เครื่องลูกข่ายจะมีการเปลี่ยนแปลงและการควบคุมกำลังแบบลูปเปิดจะทำการตรวจสอบสัญญาณกำลังที่ถูกรับที่เครื่องลูกข่ายอย่างต่อเนื่อง และจะมีการปรับกำลังของสัญญาณที่ถูกรับออกไป

กล่าวได้จากการควบคุมกำลังแบบเปิดจะอยู่บนพื้นฐานของการประมาณการสูญเสียเชิงระยะทางในทิศทางไปยังสถานีฐาน การควบคุมกำลังนี้เป็นการชดเชยในส่วนของปรากฏการณ์ถูกบดบังแบบลือกนอร์มอล และการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ โดยเป็นการสหสัมพันธ์ระหว่างการจางหายในส่วนการเชื่อมโยงไปข้างหน้ากับส่วนการเชื่อมโยงย้อนกลับ อย่างไรก็ตามความถี่ของการเชื่อมโยงขาไปและขากลับนั้นก็ใช้ความถี่ที่ต่างกัน การควบคุมกำลังแบบเปิดจึงไม่เพียงพอและมีความช้าเกินไปที่จะสามารถชดเชยการจางหายเร็วแบบเรย์ลีได้ หรือในอีกแง่หนึ่งเมื่อมีการจางหายเร็วแบบเรย์ลี จะไม่สามารถใช้การควบคุมกำลังแบบลูปเปิดมาชดเชยการจางหายเร็วแบบเรย์ลีได้

2.1.3.2 การควบคุมกำลังแบบลูปปิด (Close Loop Power Control)

การควบคุมกำลังแบบลูปปิดนั้นถูกใช้สำหรับการชดเชยสำหรับการเปลี่ยนแปลงของกำลังเนื่องจากเฟดดิ้งแบบเรย์ลีแบบรวดเร็ว โดยเป็นลูปปิดเพราะว่ากระบวนการจะเกี่ยวข้องกับทั้งสถานีฐานและเครื่องลูกข่าย เมื่อเครื่องลูกข่ายได้รับช่องสัญญาณทราฟฟิกและเริ่มการสื่อสารกับสถานีฐาน กระบวนการของการควบคุมกำลังแบบปิดจะกระทำร่วมกันไปด้วยการควบคุมกำลังแบบลูปเปิด ในการควบคุมกำลังแบบลูปปิด ทางสถานีฐานจะทำการตรวจวัดทั้งสัญญาณของทางการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ (Reverse Link) และคุณภาพของการเชื่อมโยง ถ้าคุณภาพของการเชื่อมโยงเริ่มที่จะไม่ดี ทางสถานีฐานจะมีคำสั่งไปยังเครื่องลูกข่ายผ่านการเชื่อมโยงขาไป (Forward Link) ทำให้การเพิ่มกำลังของสัญญาณเพิ่มขึ้น ถ้าในกรณีที่คุณภาพของสัญญาณดีขึ้น นั่นคือการที่มีกำลังของสัญญาณสูงเกินไปในการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ ในกรณีนี้ทางสถานีฐานจะสั่งให้ทางเครื่องลูกข่ายลดกำลังที่ส่งลง ในอุดมคติอัตราความผิดพลาดต่อเฟรมนั้นจะเป็นตัววัดคุณภาพของการเชื่อมโยงที่ดี แต่เพราะว่าจะทำให้ใช้เวลานาน สำหรับสถานีที่ใช้จำนวนบิตที่จะมาคำนวณให้ถูกต้อง ดังนั้น $\frac{E_b}{N_o}$ จึงถูกใช้เป็นตัววัดคุณภาพการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ

การควบคุมกำลังแบบลูปิดมีกระบวนการในการกระทำดังนี้

1. สถานีฐานจะทำการตรวจวัด $\frac{E_b}{N_o}$ อย่างต่อเนื่องในการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ
2. ถ้า นั้นมีค่าสูงเกินไป $\frac{E_b}{N_o}$ (เช่นเป็นการเกินกว่าจุดเริ่มเปลี่ยน) ดังนั้นสถานีฐานจะมีคำสั่งให้เครื่องลูกข่ายลดกำลังลงมา
3. ถ้า นั้นมีค่าต่ำเกินไป $\frac{E_b}{N_o}$ (เช่นเป็นการต่ำกว่าจุดเริ่มเปลี่ยน) ดังนั้นสถานีฐานจะมีคำสั่งให้เครื่องลูกข่ายเพิ่มกำลังขึ้นไป สถานีฐานจะส่งคำสั่งของการควบคุมกำลังไปยังเครื่องลูกข่ายโดยใช้การเชื่อมโยงขาไป โดยคำสั่งในการควบคุมจะเรียกว่าเป็น บิตของการควบคุมกำลัง (Power Control Bit: PCBs) ปริมาณของกำลังของเครื่องลูกข่ายที่ถูกสั่งให้เพิ่มหรือลดนั้น โดยทั่วไปจะมีค่า 1 dB และ -1 dB เนื่องจากการควบคุมกำลังแบบลูปิด นั้นหมายความว่า จะเป็นการชดเชยเฟดดิ้งแบบเรย์ลีย์อย่างรวดเร็ว ดังนั้น การตอบสนองของเครื่องลูกข่ายต่อคำสั่งในการควบคุมกำลังจึงต้องมีความเร็วมาก จากเหตุผลดังกล่าวบิตของ PCBs เหล่านี้จะถูกส่งตรงผ่านช่องสัญญาณทราฟฟิก แต่เมื่อมีความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับบิตเหล่านี้ก็จะทำให้เกิดผลกระทบต่อ การควบคุมกำลังเกิดขึ้นเช่นกัน

ในการควบคุมกำลังแบบลูปิดนั้นจะมีอยู่ 3 จุด ที่เราต้องกล่าวถึงเพิ่มเติมดังนี้

1. บิตของการควบคุมกำลังส่งนั้น ไม่ได้ถูกป้องกันจากความผิดพลาด ดังนั้น PCBs นั้นถูกมัลติเพล็กซ์ไปบนช่องสัญญาณไปข้างหน้าหลังจากตัวเข้ารหัสแบบคอนโวลูชัน ดังนั้นจึงไม่ได้มีการป้องกันความผิดพลาดให้แก่บิตดังกล่าว ซึ่งเป็นการกระทำเพื่อลดการหน่วงเวลาในการถอดรหัสและดึงเอาออกมาของบิตที่ป้องกันความผิดพลาด และเนื่องจากการควบคุมกำลังแบบลูปิดนั้นถูกใช้ชดเชยการเฟดดิ้งแบบเรย์ลีย์อย่างรวดเร็ว ทำให้บิตของการควบคุมกำลัง (Power Control Bit: PCBs) จึงไม่ได้ป้องกันความผิดพลาดเพื่อที่จะให้เครื่องลูกข่ายสามารถนำบิตดังกล่าวมาให้เร็ว และทำการปรับกำลังที่ส่งให้ได้ตามนั้น จากเหตุผลดังกล่าวความน่าจะเป็นของความผิดพลาดบิตสำหรับช่องสัญญาณย่อยของการควบคุมกำลังอาจจะสูงกว่าช่องสัญญาณทราฟฟิก ถ้าไม่มีการจัดการเป็นพิเศษ

2. การควบคุมกำลังแบบลูปิดจะมีลูภายใน (Inner Loop) และลูนอก (Outer Loop)

ในที่นี้จะอธิบายเฉพาะลูภายในของกระบวนการควบคุมแบบลูปิด การมีอยู่ของลูภายในคือการมี Predetermined SNR Threshold โดยการตัดสินใจให้มีการเพิ่มขึ้นและลดลงของกำลัง เมื่อเราพยายามที่จะรักษาให้มีค่าของอัตราความผิดพลาดต่อเฟรมนั้นคงที่ไว้ที่ค่าที่เราสามารถยอมรับได้ และเมื่อสิ่งแวดล้อมของตัวเครื่องลูกข่ายไม่ได้เป็นความสัมพันธ์แบบ 1 ต่อ 1 ระหว่างอัตราการ

ผิดพลาดของเฟรม (Frame Error Rate: FER) และ $\frac{E_b}{N_o}$ ดังนั้น ค่า Threshold ของ $\frac{E_b}{N_o}$ จะมีการปรับแบบไดนามิกเพื่อรักษาให้ค่า FER มีค่าคงที่ซึ่งเราสามารถยอมรับได้ การปรับของค่า Threshold ของ $\frac{E_b}{N_o}$ นี้จะกระทำโดยอ้างอิงจากสัญญาณนอกของการควบคุมกำลังแบบลูปปิด โดยกระบวนการสัญญาณนอกของการควบคุมกำลังแบบลูปปิดนั้นไม่ได้นิยามสำหรับมาตรฐาน IS-95 โดยกระบวนการผลิตที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานจะอิสระที่สร้างอัลกอริทึมของสัญญาณนอกได้เอง

3. การควบคุมกำลังแบบลูปปิดในระหว่างการเปลี่ยนถ่ายเซลล์อย่างนุ่มนวล (Soft Handoff) ระบบ IS-95 CDMA จะมีการใช้การเปลี่ยนถ่ายเซลล์อย่างนุ่มนวล เมื่อเครื่องลูกข่ายมีการเคลื่อนที่ระหว่าง 2 หรือ 3 เซลล์ โดยการเปลี่ยนถ่ายเซลล์อย่างนุ่มนวลเป็นกระบวนการโดยที่เครื่องลูกข่ายยังคงรักษาการติดต่ออยู่กับสถานีฐาน 2 หรือ 3 สถานีฐานที่เครื่องลูกข่ายนั้นมีการเคลื่อนที่อยู่ ในระหว่างการเปลี่ยนถ่ายเซลล์อย่างนุ่มนวล เครื่องลูกข่ายจะรับเฟรมของช่องสัญญาณทราฟฟิกจาก 2 หรือ 3 สถานีฐาน และบนช่องสัญญาณทราฟฟิกดังกล่าวนี้อาจจะมีความขัดแย้งกันเองในส่วนของบิต PCBs ในสถานการณ์เหล่านี้ ตัวเครื่องลูกข่ายจะกระทำตามกฎต่อไปนี้ ถ้าเพียงสถานีฐานใดสถานีหนึ่งมีคำสั่งให้ลดกำลังลงมา เครื่องลูกข่ายก็จะลดกำลังลงมาและเครื่องลูกข่ายจะเพิ่มกำลังเมื่อสถานีฐานทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการทำเปลี่ยนถ่ายเซลล์อย่างนุ่มนวลมีคำสั่งจากทุกสถานีฐานให้เพิ่มกำลังเท่านั้น

2.2 หลักการพื้นฐานของทราฟฟิกในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

ปัญหาในการให้บริการระบบโทรศัพท์ คือ จะทำอย่างไรที่จะให้ระบบสามารถให้บริการที่ดีกับผู้ใช้บริการโดยใช้ต้นทุนที่เหมาะสม สิ่งที่ต้องพิจารณาถึงคือการพัฒนาระบบให้มีความจุสูงสุด โดยการคำนึงถึงต้นทุนต่างๆ และสร้างระบบให้รองรับความต้องการตามที่ได้ประมาณเอาไว้ได้ เทคนิคนี้เรียกว่า “วิศวกรรมทราฟฟิก” (Traffic Engineering) การใช้เทคนิคดังกล่าวจะอยู่ในพื้นฐานในหลักการของหลักความน่าจะเป็นและทฤษฎีการรอ (Queuing Theory)

วิศวกรรมทราฟฟิก(Traffic Engineering) จะแตกต่างกันที่ระบบแต่ละระบบนั้นจะจัดการกับความหนาแน่นของปริมาณทราฟฟิกอย่างไร ซึ่งมีวิธีการอยู่ 2 วิธีด้วยกัน อย่างแรกคือ ระบบการเรียกที่ไม่มีการรอคอย ซึ่งจะทำการตัดสายทิ้งโดยไม่ให้บริการ วิธีนี้เรียกว่า Blocked-Call-Cleared (BCC) อย่างที่สองคือ ระบบการเรียกที่มีการรอคอย ซึ่งจะทำการจัดคิวสายที่ใช้และให้บริการเมื่อสามารถทำได้ วิธีนี้เรียกว่า Blocked-Call-Delay (BCD) ระบบเครือข่ายโทรศัพท์แบบ Circuit Switching ทั่วไปนั้น จะใช้ระบบการเรียกที่ไม่มีการรอคอย เช่น เครือข่ายโทรศัพท์ที่มีการใช้อย่างหนาแน่นจะใช้สัญญาณสายไม่ว่างในการปฏิเสธไม่ให้บริการ ในทางตรงข้ามเครือข่ายข้อมูลหลายเครือข่ายจะใช้ระบบการเรียกที่มีการรอคอย

ในสถานการณ์ใดๆ ที่การรอรับบริการซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของขั้นตอนในกระบวนการ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ความต้องการของผู้ใช้บริการในระบบซึ่งเรียกว่า “โหลดขอบริการ” (Offered Load) หรือความต้องการของผู้ใช้บริการ และสามารถอยู่ในรูปของการเรียกของโทรศัพท์ โหลดขอบริการจะถูกนิยามโดยสองกระบวนการที่เกิดขึ้นแบบสุ่มดังนี้

1. อัตราการเข้ามาเฉลี่ยของผู้ใช้บริการที่ร้องขอรับบริการ λ (Average Arrival)
2. อัตราเฉลี่ยของระยะเวลาที่ผู้ใช้บริการต้องการใช้บริการ (Average Holding Time) T

ระบบที่สมบูรณ์จะต้องไม่มีการรอคอย (Delay) ถ้าจำนวนผู้ใช้บริการ n คน ต่อเชื่อมเข้าระบบ การทำระบบไม่มีการรอคอยจะต้องมีการเชื่อมต่อโดยตรงโดยใช้สูตร $n(n-1)/2$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้อย่างแน่นอน ดังนั้นระบบโทรศัพท์จึงได้รับการออกแบบเพื่อให้มีการรอคอย (Delay) ที่เหมาะสมในระหว่างช่วงทราฟฟิกเป็นปกติ และตัดสายในช่วงเวลาที่มีทราฟฟิกมาก

สำหรับระบบการให้บริการใดๆ ก็ตามที่มีผู้บริการ (Servers) เพียงพอที่จะสามารถให้บริการผู้ใช้บริการได้ทันทีที่ร้องขอ ซึ่งค่าเฉลี่ยจำนวนผู้ใช้บริการ (Servers) ที่ไม่ว่างได้มาจากผลคูณของ λ และ T เสมอ โดยความสัมพันธ์นี้จะอิสระจากการเข้ามาและเวลาที่ให้บริการ (Holding Time) จากผลของการตั้งสมมุติฐาน Offered Load (a) (จำนวนสายที่ขอใช้บริการ) ถูกกำหนดจาก

$$a = \lambda \times T \quad (2.1)$$

โดยทั่วไปค่าเฉลี่ยการเข้ามา และค่าเฉลี่ยเวลาที่ให้บริการนั้นจะแสดงหน่วยของเวลา ซึ่งจำนวนปริมาณจะแสดงในหน่วยของเออร์แลง (Erlangs)

2.3 ระดับการบริการ (Grade of Service)

อัตราการติดขัด และความน่าจะเป็นของการติดขัดนั้นจะมีลักษณะที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งอัตราการติดขัดหาได้จากการคำนวณปริมาณซึ่งเกิดขึ้นที่สถานีฐาน ในส่วนของความน่าจะเป็นของการติดขัดเป็นความน่าจะเป็นที่การเรียกเกิดการบล็อกเนื่องจากช่องสัญญาณไม่ว่าง โดยจะขึ้นอยู่กับโหลดขอบริการ (Offered Load) และจำนวนของช่องสัญญาณ ซึ่งสามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณหาความน่าจะเป็นของการติดขัด ดังนั้นระดับการบริการ (Grade of Service) สามารถพิจารณาได้จากเทอมของความน่าจะเป็นของการติดขัด

ความน่าจะเป็นของการติดขัดที่เกิดจากโหลดขอบริการ (Offered Load) ในระหว่างชั่วโมงใช้โทรศัพท์สูงสุด ซึ่งเกิดขึ้นจากโหลดบริการ (Carried Load) สูงสุดในระหว่างหนึ่งชั่วโมงซึ่งเกิดขึ้นที่สถานีฐาน ดังนั้นการกำหนดช่องสัญญาณสำหรับชั่วโมงใช้บริการสูงสุดจะต้องให้อัตราการติดขัดที่ต้องการในระหว่างเวลาที่ให้บริการสูงสุดสัมพันธ์กับในระหว่างเวลาที่ให้บริการต่ำสุด

เออร์แลง-บี และเออร์แลง-ซี เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายซึ่งจะเกี่ยวข้องกับระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัด โหลดขอบริการ (Offered Load) และจำนวนของช่องสัญญาณ

2.3.1 เออร์แลง-บี (Erlang-B)

ในรูปแบบของเออร์แลง-บี โดยกำหนดให้ความน่าจะเป็นของการเรียกจะถูกบล็อก (Blocked) และใช้วัดระดับของการให้บริการของระบบโดยที่การเรียกที่ถูกบล็อกจะไม่มี การรอเข้าคิว (Block-Call-Cleared) ซึ่งมีเงื่อนไขดังนี้

- การเรียกจะเป็นแบบไม่มีความจำ ทุก ๆ ผู้ใช้บริการ และผู้ให้บริการที่ถูกบล็อกจะสามารถเรียกขอใช้ช่องสัญญาณได้ตลอดเวลา
- ทุกช่องสัญญาณที่ว่างสามารถให้บริการได้ทุกช่องสัญญาณ
- ความน่าจะเป็นของการใช้ช่องสัญญาณหรือเวลาในการบริการจะมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล
- ช่องสัญญาณที่สามารถให้บริการได้มีจำนวนจำกัด
- ทราฟฟิกที่ต้องการอธิบายโดยความสัมพันธ์ของการเข้าใช้บริการที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซองและระยะเวลาในการใช้บริการที่เป็นการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล
- ระยะเวลาของการใช้ช่องสัญญาณของผู้ใช้งานจะเป็นอิสระต่อกัน

2.3.2 เออร์แลง-ซี (Erlang-C)

ในรูปแบบของเออร์แลง-ซี จะกำหนดให้ผู้ใช้งานที่ถูกบล็อก เกิดการรอคอยในกรณีที่มิมีผู้ให้บริการช่องสัญญาณจนเต็มเมื่อไม่มีช่องสัญญาณใดว่างพอที่จะใช้งานได้ การเรียกก็จะถูกจัดให้รอคอยอยู่ในระบบคิว

เออร์แลง-ซีสามารถอธิบายได้ในระบบคิวแบบ $M/M/C/D$ โดย C คือจำนวนสูงสุดของผู้ใช้งานที่สามารถใช้งานได้พร้อมกัน D คือ จำนวนของการเรียกที่อยู่ในระบบการรอคิว เมื่อสมมติให้ D มีค่าเป็นอนันต์ระบบคิวจะเป็นแบบ $M/M/C/\infty$ หรือในรูปแบบทั่วไปคือ $M/M/C$ ถ้า D เป็นอนันต์

2.4 ความจุเออร์แลงของระบบ CDMA

เราจะพิจารณาในส่วนการเชื่อมโยงขากลับ CDMA ซึ่งเป็นส่วนของการเชื่อมโยงที่จำกัดความจุของระบบ การติดขัดจะถูกนิยามว่าเกิดขึ้นเมื่อการสะสมทั้งหมดของผู้ใช้บริการทั้งภายในเซกเตอร์หรือเซลล์และเซลล์อื่นๆ นำเข้าไปสู่ปริมาณของความหนาแน่นของการแทรกสอด I_0 ที่มากกว่าระดับของสัญญาณรบกวนพื้นฐาน (Background Noise) N_0 โดยปริมาณของ $1/\eta$ เริ่มมีค่าเป็น 10 dB ถ้าเป็นไปตามข้อสมมติฐานดังนี้

1. จำนวนของผู้ใช้บริการ M ในเซกเตอร์มีค่าคงที่
2. ผู้ใช้บริการในแต่ละรายได้ถูกควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์
3. ผู้ใช้บริการในแต่ละรายต้องการค่าของ E_b / I_0 ค่าเดียวกัน

ดังนั้นสัญญาณแทรกสอดทั้งหมดจะหาได้จาก

$$\text{สัญญาณแทรกสอดทั้งหมด} = \text{สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์} + \text{สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น} \\ + \text{สัญญาณรบกวนเชิงความร้อน}$$

ในความเป็นจริงข้อสมมติฐานที่กล่าวไว้เบื้องต้นนั้นจะไม่เป็นจริงเนื่องจาก

1. จำนวนของการเรียกจะเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซองด้วยค่าเฉลี่ย λ / μ
2. เนื่องจากค่า Voice Activity ผู้ใช้บริการแต่ละรายจะเข้าในระบบด้วยความน่าจะเป็น ρ และออกจากระบบด้วยความน่าจะเป็น $(1 - \rho)$
3. ผู้ใช้บริการแต่ละรายมีความต้องการ E_b / I_0 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่าตามสถานะของสภาพแวดล้อมในการเคลื่อนที่เพื่อที่จะยังคงอัตราความผิดพลาดต่อเฟรมที่ยอมรับได้

2.5 แบบจำลองของระบบและการวิเคราะห์

เมื่อพิจารณาด้านช่องสัญญาณการเชื่อมโยงไปขากลับ (Reverse Line) แบบเซลล์เดี่ยว (Single Cell) และแบบหลายเซลล์ (Multiple Cells) ของแบบจำลองการบริการด้านเสียง (Voice Service)

โดยให้ N_v เป็นกลุ่มของผู้ใช้บริการด้านเสียง กำหนดให้กำลังที่รับได้ที่สถานีฐานคือ $S_{v,i}$ สำหรับผู้ให้บริการในกลุ่มการบริการด้านเสียงคนที่ i และกำหนดให้อัตราการส่งข้อมูล R_v สำหรับกลุ่มผู้ให้บริการด้านเสียง

สำหรับผู้ให้บริการด้านเสียงคนที่ i ได้รับ $\frac{E_b}{N_o}$ มีค่าเท่ากับ

$$\left(\frac{E_b}{N_o} \right)_{v,i} = \frac{W}{R_v} \frac{S_{v,i}}{\sum_{k=1, k \neq i}^{N_v} \alpha S_{v,k} + I + \eta_o W} \quad (2.2)$$

เมื่อ W คือ แบนด์วิธการแผ่กว้างทางสเปกตรัมของระบบ (Spreading Bandwidth)

α คือ แฟกเตอร์ของเสียงพูดของผู้ใช้บริการ (Voice Activity Factor)

I คือ สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น ๆ (Other Cell Interference)

η_o คือ ความหนาแน่นของสัญญาณรบกวนหลังจากทางสเปกตรัม (Background Noise Power Spectral Density)

เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ จึงได้ตั้งข้อสมมติฐานไว้ 3 ข้อดังนี้

1. สถานีฐานแต่ละสถานีฐาน ถูกสมมติให้ใช้สายอากาศแบบ 3 ทิศทางในอุดมคติ (Three Ideal Direction Antennas)
2. การลดทอนเนื่องจากการสูญเสียตามระยะทาง (Path Factor) ระหว่างผู้ใช้บริการและสถานีฐานมีค่าเป็น $10^{10} r^{-4}$

เมื่อ r คือ ระยะทางจากผู้ใช้บริการถึงสถานีฐาน

ξ คือ ตัวแปรสุ่มแบบเกาส์ ที่มีค่าเฉลี่ยเท่า 0 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) เท่ากับ 8 dB

และสมมติให้ การจางหายเร็วแบบเรย์ลี (Fast Fading) ไม่มีผลต่อระดับความแรงของสัญญาณ

3. มีการควบคุมกำลังสัญญาณแบบสมบูรณ์ (Perfect Power Control) เนื่องจากการควบคุมกำลังสัญญาณแบบสมบูรณ์ ดังนั้น $S_{v,k} = S_v$ สำหรับทุก k และสัญญาณรบกวนหลังจาก (Background noise : η_o) มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับสัญญาณแทรกสอด ดังนั้นสมการ (2.2) สามารถประมาณค่าได้ คือ

$$\left(\frac{E_b}{N_o} \right)_v \approx \frac{W}{R_v} \frac{S_v}{\alpha(N_v - 1)S_v + I} \quad (2.3)$$

สำหรับกรณีใด ๆ แล้ว $N_v \neq 0$ จากสมการ (2.3) ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของสัญญาณที่รับได้

$$\text{ทำให้ } \left(\frac{E_b}{N_o} \right)_v \neq 0$$

$$\{(SIR)^{-1}_v + \alpha\} S_v = 0 \quad (2.4)$$

เมื่อ

$$(SIR)_v = \frac{R_v}{W} \left(\frac{E_b}{N_o} \right)_v \quad (2.5)$$

เพื่อให้สอดคล้องกับคุณภาพที่ต้องการ ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งในการบริการด้านเสียง สำหรับผู้ใช้บริการ

ทุกคนในกลุ่ม นั่นคือ $\frac{E_b}{N_o}$ ที่รับได้ควรมีค่ามากกว่า $\frac{E_b}{N_o}$ ที่ต้องการ

$$\left(\frac{E_b}{N_o} \right)_v \geq \left(\frac{E_b}{N_o} \right)_{v_{req}} \quad (2.6)$$

เพื่อให้สอดคล้องกับอัตราการส่งข้อมูลที่ต้องการสำหรับผู้ใช้บริการทุกคนในกลุ่ม ดังนั้น

$$R_v \geq R_{v_{req}} \quad (2.7)$$

จากสมการ (2.6) และ (2.7) ค่า $\frac{E_b}{N_o}$ ที่รับได้ ในสมการ (2.3) ถูกจำกัดค่าดังนี้

$$\left(\frac{E_b}{N_o} \right)_{v_{req}} \leq \left(\frac{E_b}{N_o} \right)_v \leq \frac{W}{R_{v_{req}}} \frac{S_v}{\alpha(N_v - 1)S_v + I} \quad (2.8)$$

จากสมการนี้ จำนวนของผู้ใช้บริการ N_v ที่เป็น Upper Bounded มีค่าดังนี้

$$\alpha(N_v - 1)S_v + I \leq \frac{W}{R_{v_{req}}} \left(\frac{E_b}{N_o} \right)_{v_{req}}^{-1} S_v = (SIR)_{v_{req}}^{-1} S_v \quad (2.9)$$

การประยุกต์ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของสัญญาณที่รับได้ของกลุ่มผู้ใช้บริการ ในสมการ (2.4)-(2.9) เราสามารถแสดงที่มาของความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของผู้ใช้บริการและเอสไออาที่ต้องการหรือเอสไออาเริ่มต้นที่สถานีฐานสามารถยอมรับได้ ได้ดังนี้

$$\alpha \frac{N_v}{(SIR)_{v_{req}}^{-1} + \alpha} \leq 1 - z \quad (2.10)$$

เมื่อ

$$z = \frac{I}{S_v} \frac{1}{(SIR)_{v_{req}}^{-1} + \alpha} \quad (2.11)$$

และ z เป็นตัวแปรสุมแบบเกาส์เซียน ซึ่งเป็นผลรวมของกำลังของสัญญาณแทรกสอด

2.6 ความจุของระบบCDMAแบบเซลล์เดี่ยว (Single Cell CDMA Capacity)

สำหรับระบบแบบเซลล์เดี่ยว สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น ๆ จะไม่มีผลต่อความจุ (Capacity) และเทอมของ z ในสมการ (2.10) จะมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นสมการ (2.11) สามารถเขียนได้ใหม่สำหรับกรณีระบบแบบเซลล์เดี่ยว (Single Cell)

$$\gamma_v N_v \leq 1 \quad (2.12)$$

เมื่อ

$$\gamma_v = \frac{\alpha}{(SIR)^{-1}_{v_{req}} + \alpha} \quad (2.13)$$

N_v แสดงจำนวนของผู้ใช้บริการที่สามารถรองรับได้สำหรับกลุ่มบริการด้านเสียงใน 1 เซกเตอร์ ในสมการที่ (2.12) γ_v คือ จำนวนทรัพยากรที่ใช้สำหรับผู้ให้บริการด้านเสียง 1 คน และสมการที่ (2.12) หมายความว่า ทรัพยากรที่ถูกใช้โดยผู้ให้บริการจะไม่เกินกว่าทรัพยากรของระบบที่มีอยู่

ตารางที่ 2.1 แสดงพารามิเตอร์ของระบบCDMAที่รองรับการบริการด้านเสียง IS-95

Item	Symbol	Value
Bandwidth	W	1.25 MHz
Voice activity factor	α	0.375
Information data rate for the voice group	R_v	9.6 Kbps
Quality requirement for the data group	$\left(\frac{E_b}{N_o} \right)_{v_{req}}$	5(7 dB)

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับระบบCDMAในการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 3

ในยุคถัดไปของการสื่อสารไร้สายจะมีการปรับเปลี่ยนมาตรฐาน IS-95 ไปสู่รูปแบบของการแพร่กระจายชนิดแถบความถี่กว้าง ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับข้อกำหนดต่าง ๆ นั้นจะขึ้นอยู่กับผู้ให้บริการว่าจะเลือกรูปแบบใด แต่ในที่นี้จะขอเสนอลักษณะทั่วไปที่ได้รับการยอมรับกันแล้วว่าจะใช้ในการสื่อสารไร้สายยุคที่สาม ดังแสดงในตารางที่ 2.2 คุณสมบัติหลัก ๆ ของการสื่อสารไร้สายในยุคที่สามมีดังนี้

1. อัตราข้อมูลของผู้ใช้บริการจะสูงถึง 2 Mbps
2. สามารถให้บริการผู้ให้บริการที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงในสภาพแวดล้อมแบบมาโคร เซลล์และสามารถให้บริการอัตราข้อมูลกับเครื่องลูกข่ายในสภาพแวดล้อมแบบไมโครและพิโคเซลล์
3. สามารถให้บริการทางด้านการเสียงที่มีคุณภาพสูง
4. มีความจุทางด้านรีเวอร์สลิงก์สูงโดยการใช้วงจรกำจัดสัญญาณแทรกสอด

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดของCDMAชนิดแถบความถี่กว้าง (3 G)

ความถี่คลื่นพาห้	ย่าน 2,000 MHz
แถบความถี่	1.25/5/10/20 MHz
อัตราชิป (Processing gain)	1.024/4.096/8.192/16.384 Mcps
อัตราข้อมูลผู้ใช้	2.4 Kbps ~ 2 Mbps
การควบคุมกำลังส่ง	ควบคุมโดยอัตราส่วนของกำลังสัญญาณต่อกำลังสัญญาณแทรกสอด โดยใช้สัญญาณนำร่อง
การแก้การลดทอน	เครื่องรับแบบเรก และคอนโวลูชันโคดที่อัตรา 1/3
การเพิ่มความจุ	วงจรกำจัดสัญญาณแทรกสอด

2.7 ความจุของระบบCDMAแบบหลายเซลล์ (Multiple Cell CDMA Capacity)

ในระบบแบบหลายเซลล์ ผู้ใช้บริการในเซลล์อื่น ๆ จะกำเนิดสัญญาณแทรกสอดเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับระบบแบบเซลล์เดียว คือผู้ให้บริการคนอื่น ๆ ภายในเซลล์เดียวกันจะกำเนิดสัญญาณแทรกสอดต่อผู้ให้บริการคนหนึ่ง ๆ ภายในเซลล์นั้น สำหรับในระบบแบบหลายเซลล์ ผลกระทบของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น ๆ ต่อความจุของระบบถูกรวมอยู่ในเทอม ของ z ในสมการ (2.10) ดังนั้นผู้ให้บริการคนหนึ่ง ๆ ที่กำลังใช้งานอยู่ จะมีระดับสัญญาณแทรกสอดสูงมาก ซึ่งมาจากผู้ให้บริการรายอื่นทั้งที่อยู่ในเซลล์เดียวกันหรือเซลล์อื่น ๆ

เนื่องจากสัญญาณแทรกสอดมีผลโดยตรงต่อความจุของระบบ กล่าวคือเมื่อสัญญาณแทรกสอดน้อยจะส่งผลให้ความจุของระบบเพิ่มสูงขึ้น สัญญาณแทรกสอดนี้จะพิจารณาจากสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ของตัวเอง (Intracell Interference) และสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น ๆ ที่นอกเหนือจากเซลล์ของตัวเอง (Inter-cell Interference)

สมมติให้ผู้ให้บริการ N มีการกระจายในเซลล์และ N_v คือจำนวนของผู้บริการใช้ที่แอคทีฟ (Active Users) ในหนึ่งเซกเตอร์และถ้าสมมติให้เซลล์อยู่ติดกัน ดังนั้นความหนาแน่นของผู้ใช้บริการด้านเสียง (Voice User Density) คือ

$$\rho_v = \frac{N}{\left(\frac{3\sqrt{3}}{2}\right)} = \frac{2N}{3\sqrt{3}} \quad (2.14)$$

เนื่องจากหนึ่งเซลล์มีสามเซกเตอร์ ดังนั้น $N_v = \frac{N}{3}$ และนั่นคือ

$$\rho_v = \frac{2N_v}{\sqrt{3}} \quad (2.15)$$

พิจารณา Intra-sector Interference

ที่สถานีฐานจะได้รับสัญญาณแทรกสอดจากผู้ให้บริการในเซกเตอร์เดียวกัน (Intrasector Interference) ดังนี้

$$I_{\text{intra}} = (N_v - 1)S_v \quad (2.16)$$

พิจารณา Inter-sector Interference

การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน จะสมมติให้มีการกระจายตัวของผู้ใช้บริการเป็นแบบสม่ำเสมอ (Uniform Distribution) ในเขตพื้นที่ให้บริการ โดยใช้ระยะทางสั้นที่สุดเพื่อให้เกิดการลดทอนน้อยที่สุดในเซลล์หลัก (Home Cell) และ Spatial Whiteness สำหรับสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น ๆ ที่มีการบริการแบบมัลติมีเดีย ก็ใช้การจำลองแบบตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียน (Gaussian Random Variable) ดังนี้

$$I_{\text{inter}} = \iint (\phi S_v \rho_v) \left(\frac{r_m}{r_o} \right)^4 10^{(\xi_o - \xi_m)/10} \varphi \left(\frac{\pi}{2} \xi_o - \xi_m, \frac{r_o}{r_m} \right) dA \quad (2.17)$$

เมื่อ ϕ คือ Voice Activity Variable ที่เป็นตัวแปรสุ่มแบบไบโนเมียล (Binomial Random Variable) ที่มีค่าเฉลี่ยเป็น Voice Activity Factor: α ส่วน r_o คือ ระยะทางจากผู้ให้บริการคนหนึ่งถึงเซลล์อื่นถึงสถานีฐานที่สนใจพิจารณา r_m คือระยะทางจากผู้ให้บริการถึงสถานีฐานในเซลล์นั้น ๆ และ m คือตัวชี้บอกสถานีฐาน (BS Index)

$$\phi = \begin{cases} 1, \rightarrow \text{Probability } \alpha \\ 0, \rightarrow \text{Probability } 1 - \alpha \end{cases} \quad (2.18)$$

และ

$$\varphi\left(\xi_o - \xi_m \cdot \frac{r_o}{r_m}\right) = \begin{cases} 1, \rightarrow \text{if} \left(\frac{r_m}{r_o}\right)^4 10^{(\xi_o - \xi_m)/10} \leq 1 \\ 0, \rightarrow \text{Otherwise} \end{cases} \quad (2.19)$$

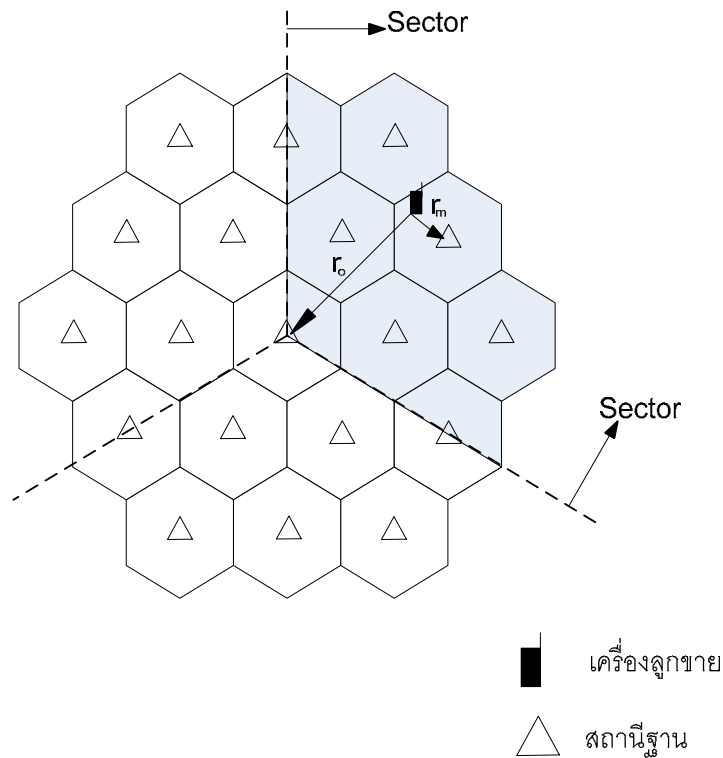
ดังนั้น Signal-to-Interference Ratio ที่สถานีฐานรับได้มีค่าเป็น

$$SIR = \frac{S_v}{\alpha(I_{\text{intra}} + I_{\text{inter}})} \quad (2.20)$$

ดังนั้นเงื่อนไขที่ใช้พิจารณาเมื่อผู้ใช้บริการมีการร้องขอเพื่อเข้าใช้งานในระบบคือ

$$SIR > SIR_{\text{req}} \quad (2.21)$$

จากสมการที่ (2.21) ถ้า $SIR > SIR_{\text{req}}$ ระบบจะยอมรับผู้ใช้บริการที่มีการร้องขอ (Accepted) เพื่อใช้งานในระบบ CDMA นอกเหนือจากเงื่อนไขดังกล่าวที่ (2.21) ระบบจะทำการปฏิเสธการร้องขอ (Rejected) ของผู้ใช้บริการเพื่อเข้าใช้งานในระบบ CDMA หรือเกิดการบล็อก (Call Blocking)



รูปที่ 2.6 แบบจำลองของโครงข่ายเซลลูลาร์

เมื่อพิจารณาพื้นที่ให้บริการ 2 เซลล์ (เซลล์ที่กำลังสนใจพิจารณากับเซลล์ที่มีผู้ใช้บริการในเซลล์นั้น ๆ) ดังรูปที่ 2.6 ค่าการอินทิเกรตในสมการ (2.17) บนพื้นที่ที่แรเงาในรูปที่ 2.6 และไม่มีจุดซ้อนทับกันของผู้ใช้บริการบนจุดสเปซ (Spatial Point) เดียวกัน ค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น ๆ I หาได้จาก

$$\begin{aligned} E(I) &\leq 0.247 N_v S_v \\ \text{var}(I) &\leq 0.078 N_v S_v^2 \end{aligned} \quad (2.22)$$

ใช้สมการ (2.11) และ (2.22) ที่เป็นคุณลักษณะของ z และ z เป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียน ซึ่งเป็นผลรวมของกำลังของสัญญาณแทรกสอด ที่มีค่าเฉลี่ย และค่าความแปรปรวน คือ

$$\begin{aligned} E(z) &\leq 0.659 \gamma_v N_v \\ \text{var}(z) &\leq 0.555 \gamma_v^2 N_v \end{aligned} \quad (2.23)$$

สำหรับความจุของระบบ CDMA แบบหลายเซลล์ จะใช้สมการที่ (2.10) ที่เป็นผลรวมของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น ๆ

$$\gamma_v N_v \leq 1 - z \quad (2.24)$$

เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ (2.12) กับ (2.23) เราทราบว่าทรัพยากรของระบบทั้งหมดจะมีค่าลดลงตามค่า z ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น ๆ สมมติให้สมรรถนะของระบบเป็นไปตามที่ต้องการ ดังนั้น P คือกำลังต่ำสุดที่ระบบต้องการ ซึ่งโดยทั่วไปเป็น 99 % ดังนั้น

$$P = \Pr (\gamma_v N_v \leq 1 - z) \geq 0.99 \quad (2.25)$$

ตัวแปรสุ่ม z เป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียน ที่มีค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนตามสมการ (2.23) ดังนั้นในสมการที่ (2.25) สามารถคำนวณให้ง่ายขึ้นดังนี้

$$\gamma_v N_v + E(z) + 2.33 \sqrt{\text{var}(z)} \leq 1 \quad (2.26)$$

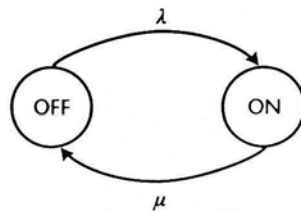
เมื่อ $E(z)$ และ $\text{var}(z)$ เป็นฟังก์ชันของ N_v ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบระบบแบบเซลล์เดี่ยว (Single Cell) ทฤษฎาการใช้โดยผู้ให้บริการด้านเสียงหนึ่งคนจะมีค่ามากกว่า γ_v สำหรับผู้ให้บริการด้านเสียงในระบบแบบเซลล์เดี่ยว

บทที่ 3

ผลกระทบของ Traffic activity บนระบบ CDMA

3.1 แบบจำลองทราฟฟิก

ถึงแม้ว่าระบบทราฟฟิกในระบบเครือข่ายเซลลูลาร์จะยากแก่การทำนาย โดยตัวเลขของแบบจำลองเสียงและข้อมูลจะเป็นเหมือนแบบจำลองการเปิด/ปิด (ON/OFF models) แหล่งกำเนิดดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แบบจำลองการเปิด/ปิดแหล่งกำเนิดของเสียง

จากแบบจำลองทราฟฟิกของแหล่งกำเนิดเสียง เราทราบว่ากระบวนการทำงานของการเปลี่ยนเสียงพูดจากสถานะเปิดไปเป็นสถานะปิดนั้นเหมือนสองสถานะที่เกิดเป็นลูกโซ่ของมาร์คอฟ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 จะอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสถานะนั้นกับปริมาณของเวลาที่หมดสิ้นได้อย่างไร ซึ่งในแต่ละสถานะจะเป็นการกระจายตัวแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล และกำหนดให้สถานะปัจจุบันของแหล่งกำเนิดทราฟฟิก โดยสถานะต่อไปจะเป็นอิสระต่อกันกับสถานะที่ผ่านมา ถ้าเราสมมติให้ อัตราการเปิด/ปิดที่มีสถานะจากเปิดไปยังปิดเป็น μ และจากปิดไปยังเปิดเป็น λ ซึ่งระยะเวลาของสถานะเปิดเป็นแบบสุ่มเวลาโดยเป็นการกระจายตัวแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลของพารามิเตอร์ λ และเมื่อข้ามไปยังสถานะเงียบจะเป็นการกระจายตัวแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลของพารามิเตอร์ μ ต่อจากนั้นค่าเฉลี่ยความยาวของการเปิด/ปิดแต่ละรอบเป็น $1/\mu$ และ $1/\lambda$ ตามลำดับ เมื่อใดที่แหล่งกำเนิดอยู่ในสถานะเปิด มันจะผลิตแพ็คเกจส์แบบค่าคงที่เวลาระหว่างการมาถึง (Interarrival time) แต่เมื่อแหล่งกำเนิดอยู่ในสถานะปิด มันจะไม่ผลิตอะไรให้กับเซลล์เลย

จากแบบจำลองการเปิด/ปิด ค่า Voice activity factor จะถูกกำหนดโดยความน่าจะเป็นที่อยู่ที่อยู่ในสถานะเปิด α ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการที่กำหนดให้ดังนี้

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{E[\text{ONduration}]}{E[\text{ONduration}] + E[\text{OFFduration}]} \\ &= \frac{1/\mu}{1/\mu + 1/\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}\end{aligned}\quad (3.1)$$

ค่าที่ยอมรับได้ของเสียงพูดคือ $1/\lambda$ และ $1/\mu$ โดยค่าของเวลาการเปิด/ปิด เป็น 0.35 และ 0.65 วินาทีตามลำดับ โดยผลลัพธ์ของ voice activity factor ที่ได้นี้จะได้ค่าโดยประมาณเป็น 0.4

ส่วนกราฟฟิคของข้อมูล อาทิเช่น กราฟฟิคของเว็บ จะมีการแสดงค่าความน่าจะเป็นของขนาดไฟล์ที่ใหญ่เป็นสำคัญ และที่ช่วงเวลาของการเปิดจะก่อให้เกิดผลในลักษณะพิเศษโดยแบบจำลองของ เฮฟวี-เทลด์ (Heavy-Tailed) ส่วนช่วงเวลาที่ปิดจะกำหนดโดยเวลาที่ผู้ให้บริการใช้คิด ซึ่งจะเป็นแบบจำลองของเฮฟวี-เทลด์ เช่นกัน ตัวแปรสุ่ม X สามารถพูดถึงการใช้การกระจายตัวแบบเฮฟวี-เทลด์ได้ ถ้าจะทำให้มันมีความสมบูรณ์เราจะต้องใช้การกระจายตัวแบบฟังก์ชันเพิ่ม (CDF) จะได้ว่า

$$P_r\{X > x\} : x^{-\sigma} \quad (3.2)$$

ซึ่ง $x \rightarrow \infty$ เมื่อ $0 < \sigma < 2$ พูดอย่างคร่าวๆรูปร่างแบบ asymptotic ของการกระจายตัวจะแปรตามกฎของพลังงาน โดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเอ็กโพเนนเชียลที่ลดลง ซึ่งมีความหมายว่าความคมชัดของสัญญาณจะมีมากขึ้นตามค่า σ ที่ลดลง

ส่วนหนึ่งของการกระจายตัวอย่างง่ายของเฮฟวี-เทลด์จะเป็นการกระจายตัวแบบปาวเรโต ด้วย ซึ่งเราสามารถสมมติให้กราฟฟิคของข้อมูลของแต่ละผู้ใช้เป็นกระบวนการเปิด/ปิด โดยระยะเวลาการเปิดและการปิดของทั้งสองเป็นการกระจายตัวแบบปาวเรโตดังสมการ

$$P_r\{X > x\} = (k/x)^\sigma \quad (3.3)$$

เมื่อค่าคงที่ k ที่เป็นค่าบวกมีค่าน้อยที่สุดที่เป็นไปได้ของตัวแปรสุ่ม X ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ในกระบวนการเปิด/ปิดของกราฟฟิคข้อมูลจริง

เช่นเดียวกันกับกรณีของ กราฟฟิคของเสียงเราสามารถหา activity factor ของกราฟฟิคของข้อมูล α จากความน่าจะเป็นในสถานะเปิดจะได้

$$\alpha = \frac{E[ONduration]}{E[ONduration] + E[OFFduration]} \quad (3.4)$$

3.2 ค่าความน่าจะเป็นที่ยอมรับได้กับความจุระบบ

ถึงแม้ว่าในระบบ CDMA จะไม่ใช่เรื่องยากในการกำหนดขอบเขตตัวเลขของผู้ใช้บริการพร้อมกัน แต่ในทางปฏิบัติแล้วการกำหนดขอบเขตจะถูกควบคุมโดยสัญญาณแทรกสอดระหว่างผู้ใช้บริการด้วยกันเองที่มีสัญญาณนำทางเหมือนกัน อีกนัยหนึ่งระบบสามารถเคลื่อนลงไปยังสถานะที่ยอมรับได้เมื่อความต้องการคุณภาพของการบริการ (Quality of Service: QoS) ไม่สามารถรองรับได้ ในความต้องการจะวิเคราะห์ความจุระบบของระบบ CDMA ที่รองรับการบริการแบบหลายคลาส ซึ่งในเทอมของตัวเลขของผู้ใช้บริการพร้อมกันจะเป็น SILM โดยจะสำรวจผลกระทบของ traffic activity บนความจุอันเนื่องมาจากสมมติฐานดังนี้

1. การเชื่อมโยงแบบกลับเป็นสิ่งที่เราสนใจ
2. ระบบเป็นการควบคุมพลังงานแบบสมบูรณ์
3. สัญญาณรบกวนสามารถเป็นสิ่งที่สนใจได้
4. มี N ที่แตกต่างกันตามการบริการแบบคลาสในระบบ ซึ่งแต่ละคลาสจะมีลักษณะพิเศษโดยจะคล้อยตามความต้องการคุณภาพของการบริการของอัตราการส่งและความต้องการพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนพลังงานต่อความหนาแน่นสเปกตรัม (Required bit energy-to-interference power spectral density ratio) โดยผู้ใช้ในคลาสที่เหมือนกันจะมีความต้องการคุณภาพของการบริการเหมือนกันด้วย
5. ผู้ใช้แต่ละคนมี Traffic activity factor แบบเปิด/ปิด ซึ่งแทนด้วยตัวแปรสุ่มแบบไบโนเมียลดังนี้

$$\phi = \begin{cases} 1, \rightarrow \text{Probability } \alpha \\ 0, \rightarrow \text{Probability } 1 - \alpha \end{cases} \quad (3.5)$$

เมื่อ α มีลักษณะเช่นเดียวกับค่ากลางของ Traffic activity factor ซึ่งสามารถใช้เป็นพื้นฐานในการคำนวณในสมการที่ (3.1) และ (3.4) ในกรณีของเสียงและข้อมูลตามลำดับ Traffic activity แบบแปรผันของผู้ใช้ในคลาสที่เหมือนกันจะสมมติให้เป็นอิสระต่อกันและกระจายตัวแบบเดียวกัน (IID) และในคลาสที่ต่างกันจะสมมติแค่ให้เป็นอิสระต่อกันเท่านั้น

6. ผู้ใช้ทำการส่งข้อมูลที่อัตราการส่งอยู่ในสถานะทำงาน(เปิด)และหยุดส่งข้อมูลเมื่ออยู่ในสถานะไม่ทำงาน(ปิด)

เมื่อไรที่จำนวนผู้ใช้บริการพร้อมกันทั้งหมดในระบบอยู่ในสถานะทำงานหรือ Activity factor มีค่าเท่ากับ 1 จำนวนผู้ใช้บริการพร้อมกันจะถูกจัดการโดยระบบ ภายใต้สภาวะที่ยอมรับได้ ซึ่งจะมีความต้องการคุณภาพของการบริการของผู้ใช้ทั้งหมดเป็นตัวเลขขอบเขตดังนี้

$$\sum_{n=1}^N \gamma_n l_n \leq 1 - z \quad (3.6)$$

เมื่อ n เป็นเครื่องชี้วัดของการบริการแบบคลาส l_n เป็นจำนวนของผู้ใช้บริการจริงของการบริการในคลาส n และ

$$\gamma_n = \left(\frac{W / R_n}{(E_b / I_0)_n} + 1 \right)^{-1} \quad (3.7)$$

W เป็นการวัดอัตราความถี่แบนด์วิด R_n เป็นอัตราการส่งของผู้ใช้บริการจริง และ $(E_b / I_0)_n$ เป็นความต้องการพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนพลังงานต่อความหนาแน่นสเปกตรัมของผู้ใช้บริการของการบริการในคลาส n ในระบบที่รองรับ N ที่แตกต่างกันในการบริการ จำนวนของผู้ใช้บริการจริงจะเป็นการกำหนดโดยเวกเตอร์ $(l_1, l_2, \dots, l_N)$ เมื่อ l_n เป็นเลขจำนวนเต็ม เมื่อ $n=1, 2, \dots, N$ สมการที่ (3.6) จะระบุแผนการควบคุมความจุของจำนวนผู้ใช้งานจริงที่เป็นไปได้ในระดับ N ที่ว่าง เมื่อความจุต่อการบริการที่เปลี่ยนไปเป็นแบบเส้นตรง โดยจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงความจุของการบริการแบบอื่นๆ ทุกๆจุด $(l_1, l_2, \dots, l_N)$ ภายใต้แผนความจุที่ว่างไว้ซึ่งจะหมายถึงจำนวนของผู้ใช้บริการจริงที่ระบบยอมรับได้ ทรัพยากรทั้งหมดในระบบและทรัพยากรที่ถูกใช้โดยผู้ใช้บริการจริงเพียงคนเดียวของการบริการในคลาส n จะสอดคล้องกับค่า 1 และ γ_n ตามลำดับและ γ_n จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้องการคุณภาพของการบริการที่ยอมรับได้ โดยในสมการที่ (3.6) ค่าของทรัพยากรที่ถูกใช้โดยผู้ใช้บริการจริงจะไม่เกินทรัพยากรทั้งหมดที่มีในระบบ

3.2.1 AILM

โดยที่ Traffic activity ของผู้ใช้ จำนวนของผู้ใช้บริการพร้อมกันในระบบ CDMA เป็นการควบคุมแบบไม่ปกติ โดยขอบเขตของผู้ใช้บริการจริงจะเป็นดังสมการที่ (3.6) แต่ขอบเขตอิสระของความจุที่ถูกปรับปรุงให้เหมาะสมต่อ Traffic activity ซึ่งใน AILM จะเป็นการสมมติให้ค่าของสัญญาณรบกวนของผู้ใช้งานพร้อมกันมีค่ากลางของ Traffic activity ลดลง โดยจะใช้สมมติฐานของขอบเขตความจุตามสมการที่ (3.6) มาจัดรูปใหม่จะได้

$$\sum_{n=1}^N \gamma_n^* k_n \leq 1 \quad (3.8)$$

เมื่อ k_n เป็นจำนวนผู้ใช้บริการพร้อมกันในการบริการของคลาส n และ

$$\gamma_n^* = \left(\frac{W / (\alpha \cdot R_n)}{(E_b / I_0)_n} + 1 \right)^{-1} \quad (3.9)$$

การเปรียบเทียบระหว่างสมการที่ (3.7) กับสมการที่ (3.9) จะสังเกตเห็นอัตราการเปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใด $\phi \cdot R$ ใน AILM จะสมมติให้เป็นค่าเฉลี่ยขาออกเช่นเดียวกับเทอมของ $\alpha \cdot R$ จะใช้ในการพิจารณาเพื่อศึกษาวิเคราะห์ความจุเท่านั้นดังรูปที่ 3.2 ในกรณีของ AILM ปริมาณที่เกิดขึ้นแบบทันทีทันใดในระบบทรัพยากรที่ถูกใช้โดยผู้ใช้เพียงคนเดียว และสมการที่ (3.8) จะเป็นการหาขอบเขตของจำนวนผู้ใช้บริการพร้อมกัน

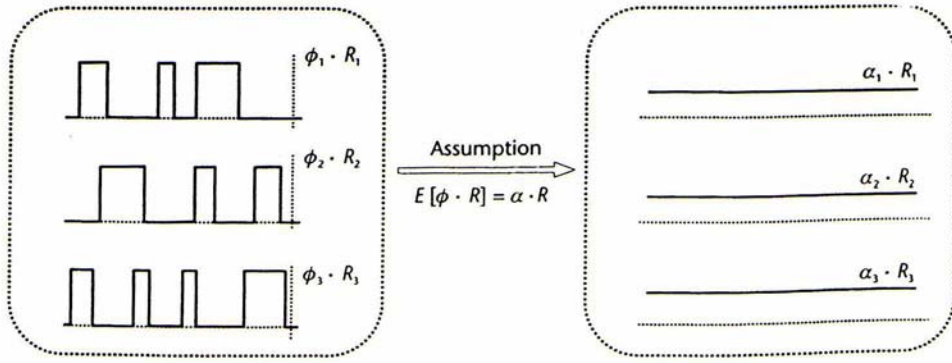
3.2.2 SILM

ใน SILM Traffic activity จะเป็นแบบจำลองที่ตัวแปรสุ่มแบบไบนารี ซึ่งมีการพิจารณาอิทธิพลความจุของคุณลักษณะของ Traffic activity เมื่อแบบจำลองของผู้ใช้บริการพร้อมกันเป็นตัวแปรสุ่มแบบไบนารีจะทำให้จำนวนผู้ใช้บริการจริง I_n ในสมการที่ (3.6) จะกลายเป็นตัวแปรสุ่มแบบไบนารีด้วยดังนี้

$$I_n = \sum_{i=1}^{k_n} \phi_{n(i)} \quad (3.10)$$

เมื่อ k_n เป็นจำนวนผู้ใช้บริการพร้อมกันของการบริการในคลาส n และ $\phi_{n(i)}$ เป็นตัวแปรสุ่มแบบไบนารีโดย $P\{\phi_{n(i)} = 1\} = \alpha_n$ ซึ่งแทนด้วย Traffic activity ของผู้ใช้ i ของการบริการในคลาส n

ถ้าจำนวนของผู้ใช้บริการจริงเกินผู้ใช้บริการพร้อมกันจะกลายเป็นสิ่งที่ใหญ่กว่าขอบเขตในสมการที่ (3.6) ความยอมรับได้ที่เกิดขึ้นและความต้องการคุณภาพของการบริการของผู้ใช้จะไม่เป็นไปตามค่าความน่าจะเป็นที่ยอมรับได้ซึ่งแสดงเป็นดังนี้



รูปที่ 3.2 สมมติฐานใน AILM

$$P_0 = \Pr \left\{ \sum_{n=1}^N \gamma_n \sum_{i=1}^{k_n} \phi_{n(i)} > 1 \right\} \quad (3.11)$$

โดยการสมมติฐานของค่า Traffic activity ที่แปรผันของผู้ใช้บริการในคลาสที่เหมือนกันจะเป็นอิสระต่อกันและกระจายตัวแบบเดียวกันส่วนค่า Traffic activity ที่แปรผันของผู้ใช้บริการในคลาสที่แตกต่างกันจะเป็นอิสระต่อกันเท่านั้น ซึ่งจากสมการที่ (3.11) สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$P_0 = \sum_{I \in \Omega} \left\{ \prod_{n=1}^N P_{k_n}(l_n) \right\} \quad (3.12)$$

เมื่อ l เป็นจำนวนของผู้ใช้บริการจริง ($l_1, l_2, \dots, l_N$) และ $P_{k_n}(l_n)$ เป็นค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ l_n เกินผู้ให้บริการพร้อมกัน k_n ในสถานะทำงาน

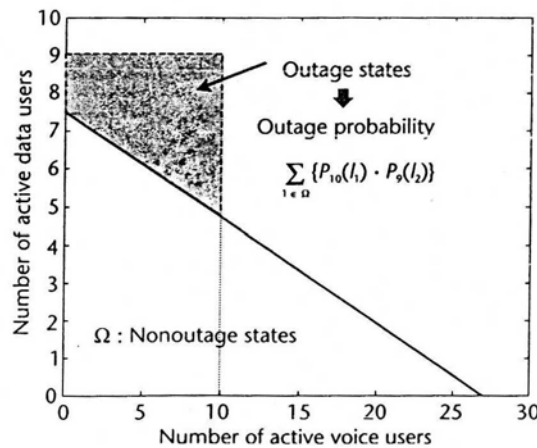
$$P_{k_n}(l_n) = \binom{k_n}{l_n} \alpha_n^{l_n} (1 - \alpha_n)^{k_n - l_n} \quad (3.13)$$

ในสมการที่ (3.12) Ω แทนด้วยเซตของผู้ใช้บริการจริงซึ่งค่าที่เกิดขึ้นนั้นจะไม่สามารถยอมรับได้จะแสดงเป็น

$$\Omega = \{l : \gamma \cdot l^T \leq 1\} \quad (3.14)$$

เมื่อ $\gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n)$

จากตัวอย่างเราจะพิจารณาระบบที่รองรับการบริการแบบ 2 คลาส โดยการบริการคลาสที่ 1 จะเป็นบริการด้านเสียงและการบริการคลาสที่ 2 จะเป็นการบริการด้านข้อมูล ภายใต้การกระจายแบบด्वิต $W=1.25$ MHz และกำหนดให้อัตราการส่งและต้องการพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนพลังงานต่อความหนาแน่นสเปกตรัมมีค่าดังในรูปที่ 3.3 โดยเส้นทึบจะแสดงถึงขอบเขตบนของจำนวนผู้ให้บริการจริงภายใต้สภาวะที่ยอมรับได้



รูปที่ 3.3 แสดงค่าที่ยอมรับได้และยอมรับไม่ได้โดยการกำหนดค่า $k_v = 10$ และ $k_d = 9$ [$R_v = 9.6$ Kbps, $R_d = 19.2$ Kbps, $(E_b / I_0)_v = 7$ dB และ $(E_b / I_0)_d = 10$ dB]

ในเซตของจำนวนผู้ให้บริการจริงภายใต้ขอบเขตดังกล่าวจะหมายถึง Ω ถ้าจำนวนของผู้ให้บริการจริงในระบบเกินขอบเขตที่กำหนดจะเกิดสภาวะที่ไม่สามารถยอมรับได้ ซึ่งในตัวอย่างนี้จะกำหนดจำนวนผู้ให้บริการพร้อมกันเป็น 10 กับ 9 ซึ่งเป็นบริการด้านเสียงกับบริการด้านข้อมูลตามลำดับ และจำนวนของผู้ให้บริการจริงจะผันแปรตามพื้นที่ที่เป็นมุมฉากและเป็นบริเวณที่แรเงา ซึ่งสอดคล้องกับเซตของจำนวนผู้ให้บริการจริงที่เป็นค่าที่ยอมรับได้ และค่าความน่าจะเป็นที่ยอมรับได้จะได้จากผลรวมของความน่าจะเป็นของทุกๆจำนวนในพื้นที่แรเงา

ความจุของระบบต้องมีความแน่นอนและอยู่ภายใต้เงื่อนไขของความน่าจะเป็นที่ยอมรับได้ โดยจะต้องไม่เกินกว่าค่าความน่าจะเป็นที่ยอมรับได้ที่เราต้องการ แสดงได้ดังนี้

$$\sum_{I \notin \Omega} \left\{ \prod_{n=1}^N P_{k_n}(I_n) \right\} \leq P_{0_{req}} \quad (3.15)$$

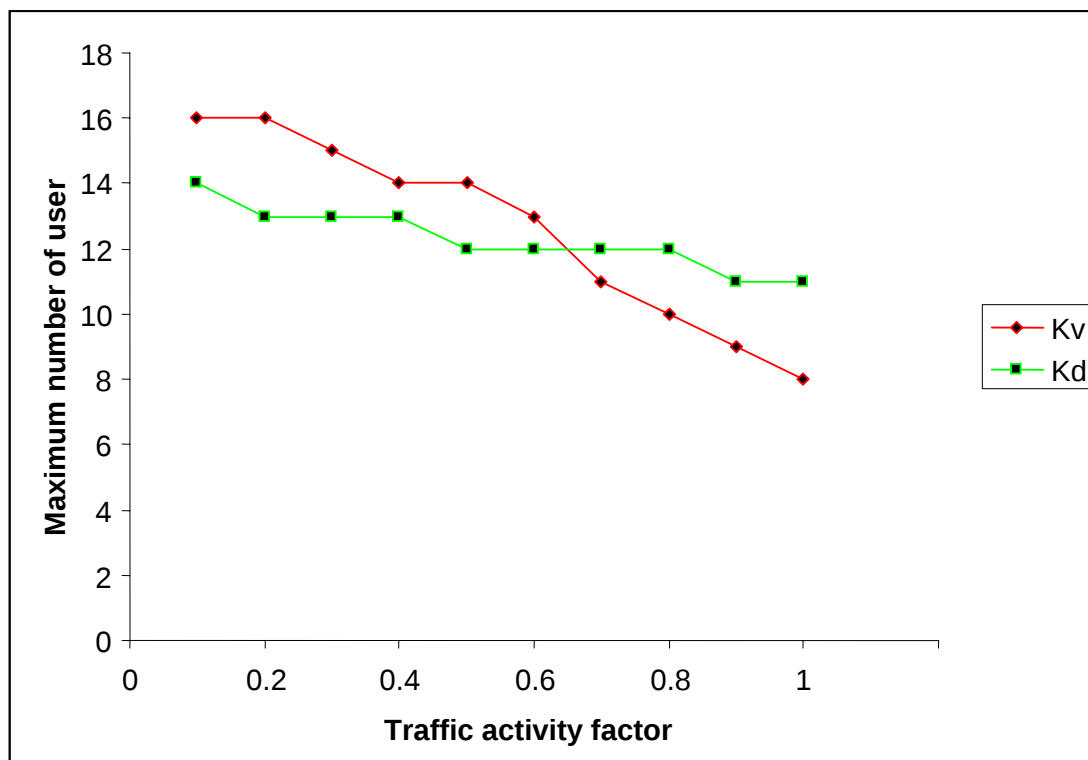
เมื่อ $P_{0_{req}}$ เป็นค่าความน่าจะเป็นที่ยอมรับได้ที่เราต้องการ

3.3 การวิเคราะห์และสรุปผล

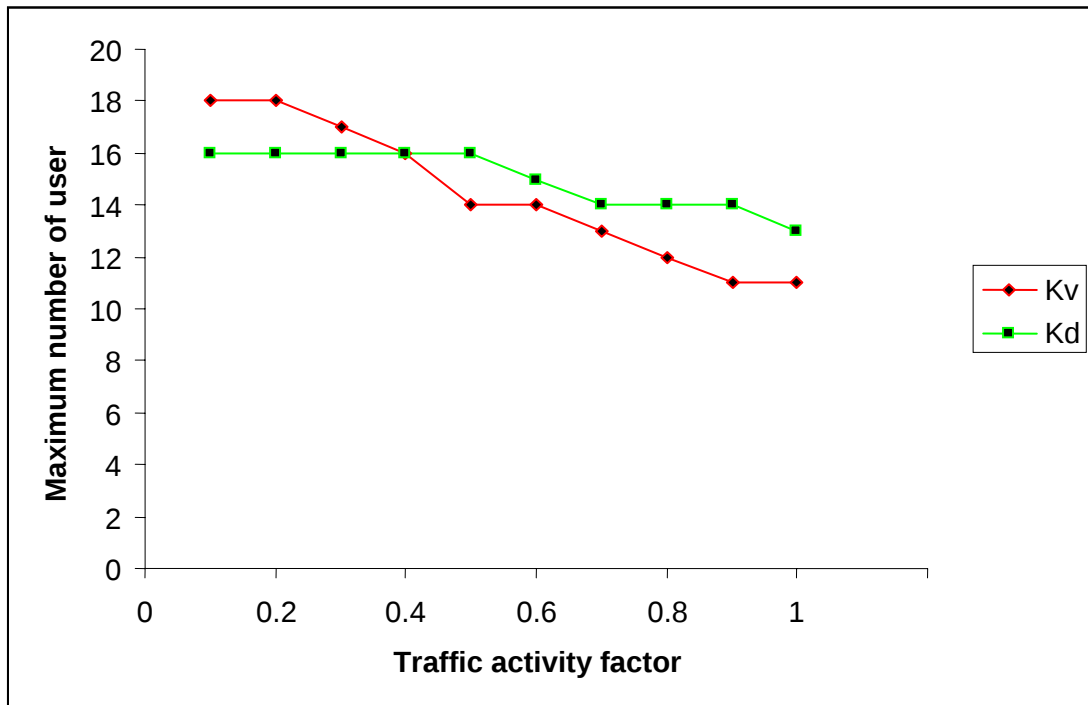
กำหนดให้พารามิเตอร์ต่าง ๆ มีค่าดังนี้ $\alpha_d = 1, R_v = 9.6$ Kbps, $R_d = 9.6$ Kbps,
 $(E_b / I_0)_v = 7$ dB และ $(E_b / I_0)_d = 10$ dB, $W=1.25$ MHz, Arrival rate (Voice) = 80,

Arrival rate (Data) = 80, Departure rate (Voice) = 10, Departure rate (Data) = 10

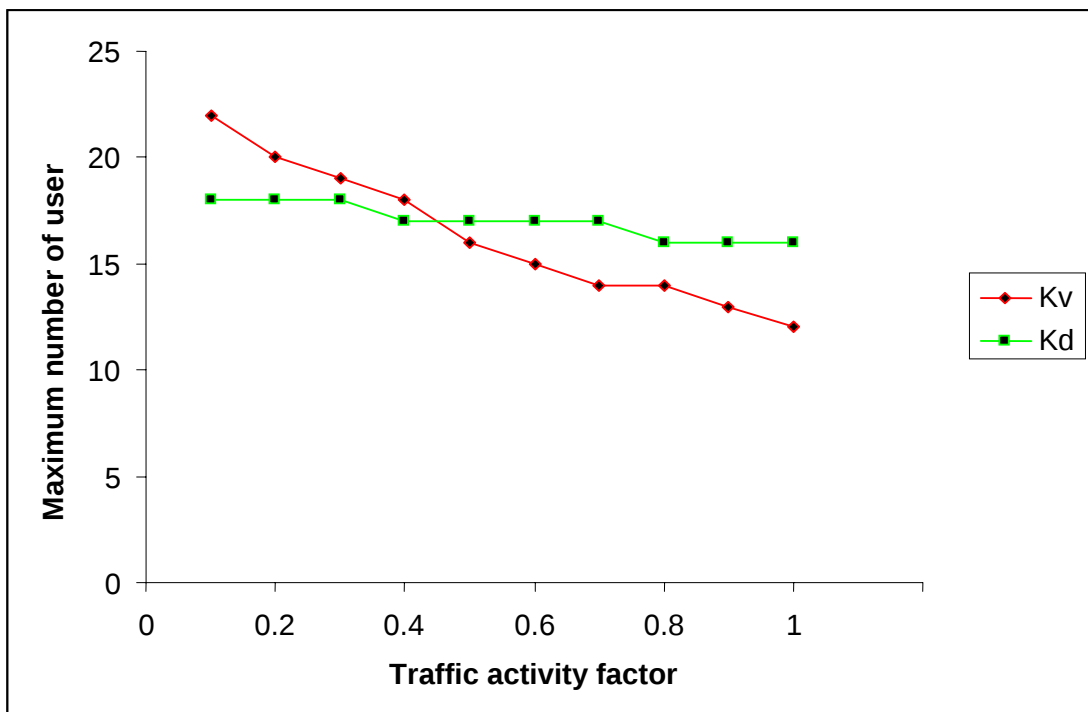
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Traffic activity factor (α_v) กับ Maximum number of user โดยให้ $P_{0_{req}} = 1\%, 5\%, 10\%$ ตามลำดับจะได้



รูปที่ 3.4 แสดงถึงกราฟระหว่าง Traffic activity factor (α_v) กับ Maximum number of user โดย $P_{0_{req}} = 1\%$



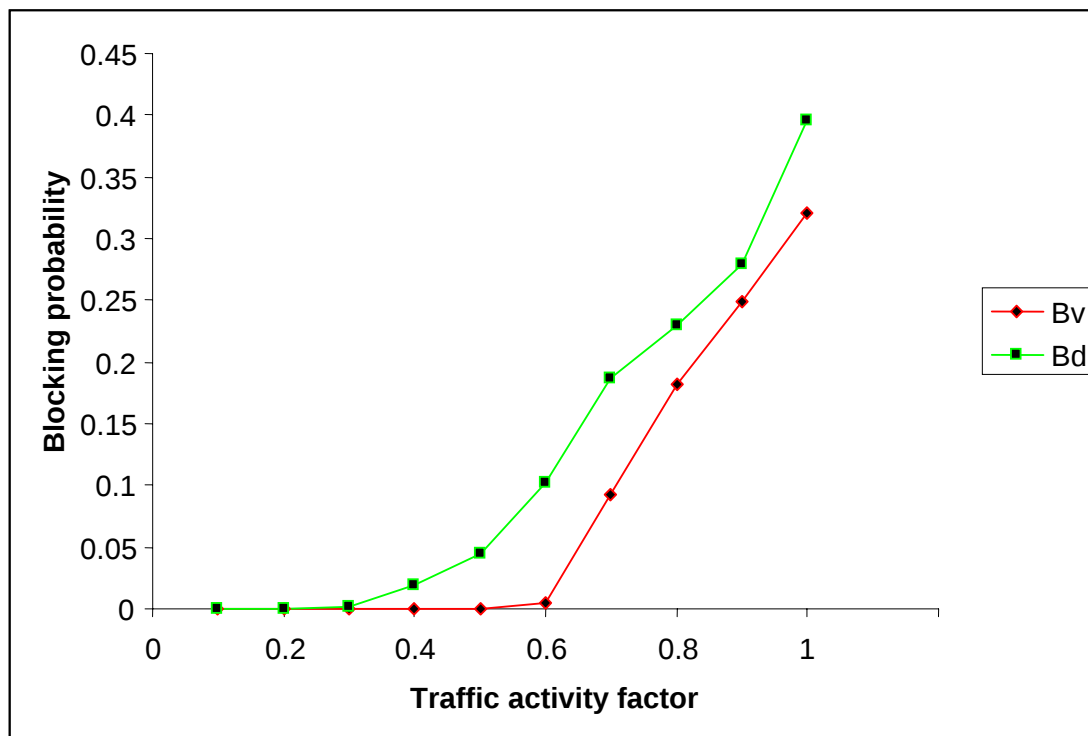
รูปที่ 3.5 แสดงถึงกราฟระหว่าง Traffic activity factor (α_v) กับ Maximum number of user โดย $P_{0_{req}} = 5\%$



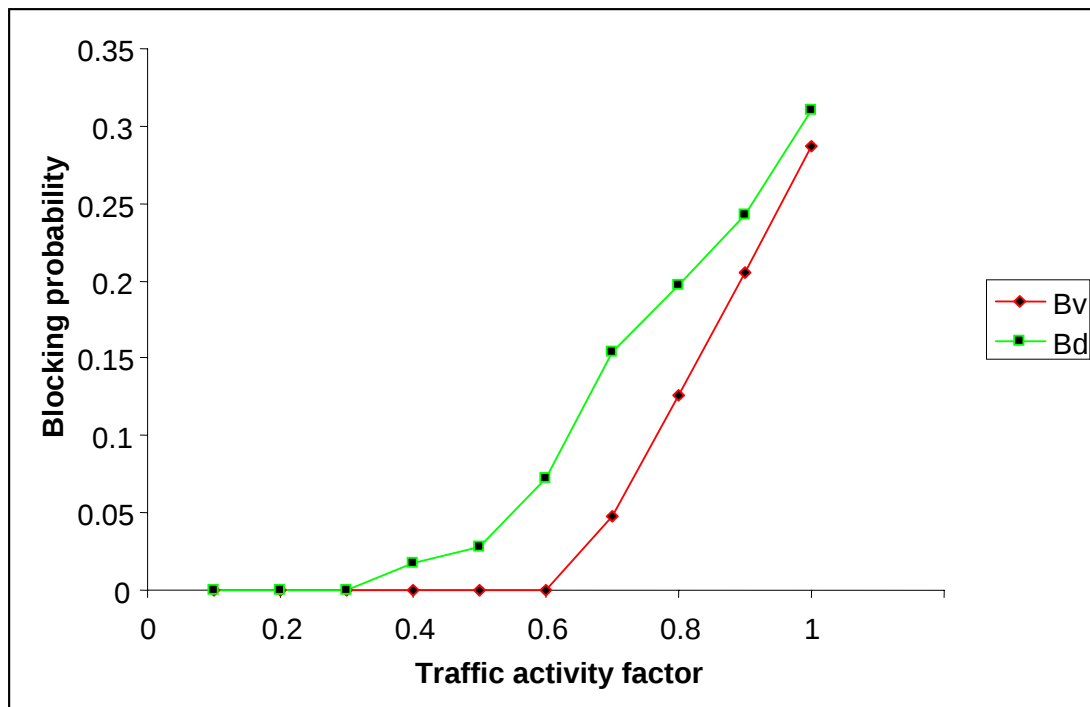
รูปที่ 3.6 แสดงถึงกราฟระหว่าง Traffic activity factor (α_v) กับ Maximum number of user โดย $P_{0_{req}} = 10\%$

จากรูปที่ 3.4, 3.5, 3.6 เมื่อเราเพิ่มค่าของ Traffic activity factor (α_v) ขึ้นไปเรื่อยจะทำให้ค่า Maximum number of user ของทั้งสองคลาสมีค่าลดลงและถ้าค่าของ $P_{0_{req}}$ เพิ่มขึ้นจะทำให้ Maximum number of user ของทั้งสองคลาสมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

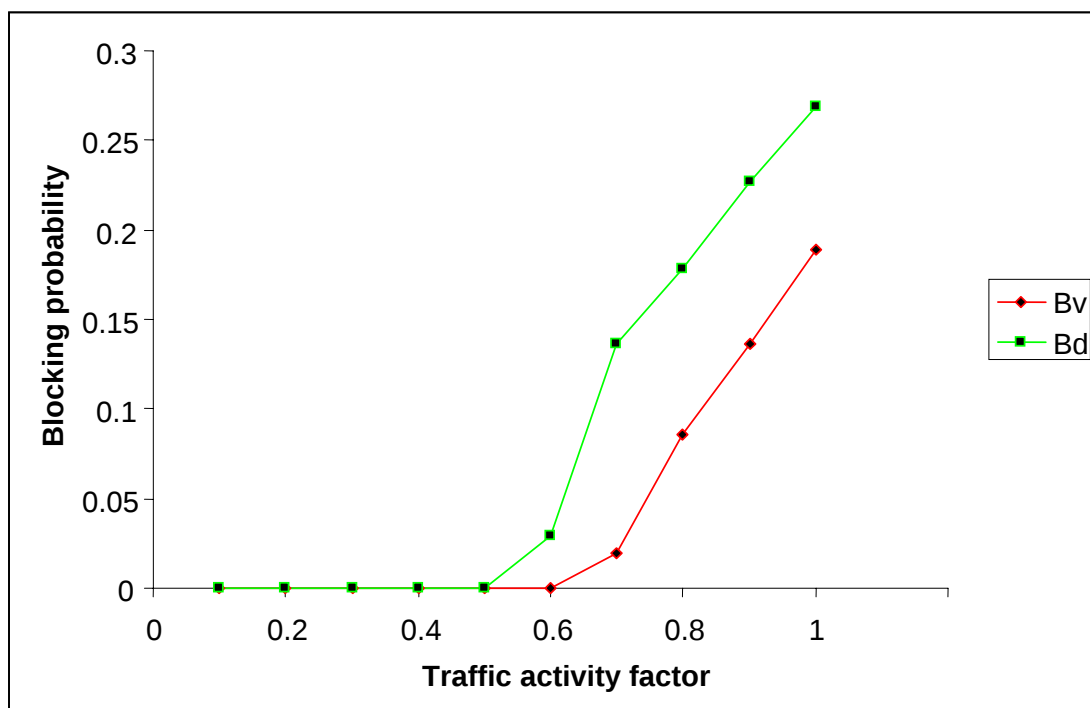
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Traffic activity factor (α_v) กับ Blocking probability โดยให้ $P_{0_{req}} = 1\%, 5\%, 10\%$ ตามลำดับจะได้



รูปที่ 3.7 แสดงถึงกราฟระหว่าง Traffic activity factor (α_v) กับ Blocking probability โดย $P_{0_{req}} = 1\%$



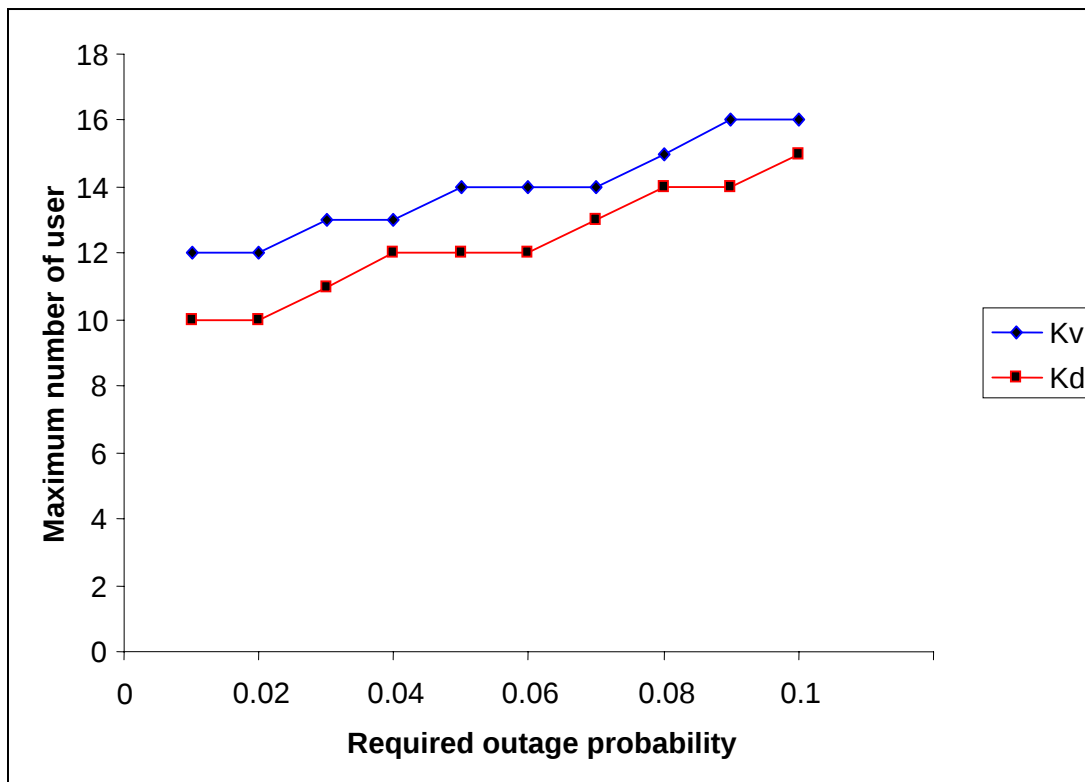
รูปที่ 3.8 แสดงถึงกราฟระหว่าง Traffic activity factor (α_v) กับ Blocking probability โดย $P_{0_{req}} = 5\%$



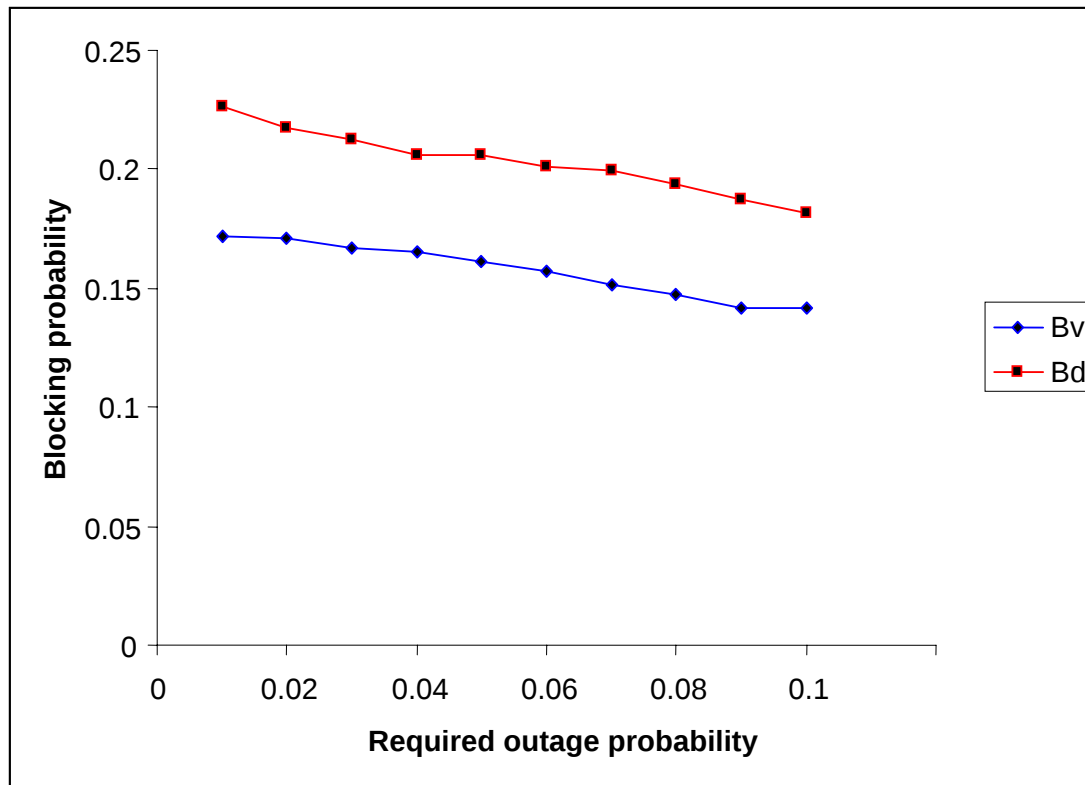
รูปที่ 3.9 แสดงถึงกราฟระหว่าง Traffic activity factor (α_v) กับ Blocking probability โดย $P_{0_{req}} = 10\%$

จากรูปที่ 3.7, 3.8, 3.9 เมื่อเราเพิ่มค่าของ Traffic activity factor (α_v) ขึ้นไปเรื่อยๆจะทำให้ค่า Blocking probability ของทั้งสองคลาสมีค่าเพิ่มขึ้นและถ้าค่าของ $P_{0_{req}}$ เพิ่มขึ้นจะทำให้ Blocking probability ของทั้งสองคลาสมีค่าลดลง

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Required outage probability ($P_{0_{req}}$) กับ Maximum number of user และ Required outage probability ($P_{0_{req}}$) กับ Blocking probability โดยให้ α_v กับ α_d คงที่ จะได้ ($\alpha_v = 0.375$, $\alpha_d = 1$)



รูปที่ 3.10 แสดงถึงกราฟระหว่าง Required outage probability ($P_{0_{req}}$) กับ Maximum number of user โดย α_v กับ α_d คงที่



รูปที่ 3.11 แสดงถึงกราฟระหว่าง Required outage probability ($P_{0_{req}}$) กับ Blocking probability โดย α_v กับ α_d คงที่

จากรูปที่ 3.10 และ 3.11 แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่า Required outage probability ($P_{0_{req}}$) เพิ่มขึ้นจะทำให้ Maximum number of user ของทั้งสองคลาสเพิ่มขึ้นและจะทำให้ Blocking probability ของทั้งสองคลาสมีค่าลดลงซึ่งสนับสนุนข้อสรุปในเบื้องต้นได้เป็นอย่างดี

เราจะสรุปโดยรวมจะได้ว่าเนื่องจากเราใช้ความน่าจะเป็น P_0 ในการกำหนดขอบเขตการเข้าใช้งานในระบบโดยต้องเป็นไปตาม $P_0 \leq P_{0_{req}}$ ซึ่งเมื่อ P_0 มีค่ามากกว่า $P_{0_{req}}$ ระบบจะทำการบล็อกไม่ให้ผู้ใช้บริการเข้าใช้งานจนกว่า $P_0 \leq P_{0_{req}}$ จึงจะสามารถรับผู้ใช้เพิ่มได้ ซึ่งถ้าเราเพิ่ม $P_{0_{req}}$ ให้มีค่ามากขึ้นขอบเขตการเข้าใช้งานในระบบจะสูงขึ้นทำให้รับผู้ใช้บริการได้มากขึ้น โอกาสในการที่จะบล็อกไม่ให้ผู้ใช้บริการเข้าใช้งานก็จะน้อยลง

บทที่ 4

โครงสร้างในการจัดสรรทรัพยากรของระบบ CDMA ให้มีประสิทธิภาพ

4.1 ความจุของระบบกับทรัพยากรที่ยังไม่ถูกใช้งาน

ในระบบ CDMA เราจะพิจารณาการเชื่อมต่อแบบย้อนกลับ ภายใต้สมมติฐานที่ว่า มีการควบคุมกำลังสัญญาณแบบสมบูรณ์ เพื่อให้เกิดความหลากหลายในการให้บริการของระบบ เราจะแบ่งกลุ่มบริการออกเป็น 2 ประเภทคือ กลุ่มบริการแบบอัตราบิตคงที่ (Constant Bit Rate Traffic: CBR) และ กลุ่มบริการแบบอัตราบิตที่แปรผัน (Variable Bit Rate Traffic: VBR) โดยที่จำนวนของกลุ่มบริการทั้งสองจะแทนด้วย M กลุ่มกับ N กลุ่มตามลำดับ โดยผู้ใช้บริการใน 1 กลุ่มจะมีความต้องการคุณภาพของการบริการ (Quality of Service: QoS) ที่เหมือนกัน ซึ่งความต้องการคุณภาพของการบริการของกลุ่มบริการแบบอัตราบิตคงที่ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของอัตราการส่งบิตข้อมูลผิด (Bit Error Rate: BER) และ มีอัตราการส่งแบบคงที่ ส่วนของกลุ่มบริการแบบอัตราบิตที่แปรผัน ก็เป็นส่วนประกอบของอัตราการส่งบิตข้อมูลผิดเช่นกันแต่จะมีอัตราการส่งแบบต่ำ

เพื่อที่จะได้คุณภาพของการบริการให้เป็นที่พึงพอใจต่อผู้ใช้บริการทุกคนจะต้องมีการกำหนดขอบเขตของความจุในระบบ CDMA ดังนี้

$$\sum_{i=0}^M \gamma_{c_i} k_{c_i} + \sum_{j=0}^N \gamma_{v_j} k_{v_j} \leq 1 - z \quad (4.1)$$

เมื่อ

$$\gamma_{c_i} = \left(\frac{W}{R_{c_i} q_{c_i}} + 1 \right)^{-1} \quad \text{และ} \quad \gamma_{v_j} = \left(\frac{W}{R_{v_j} q_{v_j}} + 1 \right)^{-1} \quad (4.2)$$

k_{c_i} และ k_{v_j} แสดงถึงจำนวนผู้ใช้บริการ (Number of concurrent user) ในกลุ่มบริการแบบอัตราบิตคงที่ i กลุ่ม ($i = 1, \dots, M$) และ กลุ่มบริการแบบอัตราบิตที่แปรผัน j กลุ่ม ($j = 1, \dots, N$) ตามลำดับ W เป็นความกว้างของแบนด์วิด (Spreading Bandwidth) q_{c_i} และ q_{v_j} เป็นอัตราส่วนระหว่างความต้องการพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนต่อความหนาแน่นสเปกตรัม (Required bit energy-to-interference spectral density ratio) ของกลุ่มบริการแบบอัตราบิตคงที่ i กลุ่มและกลุ่มบริการแบบอัตราบิตที่แปรผัน j กลุ่มตามลำดับ R_{c_i} และ R_{v_j} เป็นอัตราการส่งของกลุ่มบริการแบบอัตราบิตคงที่ i กลุ่มและกลุ่มบริการแบบอัตราบิตที่แปรผัน j กลุ่มตามลำดับ ซึ่ง R_{c_i} เป็นอัตราที่คงที่ ส่วน R_{v_j} เป็นอัตราที่แปรผันได้และมีความต้องการของอัตราการส่งที่ต่ำอีกด้วย

ถ้า $R_{v_j, \min}$ เป็นตัวกำหนดขอบเขตของความต้องการอัตราการส่งแบบต่ำแล้ว และ a_j ของกลุ่มบริการแบบอัตราบิตที่แปรผัน j กลุ่ม เป็นตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการส่งของกลุ่มบริการแบบอัตราบิตที่แปรผัน j กลุ่ม ดังนั้นอัตราการส่ง R_{v_j} สามารถแสดงได้ดังนี้

$$R_{v_j} = a_j R_{v_j, \min} \quad (4.3)$$

เมื่อ $a_j \geq 1$ ในสมการ (4.1) γ_{c_i} และ γ_{v_j} จะสอดคล้องกับปริมาณของทรัพยากรที่ถูกใช้ในระบบโดยผู้ใช้เพียง 1 คนในกลุ่มบริการแบบอัตราบิตคงที่และ 1 คนในกลุ่มบริการแบบอัตราบิตที่แปรผันตามลำดับ สมการ (4.1) เป็นค่าเฉลี่ยที่ทรัพยากรในระบบถูกใช้ ซึ่งผู้ใช้บริการใช้งานพร้อมกัน โดยจะต้องไม่เกินทรัพยากรของระบบที่มีอยู่ทั้งหมด

ในสมการ (4.1) ความจุระบบยังสามารถพิจารณาเป็นแบบจำกัดขอบเขตที่ใช้สนับสนุนจำนวนของผู้ใช้บริการในระบบ ซึ่งในความต้องการที่จะเข้าถึงขอบเขตสูงสุดที่สามารถรองรับจำนวนผู้ที่ใช้บริการพร้อมกัน โดยที่ผู้ใช้บริการแต่ละคนจะต้องใช้ทรัพยากรระบบให้ต่ำที่สุด อีกทั้งเป็นที่พึงพอใจต่อผู้ใช้บริการในความต้องการคุณภาพของการให้บริการ ซึ่งการที่จะบรรลุเป้าหมายนั้น เราจะต้องกำหนดให้ $a_j = 1$ ในกลุ่มบริการแบบอัตราบิตที่แปรผันทุกกลุ่ม เพราะกลุ่มบริการแบบอัตราบิตคงที่จะใช้ถูกจำกัดทรัพยากรไว้แล้ว ซึ่งจะได้ขอบเขตของจำนวนผู้ให้บริการพร้อมกันทั้งหมดเป็น $(M+N)$ แบบไฮเปอร์เพลน (Hyperplane) และทุกๆจุดภายใต้ไฮเปอร์เพลน $(k_{c_1}, k_{c_2}, \dots, k_{c_M}, k_{v_1}, k_{v_2}, \dots, k_{v_N})$ นั้นจะเป็นแสดงถึงจำนวนของผู้ใช้บริการที่เป็นไปได้

ส่วนใหญ่ระบบจะไม่ถูกใช้งานแบบเต็มตลอดเวลา ซึ่งหมายความว่า ในการใช้งานทรัพยากรของระบบจริงนั้นจะเป็นแบบเวลาต่อเวลา ในภายหลังการจัดสรรโครงสร้างทรัพยากรให้มีประสิทธิภาพนั้น เราต้องการจำนวนที่แน่นอนของทรัพยากรที่เหลืออยู่ในระบบ ซึ่งเราสามารถหาทรัพยากรที่เหลืออยู่นั้นได้จาก

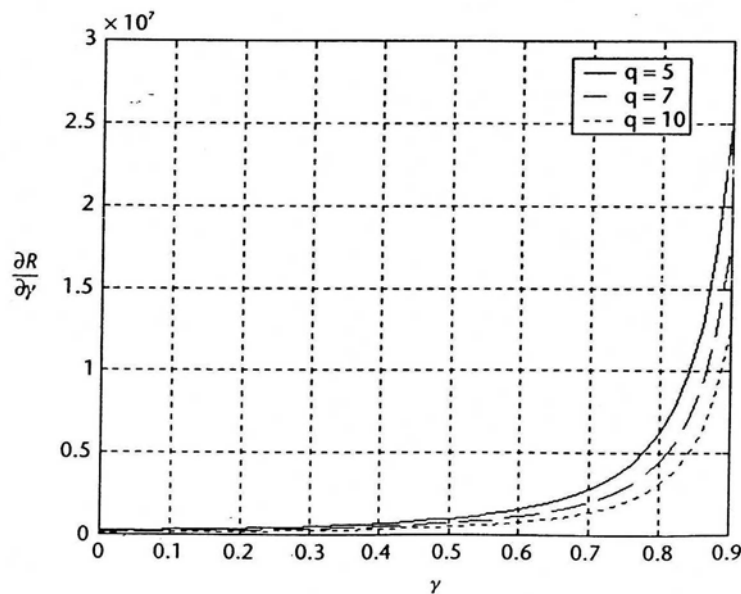
$$\Gamma = C - \sum_{i=1}^M \gamma_{c_i} k_{c_i} - \sum_{j=1}^N \gamma_{v_j, \min} k_{v_j} \quad (4.4)$$

เมื่อ C เป็นปริมาณทั้งหมดของระบบมีค่าสูงสุดเป็น $1-z$ และ $\gamma_{v_j, \min}$ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ γ_{v_j} เมื่อ $a_j = 1$ โดยที่ $j = 1, \dots, N$

4.2 อัตราค่าบริการที่ทำให้ทรัพยากรมีค่าสูงสุด

เป็นแนวทางหนึ่งที่ทำให้การนำทรัพยากรที่เหลืออยู่มาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นการจัดสรรทรัพยากรที่เหลือต่อผู้ใช้บริการในกลุ่มบริการแบบอัตราบิตที่แปรผัน เพื่อที่จะทำให้ทรัพยากรที่ได้นั้นดีขึ้น โดยสมมติฐานเราสามารถเพิ่มอัตราการส่งให้กับผู้ใช้ในกลุ่มบริการแบบอัตราบิตที่แปรผันจนหมดทรัพยากรได้ จึงเกิดคำถามที่ว่าทำอย่างไรถึงจะสามารถจัดสรรทรัพยากรที่เหลืออยู่นี้ให้แก่ผู้ใช้ในกลุ่มบริการแบบอัตราบิตที่แปรผันซึ่งมีความหลากหลายได้ ก่อนที่จะเข้าถึงปัญหาดังกล่าว เราจะต้องพิจารณาความเกี่ยวเนื่องระหว่างอัตราการส่งกับการจัดสรรทรัพยากรระบบก่อน

รูปที่ 4.1 แสดงถึงสิ่งแรกที่เป็นผลมาจากอัตราการส่งโดยเกี่ยวข้องกับการจัดสรรทรัพยากรระบบ ถ้าค่า $\frac{\partial R}{\partial \gamma}$ เปลี่ยนแปลงก็จะทำให้ค่า $E_b/I_0, q$ เปลี่ยนด้วย แสดงได้ดังนี้



รูปที่ 4.1 ผลที่เกิดขึ้นจากอัตราการส่งที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรทรัพยากร $\frac{\partial R}{\partial \gamma}$ โดยการเปลี่ยนแปลงค่า $E_b/I_0, q$

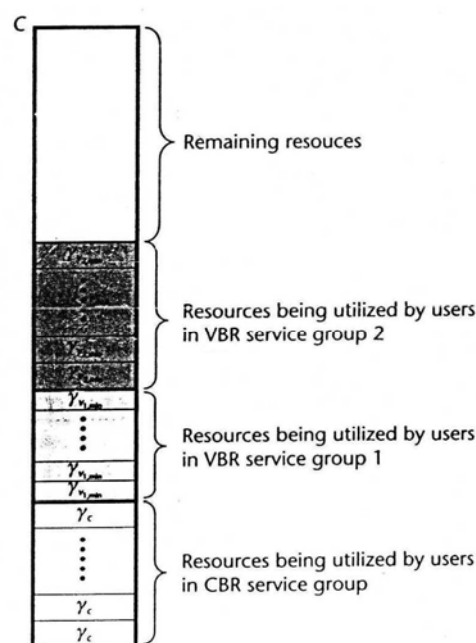
$$\frac{\partial R}{\partial \gamma} = \frac{W}{q} \cdot \frac{1}{(1-\gamma)^2} \quad (4.5)$$

จากรูปจะเห็นว่าอัตราการส่ง R แบบเอ็กโพเนนเชียลจะเพิ่มขึ้นเมื่อการจัดสรรทรัพยากร γ

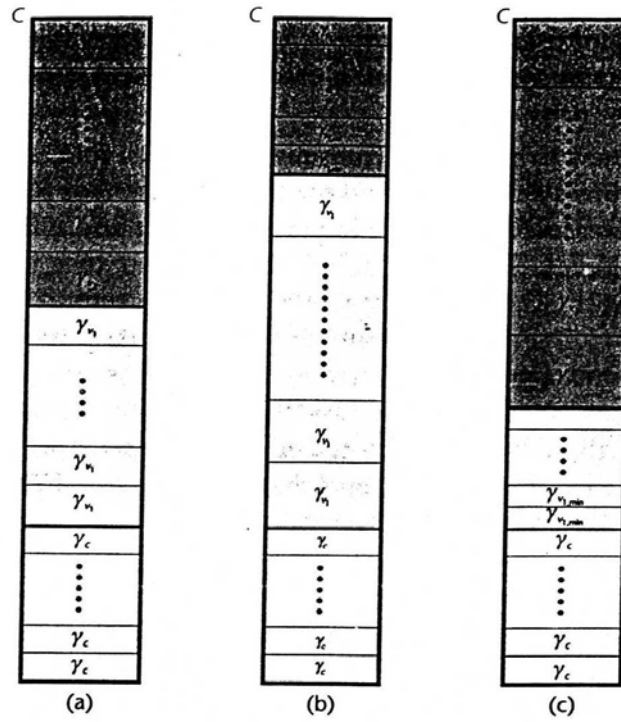
เพิ่มขึ้น และการเพิ่มจำนวนของอัตรา R ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้ค่าของ $E_b/I_0, q$ ลดลง และมีความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้น อย่างไรก็ตามเราสามารถสมมติขึ้นเพื่อคาดคะเนทรัพยากรที่เป็นไปได้และนำมาใช้ในการจัดสรรทรัพยากรที่เหลือให้แก่ผู้ใช้บริการในกลุ่มบริการแบบอัตราบิตที่แปรผัน

ในรูปที่ 4.2 แสดงถึงสถานะของทรัพยากรระบบที่ถูกใช้งานโดยกลุ่มบริการ 3 กลุ่ม ในรูปจะมีพื้นที่แรเงา 3 แบบซึ่งแสดงทรัพยากรที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ โดยผู้ใช้ในกลุ่มบริการแบบอัตราบิตคงที่ 1 กลุ่มและกลุ่มบริการแบบอัตราบิตที่แปรผัน 2 กลุ่มตามลำดับ เมื่อทรัพยากรที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ต่อผู้ใช้บริการ 1 คนมีปริมาณที่ต่ำที่สุดแล้ว ความต้องการคุณภาพของการบริการก็จะเป็นที่พึงพอใจกับตัวผู้ใช้บริการเอง ส่วนพื้นที่ว่างในรูปนั้นจะแสดงถึงทรัพยากรที่เหลืออยู่ในระบบและยังสามารถจัดสรรให้กับผู้ใช้บริการในกลุ่มบริการแบบอัตราบิตที่แปรผันในรูปแบบต่างได้อีกด้วย

ในรูปที่ 4.3 อธิบายตัวอย่างของการจัดสรรทรัพยากรที่เหลืออยู่ให้กับผู้ใช้บริการโดยรูปที่ 4.3 (a) แสดงการจัดสรรทรัพยากรที่เหลืออยู่ให้กับกลุ่มบริการแบบอัตราบิตที่แปรผันแบบเท่ากันทั้งหมด ส่วนรูปที่ 4.3 (b-c) แสดงการจัดสรรทรัพยากรที่เหลืออยู่ให้กับกลุ่มบริการแบบอัตราบิตที่แปรผันแบบไม่เท่ากันแบ่งตามระดับความต้องการทรัพยากร ในรูปที่ 4.3 (a-c) ยังสามารถเปลี่ยนแปลงไปเป็นแบบอื่นได้อีกมากมาย ซึ่งเป็นผลมาจากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้กับการจัดสรรทรัพยากรเป็นแบบไม่เชิงเส้นนั่นเอง



รูปที่ 4.2 สถานะของทรัพยากรระบบของกลุ่มบริการ 3 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกเป็นกลุ่มบริการแบบ CBR ส่วนกลุ่มที่เหลือเป็นกลุ่มบริการแบบ VBR



รูปที่ 4.3 เป็นการจัดสรรทรัพยากรที่เหลืออยู่ (a) แบ่งให้กับผู้ใช้บริการกลุ่ม VBR ทุกกลุ่ม เท่าๆกัน (b) แบ่งให้กับผู้ใช้บริการกลุ่ม VBR กลุ่ม 1 เท่านั้น (c) แบ่งให้กับผู้ใช้บริการกลุ่ม VBR กลุ่ม 2 เท่านั้น

ในความต้องการทรัพยากรที่สูงสุด เพื่อที่จะทำการจัดสรรทรัพยากรที่เหลืออยู่ให้กับกลุ่มบริการแบบอัตราบิตที่แปรผันที่มีแบบหลายกลุ่มให้สามารถใช้งานได้อย่างเต็มที่มีนั้น เราจะต้องหาระดับของอัตราการส่งที่เหมาะสมที่สุดให้กับกลุ่มบริการแบบอัตราบิตที่แปรผัน เพื่อที่จะให้สอดคล้องกับระดับที่เหมาะสมที่สุดของการจัดสรรทรัพยากร โดยสังเกตจากปัจจัยการทำงานของอัตราการส่งในกลุ่มบริการแบบอัตราบิตที่แปรผัน การหาทรัพยากรสูงสุดสามารถหาออกมาเป็นสมการได้โดยการตั้งค่า $(a_1, a_2, \dots, a_N)_{opt}$ ที่ทำให้ได้ทรัพยากรสูงสุด T ดังนี้

$$T = \sum_{i=1}^M R_{c_i} k_{c_i} + \sum_{j=1}^N a_j R_{v_{j,min}} k_{v_j} \quad (4.6)$$

ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไข

$$\sum_{i=1}^M \gamma_{c_i} k_{c_i} + \sum_{j=1}^N \gamma_{v_j} k_{v_j} \leq C \quad (4.7)$$

โดย

$$a_j \geq 1 \text{ ของทุกๆ } j \quad (4.8)$$

เราสามารถตั้งค่าให้ $C = 1$ ก็ได้โดยไม่สนใจผลกระทบของสัญญาณรบกวนระหว่างเซลล์บนระบบ

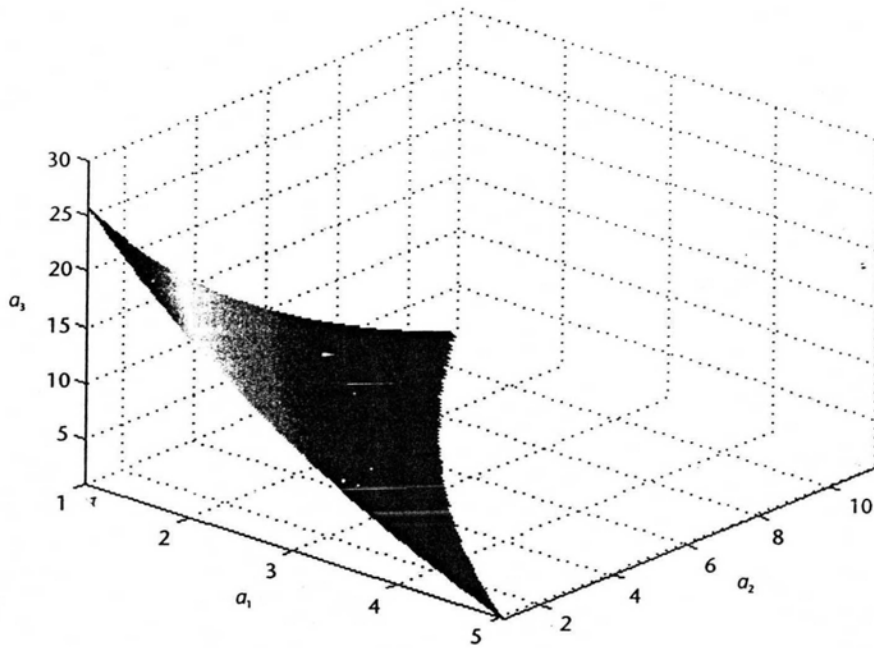
ภายใต้เงื่อนไขข้อกำหนดในสมการที่ (4.7) บนอัตราแฟกเตอร์ (Rate factors) เราสามารถแสดงรูปแบบของ T ในสมการที่ (4.6) เป็นแบบโค้งนูน (Convex) ซึ่งหาจากฟังก์ชันของอัตราแฟกเตอร์ โดยการใส่อนุพันธ์อันดับสองให้กับ T ที่เกี่ยวเนื่องกับอัตราแฟกเตอร์ a_i จะได้ว่า

$$\frac{\partial^2 T}{\partial a_i^2} = 2W^2 \frac{Q_{v_i}^2}{Q_{v_N}} \frac{k_{v_N}^2 k_{v_i} R_{v_{N,\min}}}{(W + a_i Q_{v_i})^3} \cdot \frac{(k_{v_N} - C) + \sum_{i=1}^M \gamma_{c_i} k_{c_i} + \sum_{j=1}^{N-1} \gamma_{v_j} k_{v_j} + k_{v_i} W / (W + a_i Q_{v_i})}{((k_{v_N} - C) + \sum_{i=1}^M \gamma_{c_i} k_{c_i} + \sum_{j=1}^N \gamma_{v_j} k_{v_j})^3} \quad (4.9)$$

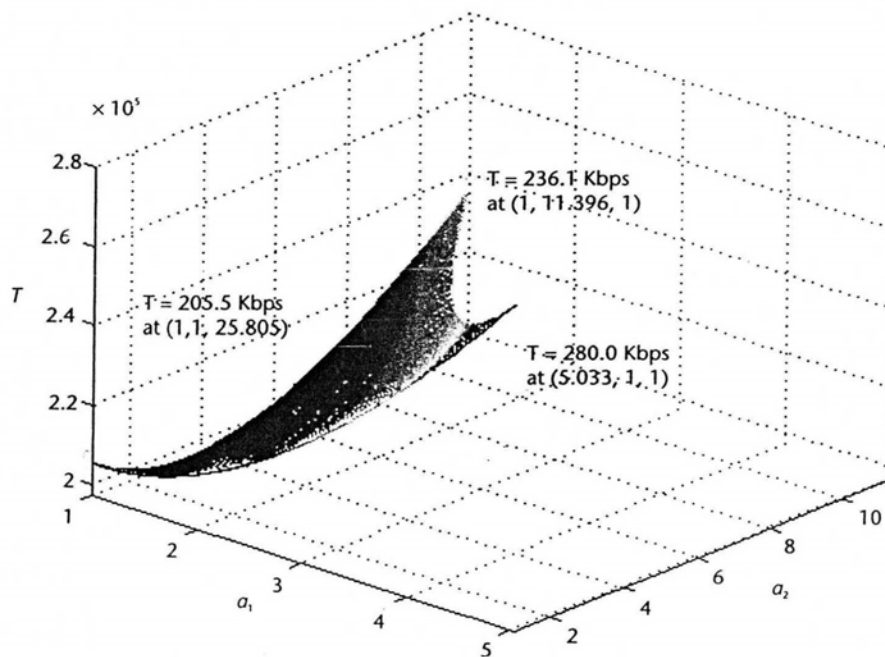
เมื่อ $Q_{v_i} = R_{v_{i,\min}} q_{v_i}$ สังเกตจากที่ $k_{v_N} \geq 1$ และเทอมอื่นๆที่เป็นค่าบวกในสมการที่ (4.9) เรารู้แล้วว่า $\partial^2 T / \partial a_j^2 > 0$ ของทุกๆ j เหมือนเงื่อนไขข้อกำหนดในสมการที่ (4.7) ซึ่งจำกัดขอบเขตความเป็นไปได้ของ a_j โดย a_j มีค่าอยู่ระหว่าง 1 กับ a_j^{vertex} เมื่อ a_j^{vertex} เป็นค่าที่ถูกจำกัดโดยสมการที่ (4.7) และสิ่งที่เกิดขึ้นมากไปกว่านั้น เมื่อ $a_i = 1$ ของทุกๆ $i \neq j$ T จะวิเคราะห์เป็นรูปแบบโค้งนูนดังแสดงในสมการที่ (5.7) ดังนั้นค่า T สูงสุดจะปรากฏขึ้นก็ต่อเมื่อ $a_j = 1$ หรือ $a_j = a_j^{\text{vertex}}$ เพียงค่าใดค่าหนึ่งเท่านั้น จากการสังเกตค่า T จะต่ำสุดเมื่อ $a_j = 1$ ของทุกๆ j ดังนั้นเราจะได้ทรูพหุสูงสุดที่ $a_j = a_j^{\text{vertex}}$ ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขในสมการที่ (4.7) โดยต้องทำการหาจุดทดสอบที่ดีที่สุดที่จะทำให้ได้ค่าทรูพหุที่สูงสุด

เราสามารถแบ่งการพิจารณาระบบให้มากขึ้นอีกได้โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มบริการซึ่งประกอบไปด้วยกลุ่มบริการแบบอัตราบิตคงที่ 1 กลุ่มและกลุ่มบริการแบบอัตราบิตที่แปรผัน 3 กลุ่มโดยจะมีความต้องการคุณภาพของการบริการที่แตกต่างกัน ซึ่งได้ระบุพารามิเตอร์ทั้งหมดไว้ในตารางที่ 4.1 แล้ว ในรูปที่ 4.4 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราแฟกเตอร์พื้นฐาน ในสมการที่ (4.7) และ (4.8) เมื่อทรัพยากรระบบที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ ($C = 1 - z$) โดยทุกๆจุด (a_1, a_2, a_3) บนพื้นที่กราฟจะแสดงถึงค่าอัตราแฟกเตอร์ที่เป็นไปได้ในการใช้ปรับปรุงทรูพหุ

ในรูปที่ 4.5 แสดงถึงความสอดคล้องของทรูพุท T ที่มีต่ออัตราเฟกเตอร์ในรูปที่ 4.4 เราจะไม่พูดถึงค่าของ a_3 เนื่องจาก a_3 เป็นตัวที่ถูกกำหนดด้วยค่า a_1 และ a_2 ซึ่งเกิดขึ้นก่อนจุดออก (Pointed out) รูปที่ 4.5 ยังแสดงถึง T ที่มีรูปร่างแบบโค้งงอ และ $T_{\max}$ จะเอาเพียงจุดเดียวบนแนวของแนวตั้ง ซึ่งในกรณีนี้อัตราเฟกเตอร์ที่ดีที่สุดคือเซตของ σ_{opt} เป็น (5.033, 1, 1) โดยมีทรูพุทสูงสุดเป็น 280 Kbps



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฟกเตอร์ของกลุ่มบริการแบบ VBR ทั้ง 3 กลุ่ม



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างของทรูพุทที่ด้งค่าของอัตราแฟกเตอร์ตามรูปที่ 4.4

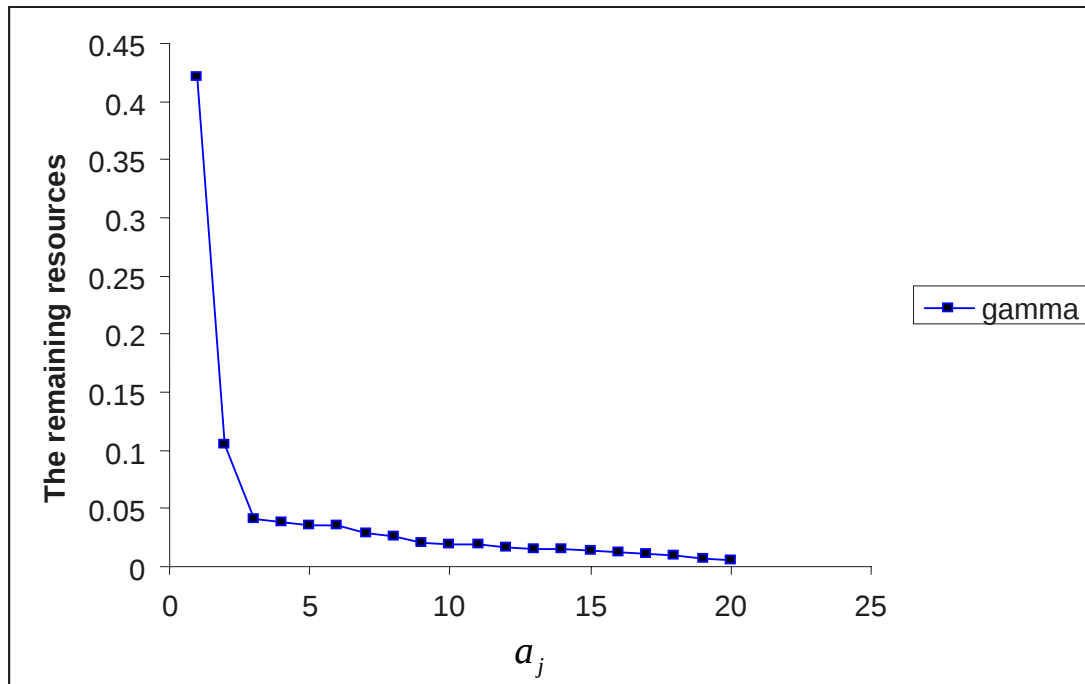
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ของกลุ่มบริการแบบอัตราบิตคงที่ 1 กลุ่ม และ กลุ่มบริการแบบอัตราบิตที่แปรผัน 3 กลุ่มในระบบ CDMA

Parameters	Symbol	Value
Bandwidth	W	1.25 Mhz
Constant transmission rate for CBR group	R_c	9.6 Kbps
Minimum transmission rate for the j th VBR service group	$R_{v_j, \min}$	9.6, 4.8, 2.4 Kbps for $j=1, 2, 3$
Required bit energy-to-interference spectral density ratio for CBR group	q_c	5
Required bit energy-to-interference spectral density ratio for the j th VBR service group	q_{v_j}	5, 7, 10 for $j=1, 2, 3$
Number of concurrent user in CBR service group	k_c	2
Number of concurrent user in the j th VBR service group	k_{v_j}	5, 3, 2 for $j=1, 2, 3$

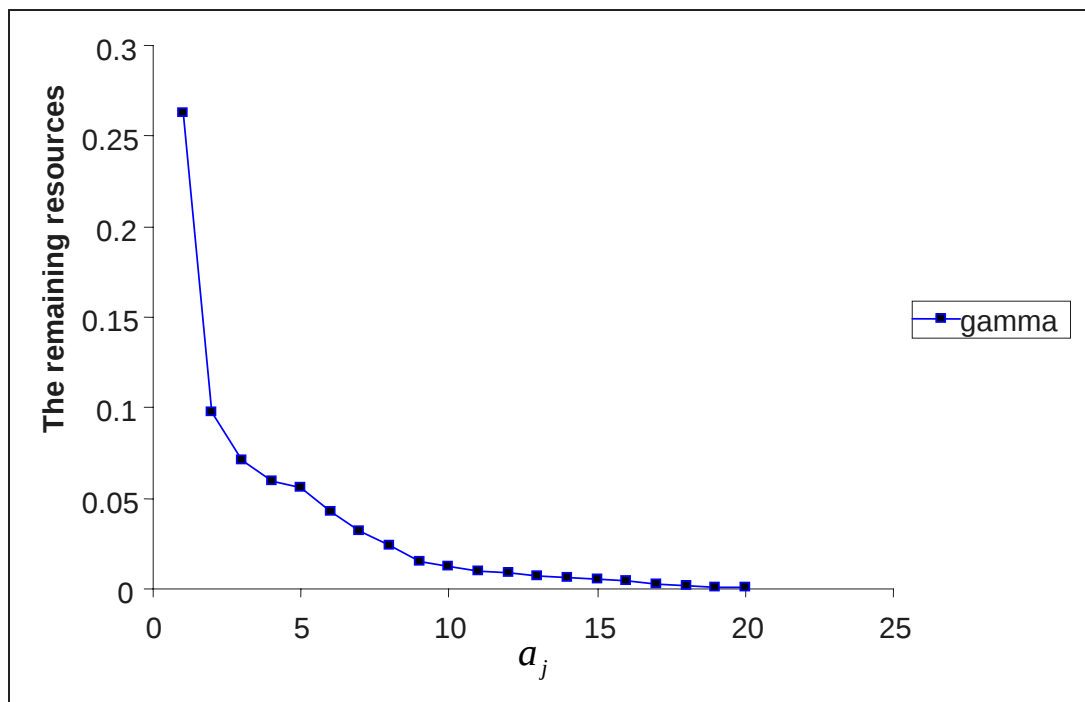
4.3 การวิเคราะห์และสรุปผล

กำหนดให้พารามิเตอร์ต่าง ๆ มีค่าดังนี้ $\alpha_v = 0.375$, $\alpha_d = 1$, $R_c = 9.6$ Kbps, $R_{v_j} = 9.6, 4.8, 2.4$ Kbps for $j=1, 2, 3$, $W=1.25$ Mhz, $q_c = 5$, $q_{v_j} = 5, 7, 10$ for $j=1, 2, 3$

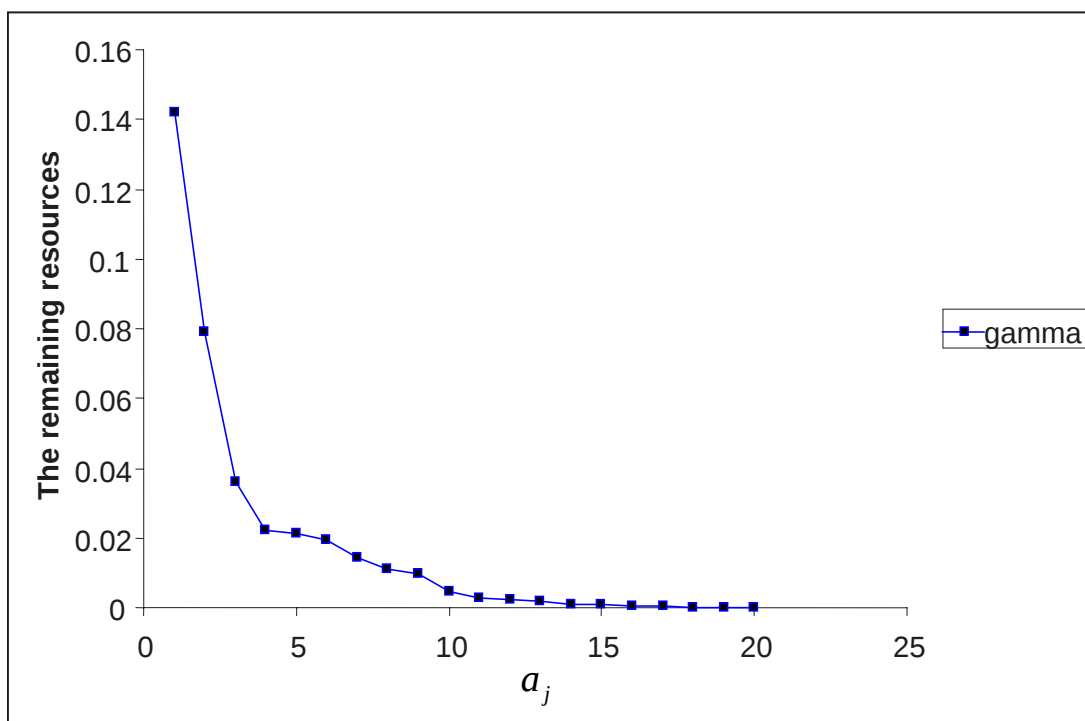
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Rate factor (a_j) กับ The remaining resources (Γ) โดยให้ $q_{v_j} = 5, 7, 10$ ตามลำดับจะได้ (กรณีที่มี CBR 1 กลุ่มกับ VBR 1 กลุ่ม)



รูปที่ 4.6 แสดงถึงกราฟระหว่าง Rate factor (a_j) กับ The remaining resources (Γ) โดยให้ $q_{v_j} = 5$



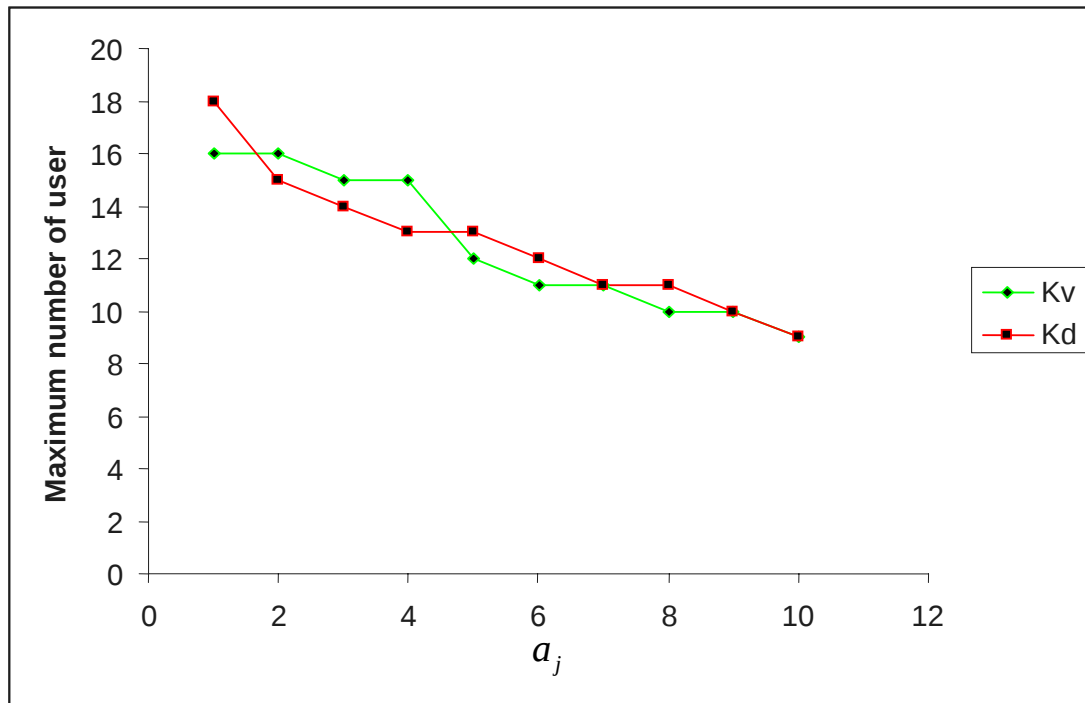
รูปที่ 4.7 แสดงถึงกราฟระหว่าง Rate factor (a_j) กับ The remaining resources (Γ) โดยให้ $q_{v_j} = 7$



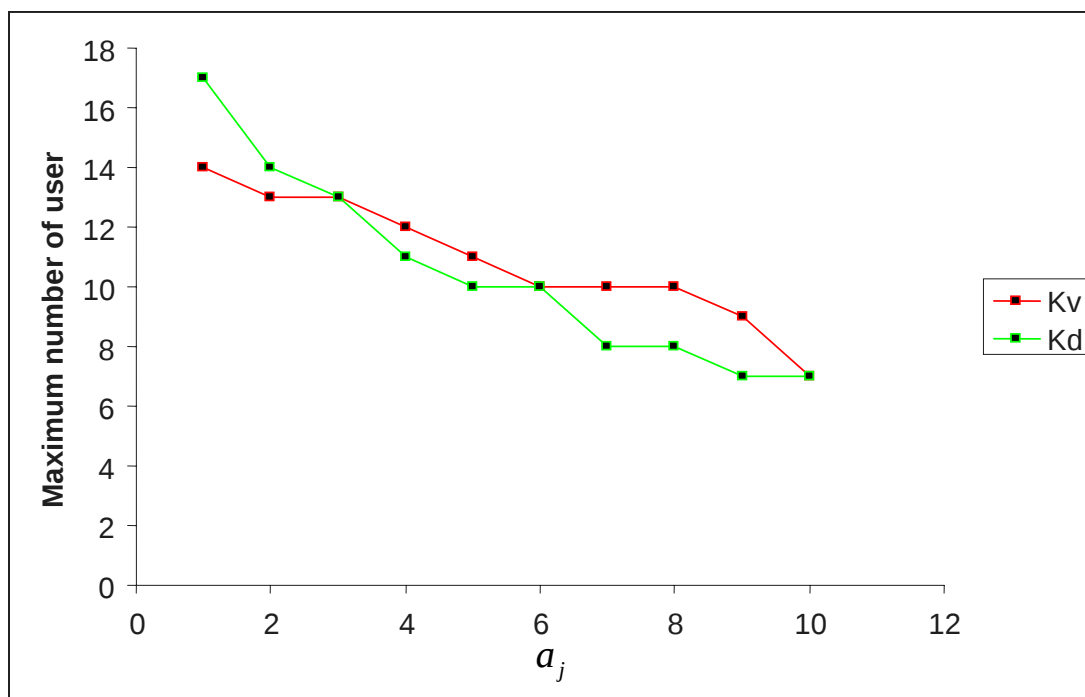
รูปที่ 4.8 แสดงถึงกราฟระหว่าง Rate factor (a_j) กับ The remaining resources (Γ) โดยให้ $q_{v_j} = 10$

จากรูปที่ 4.6, 4.7, 4.8 เมื่อค่าของ Rate factor (a_j) มากขึ้นจะส่งผลทำให้ค่า The remaining resources (Γ) ลดลงเรื่อยๆ และถ้าปรับค่า q_{v_j} เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่า The remaining resources (Γ) ลดลงอย่างรวดเร็ว

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Rate factor (a_j) กับ Maximum number of user โดยให้ $q_{v_j} = 5, 7, 10$ ตามลำดับจะได้ (กรณีที่มี CBR 1 กลุ่มกับ VBR 1 กลุ่ม)

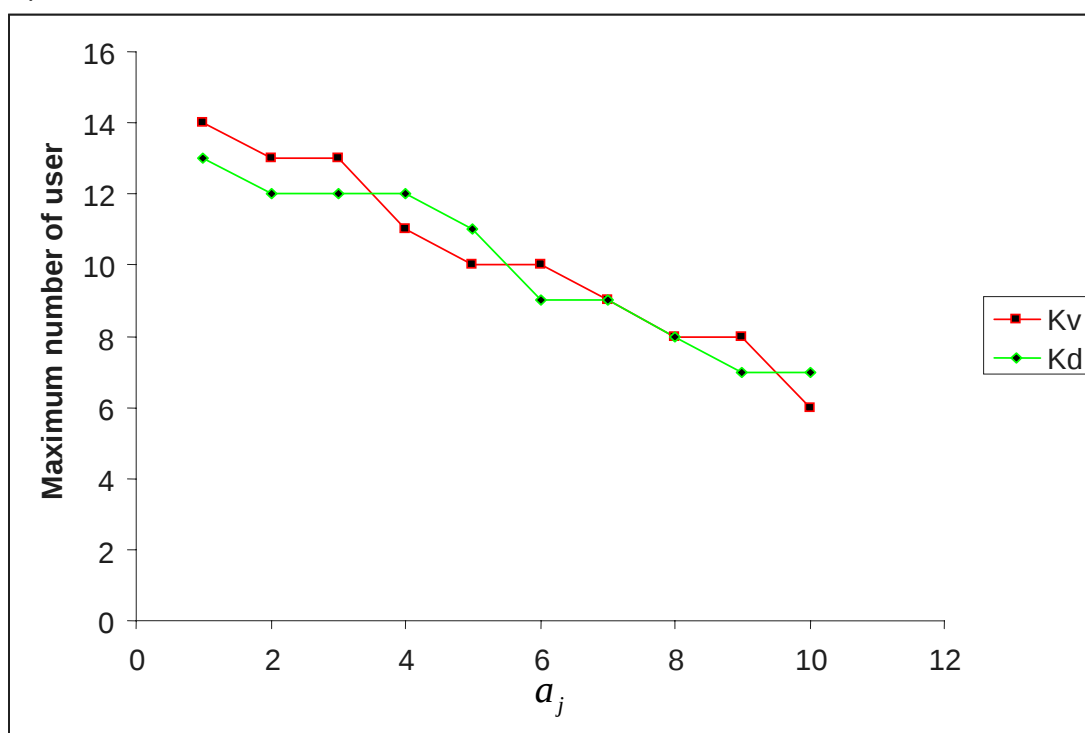


รูปที่ 4.9 แสดงถึงกราฟระหว่าง Rate factor (a_j) กับ Maximum number of user โดยให้ $q_{v_j} = 5$



รูปที่ 4.10 แสดงถึงกราฟระหว่าง Rate factor (a_j) กับ Maximum number of user โดยให้

$$q_{v_j} = 7$$

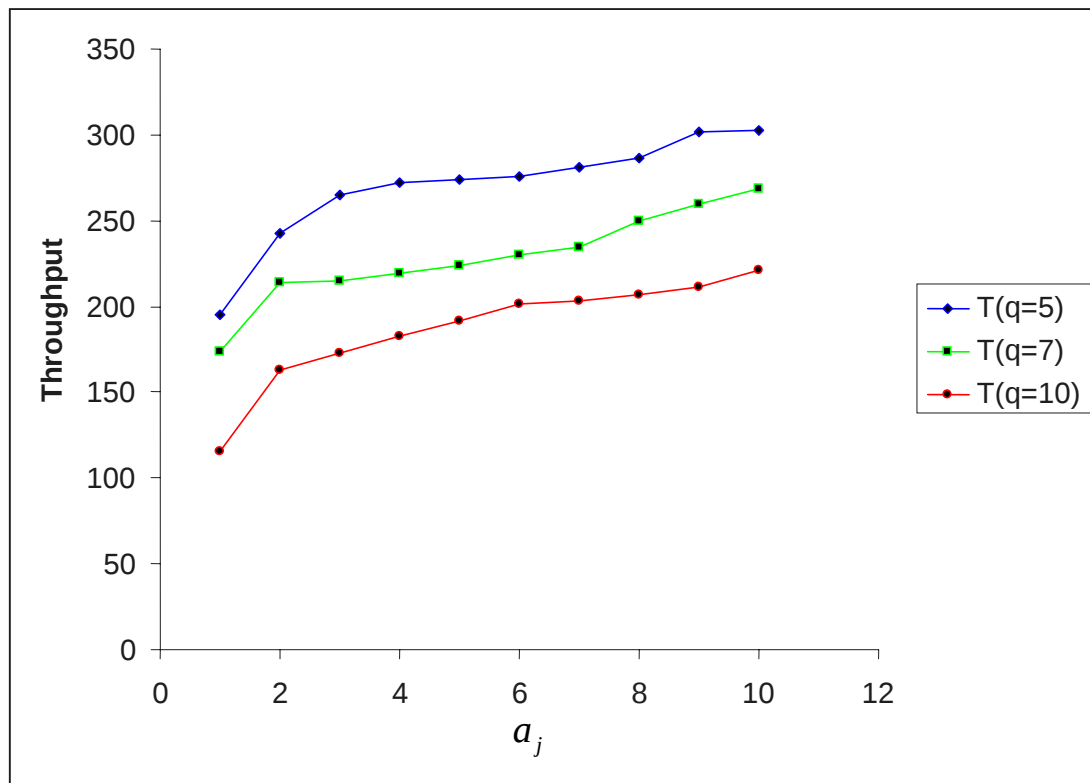


รูปที่ 4.11 แสดงถึงกราฟระหว่าง Rate factor (a_j) กับ Maximum number of user โดยให้

$$q_{v_j} = 10$$

จากรูปที่ 4.9, 4.10, 4.11 เมื่อค่าของ Rate factor (a_j) มากขึ้นจะทำให้ค่า Maximum number of user ของทั้งสองคลาสลดลงและถ้าปรับค่า q_{v_j} เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลเช่นเดียวกัน

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Rate factor (a_j) กับ Throughput (T) โดยให้ $q_{v_j} = 5, 7, 10$ ตามลำดับจะได้ (กรณีที่มี CBR 1 กลุ่มกับ VBR 1 กลุ่ม)

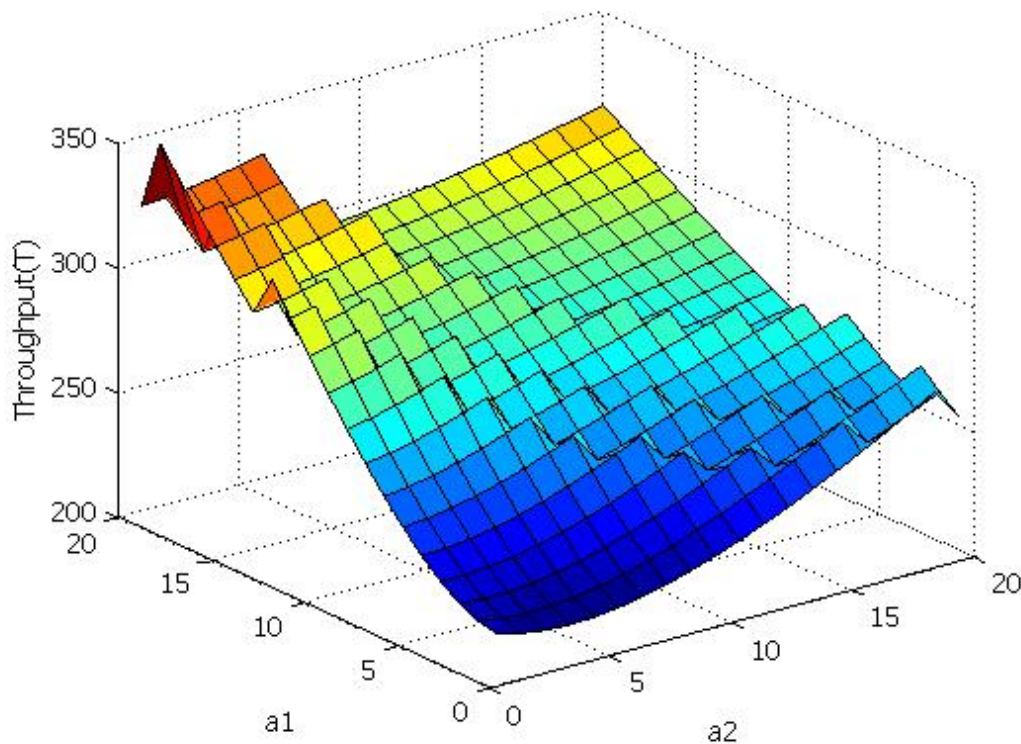


รูปที่ 4.12 แสดงถึงกราฟระหว่าง Rate factor (a_j) กับ Throughput (T) โดยให้ $q_{v_j} = 5, 7,$

10

จากรูปที่ 4.12 เมื่อค่าของ Rate factor (a_j) มากขึ้นจะส่งผลทำให้ค่า Throughput (T) มากขึ้นตามไปด้วยและถ้าปรับค่า q_{v_j} เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่า Throughput (T) มีค่าลดลง

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Rate factor (a_j) กับ Throughput (T) ในกรณีที่มี CBR 1 กลุ่มกับ VBR 3 กลุ่ม โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 4.1 ยกเว้นค่า k_c และ k_{v_j} โดยเราจะใช้ค่าจากการ RUN โปรแกรมซึ่งจะได้



รูปที่ 4.13 แสดงถึงกราฟระหว่าง Rate factor (a_1, a_2) กับ Throughput (T)

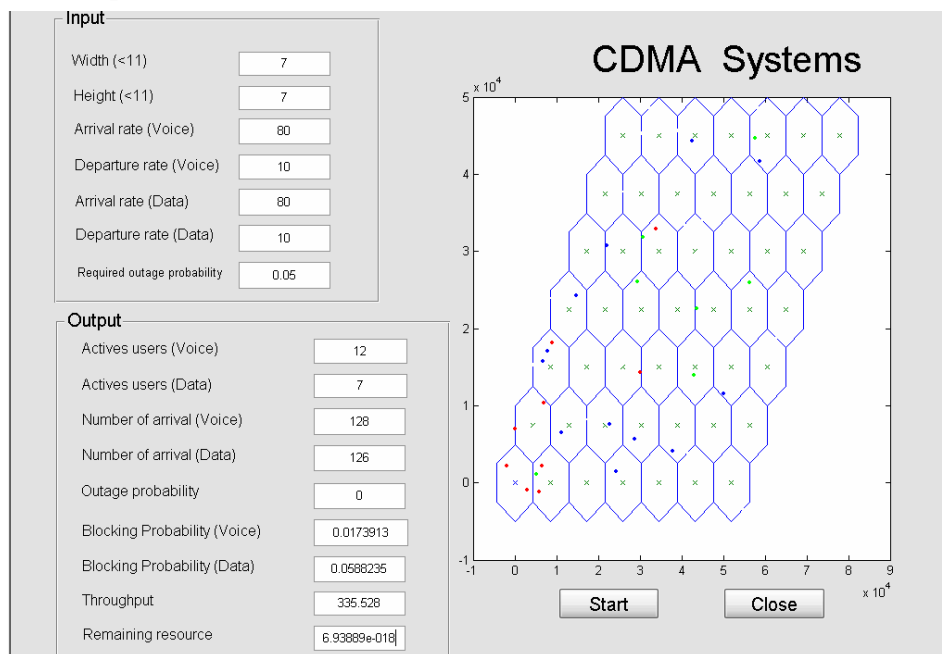
จากรูปที่ 4.13 จะได้ว่าค่า Throughput (T) สูงสุดเท่ากับ 349.8108 Kbps (1, 19) (จากการ RUN โปรแกรม) ซึ่งเป็นการ RUN เพียง 1 ครั้ง โดยพื้นผิวของกราฟจะเป็นการแสดงค่า Throughput (T) ที่จะทำระบบยังคงใช้งานอยู่ได้โดยไม่เกิดปัญหา

เราจะสรุปโดยรวมจะได้ว่าเมื่อเราพิจารณากรณีที่มี CBR 1 กลุ่มกับ VBR 1 กลุ่มจะพบว่าเมื่อ Rate factor มีค่ามากขึ้นจะส่งผลให้อัตราการส่ง (R_{vj}) มีค่ามากขึ้นซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (4.3) โดยจะส่งผลโดยตรงทำให้ Throughput (T) มีค่าสูงตามไปด้วยแต่ในทางตรงกันข้ามเมื่อเราเพิ่มค่าความต้องการพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนต่อความหนาแน่นสเปกตรัม (q_{vj}) จะส่งผลทำให้ค่าของ ค่า Throughput (T) ลดลงเนื่องจากเงื่อนไขในสมการที่ (4.7) คือจะต้องไม่เกินทรัพยากรที่มีอยู่ทั้งหมด ซึ่ง ถ้า q_{vj} เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า γ_{vj} เพิ่มขึ้นไปด้วยส่งผลให้จำนวนผู้ใช้บริการ (k_{vj}) มีค่าน้อยลง ซึ่งก็คือระบบปรับคนได้น้อยลง Throughput (T) จึงลดลง ส่วนกรณีที่มี CBR 1 กลุ่มกับ VBR 3 กลุ่มจะใช้หา Throughput (T) สูงสุดซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่า Rate factor ที่มีความเหมาะสมกันซึ่งจะมีเพียงจุดเดียว

บทที่ 5

การออกแบบและการใช้งานโปรแกรม

5.1 ส่วนของ Graphic User Interface



รูปที่ 5.1 แสดงหน้าต่างการทำงานของโปรแกรม

จากรูปที่ 5.1 จะได้อธิบายถึงความหมายของส่วนต่าง ๆ ดังนี้

ส่วนที่เป็นอินพุต(ต้องป้อนค่า)

1. Width หมายถึงจำนวนเซลล์ที่เป็นจำนวนแถวที่ไม่เกิน 11 แถว
2. Height หมายถึงจำนวนเซลล์ที่เป็นจำนวนหลักที่ไม่เกิน 11 หลัก
3. Arrival rate (Voice) หมายถึงอัตราการเรียกเข้าเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการด้านเสียงในระบบซีดีเอ็มเอ
4. Departure rate (Voice) หมายถึงอัตราเฉลี่ยผู้ใช้บริการด้านเสียงที่ออกจากระบบหรือเลิกใช้งานในระบบซีดีเอ็มเอ
5. Arrival rate (Data) หมายถึงอัตราการเรียกเข้าเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการด้านข้อมูลในระบบซีดีเอ็มเอ
6. Departure rate (Voice) หมายถึงอัตราเฉลี่ยผู้ใช้บริการด้านข้อมูลที่ออกจากระบบหรือเลิกใช้บริการในระบบซีดีเอ็มเอ

7. Required outage probability หมายถึง ค่าความน่าจะเป็นที่ยอมรับได้ที่เราต้องการหรือที่เรา กำหนด

ส่วนที่เป็นเอาท์พุต (แสดงค่าจากการประมวลผล)

8. Active users (Voice) หมายถึงจำนวนผู้ใช้บริการด้านเสียงจริงในระบบขณะเวลาหนึ่งๆ
9. Active users (Data) หมายถึงจำนวนผู้ใช้บริการด้านข้อมูลจริงในระบบขณะเวลาหนึ่งๆ
10. Number of arrival (Voice) หมายถึงจำนวนผู้ใช้บริการด้านเสียงที่ใช้งานในระบบซีดีเอ็มเอ
11. Number of arrival (Data) หมายถึงจำนวนผู้ใช้บริการด้านข้อมูลที่ใช้งานในระบบซีดีเอ็มเอ
12. Outage probability หมายถึงค่าความน่าจะเป็นที่ยอมรับได้ที่เกิดขึ้นในระบบ
13. Blocking Probability (Voice) หมายถึงความน่าจะเป็นที่จะเกิดการบล็อกสำหรับผู้ร้องขอใช้บริการด้านเสียงรายหนึ่ง ๆ
14. Blocking Probability (Data) หมายถึงความน่าจะเป็นที่จะเกิดการบล็อกสำหรับผู้ร้องขอใช้บริการด้านข้อมูลรายหนึ่ง ๆ
15. Throughput หมายถึง ทฤษฎีสูงสุดของระบบ
16. Remaining หมายถึง ทรัพยากรที่เหลืออยู่ในระบบ
17. ส่วนที่แสดงรูปร่างผืนเป็นส่วนที่จำลองรูปแบบของเซลล์ ซึ่งสามารถกำหนดจำนวนเซลล์ได้ตามต้องการจากการป้อนค่าในส่วนของ Width และ Height และจากรูปที่ 5.1 จะสังเกตเห็นจุดสีแดง สีส้ม และสีเขียวที่ปรากฏในเซลล์ ซึ่งอธิบายได้ดังนี้
 - a) จุดสีแดง หมายถึงจุดหรือตำแหน่งของผู้ใช้บริการที่เกิดการบล็อก
 - b) จุดสีส้ม หมายถึงจุดหรือตำแหน่งของผู้ใช้บริการด้านเสียงในระบบ ณ เวลาหนึ่ง ๆ
 - c) จุดสีเขียว หมายถึงจุดหรือตำแหน่งของผู้ใช้บริการด้านข้อมูลในระบบ ณ เวลาหนึ่ง ๆ
18. ปุ่ม Start หมายถึงการเริ่มใช้งานโปรแกรมใหม่
19. ปุ่ม Close หมายถึงปิดการทำงานของโปรแกรม

ในส่วนของ Graphic จะประกอบไปด้วย ส่วนของ หน้าต่างแสดงผล, เมนูบาร์, อินพุต, เอาท์พุต, และ ปุ่มคำสั่ง ซึ่งมีรายละเอียดในการสร้างส่วนต่างๆดังนี้คือ

5.1.1. ส่วนหน้าต่างแสดงผล

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 5.1.1.1 พิมพ์ Guide ที่ Command Window แล้วกด Enter
- 5.1.1.2 จะปรากฏหน้าต่าง Guide Quick Start ขึ้นมา ให้เลือก Black GUI(Default) ที่อยู่ใน Create New GUI แล้วกด OK จากนั้นให้ตั้งชื่อ file เช่น ko_1.fig เป็นต้น
- 5.1.1.3 คลิกเลือก Axes ที่อยู่ทางด้านซ้ายมือของหน้าต่าง แล้วนำมาวางที่พื้นที่ว่าง

5.1.1.4 จากนั้นดับเบิลคลิกที่ Axes ที่เลือกมา จะมีหน้าต่าง Property Inspector ขึ้นมาแล้ว ตั้งคุณสมบัติในส่วน Tag ให้เป็นชื่อที่ต้องการ แต่ในที่นี้ให้ชื่อว่า axes1 แล้ว

กด Enter

5.1.1.5 ตั้งค่า XMinorGrid และ XMinorTick ให้เป็น off

5.1.1.6 ตั้งค่า XTickLabel ให้ว่างเปล่า

5.1.1.7 ตั้งค่า YMinorGrid และ YMinorTick ให้เป็น off

5.1.1.8 ตั้งค่า YTickLabel ให้ว่างเปล่า

5.1.1.9 จัดขนาดของ Axes ให้เหมาะสม

5.1.1.10 คลิกขวาที่พื้นที่ว่าง แล้วเลือกที่ M-file Editor

5.1.1.11 จะได้ Code ขึ้นมาอัตโนมัติ

5.1.2. ส่วนเมนูบาร์

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

5.1.2.1 ดับเบิลคลิกที่พื้นที่ว่างจะมีหน้าต่าง Property Inspector ขึ้นมาแล้ว ตั้งคุณสมบัติในส่วน MenuBar ให้เป็น Figure

5.1.2.2 แล้วกด Enter

5.1.3. ส่วนอินพุต

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

5.1.3.1 พิมพ์ Guide ที่ Command Window แล้วกด Enter

5.1.3.2 จะปรากฏหน้าต่าง Guide Quick Start ขึ้นมา ให้เลือกชื่อ File (Open Existing GUI) ที่ได้ตั้งไว้ในขั้นตอนที่ 1.2 แล้วกด OK

5.1.3.3 คลิกเลือก Edit Text ที่อยู่ทางด้านซ้ายมือของหน้าต่าง แล้วนำมาวางที่พื้นที่ว่าง โดยนำมาวางทั้งหมด 7 อัน

5.1.3.4 จากนั้นดับเบิลคลิกที่ Edit Text ที่เลือกมา จะมีหน้าต่าง Property Inspector ขึ้นมาแล้วตั้งคุณสมบัติในส่วน Tag โดยอันแรกให้ตั้งชื่อว่า row_1 อันที่สองให้ตั้งชื่อว่า column_1 อันที่สามให้ตั้งชื่อว่า lamda_1 อันที่สี่ให้ตั้งชื่อว่า mew_1 อันที่ห้าให้ตั้งชื่อว่า lamda_2 อันที่หกให้ตั้งชื่อว่า mew_2 อันที่เจ็ดให้ตั้งชื่อว่า outage

5.1.3.5 ตั้งค่า String ของ Edit Text ทุกอันให้ว่างเปล่า

5.1.3.6 จัดขนาดของ Edit Text ให้เหมาะสม

5.1.3.7 คลิกขวาที่ Edit Text แต่ละอัน แล้วเลือกที่ View Callbacks แล้วเลือก CreateFcn

5.1.3.8 จะได้ Code ขึ้นมาอัตโนมัติ

สร้างคำสั่งใน M-file ดังนี้

```
row=str2double(get(handles.row_1,'string'));
column=str2double(get(handles.column_1,'string'));
lamdav=str2double(get(handles.lamda_1,'string'));
mewv=str2double(get(handles.mew_1,'string'));
lamdad=str2double(get(handles.lamda_2,'string'));
mewd=str2double(get(handles.mew_2,'string'));
P0_req=str2double(get(handles.outage,'string'));
```

เพื่อรับค่าของ Input ในส่วนที่เป็น Width, Height, Arrival rate (Voice), Departure rate (Voice) , Arrival rate (Data), Departure rate (Data) และ Required outage probability ให้นำ Code ทั้งเจ็ดบรรทัดดังกล่าว มาวางไว้ต่อจากบรรทัดที่ชื่อว่า

```
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

5.1.4. ส่วนเอาท์พุต

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

5.1.4.1 พิมพ์ Guide ที่ Command Window แล้วกด Enter

5.1.4.2 จะปรากฏหน้าต่าง Guide Quick Start ขึ้นมา ให้เลือกชื่อ File (Open Existing GUI) ที่ได้ตั้งไว้ในขั้นตอนที่ 1.2 แล้วกด OK

5.1.4.3 คลิกเลือก Edit Text ที่อยู่ทางด้านซ้ายมือของหน้าต่าง แล้วนำมาวางที่พื้นที่ว่าง โดยนำมาวางทั้งหมด 9 อัน

5.1.4.4 จากนั้นดับเบิลคลิกที่ Edit Text ที่เลือกมา จะมีหน้าต่าง Property Inspector ขึ้นมา แล้วตั้งคุณสมบัติในส่วน Tag โดยอันแรกให้ตั้งชื่อว่า NumCh อันที่สองให้ตั้งชื่อว่า NumCg อันที่สามให้ตั้งชื่อว่า Userv_in อันที่สี่ให้ตั้งชื่อว่า Userd_in อันที่ห้าให้ตั้งชื่อว่า outageu อันที่หกให้ตั้งชื่อว่า PropBv อันที่เจ็ดให้ตั้งชื่อว่า PropBd อันที่แปดให้ตั้งชื่อว่า Throughput อันที่เก้าให้ตั้งชื่อว่า Remain และตั้งค่า String ของ Edit Text ทุกอันให้ว่างเปล่า

5.1.4.5 จัดขนาดของ Edit Text ให้เหมาะสม

5.1.4.6 คลิกขวาที่ Edit Text แต่ละอัน แล้วเลือกที่ View Callbacks แล้วเลือก CreateFcn

5.1.4.7 จะได้ Code ขึ้นมาอัตโนมัติ

สร้างคำสั่งใน M-file ดังนี้

```
set(handles.NumCh,'string',NumberCh(z));
```

```

set(handles.NumCg,'string',NumberCG(z));
set(handles.Userv_in,'string',position_v1);
set(handles.Userd_in,'string',position_d1);
set(handles.outageu,'string',P00(z));
set(handles.PropBv,'string',ProbB1);
set(handles.PropBd,'string',ProbB2);
set(handles.Throughput,'string',tt(a1,a2));
set(handles.Remain,'string',gamma);

```

เพื่อรับค่าของเอาต์พุต ในส่วนที่เป็น Actives users (Voice), Actives users (Data), Number of arrival (Voice), Number of arrival (Data), Outage probability, Blocking Probability (Voice), Blocking Probability (Data), Throughput และ Remaining resource

5.1.5. ส่วนปุ่มคำสั่ง

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

5.1.5.1 พิมพ์ Guide ที่ Command Window แล้วกด Enter

5.1.5.2 จะปรากฏหน้าต่าง Guide Quick Start ขึ้นมา ให้เลือกชื่อ File (Open Existing GUI) ที่ได้ตั้งไว้ในขั้นตอนที่ 1.2 แล้วกด OK

5.1.5.3 คลิกเลือก Push Botton ที่อยู่ทางด้านซ้ายมือของหน้าต่าง แล้วนำมาวางที่พื้นที่ว่าง โดยนำมาวางทั้งหมด 2 อัน

5.1.5.4 จากนั้นดับเบิลคลิกที่ Push Botton ที่เลือกมา จะมีหน้าต่าง Property Inspector ขึ้นมา แล้วตั้งคุณสมบัติในส่วน Tag โดยอันแรกให้ตั้งชื่อว่า PushBoton1 อันที่สองให้ตั้งชื่อว่า End และตั้งค่า String ของ Push Botton อันแรกให้ชื่อว่า Start และอันที่สองให้ชื่อว่า Close

5.1.5.5 จัดขนาดของ Push Botton ให้เหมาะสม

5.1.5.6 คลิกขวาที่ Push Botton แต่ละอัน แล้วเลือกที่ View Callbacks แล้วเลือก CreateFcn

5.1.5.7 จะได้ Code ขึ้นมาอัตโนมัติ

5.1.5.8 เขียนคำสั่ง end ต่อจาก function End_Callback(hObject, eventdata, handles); ใน M-file

5.1.5.9 Code ของโปรแกรมที่จะใช้ในการ run ทั้งหมดให้นำมาวางไว้ต่อจาก function End_Callback (hObject, eventdata, handles)

5.1.6. ส่วนการตกแต่งโปรแกรม

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

5.1.6.1 พิมพ์ Guide ที่ Command Window แล้วกด Enter

5.1.6.2 จะปรากฏหน้าต่าง Guide Quick Start ขึ้นมา ให้เลือกชื่อ File (Open Existing GUI) ที่ได้ตั้งไว้ในขั้นตอนที่ 1.2 แล้วกด OK

5.1.6.3 คลิกเลือก Panel ที่อยู่ทางด้านซ้ายมือของหน้าต่าง แล้วนำมาวางที่พื้นที่ว่าง โดยนำมาวางทั้งหมด 2 อัน

5.1.6.4 จากนั้นดับเบิลคลิกที่ Panel ที่เลือกมา จะมีหน้าต่าง Property Inspector ขึ้นมา แล้วตั้งคุณสมบัติในส่วน String โดย อันแรกให้ชื่อว่า Input และอันที่สองให้ชื่อว่า Output

5.1.6.5 นำ Edit Text ในส่วนของอินพุตทั้งหมด นำมาวางไว้ที่ Panel อันแรก จากนั้นก็ทำการตกแต่งให้เรียบร้อย

5.1.6.6 นำ Edit Text ในส่วนของเอาต์พุตทั้งหมด นำมาวางไว้ที่ Panel อันที่สอง จากนั้นก็ทำการตกแต่งให้เรียบร้อย

5.1.6.7 ทำการปรับเปลี่ยนขนาดของตัวอักษรได้โดยการดับเบิลคลิกที่ Edit Text, Panel แต่ละอัน จะมีหน้าต่าง Property Inspector ขึ้นมา แล้วตั้งคุณสมบัติในส่วน FontSize ให้เป็นไปตามที่ต้องการ

5.1.6.8 คลิกเลือก Static Text ที่อยู่ทางด้านซ้ายมือของหน้าต่าง แล้วนำมาวางที่พื้นที่ว่าง โดยนำมาวางทั้งหมด 17 อัน จากนั้น ดับเบิลคลิกที่ Static Text ที่เลือกมา จะมีหน้าต่าง Property Inspector ขึ้นมาแล้วตั้งคุณสมบัติ ในส่วน String โดย อันแรกให้ชื่อว่า Width และ อันที่สองให้ชื่อว่า Height อันที่สามให้ชื่อว่า Arrival Rate (Voice) อันที่สี่ให้ชื่อว่า Departure Rate (Voice) อันที่ห้าให้ชื่อว่า Arrival Rate (Data) อันที่หกให้ชื่อว่า Departure Rate (Data) อันที่เจ็ดให้ชื่อว่า Required outage probability อันที่แปดให้ชื่อว่า Actives Users (Voice) อันที่เก้าให้ชื่อว่า Actives Users (Data) อันที่สิบให้ชื่อว่า Number of Arrival (Voice) อันที่สิบเอ็ดให้ชื่อว่า Number of Arrival (Data) อันที่สิบสองให้ชื่อว่า Outage probability อันที่สิบสามให้ชื่อว่า Block Probability (Voice) อันที่สิบสี่ให้ชื่อว่า Block Probability (Data) อันที่สิบห้าให้ชื่อว่า Throughput อันที่สิบหกให้ชื่อว่า Remaining resource อันที่สิบเจ็ดให้ชื่อว่า CDMA Systems

5.1.6.9 จัดทั้งหมดให้เหมาะสมและสวยงาม

5.2 ส่วนของ การแสดงรูปภาพที่อยู่ใน Axes

5.2.1. ส่วนของรังผึ้ง

พิมพ์ Code ดังต่อไปนี้

```

ll=row;
j=column;
axes(handles.axes1);
for e=0 : ll-1
for i=0 : j-1
    xi=x+(i*2)*(sqrt(3)*a/2)+(e)*(sqrt(3)*a/2);
    yi=y+e*(3*a/2);
    Xi=a*sin(A)+xi;
    Yi=a*cos(A)+yi;
    plot(x,y,'x',xi,yi,'x');
    plot(Xi,Yi);
    hold on;
end
end
end

```

5.2.2. ส่วนของการพล็อตจุดที่ผู้ใช้บริการที่เข้าใช้งานในระบบ

พิมพ์ Code ดังต่อไปนี้

5.2.2.1 สร้าง Function ต่อไปนี้ แล้วตั้งชื่อ file ว่า FuncCell_1.m

```

function [outFunc]=FuncCell_1(x,y,a,an,Xi,Yi);
[X,Y]=rndPoint(x,y,an);
startX=X;
startY=Y;
outFunc(1)=startX;
outFunc(2)=startY;
outFunc(3)=startX;
outFunc(4)=startY;

```

5.2.2.2 เรียกใช้ FuncCell_1.m โดยพิมพ์ [outFunc]=FuncCell_1(x1,y1,a,an,Xi,Yi);

5.2.2.3 ใช้คำสั่ง plot(outFunc(1),outFunc(2),'bl'); และ plot(outFunc(3),outFunc(4),'g'); เพื่อพลอตจุด

5.2.2.4 ใช้คำสั่งดังต่อไปนี้เพื่อแสดง Number of arrival (Voice)

```
position_v1=position_v1+1;
plot(outFunc(1),outFunc(2),'bl');
userv(position_v1,1)=rm1;
userv(position_v1,2)=rm2;
```

5.2.2.5 ใช้คำสั่งดังต่อไปนี้เพื่อแสดง Number of arrival (Data)

```
position_d1=position_d1+1;
plot(outFunc(3),outFunc(4),'g');
userd(position_d1,1)=rm3;
userd(position_d1,2)=rm4;
```

5.2.3. ส่วนของการพล็อตจุดที่แสดงการเกิดการบดบัง

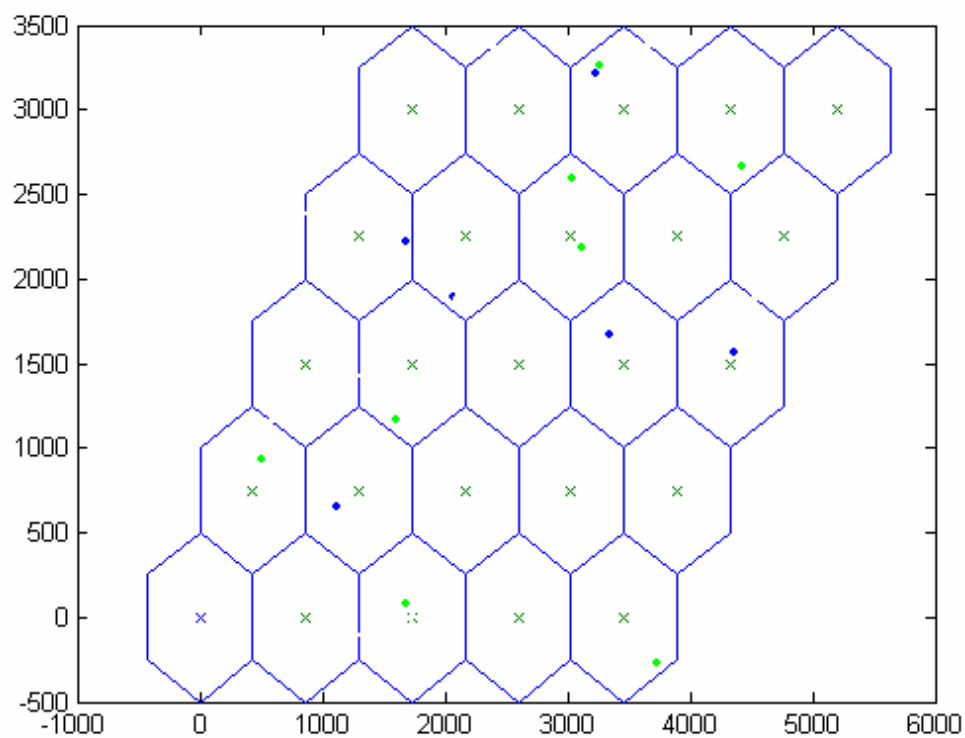
พิมพ์ Code ดังนี้

ใช้คำสั่ง plot(outFunc(1),outFunc(2),'r'); และ plot(outFunc(3),outFunc(4),'r');

เพื่อพลอตจุด

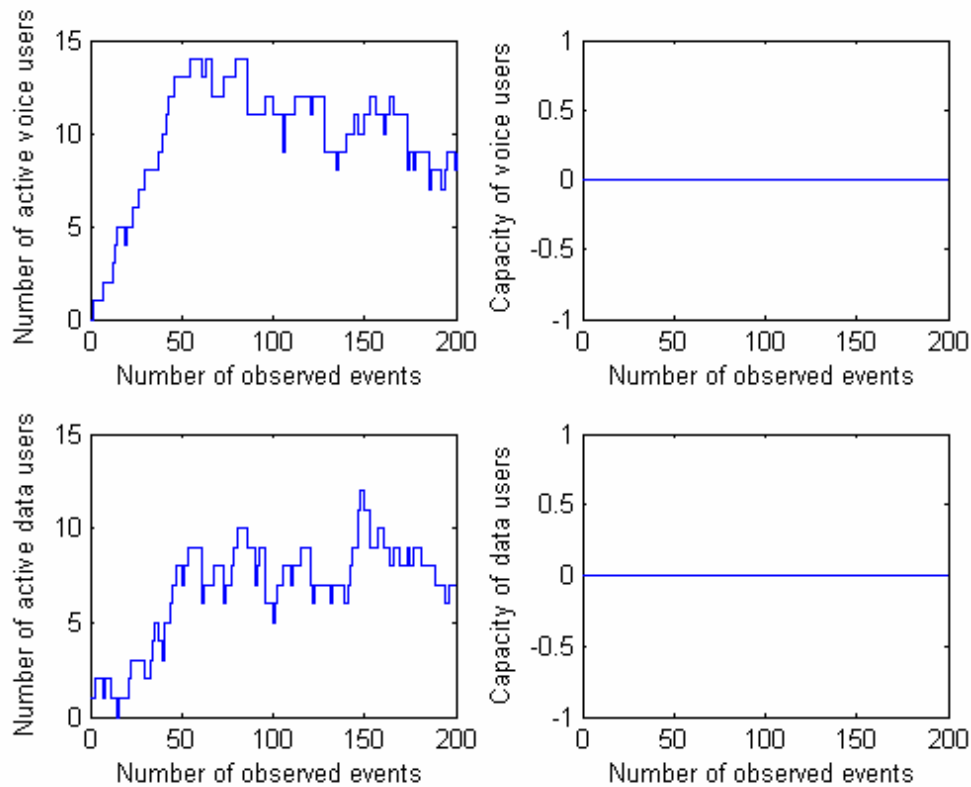
5.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม

การทดสอบโปรแกรมเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม โดยพิจารณาให้ Run Length หรือจำนวนการสุ่มตัวอย่างของการ Simulate คือ 500 ครั้ง, $\lambda_v = 80$, $\mu_v = 10$, $\lambda_d = 80$, $\mu_d = 10$, $W = 1.25$ MHz, $R_v = 9.6$ kbps, $R_d = 9.6$ kbps, $\alpha_v = 0.35$, $\alpha_d = 1$, $\frac{E_b}{N_o} = 7$ dB, $\frac{E_b}{N_o} d = 10$ dB ดังรูปต่อไปนี้



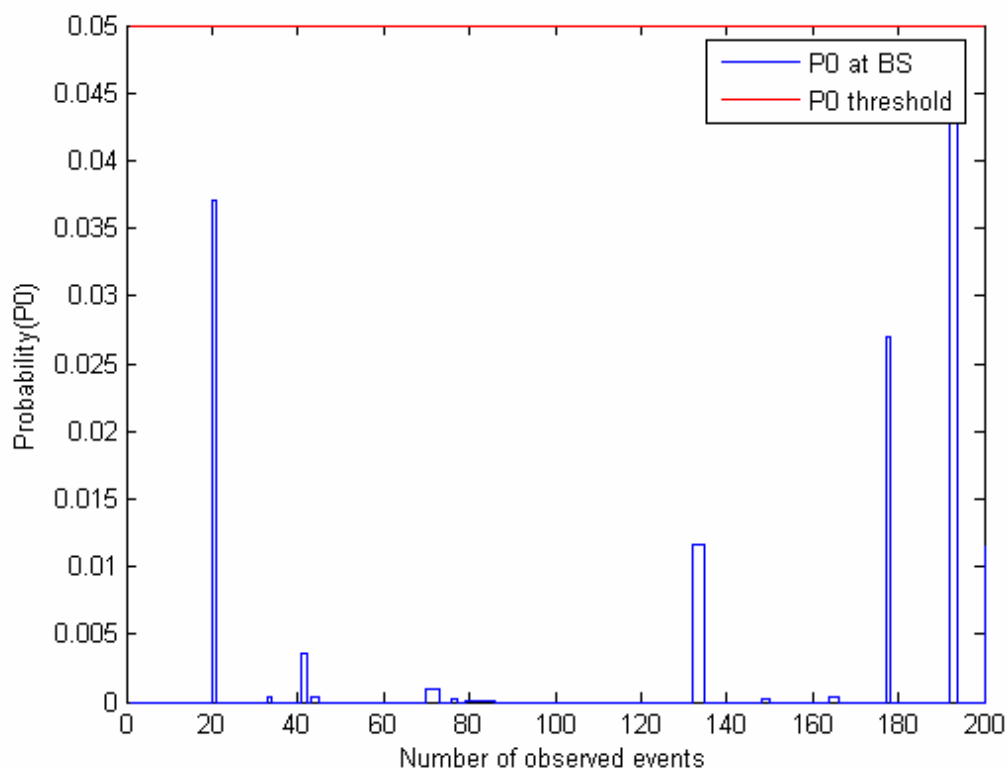
รูปที่ 5.2 แสดงรูปร่าง (Cellular) ในกรณีที่ไม่เกิดการบล็อก

จากรูปที่ 5.2 เป็นการแสดงรูปร่างในกรณีที่ไม่มีการบล็อกเกิดขึ้น ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าไม่ปรากฏจุดสีแดงเกิดขึ้นเลย มีเพียงจุดสีน้ำเงินและสีเขียวเท่านั้นที่แสดงถึงตำแหน่งของผู้ใช้บริการด้านเสียงและด้านข้อมูลในระบบ ณ เวลาหนึ่งๆ



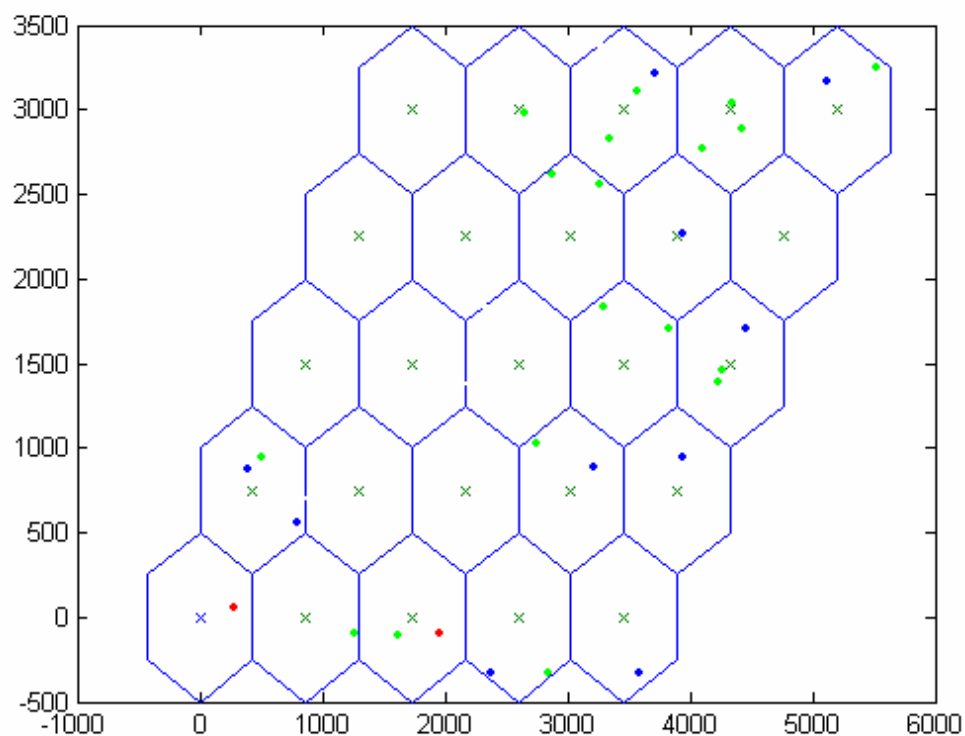
รูปที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการที่เป็นแบบแอกทีฟและจำนวนผู้ใช้บริการในขณะที่ไม่มีการบล็อก

จากรูปที่ 5.3 เป็นการแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการที่เป็นแบบแอกทีฟทั้งสองคลาสกับจำนวนผู้ใช้บริการในขณะที่ไม่มีการบล็อกซึ่ง จากรูปจะสังเกตเห็นว่าค่าของ Capacity of Voice Users กับ Capacity of Data Users มีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากในระบบไม่เกิดการบล็อกเลย นั่นหมายความว่าในระบบยังสามารถรองรับผู้ใช้บริการได้อีกเรื่อย ๆ



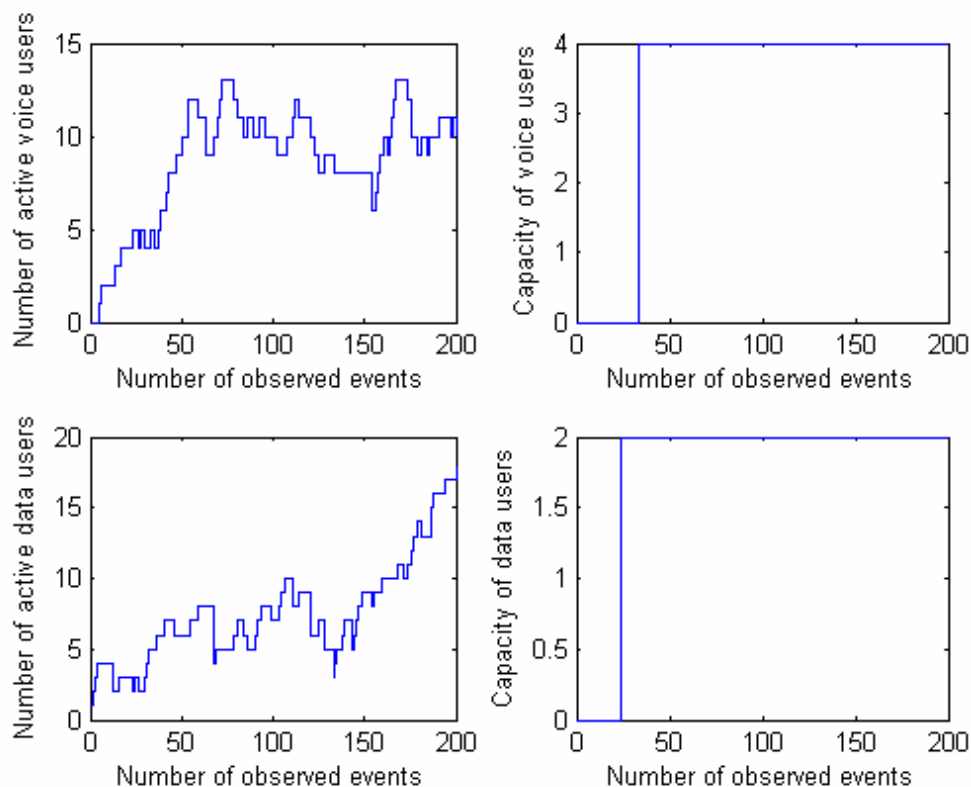
รูปที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่เกิดขึ้นในระบบกับความน่าจะเป็นที่ระบบสามารถยอมรับได้ในขณะที่ไม่มีการบล็อก

จากรูปที่ 5.4 พบว่าค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นที่ระบบสามารถยอมรับได้นั้นมีค่าเท่ากับ 5% เมื่อค่าความน่าจะเป็นที่เกิดขึ้นในระบบมีค่าต่ำกว่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นที่ระบบสามารถยอมรับได้ ระบบก็จะยอมให้ผู้ให้บริการที่ทำการร้องขอเข้าใช้งานในระบบได้ นั่นหมายความว่าไม่เกิดการบล็อกการเข้าใช้งานของผู้ให้บริการ



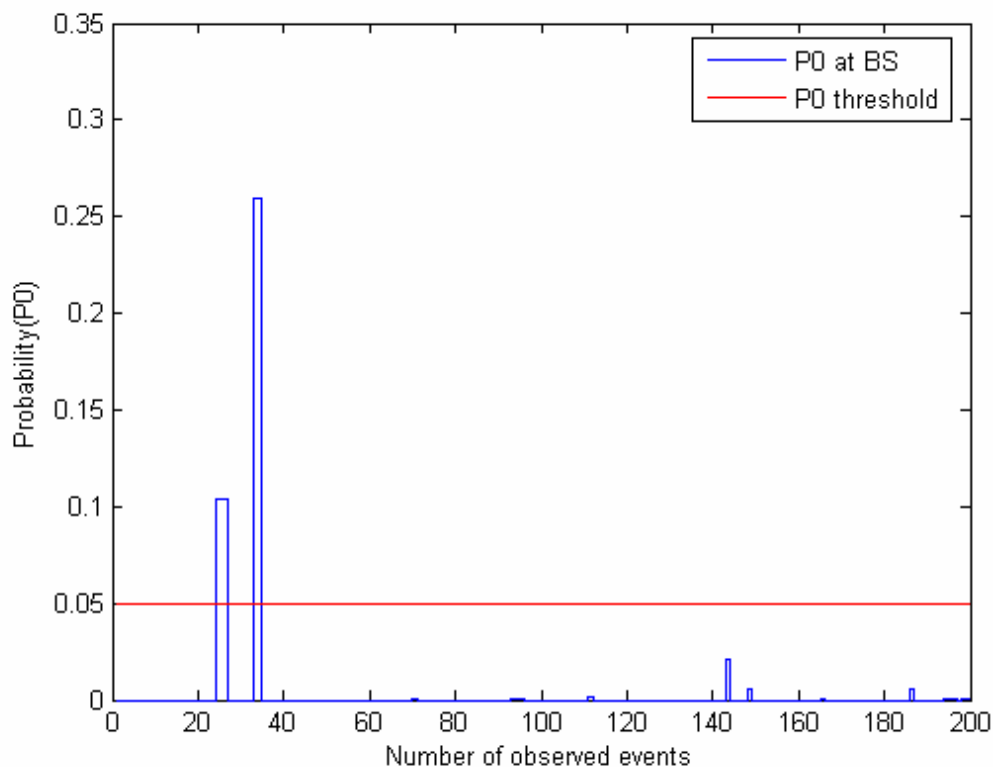
รูปที่ 5.5 แสดงรูปร่าง (Cellular) ในกรณีที่เกิดการบล็อก

จากรูปที่ 5.5 เป็นการแสดงให้เห็นว่าเมื่อผู้ใช้บริการทำการร้องขอเข้าใช้งานในระบบ แล้วเกิดการบล็อกขึ้น หมายความว่าผู้ใช้บริการไม่สามารถเข้าใช้งานในระบบได้ จากรูปจะแสดงจุดสีแดง 2 จุด แสดงว่าเกิดการบล็อก 2 ครั้ง ซึ่งจุดสีแดงเป็นตำแหน่งของผู้ใช้บริการที่เกิดการบล็อก จุดสีน้ำเงินแสดงถึงตำแหน่งของผู้ใช้บริการด้านเสียง และจุดสีเขียวแสดงถึงตำแหน่งของผู้ใช้บริการด้านข้อมูลในระบบ ณ เวลาหนึ่งๆ



รูปที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการที่เป็นแบบแอกทีฟและจำนวนผู้ใช้บริการในขณะที่มีการบล็อก

จากรูปที่ 5.6 หากพิจารณารูปด้านขวามือทั้งสองรูปพบว่าจะเกิดการบล็อกรวมกัน 2 ครั้ง แบ่งเป็นบริการด้านเสียง 1 ครั้งและบริการด้านข้อมูล 1 ครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับ รูปที่ 5.5 ที่แสดงจุดสีแดง 2 จุด จากกราฟพบว่า Capacity of Voice Users กับ Capacity of Data Users จะน้อยกว่า Number of Active Voice Users กับ Number of Active Data Users เนื่องจากผลกระทบของสัญญาณรบกวนจากเซลล์ข้างเคียง



รูปที่ 5.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่เกิดขึ้นในระบบกับค่าความน่าจะเป็นที่ระบบสามารถยอมรับได้ในขณะที่มีการบล็อก

จากรูปที่ 5.7 จากกราฟมีผู้ใช้บริการสองรายที่ระบบปฏิเสธการร้องขอการเข้าใช้งาน เนื่องจากค่าความน่าจะเป็นที่เกิดขึ้นในระบบของผู้ใช้บริการทั้งสองราย มีค่าสูงกว่าค่าความน่าจะเป็นที่ระบบสามารถยอมรับได้นั้นหมายความว่าเกิดการบล็อกการเข้าใช้งานของผู้ใช้บริการทั้งสองรายขึ้นซึ่ง ผู้ใช้บริการทั้งสองรายจะไม่สามารถเข้าใช้งานในระบบได้ ถ้าต้องการเข้าใช้งานในระบบต้องทำการร้องขอการเข้าใช้งานในระบบใหม่อีกครั้ง

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

โครงการนี้เป็นการนำเสนอโปรแกรมเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ความจุของระบบ CDMA ในด้านการให้บริการด้านเสียงและบริการด้านข้อมูล โดยใช้ความน่าจะเป็นในการที่จะทำให้ระบบใช้งานอยู่ได้ (Outage Probability) เป็นตัวกำหนดการเข้าใช้งานในระบบว่าจะสามารถเข้าใช้งานได้หรือเกิดการบล็อก เพื่อที่จะนำไปใช้ในการจัดสรรทรัพยากรระบบให้เกิดประโยชน์มากที่สุดนั่นคือการทำให้ทรัพยากรในระบบเหลือน้อยที่สุดในการพิจารณาการให้บริการแบบหลายส่วนทั้ง CBR และ VBR ซึ่งในโครงการนี้เราจะใช้กลุ่มการบริการ 4 กลุ่มได้แก่ CBR 1 กลุ่ม และ VBR 3 กลุ่ม ในการหาทรัพยากรสูงสุดของระบบ

โดยกำหนดให้พารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

$W=1.25$ MHz, $R_c=9.6$ Kbps, $R_{v_j}=9.6, 4.8, 2.4$ Kbps for $j=1, 2, 3$, $\alpha_v=0.375$, $\alpha_d=1$, $q_c=5$, $q_{v_j}=5,7,10$ for $j=1, 2, 3$, $(E_b/I_0)_v=7$ dB, $(E_b/I_0)_d=10$ dB, Arrival rate (Voice) = 80, Arrival rate (Data) = 80, Departure rate (Voice) = 10, Departure rate (Data) = 10

จากเราใช้ความน่าจะเป็น P_0 ในการกำหนดขอบเขตการเข้าใช้งานในระบบโดยต้องเป็นไปตาม $P_0 \leq P_{0_{req}}$ ซึ่งเมื่อ P_0 มีค่ามากกว่า $P_{0_{req}}$ ระบบจะทำการบล็อกไม่ให้ผู้ใช้บริการเข้าใช้งานจนกว่า $P_0 \leq P_{0_{req}}$ จึงจะสามารถรับผู้ใช้เพิ่มได้ ซึ่งถ้าเราเพิ่ม $P_{0_{req}}$ ให้มีค่ามากขึ้นขอบเขตการเข้าใช้งานในระบบจะสูงขึ้นทำให้รับผู้ใช้บริการได้มากขึ้น โอกาสในการที่จะบล็อกไม่ให้ผู้ใช้บริการเข้าใช้งานก็จะน้อยลง ส่วนในกรณี CBR 1 กลุ่มกับ VBR 3 กลุ่มที่ใช้หา Throughput (T) สูงสุดซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่า Rate factor ที่มีความเหมาะสมกันซึ่งจะมีเพียงจุดเดียว โดยจะได้ค่า Throughput (T) สูงสุดเท่ากับ 349.8108 Kbps (1, 19) (ดูจากการ RUN โปรแกรม) ซึ่งเป็นการ RUN เพียง 1 ครั้ง โดยพื้นที่ผิวของกราฟจะเป็นการแสดงค่า Throughput (T) ที่จะทำระบบยังคงใช้งานอยู่ได้โดยไม่เกิดปัญหา

6.2 ปัญหาและอุปสรรค

1. ทางคณะผู้จัดทำโครงการมีความรู้พื้นฐานในการเริ่มเขียนโปรแกรมไม่มากนักทำให้การเริ่มศึกษาการเขียนโปรแกรมนั้นต้องใช้เวลาในการทำความเข้าใจกับโปรแกรม MATLAB รวมทั้งต้องศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับ GUI (Graphic User Interface) ของโปรแกรม MATLAB
2. โปรแกรม MATLAB ใช้เวลาในการประมวลผลค่อนข้างนาน ซึ่งจะทำให้ การวิเคราะห์ผล และพล็อตกราฟเกิดความล่าช้า

6.3 ขีดจำกัดของโครงการ

1. ตัวโปรแกรมไม่สามารถกำหนดค่า อัตราการเรียกเข้าเฉลี่ยและอัตราการเลิกใช้งานของผู้ใช้บริการด้านข้อมูลแยกจากกันได้ ในกรณีที่พิจารณาการบริการแบบหลายส่วน โดยในโปรแกรมจะกำหนดค่า อัตราการเรียกเข้าเฉลี่ยและอัตราการเลิกใช้งานของผู้ใช้บริการด้านข้อมูลรวมกัน
2. ตัวโปรแกรมจะไม่สามารถแสดงกราฟต่างๆบน GUI ได้ ถ้าต้องการให้แสดงผลในรูปแบบกราฟ จะต้องทำการ RUN ใน M-file ที่ชื่อว่า CDMA_Solution_complete.m เท่านั้น

6.4 ประโยชน์ที่ได้จากการทำโครงการ

1. มีความรู้ความเข้าใจกลไกการทำงานของระบบ CDMA
2. มีความรู้ความเข้าใจในการเขียนโปรแกรม MATLAB
3. ช่วยเสริมสร้างทักษะในการทำงานและคิดอย่างมีแบบแผน

6.5 การนำไปใช้งานของโครงการ

1. ใช้วิเคราะห์เกี่ยวกับความน่าจะเป็นที่ยอมรับได้เพื่อใช้กำหนดขอบเขตของการเข้าใช้งานในระบบ
2. ใช้ศึกษาโครงสร้างในการจัดสรรทรัพยากรของระบบ CDMA ให้มีประสิทธิภาพ
3. ใช้ในการหาค่าทฤษฎีสูงสุดของระบบ CDMA

6.6 ข้อเสนอแนะ

ทำให้โปรแกรมมีความยืดหยุ่นในการรับค่าอัตราการเรียกเข้าเฉลี่ยและอัตราการเลิกใช้งานของผู้ใช้บริการด้านข้อมูล ให้มีความเป็นอิสระต่อกันและทำให้ระบบมีการคิดวิเคราะห์และตัดสินใจได้เอง

บรรณานุกรม

- [1] Kiseon Kim , and Insoo Koo. CDMA Systems Capacity Engineering.Artech House, Inc., 2005.
- [2] โสรัฎา แจ้เงการ และ กนัฒร ชานัประศาสน์.การใช้ MATLAB สำหรับงานวิศวกรรม 6 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 2.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [3] จัตรศ สายสุทธี และ ศุภกร วรรณพันั.การศัษาความจุของเคร่อข่ายระบบ CDMA. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี: ครงงานวิศวกรรมโทรคมนาคมม2549

ภาคผนวก

1. Main Program for CDMA simulation Program

```
%=====MAIN PROGRAM=====
%=====Hexagonal cell=====

clear all; close all; clc;

x=0;
y=0;

a=500;          %cell raduis (unit m)
an = (sqrt(3)*a/2); %smallest raduis
A=(pi/3)*[1 2 3 4 5 6 1];
ll=5;
j=5;
for e=0 : ll-1
    for i=0 : j-1
        xi=x+(i*2)*(sqrt(3)*a/2)+(e)*(sqrt(3)*a/2);
        yi=y+e*(3*a/2);
        Xi=a*sin(A)+xi;
        Yi=a*cos(A)+yi;
        plot(x,y,'x',xi,yi,'x');
        plot(Xi,Yi);
        hold on;
    end
end

%=====Traffic Channel=====

Z=200; %duration of observation time
T1=0; %accumulation of time intervals
T2=0;
T=0;
Sv=1;
Sd=1;
B=0; %number of block call(Voice)
```

```

BB=0; %number of block call(Voice)

k1=0; %initial state of kv

k2=0; %initial state of kd

v=0; %index of call arrivls(Voice)

u=0; %index of call arrivls(Data)

n=0;

zigma=0;

zzz=0;

kv=0;

kd=0;

Omp=0;

voice=1;

data=2;

lamdav=80; %mean call arrival rate(Voice)

mewv=10; %(1/mew) is the mean call duration(Voice)

lamdad=80; %mean call arrival rate(Data)

mewd=10; %(1/mew) is the mean call duration(Data)

cell_Area=2.6*a^2; %area of cell

n_kv=0;

n_kd=0;

W_sb=1250; %spreading bwandwidth (unit kHz)

R_v=9.6; %infirmation data rate for the voice group (unit kbps)

R_dj=9.6; %infirmation data rate for the Data group (unit kbps)

R_d1=9.6;

R_d2=4.8;

R_d3=2.4;

alpha_v=0.375;

alpha_d=1;

Eb_No_req=7; %required Eb/No(Voice)

Eb_No_dj_req=10; %required Eb/No(Data)

SIR_req=(R_v/W_sb)*(Eb_No_req); %required SIR

SIR_req_dB=10*log10(SIR_req);

```

```

SIR_d_req=(R_dj/W_sb)*(Eb_No_dj_req);
SIR_d_req_dB=10*log10(SIR_d_req);
P0_req=0.05;
position_v1 = 0;
position_d1 = 0;
position_v2 = 0;
position_d2 = 0;
dd=0;
hh=0;
qc=5;
qv1=5;
qv2=7;
qv3=10;
gamma=0;
%=====voice user=====
for z=1:Z
    alfav=lamdav+kv*mewv;
    alfad=lamdad+kd*mewd;
    tv(z)=random('exp',alfav,1,1); %exponential RV of time between events
    td(z)=random('exp',alfad,1,1); %exponential RD of time between events
    t(z)=min(tv(z),td(z));
    T=t(z) + T; %time accumulaton
    Time(z)=T;
    Tv=tv(z);
    Td=td(z);
    if Td<Tv
        PJ_up=lamdad/alfad;
        PJ_down=kd*mewd/alfad;
        class_=data;
        ind_d = 1 ;
        ind_v = 0 ;
    end
end

```

```

else
    PJ_up=lamdav/alfav;
    PJ_down=kv*mewv/alfav;
    class_=voice;
    ind_d = 0 ;
    ind_v = 1 ;

end

if rand(1,1)<=PJ_up
%=====random position of voice users=====

    cl= randint(1,1,[1,1]);
    cj= randint(1,1,[1,j] );
    e=cl-1;
    i=cj-1;
    x1=x+(i*2)*(sqrt(3)*a/2)+(e)*(sqrt(3)*a/2);
    y1=y+e*(3*a/2);
    [outFunc]=FuncCell_1(x1,y1,a,an,Xi,Yi);

    rm1=outFunc(1);
    rm2=outFunc(2);
    rm3=outFunc(3);
    rm4=outFunc(4);

    pause(0);

    rm=sqrt(((rm1-x1)^2)+((rm2-y1)^2));    %distance from its cell site
    ro=sqrt(((rm1-x)^2)+((rm2-y)^2));    %distance from the cell site of desired user

%=====CDMA solution=====

    Guass_1=0+8*randn(1,1);
    Guass_2=0+8*randn(1,1);

```

```

X=((rm/ro)^4)*(10^((Guass_1-Guass_2)/10));

%=====

Area = cell_Area*ll*j;          %all area
p_v=((2*kv)/(sqrt(3)))*ll*j/Area; %voice user density
I_Sv=(p_v)*X*Area;             %inter-sector interference
SIR_v=1/((alpha_v*((kv-1))+I_Sv));
z11=I_Sv/Sv;
z22=1/((1/SIR_v)+alpha_v);
zz=z11*z22;

%=====find r=====

rv = 1/((W_sb/(R_v*qc))+1);
rd = 1/((W_sb/(R_dj*qv1))+1);
r=[rv rd];

%=====factorial voice=====

for lv_=0:( kv + ind_v )
    K_V=factorial( kv + ind_v );
    L_V=factorial(lv_);
    H_V=( kv + ind_v )-lv_;
    F_V=factorial(H_V);
    Pk_lv(lv_+1)=(K_V/(F_V*L_V))*(alpha_v^lv_)*((1-alpha_v)^H_V); %P_kn(lv)
end

%=====factorial data=====

for ld_=0:( kd + ind_d )
    K_D=factorial( kd + ind_d );

```

```

L_D=factorial(ld_);
H_D=( kd + ind_d )-ld_;
F_D=factorial(H_D);
Pk_ld(ld_+1)=(K_D/(F_D*L_D))*(alpha_d^ld_)*((1-alpha_d)^H_D); %P_kn(ld)
end

%=====find PO=====

P0=0;
for lv=0:( kv + ind_v )
    for ld=0:( kd + ind_d )
        l=[lv ld];

        if (r*l')>1-zz
            P0=P0+Pk_ld(ld_+1)*Pk_lv(lv_+1);
        end
    end
end

end

end

%=====find Throughput=====

for a1=1:1:20
    for a2=1:1:20
        lv=lv;
        ld1=ld/3;
        ld2=ld/3;
        ld3=ld/3;
        R_dv1=R_d1*a1;
        R_dv2=R_d2*a2;
        rv = 1/((W_sb/(R_v*qc))+1);
        rd1 = 1/((W_sb/(R_dv1*qv1))+1);
        rd2 = 1/((W_sb/(R_dv2*qv2))+1);
        rd3 = (1-(rv*lv)-(rd1*ld1)-(rd2*ld2))/ld3;
    end
end

```

```

R_dv3=W_sb/(qv3*((1/rd3)-1));
a3=R_dv3/R_d3;
if(a3>=1-zz)
    gamma=abs(1-(rv*lv)-(rd1*ld1)-(rd2*ld2)-(rd3*ld3));    % Remaining resources
    tt(a1,a2)=(R_v*lv)+(R_dv1*ld1)+(R_dv2*ld2)+(R_dv3*ld3); % Throughput
end
end
end

%=====

if (class_==voice)
    if (P0<=P0_req)
        kv= kv+1;

        position_v1=position_v1+1;        %count number of arrival voice users
        plot(outFunc(1),outFunc(2),'.bl'); %plot the position voice users
        userv(position_v1,1)=rm1;          % x position voice users
        userv(position_v1,2)=rm2;          % y position voice users
        if z>0.1*Z
            v=v+1;
        end

    else (P0>P0_req)
        if z>0.1*Z
            B=B+1;
            n_kv = kv;
            number_Nv(z)= n_kv ;
            dd=dd+1;
            plot(outFunc(1),outFunc(2),'.r');    %plot the position of blocking voice class
        end
    end
end

%=====

```

```

else %Class=data
    if P0<=P0_req
        kd= kd+1 ;
        position_d1=position_d1+1;    %count number of arrival data users
        plot(outFunc(3),outFunc(4),'.g'); %plot the position data users
        userd(position_d1,1)=rm3;      % x position data users
        userd(position_d1,2)=rm4;      % y position data users
        if z>0.1*Z
            u=u+1;
        end
    end

    else
        if z>0.1*Z
            BB=BB+1;
            n_kd = kd;
            number_Nd(z)= n_kd;
            hh=hh+1;
            plot(outFunc(3),outFunc(4),'.r');    %plot the position of blocking data class
        end
    end
end

end

%=====

else % Jump down
    if (class_==voice)
        if kv>0
            kv=kv-1;
            position_v2=position_v2+1;    %count number of call termination voice user
            xx=userv(position_v2,1);      % x position of call termination voice user
            yy=userv(position_v2,2);      % y position of call termination voice user
            userv(position_v2,1) = 0 ;
            userv(position_v2,2) = 0 ;

```

```

        plot(xx,yy,'.w');          %plot the call termination voice user
    end

    else %if (class_==data)
        if kd>0
            kd=kd-1;
            position_d2=position_d2+1; %count number of call termination data user
            rr=userd(position_d2,1);    % x position of call termination data user
            ss=userd(position_d2,2);    % y position of call termination data user
            userd(position_d2,1) = 0 ;
            userd(position_d2,2) = 0 ;
            plot(rr,ss,'.w');          %plot the call termination data user
        end
    end
end

NumberCh(z) = lv;                  %number of active voice users
number_Nv(z) = n_kv;              %capacity of voice users
dd;
NumberCG(z)= ld;                  %number of active data users
number_Nd(z)= n_kd;              %capacity of data users
hh;
P0_vd(z)=P0;
P0_require(z)=P0_req;            %Required outage probability at BS

end

max_Ch = max(NumberCh)
min_Ch = min(NumberCh);
mean_Ch = mean(NumberCh);

```

```

max_CG = max(NumberCG)
min_CG = min(NumberCG);
mean_CG = mean(NumberCG);

max_Nv = max(number_Nv)
min_Nv = min(number_Nv);
mean_Nv = mean(number_Nv);

max_Nd = max(number_Nd)
min_Nd = min(number_Nd);
mean_Nd = mean(number_Nd);

%   number of total arrival calls=arrived calls+blocked calls
totalarr1=v+B;
ProbB1=B/totalarr1  %proportion of simulated blocked calls (Voice)

%   number of total arrival calls=arrived calls+blocked calls
totalarr2=u+BB;
ProbB2=BB/totalarr2  %proportion of simulated blocked calls (Data)

%=====

figure(2)
q=1:Z;
subplot(2,2,1);
stairs(q,NumberCh);
xlabel('Number of observed events');
ylabel('Number of active voice users');
subplot(2,2,2);

```

```

stairs(q,number_Nv);
xlabel('Number of observed events');
ylabel('Capacity of voice users');

subplot(2,2,3);
stairs(q,NumberCG);
xlabel('Number of observed events');
ylabel('Number of active data users');
subplot(2,2,4);
stairs(q,number_Nd);
xlabel('Number of observed events');
ylabel('Capacity of data users');

%=====

figure(3)
stairs(q,P0_vd);
hold on
stairs(q,P0_require,'r');
xlabel('Number of observed events');
ylabel('Probability(P0)');
legend('P0 at BS','P0 threshold');

%=====

figure(4)
surf(tt);
xlabel('a2');
ylabel('a1');
zlabel('Throughput(T)');

```

2. โปรแกรมที่ใช้สำหรับกลุ่มผู้ใช้บริการในระบบ

```
%=====Random point=====

function [X,Y]=rndPoint(orgX,orgY,an);

p1=random('exponential',1,1);
p2=random('exponential',1,1);
h1=rand*an;
k1=rand*an;
while sqrt((h1)^2+(k1)^2) > an
    h1=rand*an;
    k1=rand*an;
end;
c = randint(1,1,[1,4]);
switch c
    case 1
        H1=-h1; K1=-k1;
    case 2
        H1=-h1; K1=k1;
    case 3
        H1=h1; K1=-k1;
    case 4
        H1=h1; K1=k1;
end
X=H1+orgX;
Y=K1+orgY;

%=====
```

3. โปรแกรมสำหรับหาตำแหน่งที่ผู้ใช้บริการเข้ามา ตำแหน่งที่ออกจากระบบ

```
%=====Create cell=====

function [outFunc]=FuncCell_1(x,y,a,an,Xi,Yi);

%====Random position call arrival=====

[X,Y]=rndPoint(x,y,an);

startX=X;

startY=Y;

outFunc(1)=startX;

outFunc(2)=startY;

outFunc(3)=startX;

outFunc(4)=startY;

%=====
```

ประวัติผู้เขียน

นายโกวิทย์ หาญวิชา เกิดเมื่อวันจันทร์ที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2529 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลหัวทะเล อำเภอบำเหน็จณรงค์ จังหวัดชัยภูมิ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนบำเหน็จณรงค์วิทยาคม อำเภอบำเหน็จณรงค์ จังหวัดชัยภูมิ เมื่อปี พ.ศ. 2546 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โทร 086-718-2554

นายพิพัฒน์ ธิปภาสติดิคุณ เกิดเมื่อวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2529 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนปทุมเทพวิทยาคาร อำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย เมื่อปี พ.ศ. 2546 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โทร 086-639-7903