

การปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับการส่ง  
เสียง และข้อมูลด้วยการตรวจจับสัญญาณเสียงในเครือข่ายเซลลูลาร์

PERFORMANCE IMPROVEMENT OF CHANNEL ALLOCATION FOR VOICE  
AND DATA WITH VOICE ACTIVITY DETECTION IN CELLULAR  
NETWORKS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2548

ISBN 974-15-1979-6

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับการส่ง  
เสียง และข้อมูลด้วยการตรวจจับสัญญาณเสียงในเครือข่ายเซลลูลาร์

PERFORMANCE IMPROVEMENT OF CHANNEL ALLOCATION FOR VOICE  
AND DATA WITH VOICE ACTIVITY DETECTION IN CELLULAR  
NETWORKS



วิชาญ ลิมศักดิ์ศรี

WICHAN LIMSAKSRI

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 60471  
วัน,เดือน,ปี 29 ส.ย. 2549

.b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2548

ISBN 974-15-1979-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PERFORMANCE IMPROVEMENT OF CHANNEL ALLOCATION FOR VOICE  
AND DATA WITH VOICE ACTIVITY DETECTION IN CELLULAR  
NETWORKS**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRONICS ENGINEERING  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2005**

**ISBN 974-15-1979-6**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2005**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับการ  
ส่งเสียง และข้อมูลด้วยการตรวจจับสัญญาณเสียงในเครือข่าย  
เซลลูลาร์

## นักศึกษา

นายวิชาญ ลิ้มศักดิ์ศรี

## รหัสนักศึกษา

44061306

## ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

## สาขาวิชา

วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

## พ.ศ.

2548

## อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

รศ. ดร. รัตติกร วราภูติศิริพันธุ์

## อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

ผศ. ดร. ศักดิ์ชัย ทิพย์จักบุญรัตน์

## บทคัดย่อ

จากการเติบโตอย่างรวดเร็วของการส่งข้อมูลผ่านระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้การจัดสรรช่องสัญญาณที่ให้บริการอย่างเพียงพอ ต่อปริมาณของความต้องการที่เกิดขึ้นในระบบ มีความสำคัญอย่างยิ่งในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ เนื่องจากส่วนใหญ่ชนิดของการใช้งานหลักที่เกิดขึ้นนั้น จะเป็นประเภทการส่งสัญญาณเสียงที่มีการตอบสนองทันทีทันใด ดังนั้นถ้าอัตราการบดบังในการส่งสัญญาณเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการให้บริการของระบบลดลง

จากพฤติกรรมการสนทนาของผู้ใช้สัญญาณเสียงจะพบว่าไม่ได้มีการส่งสัญญาณเสียงออกไปยังสถานีฐานตลอดเวลา นั่นคือในช่วงเงียบของการสนทนา ผู้ใช้จะไม่ส่งสัญญาณเสียงขึ้นไปให้กับระบบ ดังนั้นเพื่อที่จะใช้งานช่องสัญญาณ ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการออกแบบการจัดสรรช่องสัญญาณให้เหมาะสมกับทราฟฟิกทั้งสองชนิดระหว่างการส่งสัญญาณเสียงและข้อมูล โดยนำวิธีการตรวจจับสัญญาณเสียงมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับการจัดสรรข้อมูลแบบต่างๆ โดยใช้ความสัมพันธ์ของปริมาณข้อมูลที่รอในคิว และค่ากำหนดในคิว ค่าตัวแปรเหล่านี้จะถูกกำหนดเป็นพารามิเตอร์ในการควบคุมจังหวะการแทรกสัญญาณข้อมูล เพื่อทำการส่งในช่วงเวลาที่ไม่มีสัญญาณเสียง หรือช่วงเงียบของการสนทนา จากผลการจำลองของระบบแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณที่เพิ่มขึ้นผ่านทางกรับประกันการให้บริการของระบบ คือ การประวิงเวลาที่รออยู่ในบัฟเฟอร์ และความน่าจะเป็นของการบดบังในระบบ เป็นต้น

<b>Thesis Title</b>	Performance Improvement of Channel Allocation for Voice and Data with Voice Activity Detection in Cellular Networks
<b>Student</b>	Mr. Wichan Limsaksri
<b>Student ID.</b>	44061306
<b>Degree</b>	Master Student of Engineering
<b>Programme</b>	Electronic Engineering
<b>Year</b>	2005
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Ruttikorn Varakulsiripunth
<b>Thesis Co. Advisor</b>	Assist. Prof. Dr. Sakchai Thipchaksurat

### ABSTRACT

Rapidly increasing of data transmission on cellular networks can lead to unavailable channel utilization with limited resources, so adequate traffic channel assignment becomes important issue. In addition, most of users are voice users that can not tolerate waiting for long time after dialing. Therefore, if the blocking of signal transmission increase, the efficiency of system service will be decreased.

From a conversation period of a voice user, there are some time intervals that transmits nothing, this is called silent period. To efficiently increase channel utilization, we have proposed the channel allocation for voice and data transmission by applying voice activity detection together with the information of number of data request in waiting queue and controlling threshold. These variables are used as parameters for controlling the mechanism to access and transmit data signal into the silent period or the period dose not have voice signal. The simulation results show the improving of the channel allocation by means of quality of service via service delays, blocking probability and so on.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงโดยได้รับความช่วยเหลือและสนับสนุน จากบุคคลหลายๆฝ่าย ซึ่งผู้เขียนขอขอบพระคุณทุกท่านอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้

รศ. ดร. รัตติกกร วรากุลศิริพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษา และ ผศ. ดร. ศักดิ์ชัย ทิพย์จักรมูรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัย รวมทั้งเสียสละเวลาในการตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และ ปฏิบัติการวิจัยเครือข่ายสื่อสาร (Communication Network Laboratory) โครงการสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ (ReCCIT)

บริษัท ซีเมนส์ จำกัด ที่สนับสนุนทางด้านข้อมูลในการทำวิจัย

สมาชิกทุกคนในห้องปฏิบัติการวิจัยเครือข่ายสื่อสาร ที่ช่วยเหลือให้คำปรึกษาและแก้ปัญหาต่างๆในการวิจัย รวมทั้งทุกๆคนที่มิได้เอ่ยนามในที่นี้

และสุดท้ายขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ผู้ซึ่งคอยอบรมเลี้ยงดู ให้โอกาสในการศึกษา และสนับสนุนในทุกๆด้าน รวมถึงช่วยเป็นกำลังใจให้เสมอมาและตลอดไป

วิชาญ ลิมศักดิ์ศรี

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.5 เนื้อหาภายในวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเครือข่ายเซลลูลาร์.....	5
2.1 หลักการทั่วไปของระบบเครือข่ายเซลลูลาร์.....	5
2.1.1 โครงสร้างของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่.....	6
2.1.2 ลำดับชั้นของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเครือข่ายเซลลูลาร์.....	6
2.1.3 โครงสร้างของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่.....	8
2.1.4 การสร้างการเชื่อมต่อของผู้ใช้ในระบบ.....	10
2.1.5 การเชื่อมต่อแบบเซอร์กิตสวิทช์ และ แพคเก็ตสวิทช์.....	13
2.1.6 การบริหารจัดการทรัพยากรคลื่นความถี่.....	13
2.1.7 โครงสร้างของการเชื่อมต่อแบบไร้สาย.....	14
2.1.8 การจัดสรรช่องสัญญาณของการส่งข้อมูล.....	16
2.2 การตรวจจับสัญญาณเสียง.....	16

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.1 อัลกอริทึมการตรวจจับสัญญาณเสียง	
ITU-T 8 kbit/s speech coding standard G.729.....	18
2.2.2 การประยุกต์ใช้งานการตรวจจับสัญญาณเสียงร่วมกับ	
ระบบเครือข่ายโทรศัพท์.....	19
<b>บทที่ 3 การประยุกต์การจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับการส่งข้อมูลด้วยการตรวจจับสัญญาณเสียง.....</b>	<b>21</b>
3.1 การส่งข้อมูลในเครือข่ายเซลลูลาร์.....	21
3.2 การจัดสรรช่องสัญญาณ.....	23
3.2.1 การจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Voice Priority.....	23
3.2.2 การจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Fixed Channel Allocation.....	25
3.2.3 การจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Dynamic Channel Allocation.....	27
3.2.4 การจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Dynamic Channel Allocation	
with Voice Activity Detection.....	29
<b>บทที่ 4 การจำลองเหตุการณ์ และผลการทดลอง.....</b>	<b>33</b>
4.1 การจำลองเหตุการณ์.....	33
4.2 การสร้างแบบจำลองเหตุการณ์.....	39
4.3 ผลการจำลอง และวิเคราะห์ผล.....	43
<b>บทที่ 5 บทสรุป.....</b>	<b>52</b>
5.1 รายงานสรุปผล.....	52
5.2 ข้อเสนอแนะเพื่องานวิจัยในอนาคต.....	53

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	54
ภาคผนวก ก. Erlang Loss Formular.....	55
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	59
คำขอที่สำคัญ.....	71
ประวัติผู้เขียน.....	72



# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์หลักในการจำลองเหตุการณ์.....	43
4.2 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการจัดสรรช่องสัญญาณ.....	45



# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลำดับชั้นของเครือข่ายเซลลูลาร์.....	7
2.2 ระบบสถานีฐาน.....	8
2.3 ระบบสวิตซ์ซิง.....	9
2.4 อินเทลลิเจนเน็ตเวค.....	10
2.5 ลำดับเหตุการณ์ในการขอใช้ช่องสัญญาณในระบบมาตรฐาน GSM.....	12
2.6 โปรโตคอลในการส่งข้อมูลของระบบมาตรฐาน GSM/GPRS.....	15
2.7 ตัวอย่างการสนทนาครั้งหนึ่งหลังจากผ่านตัวแยกสเปคตรัมของเสียง.....	17
2.8 การทำงานของการตรวจจับสัญญาณเสียงแบบ ITU-T 8 kbit/s speech coding standard G.729.....	19
2.9 การเปรียบเทียบแบบจำลองสถานะของช่องสัญญาณทราฟฟิกที่ ใช้กระบวนการ DTX.....	20
3.1 แบบจำลองการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Voice Priority.....	24
3.2 อัลกอริทึมของการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Voice Priority.....	24
3.3 แบบจำลองการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Fixed Channel Allocation.....	26
3.4 อัลกอริทึมของการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Fixed Channel Allocation.....	26
3.5 แบบจำลองการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Dynamic Channel Allocation.....	28
3.6 อัลกอริทึมของการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Dynamic Channel Allocation.....	28
3.7 อัตราส่วนของช่วงเวลาในการสนทนากับเวลาทั้งหมด และช่วงที่เป็นช่วงเงียบกับเวลาทั้งหมด.....	30
3.8 แบบจำลองการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Dynamic Channel Allocation with VAD.....	31
3.9 อัลกอริทึมการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Dynamic Channel Allocation with VAD.....	32
4.1 โครงสร้างของการจำลองเหตุการณ์.....	34
4.2 อัลกอริทึมของการจำลองบนฐานเหตุการณ์.....	38
4.3 ตัวอย่างแสดงองค์ประกอบและ ตัวแปรของการจำลองเหตุการณ์.....	38

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 ภาพแสดงถึงการเข้ามาของกราฟฟิคทั้งสองชนิด.....	39
4.5 ตัวอย่างคอมพิวเตอร์โปรแกรมของโปรแกรมย่อยการเข้ามาของข้อมูล.....	40
4.6 อัลกอริทึมแสดงการเข้ามาของข้อมูล ซึ่งเป็นโครงร่างของโปรแกรมย่อยการเข้ามาของข้อมูล.....	41
4.7 ตัวอย่างคอมพิวเตอร์โปรแกรมของโปรแกรมย่อยการจากไปของข้อมูล.....	41
4.8 อัลกอริทึมแสดงการจากไปของข้อมูล ซึ่งเป็นโครงร่างของโปรแกรมย่อยการจากไปของข้อมูล.....	42
4.9 ค่าประวิงเวลาของการเรียกขอของการส่งข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์.....	46
4.10 จำนวนเฉลี่ยของการเรียกขอที่อยู่ในบัฟเฟอร์.....	46
4.11 ความน่าจะเป็นในการเกิดการบล็อกของการส่งข้อมูล.....	47
4.12 ความน่าจะเป็นในการเกิดการบล็อกของการส่งสัญญาณเสียง.....	47
4.13 ค่าประวิงเวลาของการเรียกขอของการส่งข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์.....	49
4.14 จำนวนเฉลี่ยของการเรียกขอที่อยู่ในบัฟเฟอร์.....	49
4.15 ความน่าจะเป็นในการเกิดการบล็อกของการส่งข้อมูล.....	50
4.16 ความน่าจะเป็นในการเกิดการบล็อกของการส่งสัญญาณเสียง.....	50
4.17 ความน่าจะเป็นในการเกิดการชนกันระหว่างเสียงและข้อมูล.....	51

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในระบบการสื่อสารไร้สายโดยเฉพาะในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งการบริหารจัดการเพื่อใช้ทรัพยากรให้มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งที่สำคัญและจำเป็นอย่างมาก เนื่องจากทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดแตกต่างจากระบบการสื่อสารแบบใช้สายทั่วไป กล่าวคือความถี่ที่ถูกอนุญาตให้ใช้งาน นั้นจะถูกจำกัดการใช้งานด้วยเหตุผลหลายประการ เช่น การออกแบบการกำหนดความถี่เพื่อไม่ให้ซ้ำกับพื้นที่ข้างเคียง เป็นต้น ดังนั้นการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้ ต้องถูกจัดการอย่างเหมาะสมและเพียงพอต่อผู้ใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ใช้ที่มีพฤติกรรมการใช้ช่องสัญญาณที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น การใช้งานของผู้ใช้ที่ส่งสัญญาณเสียง (Voice User) หรือ การใช้งานของผู้ที่ส่งข้อมูล (Data User) มีลักษณะการใช้ช่องสัญญาณที่ต่างกัน ทั้งทางด้าน การเข้าถึงเพื่อที่จะครอบครองช่องสัญญาณ และเวลาที่ครอบครองช่องสัญญาณ

จากความต้องการของการส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายที่เพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดการแข่งขันในการใช้ช่องสัญญาณกับการส่งสัญญาณเสียง ซึ่งเป็นชนิดของทราฟฟิกที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานหลักในระบบเครือข่าย จากปัญหานี้ทำให้เกิดงานวิจัยมากมายเพื่อที่จะจัดสรรช่องสัญญาณให้เหมาะสมกับทราฟฟิกทั้งสองประเภทอย่างลงตัว ซึ่งการจัดสรรช่องสัญญาณที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไปได้แก่ การจัดสรรช่องสัญญาณแบบสถิต (Fixed Channel Allocation) และแบบพลวัต (Dynamic Channel Allocation) ซึ่งหลักของการเลือกใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณก็ขึ้นอยู่กับปริมาณของทราฟฟิกที่เข้ามาในระบบ ดังนั้นการเลือกใช้การจัดสรรช่องสัญญาณที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญที่ส่งผลโดยรวมแก่ระบบ

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ ของการศึกษา

จากทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด การจัดสรรช่องสัญญาณที่เหมาะสมกับปริมาณและชนิดของทราฟฟิกเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อระบบเครือข่าย ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงมุ่งที่จะศึกษาวิจัยและปรับปรุงประสิทธิภาพของการใช้ช่องสัญญาณที่มีอยู่อย่างจำกัด เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อศึกษา

วิเคราะห์ผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการจัดสรรช่องสัญญาณแบบดั้งเดิม คือแบบ Voice Priority แบบสถิต และแบบพลวัต และเพื่อนำเสนอการจัดสรรช่องสัญญาณ โดยการใช้งานประยุกต์ร่วมกับการตรวจจับสัญญาณเสียง ซึ่งเป็นการใช้เวลาของช่วงเงียบของการสนทนาเป็นหนึ่งในทางเลือกในการส่งข้อมูลจากผู้ใช้งานไปยังระบบเครือข่าย โดยที่การจำลองเหตุการณ์จะเป็นการแสดงผลประสิทธิภาพของระบบที่นำเสนอเปรียบเทียบกับระบบที่มีใช้งานอยู่เดิม

### 1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

ระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีโครงสร้างการใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiplexing) มีการแบ่งความถี่พาหะออกเป็นหน่วยย่อยๆ ของเวลา (Time Slots) และระบบจะจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้เมื่อมีการร้องขอ ไม่ว่าจะเป็นผู้ที่ส่งสัญญาณเสียงหรือผู้ที่ส่งข้อมูล ในการจัดการของระบบแบบดั้งเดิม นั้นจะไม่มีการจัดการกับช่องสัญญาณให้กับผู้ส่งข้อมูล กล่าวคือผู้ที่ส่งข้อมูลจะได้ครอบครองช่องสัญญาณก็ต่อเมื่อ ไม่มีผู้ใช้ที่ส่งสัญญาณเสียงใช้ช่องสัญญาณนั้นอยู่ ซึ่งเป็นจุดที่จะเพิ่มประสิทธิภาพขึ้นได้ เมื่อคำนึงถึงคุณภาพการให้บริการ แต่ในปัจจุบันการจัดการการใช้ช่องสัญญาณของการส่งสัญญาณเสียง และการส่งข้อมูลที่ใช้กันอยู่นั้น คือการจองช่องสัญญาณแบบพลวัตสำหรับการส่งข้อมูล (Dynamic Channel Allocation) ซึ่งจำนวนช่องสัญญาณบางส่วนจะถูกจองไว้สำหรับการส่งข้อมูล เมื่อมีความต้องการส่งข้อมูลที่มากขึ้น

เมื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของการสนทนาของมนุษย์ พบว่าในคาบของการสนทนาจะประกอบไปด้วยคาบของการพูด และการเงียบเรียงต่อกัน จนกระทั่งจบการสนทนา ดังนั้นเมื่อผู้ใช้สัญญาณเสียงใช้งานช่องสัญญาณเพื่อทำการสนทนา ในขณะที่เสียงพูดจะถูกส่งขึ้นไปยังระบบผ่านช่องสัญญาณที่จองไว้ แต่ในขณะที่เงียบจะไม่มี การส่งสัญญาณใดๆ จาก การสนทนาออกไป เพราะฉะนั้นด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงได้ทดลอง และศึกษาผลจากการนำคาบเวลาของช่วงเงียบมาใช้ งาน ในด้านการส่งข้อมูล พร้อมกับกับการประยุกต์ใช้งานร่วมกับการจัดสรรช่องสัญญาณแบบต่างๆ เพื่อให้เกิดการใช้งานช่องสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

## 1.4 ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษาวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดสรรช่องสัญญาณเพื่อการส่งเสียง และข้อมูล โดยวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของระบบผ่านทางตัวชี้วัดคุณภาพการให้บริการ ซึ่งได้แก่ ค่าประวิงเวลาของการเรียกขอของการส่งข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์ จำนวนเฉลี่ยของการเรียกขอที่อยู่ในบัฟเฟอร์ ความน่าจะเป็นในการเกิดการบล็อคของการส่งข้อมูล และความน่าจะเป็นในการเกิดการบล็อคของการส่งสัญญาณเสียง

นอกจากนี้ยังได้นำเสนอถึงผลจากการใช้การตรวจจับสัญญาณเสียงประยุกต์ใช้งานร่วมกับการจัดสรรช่องสัญญาณแบบต่างๆ ซึ่งการวิจัยนี้จะเน้นในส่วนของอัลกอริทึมที่ให้ได้มาซึ่งการจัดสรรช่องสัญญาณ โดยที่ไม่ได้สนใจถึงวิธีการส่งสัญญาณหรือการเข้ารหัสของการส่งสัญญาณผ่านทางคลื่นวิทยุ และไม่ได้คำนึงถึงฮาร์ดแวร์ของการตรวจจับสัญญาณเสียง

## 1.5 เนื้อหาภายในวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการเสนอการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ โดยประยุกต์ใช้งานร่วมกับการตรวจจับสัญญาณเสียง ซึ่งคุณภาพการให้บริการของระบบจะถูกแสดงผ่านทางค่าเวลาเฉลี่ยที่รอในบัฟเฟอร์ และความน่าจะเป็นในการเกิดการบล็อคของกราฟฟิก เป็นต้น ดังนั้นเนื้อหาต่างๆในวิทยานิพนธ์ ถูกแยกไว้แต่ละบทดังนี้

บทที่ 2 อธิบายถึงหลักการทั่วไปและองค์ประกอบของระบบเครือข่ายเซลลูลาร์ รวมไปถึงโครงสร้างการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ที่สำคัญในระบบ นอกจากนี้ยังได้อธิบายถึงประเภทของกราฟฟิกที่อยู่ในระบบ การใช้งานช่องสัญญาณกราฟฟิกอย่างคร่าวๆ โพรโตคอลที่ใช้ในการส่งข้อมูลในปัจจุบัน และสุดท้ายเป็นกระบวนการตรวจจับสัญญาณเสียงและการใช้งาน

บทที่ 3 อธิบายถึงระบบที่มีอยู่ในระบบการสื่อสารซึ่งเป็นระบบที่สนใจ และใช้เป็นแบบจำลองในการศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูลบนระบบเครือข่ายเซลลูลาร์ ซึ่งได้จำแนกและอธิบายถึงวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับการส่งข้อมูล รวมไปถึงวิธีการที่นำเสนอ

บทที่ 4 แสดงถึงที่มาของการจำลองเหตุการณ์ของการจัดสรรช่องสัญญาณแบบต่างๆที่ถูกศึกษาพฤติกรรมการส่งข้อมูลร่วมกับการส่งสัญญาณเสียง และยังแสดงถึงการเลือกใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์ที่เหมาะสมกับระบบที่ศึกษา โดยที่ในส่วนท้ายของบทจะเป็นผลการจำลองเหตุการณ์และบทวิเคราะห์

บทที่ 5 เป็นบทสุดท้ายที่สรุปเนื้อหาที่ถูกนำเสนอและผลการทดลองของวิทยานิพนธ์ โดยที่การรวบรวมข้อได้เปรียบจากการใช้วิธีการที่นำเสนอได้ถูกอธิบายอย่างกระชับ และข้อเสนอแนะในการวิจัยในอนาคตถูกแสดงไว้เพื่อเป็นข้อมูลในการศึกษาต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเครือข่ายเซลลูลาร์

### 2.1 หลักการทั่วไปของเครือข่ายเซลลูลาร์

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเครือข่ายเซลลูลาร์มีบทบาทอย่างมากในการสื่อสารไร้สายในปัจจุบัน ซึ่งเป็นระบบที่ถูกพัฒนามาจากเดิมใช้ระบบอะนาล็อก เป็นการใช้ระบบดิจิทัล และยังมีการกำหนดพื้นที่การให้บริการ ออกเป็นหน่วยย่อยๆ ที่เรียกว่า เซลล์ (Cell) ข้อดีของการแบ่งพื้นที่การให้บริการ คือสามารถทำให้มีพื้นที่ที่ให้บริการได้อย่างไม่จำกัด แม้จะมีความถี่คลื่นวิทยุอยู่จำกัด นั่นคือสามารถนำความถี่เดิมกลับมาใช้ได้ใหม่ (Reuse Frequency) ซึ่งเป็นจุดเด่นของระบบเซลลูลาร์ นอกจากนั้นการให้บริการ ในขณะที่ผู้ใช้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วก็เป็นจุดเด่นอีกข้อเช่นกัน

เทคนิคของการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่จะสามารถทำให้เกิดการชนกันพร้อมกันหลายๆ ชุดบนความถี่เดียวกัน ณ ตำแหน่งเซลล์ที่ต่างกัน นอกจากนั้นยังมีส่วนทำให้ขนาดของเสาอากาศของเครื่องส่งและรับสัญญาณมีขนาดเล็กลง เนื่องจากขนาดของเซลล์เล็กลง

ข้อได้เปรียบเมื่อเปรียบเทียบกับระบบโทรศัพท์มีสายก็คือ ผู้ใช้ในระบบ โทรศัพท์เคลื่อนที่ สามารถใช้งานได้แม้ในขณะที่ตนเองเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง เพราะมีกระบวนการแฮนด์โอเวอร์ (Handover) ซึ่งหลักการของกระบวนการนี้คือมีการจองช่องสัญญาณล่วงหน้า ในเซลล์ถัดไปที่ผู้ใช้เดินทางไปถึง

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในอดีตถูกออกแบบเพื่อการสื่อสารด้วยคำพูดเป็นหลัก ในขณะที่ความต้องการการสื่อสารด้วยข้อมูลผ่านระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นสูงขึ้นเรื่อยๆ แต่ทรัพยากรเช่น ความถี่ มีอยู่อย่างจำกัด จึงเกิดการแย่งกันจองช่องสัญญาณเพื่อใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ในระบบ ดังนั้นการออกแบบระบบเพื่อรองรับปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้น จึงเป็นสิ่งสำคัญที่หลีกเลี่ยงไม่ได้

## 2.1.1 โครงสร้างของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

ระบบชุมสาย (Switching Subsystem) เป็นหัวใจหลักของระบบการสื่อสารเนื่องจากระบบชุมสายจะทำหน้าสลบช่องสัญญาณที่เกิดจากการเรียกขอของผู้ใช้งาน เพื่อไปยังจุดหมายปลายทางที่ผู้ใช้ร้องขอ และควบคุมการสื่อสารขณะนั้นจนกว่าจะมีการยุติการสนทนา ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบชุมสายจะมีทำหน้าที่แบบรวมศูนย์ (Centralize System) นั่นคือ ผู้ใช้บริการต้องร้องขอช่องสัญญาณผ่านระบบชุมสายทุกครั้ง จากนั้นระบบชุมสายจะสร้างการเชื่อมต่อไปยังปลายทางที่ต้องการ

ระบบสื่อ (Transmission Subsystem) ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับคำสั่ง การร้องขอ รวมไปถึงการถ่ายทอดข้อมูล จากจุดๆหนึ่งไปยังอีกจุดๆหนึ่ง ตัวอย่างของระบบสื่อที่ใช้กันอยู่อย่างหลากหลายได้แก่ ระบบใยแก้วนำแสง ระบบสายเคเบิล ระบบไมโครเวฟ และอื่นๆ

ระบบไร้สาย (Wireless System) ในส่วนของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบไร้สายจะเป็นจุดเด่นที่ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบมีสาย โดยที่จะเน้นการสื่อสารการติดต่อระหว่างกัน ในส่วนของผู้ใช้บริการกับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ก็คือการใช้บริการที่ผู้ใช้สามารถร้องขอการใช้งานผ่านทางระบบไร้สาย หรือผ่านเครือข่ายวิทยุนั่นเอง ระบบไร้สายถูกใช้งานอย่างแพร่หลายมานานแล้ว ตัวอย่างเช่น สถานีวิทยุซึ่งเป็นระบบไร้สายที่มีการส่งแบบทิศทางเดียว วิทยุสื่อสาร ซึ่งเป็นการสื่อสารไปหรือกลับได้ครั้งละอย่างใดอย่างหนึ่ง ส่วนระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นเป็นการสื่อสารทั้งไปและกลับได้อย่างต่อเนื่องพร้อมกัน

## 2.1.2 ลำดับชั้นของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเครือข่ายเซลลูลาร์

ระบบเครือข่ายเซลลูลาร์ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันนั้นมีโครงสร้างที่เป็นขั้นๆ และเป็นระบบซึ่งถูกออกแบบเพื่อที่จะสามารถใช้งานได้ทุกประเทศทั่วโลก เช่นระบบมาตรฐาน GSM (Global System for Mobile Communication) โดยที่แต่ละชั้นนั้นมีหน้าที่ดังนี้

- เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั้งประเทศ (Public Land Mobile Network (PLMN) Country) เป็นพื้นที่ที่ผู้ใช้สามารถใช้บริการได้ภายในประเทศ ซึ่งรวมไปถึงพื้นที่ของผู้ให้บริการทั้งหมดที่มีภายในประเทศนั้นๆ โดยที่จะมีรหัสของประเทศเป็นตัวชี้ว่าใช้บริการที่ประเทศใด

- เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ให้บริการ (Public Land Mobile Network (PLMN) Area) เป็นขอบเขตพื้นที่ที่ผู้ให้บริการรายหนึ่งๆสามารถให้บริการแก่ผู้ใช้ภายในประเทศนั้นๆ โดยจะมีรหัสเป็นตัวชี้ผู้ให้บริการแต่ละแห่งในประเทศนั้นๆ
- ขอบเขตของตัวสวิตซ์ซึ่ง (Mobile Service Switch Center (MSC) Area) โดยปกติแล้ว PLMN จะประกอบไปด้วยพื้นที่ที่ MSC คูณอยู่หลายๆตัวรวมกัน หน้าที่หลักคือให้บริการสลับช่องสัญญาณเพื่อสร้างการเชื่อมต่อของวงจรสื่อสารให้กับผู้ใช้ที่เรียกเข้ามา ซึ่งการเชื่อมต่อจะผ่านเข้ามาทางระบบสถานีฐาน (Base Station Subsystem: BSS)
- โลเคชันเอเรีย (Location Area) เป็นส่วนหนึ่งของการบริหารจัดการจัดการของขอบเขตของตัวสวิตซ์ซึ่ง เป็นส่วนย่อยๆของพื้นที่ในระบบเครือข่าย ซึ่งอาจจะมีเซลล์เดียวหรือหลายเซลล์รวมกัน
- เซลล์ (Cell) เป็นพื้นที่ที่เล็กที่สุดที่ระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จำแนกได้ เป็นขอบเขตหนึ่งๆของสถานีฐาน ซึ่งขอบเขตของเซลล์ก็คือขอบเขตของคลื่นวิทยุนั่นเอง



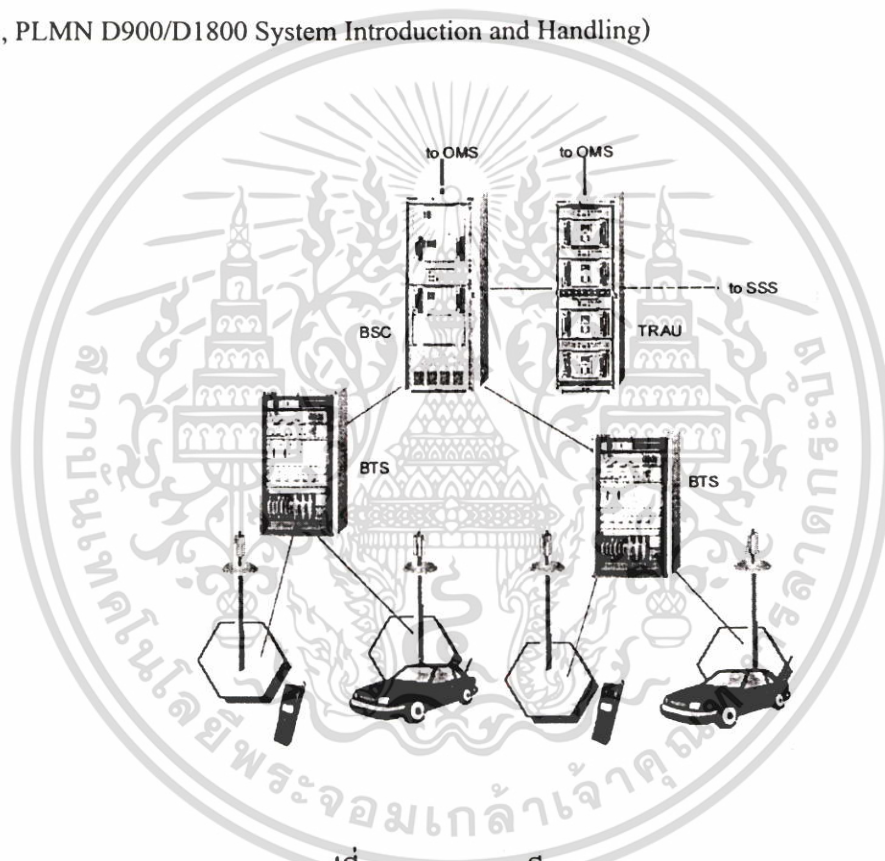
รูปที่ 2.1 ลำดับชั้นของเครือข่ายเซลลูลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.3 โครงสร้างของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (PLMN)

### 1. ระบบสถานีฐาน (Base Station Subsystem: BSS)

ระบบสถานีฐานจะต้องมีการเชื่อมต่อกับระบบสวิตซ์ซึ่ง โดยมีหน้าที่หลักคือเปลี่ยน โปรโตคอลที่ใช้ระหว่างการสื่อสารไร้สายและมีสาย นั่นคือเป็นตัวกลางระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่และระบบสวิตซ์ ซึ่ง สถานีควบคุม(Base Station Controller) จะทำหน้าที่ควบคุมสถานีฐาน (Base Transceiver Station) หลายๆสถานี และมีหน้าที่สำคัญในการจัดสรรช่องสัญญาณ (Channel Allocation) และกลไกของคิว (Queueing Mechanism) โดยที่การจัดการและการตรวจสอบการดำเนินการของคลื่นวิทยุเพื่อจัดสรรช่องสัญญาณให้สอดคล้องกับปริมาณความต้องการการใช้งานจะอยู่ภายใต้การควบคุมของสถานีนี้ (SIEMENS, PLMN D900/D1800 System Introduction and Handling)



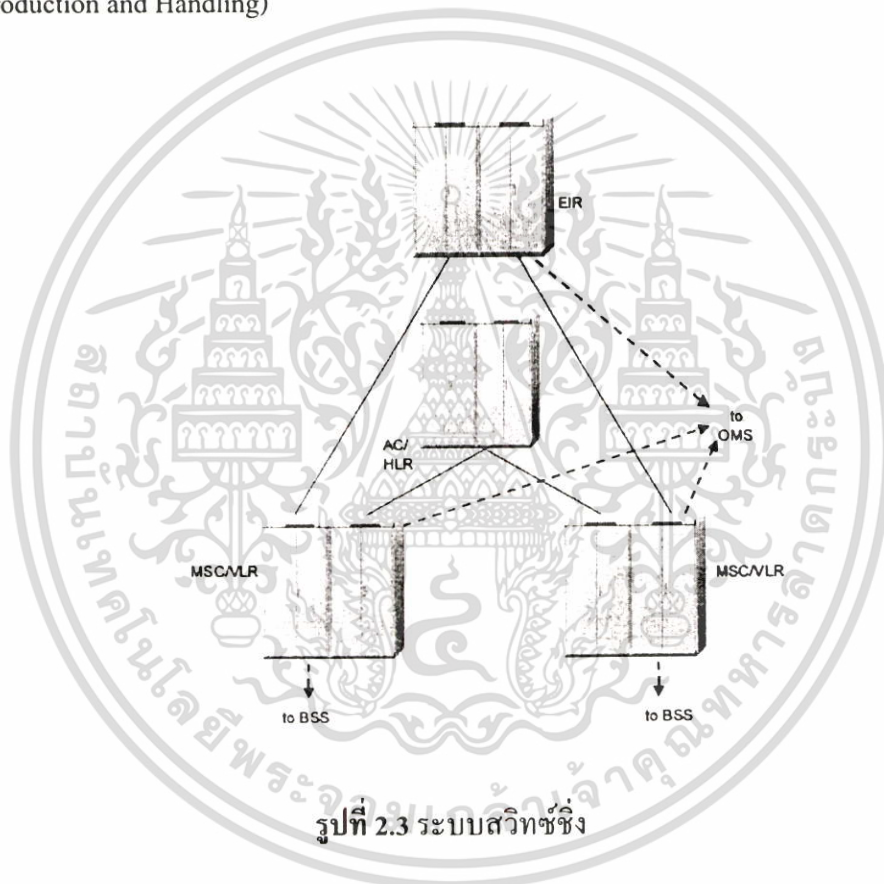
รูปที่ 2.2 ระบบสถานีฐาน

### 2. ระบบสวิตซ์ซึ่ง (Switching Subsystem: SSS)

ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นหน้าที่หลักของระบบสวิตซ์ซึ่งคือการสร้างการเชื่อมต่อจากคันทงไปผู้ปลายทาง ซึ่งสามารถรองรับการเรียกเข้ามาผ่านทางระบบสถานีฐาน หรือระบบโทรศัพท์พื้นฐาน (Public Switch Telephone Network:PSTN) นอกเหนือจากการสร้างการเชื่อมต่อระบบสวิตซ์ยังมีหน้าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบความปลอดภัย ให้อนุญาตกับผู้ใช้ที่ผ่านการตรวจสอบแล้วเท่านั้น ข้อมูลโทรศัพท์เคลื่อนที่  
 ทุกๆเครื่องจะถูกจัดเก็บไว้สองที่ ที่แรก HLR (Home Location Register) และ VLR (Visitor Location  
 Register) โดยปกติ HLR จะเก็บข้อมูลทั้งหมดของผู้ที่ลงทะเบียนในเครือข่ายนั้นๆหรือลูกค้าในระบบ  
 อย่างเช่น หมายเลขโทรศัพท์ และ การบริการที่เลือกไว้ตามที่ลงทะเบียน สำหรับ VLR จะเก็บข้อมูล  
 เกี่ยวกับตำแหน่งของผู้ใช้ที่อยู่ในระบบ ณ เวลานั้น ซึ่งสามารถระบุถึงเซลล์ที่ผู้ใช้ลงทะเบียนกับ VLR  
 ได้ เมื่อผู้ใช้เคลื่อนที่เข้ามาอยู่ในเขตรับผิดชอบของ VLR หนึ่งๆ VLR นั้นจะทำการตรวจสอบระบบ  
 ความปลอดภัย ร้องขอการเข้ารหัส เมื่อผ่านกระบวนการนี้ VLR จะขอข้อมูลจาก HLR มาเก็บไว้และ  
 ให้บริการแก่ผู้ใช้ตามการบริการที่ลงทะเบียนไว้ตอนแรกที่ HLR (SIEMENS, PLMN D900/D1800  
 System Introduction and Handling)

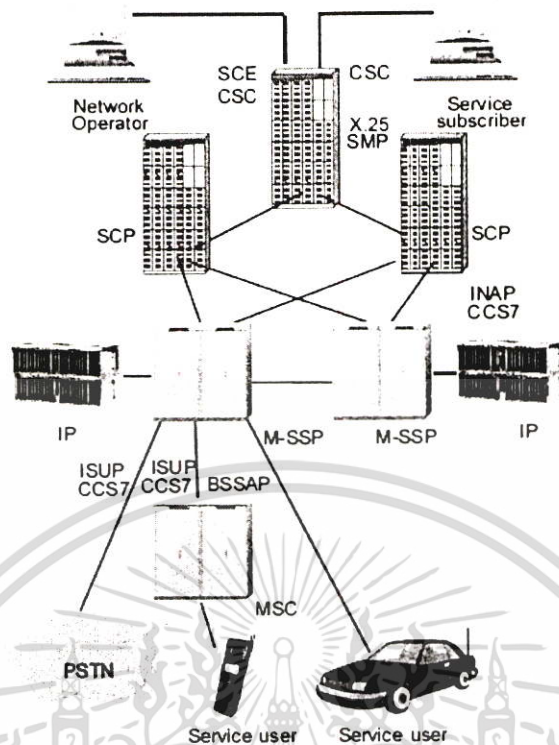


รูปที่ 2.3 ระบบสวิทซ์จิง

### 3. อินเทลลิเจนเน็ตเวอด (Intelligent Network)

เป็นอุปกรณ์พิเศษที่เพิ่มเข้ามาในระบบเครือข่ายเพื่อที่จะรองรับการบริการที่นอกเหนือจาก  
 ระบบสวิทซ์จิง นั่นคือนอกเหนือจากการสลับช่องสัญญาณระหว่างผู้เรียกและผู้ถูกเรียก เช่น ระบบ  
 โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเติมเงิน ที่มีการตรวจจำนวนเงินที่ลงทะเบียนในระบบก่อนที่จะอนุญาตให้มีการ  
 ใช้ทรัพยากรในระบบ (SIEMENS, PLMN D900/D1800 System Introduction and Handling)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 อินเทลลิเจนเน็ตเวอค

#### 2.1.4 การสร้างการเชื่อมต่อของผู้ใช้ในระบบ

ช่องสัญญาณที่ใช้ในการเชื่อมต่อที่เป็นช่องสัญญาณกายภาพ (Physical Channel) จะถูกกำหนดออกเป็นช่องสัญญาณทางตรรกะอยู่สองแบบคือ

1. ช่องสัญญาณจราจร (Traffic Channels: TCH)
2. ช่องสัญญาณควบคุม (Control Channels: CCH)

ช่องสัญญาณจราจรถูกใช้ในการส่งข้อมูลของผู้ใช้บริการไม่ว่าจะเป็นสัญญาณเสียงหรือข้อมูล ส่วนช่องสัญญาณควบคุมถูกใช้ส่งข้อมูลในส่วนของการควบคุมการใช้ช่องสัญญาณจราจรระหว่างผู้ใช้และระบบเครือข่ายหรือในทางกลับกัน

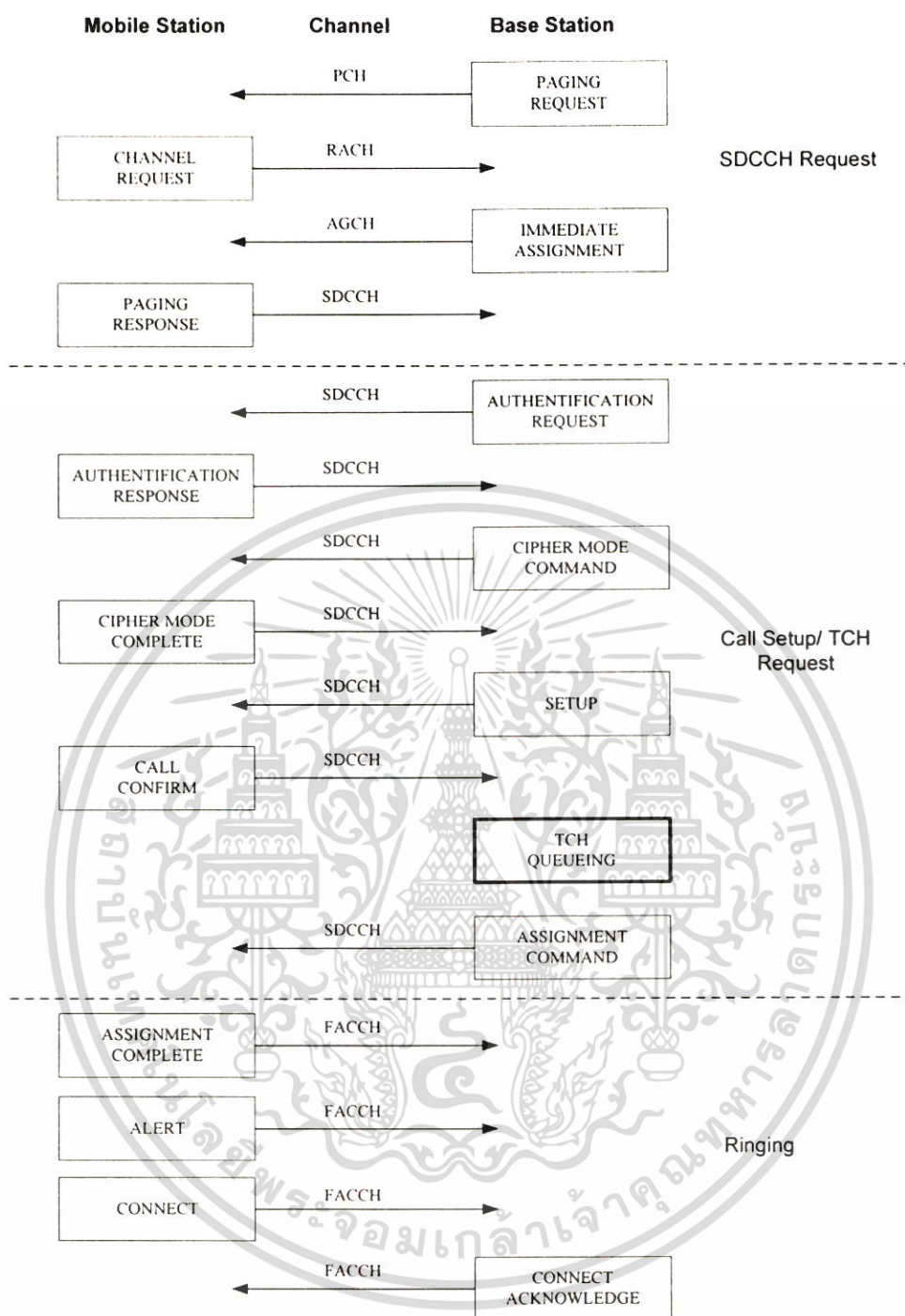
ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นกระบวนการตรวจสอบความปลอดภัย การเข้ารหัสสัญญาณ และการลงทะเบียนใน VLR จะถูกกระทำผ่านช่องสัญญาณควบคุม เมื่อผู้ใช้ผ่านกระบวนการต่างๆเหล่านี้แล้วจึงจะสามารถส่งสัญญาณเสียงหรือข้อมูลของตัวเองผ่านทางช่องสัญญาณจราจรได้ ในวิทยานิพนธ์นี้

จะกล่าวถึงการจัดการช่องสัญญาณทราฟฟิกเป็นหลัก ในส่วนของรายละเอียดของการใช้ช่องสัญญาณ ความคมจะถูกแสดงดังรูป 2.5

เมื่อผ่านกระบวนการตรวจสอบต่างๆผ่านทางช่องสัญญาณควบคุมแล้วระบบสถานีฐานก็จะกำหนดช่องสัญญาณทราฟฟิกให้แก่ผู้ใช้ ในกรณีช่องสัญญาณทราฟฟิกถูกใช้งานจนเต็มซึ่งไม่มีช่องสัญญาณว่างสำหรับผู้ใช้รายใหม่ ผู้ใช้รายนั้นก็จะถูกปฏิเสธการเรียก หรืออาจจะถูกเก็บการเรียกขอครั้งนั้นไว้ในระบบคิวก็ได้ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดในระบบเครือข่ายนั้นๆ

ในช่วงเริ่มแรกระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้งานทางด้านเสียงพูดเป็นหลัก โดยยุคแรกจะรองรับการบริการเฉพาะสัญญาณเสียงและเป็นระบบอนาล็อก ถัดมาในยุคที่สองมีการพัฒนาเป็นระบบดิจิทัลและสามารถรองรับสัญญาณเสียงและข้อมูลอัตราความเร็วต่ำโดยใช้ช่องสัญญาณทราฟฟิกร่วมกัน

ในอดีตการส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งแต่เดิมถูกออกแบบเพื่อรองรับสัญญาณเสียงเป็นหลักที่มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นแบบเซอร์กิตสวิตช์นั้น ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอกับโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้งานในปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น การส่งเอกสารจำนวนมาก การรองรับจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ หรือการท่องอินเทอร์เน็ต



รูปที่ 2.5 ลำดับเหตุการณ์ในการขอใช้ช่องสัญญาณในระบบมาตรฐาน GSM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.5 การเชื่อมต่อแบบเซอร์กิตสวิตช์ และ แพคเก็ตสวิตช์

### 2.1.5.1 การเชื่อมต่อแบบเซอร์กิตสวิตช์

ระบบมาตรฐาน GSM รองรับการเชื่อมต่อแบบเซอร์กิตสวิตช์เป็นหลัก ซึ่งแต่ละครั้งการเชื่อมต่อจำเป็นต้องมีจุดเชื่อมต่อสองจุด เส้นทางการเชื่อมต่อจะถูกสร้างขึ้นทรัพยากรบนระบบเครือข่ายจะถูกจองไว้สำหรับการเชื่อมต่อครั้งนั้นตลอดจนสิ้นสุดการใช้งาน การเชื่อมต่อในลักษณะนี้จะให้เวลาของการหน่วงที่ต่ำ (Delay) และยังเป็น การเชื่อมต่อแบบดั้งเดิมของระบบเครือข่ายมีสายและไร้สาย สำหรับการส่งสัญญาณเสียงและข้อมูลดิจิทัล

### 2.1.5.2 การเชื่อมต่อแบบแพคเก็ตสวิตช์

ระบบเครือข่ายข้อมูลเช่น อินเทอร์เน็ต(The Internet) เฟรมรีเลย์ (Frame Relay) และ X.25 เป็นต้นรองรับการเชื่อมต่อด้วยแพคเก็ตสวิตช์ โดยที่ในระบบนี้ข้อมูลดังกล่าวจะถูกแบ่งออกเป็นหลายๆ แพคเก็ตย่อย แต่ละแพคเก็ตจะมีการระบุตำแหน่ง ซึ่งถูกใช้โดยอุปกรณ์หาเส้นทาง (Router) ในระบบเครือข่ายเพื่อที่จะส่งแพคเก็ตนั้นไปปลายทางที่กำหนดไว้ ในระบบมาตรฐาน GSM ได้มีการพัฒนาการส่งข้อมูลดิจิทัลผ่านการเชื่อมต่อแบบแพคเก็ตสวิตช์ ซึ่งถูกเรียกว่า ระบบ GPRS (General Packet Radio Service)

ความกว้างของช่องสัญญาณในการเชื่อมต่อแบบแพคเก็ตไม่ได้ถูกจองด้วยจำนวนที่คงที่และถาวรเสมือนในกรณีแบบเซอร์กิตสวิตช์ ตรงกันข้ามช่องสัญญาณจะถูกจัดสรรเมื่อมีการร้องขอการส่งข้อมูลและจะยกเลิกการจองช่องสัญญาณ เมื่อไม่มีความต้องการในการส่งข้อมูล

## 2.1.6 การบริหารจัดการทรัพยากรคลื่นความถี่

ในการสื่อสารแบบไร้สายช่องสัญญาณกายภาพของระบบ GPRS จะใช้ช่องสัญญาณกายภาพเดียวกันกับระบบมาตรฐาน GSM ที่ใช้โครงสร้างแบบการแบ่งเวลาและแบ่งความถี่ (TDMA/FDMA) จะมีความถี่แต่ละย่านสำหรับอัปลิงก์ (Uplink) คือคลื่นความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน และดาว์นลิงก์ (Downlink) คือคลื่นความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณจากสถานีฐานไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งใช้เทคนิคของการแบ่งความถี่ โดยที่ความถี่หนึ่งๆถูกแบ่งออกเป็น 8 ช่วงของเวลา (Time Slots) ซึ่งเป็นเทคนิคของการแบ่งเวลา แต่ละช่วงเวลาจะถูกกำหนดให้สำหรับการใช้งานของ GPRS เพื่อการเชื่อมต่อแบบแพคเก็ตสวิตช์ หรือสำหรับการใช้งานของ GSM

เพื่อการเชื่อมต่อแบบเซอร์กิตสวิตซ์ โดยที่ช่องสัญญาณสำหรับการส่งข้อมูลจะเรียกว่า PDCH (Packet Data Channel)

โดยปกติลักษณะการใช้งานช่องสัญญาณในการส่งข้อมูล มีลักษณะการจองช่องสัญญาณทราฟฟิกเป็นช่วงๆ ในเวลาสั้น ซึ่งค่อนข้างแตกต่างกับผู้ใช้สัญญาณเสียงที่มีการจองช่องสัญญาณทราฟฟิกอย่างถาวรจนกว่าจะสิ้นสุดการสนทนา ดังนั้นสามารถกำหนดให้การจองช่องสัญญาณสำหรับข้อมูลขึ้นอยู่กับความต้องการจริงที่จะใช้ช่องสัญญาณ ซึ่งก็คือหลักการของปริมาณความต้องการ (Capacity on Demand) โดยที่ผู้ให้บริการสามารถกำหนดช่องสัญญาณทราฟฟิกสำหรับการส่งข้อมูลเป็นแบบถาวรหรือแบบชั่วคราว

กระบวนการตรวจสอบความต้องการของการใช้ช่องสัญญาณของผู้ใช้ข้อมูลนั้นจะกระทำในชั้นของ MAC (Medium Access Control) ดังรูปที่ 2.6 การทำงานของชั้นนี้จะตรวจสอบและยินยอมให้มีการจัดสรรช่องสัญญาณเพิ่มขึ้นของผู้ใช้รายนั้นๆ ตามปริมาณความต้องการที่ใช้จริง โดยที่ผู้ให้บริการมีทางเลือกที่จะเพิ่มขนาดของช่องสัญญาณชั่วคราวสำหรับการส่งข้อมูลในกรณีที่ไม่มีความต้องการของผู้ใช้สัญญาณเสียงที่มีความสำคัญมากกว่าเกิดขึ้นที่เวลานั้น

### 2.1.7 โครงสร้างของการเชื่อมต่อแบบไร้สาย

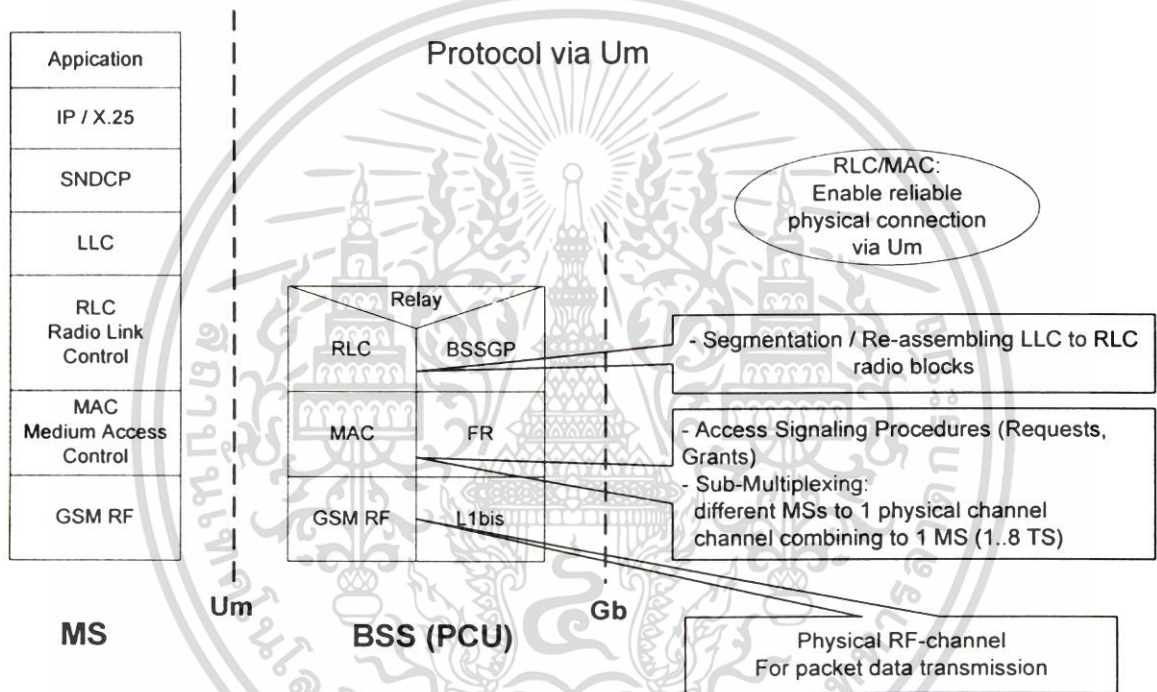
RLC/MAC (Radio Link Control/ Medium Access Control) เป็นชั้นของกติกการเชื่อมต่อในระบบมาตรฐาน GSM/GPRS มีหน้าที่สำหรับการสร้างการเชื่อมต่อ ที่มีความเชื่อถือได้ทางกายภาพผ่านทางช่องสัญญาณทราฟฟิกบนคลื่นความถี่ที่เซลล์นั้น

RLC : หน้าที่หลักของชั้นนี้คือการสร้างการเชื่อมต่อที่น่าเชื่อถือผ่านทางช่องสัญญาณทราฟฟิกบนคลื่นความถี่ การเชื่อมต่อทางกายภาพจะขึ้นอยู่กับจำนวนของช่องสัญญาณทราฟฟิกที่สามารถใช้งานได้อยู่ที่เวลานั้น ในชั้นนี้ LLC (Logical Link Control) จะถูกแบ่งออกเป็นเฟรมกรณีส่งออกไป และรวบรวม (Re-assemble) เฟรมกรณีรับเข้ามา นอกจากนี้ยังควบคุมการใช้ช่องสัญญาณทราฟฟิกของโทรศัพท์เคลื่อนที่หลายเครื่องไว้ในช่องสัญญาณเดียว หรืออนุญาตให้การใช้ช่องสัญญาณทราฟฟิกถึง 8 ช่องต่อการเชื่อมต่อครั้งหนึ่งๆ

MAC : ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของสัญญาณควบคุมบน Um Interface เช่นการใช้งานของช่องสัญญาณควบคุมต่างๆ ที่กล่าวไว้ข้างต้น และยังทำหน้าที่ระบุ LLC ที่ถูกแบ่งออกเป็นเฟรมลงบน

ช่องสัญญาณทราฟฟิก โดยมีตัวกำหนดสถานะของช่องสัญญาณ (Flag Status) เพื่อที่จะแจ้งแก่โทรศัพท์เคลื่อนที่ในการใช้งานช่องสัญญาณ ซึ่งเป็นวิธีของการจัดสรรช่องสัญญาณมีทั้งการจองช่องสัญญาณแบบสถิต และแบบพลวัต (Fixed and Dynamic Allocation)

GSM RF (Radio Frequency) : เป็นช่องสัญญาณทางกายภาพที่ใช้สำหรับการส่งแพ็คเก็ตของข้อมูลผ่านทางคลื่นวิทยุบน Um Interface



รูปที่ 2.6 โพรโตคอลในการส่งข้อมูลของระบบมาตรฐาน GSM/GPRS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.8 การจัดสรรช่องสัญญาณของการส่งข้อมูล

### 2.1.8.1 การจัดสรรช่องสัญญาณในทิศทางส่งขาลง (Downlink Direction)

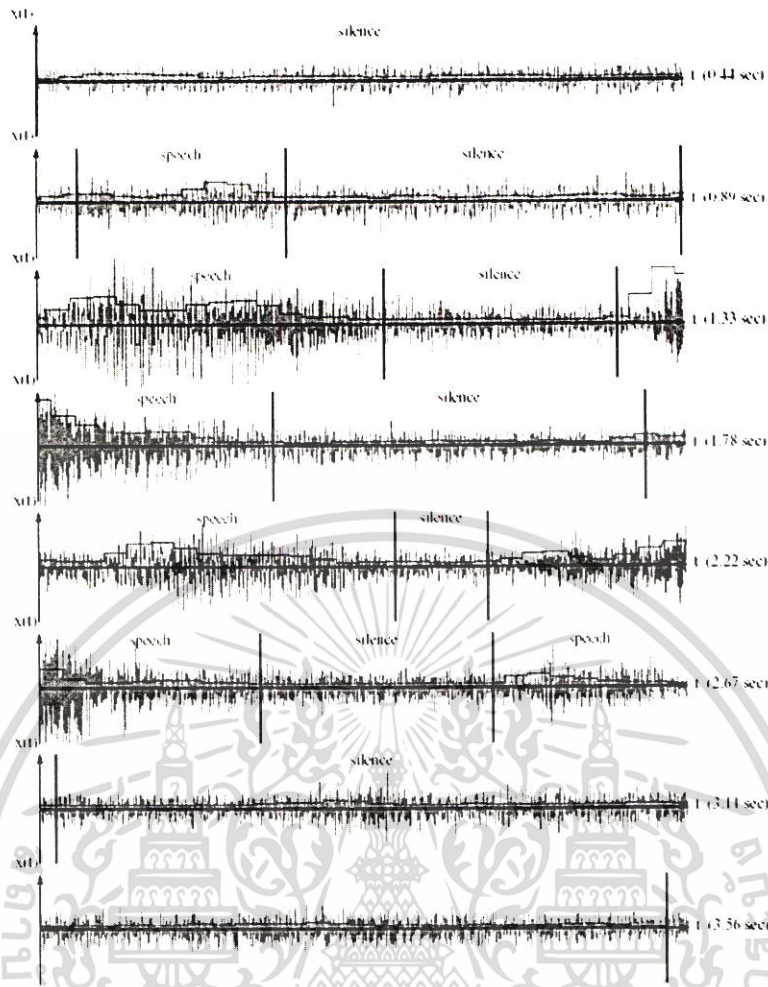
ตัวควบคุมสถานีฐานจะกำหนดทรัพยากรของระบบในการส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณใดและคลื่นความถี่ใด ให้กับโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่ในเซลล์นั้นๆ ในช่วงแรกก่อนที่จะมีการส่งข้อมูลระบบจะส่งรายละเอียดไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อบอกวิธีการรับข้อมูลที่ระบุถึงตำแหน่งช่วงเวลาของช่องสัญญาณบนคลื่นความถี่ การระบุถึงตำแหน่งของช่องสัญญาณกราฟฟิคที่ผู้ใช้บริการสามารถรับข้อมูลขาลงจะใช้วิธีการของ Temporary Block Flow (TBF) ซึ่งระบุข้อมูลของช่องสัญญาณกราฟฟิคที่ผู้ใช้ทุกๆ ต้องรับข้อมูล โดยที่สถานีฐานจะส่งตัวชี้ใน ช่วงแรกของการส่งสัญญาณลงมายังโทรศัพท์เคลื่อนที่ หลังจากที่มีการรับข้อมูลของตัวชี้นี้ โทรศัพท์เคลื่อนที่เครื่องนั้นก็จะรอกกว่าข้อมูลที่ถูกส่งลงมาจกสถานีฐานซึ่งระบุตำแหน่งที่ตรงกับตัวชี้ที่มี TBF ตรงกัน การจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับการส่งขาลงจะเกิดขึ้นหลังจากกระบวนการ Paging

### 2.1.8.2 การจัดสรรช่องสัญญาณในทิศทางส่งขาขึ้น (Uplink Direction)

ในทิศทางส่งขาลงไม่มีการจัดลำดับการส่งไว้ ระบบสถานีฐานจะส่งทุกแพ็กเก็ตผ่านช่องสัญญาณกราฟฟิค และหลังจากนั้นก็เป็นที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ทุกเครื่องที่ต้องคัดเลือกข้อมูลที่เป็นของตนเองด้วยวิธีการของ TBF ในส่วนของทิศทางส่งขาขึ้นคือ การส่งสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน จะค่อนข้างซับซ้อนกว่าเพราะว่าจะมีโอกาสเกิดการชน (Collisions) กันของข้อมูลที่ใช้แต่ละคนส่งสัญญาณออกมาในเวลาเดียวกัน เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงเหตุการณ์ลักษณะนี้ในทิศทางขาขึ้นจึงมีการจัดลำดับการส่งของข้อมูล ซึ่งถูกควบคุมผ่านทางสถานีฐาน

## 2.2 การตรวจจับสัญญาณเสียง (Voice Activity Detection)

ในระบบการสื่อสารไร้สายผู้ใช้บริการจะถูกแวดล้อมด้วยสัญญาณรบกวน (Background Noise) [9] ที่มาจากทั่วทุกสารทิศ สัญญาณรบกวนเหล่านั้นเป็นต้นเหตุให้เกิดการรบกวนสัญญาณจากการสื่อสาร ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดเป็นสัญญาณใหม่สองประเภทสัญญาณรบกวน และสัญญาณเสียงที่ปนมากับสัญญาณรบกวน การตรวจจับสัญญาณเสียงคือ อัลกอริทึมที่สามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างสัญญาณเสียงที่ปนมากับสัญญาณรบกวน และสัญญาณรบกวนรบกวน เช่นอาจเกิดจาก การบันทึกเสียงภายในสภาพแวดล้อมที่มีคลื่นรบกวนสูง เช่น การบันทึกเสียงในรถยนต์ที่มีความเร็วสูง



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการสนทนาครั้งหนึ่งหลังจากผ่านตัวแยกสเปกตรัมของเสียง

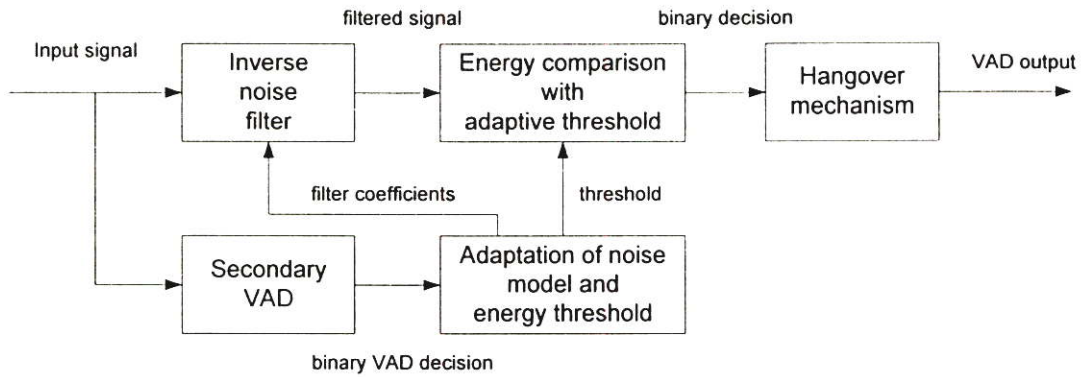
ซึ่งผลลัพธ์ที่ออกมาหลังจากผ่านกระบวนการตรวจจับสัญญาณเสียงก็จะได้สัญญาณสองประเภทนั่นคือ สัญญาณที่เป็นเสียงพูด (เช่นมีค่าของสัญญาณเป็น 1) หรือ สัญญาณรบกวนเท่านั้น (เช่นมีค่าของสัญญาณเป็น 0) โดยทั่วไปเพื่อที่จะง่ายในการคำนวณสัญญาณเสียงที่มาจากแหล่งกำเนิดนั้นจะถูกแบ่งออกเป็นช่วงของสัญญาณ (Frames) และกระบวนการจำแนกจะทำทุกๆครั้งของแต่ละช่วงของสัญญาณ

VAD มีประโยชน์อย่างมากกับระบบการสื่อสารที่เกี่ยวกับสัญญาณเสียง อย่างเช่น การเข้ารหัสของสัญญาณเสียง ระบบการจดจำเสียงพูด ระบบการสื่อสารไร้สาย ระบบการประชุมทางไกล และการกำจัดเสียงสะท้อน เหตุผลที่มีการใช้งานตรวจจับสัญญาณเสียงมีหลายข้อขึ้นอยู่กับการใช้งานแต่ละประเภท เช่นสมมติว่ามีความต้องการที่จะบันทึกสัญญาณเสียงหนึ่งๆ จำนวนของความจุที่จะบันทึก

สามารถลดลงได้เพราะว่าคลื่นรบกวนที่มาพร้อมกับแหล่งกำเนิดจะไม่ถูกบันทึกลงทำให้ใช้ความจุของสื่อบันทึกที่สามารถเก็บสัญญาณเสียงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในทำนองเดียวกัน เรื่องของการสื่อสารช่องสัญญาณ ที่ต้องการในการส่งสัญญาณเสียงสามารถลดขนาดให้เล็กลงได้ เพราะว่าจะมีเพียงสัญญาณเสียงของสัญญาณแหล่งกำเนิดอย่างเดียวนั่นที่จะถูกส่งออกไปได้ ที่จริงแล้วเสียงที่เกิดจากการสนทนาครั้งหนึ่งๆ จะประกอบด้วยลำดับการเกิดขึ้นของการพูดและความเงียบ ดังรูปที่ 2.7

### 2.2.1 อัลกอริทึมการตรวจจับสัญญาณเสียง ITU-T 8 kbit/s speech coding standard G.729

อัลกอริทึมการตรวจจับสัญญาณเสียงประกอบด้วยสองส่วนที่แยกจากกัน ส่วนแรกจะใช้เวลาเฉลี่ยของพารามิเตอร์ Liner Prediction (LP) เป็นตัวเปลี่ยนโดเมนของสภาวะสัญญาณรบกวนคงที่เพื่อที่จะกรองสัญญาณรบกวนที่มีพลังงานสูงที่สุดออกจากสัญญาณเสียงเป็นขั้นแรก จากนั้นพลังงานเสียงที่ออกมาจากตัวกรองจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่ากำหนดพลังงานที่ปรับเปลี่ยนได้ (Adaptive Energy Threshold) ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นข้อมูลที่เข้าไปสู่กลไกเฮงอเวอร์ (Hangover Mechanism) ซึ่งเป็นตัวตัดสินใจเฟรมว่าจะเป็นสัญญาณเสียง หรือสัญญาณรบกวน ตัวกรองสลับสัญญาณจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ LP สิบค่าที่เฉลี่ยจากแต่ละเฟรมเพื่อที่จะจำลองสเปกตรัมของสัญญาณรบกวน ค่าสัมประสิทธิ์ LP และค่ากำหนดพลังงานจะถูกปรับปรุงให้มีค่าที่เหมาะสมระหว่างแต่ละเฟรมเพื่อสำหรับแยกสัญญาณที่เป็นสัญญาณรบกวนเท่านั้น โดย Second VAD ซึ่งจะถูกปรับปรุงให้เหมาะสมที่จะสามารถตรวจหาเฟรมของสัญญาณรบกวน โดยที่กระบวนการตรวจจับสัญญาณรบกวนครั้งแรกจะขึ้นอยู่กับค่าการสุ่มหาสัญญาณรบกวนบนเฟรมที่เข้ามาต่อเนื่องกัน ถัดจากนั้นก็ขึ้นอยู่กับ ส่วนที่แตกต่างจากการตรวจจับครั้งแรกซึ่งคำนวณได้จากพลังงานที่ถูกกรองออกจากตัวกรองสลับสัญญาณ ในกรณีที่สัญญาณรบกวนมีค่าคงที่จำนวนพลังงานของสัญญาณรบกวนที่ถูกแยกออกจากตัวกรองจะไม่เปลี่ยนค่าระหว่างเฟรมถัดไป อัลกอริทึมถูกแสดงดังรูป 2.8



รูปที่ 2.8 การทำงานของการตรวจจับสัญญาณเสียงแบบ ITU-T 8 kbit/s speech coding standard G.729

อัลกอริทึมแบบนี้ถูกเลือกเพื่อนำมาเป็นเครื่องมือในการสร้าง DTX (Discontinuous Transmission) ในระบบมาตรฐาน GSM สมมติฐานอย่างง่ายของกระบวนการนี้คือสัญญาณรบกวนมีค่าคงที่ไปตลอดช่วงเวลาที่สังเกต ในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนรูปร่างสเปกตรัมของสัญญาณรบกวน จะถือว่าสัญญาณช่วงนั้นเป็นส่วนของสัญญาณเสียง สัญญาณผสมที่เข้ามาจะถูกกรองด้วยตัวกรองสัญญาณรบกวนที่ค่าสัมประสิทธิ์ถูกปรับปรุงให้เหมาะสมระหว่างช่วงสัญญาณผสมที่มีแค่สัญญาณรบกวนเท่านั้น จากนั้น พลังงานของสัญญาณที่ออกมาจากตัวกรองสัญญาณจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่ากำหนดที่ปรับค่าได้ซึ่งได้มาจากผลจากการคำนวณของคาบสัญญาณรบกวนก่อนหน้า การตรวจจับเฉพาะคาบของสัญญาณเสียงเกิดขึ้นจาก Second VAD ซึ่งจะตรวจสอบรูปร่างของสเปกตรัมของเฟรมของคาบเวลาหนึ่งๆ ถ้าการผิดเพี้ยนของรูปร่างสเปกตรัมมีค่าต่ำหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของสเปกตรัม จะสรุปว่าช่วงนั้นเป็นสัญญาณรบกวนอย่างเดียวเท่านั้น โดยที่หลักการเกิดขึ้นจากการพัฒนาอัลกอริทึมแบบต่างๆ ในกลุ่มประเทศยุโรป และยังคงใช้เป็นมาตรฐานร่วมกับระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

### 2.2.2 การประยุกต์ใช้งานการตรวจจับสัญญาณเสียงร่วมกับระบบเครือข่ายโทรศัพท์

แต่เดิมกระบวนการของ DTX ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับระบบดาวเทียม และระบบมาตรฐาน GSM เป็นระบบเครือข่ายโทรศัพท์ระบบแรกที่น่ามาประยุกต์ใช้ในเรื่องของการลดการบริโภคพลังงานของตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่และลดการแทรกสอดของคลื่นที่รบกวนกันระหว่างเซลล์ ระหว่างคาบของการสนทนาปกติแล้วจะมีสัดส่วนในการพูดประมาณ 50 % โดยที่ในแต่ละฝั่งของผู้เรียกและผู้ถูกเรียกจะครอบครองช่องสัญญาณเพื่อที่จะส่งเสียงพูดออกมาฝั่งละครั้งหนึ่งของการสนทนา การทำงานของ

DTX จะเกิดขึ้นต่อเมื่อตัวส่งสัญญาณ (Transmitters) ส่งสัญญาณออกไปในกรณีที่เฟรมนั้นประกอบด้วยข้อมูลที่มีความสำคัญเท่านั้น ซึ่งรวมไปถึงเสียงพูด และสัญญาณควบคุม ส่วนที่มีความหมายก็คือ เทคนิคการตรวจจับสัญญาณเสียงที่ผสมอยู่กับสัญญาณรบกวน อัลกอริทึมนี้จะรวมการตรวจจับสัญญาณเสียงเข้าไปด้วย

Actual frame

SSSSCCCCCCCCCCCCCCCCSSCCCCCCCS...

DTX frame

SSSSC \_ C \_ C \_ C \_ SSC \_ C \_ S ...

Where

S = speech frame

C = comfort noise frame

รูปที่ 2.9 การเปรียบเทียบแบบจำลองสถานะของช่องสัญญาณโทรศัพท์ที่ใช้กระบวนการ DTX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# การประยุกต์การจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับการส่งข้อมูลด้วยการ ตรวจจับสัญญาณเสียง

### 3.1 การส่งข้อมูลในเครือข่ายเซลลูลาร์

ระบบที่ใช้ในการส่งข้อมูลดิจิทัลบนเครือข่ายเซลลูลาร์ที่มีการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบแบ่งเวลา อาจจะถูกจัดเป็นสองระบบใหญ่ๆ คือ

- ระบบแบบสูญเสีย (Lossy System) ซึ่งมีลักษณะที่เห็นได้ชัดเจนเมื่อเกิดกรณีที่ไม่มีช่องสัญญาณว่างเพื่อรองรับการเรียกขอที่เข้ามา ดังนั้นการเรียกขอครั้งนั้นจะถูกปฏิเสธไป อย่งไรก็ตามข้อดีของระบบนี้คือระบบจะไม่ซับซ้อน และไม่มีการหน่วงของสัญญาณ และอาจถือได้ว่าระบบประเภทนี้เป็นระบบในอุดมคติ

- ระบบคิว (Queuing System) ในกรณีไม่มีช่องสัญญาณว่างเพื่อรองรับการเรียกขอที่เข้ามา การเรียกขอครั้งนั้นจะถูกพักไว้ที่คิว ซึ่งจะถูเก็บไว้เพื่อรอการประมวลผลต่อไป แทนที่จะถูกปฏิเสธจากระบบ และภายในระบบคิวยังสามารถแบ่งพฤติกรรมของระบบออกเป็น ระบบที่จำกัดเวลาที่รอคอยในคิว (การเรียกขอที่ถูกพักไว้ในคิวจะถูกตัดออกจากคิวหลังจากเวลาที่รอคอยในคิวมีค่าเกินกว่าเวลาสูงสุดที่อนุญาตให้อยู่ในคิว) และระบบที่ไม่จำกัดเวลาที่รอคอยในคิว (การเรียกขอจะสามารถอยู่ในคิวจนกว่าจะสามารถออกจากคิวเพื่อเข้าไปประมวลผลได้) และยังสามารถแบ่งรูปแบบของระบบคิวตามความจุของคิวได้ดังนี้ ระบบคิวที่ไม่จำกัดขนาดของคิว จำนวนการเรียกขอที่ไม่จำกัดจำนวนจะถูกพักไว้ในคิวจนกว่าจะได้รับการประมวลผล และระบบที่จำกัดขนาดของคิว ในกรณีที่จำนวนการเรียกขอที่อยู่ในคิวมีค่าเท่ากับจำนวนสูงสุดที่ระบบยอมรับ การเรียกขอครั้งถัดไปจะถูกปฏิเสธคล้ายกับระบบสูญเสีย การคำนวณอัตราการบล็อก (Blocking Rate) [3] ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณทราฟฟิก และคุณภาพการให้บริการสำหรับระบบไม่มีคิวจะสามารถจำแนกได้ตามอัตราการบล็อกของข้อมูลที่เข้ามา การบล็อกจะขึ้นอยู่กับปริมาณทราฟฟิก และจำนวนของตัวให้บริการ ในการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ อัตราการบล็อกจะถูกคำนวณจากสัดส่วนของเวลาที่ตัวให้บริการทุกตัวที่มีอยู่ในระบบถูกใช้งานพร้อมกันซึ่งก็คือสูตรของ Erlang-B ดังสมการที่ 3.1 โดยที่ B หมายถึงการบล็อก ผลจากสัดส่วนของระบบสูญเสียนี้จะมี

ค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ปริมาณทราฟฟิก A จะกำหนดค่าของเวลาการใช้บริการ และเวลาระหว่างการเข้ามาของข้อมูล ซึ่งทั้งหมดอยู่บนสมมติฐานของการกระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลตามค่ากลางที่กำหนด

$$\text{Erlang B formula: } B = E_{1,N}(A) = \frac{A^N}{\sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}} \quad (3.1)$$

โดยปกติในเครือข่ายเซลลูลาร์มีผู้ใช้ทรัพยากรคลื่นความถี่ของระบบอยู่สองประเภทคือ ผู้ใช้บริการด้วยสัญญาณเสียง และผู้ใช้บริการในการรับส่งข้อมูลดิจิทัล ดังนั้นประเภทของสัญญาณที่ถูกรับและส่งอยู่ในระบบนี้มีอยู่สองประเภทคือ

1. สัญญาณเสียง เป็นประเภทของข้อมูลที่สามารถสูญเสียได้ (Lossy Data) ตัวอย่างในกรณีที่มีการสนทนาสามารถดำเนินต่อไปได้ แม้ว่าสัญญาณเสียงระหว่างนั้นขาดหายและไม่ชัดเจนในบางช่วง จึงไม่จำเป็นที่ระบบจะต้องมีกระบวนการส่งซ้ำ (Retransmission) นอกจากนี้พฤติกรรมการใช้งานช่องสัญญาณของผู้ใช้ประเภทนี้ มีลักษณะคือ เพื่อที่จะส่งและรับฟังเสียง และมีการใช้ช่องสัญญาณเป็นเวลานาน
2. ข้อมูลดิจิทัล (ในการกล่าวต่อไปจะย่อใช้คำว่า ข้อมูล) เป็นประเภทของข้อมูลแบบที่ไม่สามารถสูญเสียได้ (Lossless Data) เพราะทุกๆบิตของข้อมูลจะมีความสำคัญเท่าๆกัน เมื่อฝ่ายส่งทำการส่งข้อมูลออกไปให้แก่ระบบ และข้อมูลถึงฝ่ายรับในสภาพที่ไม่สมบูรณ์หรือไม่ครบถ้วน จำเป็นต้องมีกระบวนการส่งซ้ำสำหรับสัญญาณประเภทนี้ โดยที่พฤติกรรมของการส่งข้อมูลจะมีลักษณะส่งข้อมูลเป็นชุดของแพ็คเกจเกิด (Burst Packet) ในช่วงเวลาสั้นๆ

เนื่องจากพฤติกรรมของสัญญาณที่มีอยู่ในระบบมีความแตกต่างกัน เพื่อที่จะให้เกิดการใช้ทรัพยากรคลื่นความถี่ของระบบให้มีประสิทธิภาพ จึงต้องมีการจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับผู้ใช้บริการตามลักษณะและพฤติกรรมที่สอดคล้องกับระบบที่สนใจ ในวิทยานิพนธ์นี้ระบบการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบแบ่งเวลาได้ถูกนำมาพิจารณา ในส่วนของการจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับการส่งสัญญาณเสียงและข้อมูล ซึ่งจะสนใจเฉพาะในส่วนของช่องสัญญาณทราฟฟิกที่เป็นคลื่นความถี่วิทยุ ระบบจะประกอบไปด้วย สถานีฐาน ผู้ใช้ที่รับส่งสัญญาณเสียง และผู้ใช้ที่รับส่งข้อมูล ในเซลล์หนึ่งๆ โดยที่การเกิดขึ้น

ของสัญญาณเสียง และความต้องการการส่งข้อมูลจะเป็นอิสระต่อกัน และการส่งข้อมูลจะอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ไม่มีความผิดพลาดจากการส่ง นอกเสียจากว่าเกิดการปะทะกันของการส่งสัญญาณเสียง และข้อมูลออกมาในเวลาเดียวกันของผู้ใช้ทั้งสอง เนื่องจากการส่งทิศทางขาลง ระบบสถานีฐานจะเป็นตัวจัดการลำดับการส่งและกำหนดการจองช่องสัญญาณ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงสนใจเฉพาะการควบคุมการจองช่องสัญญาณในทิศทางการส่งสัญญาณขาขึ้น

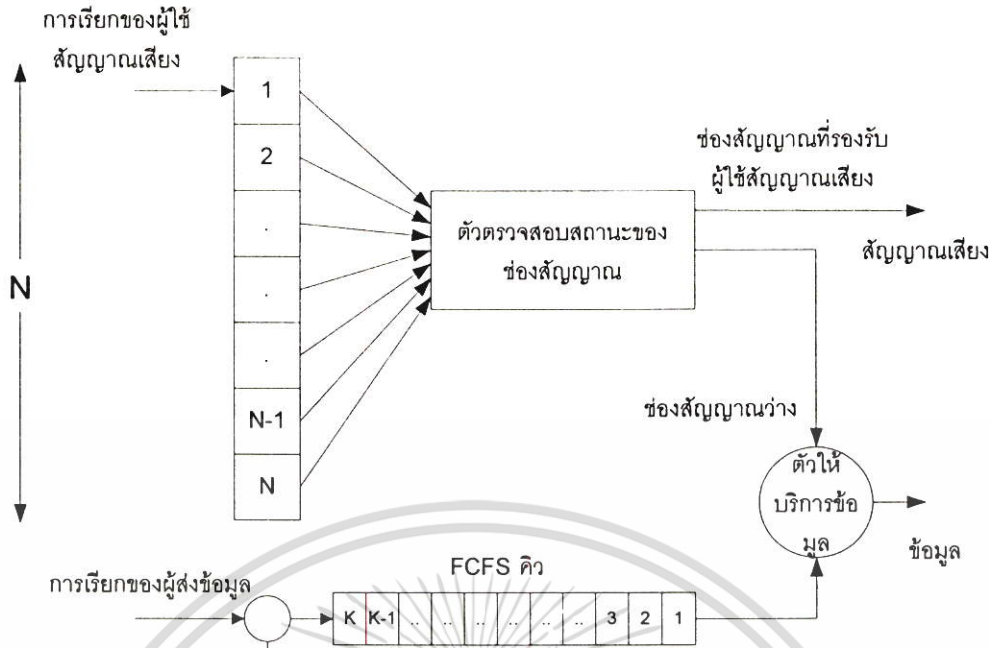
### 3.2 การจัดสรรช่องสัญญาณ

ในระบบที่มีการส่งข้อมูลร่วมกับการส่งสัญญาณเสียง หลังจากที่ผ่านมากระบวนการควบคุมทั้งหลายแล้ว ก็จะมาถึงส่วนการส่งข้อมูลที่เป็นเนื้อหาของผู้ใช้จริง ในเซลล์นั้นๆก็จะกำหนดช่องสัญญาณทราฟฟิกที่ไม่มีผู้ใช้งานอยู่ให้กับผู้ส่งข้อมูล จากช่องสัญญาณทราฟฟิกส่วนกลาง (The Common Pool of Physical Channels) ที่ถูกกำหนดรูปแบบของการจัดสรรช่องสัญญาณ โดยแบ่งรูปแบบได้ดังนี้ [4]

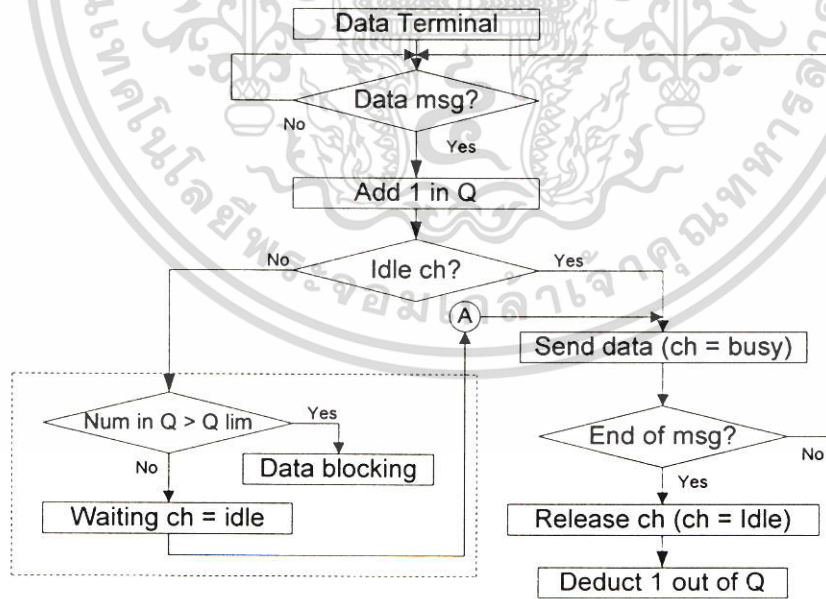
#### 3.2.1 การจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Voice Priority

การจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Voice Priority เป็นการจัดลำดับความสำคัญของผู้ใช้ประเภทต่างๆที่อยู่ในระบบคือ กำหนดให้การเข้ามาถึงของผู้ใช้สัญญาณเสียงมีความสำคัญมากกว่าผู้ส่งข้อมูล ไม่ว่าจะมีการเข้ามาถึงช่องสัญญาณพร้อมกันหรือ มีการใช้ช่องสัญญาณเพื่อการส่งข้อมูลอยู่แล้วก่อนหน้า ในกรณีที่ช่องสัญญาณถูกใช้งานทุกช่องโดยผู้ใช้สัญญาณเสียง เมื่อเกิดความต้องการส่งข้อมูลการร้องขอครั้งนั้นจะถูกพักต่อคิวในบัฟเฟอร์ เพราะวาระบบไม่สามารถจัดหาช่องสัญญาณทราฟฟิกให้กับ การเรียกของผู้ส่งข้อมูลนั้นได้ ซึ่งสามารถแสดงแบบจำลองของการจัดสรรช่องสัญญาณ และแสดง อัลกอริทึมของการส่งข้อมูลได้ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2

ในแบบจำลองการจัดสรรช่องสัญญาณของระบบ มีรูปแบบการเข้ามาใช้ช่องสัญญาณอยู่ 2 ชนิดคือ สัญญาณเสียง และ ข้อมูล จำนวนช่องสัญญาณจะมีค่าเท่ากับ  $N$  ช่อง บัฟเฟอร์แบบ FCFS (First Come First Serve) ทำหน้าที่เก็บการเรียกของผู้ส่งข้อมูลไว้ในบัฟเฟอร์ ในกรณีที่ไม่มีช่องสัญญาณว่างในช่วงเวลานั้น ในส่วนตัวตรวจสอบสถานะของสัญญาณจะทำหน้าที่กำหนดสถานะของช่องสัญญาณที่เวลาหนึ่ง โดยอาจจะเป็นตัวชี้ (Flag) ที่ผูกติดกับช่องสัญญาณแต่ละช่อง [5] เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกการใช้ช่องสัญญาณให้แก่ตัวให้บริการข้อมูล (Data Server)



รูปที่ 3.1 แบบจำลองการจัดการจราจรช่องสัญญาณแบบ Voice Priority



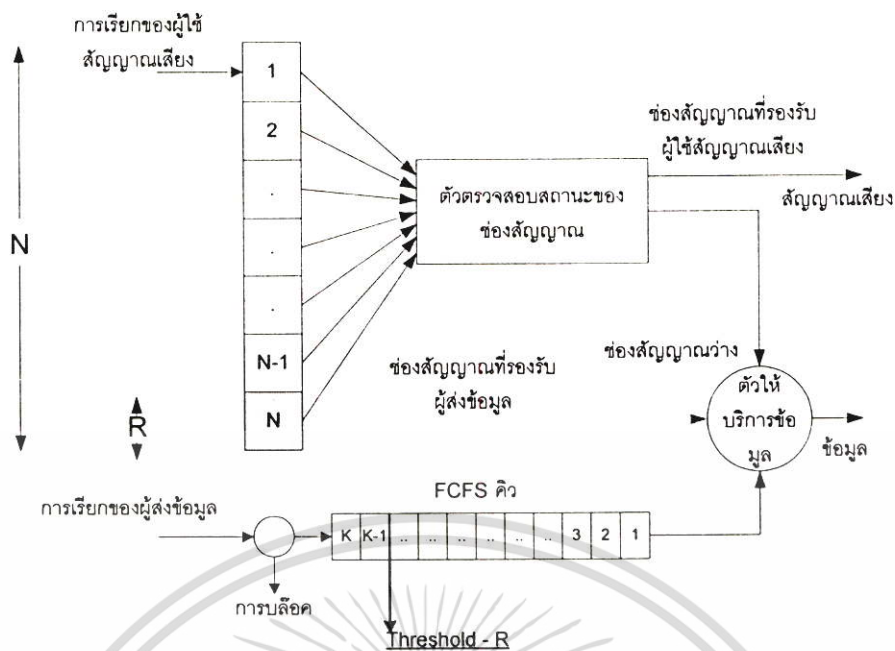
รูปที่ 3.2 อัลกอริทึมของการจัดการจราจรช่องสัญญาณแบบ Voice Priority

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

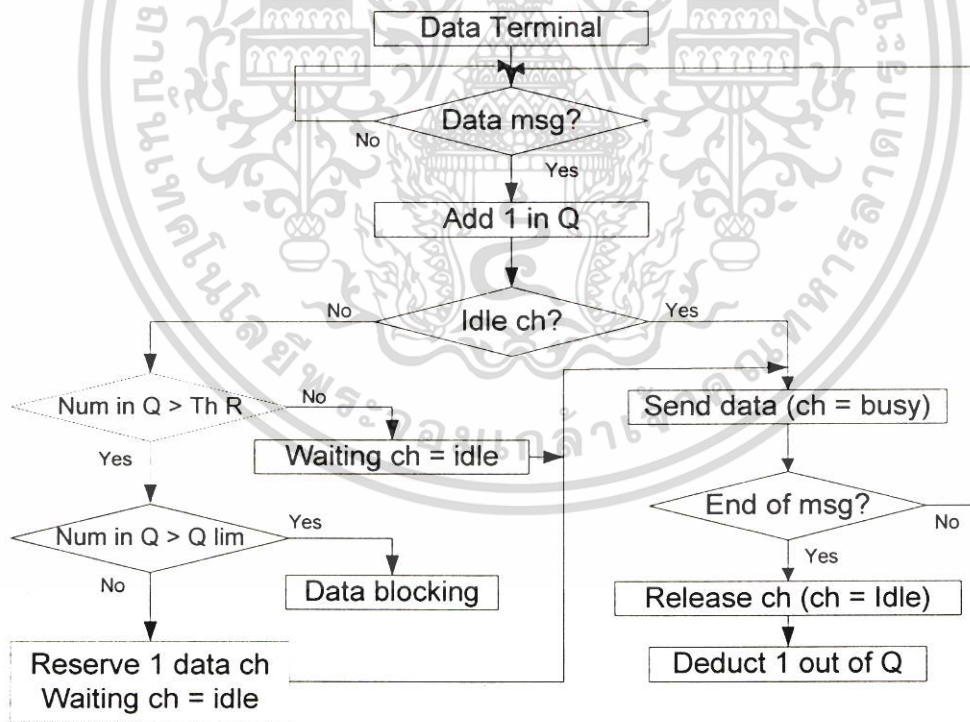
### 3.2.2 การจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Fixed Channel Allocation (FCA)

ในระบบเครือข่ายแบบดั้งเดิมที่มีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Voice Priority เมื่อมีช่องสัญญาณทราฟฟิกถูกใช้งานโดยผู้ใช้สัญญาณเสียงทั้งหมด และข้อมูลจะถูกพักต่อในบัฟเฟอร์เต็ม ข้อมูลที่เข้ามาครั้งใหม่จะถูกปฏิเสธจากระบบ เกิดการบล็อคของข้อมูลขึ้น เนื่องจากการใช้ช่องสัญญาณทราฟฟิกของผู้ใช้สัญญาณเสียงโดยเฉลี่ยแล้วมีเวลานาน (ประมาณ 3 นาที) เมื่อเทียบกับการใช้ส่งข้อมูล ในขณะที่จำนวนการร้องขอของข้อมูลจะมีค่าจำนวนมาก (ประมาณ 10 -100 ครั้งต่อวินาที ขึ้นอยู่กับประเภทของโปรแกรมประยุกต์) จะทำให้เกิดอัตราการบล็อคของข้อมูล (Blocking Probability) ในปริมาณที่สูง ซึ่งโปรแกรมประยุกต์บางประเภทต้องการการรับประกันคุณภาพของการให้บริการ (Quality of Service) ในกรณีที่ช่องสัญญาณถูกผู้ใช้สัญญาณเสียงใช้งานจนเต็มจะไม่มี การส่งข้อมูลเกิดขึ้นเลย

วิธีการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยมีการกำหนดช่องสัญญาณเฉพาะสำหรับการส่งข้อมูลเท่านั้น จากช่องสัญญาณทราฟฟิกส่วนกลาง ผู้ใช้สัญญาณเสียงจะไม่สามารถอนุญาตให้ใช้ช่องสัญญาณนี้ แม้ว่าช่องสัญญาณดังกล่าวจะว่างจากการใช้ส่งข้อมูลก็ตาม ซึ่งเป็นการรับประกันคุณภาพการให้บริการอย่างน้อยด้วยช่องสัญญาณที่กำหนดให้นี้ โดยที่ในแบบจำลองของการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ FCA ช่องสัญญาณที่ถูกจองสำหรับการส่งข้อมูลมีจำนวนเท่ากับ R (Reserved Channel) ซึ่งแบบจำลองและอัลกอริทึมถูกแสดงดังรูปที่ 3.3 และ 3.4



รูปที่ 3.5 แบบจำลองการจัดการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Dynamic Channel Allocation



รูปที่ 3.6 อัลกอริทึมของการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Dynamic Channel Allocation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

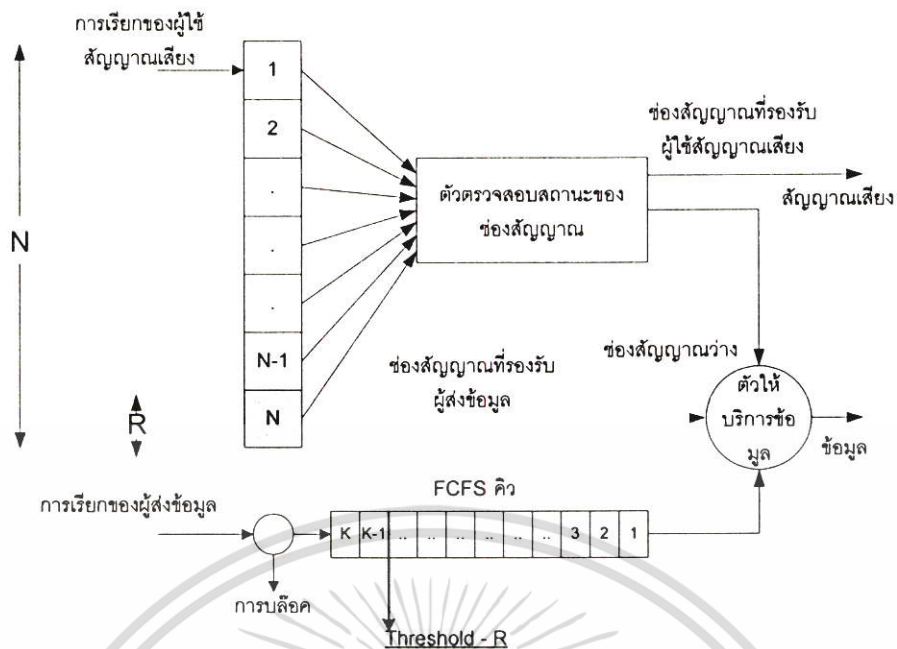
### 3.2.3 การจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Dynamic Channel Allocation (DCA)

จากการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ FCA มีการรับประกันคุณภาพของการส่งข้อมูลด้วยช่องสัญญาณที่จองไว้ แต่ในขณะที่เดียวกันก็ทำให้จำนวนช่องสัญญาณทราฟฟิกสำหรับการส่งสัญญาณเสียงลดลงตามจำนวนที่จองช่องสัญญาณ ซึ่งทำให้โอกาสที่จะมีผู้ใช้สัญญาณเสียงใช้งานช่องสัญญาณน้อยลง นั่นคือ อัตราการบล็อคของผู้ใช้สัญญาณเสียงจะเพิ่มขึ้น ในสภาพแวดล้อมจริง อัตราการบล็อคของผู้ใช้สัญญาณเสียงสามารถถูกทำให้ลดลงได้ เนื่องจากธรรมชาติของข้อมูลจะมีการเข้ามาเป็นระลอกอย่างไม่ต่อเนื่อง (Burst Packet) ดังนั้นการจองช่องสัญญาณอย่างถาวรสำหรับการส่งข้อมูล จะสูญเสียโอกาสของการใช้ช่องสัญญาณของผู้ใช้สัญญาณเสียงในกรณีที่ไม่มีข้อมูลบนช่องสัญญาณที่จองนั้น

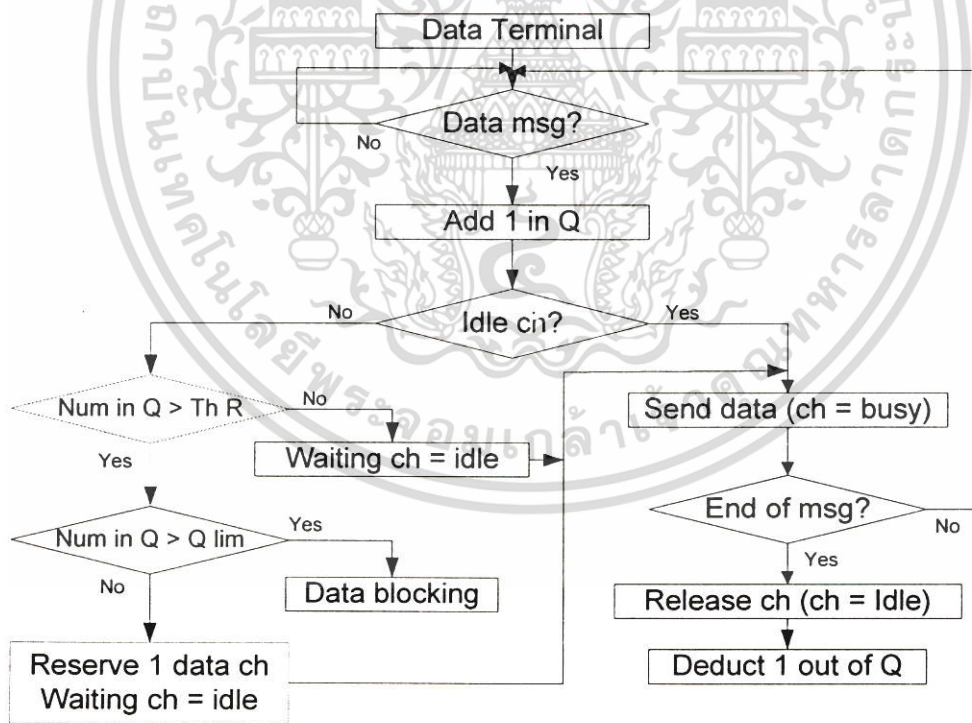
วิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการอนุญาตให้มีการจองช่องสัญญาณสำหรับการส่งข้อมูล ในกรณีที่มีความต้องการการส่งข้อมูลมากถึงระดับที่กำหนดไว้ โดยที่วิธีการนี้จะลดโอกาสการบล็อคของผู้ใช้สัญญาณเสียง และระบบสามารถจัดสรรช่องสัญญาณแก่ผู้ส่งข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ FCA

เนื่องจากการจองช่องสัญญาณเพื่อการส่งข้อมูล จะทำให้เกิดโอกาสการบล็อคที่เพิ่มขึ้นของผู้ใช้สัญญาณเสียง เพื่อความสะดวกในการให้บริการ ผู้ให้บริการสามารถปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการกำหนดวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ DCA โดยที่สามารถทำงานร่วมกับระบบคิวของข้อมูล นั่นคือ ระบบจะสามารถนำข้อมูลของคิวไปใช้ในการบ่งบอกถึงความต้องการของการส่งข้อมูล โดยมีการกำหนดค่ากำหนด (Threshold) สำหรับการจองช่องสัญญาณให้แก่ผู้ส่งข้อมูล วิธีการนี้ทำให้ได้มาซึ่งช่องสัญญาณทราฟฟิกแก่การส่งข้อมูล

นอกเหนือจากการจองช่องสัญญาณเพื่อส่งข้อมูลแล้ว การจัดสรรช่องสัญญาณแบบ DCA เป็นวิธีการที่ใช้แก้ปัญหาในเรื่องของปริมาณทราฟฟิกที่มีค่าไม่คงที่ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดในการใช้งานจริงในปัจจุบัน เช่น พฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้โทรศัพท์ ซึ่งจะมีความต้องการใช้งานอย่างมากในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน (Busy Hour) และมีความต้องการน้อยลงในช่วงเวลากลางคืน หรือพฤติกรรมการใช้งานที่ขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่อยู่บริเวณนั้นเช่น งานแสดงนิทรรศการ งานรับปริญญา เป็นต้น นอกจากนี้วิธีการนี้ยังสามารถใช้งานร่วมกับกระบวนการ Handover ได้อีกด้วย



รูปที่ 3.5 แบบจำลองการจัดการสรรช่องสัญญาณแบบ Dynamic Channel Allocation



รูปที่ 3.6 อัลกอริทึมของการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Dynamic Channel Allocation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ระบบเลือกใช้การจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Dynamic Channel Allocation จำนวนของการเรียกขอที่อยู่ในบัฟเฟอร์จะถูกตรวจสอบ ซึ่งจะมีความเป็นไปได้ในการส่งข้อมูลอยู่สองแบบคือ กรณีแรกการส่งข้อมูลจะถูกส่งผ่านช่องสัญญาณทราฟฟิกใดๆ เมื่อช่องสัญญาณนั้นว่าง ซึ่งมีเงื่อนไขการส่งคือ จำนวนของการเรียกขอที่อยู่ในบัฟเฟอร์มีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนด (Threshold-R) กรณีที่สองเมื่อจำนวนการเรียกขอมากกว่าค่าที่กำหนด ช่องสัญญาณทราฟฟิกจะถูกจองเพื่อที่จะส่งข้อมูล โดยเฉพาะทำให้มีช่องทางการส่งข้อมูลมากขึ้น และจะยกเลิกการจองเมื่อจำนวนการเรียกขอน้อยกว่าค่าที่กำหนด อัลกอริทึมการทำงานถูกแสดงดังรูปที่ 3.5 และ 3.6

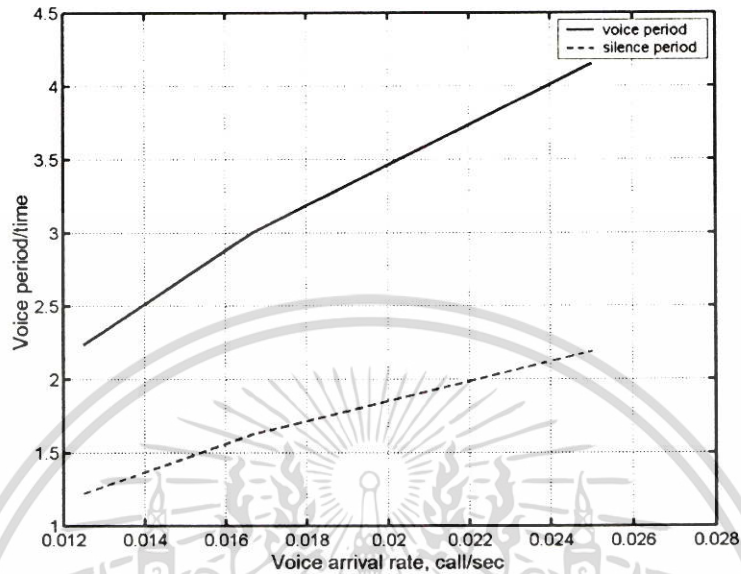
### 3.2.4 การจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Dynamic Channel Allocation with Voice Activity Detection (VAD)

โดยปกติแล้วในช่วงของการสนทนาของมนุษย์จะมีทั้งช่วงพูด (Speech) และช่วงเงียบ (Silence) ในแต่ละฝั่งของการสนทนาจะมีช่วงที่พูดอยู่ประมาณ 40-50 % แต่ในเครือข่ายเซลลูลาร์ที่เป็นแบบ TDMA ถึงแม้ว่าจะมีการใช้ช่วงเวลาที่ไม่พูดประมาณครึ่งหนึ่งก็ตามการจองช่องสัญญาณก็จะต้องทำจนจบการสนทนา ดังนั้นเพื่อที่จะทำการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณที่เหลือนี้จึงได้มีการนำกระบวนการที่เรียกว่า การตรวจจับสัญญาณเสียง เข้ามาใช้ในการจัดสรรช่องสัญญาณ

จากลักษณะทางธรรมชาติของการสนทนาทำให้ มีการใช้ประโยชน์ในช่วงเงียบของการสนทนา โดยการใช้ช่องสัญญาณนั้นส่งข้อมูล ซึ่งเป็นข้อมูลประเภท Non-real time เนื่องจากผลจากการตรวจจับสัญญาณเสียงจะทำให้รู้ถึงสถานะของช่องสัญญาณที่เวลานั้น ผู้ส่งข้อมูลสามารถรู้สถานะของช่องสัญญาณปัจจุบันจาก Flag ของแต่ละช่องสัญญาณ โดยที่ระบบจะอนุญาตให้ผู้ส่งข้อมูลสามารถส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณที่มีสถานะเป็น Silence ได้

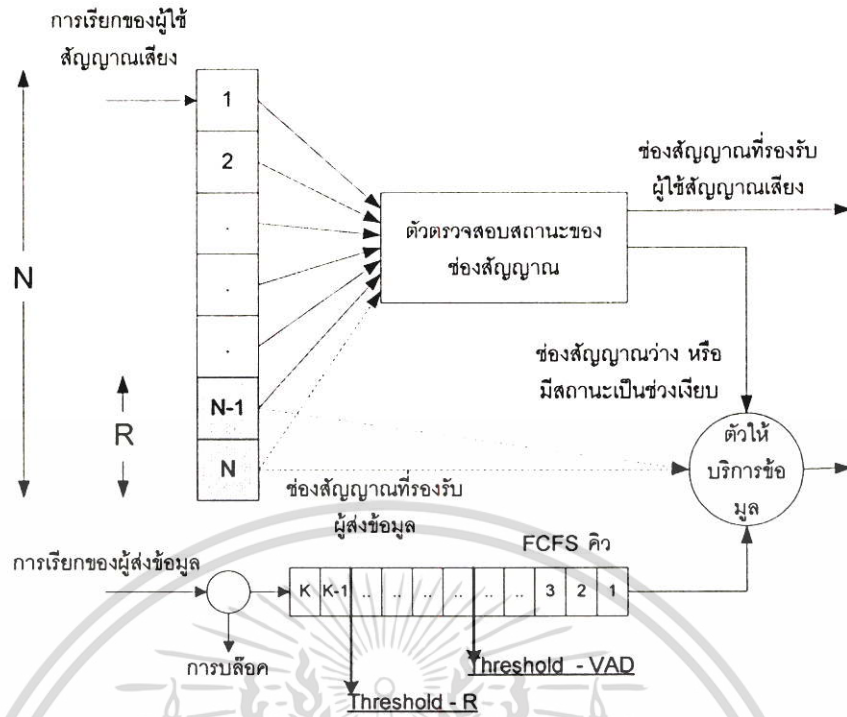
ข้อดีของการใช้ช่วงเงียบของการส่งข้อมูลก็คือ สามารถเพิ่มช่องทางการส่งข้อมูลจากเดิมที่เป็นวิธีการแบบ DCA แม้ว่าจะมีผู้ใช้สัญญาณเสียงใช้งานช่องสัญญาณจนไม่มีช่องสัญญาณเพียงพอแก่ผู้ส่งข้อมูลก็ตาม เพราะว่าวิธีการนี้ผู้ส่งข้อมูลไม่ได้แย่งใช้ช่องสัญญาณโดยตรง เสมือนกับเป็นเพียงการยืมช่องสัญญาณของผู้ใช้สัญญาณเสียงเท่านั้น โดยที่หลังจากระบบตรวจสอบแล้ว ว่าช่องสัญญาณทราฟฟิกทั้งหมดถูกใช้งานจากผู้ใช้สัญญาณเสียงและผู้ส่งข้อมูล แต่ตักเกิดที่อยู่ในบัฟเฟอร์หรือที่เข้ามาใหม่จะรองจนกว่าจะได้รับตัวชี้สถานะของช่องสัญญาณทราฟฟิกที่มีค่าเป็น Silence จากนั้นตัวให้บริการข้อมูล

จะอนุญาตให้มีการส่งข้อมูลผ่านทางช่องสัญญาณนั้นที่เวลานั้นได้ จากรูปที่ 3.7 จะเห็นว่าเมื่อมีการใช้งานของผู้ใช้สัญญาณเสียงมากขึ้นจะทำให้เกิดช่วงเงียบของการสนทนามากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 3.7 อัตราส่วนของช่วงเวลาในการสนทนากับเวลาทั้งหมด และช่วงที่เป็นช่วงเงียบกับเวลาทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

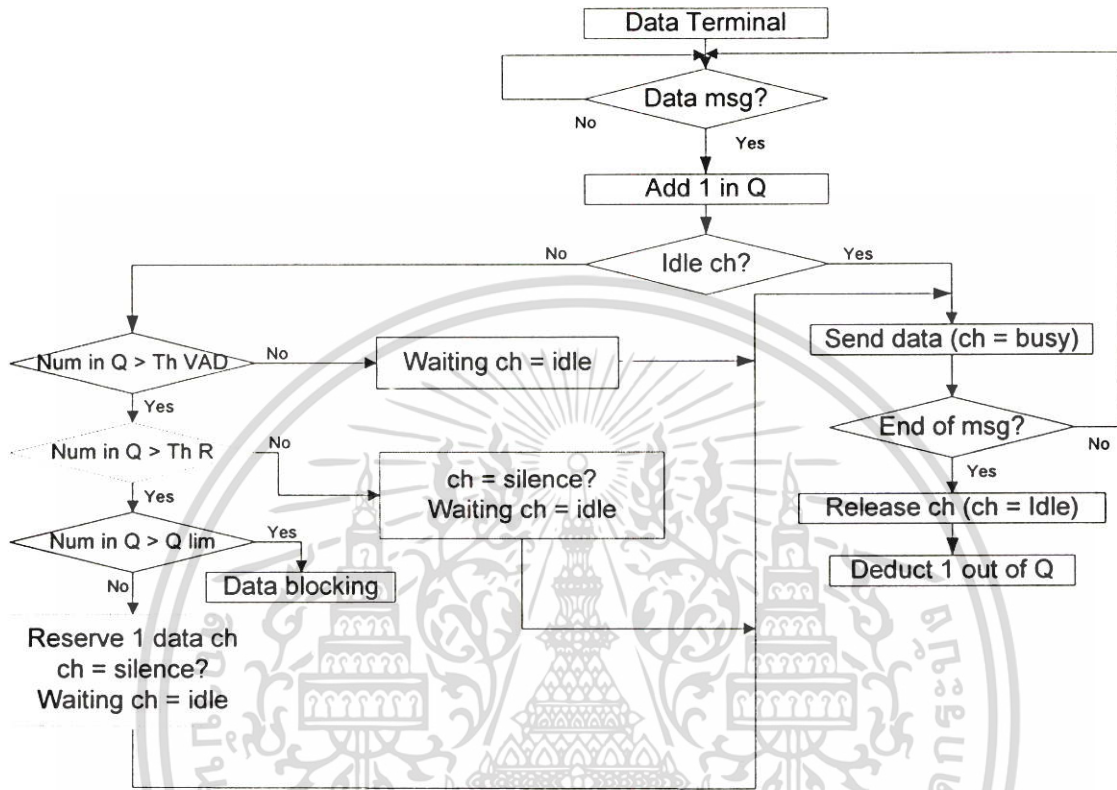


รูปที่ 3.8 แบบจำลองการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Dynamic Channel Allocation with VAD

วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบนี้คล้ายกับการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ DCA แต่หากได้มีการคำนึงถึงพฤติกรรมของผู้ใช้สัญญาณเสียงเข้ามาพร้อมด้วย วิธีการนำเอาช่วงเงียบของผู้ใช้สัญญาณเสียงเข้ามาร่วมก็คือ การเสนอค่ากำหนดตัวที่สอง (Threshold-VAD) เพื่อที่จะเพิ่มทางเลือกในการส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณที่มีอยู่อย่างจำกัดนั่นเอง

ในกรณีที่ระบบเลือกใช้การจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Dynamic Channel Allocation with VAD จำนวนของการเรียกขอที่อยู่ในบัฟเฟอร์จะถูกตรวจสอบทุกครั้งที่มีการเรียกขอเข้ามา ซึ่งจะมีความเป็นไปได้ในการส่งข้อมูลเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งช่องทางคือ กรณีแรกการส่งข้อมูลจะถูกส่งผ่านช่องสัญญาณทราฟฟิกใดๆ เมื่อช่องสัญญาณนั้นว่าง ซึ่งมีเงื่อนไขการส่งคือ จำนวนของการเรียกขอที่อยู่ในบัฟเฟอร์มีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนด (Threshold-VAD) แบบจำลองถูกแสดงดังรูปที่ 3.8 กรณีที่สองเมื่อจำนวนการเรียกขอมากกว่าค่าที่กำหนดตัวที่สอง ผู้ใช้สัญญาณที่ครอบครองช่องสัญญาณทราฟฟิกอยู่จะถูกตรวจสอบสถานะว่าง และข้อมูลจะถูกส่งผ่านช่องสัญญาณทราฟฟิกนั้นหาก flag ของช่องสัญญาณมีสถานะเป็น Silence และกรณีสุดท้ายช่องสัญญาณทราฟฟิกจะถูกจองเพื่อที่จะส่งข้อมูลโดยเฉพาะ เมื่อจำนวนการเรียกขอมากกว่าค่าที่กำหนด(Threshold-R) ทำให้มีช่องทางการส่งข้อมูลมากขึ้น และจะยกเลิก

การจองเมื่อจำนวนการเรียกขोनน้อยกว่าค่ากำหนด อัลกอริทึมการทำงานถูกแสดงดังรูปที่ 3.9 การใช้ประโยชน์จากช่วงเงียบของช่องสัญญาณเป็นทางเลือกที่เพิ่มขึ้นในการส่งข้อมูลบนระบบเครือข่ายเซลลูลาร์ที่มีการใช้งานร่วมกันระหว่างผู้ใช้สัญญาณเสียงและผู้ส่งข้อมูลนั่นเอง



รูปที่ 3.9 อัลกอริทึมของการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Dynamic Channel Allocation with VAD

## บทที่ 4

### การจำลองเหตุการณ์และ ผลการทดลอง

จากแนวคิดและหลักการที่นำเสนอสามารถทดสอบได้โดยการจำลองเหตุการณ์ เพื่อสร้างภาวะที่ต้องการ และศึกษาผลตอบสนอง แล้วนำมาสรุปผล ในบทนี้จะแสดงถึงรายละเอียดของกระบวนการจำลองเหตุการณ์จากสิ่งที่น่าสนใจ ซึ่งก็คือ ระบบ และเพื่อที่จะศึกษาคุณสมบัติเฉพาะของระบบ อย่างง่ายแก่การจำลองและไม่ซับซ้อน จะต้องมีการสร้างสมมติฐานการเกิดเหตุการณ์นั้นๆ ภายใต้อุบัติการณ์ และตัวแปรที่น่าสนใจ โดยที่สมมติฐานซึ่งเกิดจากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ หรือจากหลักของตรรกศาสตร์ จะนำไปสู่แบบจำลองที่ใช้อธิบายการเกิดเหตุการณ์ของระบบ

เนื่องจากในระบบของเครือข่ายเซลลูลาร์เป็นระบบที่ใหญ่และมีความซับซ้อน การศึกษาพฤติกรรมจึงต้องมีการกำหนดข้อจำกัด และตัวแปรของระบบเพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณ โดยที่ผลที่ได้จากการจำลองจะเป็นค่าที่ประมาณการของแบบจำลองของระบบนั้นๆ

#### 4.1 การจำลองเหตุการณ์

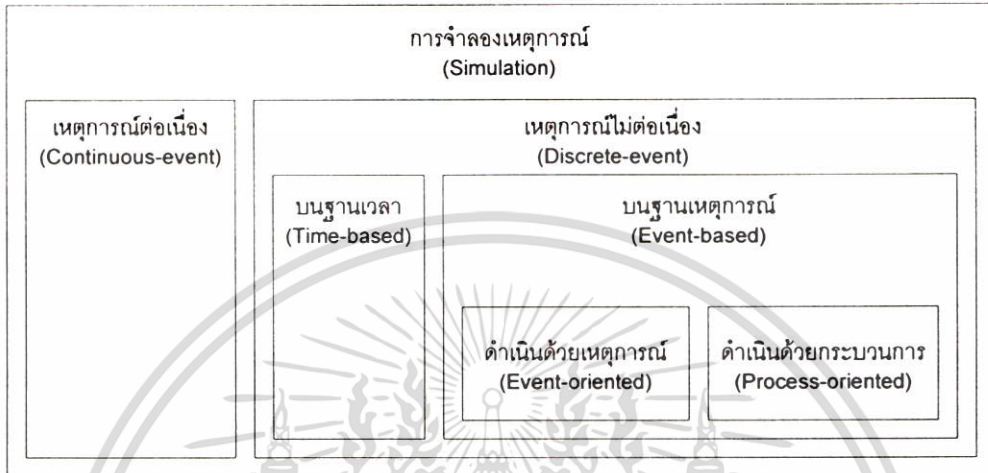
การสร้างแบบจำลองเหตุการณ์มีรูปแบบที่แบ่งชั้นได้ดังรูปที่ 4.1 โดยการจำลองเหตุการณ์สามารถเลือกได้ว่าจะมีการจำลองในลักษณะเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นแบบต่อเนื่อง (Continuous-event) หรือแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete-event) เนื่องจากข้อดีของการจำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง คือการใช้เวลาในการจำลองที่สั้นกว่า และมีความเร็วที่เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแบบต่อเนื่อง ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวเฉพาะลักษณะการจำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่องเท่านั้น [8]

ในการสร้างแบบจำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง การเกิดเหตุการณ์และการเก็บค่าเพื่อไปคำนวณหาค่าทางสถิติ มีฐานการดำเนินไปอยู่ 2 แบบ คือ

##### 1) บนฐานเวลา (Time-based)

การจำลองแบบนี้มักเรียกว่าการจำลองแบบซิงโครนัส (Synchronous Simulation) ซึ่ง

ลูปควบคุมหลัก (Main Control Loop) ในการจำลองจะควบคุมขั้นเวลาในการดำเนินการเป็นขั้นแบบคงที่ ซึ่งที่สถานะเริ่มต้นของลูปควบคุมเวลา  $t$  จะเพิ่มเป็นขั้นคงที่  $\Delta t$  ไปเป็นเวลา  $[t, t + \Delta t]$  และดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปทั้งนี้ขึ้นกับสิ่งที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าวแล้วจึงดำเนินวงจรรอบใหม่ในการจำลองต่อไปเรื่อยๆ



รูปที่ 4.1 โครงสร้างของการจำลองเหตุการณ์

## 2) พื้นฐานเหตุการณ์ (Event-based)

การจำลองแบบนี้มักเรียกว่าการจำลองแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Simulation) ซึ่งแตกต่างกับแบบพื้นฐานเวลา ตรงที่ขั้นเวลาในการดำเนินการเป็นขั้นเวลาที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ การจำลองถูกควบคุมโดยการเกิดเหตุการณ์ถัดไปโดยไม่คำนึงว่าจะเป็นช่วงเวลาทิ้งห่างเท่าไร ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้การจำลองแบบนี้มีประสิทธิภาพขั้นเวลาอาจยาวนานหรือสั้นก็ได้ เพื่อให้ได้หนึ่งเหตุการณ์ในหนึ่งขั้นเวลา ทำให้ปัญหาการเกิดเหตุการณ์ที่ไม่อิสระต่อกันในช่วงหนึ่งขั้นเวลาหมดไป

เมื่อใดก็ตามที่มีเหตุการณ์หนึ่งๆเกิดขึ้น เหตุการณ์ที่เกิดหลังจากนั้นก็จะเป็เหตุการณ์ที่เกิดในอนาคต เมื่อพิจารณาช่วงเวลาใดๆ จะได้คิวของเหตุการณ์ ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้จะทำให้สถานะระบบเปลี่ยนไป เมื่อเหตุการณ์ปัจจุบันทำให้สถานะเปลี่ยน และเหตุการณ์ถัดไปก็ถือว่าเป็นเหตุการณ์ที่รอการดำเนินการเพื่อให้สถานะในระบบเปลี่ยนในอนาคตซึ่งเหตุการณ์ในอนาคตเหล่านั้นมักถูกรวมเป็นรายการลำดับเหตุการณ์ (Order Event List) เมื่อใดก็ตามที่เหตุการณ์แรกถูกจำลอง (หรือถูกดำเนิน

การณ์) เรียบร้อยแล้ว เหตุการณ์ถัดไปจะถูกดำเนินการ จะถูกอ่านจากรายการดังกล่าว และเวลาที่ถูกบันทึกในการจำลองก็จะถูกปรับค่าตาม ในการจำลองเหตุการณ์แบบนี้ เหตุการณ์ใหม่จะถูกสร้างขึ้น และแทรกในรายการลำดับเหตุการณ์ตรงตำแหน่งเวลาที่ถูกต้อง หลังจากนั้นเหตุการณ์ที่อยู่ลำดับต้นๆ ในรายการจะถูกดำเนินการ

การจำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่องในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์และการสื่อสารมักเป็นการจำลองแบบตั้งอยู่บนฐานเหตุการณ์ ซึ่งการจำลองแบบนี้มีข้อจำกัดเพียงแค่ว่าต้องกำหนดตำแหน่งเวลา ณ ช่วงของเหตุการณ์ที่จะเกิดในอนาคตลำดับถัดไปเอง แต่ข้อจำกัดนี้อาจเป็นปัญหาในบางกรณี เช่น สำหรับในการจำลองที่กำหนดให้มีการกระจายแบบที่ซับซ้อนของค่าประวิงเวลา หรือระบบที่เป็นไดนามิกแบบปรับค่าได้ต่อเนื่อง (Continuous-variable Dynamic System) ในกรณีที่เป็นปัญหาดังกล่าวนี้การจำลองบนฐานเวลาอาจเหมาะสมกว่าในการจำลองโดยให้เหตุการณ์เป็นตัวดำเนินเรื่อง นิยามการดำเนินการ  $P_i$  สำหรับเหตุการณ์ทุกประเภทของเหตุการณ์ที่  $i$  ที่สามารถเกิดขึ้นได้ ซึ่งรายการเหตุการณ์ (Event List) จะถูกนิยามขึ้นในการจำลองนั้นๆ เมื่อเริ่มต้นรายการเหตุการณ์ ควบคุมหลักจะเริ่มทำงาน เหตุการณ์แรกที่จะเกิดขึ้น จะถูกเลือกจากรายการเหตุการณ์ เวลาที่ดำเนินไปในการจำลองจะถูกเพิ่มขึ้นจนเท่ากับค่าเวลาที่เหตุการณ์ปัจจุบันเกิด จากนั้นถ้าถึงลำดับเหตุการณ์ที่  $i$  การดำเนินการ  $P_i$  จะทำงานซึ่งสถานะของระบบที่จำลองเหตุการณ์จะเปลี่ยนตามสิ่งที่เกิดจากเหตุการณ์  $i$  และเหตุการณ์ใหม่จะถูกสร้างขึ้นแล้วถูกแทรกเพิ่มไปในรายการลำดับเหตุการณ์ในตำแหน่งที่ถูกต้อง หลังจากดำเนินการ  $P_i$  หายุดลง ค่าต่างๆที่เกิดขึ้น ณ เวลานั้นจะถูกเก็บเป็นสถิติและ ควบคุมหลักจะทำงานต่อไป โดยทั่วไปหลักเกณฑ์ในการหยุดทำงานจะรวมเวลาในการจำลอง จำนวนเหตุการณ์ที่ถูกประมวลผล จำนวนเวลาที่ใช้ในการประมวลผล หรือความกว้างของช่วงเวลาที่เชื่อมั่นที่ถูกคำนวณได้ในการวัดค่าที่อยู่ในช่วงที่สนใจ

เนื่องจากลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองบนฐานเหตุการณ์ จะต้องเก็บค่าตัวแปรที่ได้ในปัจจุบันซึ่งเป็นผลมาจากเวลาของการจำลองเคลื่อนที่ไปถึงตามกระบวนการจำลองนั้น ดังนั้นองค์ประกอบที่สำคัญในการเข้าถึงแต่ละเหตุการณ์ก็คือ กลไกของการเพิ่มเวลา (Time-advance Mechanisms) ที่จะเลื่อนเวลาของระบบจากค่าหนึ่งไปสู่อีกค่าหนึ่ง ซึ่งกลไกของการเพิ่มเวลานี้ได้ถูกเสนอไว้สองแบบคือ การเพิ่มเวลาจากเหตุการณ์ถัดไป (Next-event Time Advance) และ การเพิ่มเวลาจากค่าคงที่ (Fixed-increment Time Advance) เนื่องจากในวิทยานิพนธ์นี้ใช้การเพิ่มเวลาจากเหตุการณ์ถัดไป ดังนั้นจะกล่าวถึงรายละเอียดเฉพาะกลไกนี้เท่านั้น

ในโลกการเพิ่มเวลาจากเหตุการณ์ถัดไป นาฬิกาของระบบจะถูกกำหนดค่าเริ่มต้นเป็นศูนย์ และจากค่าเวลาต่างๆของเหตุการณ์ที่จะเกิดในอนาคตที่มีค่าน้อยที่สุดนั่นคือเหตุการณ์ที่จะเกิดถัดจากเวลาเริ่มต้น นาฬิกาของระบบจะถูกกำหนดให้ตรงกับเหตุการณ์นั้น เหตุการณ์ดังกล่าวจะเกิดขึ้น และจากนั้นนาฬิกาของระบบจะถูกกำหนดไปยังเหตุการณ์ถัดไป เหตุการณ์ดังกล่าวก็จะเกิดขึ้นไปเรื่อยๆ กระบวนการของการเพิ่มเวลาจะดำเนินไปจนกระทั่งสิ้นสุดการจำลองตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ก่อนเริ่มการจำลอง

องค์ประกอบที่สำคัญที่ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายในการจำลองเหตุการณ์แบบการเพิ่มเวลาจากค่าคงที่ และเป็นแม่แบบในการสร้างโปรแกรมการจำลองในระบบ Queuing แบบ M/M/1 คือ

**System state:** การเก็บค่าตัวแปรจากระบบมีความสำคัญอย่างมากในการที่จะบอกถึงสถานะของระบบ เพื่อที่จะนำค่าเหล่านั้น ไปคำนวณถึงเหตุการณ์ถัดไป

**Simulation clock:** เป็นตัวแปรที่กำหนดคนาฬิกาของระบบ

**Event list:** เป็นรายการของเวลาที่จะเกิดเหตุการณ์ถัดๆไป

**Statistic counters:** ค่าตัวแปรต่างๆที่ถูกนิยามไว้ในระบบ และถูกเก็บไว้เพื่อเป็นผลจากการจำลองของระบบ

**Initialization routine:** เป็นโปรแกรมย่อยที่กำหนดค่าต่างๆก่อนที่การจำลองจะเริ่มขึ้น ซึ่งก็คือการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ณ เวลา  $t = 0$

**Timing routine:** เป็นโปรแกรมย่อยที่กำหนดเหตุการณ์ต่างๆถัดไปจากรายการของเหตุการณ์ (Event List) และเพิ่มเวลาให้กับนาฬิกาของระบบไปยังเหตุการณ์นั้นๆตามลำดับ

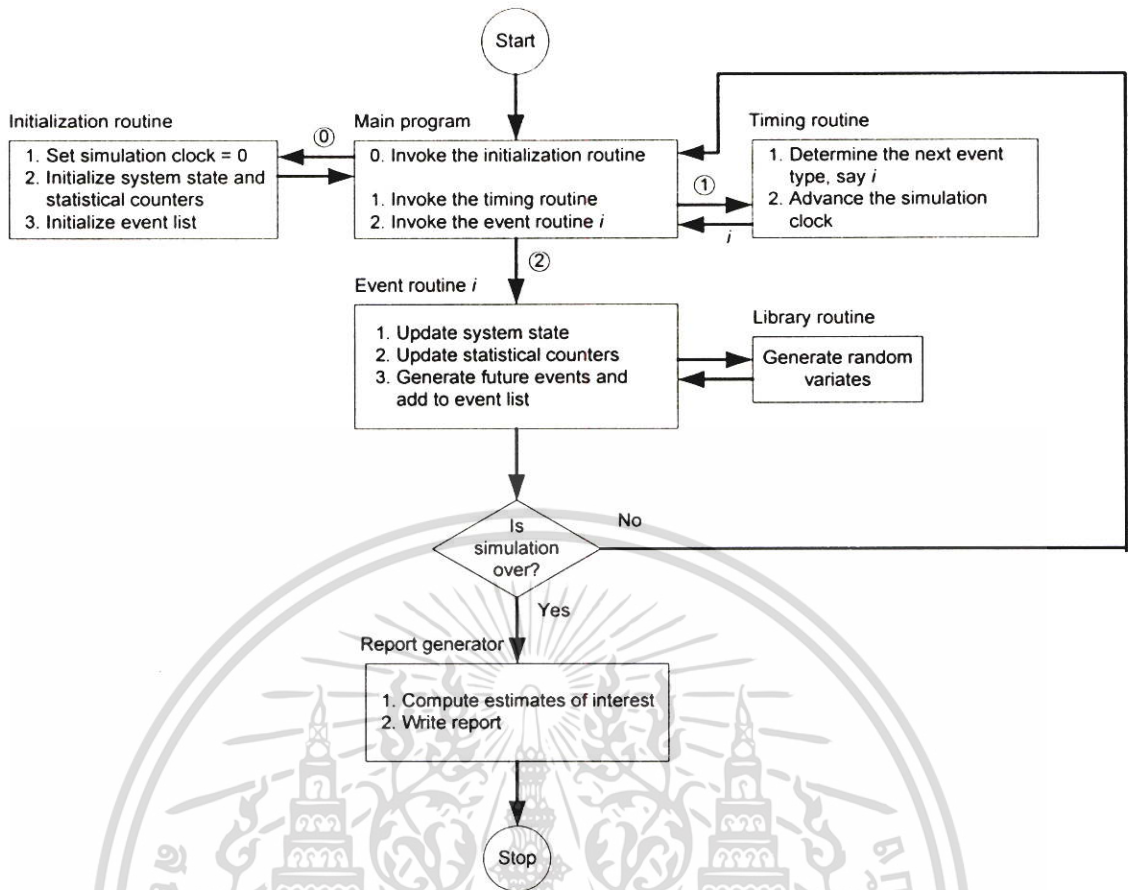
**Event routine:** เป็นโปรแกรมย่อยที่ปรับปรุงค่าตัวแปรของระบบ เมื่อชนิดของเหตุการณ์นั้นๆเกิดขึ้น

**Library routines:** เป็นกลุ่มโปรแกรมย่อยที่ตามที่แบบจำลองต้องการ เช่น โปรแกรมกำหนดตัวแปร

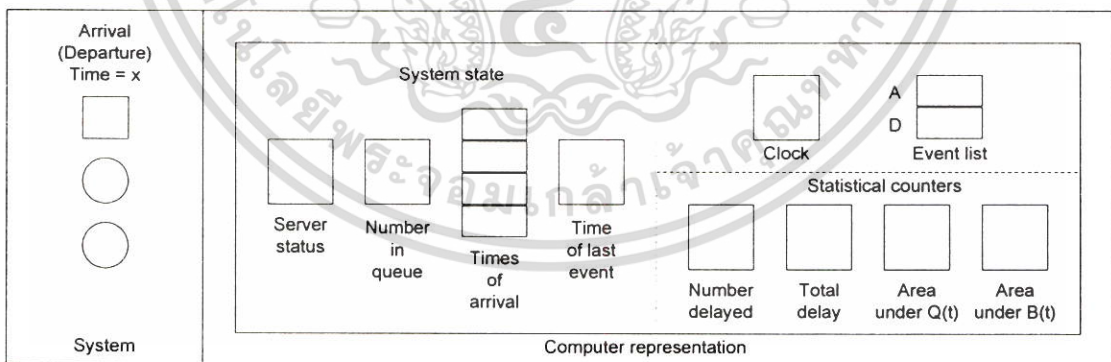
**Report generator:** เป็นโปรแกรมย่อยนำผลจากการจำลอง เช่น ตัวแปรต่างๆ มาคำนวณค่าสถิติและรายงานตามความต้องการที่กำหนดไว้หลังจากการจำลองเสร็จสิ้น

**Main program:** เป็นโปรแกรมย่อยที่บริหารองค์ประกอบของการจำลองให้ดำเนินไปอย่างถูกต้อง ซึ่งจะเป็นตัวตรวจสอบ Timing Routine เพื่อที่จะกำหนดเหตุการณ์ถัดไป และยังเป็นตัวกำหนดการรายงานหลังจากการจำลองเสร็จสิ้น

องค์ประกอบดังกล่าวสามารถถูกนำมาแสดงเป็นอัลกอริทึม ที่มีความเกี่ยวพันแต่ละกระบวนการย่อย จนได้เป็นระบบการจำลองบนฐานเหตุการณ์ ดังรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 แสดงองค์ประกอบของแต่ละกระบวนการย่อยอยู่ในแบบรูปภาพ ที่แสดงถึงการจัดการของหน่วยความจำบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ ในรูปของ “System” ที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากร (Server) และวงกลมหมายถึงผู้ใช้บริการที่เข้ามาในระบบ ซึ่งระบบนี้จะถูกจัดไว้ที่ตำแหน่งนี้ ในรูปของ “Computer representation” แสดงถึงค่าของตัวแปรต่างๆเกิดขึ้นในระบบที่เวลาหนึ่งๆ



รูปที่ 4.2 อัลกอริทึมของการจำลองบนฐานเหตุการณ์ (Event-based)



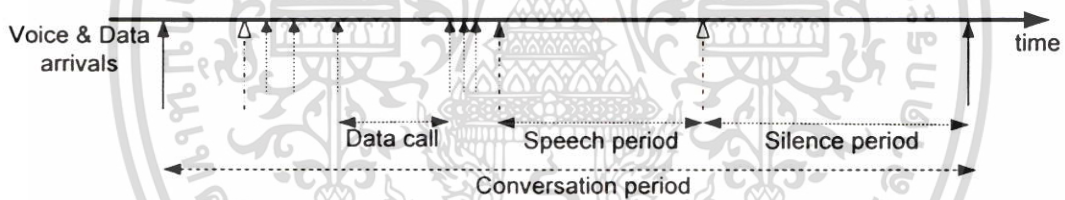
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างแสดงองค์ประกอบและ ตัวแปรของการจำลองเหตุการณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การสร้างแบบจำลองเหตุการณ์

การสร้างแบบจำลองเหตุการณ์ที่จะเลือกใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ จะเป็นการจำลองแบบโดยวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete-event Simulation) ที่ดำเนินไปบนฐานเหตุการณ์ (Event-based) โดยมีเหตุการณ์เป็นตัวดำเนินเรื่อง (Event-oriented) ซึ่งเหตุการณ์ที่จะพิจารณา คือ เหตุการณ์ที่มีการร้องขอของการส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณทราฟฟิก และการตอบสนองของระบบกับการเรียกที่เข้ามาตามเงื่อนไขที่เวลานั้นตามรูปที่ 4.4 โดยที่สมมติฐานของการจำลองเหตุการณ์จะมีรายละเอียดดังนี้

- ไม่มีการคำนึงถึงการส่งซ้ำในระบบ
- พิจารณาเฉพาะทิศทางการส่งแบบทางเดียว
- การร้องขอของผู้ส่งข้อมูล และสัญญาณเสียง จะมีพฤติกรรมแบบ Poisson
- ทุกๆการร้องขอของผู้ส่งข้อมูลจะนำไปสู่ความต้องการการส่งข้อมูล ที่มีขนาดเป็นค่าเฉลี่ยแบบ Geometric มีค่าเท่ากับ  $= 1/\mu_d$



รูปที่ 4.4 ภาพแสดงถึงการเข้ามาของทราฟฟิกทั้งสองชนิด

จากรูปที่ 4.5 ถึง 4.8 จะเป็นตัวอย่างลำดับการทำงานของโปรแกรมการจำลองเหตุการณ์การเข้ามาของการร้องขอของผู้ส่งข้อมูล และการจากไปของการส่งข้อมูลจากการเรียกขอครั้งหนึ่งๆ ของการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ Voice Priority โดยที่ถ้าเป็นส่วนของการจัดสรรช่องสัญญาณแบบอื่น ตัวอย่างเช่น การจัดสรรช่องสัญญาณแบบ FCA จะมีการจองช่องสัญญาณทราฟฟิกสำหรับการส่งข้อมูลเท่านั้น โดยที่มีการกำหนดตัวชี้ (Flag) สถานะของช่องสัญญาณ ในส่วนของการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ DCA ค่ากำหนด (Threshold) จะถูกเสนอขึ้นมาเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับจำนวนของการร้องขอของผู้ส่งข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์ที่เวลานั้น เพื่อที่จะจองช่องสัญญาณทราฟฟิกในกรณีที่จำนวนการร้อง

ขอนั้นมีค่ามากกว่าค่ากำหนด และจะมีการกำหนดตัวชี้สถานะของช่องสัญญาณต่อไป นั้นหมายความว่า ระบบมีความต้องการส่งข้อมูลที่มากขึ้น และในส่วนของ การจัดสรรช่องสัญญาณแบบ VAD ค่ากำหนดตัวใหม่จะถูกเสนอขึ้นมา เพื่อนำมาใช้ร่วมกับการตรวจจับสัญญาณเสียงของผู้ใช้สัญญาณเสียงที่มีการครอบครองช่องสัญญาณอยู่ และในขณะที่นั้นไม่มีการส่งสัญญาณเสียงใดๆ ขึ้นไปยังสถานีฐาน ซึ่งที่เวลานั้นสถานะของช่องสัญญาณดังกล่าวจะมีค่าเป็น Silence ซึ่งถ้าหากจำนวนการร้องขอของผู้ส่งข้อมูลมีค่าเกินกว่าค่ากำหนดที่นำเสนอตัวใหม่นี้ ระบบจะอนุญาตให้มีการส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณที่มีสถานะ Silence ได้ โดยที่สถานะทั้งหมดของช่องสัญญาณที่สามารถเป็นไปได้ในการทำงานนี้คือ

**Idle** หมายถึง ช่องสัญญาณว่าง สามารถรองรับการใช้งานของผู้ใช้ทั้งสองประเภท

**Busy** หมายถึง ช่องสัญญาณถูกใช้งานจากผู้ใช้นสัญญาณเสียง

**Silence** หมายถึง ช่องสัญญาณถูกใช้งานจากผู้ใช้นสัญญาณเสียง แต่ไม่มีการส่งสัญญาณเสียงใดๆขึ้น ไปยังสถานีฐาน

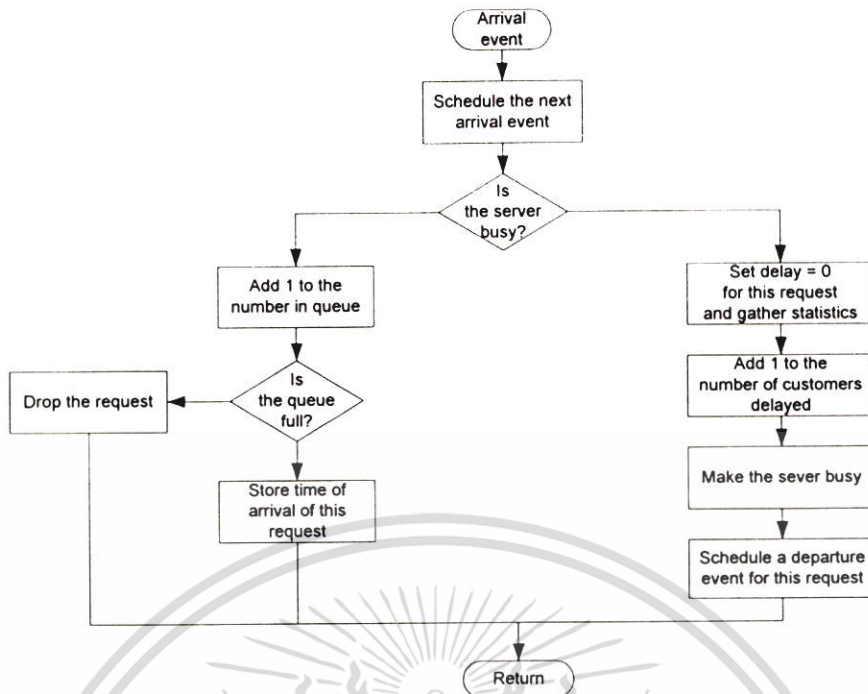
**data\_Busy** หมายถึง ช่องสัญญาณถูกใช้งานจากผู้ส่งข้อมูล

**data\_Silence** หมายถึง ช่องสัญญาณถูกใช้งานจากผู้ใช้นสัญญาณเสียง แต่ไม่มีการส่งสัญญาณเสียงใดๆขึ้น ไปยังสถานีฐาน และระบบอนุญาตให้มีการส่งข้อมูลที่เวลานั้น

```
% arrival %
fprintf('arrival\n');
num_data_arrival = num_data_arrival + 1;
time_next_event(1) = time + expon(mean_interarrival);
if ch(7) == IDLE
    delay = 0;
    total_of_delays = total_of_delays + delay;
    num_custs_delayed = num_custs_delayed + 1;
    ch(7) = BUSY;
    server_status = 1;
    time_next_event(8) = time + mean_service;
.
.
else
    num_in_q = num_in_q + 1;
    if num_in_q > Q_limit
        num_in_q = Q_limit;
        fprintf('Queue over limit\n');
        data_lost = data_lost + 1;
        %sound(y);
    else
        time_arrival(num_in_q) = time;
    end;
end;
```

#### รูปที่ 4.5 ตัวอย่างคอมพิวเตอร์โปรแกรมของ โปรแกรมย่อยการเข้ามาของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 อัลกอริทึมแสดงการเข้ามาของข้อมูลซึ่งเป็นโครงสร้างของโปรแกรมย่อยการเข้ามาของข้อมูล

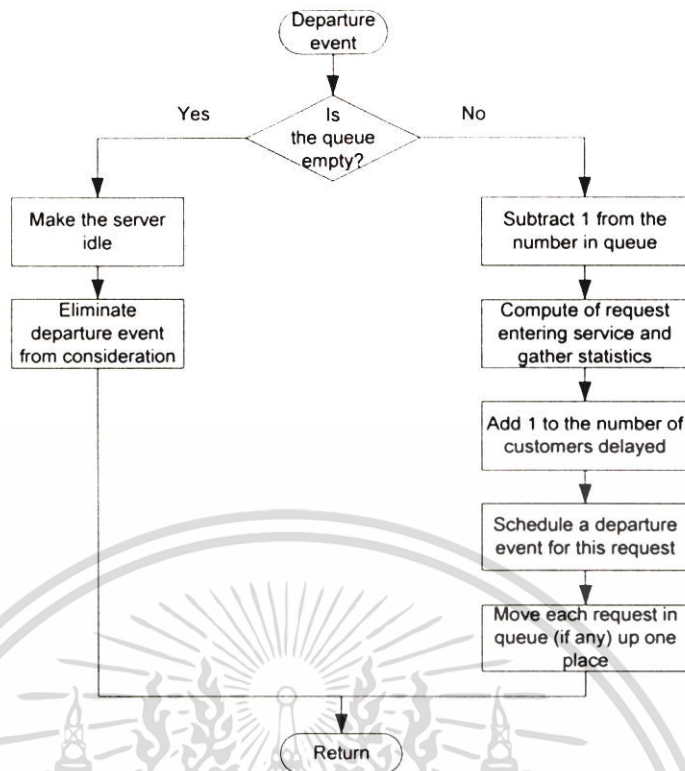
```

% departure %
fprintf('departure ch7\n');
num_data_depart = num_data_depart + 1;
if num_in_q == 0,
    ch(7) = IDLE;
    server_status = 0;
    time_next_event(8) = 1.0e+30;
else
    num_in_q = num_in_q - 1;
    delay = time - time_arrival(1);
    total_of_delays = total_of_delays + delay;
    num_custs_delayed = num_custs_delayed + 1;
    time_next_event(8) = time + mean_service;
    for i = 1:num_in_q,
        time_arrival(i) = time_arrival(i+1);
    end;
end;

```

รูปที่ 4.7 ตัวอย่างคอมพิวเตอร์โปรแกรมของโปรแกรมย่อยการจากไปของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 อัลกอริทึมแสดงการจากไปของข้อมูลซึ่งเป็นโครงสร้างของโปรแกรมย่อยการจากไปของข้อมูล

ก่อนการจำลอง ค่าพารามิเตอร์ของการจัดสรรช่องสัญญาณแบบต่างๆ ถูกกำหนดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณแต่ละแบบ แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ซึ่งเป็นพารามิเตอร์หลักๆของการจัดสรรช่องสัญญาณ ซึ่งมีค่าที่สำคัญดังนี้

**Traffic channel (N)** หมายถึง จำนวนช่องสัญญาณทราฟฟิก

**Reserved channel (R)** หมายถึง จำนวนช่องสัญญาณที่ถูกจองสำหรับการส่งข้อมูล

$1/\mu_v$  หมายถึง ค่าเฉลี่ยของการใช้ช่องสัญญาณของผู้ใช้สัญญาณเสียง

$1/\mu_{vad}$  หมายถึง ค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่เกิดการส่งสัญญาณเสียง

$1/\lambda_{vad}$  หมายถึง ค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่เกิดการเงียบ

**Th-R** หมายถึง ค่ากำหนดของการจองช่องสัญญาณสำหรับการส่งข้อมูล

**Th-VAD** หมายถึง ค่ากำหนดของการอนุญาตให้มีการส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณ ในการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ VAD ได้

**Buffer size (B)** หมายถึง ขนาดของบัฟเฟอร์ที่เก็บการร้องขอของการส่งข้อมูล

โดยที่สำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ DCA จะมีเงื่อนไขในการจองช่องสัญญาณคือ จำนวนการเรียกขอของข้อมูล ต้องมากกว่าค่ากำหนดการจองช่องสัญญาณ ( $\text{num\_data\_arrival} > \text{Th-R}$ ) ในส่วนของการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ VAD เงื่อนไขของการส่งข้อมูลที่จะสามารถส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณทราฟฟิกที่มีสถานะใดๆ แบ่งออกเป็น 3 ช่วงคือ

$$\text{ch}(x) = \text{Idle} \quad ; \text{num\_data\_arrival} < \text{Th-VAD} \quad (4.1)$$

$$\text{ch}(x) = \text{Silence} \quad ; \text{Th-VAD} < \text{num\_data\_arrival} < \text{Th-R} \quad (4.2)$$

$$\text{ch}(x) = \text{Idle} \quad ; \text{Th-R} < \text{num\_data\_arrival} \quad (4.3)$$

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์หลักในการจำลองเหตุการณ์

Parameter	value	Channel allocation			
		Voice	FCA	DCA	VAD
Traffic channels, N	7	X	X	X	X
Reserved channel, R	1	-	X	X	X
$1/\mu_v$	180s	X	X	X	X
$1/\lambda_{vad}$	1.35s *	-	-	-	X
$1/\mu_{vad}$	1s *	-	-	-	X
Th-R	adaptive	-	-	X	X
Th-VAD	adaptive	-	-	-	X
Buffer size, B	100	X	X	X	X

#### 4.3 ผลการจำลอง และวิเคราะห์ผล

จากการกำหนดพารามิเตอร์ก่อนการจำลองบนสมมติฐานที่ว่า ในเซลล์มีช่องสัญญาณทราฟฟิกอยู่เจ็ดช่อง นั่นคือ  $N = 7$  ขนาดของบัฟเฟอร์เป็น 100 ( $B = 100$ ) ในการจำลองครั้งนี้การครอบครองช่องสัญญาณทราฟฟิกของผู้ใช้สัญญาณเสียง (Call Holding Time) มีการกระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล

ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 180 วินาที เนื่องจากมีประเภทของทราฟฟิกอยู่ 2 ประเภท ดังนั้นเพื่อศึกษาผลกระทบของทราฟฟิกทั้งสองด้วยการจัดสรรช่องสัญญาณทั้ง 4 แบบ คือ

1. Voice Priority
2. Fixed Channel Allocation (FCA)
3. Dynamic Channel Allocation (DCA)
4. Dynamic Channel Allocation with VAD (VAD)

การจำลองจะถูกแบ่งออกเป็นสองกรณี

**กรณี ก** data arrival rate = 60 DTs/sec

ในหัวข้อนี้จะเป็นการจำลองเพื่อศึกษาถึงผลกระทบต่างๆที่เกิดขึ้นในระบบ [9] จากการเสนอวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณ ได้แก่ การประวิงเวลาจากการรอคอยในคิว จำนวนการเรียกขอเฉลี่ยที่อยู่ในบัฟเฟอร์ ที่เวลาหนึ่งๆ ความน่าจะเป็นในการบล็อกของทราฟฟิกทั้งสอง ข้อมูล และสัญญาณเสียงระหว่างวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณทั้ง 4 แบบ โดยที่กำหนดให้อัตราการเข้ามาของข้อมูลคงที่ แต่ในส่วนของสัญญาณเสียงจะมีอัตราการเข้ามา 1.5-5 Erlang

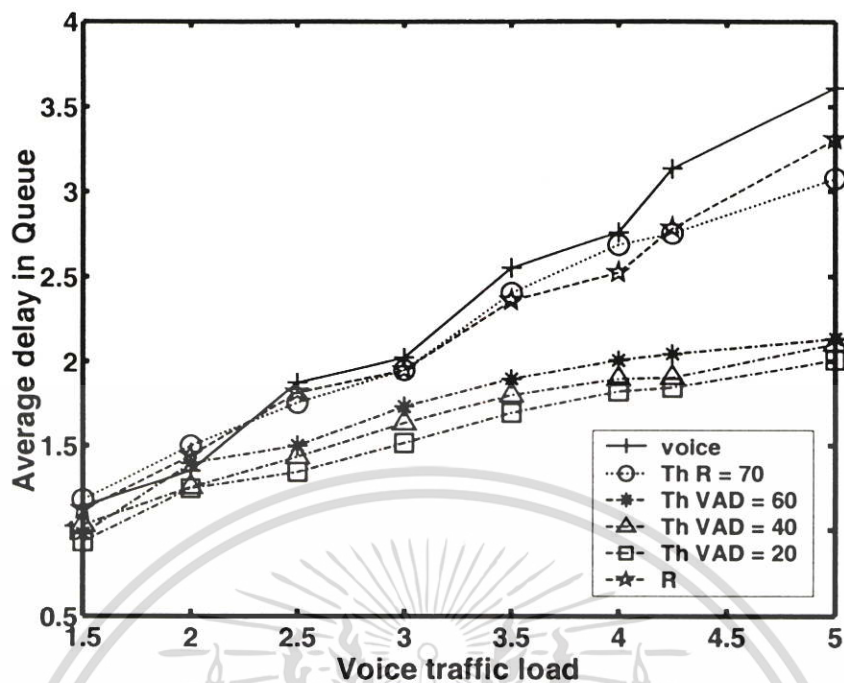
จากรูปที่ 4.9 ซึ่งแสดงค่าประวิงเวลาของการเรียกขอของการส่งข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของระบบ โดยปกติค่าประวิงเวลาของการเรียกขอของการส่งข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์ จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นนัยสำคัญกับปริมาณทราฟฟิกของผู้ใช้สัญญาณเสียงที่เข้ามาใช้งานที่มากขึ้น เนื่องจากจำนวนช่องสัญญาณทราฟฟิกมีจำนวนคงที่ ในขณะที่ความต้องการการใช้ช่องสัญญาณของผู้ใช้สัญญาณเสียงมีค่ามากขึ้น ทำให้ช่องสัญญาณที่มีสถานะเป็น Idle มีจำนวนน้อยลงที่เวลาหนึ่งๆ ซึ่งเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้เกิดค่าประวิงเวลาของการเรียกขอของการส่งข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์มีค่าเพิ่มขึ้น จากรูปจะเห็นว่าการจัดสรรช่องสัญญาณทั้ง 3 แบบ ได้แก่ Voice Priority, FCA, และ DCA จะมีค่าเวลาของการเรียกขอของการส่งข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์ที่มากกว่าวิธีการของ VAD สิ่งที่ทำให้วิธีการนี้ต่างจากสามวิธีการดังกล่าวข้างต้น คือการยืมช่องสัญญาณของผู้ใช้สัญญาณเสียงเพื่อทำการส่งข้อมูล เมื่อสถานะของช่องสัญญาณเป็น Silence ด้วยเหตุผลเดียวกันทำให้จำนวนเฉลี่ยของการเรียกขอที่อยู่ในบัฟเฟอร์มีค่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับค่าประวิงเวลาการเรียกขอของการส่งข้อมูล ดังรูปที่ 4.10 จะเห็นว่ากราฟ 3 เส้นล่างสุดมีค่าเฉลี่ยที่รออยู่ในบัฟเฟอร์ มีค่าน้อยกว่าสามวิธีข้างต้น เมื่อมีช่องสัญญาณทราฟฟิกที่สามารถ

ส่งข้อมูลได้มากขึ้นทำให้ความน่าจะเป็นในการเกิดการบล็อกของการส่งข้อมูลมีค่าลดลง และมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อนำวิธีการทั้ง 3 มาเปรียบเทียบกับวิธีการ VAD ดังรูปที่ 4.11

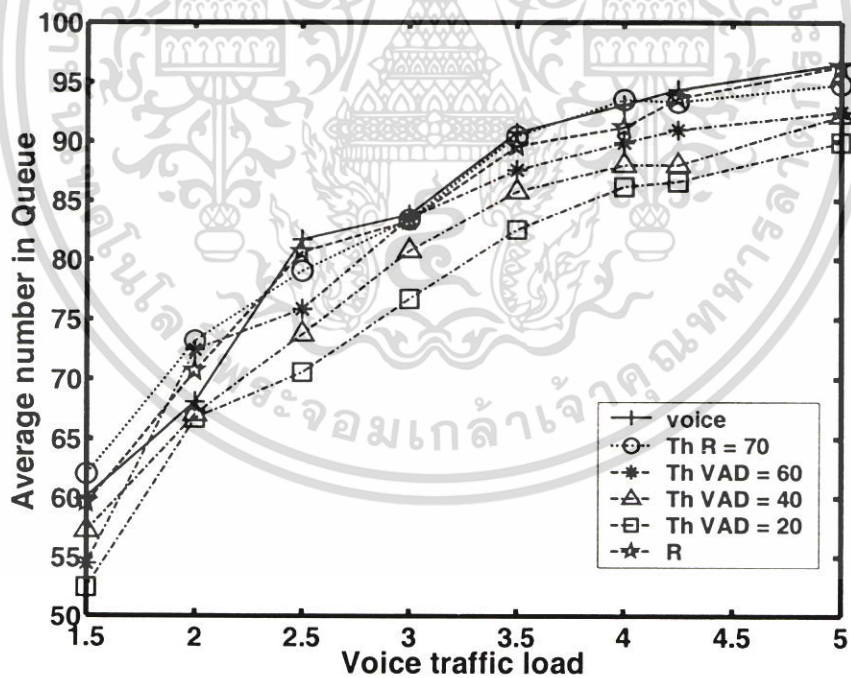
ผลการทดลองทั้งสามรูปที่กล่าวมาเป็นการวัดผลในส่วนของการส่งข้อมูล สิ่งที่น่าสนใจคือ ผลกระทบจากการเสนอวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับการส่งข้อมูลแบบต่างๆ ที่ใช้งานร่วมกับสัญญาณเสียง โดยที่สิ่งที่สามารถแสดงถึงผลกระทบที่ชัดเจนคือ ความน่าจะเป็นในการเกิดการบล็อกของผู้ใช้สัญญาณเสียง จากรูปที่ 4.11 จะเห็นว่าวิธีการของ Voice Priority จะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ เป็นวิธีการแต่เดิมที่ใช้ตั้งแต่การส่งข้อมูลยังไม่เกิดขึ้น ทำให้ไม่มีการแย่งช่องสัญญาณทราฟฟิกระหว่างผู้ใช้สัญญาณเสียงและผู้ส่งข้อมูล โดยที่ตาราง 4.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้จากวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบต่างๆ เมื่อเทียบกับวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ VAD ตัวอย่างเช่น ในส่วนของ Data blocking probability เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการของ Voice priority ให้การบล็อกลดลงถึง 105% แต่ในส่วนของ Voice blocking probability เพิ่มขึ้น 45% และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการของ FCA มีค่า Data blocking probability ลดลง 91% และค่า Voice blocking probability ลดลง 11%

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการจัดสรรช่องสัญญาณ

Parameter	Voice priority	FCA	DCA
Average delay in Q	- 44%	- 37%	- 39%
Data blocking probability	- 105%	- 91%	- 93%
Voice blocking probability	+ 45%	+11%	+4%

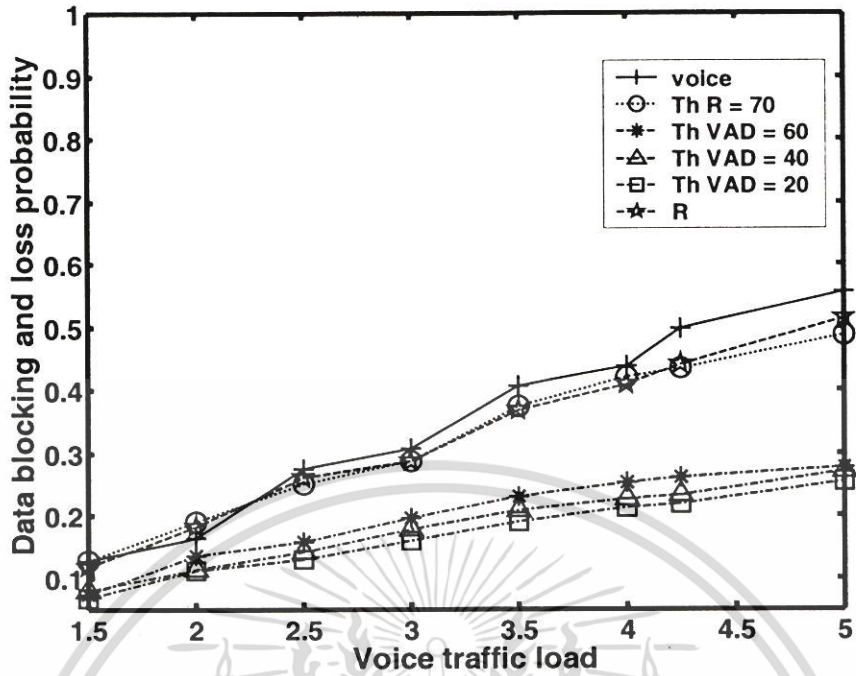


รูปที่ 4.9 ค่าประวิงเวลาของการเรียกขอของการส่งข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์

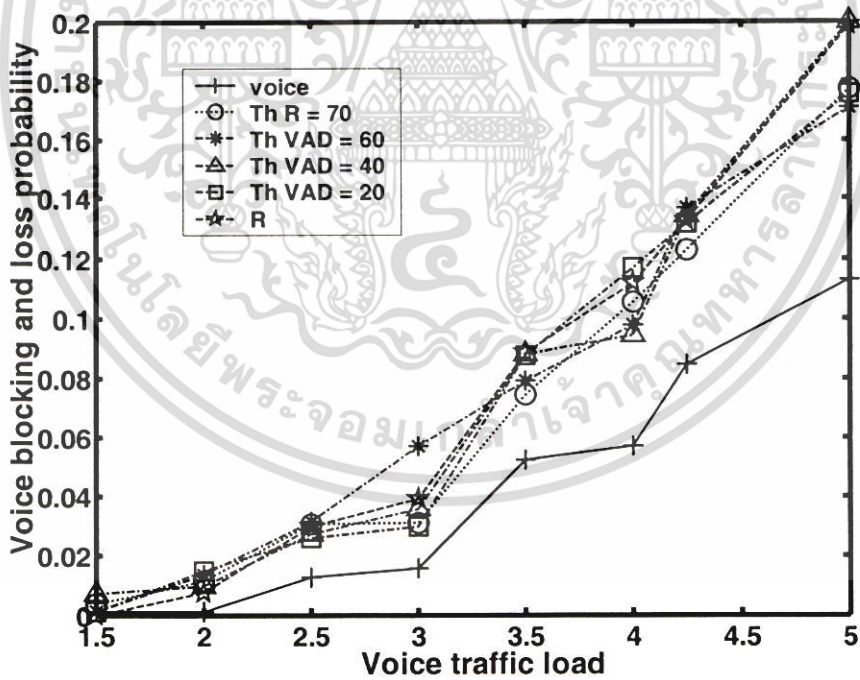


รูปที่ 4.10 จำนวนเฉลี่ยของการเรียกขอที่อยู่ในบัฟเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ความน่าจะเป็นในการเกิดการบล็อกของการส่งข้อมูล



รูปที่ 4.12 ความน่าจะเป็นในการเกิดการบล็อกของการส่งสัญญาณเสียง

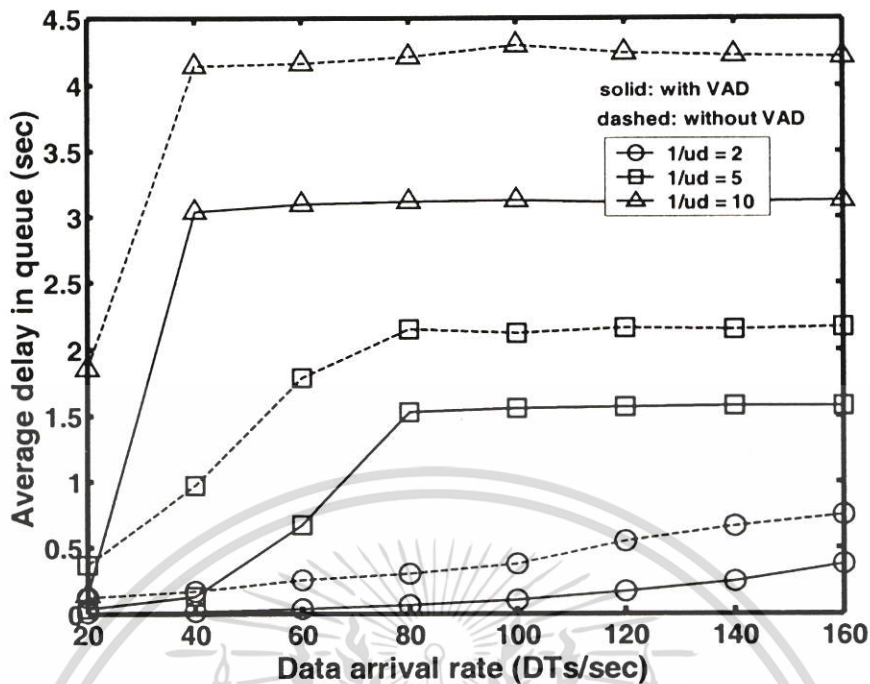
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี ข voice traffic load = 2.95 Erlang

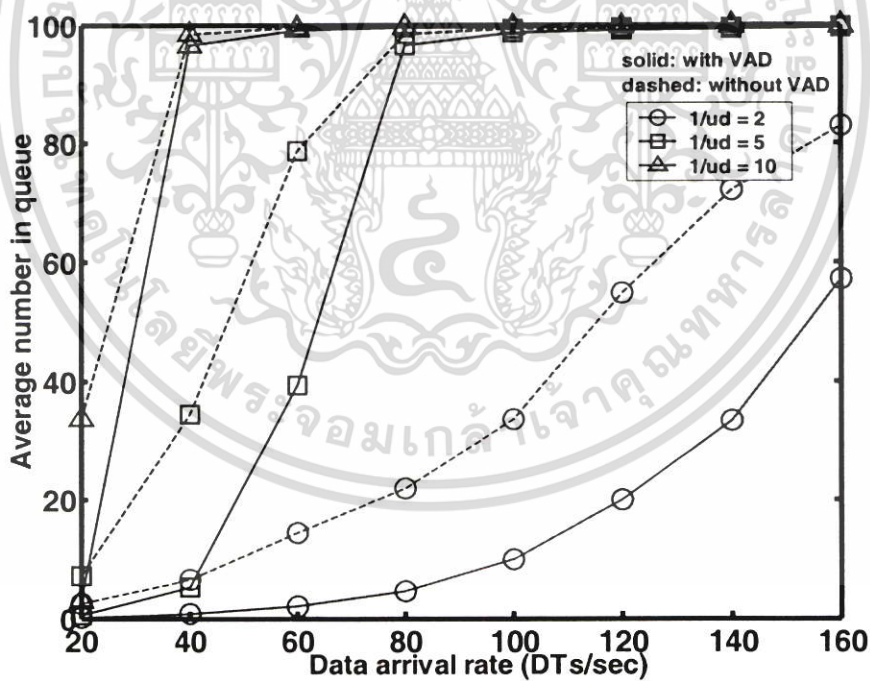
ในหัวข้อนี้จะเป็นการจำลองเพื่อศึกษาถึงผลกระทบต่างๆที่เกิดขึ้นในระบบ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการจัดสรรช่องสัญญาณในกรณีที่ไม่อนุญาตให้มีการส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณที่มีสถานะเป็น Silence (without VAD) และกรณีที่อนุญาตให้มีการส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณที่มีสถานะเป็น Silence (with VAD) ได้แก่ การประวิงเวลาจากการรอคอยในคิว จำนวนการเรียกขอเฉลี่ยที่อยู่ในบัฟเฟอร์ ที่เวลาหนึ่งๆ ความน่าจะเป็นในการบล็อกของทรานซมิกทั้งสอง ข้อมูล และสัญญาณเสียง และความน่าจะเป็นในการเกิดการชนกันของ ข้อมูล และสัญญาณเสียง เมื่อมีการใช้ช่องสัญญาณทรานซมิกที่เวลาเดียวกัน โดยที่กำหนดให้อัตราการเข้ามาของการใช้สัญญาณเสียงที่ 2.95 Erlang ความน่าจะเป็นในการบล็อกของผู้ใช้สัญญาณเสียงมีค่า 2% ที่  $N = 7$  ตามตารางของ Erlang และค่าเฉลี่ยในการใช้บริการของการส่งข้อมูลมีการทดลอง 3 ค่าตามตารางที่ 4.1

จากรูปที่ 4.13 ถึง 4.15 การประวิงเวลาจากการรอคอยในคิว จำนวนการเรียกขอเฉลี่ยที่อยู่ในบัฟเฟอร์ ที่เวลาหนึ่งๆ ความน่าจะเป็นในการบล็อกของการส่งข้อมูล สามารถถูกพิจารณาได้พร้อมกัน เพราะผลลัพธ์จะเป็นไปในทิศทางเดียวกันตามการวิเคราะห์ของระบบของคิว (Queueing System) จะเห็นว่าวิธีการ VAD จะแสดงถึงประสิทธิภาพของระบบที่มีผลของเวลาเฉลี่ยที่ข้อมูลรออยู่ในบัฟเฟอร์ จำนวนการเรียกขอเฉลี่ย รวมไปถึงความน่าจะเป็นในการบล็อกของข้อมูล นั่นคือค่าทั้งสามน้อยกว่าการส่งข้อมูลโดยไม่ใช้วิธีการของ VAD เมื่อเปรียบเทียบกันทีละคู่ของตัวแปร  $1/\mu_d$  ในส่วนของค่าแต่ละค่าของ  $1/\mu_d$  ข้อมูลที่มีเวลาเฉลี่ยการใช้ช่องสัญญาณ  $1/\mu_d$  ที่มีค่าน้อยจะมีประสิทธิภาพของระบบที่เห็นได้ชัดกว่า การส่งข้อมูลที่มีค่าเฉลี่ยมากกว่า เพราะเป็นผลจากการเวลาในการส่งข้อมูลในแต่ละครั้งของการเรียกขอที่มากขึ้น ในขณะที่เมื่อพิจารณาความน่าจะเป็นในการบล็อกของผู้ใช้สัญญาณเสียง ดังรูปที่ 4.16 จะพบว่าไม่มีผลกระทบกับเทอมนี้ของระบบเนื่องจากไม่มีการแย่งใช้ช่องสัญญาณที่เป็น Idle ของผู้ใช้สัญญาณเสียง

เมื่อระบบอนุญาตให้มีการส่งสัญญาณเสียงและข้อมูลในช่องสัญญาณเดียวกัน สิ่งทีหลีกเลี่ยงไม่ได้คือโอกาสในการเกิดการชนกันของทรานซมิกทั้งสอง [10] ซึ่งผลลัพธ์อาจจะสังเกตได้จากความไม่ชัดเจนของสัญญาณเสียงเมื่อผู้พูดเริ่มที่จะพูดอีกครั้งหลังจากอยู่ในสภาวะเงียบ และสัญญาณข้อมูลที่มีบิดผิดพลาดหลังจากส่งออกไปแล้ว ซึ่งอัตราการสูญเสียดังกล่าวจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณที่มีสถานะเป็น Silence ดังรูปที่ 4.17 แสดงถึง โอกาสที่จะเกิดจากการชนกันของทรานซมิกทั้งสอง

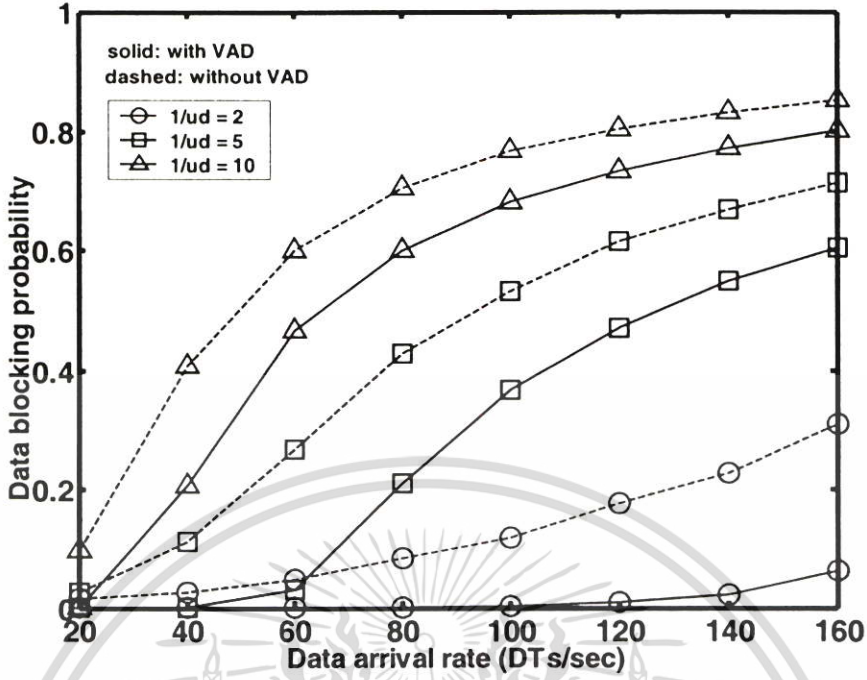


รูปที่ 4.13 ค่าประวิงเวลาของการเรียกขอของการส่งข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์

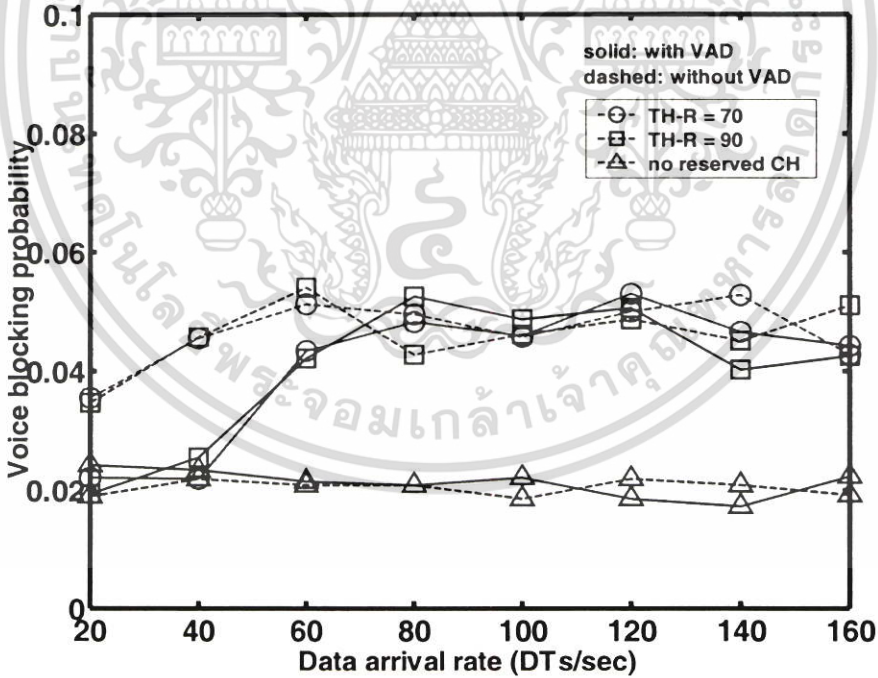


รูปที่ 4.14 จำนวนเฉลี่ยของการเรียกขอที่อยู่ในบัฟเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

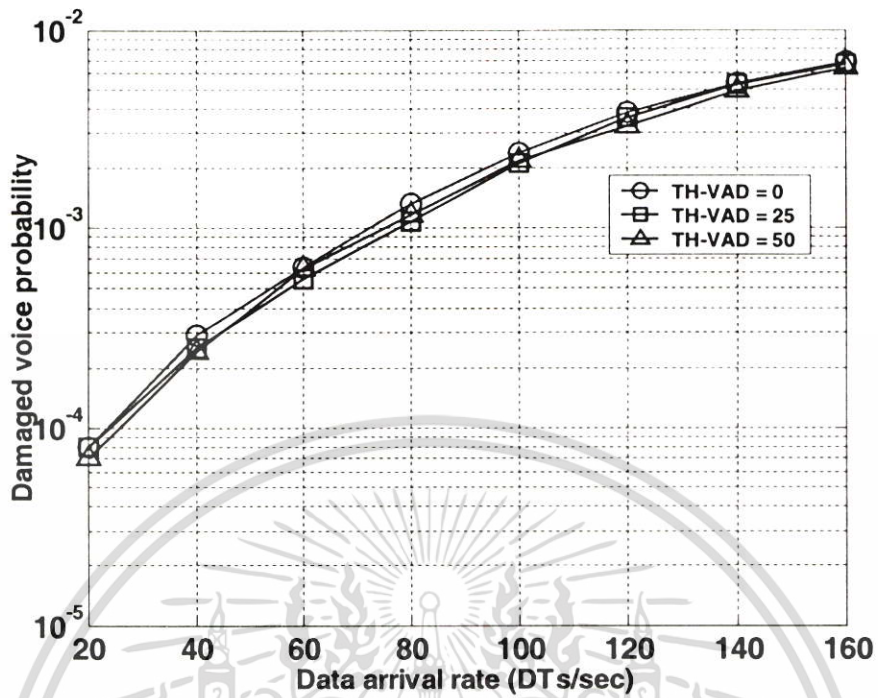


รูปที่ 4.15 ความน่าจะเป็นในการเกิดการบล็อกของการส่งข้อมูล



รูปที่ 4.16 ความน่าจะเป็นในการเกิดการบล็อกของการส่งสัญญาณเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ความน่าจะเป็นในการเกิดการชนกันระหว่างเสียงและข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 รายงานสรุปผล

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับการส่งเสียง และข้อมูลด้วยการตรวจจับสัญญาณเสียงในระบบเครือข่ายเซลลูลาร์ ซึ่งเป็นทางเลือกที่เพิ่มขึ้นในการส่งข้อมูลในกรณีที่มีการแข่งขันการใช้ช่องสัญญาณทราฟฟิกที่เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ทรัพยากรมีอยู่อย่างจำกัด และได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยการจำลองพฤติกรรมของระบบที่มีชนิดของทราฟฟิกที่ถูกแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ คือ สัญญาณเสียงและข้อมูล จากผลของการจำลองพบว่าการจัดสรรช่องสัญญาณของทราฟฟิกทั้งสองประเภทคือ สัญญาณเสียง ซึ่งสามารถใช้ช่องสัญญาณที่มีสถานะเป็น Idle และ ข้อมูล ที่สามารถใช้ช่องสัญญาณที่มีสถานะเป็น Idle และวิธีการที่นำเสนอคือการใช้ช่องสัญญาณของผู้ใช้สัญญาณเสียงในขณะที่มีสถานะเป็น Silence ซึ่งแสดงผ่านทางประสิทธิภาพของระบบ เช่น ค่าประวิงเวลาของการเรียกขอของการส่งข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์ จำนวนเฉลี่ยของการเรียกขอที่อยู่ในบัฟเฟอร์ และความน่าจะเป็นในการเกิดการบดบังของการส่งข้อมูล ซึ่งถูกปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นได้ และไม่ได้ส่งผลกระทบต่อความน่าจะเป็นในการเกิดการบดบังของการส่งสัญญาณเสียง เพราะวิธีการที่ส่งข้อมูลผ่านทางช่องสัญญาณที่มีสถานะเป็น Silence ไม่ได้เป็นการแย่งช่องสัญญาณทราฟฟิกโดยตรง หรือก็คือไม่ได้สนใจช่องสัญญาณที่มีสถานะเป็น Idle ทำให้ความน่าจะเป็นในการเกิดการบดบังของการส่งสัญญาณเสียงไม่ถูกผลกระทบจากวิธีการที่นำเสนอ ซึ่งเป็นสิ่งที่น่าประหลาดใจเมื่อเทียบกับวิธีการต่างๆที่ถูกเสนอขึ้นมา ไม่ว่าจะเป็นการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ FCA หรือ แบบ DCA วิธีการเหล่านี้จะมีผลกระทบโดยตรงกับช่องสัญญาณทราฟฟิกซึ่งส่งผลกระทบต่อความน่าจะเป็นในการเกิดการบดบังของการส่งสัญญาณเสียง

แม้ว่ากระบวนการที่นำเสนอขึ้นมานี้จะไม่ได้มีผลกระทบต่อความน่าจะเป็นในการเกิดการบดบังของการส่งสัญญาณเสียง แต่วิธีการนี้ก็ยังมีข้อเสียเกิดขึ้นตรงที่มีการใช้งานของทราฟฟิกทั้งสองชนิดในช่องสัญญาณเดียวกัน ซึ่งจะมีโอกาสเกิดการชนกันของสัญญาณเสียงและข้อมูล ทำให้เกิดการส่งซ้ำของข้อมูลที่ได้รับเสียหาย และการส่งซ้ำของสัญญาณเสียงโดยที่อาจจะเกิดจากคู่สนทนาฝั่งตรงข้ามที่ได้ยินสัญญาณที่ไม่ชัดเจน ทำให้มีการร้องขอให้พูดซ้ำอีกครั้งหนึ่ง จะเห็นได้ว่าข้อเสียเหล่านี้เป็นการแลกเปลี่ยนที่ยอมรับได้ เพื่อที่จะได้มาประสิทธิภาพของระบบที่สูงขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะเพื่องานวิจัยในอนาคต

ในการวิจัยนี้ได้ทดลองภายใต้สมมติฐานที่เป็นอุดมคติ กล่าวคือไม่ได้คำนึงถึงผลของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่ภายใต้ของสภาวะแวดล้อมแบบต่างๆ และสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น รวมไปถึงจำนวนเซลล์ที่มีมากมายในระบบที่ใช้งานอยู่จริง ซึ่งกระบวนการแฮนด์โอเวอร์ (Handover) เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้เช่นกัน และที่สำคัญสำหรับการวิจัยครั้งนี้คือ กระบวนการตรวจจับสัญญาณเสียงที่มีประสิทธิภาพ ที่สามารถกำหนดสถานะของช่องสัญญาณทราฟฟิกที่แม่นยำ ดังนั้นเมื่อต้องการที่จะนำวิธีการที่นำเสนอนี้ไปใช้งานให้เห็นผลที่นำไปใช้ได้จริง สมมติฐานข้างต้นคงต้องคำนึงถึงความเป็นจริงที่มากขึ้น

ในส่วนของผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการชนกันของสัญญาณเสียงและข้อมูลสามารถถูกนำมาเป็นหัวข้อที่จะวิจัยต่อไปได้ในอนาคต นั่นคือความน่าจะเป็นในการเกิดการชนกันของทราฟฟิกทั้งสอง อาจจะถูกทำให้ลดลงโดยการกำหนดช่วงเวลาที่สามารถส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณที่มีสถานะเป็น Silence เพื่อหลีกเลี่ยงการพุ่งขึ้นมาอีกครั้งหลังจากเกิดความเงียบ หรืออาจจะมีการตรวจสอบสถานะของช่องสัญญาณของผู้ใช้สัญญาณเสียงเพื่อที่จะแน่ใจว่าไม่มีการส่งข้อมูลอยู่ที่เวลานั้น แต่ก็ส่งผลให้เกิดการหน่วงเวลาของผู้ใช้สัญญาณเสียง เป็นต้น ถึงดังกล่าวข้างต้นสามารถถูกพัฒนาให้สมบูรณ์ได้ต่อไปในอนาคต

## เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Lin and Y.B. Lin, "Channel Allocation for GPRS," IEEE transactions on vehicular technology, Vol. 50, no.2, March 2001.
- [2] Jan Stadermann. 1999., "Sprach/Pause-Detektion in der automatischen Spracherkennung" Diplomarbeit, Philips Forschungslaboratorien Aachen, Aachen im November 1999.
- [3] L. Kleinrock, Queueing Systems, Vol. 1, New York, Wiley, 1975.
- [4] M. Meo, M.A. Marsan, C. Batetta, "Resource Management Policies in GPRS Wireless Internet Access System," IEEE proceedings of the international conference on dependable systems and networks, 2002.
- [5] J.H. Huang, S.L. Su and J.H. Chen, "Design and Performance Analysis for Data Transmission in GSM/GPRS System with Voice Activity Detection," IEEE transactions on vehicular technology, Vol. 51, no. 4, July 2002.
- [6] P.T. Brady, A technique for investigating on-off patterns of speech, Bell Syst. Tech. J., vol. 44, no.1, pp. 1-22, January 1965.
- [7] H.H. Lin, J.L.C. Wu and W.C. Hsieh, "Delay Analysis of Integrated Voice and Data Service for GPRS," IEEE communications letters, Vol. 6, no. 8, August 2002.
- [8] A.M. Law and W.D. Kelton, Simulation modeling and analysis, McGraw-Hill, Inc., Singapore, 1982.
- [9] J.W. Kim and M.S. Seo, "A Voice Activity Detection Algorithm for Wireless Communication Systems with Dynamically Varying Background Noise," IEICE trans. Commun., Vol. E83-B, no.2, February. 2000.
- [10] W. Limsaksri, S. Thipchaksurat and R. Varakulsiripunth, "An Efficient Channel Allocation for Voice and Data with Voice Activity Detection in Cellular Networks," First ECTI Annual Conference 2004, Thailand, pp. 364-366, May 2004.
- [11] W. Limsaksri, S. Thipchaksurat and R. Varakulsiripunth, "Impact of Voice Activity Detection on Channel Allocation in Cellular Networks," International Conference on Control Automation and System (ICCAS 2004), Thailand, pp.1067-1071, August 2004.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อที่มีความต้องการเข้ามาใช้งานใดๆของผู้ใช้ที่เกิดขึ้นแก่ระบบ แต่ระบบไม่สามารถให้บริการแก่ผู้ใช้นั้นได้ เป็นผลให้ผู้ใช้นั้นถูกลี้อออกจากระบบ โดยที่ “A. K. Erlang” ได้ให้นิยามของการบล็อกที่เกิดขึ้นดังนี้

$$E_{1,n}(A) = \frac{\frac{A^n}{n!}}{1 + A + \frac{A^2}{2!} + \dots + \frac{A^n}{n!}}$$

โดยที่ A หมายถึงปริมาณของทราฟฟิกที่เข้าในระบบ หน่วยเป็น erlang

สมการนี้ถูกใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับการประมาณการจำนวนของทราฟฟิกเพื่อที่จะออกแบบความจุของอุปกรณ์ ให้เหมาะสมกับการรองรับปริมาณทราฟฟิกที่ต้องการ ความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสามได้แก่ จำนวนตัวให้บริการ n ปริมาณทราฟฟิก A และอัตราของการบล็อกที่เกิดขึ้น  $E_{1,n}(A)$  ที่แสดงในสมการ สามารถถูกนำมาคำนวณเป็นตารางที่มีความต่อเนื่องของตัวแปรดังกล่าว เนื่องจากในตารางของ Erlang Loss Formula ที่แสดงไว้จริงนั้นมีขอบเขตของตัวแปรกว้างมาก ดังนั้นในภาคผนวกนี้จึงคัดเฉพาะบางจำนวนที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์นี้



## Offered traffic flow A in erlang

N	Loss probability (E)										n
	0.007	0.008	0.009	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2	0.4	
1	.00705	.00806	.00908	.01010	.02041	.03093	.05263	.11111	.25000	.66667	1
2	.12600	.13532	.14416	.15259	.22347	.28155	.38132	.59543	1.0000	2.0000	2
3	.39664	.41757	.43711	.45549	.60221	.71513	.89940	1.2708	1.9299	3.4798	3
4	.77729	.81029	.84085	.86942	1.0923	1.2589	1.5246	2.0454	2.9452	5.0210	4
5	1.2362	1.2810	1.3223	1.3608	1.6571	1.8752	2.2185	2.8811	4.0104	6.5955	5
6	1.7531	1.8093	1.8610	1.9090	2.2759	2.5431	2.9603	3.7584	5.1086	8.1907	6
7	2.3149	2.3820	2.4437	2.5009	2.9354	3.2497	3.7378	4.6662	6.2302	9.7998	7
8	2.9125	2.9902	3.0615	3.1276	3.6271	3.9865	4.5430	5.5971	7.3692	11.419	8
9	3.5395	3.6274	3.7080	3.7825	4.3447	4.7479	5.3702	6.5464	8.5217	13.045	9
10	4.1911	4.2889	4.3784	4.4612	5.0840	5.5294	6.2157	7.5106	9.6850	14.677	10
11	4.8637	4.9709	5.0691	5.1599	5.8415	6.3280	7.0764	8.4871	10.857	16.314	11
12	5.5543	5.6708	5.7774	5.8760	6.6147	7.1410	7.9501	9.4740	12.036	17.954	12
13	6.2607	6.3863	6.5011	6.6072	7.4015	7.9667	8.8349	10.470	13.222	19.598	13
14	6.9811	7.1155	7.2382	7.3517	8.2003	8.8035	9.7295	11.473	14.413	21.243	14
15	7.7139	7.8568	7.9874	8.1080	9.0096	9.6500	10.633	12.484	15.608	22.891	15
16	8.4579	8.6092	8.7474	8.8750	9.8284	10.505	11.544	13.500	16.807	24.541	16
17	9.2119	9.3714	9.5171	9.6516	10.656	11.368	12.461	14.522	18.010	26.192	17
18	9.9751	10.143	10.296	10.437	11.491	12.238	13.385	15.548	19.216	27.844	18
19	10.747	10.922	11.082	11.230	12.333	13.115	14.315	16.579	20.424	29.498	19
20	11.526	11.709	11.876	12.031	13.182	13.997	15.249	17.613	21.635	31.152	20
21	12.312	12.503	12.677	12.838	14.036	14.885	16.189	18.651	22.848	32.808	21
22	13.105	13.303	13.484	13.651	14.896	15.778	17.132	19.692	24.064	34.464	22
23	13.904	14.110	14.297	14.470	15.761	16.675	18.080	20.737	25.281	36.121	23
24	14.709	14.922	15.116	15.295	16.631	17.577	19.031	21.784	26.499	37.779	24
25	15.519	15.739	15.939	16.125	17.505	18.483	19.985	22.833	27.720	39.437	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# ECTI Conference

## The Art of Science 2004



# ECTI

Association



Proceedings of The First Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology (ECTI) Annual Conference

# An Efficient Channel Allocation for Voice and Data with Voice Activity Detection in Cellular Networks

Wichan Limsaksri<sup>1</sup>, Sakchai Thipchaksurat<sup>2</sup>, and Ruttikorn Varakulsiripunth<sup>3</sup>

Department of Electronics<sup>1,3</sup>, Department of Computer Engineering<sup>2</sup>  
Faculty of Engineering and Research Center for Communications and Information Technology (ReCCIT),  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.  
E-mail: [ws4061306@kmitl.ac.th](mailto:ws4061306@kmitl.ac.th)<sup>1</sup>, [ksakcha@kmitl.ac.th](mailto:ksakcha@kmitl.ac.th)<sup>2</sup>, and [kvrutik@kmitl.ac.th](mailto:kvrutik@kmitl.ac.th)<sup>3</sup>

## ABSTRACT

In this paper we propose a policy of channel allocation in cellular networks for voice and data. This policy can provide a good trade-off between the QoS guaranteed to voice and data services. Because the silent periods of active voice users, are used for data transmission by the activation of defined adaptive threshold which correspond to the number of data request in buffer queue of base station. The simulation results show that the proposed policy can improve the delay performance, and increase bandwidth utilization by setting the appropriated threshold.

**Keywords:** Channel Allocation, Cellular Networks, Voice Activity Detection.

## 1. INTRODUCTION

In the next generation of mobile communication system, the efficient utilization of the available resources, especially the spectrum resource, is a primary objective in any communication system. Most cellular mobile time-division multiple-access (TDMA) systems provide voice service with tolerable blocking probabilities an estimated 1%-3%. Consequently, this will leave the traffic channels (TCHs) idle even during the busy hours. To efficiently organize the spectrum resource, the idle TCHs may be utilized by packet-switched data services. For instance, similar to cellular digital packet data borrowing the idle voice channels in the advanced mobile phone standard to transfer data packets and general packet radio service (GPRS), which was defined by the European Telecommunications Standards Institute in 1994, permits the data terminals to share the idle voice channels in global system for mobile communications (GSM).

A conversational speech can be considered as a variable data rate source made up of talkspurts and periods of silence speech by voice activity detection (VAD). A voice user will take more or less 40% of the time on average in speaking (talkspurt period) and the remaining time pausing or listening (silent period). Therefore, one solution in order to fulfil the channel efficiency is to utilize the silent periods of active voice channels to transmit data messages [1]. However, the risk of data and voice corruption can be happened. In this

paper, we improve the performance of channel allocation for voice and data by using the information of queue length to activate the VAD algorithm depending on the selective threshold.

This paper is organized as follows. Section 2 describes the system model; section 3 proposes an algorithm and simulation. In section 4 presents numerical results. Conclusion is outlined in section 5.

## 2. SYSTEM MODEL

We will consider TDMA as a cellular system, which includes a base station (BS), a number of voice terminals (VTs) and a number of data terminals (DTs) in one particular cell. Besides, a homogenous cell has been considered in this system. Voice from VTs and data from DTs are taken into account in this paper. Voice provision depends on usual circuit-base oriented. At the same time, data packets are relied on packet-base oriented, using the same resources deployed for voice connection. We assume that all the arrivals of the service requests from voice and data users are independent, and data packets are transmitted under a n error-free environment unless they collide with voice transmission which adopts the voice priority channel allocation policies.

In this system, we refer that conversation period is a sequence of consecutive segments of silence and speech [2]. And VAD is employed in VT to separate a conversation period into speeches and silences. An active VT will not transmit any signal during its silent periods. Meanwhile an active DT will be placed into a first-come first-served (FCFS) queue if they can contain packets within a buffer size. By doing this, it is allowed to transmit data packets only in the specified slots when the status of the channel is idle. That means this time slot has not been assigned to the VTs or we will use the time slots of an active channel while the status of the channel is silence. We focus on the telephone call blocking probability caused by the lacking of idle channel to assign a slot for a new call. This is one of the parameters in the telephony service. We are focusing on main QoS parameters for the data transfer service, as such the data packet loss probability and the average data packet transfer delay.

Three existing channel allocations and our policy are introduced. The first channel allocation policy is conventional, acknowledging the primary role of the telephony service, which telephone calls or VTs are given highest priority. By using residual channel, data packets or DTs can be transmitted only over channels that are not used by voice connection. This policy is called *voice priority*.

The second channel allocation policy is *R-reservation* [3], which proposed to guarantee at least a minimum QoS level for data service by means of reserving some channels to transfer data only while the residual channels are shared by voice and data connections. In this way, the QoS for voice parameters will be directly impacted because of decreasing number of channels for voice users.

The third channel allocation is *dynamic reservation* [3], [5]. In case a static channel reservation may result in an inefficient usefulness of radio resources; however, some QoS of DTs must be basically provided to data connection. It can be happened that during long time intervals no data transfers are required. Then it will be flexible and convenient if data channels are assigned by the basis of the actual data traffic load. That is why this policy uses the information of queue length to reserve channel for data.

The fourth channel allocation policy is our proposed, namely, *dynamic reservation with VAD*. Not only dynamically reserved channels but also silent periods in each conversation will be used to transfer data packets. In fact, the rising of voice connection has led to the proportionally increasing of silent periods, resulting in the increasing number of data packets that can be transmitted over that channel. Like the previous one, the information about queue length will be used by the acceptance on the number of voice corrupted in the system. The system model and a sketch of the traffic model for our policy are shown in Fig.1 and Fig.2, respectively.

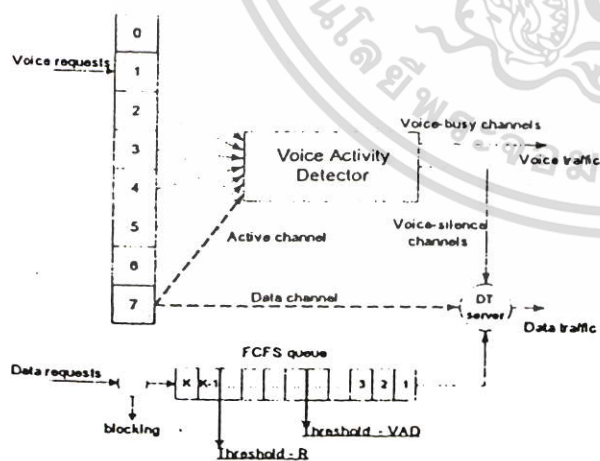


Fig.1: The system model.

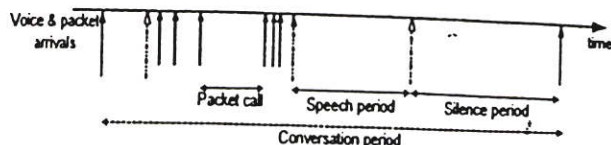


Fig.2: Model of traffic connection (voice & packet session).

### 3. ALGORITHMS AND SIMULATION

When traffic users desired to use traffic channels in both voice and data, they should firstly find an idle channel. If it is available, the BS will assign an idle channel to the terminal. Otherwise, the request will be blocked, that is voice request will lose and data request will be added in queue. For voice transmission, the user transmits voice signals in the channel when he is speaking and transmits nothing when he is silent. For data transmission, there are many strategies to allocate the channels. When the system lacks an idle channel, the data packets will be operated in term of suitable condition (shown in Table 1).

The conventional channel allocation for data service is shown in Fig. 3 and the data flow is similar as mentioned above. The proposed channel allocation is shown in Fig. 4 as a partial algorithm of Fig.3. When the data request is not granted by the system, it will be placed in the FCFS queue and number in queue will be increased one level. For this reason, the appropriated policy has been invoked, following by the threshold. For instance, if the number in queue is more than  $Th-VAD$  (threshold for *dynamic reservation with VAD*) but less than  $Th-R$  (threshold for *dynamic reservation*), the DT will be arranged to attach a voice-traffic channel and waits for silent period to transmit its packets. In other case, if the queue length is more than  $Th-R$  one of the traffic channels will be permanently assigned to DT as long as the condition is defined. The reason why we determine the threshold of VAD is that when a voice user and a data connection made a transaction simultaneously, both of them would be lost. This is our proposal to decrease voice and data corruption by using adaptive threshold.

Table 1: Action for data transmission in simulation

Condition	Action
$num\ in\ Q < Th-VAD$	no channel reserved
$Th-VAD < num\ in\ Q < Th-R$	VAD activated
$Th-R < num\_in\_Q$	VAD activated, reserved a channel

In this model, we assume that the sequence of new voice call requests follow a Poisson process with rate  $\lambda_v$ , and the duration of calls are an exponentially distributed random variable with mean  $1/\mu_v$ . According to the general model proposed in [1], the voice activity can be described by Markov process. The talkspurt period is exponentially distributed with mean  $1/\lambda_{vad}$  and the silent period is exponentially distributed with mean  $1/\sigma_{vad}$ . Therefore, a conversation cycle can be segmented into four events

(arrival of voice calls, departure of voice calls, incoming silence periods, and incoming speech periods).

Note that exponential assumptions are generally considered not to be critical in telephony models; telephone systems have been dimensioned using exponential assumptions for almost a century. More recently, these assumptions were used in modeling wireless system [3], [6].

For data transmission over voice infrastructure, data packet arrivals are assumed to be Poisson process with rate  $\lambda_d$  and the service time of data packet is assumed to be exponentially distributed with mean  $1/\mu_d$ . A buffer of size  $B$  is allocated for data traffic only. The events for data transmission can be segmented only two events (arrival of data transmissions, departure of data transmissions).

With the flowchart shown in Fig.3 and Fig.4, the modified policy that resides in Fig.4 will be replaced in the square box in Fig.3. In our simulation, three thresholds of VAD are used e.g. 20, 40, 60, respectively. The periods of both silence and speech are assumed as the parameter suggested in [2] and Table 2. These parameters will be settled before starting simulation.

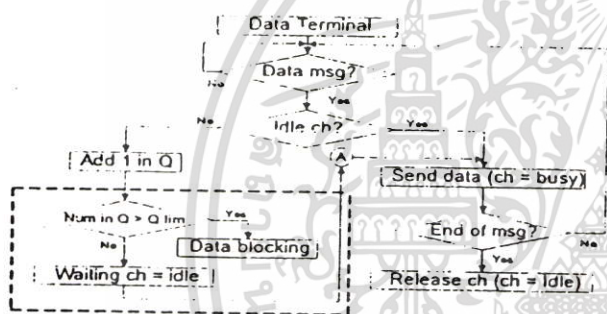


Fig.3: Flow chart of the conventional model.

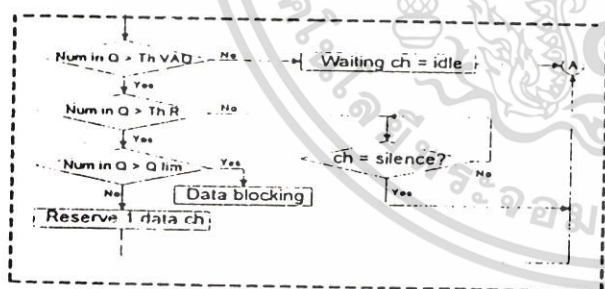


Fig.4: The partial flow chart of the proposed model.

Table 2: Basic parameter

Parameter	Value
No. of traffic channels in the cell, N	7
No. of channels reserved to data	1
$1/\mu_v$	180s
$1/\lambda_{vod}$	60s
$1/\sigma_{vod}$	95s
Buffer size (queue size), B	100

#### 4. NUMERICAL RESULTS

In this section, four channel allocation policies will be considered which are *voice priority*, *R-reservation*, *dynamic reservation* and *dynamic reservation with VAD*. In our results, we present the assessment of their relative merit of the different schemes, concentrating on the performance measurement of the cellular network.

For the sake of simply investigation, that can be divided into three groups. The first group is the *voice priority* scheme, and there is only one curve; the second is *R-reservation* and *dynamic reservation*, which present two curves. The last group is *dynamic reservation with VAD*, and there are three curves with *Th-VAD* 20, 40, 60, respectively.

Under the *voice priority* scheme, the main QoS parameters for data transfer service, as such the average delay in queue and average number in queue are quite larger than other schemes because of the highest priority of voice users. Even though it is uneasy to observe the performance due to the low voice traffic load, the results are quite obviously in the higher voice traffic load.

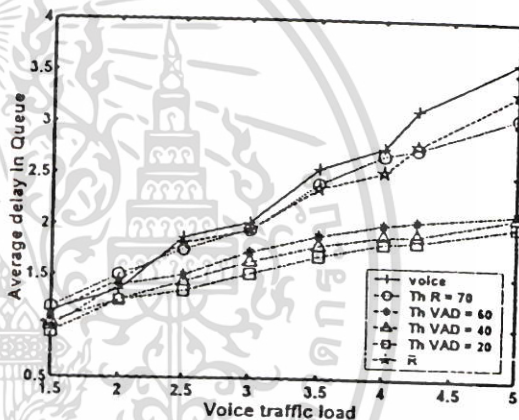


Fig.5: Average delay in queue & voice traffic load.

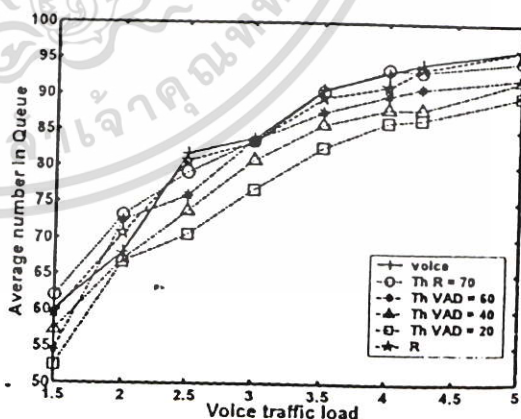


Fig.6: Average number in queue & voice traffic load.

Figs.5, 6 and 7 illustrate the average delay, average number of request in queue and data blocking probability. The highest curve refers to the *voice priority* scheme; the three lowest curves refer to the proposed policy with the

different threshold of VAD, and the *R* reservation and dynamic reservation vary between the two groups of the voice priority scheme and dynamic reservation with VAD.

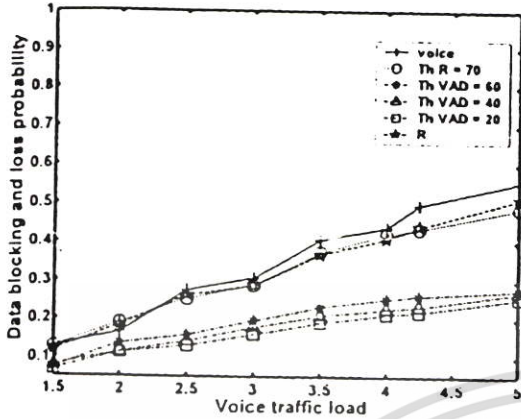


Fig. 7: Data blocking and loss probability & voice traffic load

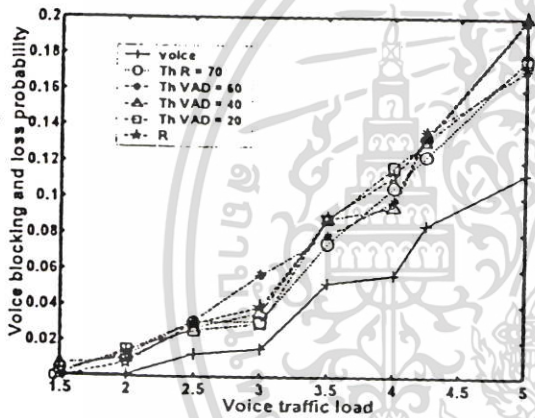


Fig. 8: Voice blocking and loss probability & voice traffic load

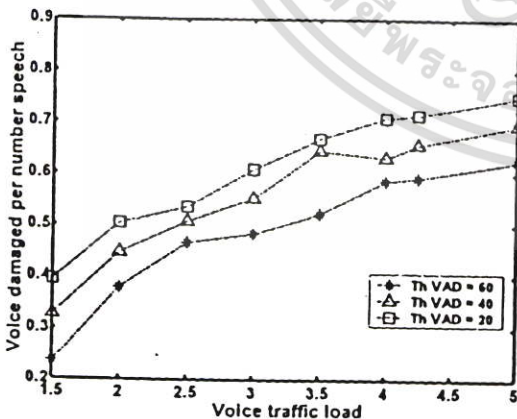


Fig. 9: Voice damaged per number speech & voice traffic load

Due to this result, we can conclude that the dynamic reservation with VAD has an extreme achievement on the

QoS performance and data loss probability as smaller as threshold -VAD is used. Definitely, any improvement of QoS provided in data services must be paid by voice QoS; however, surprisingly, the voice blocking and loss probability (shown in Fig. 8) of the proposed scheme are quite equal to the *R*-reservation and dynamic reservation schemes. In the fact that, this situation results from no contention of the traffic channels between voice and data users, and the proposed policy will be used merely a silent period to transfer data packets. The corrupted voice will be occurred if we use the proposed scheme, and the corrupted voice will be increased if we select the small threshold-VAD (shown in Fig. 9).

5. CONCLUSIONS

In this paper, we proposed a policy to allocate traffic channels between voice and data service in cellular networks by using voice activity detection. We have presented the method to select the policy by using information about the queue length. Whenever we use VAD scheme, it can be guaranteed that the data packet can be transmitted even when all traffic channels in a cell are busy with voice connection. The results had shown to provide very effective performance trade-off for channel usage and voice corrupted. Hence, we have proposed an option to increase the bandwidth utilization and improve the performance of delay network for data and voice system.

6. REFERENCES

- [1] J.H. Huang, S.L. Su and J.H. Chen, "Design and Performance Analysis for Data Transmission in GSM/GPRS System with Voice Activity Detection," *IEEE transactions on vehicular technology*, Vol. 51, no. 4, July, 2002.
- [2] P.T. Brady, *A technique for investigating on-off patterns of speech*, Bell Syst. Tech. J., vol. 44, no.1, pp. 1-22, Jan. 1965.
- [3] M. Mco, M.A. Marsan, C. Batetta, "Resource Management Policies in GPRS Wireless Internet Access System," *IEEE proceedings of the international conference on dependable systems and networks*, 2002.
- [4] L. Kleinrock, *Queueing Systems*, Vol. 1., New York, Wiley, 1975.
- [5] P. Lin and Y.B. Lin, "Channel Allocation for GPRS," *IEEE transactions on vehicular technology*, Vol. 50, no.2, March, 2001.
- [6] H.H. Lin, J.L.C. Wu and W.C. Hsieh, "Delay Analysis of Integrated Voice and Data Service for GPRS," *IEEE communications letters*, Vol. 6, no. 8, August, 2002.
- [7] J.W. Kim and M.S. Seo, "A Voice Activity Detection Algorithm for Wireless Communication Systems with Dynamically Varying Background Noise," *IEICE trans. Commun.*, Vol. E83-B, no. 2, February, 2000.
- [8] A.M. Law and W.D. Kelton, *Simulation modeling and analysis*, McGraw-Hill, Inc., Singapore, 1982.



# Acceptance Letter



## 2004 International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2004)

August 25-27, 2004  
The Shangri-La Hotel, Bangkok, Thailand

Home page : <http://www.kmitl.ac.th/iccas04>  
<http://www.iccas.org>

■ **General Chair**  
Prakit Tangtisanon (KMITL, President, Thailand)

■ **General Co-Chair**  
Keh Sik Min (ICASE, President, Korea)

■ **Advisory Council**  
Taweesak Kornantrakul (NECTEC, Thailand)  
Hironobu Ono (SICE, Japan)  
Han Fu Chen (CAA, China)  
Youngil Yeom (POSTECH, Korea)  
Hidenori Kimura (RIKEN, Japan)  
Toshio Wakabayashi (Tokai Univ., Japan)  
Monai Krairiksh (KMITL, Thailand)

■ **Organizing Chair**  
Tawil Paungma (KMITL, Thailand)

■ **Organizing Co-Chair**  
Sangchul Won (POSTECH, Korea)

■ **Conference Program Chair**  
Ouen Pinnern (KMITL, Thailand)

■ **Technical Co-Chairs**  
Jun-ichi Takada (TIT, Japan)  
Ruttikom Varakulsiripunth (KMITL, Thailand)  
Narong Yoothanom (SPU, Thailand)  
David Banjerpongchai (CU, Thailand)  
Akachai Sang-In (CMU, Thailand)  
Sujate Jantarang (MUT, Thailand)  
Waree Kongpraweechon (TU, Thailand)  
Sinchai Chinvorarat (KMITNB, Thailand)  
Suthee Phoojaruenchanachai (NECTEC, Thailand)  
Bhaisal Hoonkeo (SAU, Thailand)

■ **International Relations Co-Chairs**  
Jongkol Ngarmwiwit (KMITL, Thailand)  
Hyun Sik Ahn (Kookmin Univ., Korea)  
Yutaka Yamamoto (Kyoto Univ., Japan)  
Apinunt Thanachayanont (KMITL, Thailand)  
Sunpasit Limnararat (KMITL, Thailand)

■ **Regional Program Co-Chairs**  
Joonhong Lim (Hanyang Univ., Korea)  
Noriyuki Komine (Tokai Univ., Japan)

■ **Exhibition Co-Chairs**  
Werachet Khanngern (KMITL, Thailand)  
Jin Bae Park (Yonsei Univ., Korea)  
Mongkol Mongkolwongroj (KMITL, Thailand)

■ **Publication Co-Chairs**  
Nopporn Chotikakamthorn (KMITL, Thailand)  
Surapan Airphaiboon (KMITL, Thailand)  
Young Il Lee (SNUT, Korea)

■ **Secretariats**  
Tawon Benjanarasuth (KMITL, Thailand)  
Hyun-Chang Yang (ICASE, Korea)  
Vimoluck Thianjew (KMITL, Thailand)

May 21, 2004

Paper No : ABST 259

Title : Impact of Voice Activity Detection on Channel Allocation in Cellular Network

Authors : Mr. Limsaksri Wichan, Dr. Thipchaksurat Sakchai, Dr. Varakulsiripunth Ruttikom, Dr. Varakulsiripunth Ruttikom

Dear : Mr. Limsaksri Wichan, Dr. Thipchaksurat Sakchai, Dr. Varakulsiripunth Ruttikom, Dr. Varakulsiripunth Ruttikom

I would like to express my gratitude for your continued attention and support for the ICCAS2004. On behalf of the ICCAS 2004 Program Committee, it is a great pleasure to inform you that your paper described above has been accepted for presentation. You are requested to submit the paper and abstract under "Online Submission > Submit Full Paper" in ICCAS04 web site (<http://www.kmitl.ac.th/iccas04>) by June 21, 2004. Please follow the guideline as can be found in the 'Author's Kit' section of the ICCAS04 web site, as well as those shown below when preparing the manuscript.

✕ **Guidelines**

1. A manuscript must be submitted as a PDF file. Make sure that the manuscript uses only English characters.
2. A manuscript is limited to 6 single-spaced two-column pages including the abstract, references, figures and tables.

Thank you for your contribution to the ICCAS2004.  
We are looking forward to seeing you at The Shangri-La Hotel, Bangkok, Thailand.

Yours Sincerely,

Tawil Paungma

ICCAS 2004 Organizing Chair  
<http://www.kmitl.ac.th/iccas04>

ICCAS2004 Organizing Chair Tawil Paungma  
Research Center for Communications and Information Technology (ReCCIT)  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, THAILAND  
TEL: +66-27392427-8, FAX: +66-27392429  
E-mail: [iccas04@kmitl.ac.th](mailto:iccas04@kmitl.ac.th)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Impact of Voice Activity Detection on Channel Allocation in Cellular Networks

Wichan Limsaksri\*, Sakchai Thipchaksurat\*\* and Ruttikorn Varakulsiripunth\*

\*Department of Electronics, \*\*Department of Computer Engineering  
Faculty of Engineering and Research Center for Communications and Information Technology (ReCCIT),  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.  
E-mail: [s4061306@kmitl.ac.th](mailto:s4061306@kmitl.ac.th), [ktsakcha@kmitl.ac.th](mailto:ktsakcha@kmitl.ac.th), and [kvruttik@kmitl.ac.th](mailto:kvruttik@kmitl.ac.th)

**Abstract:** In this paper, the performance enhancement algorithm of channel allocation for voice and data transmission in cellular networks is proposed. The voice activity detection has been applied to dynamic channel allocation procedure to detect and separate the silence and speech among conversation periods. Hence a data user can use the silent period of an active voice channel to transmit its information. To control the selecting of channel allocation policies, the information of number of data in transmission waiting queue has been determined in order to accept the performance measurement. In the simulation results, the improvement of the performance shows via the quality of services, which are an average delay in queue, a blocking probability, and an impact of the proposed scheme is presented in the system.

**Keywords:** Channel Allocation, Voice Activity Detection, Cellular Networks, TDMA

### 1. INTRODUCTION

In the next generation of mobile communication in cellular networks, the efficient utilization of the available resources, especially the spectrum resource, is a primary objective. However, the time-division multiple-access (TDMA) that used in mobile systems provide voice service with tolerable blocking probabilities as about 1%-3%. Consequently, this will leave the traffic channels (TCHs) idle even during the busy hours. To efficiently organize the spectrum resource, the idle TCHs may be utilized by packet-switched data services. Such as in general packet radio service (GPRS), which was defined by the European Telecommunications Standards Institute in 1994, permits the data terminals to share the idle voice channels in global system for mobile (GSM) communications to transmit its data.

A conversational speech in mobile communication can be considered as a variable data rate source made up of speech (or talkspurts) and silent periods by voice activity detection (VAD). A voice user will take more or less 50% of the time on average in speaking (speech period) and the remaining time pausing or listening (silent period). Therefore, one solution in order to fulfil the channel efficiency is to utilize the silent periods of active voice channels to transmit data of messages [1]. However, the risk of data and voice corruption can be happened. The term of "data" used in this paper means any transmitted information or message except voice.

Different from the previous works, this paper will focus and discuss on the impact of VAD algorithm by comparing our proposed algorithm with the current or conventional channel allocation. The simulation is performed in order to investigate this impact and also to show the performance comparison in term of voice and data blocking probabilities, data transmission delay.

### 2. VOICE ACTIVITY DETECTION

Voice Activity Detection (VAD) is a mechanism that can distinguish between speech added with background noise and background noise only. The input signal may be speech signal under high noise levels. The output from the VAD is then a signal that possesses the information whether the input signal contains speech (e.g. output signal value 1) or only noise (e.g. output signal value 0). For easier computation, the input signal is divided into frames, and the speech/noise decision is done

only once for every frame. Within one frame, the speech signal (and also the noise signal) is supposed to be stationary; this assumption allows applying conventional techniques of signal processing to this problem. The reasons why voice activity detection is useful depend on the application. If one wants to store recorded speech signals, the amount of storage capacity can be reduced since the known noise passages do not need to be saved. In the same way, the required capacity of a speech transmission channel can be reduced, if only the speech parts of a recorded signal are transmitted. In very noisy environments, noise suppression is needed before further speech processing can take place. The VAD sorts out the data without speech, so that the noise suppressor can use this data to estimate the noise statistics. For instance, discontinuous transmission (DTX) has been developed for a mobile communication system. The goal is to reduce power consumption and to reduce the interference in a cell. During a normal conversation, the participants speak only 50% of time, i.e., each direction of transmission is occupied about 50% of time. DTX is a mode of operation where the transmitters are switched on only for those frames containing useful information. The difficulty is to find techniques to distinguish noisy speech from real noise even in a noisy environment. These algorithms are implemented in the VAD function. The background noise has to be evaluated in order to transmit characteristic parameters to the receiver side. The receiver side generates a similar noise called comfort noise during the periods that the radio transmission is cut.

In this paper, the application of the VAD in the work is implemented for general cellular systems. Furthermore, the VAD has been applied with dynamic channel allocation in order to increase available traffic channel for data transmission while considering the impact on quality of service for voice.

### 3. SYSTEM MODEL

Considering TDMA as a cellular system, this includes a base station (BS), a number of voice terminals (VTs) and a number of data terminals (DTs) in one particular cell. The model of cellular system is shown in Fig.1. By the assumption that the activities occurred in any cell in a cellular system are similarly, then only a homogenous cell has been considered in this paper, where voice from VTs and data from DTs are taken into account. Voice provision depends on usual circuit-base oriented. At the same time, data packets are relied on packet-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

base oriented, using the same resources deployed for voice connection. We assume that all the arrivals of the service requests from voice and data users are independent, and data packets are transmitted under an error-free environment unless they collide with voice transmission which adopts the voice priority channel allocation policies.

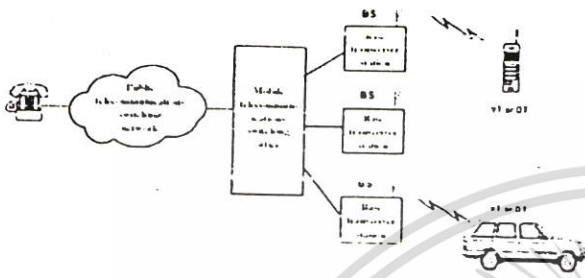


Fig. 1 The model of cellular system.

Since the duration of a data transfer is typically much smaller than the time spent by a user in a cell, we neglect the possibility that a user requests a handover procedure while transferring data.

In this system, we refer that conversation period is a random sequence of consecutive segments of speech and silence [2]. And VAD is employed in VT to detect and separate a conversation period into speech and silence. An active VT will not transmit any signal during its silent periods. Meanwhile an active DT will be placed into a first-come first-served (FCFS) queue if they can contain data packets within a buffer size. By doing this, it is allowed to transmit data packets only in the specified slots when the status of the channel is idle. That means this time slot has not been assigned to the VTs or we will use the time slots of an active channel while the status of the channel is silence. We focus on the voice (or call) blocking probability caused by the lacking of idle channel to assign a slot for its new request. We also focus on main QoS parameters for the data transfer service, such as the data blocking probability and the average delay in queue. Rejection of data transmission is caused by two possible reasons: blocking due to a full occupied queuing buffer and unavailability of resources due to preempted voice. To lower the harmful effect on the voice services, we assign full priority to voice transmissions. This means that data services will be preempted by voice requests. Finally, the simulation model of the cellular system mentioned above can be represented as shown in Fig. 2.

4. ALGORITHM and SIMULATION

As we have mentioned before that it will be flexible and convenient if data channels are assigned by the basis of the actual data traffic load. That is why our proposed algorithm will use the information of queue length to reserve transmission channel for data. Not only dynamically reserved channels but also silent periods in each conversation will be used to transfer data packets. In fact, the rising of voice connection has led to the proportionally increasing of silent periods, resulting in the increasing number of data packets that can be transmitted over that channel. Like the previous work [3], the information about queue length will be used by the

acceptance on the number of voice corrupted in the system. From the simulation model in Fig. 2, the arrival process or the occurring events of voice and data in the system can be sketched as shown in Fig. 3.

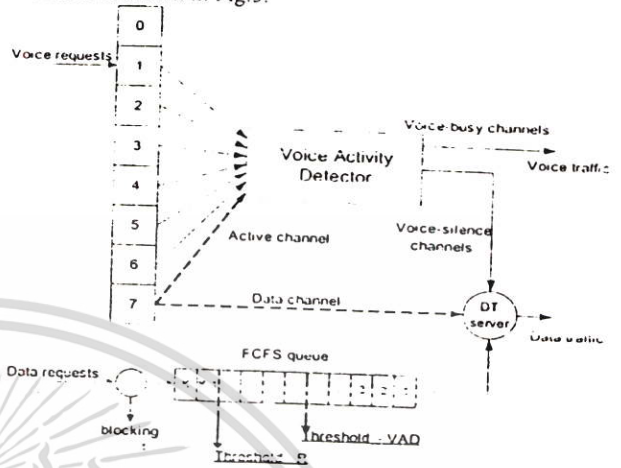


Fig. 2 The simulation model of a cellular system.

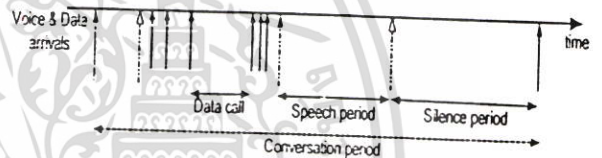


Fig. 3 Model of traffic connection (voice & data session).

Here, the procedure of conventional channel allocation for data service is shown in Fig. 4, where the data flow is similar as mentioned above. And the procedure of proposed channel allocation is shown in Fig. 5 as a partial algorithm of Fig.4 by replacing the dashed box part. When the data request is not granted by the system, it will be placed in the FCFS queue and number in queue will be increased one level. For this reason, the appropriated policy has been invoked, following by the threshold. For instance, if the number in queue is more than  $Th-VAD$  (threshold for dynamic reservation with VAD) [3] but less than  $Th-R$  (threshold for dynamic reservation), the DT will be arranged to attach a voice-traffic channel and waits for silent period to transmit its packets. In other case, if the queue length is more than  $Th-R$  one of the traffic channels will be permanently assigned to DT as long as the condition is defined. The reason why we determine the threshold of VAD is that when a voice user and a data connection made a transaction simultaneously, both of them would be lost. This is our proposal to decrease voice and data corruption by using adaptive threshold.

As is normally done when modelling cellular network systems, we consider one cell at a time, and we neglect the impact of signalling. Moreover, in order to proceed the simulation model of the system, we introduce the following assumptions and notations.

The sequence of new voice requests follows a Poisson process with rate  $\lambda$ , and the duration that a voice request will hold the channel is an exponentially distributed random variable with mean  $1/\mu$ . The speech period and the silent period are both exponentially distributed with mean  $1/\lambda_v$  and  $1/\sigma_v$ , respectively. The arrivals of newly generated and retransmitted data requests follow a Poisson process with

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์กับการใช้งานเพื่อการท้ช้เท่านั้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

average rate  $\lambda_D$  (number of data arrivals per second). The length of a data message is assumed to be geometrically distributed with mean  $1/\mu_D$  blocks or frames. It can be used for the performance comparison between the proposed algorithms. In addition, this traffic model is believed to represent short-message service very well in a mobile cellular system. The period of a block is  $r = 4r_f$ , where  $r_f = 4.615$  ms is the frame period. The maximum allowable number of data request in the system is  $B$ , which is the size of the FCFS queue. The values for some parameters used in the simulation are shown in Table 1.

Table 1 Basic parameter

Parameter	Value
No. of traffic channels in the cell, $N$	7
No. of channels reserved to data	1
$1/\mu$	180s
$1/\lambda_v$	1.35s
$1/\sigma_v$	1s
Buffer size, $B$	100

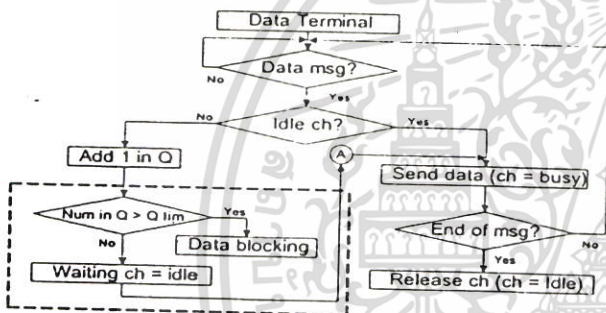


Fig. 4 The procedure of conventional channel allocation.

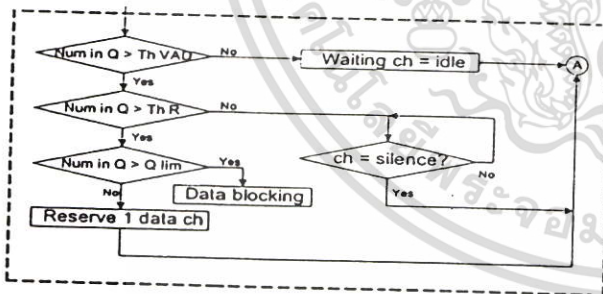


Fig. 5 The partial procedure of the proposed channel allocation.

5. SIMULATION RESULTS

In the simulation model, we assumed that there is one carrier (eight channels) assigned to a cell. Thus, one channel for signaling, and there are seven channels that can be served as a traffic channel for voice and data services. We have selected the voice traffic load ( $\lambda$ ) as the Erlang value equal to  $\lambda/\mu$ . Therefore, for pure voice system with  $N = 7$ , we require 2% of blocking probability, then this will be satisfied when voice traffic load = 2.95 Erlang [1].

In our results, we present the assessment of their relative merit of the different schemes, concentrating on the performance measurement of the cellular network. Figs. 6-8 illustrate the performance measurements an average delay, an

average number in queue, and data arrival rate as a function of data arrival rate  $\lambda_D$  and average data message length  $1/\mu_D$ , respectively. The dashed curves represent the performance measurements of the system without using the silent periods of traffic channels to transmit data packets. In these figures, it is clear that the performance measurements of the proposed algorithm, which utilizes the silent periods of traffic channels for data service, are always better than those of the current channel allocation, as expected. From the results, we can get about 25% less average delay in queue and 20% less data blocking probability (no considering the retransmission delay) for  $1/\mu_D = 5$  at heavy data traffic load.

Further investigation, Fig 9 shows the voice blocking probability. Definitely, any improvement of QoS provided in data services must be paid by voice QoS; however, surprisingly, the voice blocking probability of the proposed scheme are quite equal to the current channel allocation (marked the triangle). In the fact that, this situation results from no contention of the traffic channels between voice and data users, and the proposed policy will be used merely a silent period to transfer data packets. Moreover, if we elaborately investigates the conventional channel allocation and the fashionable channel allocation (dynamic channel allocation which marked the square and circle), we have found that the voice blocking has been increased significantly because of contention of using traffic channel between voice and data services

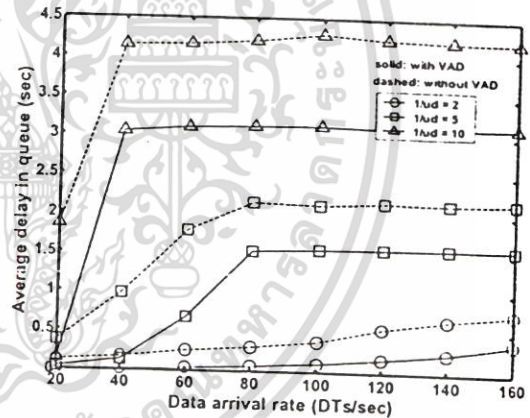


Fig. 6 Average delay in queue & data arrival rate  $\lambda_D$ .

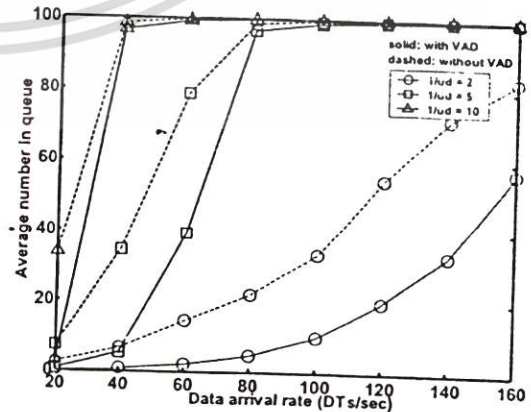


Fig. 7 Average number in queue & data arrival rate  $\lambda_D$ . However, each scheme has an advantage and a disadvantage in itself. The corrupted voice will be occurred if

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสวนวสําหรับการใชงนเพื่อการศึกษาเทอนน ไม่นนุญให้เผยแพร่หรือใชงนใน  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

we use the proposed scheme, and the corrupted voice will be increased if we select the small threshold-VAD. The affection of VAD technique is when data user is sending the information via a silent channel, the active voice user wants to talk again. The voice and data message will be crashed at that time. For data part, they have to be retransmitted. For voice part, maybe the listeners will perceive the message unclear for a while but it will take a short time.

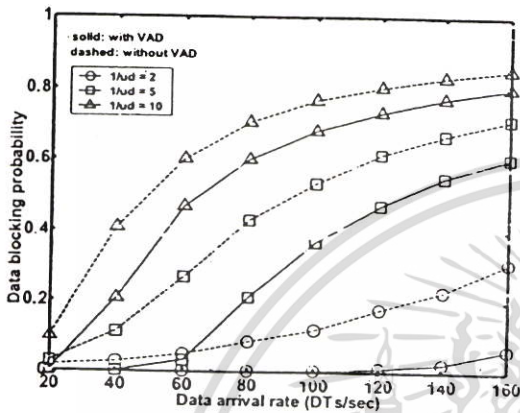


Fig. 8 Data blocking probability & data arrival rate  $\lambda_D$ .

If the voice signal damaged rate is not acceptable, another possible way to reduce damaged voice is as follows. Like the reservation request in packet reservation multiple access (PRMA) [4] protocols, the VT transmits two blocks of a dummy signal before it restarts voice signal transmission when it changes state from silence to speech. The BS can use this two-block duration to detect the state change and alert the corresponding DT. In this case, we will negligible voice damaged rate, but voice transmission delay is considered.

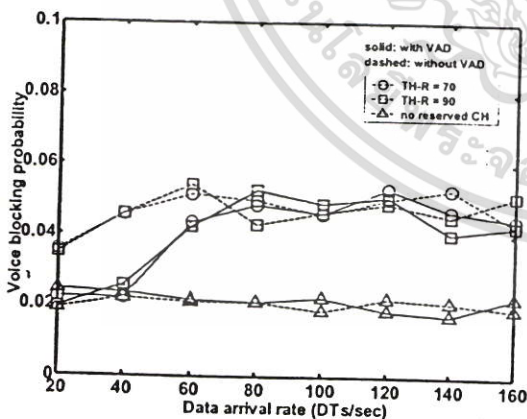


Fig. 9 Voice blocking probability & data arrival rate  $\lambda_D$ .

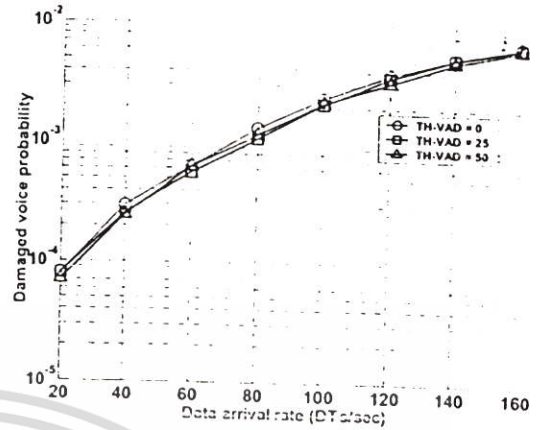


Fig. 10 Damaged voice probability & data arrival rate  $\lambda_D$ .

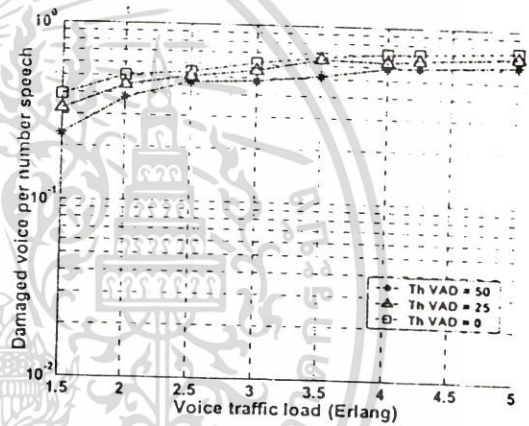


Fig. 11 Damaged voice per number speech

From Fig. 10 shows the ratio between the collision period and the total voice period. It is clear that the crashes happen too less, since the period of data services per packet take very short time when we compare the period of voice occupancy in each conversation. For Fig. 11, we fixed the data arrival rate and vary the voice traffic load instead. The figure shows the ratio of the number of damaged voice and the number of speech. It is clear to show that the crashes happen more, if we allow the data user transmitting its packet previously because of the small value of threshold VAD.

### 6. CONCLUSIONS

In this paper, we proposed a policy to allocate traffic channels between voice and data service in cellular networks by using voice activity detection. We have presented the method to select the policy by using information about the queue length. Whenever we use VAD scheme, it can be guaranteed that the data packet can be transmitted even when all traffic channels in a cell are busy with voice connection. The results had shown to provide very effective performance trade-off for channel usage and voice corrupted. We also show that the data service delay can be decreased by around 30-50% depending on the length of data messages. Hence, we have

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้เผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

proposed an option to increase the channel utilization and improve the performance of delay network for data and voice system by using information of queuing buffer to handle the impact of VAD.

### REFERENCES

- [1] J.H. Huang, S.L. Su and J.H. Chen, "Design and Performance Analysis for Data Transmission in GSM/GPRS System with Voice Activity Detection," *IEEE transactions on vehicular technology*, Vol. 51, no. 4, July, 2002.
- [2] P.T. Brady, *A technique for investigating on-off patterns of speech*, Bell Syst. Tech. J., vol. 44, no.1, pp. 1-22, Jan. 1965.
- [3] W. Limsaksri, S. Thipchaksurat and R. Varakulsiripunth, "An Efficient Channel Allocation for Voice and Data with Voice Activity Detection in Cellular Networks," First ECTI Annual Conference 2004, Thailand, pp. 364-366, May 2004.
- [4] S. Nanda, "Analysis of packet reservation multiple access: Voice and data integration for wireless networks," in *Proc. GLOBECOM*, 1990
- [5] P. Lin and Y.B. Lin, "Channel Allocation for GPRS," *IEEE transactions on vehicular technology*, Vol. 50, no.2, March. 2001.
- [6] H.H. Lin, J.L.C. Wu and W.C. Hsieh, "Delay Analysis of Integrated Voice and Data Service for GPRS," *IEEE communications letters*, Vol. 6, no. 8, August, 2002.
- [7] J.W. Kim and M.S. Seo, "A Voice Activity Detection Algorithm for Wireless Communication Systems with Dynamically Varying Background Noise," *IEICE trans. Commun.*, Vol. E83-B, no. 2, February, 2000.
- [8] A.M. Law and W.D. Kelton, *Simulation modeling and analysis*, McGraw-Hill, Inc., Singapore, 1982.
- [9] M. Meo, M.A. Marsan, C. Batetta, "Resource Management Policies in GPRS Wireless Internet Access System," *IEEE proceedings of the international conference on dependable systems and networks*, 2002.
- [10] L. Kleinrock, *Queueing Systems*, Vol. 1., New York, Wiley, 1975.

## คำย่อที่สำคัญ

BSS	Base Station Subsystem
CCH	Control Channel
DCA	Dynamic Channel Allocation
DTX	Discontinuous Transmission
FCA	Fixed Channel Allocation
FCFS	First Come First Serve
FDMA	Frequency Division Multiplex Access
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communication
HLR	Home Location Register
LLC	Logical Link Control
MAC	Medium Access Control
MSC	Mobile Switching Center
PLMN	Public Land Mobile Network
PSTN	Public Switch Telephone Network
RLC	Radio Link Control
SSS	Switching Subsystem
TCH	Traffic Channel
TDMA	Time Division Multiplex Access
VAD	Voice Activity Detection
VLR	Visitor Location Register

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

นายวิชาญ ลิมศักดิ์ศรี เกิดเมื่อวันที่ 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2523 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนหอวัง (กศน.) และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปี พ.ศ. 2544



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้