สำนักหอสมุดกลาง_พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การบริหารช่องสัญญาณระหว่างชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยวิธี "การจองช่องสัญญาณเมื่อรับสาย"

GSM MOBILITY MANAGEMENT USING THE POST SEIZER ISUP ALGORITHM

TO59820

จตุพร เปลี่ยนเจริญ

JATUPORN PLIANCHAROEN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2547

ISBN 974-9708-29-6

วพ.
จ 136 ก
2547

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....59820
วัน,เดือน,ปี.....19 มิ.ย. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1402076
i

GSM MOBILITY MANAGEMENT USING THE POST SEIZER ISUP ALGORITHM

JATUPORN PLIANCHAROEN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2004

ISBN 974-9708-29-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKHUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การบริหารช่องสัญญาณระหว่างชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยวิธี "การจองช่องสัญญาณเมื่อรับสาย"
นักศึกษา	นาย จตุพร เปลี่ยนเจริญ
รหัสประจำตัว	43061065
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. สุทธิชัย นพนาคีพงษ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอวิธีการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรภายในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยกำจัดช่วงเวลาที่ไม่จำเป็นในการจองวงจรสนทนาของระบบออก ได้แก่ช่วงเวลาที่คู่สนทนาไม่รับสาย, ช่วงเวลาที่วงจรสนทนาถูกจองกรณีการโอนสายอัตโนมัติ และการเชื่อมต่อวงจรสนทนาระหว่างประเทศเมื่อหมายเลขโทรศัพท์เคลื่อนที่ใช้งานในต่างแดน โดยทำการพัฒนาอัลกอริธึมในการเชื่อมต่อวงจรสนทนาที่ใช้อยู่ในปัจจุบันให้มีการรอจนกระทั่งคู่สนทนาปลายทางรับสาย และได้รับสัญญาณตอบรับจากระบบชุมสายปลายทางก่อนที่จะเชื่อมต่อวงจรสนทนา โดยจะมีการดัดแปลงโปรโตคอลสื่อสาร Mobile Application Part (MAP) ที่ใช้ติดต่อระหว่างชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งรับ-ส่งบนช่องสัญญาณหมายเลขเจ็ด ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของหลักการที่นำเสนอจะพิจารณาใน 3 ปัจจัยหลัก คือ ภาระของวงจรสนทนาเมื่อเปรียบเทียบกับหลักการที่ใช้อยู่โดยทั่วไป (Traffic channel load), ภาระของวงจรสัญญาณหมายเลขเจ็ด (Signaling load SS7) และช่วงเวลาล่าช้าของการเชื่อมต่อวงจรสนทนา (Call setup delay)

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานจะใช้การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับวิเคราะห์ และเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ใช้งานจริงจากผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำสูงสุด ซึ่งพบว่าหลักการที่นำเสนอสามารถลดภาระของวงจรสนทนาและลดต้นทุนการขยายโครงข่ายเพื่อเพิ่มวงจรสนทนาระหว่างชุมสายได้เป็นอย่างดีแต่ในขณะเดียวกันได้ส่งผลกระทบให้ค่าภาระของวงจรสัญญาณหมายเลขเจ็ด และเวลาล่าช้าของการเชื่อมต่อวงจรเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางเพื่อพัฒนาในลำดับต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	GSM MOBILITY MANAGEMENT USING THE POST SEIZER ISUP ALGORITHM
Student	Mr. Jatuporn Pliancharoen
Student ID	43061065
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2004
Thesis Advisor	Assist. Prof. Dr. Suthichai Noppanakeepong

ABSTRACT

This thesis presents the method of alternative call routing for GSM mobility management. The proposed method is to eliminate the unnecessary seizer time of speech channel between exchange ,for example, the seizer time when no answer from called number, the seizer time when called party perform call forwarding conditional and interconnection when subscriber is international roaming. The mobile application part or MAP has been modified to resolve the waste of speech channel between exchange by waiting for the answer message from called subscriber before setting up the speech connection for terminating call. The performance evaluation will be considered in 3 topics: traffic channel load, signaling load SS7 and call setup delay.

The consequence of simulation result by traffic measurement analyzing tool and traffic measurement from the real network are shows that the proposed method responds with the improvement of traffic channel load and the cost saver for network expansion, but it slightly effect to the increased of signaling load SS7 and call setup delay that should be the tropic in future for improvement.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิชัย นพนาคีพงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ Mr. Malmer Franz ที่ปรึกษาทางด้านเทคนิคของบริษัทซีเมนส์ประเทศไทย จำกัด ที่ช่วยเหลือแก้ไขและให้คำแนะนำในบางจุดที่ผู้วิจัยติดปัญหาในบางประการ ซึ่งมีส่วนช่วยให้ผู้วิจัยเข้าใจในปัญหานั้น

ขอขอบพระคุณ คุณนเรนทร์ ศรีสกุลแก้ว ผู้จัดการฝ่ายเทคนิค บริษัทซีเมนส์ประเทศไทย จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลทางทฤษฎีและข้อมูลทางสถิติที่เป็นประโยชน์ยิ่งในงานวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือให้คำแนะนำต่างๆ พร้อมทั้งช่วยตรวจเทียบและแก้ไขทฤษฎี และอื่นๆที่ผิดพลาดจนสำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้นและยังให้กำลังใจต่อผู้วิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดมา

สุดท้ายขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

จตุพร เปลี่ยนเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง.....VIII

สารบัญรูป.....IX

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....2

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....2

1.4 โครงประกอบของวิทยานิพนธ์.....3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่ใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM.....4

2.1 กล่าวนำ.....4

2.2 ส่วนประกอบภายในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่.....4

2.2.1 อุปกรณ์เครื่องลูกข่าย.....5

2.2.2 บัตรโทรศัพท์.....6

2.2.3 อุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน.....8

2.2.4 อุปกรณ์สถานีฐาน.....12

2.2.5 อุปกรณ์ถ่ายทอดรหัส.....15

2.2.6 ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่.....18

2.2.7 ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง.....19

2.2.8 ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่น.....20

2.2.9 ศูนย์ตรวจสอบการใช้งาน.....21

2.2.10 ฐานข้อมูลเครื่องลูกข่าย.....22

2.2.11 อุปกรณ์ตรวจสอบและซ่อมบำรุง.....22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3 กระบวนการที่สำคัญภายในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่....23
2.3.1 กระบวนการลงทะเบียน....24
2.3.2 การเชื่อมต่อวงจรสนทนา....25
2.3.3 กระบวนการย้ายข้ามเซล....26
2.3.4 กระบวนการตรวจยืนยันการใช้งาน....28
2.3.5 กระบวนการเข้ารหัสสัญญาณเสียง....31
2.3.6 การกำหนดใช้ตัวเลข TMSI....32
2.4 รูปแบบของบริการเสริมต่างๆ ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่....32
2.4.1 บริการโอนสายอัตโนมัติ....33
2.4.2 บริการป้องกันการโทรออก และรับสายเข้า....34
2.4.3 บริการรับสายเรียกซ้อน....35
2.4.4 บริการประชุมทางโทรศัพท์....36
2.4.5 บริการแสดงเลขหมายเรียกเข้า....36
2.4.6 บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ข้ามแดน....36
2.5 คุณภาพการให้บริการ....46
2.6 สรุป....48

บทที่ 3 การวิเคราะห์รูปแบบการทำงานของโครงข่ายด้วยวิธีการที่นำเสนอ....49
3.1 กล่าวนำ....49
3.2 ความต้องการพื้นฐานของโครงข่ายเพื่อใช้งานการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่....49
3.3 การเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยหลักการโดยทั่วไป....50
3.3.1 การโทรแบบปรกติภายในโครงข่ายเดียวกันด้วยหลักการโดยทั่วไป....50
3.3.2 การโทรแบบปรกติเมื่อเลขหมายปลายทางเป็นเลขหมายชนิดบัตรเติมเงิน....51
3.3.3 การเชื่อมต่อวงจรสนทนาเมื่อเลขหมายปลายทางใช้งานในต่างแดน....52
3.3.4 การเชื่อมต่อวงจรสนทนากรณีการโอนสายอัตโนมัติทุกกรณี....53
3.3.5 การเชื่อมต่อวงจรสนทนากรณีการโอนสายอัตโนมัติแบบมีเงื่อนไข....53
3.4 การเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยหลักการที่นำเสนอ....54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.1 การโทรแบบปรกติภายในโครงข่ายเดียวกันด้วยหลักการที่นำเสนอ.....54
3.4.2 การโทรแบบปรกติเมื่อเลขหมายปลายทางเป็นเลขหมายชนิดบัตรเติมเงิน.....55
3.4.3 การเชื่อมต่อวงจรสนทนาเมื่อเลขหมายปลายทางใช้งานในต่างแดน.....57
3.4.4 การเชื่อมต่อวงจรสนทนากรณีการโอนสายอัตโนมัติทุกกรณี.....58
3.4.5 การเชื่อมต่อวงจรสนทนากรณีการโอนสายอัตโนมัติแบบมีเงื่อนไข.....59
3.5 สรุป.....60

บทที่ 4 ผลการทดลองการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่.....61
4.1 กล่าวนำ.....61
4.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์.....61
4.2.1 การเก็บข้อมูลในกรณีการโทรออก.....62
4.2.2 การเก็บข้อมูลกรณีการรับสายภายในชุมสายโทรศัพท์.....63
4.2.3 การเก็บข้อมูลการลงทะเบียนของเลขหมายภายในชุมสายโทรศัพท์.....65
4.3 การวิเคราะห์ภาระของวงจรสนทนาภายในโครงข่าย.....66
4.3.1 ภาระของวงจรสนทนาในกรณีที่เลขหมายโทรออก.....67
4.3.2 ภาระของวงจรสนทนาในกรณีที่เลขหมายรับสาย.....70
4.4 ภาระของวงจรสัญญาณภายในโครงข่าย.....74
4.5 เวลาล่าช้าในการเชื่อมต่อวงจร.....84
4.5.1 เวลาที่ใช้ในการรับ-ส่งสัญญาณระหว่างชุมสาย.....84
4.5.2 เวลาที่ใช้ในการค้นหาและอ่านข้อมูลภายในระบบ.....84
4.5.3 ช่วงเวลาของกระบวนการค้นหา.....84
4.6 สรุป.....86

บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ.....87

เอกสารอ้างอิง.....89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก.....91
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และในระหว่างที่ทำการศึกษาที่ได้รับการตีพิมพ์.....92

ประวัติผู้เขียน.....103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงระดับกำลังส่งของเครื่องลูกข่ายสำหรับ GSM900, DCS1800 และ DCS1900.....5
2.2 ตัวอย่างรายชื่อของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่เรียงตามรหัส MCC และ MNC.....20
2.3 เปรียบเทียบรูปแบบการโทรออกในกรณีนำเครื่องลูกข่ายไปใช้งานต่างเครือข่าย.....40
2.4 แสดงค่าความจุ หรือปริมาณความแออัดที่ระบบสามารถรองรับได้ (Erlang B).....48
4.1 แสดงข้อมูลการใช้งานสูงสุดในแต่ละวันของชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ กรณีการโทรออก.....62
4.2 แสดงข้อมูลการใช้งานสูงสุดในแต่ละวันของชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ กรณีการรับสาย.....64
4.3 แสดงค่าเฉลี่ยของกระบวนการลงทะเบียนในช่วงเวลาเร่งด่วน.....65
4.4 แสดงช่วงเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของการเชื่อมต่อวงจรสนทนากรณีการรับสาย.....71
4.5 แสดงค่าสูงสุดในแต่ละวันของสัญญาณขารับภายในระบบชุมสายโทรศัพท์ 75
4.6 แสดงค่าสูงสุดในแต่ละวันของสัญญาณขาส่งภายในระบบชุมสายโทรศัพท์ 75
4.7 เปรียบเทียบความจุของสัญญาณที่รับ-ส่งระหว่างการเชื่อมต่อวงจรนทนา.....76
4.8 เปรียบเทียบความจุของสัญญาณที่รับ-ส่ง ในการโทรแต่ละกรณี.....77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 โครงสร้างของเครือข่ายสถานีฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ตระกูล GSM....5

2.2 แสดงลักษณะของบัตรโทรศัพท์....6

2.3 รูปแบบการเชื่อมต่อระหว่างสถานีฐานกับอุปกรณ์ ควบคุมสถานีฐาน....8

2.4 ตัวอย่างแผนผังโครงสร้างของอุปกรณ์ ควบคุมสถานีฐาน จากผู้ผลิตรายหนึ่ง....9

2.5 โครงสร้างของวงจรสื่อสารแบบ PCM ชนิด 32 ช่องสัญญาณ....10

2.6 โครงสร้างภายในสถานีฐานจากบริษัทผู้ผลิตรายหนึ่ง....12

2.7 แสดงการทำงานของอุปกรณ์ถ่ายทอดรหัส....14

2.8 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ถ่ายทอดรหัส....17

2.9 เปรียบเทียบความแตกต่างในการเชื่อมต่อโดยชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ และ GMSC....18

2.10 แสดงการปรับข้อมูลภายในฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นและ ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง 21

2.11 แสดงกระบวนการลงทะเบียนของเครื่องลูกข่าย....24

2.12 ขั้นตอนการสร้างวงจรสนทนากรณีโทรเรียกออก....25

2.13 แสดงการจัดวางเซลล์ข้างเคียงซึ่งมีชื่อเรียกว่าเซลเพื่อนาน....26

2.14 แสดงการเกิดการย้ายข้ามเซลล์ภายใน อุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน เดียวกัน....27

2.15 แสดงการเกิดการย้ายข้ามเซลล์ระหว่างชุมสายโทรศัพท์....28

2.16 แสดงอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องและกระบวนการตรวจยืนยันการใช้งาน....30

2.17 แสดงอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องและกระบวนการเข้ารหัสสัญญาณเสียง....31

2.18 แสดงการโอนสายอัตโนมัติในแต่ละกรณี....34

2.19 แสดงการให้บริการรับสายเรียกซ้อน....36

2.20 แนวทางในการเชื่อมต่อวงจรสนทนาภายในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM....37

2.21 การลงทะเบียนของเครื่องลูกข่ายในเครือข่ายต่างประเทศ....38

2.22 การโทรเรียกติดต่อจากเลขหมายภายในประเทศต้นสังกัด....42

2.23 การโทรเรียกเข้าหาหมายเลขที่ไปใช้งานต่างประเทศทั้ง 3 กรณี....44

2.24 การป้องกันการโทรเรียกเข้าเมื่อนำเครื่องไปใช้งานต่างประเทศ....46

3.1 การโทรแบบปรกติภายในโครงข่ายเดียวกันด้วยหลักการโดยทั่วไป....50

3.2 รูปแบบการโทรแบบปรกติเมื่อปลายทางเป็นเลขหมายชนิดบัตรเติมเงินด้วยหลักการโดยทั่วไป...51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.3 การเชื่อมต่อวงจรสนทนาเมื่อเบอร์ปลายทางใช้งานในต่างแดนด้วยหลักการโดยทั่วไป.....52

3.4 การโอนสายอัตโนมัติทุกกรณีด้วยหลักการโดยทั่วไป.....53

3.5 การเชื่อมต่อวงจรสนทนากรณีการโอนสายอัตโนมัติแบบมีเงื่อนไขด้วยหลักการโดยทั่วไป.....53

3.6 การโทรปรกติภายในโครงข่ายเดียวกันด้วยการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่.....54

3.7 การเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่ กรณีการโทรแบบปรกติสำหรับเลขหมายบัตรเติมเงินด้วยการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่.....56

3.8 การเชื่อมต่อวงจรสนทนากรณีผู้ใช้งานในต่างแดนด้วยการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่.....57

3.9 การโอนสายอัตโนมัติทุกกรณีด้วยการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่.....58

3.10 การโอนสายอัตโนมัติแบบมีเงื่อนไขด้วยการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่.....59

4.1 ปริมาณการใช้งานของชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Full day average call attempt per exchange)....62

4.2 รูปแผนภูมิวงกลมค่าเฉลี่ยของพฤติกกรมผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่กรณีการเรียกออก.....63

4.3 รูปแผนภูมิวงกลมค่าเฉลี่ยของการรับสายในแต่ละกรณีของผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อน.....64

4.4 แสดงปริมาณการลงทะเบียนของเลขหมายโทรศัพท์เฉลี่ยตลอดวัน.....66

4.5 ผลการเลียนแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กรณีของการโทรออก.....70

4.6 ผลการเลียนแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กรณีของการรับสาย.....74

4.7 ปริมาณภาระสัญญาณตลอดวันที่มีการรับ-ส่ง บนช่องสัญญาณหมายเลขเจ็ด.....75

4.8 แสดงการเชื่อมต่อวงจรสนทนา และวงจรสัญญาณระหว่างชุมสาย.....78

4.9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของวงจรสัญญาณเมื่อเชื่อมต่อวงจรด้วยวิธีการที่นำเสนอ.....83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปริมาณการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ มีอัตราการเติบโตที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และส่งผลต่อผู้ให้บริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการขยายโครงข่ายเพื่อรองรับปริมาณการใช้งานเลขหมายโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยทรัพยากรของระบบชุมสายถือเป็นหัวใจหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการทำงานของโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการค้นคว้าเพื่อหาแนวทางในการพัฒนาประสิทธิภาพของโครงข่าย ให้สอดคล้องกับปริมาณการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยผู้วิจัยเล็งเห็นที่ความสำคัญของปัญหา 3 ประการ ภายในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน คือ

(1) ในทุกๆครั้งที่มีการโทรเรียกวงจรสนทนาระหว่างชุมสายจะถูกจองเพื่อใช้ในการสนทนาของคู่สาย ด้วยหลักการของวิธีโดยทั่วไป วงจรสนทนาจะถูกจองตั้งแต่เลขหมายต้นทางเริ่มต้นโทรออก ถึงแม้ว่าคู่สายปลายทางจะไม่รับสาย, สายไม่ว่าง หรืออยู่นอกพื้นที่ให้บริการ ทำให้วงจรสนทนาภายในระบบชุมสาย ถูกจองไว้โดยไม่มีการใช้งานจริงเกิดขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการลดภาระของวงจรสนทนางานวิจัยนี้ได้นำเสนอหลักการใหม่ โดยให้ระบบชุมสายต้นทางรอสัญญาณตอบรับบนช่องสัญญาณหมายเลขเจ็ดจากคู่สายปลายทาง ก่อนที่จะทำการเชื่อมต่อวงจรสนทนาไปยังปลายทางเพื่อเริ่มต้นการสนทนา

(2) ปัญญาการเชื่อมต่อแบบลูกโซ่ (Chain connection) ในกรณีที่คู่สายมีการใช้บริการโอนสาย (Call forwarding) ไปยังบุคคลที่สาม วงจรสนทนาจะถูกเชื่อมต่อคาบเกี่ยวระหว่างชุมสายที่สองไปยัง ชุมสายปลายทางของบุคคลที่สามที่ถูกโอนสาย โดยหลักการที่นำเสนอจะช่วยให้ระบบชุมสายต้นทางทราบถึงตำแหน่งชุมสายปลายทางของบุคคลที่สาม เพื่อเชื่อมต่อวงจรสนทนาโดยตรงไปยังชุมสายของคู่สนทนาที่สาม โดยไม่ต้องผ่านชุมสายของผู้โอน ซึ่งช่วยลดภาระการใช้งานวงจรสนทนาระหว่างชุมสายโดยไม่จำเป็น อีกทั้งผู้ที่ใช้บริการโอนสายจะไม่จำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการสนทนาระหว่างบุคคลที่หนึ่ง และบุคคลที่สามอีกด้วย

(3) ในกรณีของการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในต่างแดน (International Roaming) วงจรสนทนาจะถูกเชื่อมต่อกลับมายังโครงข่ายที่อยู่ในประเทศต้นสังกัดก่อนเสมอ เพื่อทำการตรวจสอบตำแหน่งใช้งาน (Interrogation procedure) ก่อนที่จะเชื่อมต่อวงจรสนทนาไปยังโครงข่ายปลายทางจึงทำให้สิ้นเปลืองการใช้งานวงจรสนทนาโดยไม่จำเป็น และทำให้เกิดเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับผู้ที่ใช้งานเลขหมายในต่างแดนอีกด้วย หลักการที่นำเสนอนี้วงจรสนทนาสามารถเชื่อมต่ไปยังโครงข่ายปลายทางได้โดยไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำเป็นต้องเชื่อมต่อกลับมายังโครงข่ายต้นสังกัดก่อนช่วยให้ภาระของวงจรสนทนาลดลงและอัตราค่าใช้บริการสำหรับการใช้งานในต่างแดนลดลง

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นจึงทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะนำเสนอเทคนิคที่จะลดภาระของวงจรสนทนาระหว่างชุมสายของโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยมุ่งเน้นให้โครงข่ายมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน และสามารถเชื่อมต่อได้กับโครงข่ายโดยทั่วไปที่ไม่สามารถรองรับเทคนิคดังกล่าวนี้ได้ ในการวิเคราะห์ผลการทำงานจะพิจารณาในสามปัจจัยหลัก คือ ภาระของวงจรสนทนา (Traffic channel Load), ภาระของช่องสัญญาณหมายเลขเจ็ด (Signaling Load SS7) และเวลาล่าช้าของการเชื่อมต่อวงจรสนทนา (Call setup delay) โดยทำการเปรียบเทียบกับหลักการที่ใช้อยู่โดยทั่วไปด้วยการจำลองการทำงานโปรแกรมคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับปริมาณภาระของโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จริง เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำสูงสุดซึ่งพบว่าหลักการที่นำเสนอสามารถลดภาระของวงจรสนทนาและลดต้นทุนการขยายโครงข่ายเพื่อเพิ่มวงจรสนทนาระหว่างชุมสายได้เป็นอย่างดี แต่ในขณะเดียวกันได้ส่งผลกระทบให้ค่าภาระของวงจรสัญญาณหมายเลขเจ็ด และเวลาล่าช้าของการเชื่อมต่อวงจรเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางเพื่อพัฒนาในลำดับต่อไป

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัยนี้ โดยการดัดแปลงอัลกอริธึมบนโปรโตคอลสื่อสาร Mobile Application Part หรือ MAP ที่ใช้ติดต่อสื่อสารระหว่างชุมสายโทรศัพท์ เพื่อกำจัดช่วงเวลาที่ไม่จำเป็นในการจองวงจรสนทนาของระบบออก คือช่วงเวลาที่คู่สนทนาไม่รับสาย, ช่วงเวลาที่วงจรสนทนาถูกจองขณะทำการโอนสายอัตโนมัติ และการเชื่อมต่อวงจรสนทนาระหว่างประเทศเมื่อหมายเลขโทรศัพท์เคลื่อนที่ใช้งานในต่างแดน

จากหลักการโดยทั่วไปชุมสายต้นทางจะเชื่อมต่อวงจรสนทนาไปยังชุมสายปลายทาง เพื่อใช้ในการสนทนาของคู่สาย จากนั้นจะเริ่มต้นกระบวนการค้นหา (Paging Procedure) เพื่อค้นหาตำแหน่งปลายทาง และสอบถามสถานะของเลขหมายปลายทาง เช่น ไม่มีผู้รับสาย หรือ อยู่นอกพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณ (ในกรณีที่ไม่มีการตอบรับสัญญาณการค้นหา) ทำให้เสียเวลาและสิ้นเปลืองวงจรสนทนาที่จะต้องรอจนกระทั่งคู่สนทนารับสาย ดังนั้นด้วยหลักการใหม่ที่นำเสนอชุมสายต้นทางจะรอจนกระทั่งกระบวนการค้นหาสิ้นสุดลง และได้รับสัญญาณตอบรับจากเลขหมายปลายทางก่อนที่จะเชื่อมต่อวงจรสนทนาไปยังชุมสายปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 โครงประกอบของวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท โดยในบทที่ 1 นั้นจะเป็นการกล่าวนำ, จุดมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ รายละเอียดในบทอื่นประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึง หลักการพื้นฐานของวิธีโดยทั่วไป ที่ใช้ภายในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM (Global System Mobile) เริ่มตั้งแต่กระบวนการโทรออกแบบปรกติ , กระบวนการรับสายแบบปรกติ, บริการโอนสายอัตโนมัติแบบมีเงื่อนไข, บริการโอนสายแบบอัตโนมัติทุกกรณี หน้าที่และองค์ประกอบของส่วนต่างๆภายในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่รวมไปถึงรูปแบบและสื่อสัญญาณที่มีการรับ-ส่งระหว่างชุมสายต้นทางและชุมสายปลายทาง เพื่อใช้เป็นพื้นฐานก่อนกล่าวนำไปสู่แนวคิดในงานวิจัย

บทที่ 3 กล่าวถึง ความต้องการพื้นฐานของโครงข่ายเพื่อใช้งานวิธีที่นำเสนอ เปรียบเทียบความแตกต่างของหลักการที่นำเสนอและหลักการโดยทั่วไปโดยยกตัวอย่างการโทรเรียกในกรณีต่างๆ ดังต่อไปนี้ การโทรแบบปรกติภายในโครงข่ายเดียวกัน, การรับสายเมื่อใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในต่างแดน, บริการโอนสายอัตโนมัติแบบมีเงื่อนไข และบริการโอนสายอัตโนมัติทุกกรณี ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ได้พิสูจน์ และยืนยันเป็นอย่างดีว่า หลักการที่นำเสนอสามารถลดภาระของวงจรสนทนาระหว่างชุมสายได้เป็นอย่างดี แต่ในขณะเดียวกันได้ส่งผลกระทบทำให้เกิดภาระที่สูงขึ้นของช่องสัญญาณหมายเลขเจ็ดและเวลาล่าช้าของการเชื่อมต่อวงจรสนทนาที่สูงขึ้นเล็กน้อย ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางเพื่อพัฒนาในลำดับต่อไป

บทที่ 4 กล่าวถึง ผลเลียนแบบที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Traffic Measurement Analyzing Tool โดยข้อมูลทางสถิติที่รวบรวมจากการใช้งานจริงภายในโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของหลักการที่นำเสนอ เปรียบเทียบกับหลักการที่ใช้อยู่โดยทั่วไป โดยพิจารณาถึงผลตอบสนองใน 3 ปัจจัยหลัก คือ ภาระของวงจรสนทนา (Traffic channel Load), ภาระของช่องสัญญาณหมายเลขเจ็ด (Signaling Load SS7) และช่วงเวลาล่าช้าของการเชื่อมต่อวงจรสนทนา (Call setup delay)

บทที่ 5 เป็นการสรุปผลการวิเคราะห์และประสิทธิภาพของหลักการที่นำเสนอ รวมไปถึงเรื่องราวต่างๆ ในวิทยานิพนธ์นี้โดยรวม

ส่วนท้ายจะประกอบด้วยภาคผนวก ที่กล่าวถึงผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ระหว่างการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่ใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM

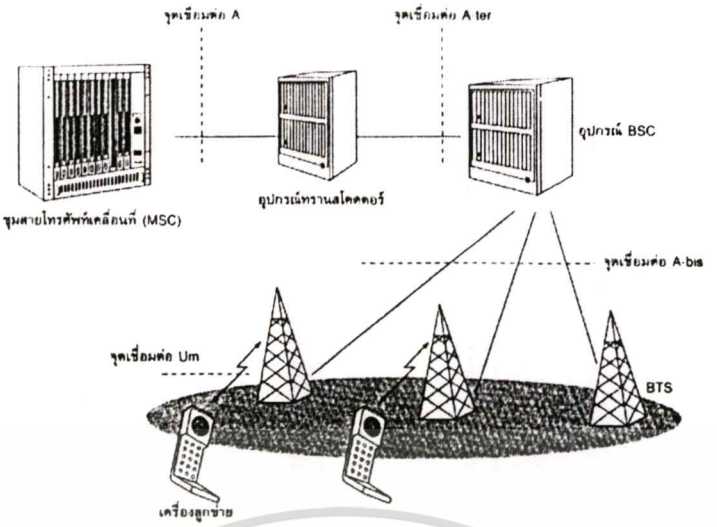
2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงหลักการพื้นฐานของวิธีโดยทั่วไปที่ใช้ภายในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Global System Mobile) GSM ตั้งแต่กระบวนการโทรออก-รับสายปรกติ, บริการโอนสายอัตโนมัติแบบมีเงื่อนไข, บริการโอนสายอัตโนมัติทุกกรณี หน้าที่และส่วนประกอบต่างๆ ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ รวมถึงรูปแบบและสื่อสัญญาณที่มีการรับ-ส่งระหว่างชุมสายโทรศัพท์เพื่อใช้เป็นพื้นฐาน ก่อนกล่าวนำไปสู่แนวคิดในงานวิจัย

2.2 ส่วนประกอบภายในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

เทคโนโลยีของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ตระกูล GSM ได้รับการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วภายในช่วงเวลา 5 ปี ตั้งแต่เริ่มมีการติดตั้งเครือข่าย GSM ชุดแรกในทวีปยุโรปเทคโนโลยีหนึ่งซึ่งได้รับการพัฒนาและนำมาใช้งานคือการใช้งานสถานีฐานขนาดเล็กเพื่อสร้างพื้นที่ครอบคลุมภายในพื้นที่เฉพาะ เช่น ภายในอาคาร และบริเวณศูนย์การค้าเป็นจุด ๆ เทคโนโลยีดังกล่าวมีชื่อเรียกว่าเทคโนโลยีไมโครเซล ยิ่งไปกว่านั้นแนวโน้มการใช้งานร่วมเครือข่ายกันระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM กับระบบโทรศัพท์ไร้สายในระบบอนาล็อก ก็ได้รับการพัฒนาไปถึงขั้นที่สามารถใช้งานได้แล้ว ซึ่งย่อมเป็นการแสดงให้เห็นว่าขีดจำกัดในการสื่อสารแบบไร้สายกำลังได้รับการแก้ไขให้หมดไปพร้อมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงยิ่งขึ้นกว่าที่เคยเป็นมา ในบทนี้จะได้กล่าวถึงเทคโนโลยีไมโครเซลของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ตระกูล GSM พร้อมกับการใช้งานร่วมเครือข่ายระหว่างระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ตระกูล GSM และโทรศัพท์ไร้สายระบบอนาล็อกดังรูปที่ 2.1 ซึ่งแสดงส่วนประกอบต่างๆ ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ อุปกรณ์ชุมสายโทรศัพท์ตลอดจนอุปกรณ์สถานีฐาน ซึ่งมีการเชื่อมต่อที่แตกต่างกันในแต่ละจุด ซึ่งจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดในส่วนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเครือข่ายสถานีฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ตระกูล GSM

2.2.1 อุปกรณ์เครื่องลูกข่าย (ME)

นับเป็นอุปกรณ์ที่ผู้คนโดยส่วนมากมีความคุ้นเคยด้วยมากที่สุดสำหรับชื่อเรียกเป็นทางการของเครื่องลูกข่ายก็คือ Mobile Station Terminal Equipment (ME) ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของเครื่องลูกข่ายออกได้เป็นหลายชนิดหลายประเภทตามกำลังส่งสูงสุดที่เครื่องลูกข่ายสามารถส่งได้และการติดตั้งใช้งาน โดยจะพบเห็นเครื่องลูกข่ายได้ทั้งแบบติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed mobile station) ซึ่งเป็นโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับติดตั้งภายในรถยนต์สามารถส่งสัญญาณได้ด้วยกำลังส่งสูงสุดถึง 20 วัตต์ นอกจากนั้นยังอาจเป็นแบบเคลื่อนย้ายได้ซึ่งมีลักษณะเป็นแบบกระเป๋าหิ้วมีกำลังส่งสูงสุด 8 วัตต์ และแบบพกพาซึ่งได้รับความนิยมใช้งานมากมีกำลังส่งสูงสุด 2 วัตต์ ทั้งหมดนี้คือประเภทของเครื่องลูกข่าย GSM สำหรับเครื่องลูกข่าย Digital Cellular System 1800 (DCS1800) ในปัจจุบันจะมีเพียงชนิดพกพาเท่านั้น โดยมีกำลังส่งสุด 1 วัตต์ ทั้งนี้ European Telecommunication Standard Institute (ETSI) ได้วางมาตรฐานประเภทของเครื่อง ลูกข่ายโดยแบ่งออกตามระดับกำลังส่งสูงสุดเรียกว่า คลาสกำลังส่ง แบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งมีการนิยามให้สำหรับทั้งระบบ GSM-900, DCS-1800 และ DCS-1900

ตารางที่ 2.1 แสดงระดับกำลังส่งของเครื่องลูกข่ายสำหรับ GSM900 DCS-1800 และ DCS-1900

ระดับกำลังส่ง	กำลังส่งสูงสุดของเครื่องลูกข่าย GSM-900	กำลังส่งสูงสุดของเครื่องลูกข่าย GSM-1800	กำลังส่งสูงสุดของเครื่องลูกข่าย GSM-1900
1	20 วัตต์ (43 dBm)	1 วัตต์ (30 dBm)	1 วัตต์ (30 dBm)
2	8 วัตต์ (39 dBm)	0.25 วัตต์ (24 dBm)	0.25 วัตต์ (24 dBm)
3	5 วัตต์ (37 dBm)	ไม่มีการผลิต	2 วัตต์ (33 dBm)
4	2 วัตต์ (33 dBm)	ไม่มีการผลิต	ไม่มีการผลิต
5	0.8 วัตต์ (29 dBm)	ไม่มีการผลิต	ไม่มีการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 บัตรโทรศัพท์ (SIM)

บัตรโทรศัพท์ Subscriber Identity Module (SIM) มีลักษณะเป็นแผ่นการ์ดขนาดเท่ากับบัตรเครดิต ภายในมีอุปกรณ์ไมโครโปรเซสเซอร์และหน่วยความจำขนาดเล็กฝังอยู่ ในการใช้งานจะต้องเสียบแผ่นบัตรโทรศัพท์ลงในช่องสำหรับใส่บัตรโทรศัพท์ ภายในเครื่องลูกข่าย เพื่อให้เครื่องลูกข่ายสามารถอ่านหรือเขียนข้อมูลลงภายในบัตรโทรศัพท์ได้จึงจะสามารถใช้เครื่องลูกข่ายดังกล่าวได้สำหรับเครื่องลูกข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่นใหม่ๆ ซึ่งนิยมออกแบบให้มีขนาดเล็กจะไม่มีพื้นที่พอที่จะเสียบแผ่น บัตรโทรศัพท์ ขนาดเท่าบัตรเครดิตได้ จึงมีการออกแบบ บัตรโทรศัพท์ ให้มีขนาดเล็กกว่าบัตรเครดิตเพื่อให้สามารถติดตั้งไว้ในโทรศัพท์เคลื่อนที่เหล่านี้ได้ เรียก บัตรโทรศัพท์ ขนาดเล็กนี้ว่า บัตรโทรศัพท์ แบบปลั๊กอิน (Plug-in SIM) รูปที่ 2.2 แสดงความแตกต่างของ บัตรโทรศัพท์ทั้งสองประเภท เครื่องลูกข่ายที่ไม่มี บัตรโทรศัพท์ บรรจุอยู่ด้วย จะไม่สามารถใช้โทรออกหรือรับสายได้ ยกเว้นในกรณีที่ต้องการโทรไปยังเลขหมายฉุกเฉินจะโทรได้ทันที ซึ่งมาตรฐาน GSM/DCS กำหนดให้ใช้หมายเลข 112 เป็นเลขหมายฉุกเฉิน โดยให้เป็นหน้าที่ของผู้ให้บริการระบบแต่ละรายว่าจะแปลงเลขหมาย ดังกล่าวไปเป็นหมายเลขใด เช่น ในประเทศไทย ระบบ GSM แปลงเลขหมาย 112 ไปเป็นเลขหมายของแผนกลูกค้าสัมพันธ์ ส่วนระบบ PCN-1800 แปลงไปเป็นเลขหมาย 191 เป็นต้น

รูปที่ 2.2 ลักษณะของบัตรโทรศัพท์

ภายในหน่วยความจำของบัตรโทรศัพท์แต่ละใบจะบรรจุข้อมูลจำเพาะประจำตัวผู้ใช้บริการซึ่งเป็นเจ้าของบัตรโทรศัพท์นั้น ๆ รวมถึงข้อมูลส่วนตัว เช่น เลขหมายพร้อมทั้งชื่อของผู้ที่ต้องติดต่อด้วยประจำ ข้อมูลจำเพาะภายในบัตรโทรศัพท์ แต่ละใบจะถูกใช้สำหรับแสดงตัวต่อระบบเครือข่าย และเนื่องจากการอ้างอิงเลขหมายผู้ใช้บริการด้วย บัตรโทรศัพท์ จึงทำให้ผู้ที่ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ GSM และ DCS สามารถนำเฉพาะ แผ่น บัตรโทรศัพท์ ของตนไปใช้งานกับโทรศัพท์เคลื่อนที่เครื่องใด ๆ ก็ได้ทั้งภายในเครือข่ายที่ตนจดทะเบียนอยู่และต่างเครือข่าย ซึ่งอาจหมายถึงต่างประเทศได้ แต่ทั้งนี้จะต้องตรวจสอบดูก่อนว่าเครือข่ายต้นสังกัดของตนมีข้อตกลงเชื่อมต่อกับเครือข่ายที่ตนจะนำบัตรโทรศัพท์ไปใช้หรือไม่ ในกรณีที่สามารถนำบัตรโทรศัพท์ไปใช้ได้ เมื่อผู้ใช้บริการเดินทางไปยังต่างประเทศก็เพียงแต่เช่าเฉพาะเครื่องลูกข่ายแล้วเสียบแผ่น บัตรโทรศัพท์ ของตนลงไปก็สามารถทำการติดต่อได้โดยปกติสำหรับ ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการโทรในกรณีดังกล่าว หากเป็นการโทรไปยังเลขหมายที่อยู่ในประเทศที่ตนใช้งานก็จะคิดค่าโทรในอัตรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท้องถิ่นนั้นๆเหมือนกับว่าเลขหมายของตน (ซึ่งเป็นเลขหมายของเครือข่ายที่ตนจดทะเบียนด้วยแต่แรกเป็นเลขหมายภายในประเทศหรือเครือข่ายที่ตนใช้งานอยู่ในขณะนั้น) ในกรณีที่มีการโทรเรียกเข้าหาเลขหมายของตนจากประเทศต้นทางผู้ที่โทรเรียกจะไม่จำเป็นต้องทราบล่วงหน้าว่าเจ้าของหมายเลขที่จะเรียกในขณะนั้นอยู่ที่ใดในโลก สำหรับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นขณะใช้งานอยู่ต่างเครือข่ายก็จะถูกนำมาเรียกเก็บรวมกับบิลค่าใช้จ่ายรายเดือนของเครือข่ายต้นสังกัด

โดยปกติทั้งเครือข่าย GSM และ DCS แต่ละแห่งต่างก็มักมีการให้ บริการรับส่งข้อความสั้น ๆ หรือ Short Message ผ่านทางเครื่องลูกข่าย ซึ่งข้อความแต่ละข้อความจะถูกเก็บลงในแผ่นบัตรโทรศัพท์ เช่นเดียวกันในปัจจุบันแผ่นบัตรโทรศัพท์รุ่นใหม่ๆได้รับการออกแบบให้มีหน่วยความจำขนาดใหญ่มากมีไมโครโปรเซสเซอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นทำให้สามารถเก็บข้อความได้มากขึ้น และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานอื่นๆได้อีกในอนาคต เช่น รวมแผ่นบัตรโทรศัพท์กับบัตรเครดิตให้เป็นบัตรเดียวกัน

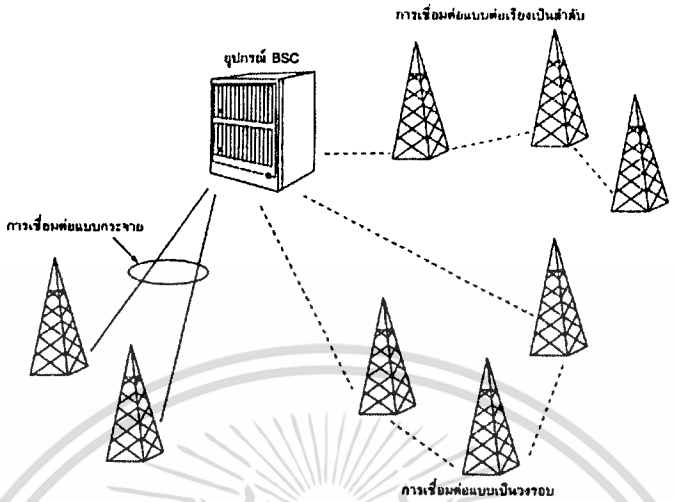
ในการป้องกันบัตรโทรศัพท์จากการถูกลักลอบนำไปใช้งานได้มีการออกแบบระบบรักษาความปลอดภัยขึ้นโดยบรรจุอยู่ภายในแผ่นบัตรโทรศัพท์ เมื่อผู้ใช้งานเปิดเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ผู้ใช้งานจะต้องป้อนรหัสผ่านซึ่งเป็นรหัสตัวเลขสี่ตัวกำหนดได้ตามความพอใจของตน มีชื่อเรียกว่า Personal Identification Number (PIN) โดยที่รหัส PIN จะถูกเก็บไว้ในแผ่น บัตรโทรศัพท์ หากผู้ใช้งานกดรหัสผิดติต่อกัน 3 ครั้ง แผ่นบัตรโทรศัพท์ จะล็อคตัวเอง ทำให้ไม่สามารถใช้งานได้อีกต่อไป จำเป็นจะต้องทำการปลดล็อคโดยป้อนรหัสปลดล็อคซึ่งเป็นรหัสตัวเลข 8 ตัว เรียกว่า Personal Unblocking Key (PUK) ซึ่งก็ถูกเก็บไว้ในบัตรโทรศัพท์ เช่นเดียวกัน

พัฒนาการของบัตรโทรศัพท์ยังคงเดินหน้าต่อไปเรื่อยๆ ในแง่ของการเพิ่มความจุของหน่วยความจำเพื่อให้เก็บข้อมูลได้มากขึ้น ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากแนวโน้มของการให้บริการภายในเครือข่ายซึ่งเพิ่มรูปแบบการให้บริการขึ้นเรื่อย ๆ และมีความจำเป็นในการเก็บข้อมูลจำเพาะต่าง ๆ มากขึ้น ทำให้ต้องใช้พื้นที่หน่วยความจำภายในบัตรโทรศัพท์มากขึ้น สำหรับขนาดของหน่วยความจำภายในแผ่นบัตรโทรศัพท์ ซึ่งมีใช้งานอยู่ในปัจจุบันมีตั้งแต่ 2 กิโลไบต์ จนถึง 32 กิโลไบต์ ซึ่งก็คงจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ ต่อไป

เครือข่ายสถานีฐานหรือ Base Station Subsystem (BSS) นับเป็นอุปกรณ์ที่มีความเกี่ยวข้องใกล้ชิดกับผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่รองลงมาจากตัวเครื่องลูกข่ายในระบบโทรศัพท์พื้นฐานหรือโทรศัพท์บ้านนั้น เครื่องลูกข่ายจะได้รับการเชื่อมต่อไปยังชุมสายโทรศัพท์ประจำท้องที่โดยใช้คู่สายโทรศัพท์ที่เป็นลวดทองแดง วงจรที่เชื่อมต่อระหว่างเครื่องลูกข่ายและชุมสายโทรศัพท์นั้นจะได้รับการกำหนดตายตัว แต่สำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แล้ว การเชื่อมต่อระหว่างเครื่องลูกข่ายและชุมสายโทรศัพท์จะมีความซับซ้อนมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องลูกข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่มีอิสระที่จะถูกนำไปใช้งานในพื้นที่ต่างๆกันไปตัวกลางที่ใช้ในการเชื่อมโยงระหว่างเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่กับเครื่องลูกข่ายจึงเลี่ยงไม่พ้นที่จะต้องเป็นการใช้คลื่นวิทยุความถี่สูง ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างเครื่องลูกข่ายและชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่จึงเกิดมีเครือข่ายอีกประเภทหนึ่งคั่นกลางซึ่งก็คือเครือข่ายสถานีฐาน



รูปที่ 2.3 รูปแบบการเชื่อมต่อระหว่างสถานีฐานกับอุปกรณ์ ควบคุมสถานีฐาน

เครือข่ายสถานีฐาน คือ กลุ่มของสถานีฐานและอุปกรณ์ควบคุมบางชนิดซึ่งทำหน้าที่ในการติดต่อสื่อสารกับเครื่องลูกข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่และชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อการจัดเตรียมสร้างวงจรสื่อสาร รวมถึงสนับสนุนการติดตามตำแหน่งที่อยู่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละเครื่องให้กับอุปกรณ์ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งก็คืออุปกรณ์ฐานข้อมูลบริการกลาง และฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นอุปกรณ์ต่างๆ ที่ประกอบกันขึ้นเป็นเครือข่ายสถานีฐานในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM จะเห็นว่าประกอบไปด้วยอุปกรณ์ ควบคุมสถานีฐาน (Base Station Controller), อุปกรณ์สถานีฐาน (Base Transceiver Station) หรือสถานีฐาน และอุปกรณ์ถ่ายทอดรหัส (Transcoder) โดยอุปกรณ์ทั้ง 3 ชนิดมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

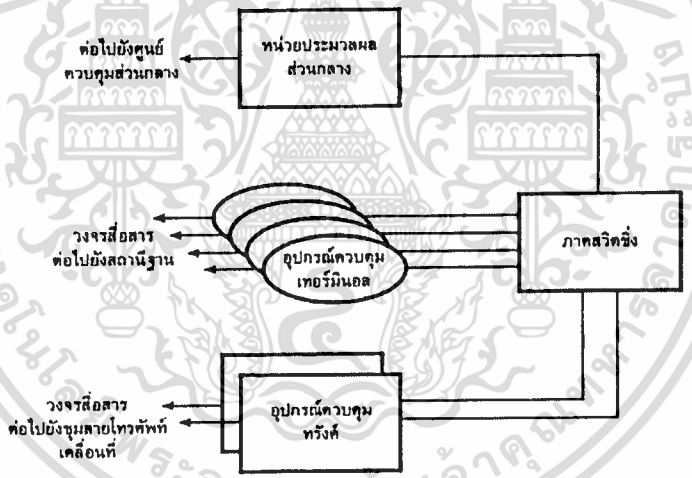
2.2.3 อุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน (BSC)

อุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน Base Station Controller (BSC) ทำหน้าที่ตรวจสอบ และควบคุมการทำงานของสถานีฐานจำนวนหลาย ๆ ตัว ซึ่งจำนวนสูงสุดของสถานีฐานที่อุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน สามารถควบคุมได้ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตอุปกรณ์เครือข่ายแต่ละรายว่าจะกำหนดไว้เป็นเท่าใด โดยทั่วไปอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน แต่ละแห่งจะสามารถควบคุมสถานีฐานได้ตั้งแต่หลายสิบจนถึงหลักร้อยชุด หน้าที่หลักของอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน ก็คือการบริหารการใช้งานความถี่ของสถานีฐาน รวมถึงควบคุมการทำงานของสถานีฐาน และยังทำหน้าที่เชื่อมต่อวงจรและแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างสถานีฐาน ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบระบบที่ให้อุปกรณ์ควบคุมสถานีฐานช่วยแบ่งเบาหน้าที่การทำงานของชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ลงอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจถูกติดตั้งไว้ร่วมกับชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือถูกแยกออกไปติดตั้งห่างจากชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อให้อยู่ใกล้ๆ กับกลุ่มสถานีฐานที่จะถูกควบคุมเป็นการประหยัดระยะทางของวงจรเชื่อมต่อระหว่าง อุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน และสถานีฐานแต่ละตัวในบางครั้งจะนิยมเรียก อุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน และสถานีฐานร่วมกันว่า Base Station Subsystem (BSS)

อุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน ทำหน้าที่ควบคุมการจัดสรรทรัพยากรความถี่ของกลุ่มสถานีฐาน ควบคุมการสร้างวงจรเชื่อมต่อ สำหรับใช้ในการสนทนาต่อผ่านสถานีฐานไปยังเครื่องลูกข่ายและติดต่อสื่อสารกับชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ อุปกรณ์ควบคุมสถานีฐานช่วยลดภาระหน้าที่การทำงานของชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ลงเป็นอย่างมาก โดยจะทำหน้าที่บริหารการทำงานอุปกรณ์สถานีฐานทั้งหมดทำให้ชุมสายสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานได้มากขึ้น จำนวนของอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐานในเครือข่ายหนึ่งจะมีอยู่เท่าใดนั้นก็ขึ้นอยู่กับการออกแบบของผู้วางระบบแต่ละราย โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐานแต่ละตัวจะมีขีดจำกัดขึ้นอยู่กับจำนวนสถานีฐานที่ถูกควบคุมอยู่ จำนวนอุปกรณ์รับส่งสัญญาณความถี่ของสถานีฐานทั้งหมด และยังขึ้นอยู่กับรูปแบบการเชื่อมต่อของสถานีฐานซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไปนี้อีกด้วย



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างแผนผังโครงสร้างของอุปกรณ์ ควบคุมสถานีฐาน

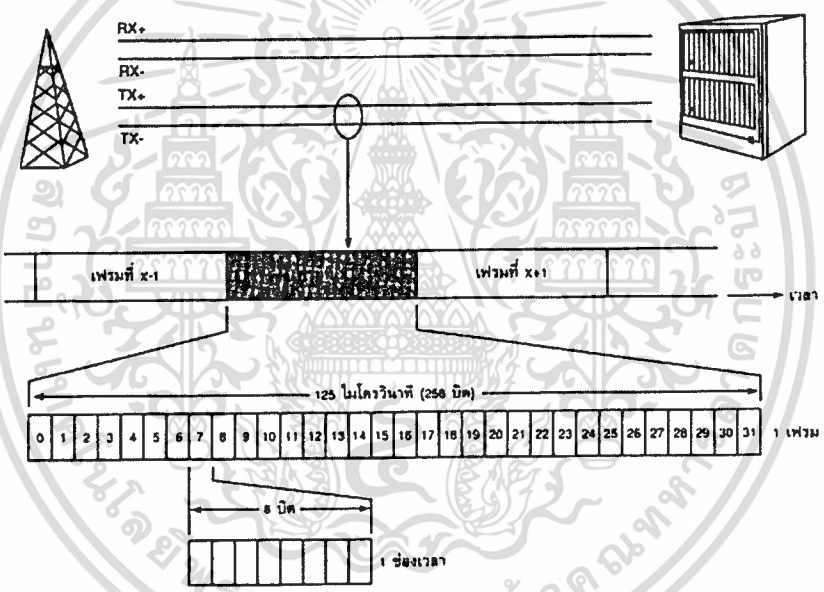
สำหรับการออกแบบจัดวางเครือข่ายสถานีฐานโดยทั่วไปมักจะจัดให้อุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน แต่ละแห่งเชื่อมต่อกับสถานีฐานจำนวนหลาย ๆ สถานี โดยที่โครงสร้างการเชื่อมต่อระหว่างสถานีฐานและอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐานมีได้หลายรูปแบบ ซึ่งการที่จะเลือกรูปแบบการเชื่อมต่อแต่ละแบบนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ ประการ เช่น ความประหยัดในการลงทุนวงจรสื่อสัญญาณเพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์การป้องกันปัญหาอันเนื่องมาจากระบบสื่อสัญญาณเกิดความผิดพลาด หรือแม้กระทั่งข้อจำกัดในเรื่องของโครงสร้างของเครือข่ายสื่อสารสัญญาณที่มีอยู่แต่เดิมแล้ว เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับรูปแบบการเชื่อมต่อระหว่างสถานีฐานและอุปกรณ์ ควบคุมสถานีฐาน สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดดังแสดงในรูปที่ 2.4 คือ การเชื่อมต่อแบบกระจาย (Star topology), แบบต่อเรียงเป็นลำดับ (Chain topology) และแบบเป็นวงรอบ (Loop topology) ในบางกรณีอาจพบว่ามีการติดตั้งสถานีฐานหนึ่งสถานีอยู่ร่วมกับอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน เพื่อจุดประสงค์ในการสร้างพื้นที่ครอบคลุมบริเวณนั้น

สำหรับรูปที่ 2.3 เป็นตัวอย่างแผนผังโครงสร้างของอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน จากรูปจะเห็นว่าอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน ประกอบไปด้วยส่วนการทำงานหลัก คือ ภาคสวิตชิ่ง (Switching matrix unit), อุปกรณ์ควบคุมวงจรสนทนา (Trunk control unit), อุปกรณ์ควบคุมเทอร์มินอล (Terminal control unit) และหน่วยประมวลผลซึ่งใช้ควบคุมการทำงานโดยรวมของแต่ละภาค รวมถึงควบคุมการสื่อสารกับศูนย์ควบคุมกลางโดยใช้โปรโตคอลแบบ X.25

2.2.3.1 มาตรฐานการสื่อสารแบบ Pulse code modulation (PCM)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของวงจรสื่อสารแบบ PCM ชนิด 32 ช่องสัญญาณ

ก่อนที่จะกล่าวถึงรายละเอียดอื่น ๆ ขอทำความเข้าใจว่าสิ่งที่ใช้เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ควบคุมสถานีฐานเข้ากับอุปกรณ์อื่น ๆ ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะเป็นวงจรสื่อสารแบบ PCM ซึ่งในทวีปอเมริกาจะใช้มาตรฐานวงจรสื่อสาร PCM แบบ 24 ช่องสัญญาณ และสำหรับในทวีปยุโรปรวมถึงประเทศส่วนใหญ่ในเอเชียจะใช้เป็นระบบ PCM แบบ 32 ช่องสัญญาณ ซึ่งถ้าจะกล่าวโดยคร่าว ๆ อ้างอิงกับมาตรฐานวงสื่อสารแบบ PCM 32 ช่องสัญญาณที่มีการใช้งานในประเทศไทยก็สามารถอ้างอิงโครงสร้างของวงจร PCM แบบดังกล่าวได้ในรูปที่ 2.5 โดยที่อุปกรณ์โทรคมนาคม 2 ชนิด ซึ่งอยู่ที่จุดต้นทางและปลายทางของการสื่อสารทำการส่งข้อมูลแลกเปลี่ยนกัน

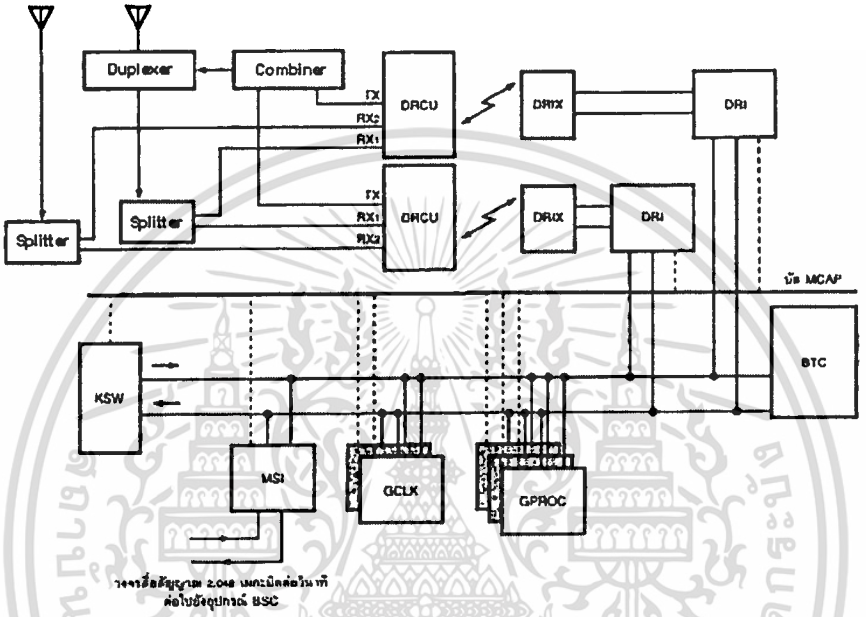
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรับและส่งข้อมูลของแต่ละฝ่ายจะถูกแยกออกจากกันเป็นวงจรด้านรับและด้านส่งแต่ละด้านจะมีคู่สาย 2 เส้น จึงกล่าวได้ว่ามาตรฐานการสื่อสารแบบ PCM เป็นการสื่อสารแบบใช้คู่สาย 4 เส้น ในแต่ละด้านจะมีการแบ่งช่วงเวลาออกเป็น 32 ช่วง เรียกแต่ละช่วงว่าช่องเวลา (timeslot) กำกับด้วยตัวเลขตั้งแต่ 0 ถึง 31 แต่ละช่องเวลาสามารถส่งผ่านข้อมูลได้ 8 บิต โดยปกติช่องเวลาที่ 0 จะถูกใช้ในการส่งสัญญาณเข้าจังหวะระหว่างอุปกรณ์ต้นทางและปลายทาง เหลือช่องเวลาว่างสำหรับใช้งานรับส่งข้อมูลอยู่ 31 ช่อง ทั้งนี้มีการกำหนดเรียกช่วงเวลาที่นับเริ่มตั้งแต่ช่องเวลาที่ 0 ไปจนสิ้นสุดช่องเวลาที่ 31 ว่าเฟรม อุปกรณ์สื่อสารซึ่งได้รับการกำหนดให้ส่งและรับข้อมูลลงในช่องเลาหมายเลขใด จะต้องรอเวลาทุก 125 ไมโครวินาทีสำหรับส่งและรับข้อมูลที่ช่องเวลาดังกล่าว หากคำนวณอัตราเร็วของการรับส่งข้อมูลลงในช่องเวลาหนึ่ง ๆ จะได้ว่าช่องเวลาแต่ละช่องในหนึ่งเฟรมนั้นสามารถรับส่งข้อมูลได้ 8 บิตในทุก ๆ 125 ไมโครวินาทีหรือคิดเป็นอัตราเร็วได้เท่ากับ 8 บิต / 125 ไมโครวินาที 64 กิโลบิตต่อวินาที จากรูปที่ 2.4 การติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ ควบคุมสถานีฐาน และชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือ Mobile Switching Center (MSC) จะใช้ระบบสัญญาณสื่อสารแบบ Common Channel Signaling No.7 (CCS7) โดยผ่านวงจรเชื่อมต่อ A (A-interface) และสำหรับการสื่อสารกับทางด้านสถานีฐานจะใช้ระบบสัญญาณแบบ Link Access Procedure on D Channel (LAPD) ผ่านทางวงจรสื่อสาร A-bis สัญญาณควบคุมต่าง ๆ เหล่านี้จะใช้ในการสร้าง และยกเลิกวงจรสื่อสารระหว่างเครื่องอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน, อุปกรณ์ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่และสถานีฐาน เพื่อให้การสื่อสารจากเครื่องลูกข่ายไปยังอุปกรณ์ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่เกิดขึ้นได้โดยถูกต้อง นอกจากนี้อุปกรณ์ควบคุมสถานีฐานยังใช้สัญญาณดังกล่าวในการติดต่อสื่อสารกับกลุ่มสถานีฐานเพื่อควบคุมการทำงานต่างๆ ของสถานีฐานด้วยอีกประการหนึ่ง ตัวอย่างของงานประเภทนี้ก็ได้แก่การติดต่อประสานงานระหว่างอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน และสถานีฐานในการควบคุมกระบวนการย้ายข้ามเซลของเครื่องลูกข่าย

สำหรับหน่วยประมวลผลกลางจะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบฮาร์ดแวร์ภายในอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน และทั้งยังทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารกับศูนย์ควบคุมส่วนกลาง Operation and Maintenance Center (OMC) โดยใช้โปรโตคอลสื่อสารแบบ X.25 ทั้งนี้อุปกรณ์ ควบคุมสถานีฐาน จะรับโปรแกรมควบคุมการทำงานของทั้งที่เป็นของตนเองและที่เป็นของบรรดาสถานีฐานที่ตนควบคุมอยู่มาจากศูนย์ควบคุมส่วนกลาง โดยเมื่อมีความต้องการแก้ไขโปรแกรมควบคุม ศูนย์ควบคุมส่วนกลางจะทำการส่งโปรแกรมควบคุมชุดใหม่ผ่านวงจรเชื่อต่อแบบ X.25 ไปยังอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน ซึ่งอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐานจะทำการคอมไพล์โปรแกรมชุดใหม่ที่ได้รับนี้และนำไปใช้งาน และขณะเดียวกับที่ส่งโปรแกรมนี้ไปยังบรรดาสถานีฐาน เพื่อให้ปรับใช้โปรแกรมใหม่เช่นเดียวกัน นอกจากนี้อุปกรณ์ควบคุมสถานีฐานจะต้องมีหน้าที่รายงานผลการทำงานของเครือข่ายสถานีฐานกลับไปยังศูนย์ควบคุมส่วนกลางโดยผ่านวงจรเชื่อมต่อ X.25 ทุกๆ ช่วงเวลาหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ควบคุมวงจรสนทนาทำหน้าที่ควบคุมการรับส่งข้อมูลทั้งที่เป็นของผู้ใช้งานและที่เป็นสัญญาณควบคุมต่าง ๆ ผ่านวงจรสื่อสารแบบ Pulse Code Modulation (PCM) จากอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน ไปยังชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งได้มีการรวมวงจรควบคุมการสื่อสารแบบสัญญาณหมายเลข 7 ลงไปด้วยสำหรับอุปกรณ์ควบคุมเทอร์มินอลก็มีหน้าที่การทำงานเช่นเดียวกับอุปกรณ์ควบคุมวงจรสนทนาต่างกันเพียงที่เป็นอุปกรณ์ซึ่งเชื่อมต่ออุปกรณ์ ควบคุมสถานีฐาน เข้ากับสถานีฐาน สปลิตเตอร์



รูปที่ 2.6 โครงสร้างภายในสถานีฐานจาก

ส่วนประกอบสุดท้ายของอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน ก็คือภาคสวิตชิ่งซึ่งทำหน้าที่ตัดหรือเชื่อมต่อวงจรสื่อสารแต่ละวงจรออกจากกันหรือเข้าด้วยกัน โดยวงจรที่ถูกควบคุมเป็นวงจรสื่อสารอัตราเร็ว 64 กิโลบิตต่อวินาทีภาคสวิตชิ่งจะได้รับคำสั่งจากหน่วยประมวลผลกลางในการเชื่อมต่อช่องเวลาหนึ่งของวงจร PCM หนึ่งไปยังช่องเวลาหนึ่งอีกของวงจร PCM อีกวงจรหนึ่ง

2.2.4 สถานีฐาน (BTS)

ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยใช้คลื่นวิทยุสำหรับติดต่อสื่อสารกับเครื่องลูกข่ายตามปกติสถานีฐานจะมีตำแหน่งที่อยู่ภายในกึ่งกลางของเซลในกรณีของเซลแบบรอบทิศทาง (Omni) หรืออาจจะใช้สถานีฐานตัวเดียวควบคุมเซลจำนวนมากกว่า 1 เซล โดยทั่วไปจะเป็น 3 เซล กำลังส่งของอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณวิทยุของอุปกรณ์สถานีฐานจะเป็นตัวแปรหนึ่งที่กำหนดขอบเขตความกว้างของเซลนั้นๆ โดยทั่วไปภายในสถานีฐานหนึ่งตัวจะสามารถติดตั้งอุปกรณ์รับส่งสัญญาณวิทยุได้มากเต็มที่ถึง 16 ชุด ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รองรับความถี่ได้ 16 คู่ สถานีฐานทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารกับเครื่องลูกข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่พร้อม ๆ กับประสานงานร่วมกับอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน และชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ส่วนประกอบของสถานีฐานสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนหลัก ๆ ด้วยกันส่วนแรกได้แก่ส่วนของระบบควบคุมการทำงานและการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐานส่วนที่เหลือเป็นภาคการจัดการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุสำหรับติดต่อสื่อสารกับเครื่องลูกข่าย ดังแสดงรูปที่ 2.6

จากรูปจะเห็นว่าข้อมูลข่าวสารของผู้ใช้งานรวมทั้งสัญญาณควบคุมต่างๆถูกส่งจากอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน ไปยังสถานีฐานโดยการรับส่งผ่านทางอุปกรณ์ Megastream Serial Interface (MSI) ข้อมูลข่าวสารที่ถูกส่งผ่านเข้ามาและออกจากอุปกรณ์ MSI มีอัตราเร็วเท่ากับ 13 กิโลบิตต่อวินาที สัญญาณควบคุมซึ่งถูกควบคุมโดยการใช้โปรโตคอลแบบ LAPD นั้น จะมีอัตราเร็วในการส่งเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที สำหรับสถานีฐานซึ่งมีจำนวนอุปกรณ์รับส่งคลื่นความถี่วิทยุไม่มากนักจะไม่ใช้ช่องเวลาบนวงจรสื่อสารอัตราเร็ว 2.048 เมกะบิตต่อวินาทีครบทุกช่อง สถานีฐานตัวอย่างตามรูปที่ 2.6 จะมีอุปกรณ์รับส่งคลื่นความถี่วิทยุเพียง 2 ชุด โดยที่อุปกรณ์รับส่งแต่ละชุดรองรับวงจรสื่อสารได้ 8 วงจร โดยใช้เทคนิคการจัดเฟรม Time Division Multiplexing Access (TDMA) เมื่อทำการคำนวณค่าแต่ละวงจรใช้อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ ควบคุมสถานีฐานเท่ากับ 16 กิโลบิตต่อวินาที อุปกรณ์รับส่งคลื่นความถี่จำนวน 2 ชุดก็จะใช้ช่องเวลาบนวงจรสื่อสาร PCM เท่ากับ (16 กิโลบิตต่อวินาที / วงจร) x (16 วงจร) / (64 กิโลบิตต่อวินาที / ช่องเวลา) = 4 ช่องเวลา นอกจากนั้นในกรณีตัวอย่างอุปกรณ์ดังกล่าวจะต้องมีการใช้ช่องเวลาอีก 1 ช่องสำหรับรับส่งสัญญาณควบคุม สรุปได้ว่าสถานีฐานตัวอย่างใช้ช่องเวลาบนวงจรสื่อสาร PCM นี้เพียง 5 ช่องเวลาจากที่มีว่างให้ใช้งานทั้งสิ้น 31 ช่องเวลา เหตุผลหนึ่งของการวางแนวทางให้มีการเชื่อมต่อสถานีฐานด้วยกันเป็นแบบเรียงเป็นลำดับเพื่อให้ประสิทธิภาพในการใช้วงจรสื่อสารเป็นอย่างสูงสุด

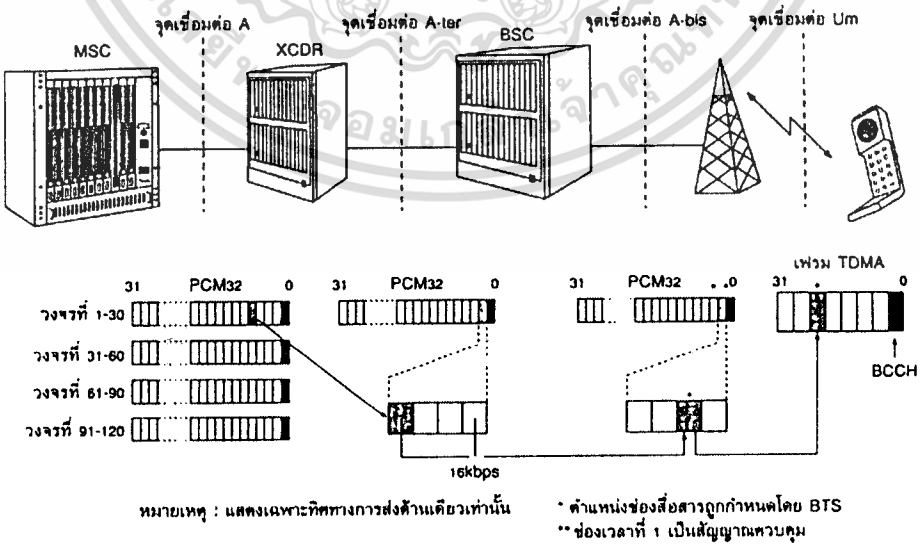
สัญญาณที่ได้รับจากอุปกรณ์ MSI จะถูกส่งผ่านไปยังบัส TDMA ซึ่งมีอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงมาก โดยบัสดังกล่าวจะมีอยู่เป็นคู่บัสด้านหนึ่งจะส่งข้อมูลเข้าไปยังอุปกรณ์ Kiloport Switch (KSW) ซึ่งทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สวิตชิ่งทางเวลา (Time division switching) จัดเรียงลำดับก่อนหลังของข้อมูลให้ตรงตามที่จะส่งไปยังอุปกรณ์ปลายทางที่เชื่อมต่ออยู่บนบัส ข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์ MSI ในส่วนที่เป็นข้อมูลข่าวสารหรือสัญญาณควบคุมซึ่งจะต้องถูกส่งไปยังเครื่องลูกข่ายจะถูกนำมาจัดเรียงให้อยู่ในตำแหน่งช่วงเวลาที่ถูกต้อง ก่อนที่จะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ DRI Diversity Radio Interface (DRI) สำหรับข้อมูลในส่วนที่เป็นสัญญาณควบคุมซึ่งติดต่อกันระหว่างอุปกรณ์ ควบคุมสถานีฐาน และสถานีฐานจะถูกอุปกรณ์ KSW จัดส่งไปให้อุปกรณ์ประมวลผลกลางหรือ Generic Processor (GPROC) ทั้งนี้บัสความเร็วสูงจะถูกเทอร์มิเนตปลายทางด้วยอุปกรณ์ Bus Termination Card (BTS)

การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ KSW, DRI และ GCLK ซึ่งทำหน้าที่สร้างสัญญาณนาฬิกาเพื่อเป็นฐานเวลาอ้างอิงจะเป็นหน้าที่ของอุปกรณ์ GPROC โดยการติดต่อสื่อสารในแง่ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมการทำงานระหว่างอุปกรณ์เหล่านี้จะกระทำผ่านบัส MCAP ซึ่งบัสดังกล่าวมีโครงสร้างคล้ายกับบัสภายในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ กล่าวคือประกอบด้วยชุดสายสัญญาณข้อมูล, ชุดสายสัญญาณระบุแอดเดรส และชุดสายสัญญาณควบคุมในกรณีของสถานีฐานซึ่งมีจำนวนอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุมากๆ จะพบว่าต้องใช้อุปกรณ์ GPROC จำนวนหลายตัวทำงานร่วมกัน ในกรณีนี้อุปกรณ์ GPROC แต่ละตัวจะสื่อสารกันเองผ่านทางระบบเครือข่ายแลนแบบโทเก็นริง (Token Ring)

สำหรับข้อมูลและสัญญาณควบคุมที่จะถูกส่งไปยังเครื่องลูกข่าย จะได้รับการส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์ DRI ซึ่งทำหน้าที่ในการรับข้อมูลจากบัสสื่อสารความเร็วสูงมาทำการจัดโครงสร้างเฟรมแบบ TDMA และในทางกลับกันคือการดึงข้อมูลจากเฟรม TDMA ที่ได้รับออกเพื่อส่งกลับไปยังบัสสื่อสารความเร็วสูง ในแง่ของการส่งข้อมูลสัญญาณที่ถูกส่งออกจากอุปกรณ์ DRI จะผ่านไปยังอุปกรณ์ Diversity Radio Interface Extension (DRIX) เพื่อทำการแปลงสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณแสงก่อนที่จะส่งต่อไปยังอุปกรณ์ Diversity Radio Control Unit (DRCU) ซึ่งเป็นภาคขยายกำลังและภาครับสัญญาณซึ่งมีความไวในการรับสัญญาณสูง อุปกรณ์ DRCU จะมีจุดต่อไปยังระบบสายอากาศจำนวน 3 จุดด้วยกัน โดยแบ่งเป็นจุดต่อไปยังสายอากาศส่ง 1 จุด และจุดต่อไปยังสายอากาศรับจำนวน 2 จุด ในกรณีที่เซลแต่ละเซลมีจำนวนความถี่ที่จะต้องร่วมกันส่งออกไปมากกว่า 1 ความถี่ ก็จะมีการรวมสัญญาณความถี่จากทุก ๆ DRCU ที่อยู่ในเซลเดียวกันโดยใช้อุปกรณ์รวมสัญญาณ (Combiner) ให้เหลือสัญญาณออกเพียงชุดเดียวสำหรับส่งไปยังสายอากาศสำหรับภาครับก็เป็นเช่นเดียวกัน สัญญาณความถี่ขาขึ้นไม่ว่าจะเป็นความถี่ใดก็ตามที่ถูกกำหนดใช้งานอยู่ภายในเซลเดียวกัน เมื่อผ่านสายอากาศภาครับแล้วก็จะถูกแยกออกจากกันด้วยอุปกรณ์สปลิตเตอร์ (Splitter) สำหรับป้อนกลับไปยังภาครับของอุปกรณ์ DRCU แต่ละตัว



รูปที่ 2.7 การทำงานของอุปกรณ์ถ่ายทอดรหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการที่ต้องมีจุดต่อสำหรับสายอากาศรับถึง 2 ชุดด้วยกันก็เพื่อการลดผลกระทบจากการเกิดการลดทอนของสัญญาณของสัญญาณที่ได้รับจากเครื่องลูกข่ายอันเกิดจากสภาพภูมิประเทศ (Multipath Fading) ทั้งนี้การติดตั้งสายอากาศภาครับจำนวน 2 ต้นจะช่วยลดผลการลดทอนสัญญาณลงไปได้อย่างมากวิธีการลดผลกระทบดังกล่าวซึ่งเป็นการแก้ไขทางฮาร์ดแวร์เมื่อใช้งานร่วมกับการแก้ไขทางซอฟต์แวร์ด้วยการใช้เทรนนิ่งซีเควนซ์ทำให้ช่วยลดผลกระทบดังกล่าวลงในระดับที่สามารถใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้

อย่างไรก็ตามเมื่อนับจำนวนสายอากาศที่จะต้องใช้ต่อเซลแต่ละเซลจะพบว่าต้องมีอย่างน้อยถึง 3 ต้น โดยทั่วไปการออกแบบสถานีฐานแต่ละตัวจะกำหนดให้ควบคุมการทำงานของเซลจำนวน 3 เซล ซึ่งหมายความว่าต้องใช้สายอากาศทั้งสิ้นถึง 9 ต้นต่อสถานีฐาน ผลกระทบที่เกิดขึ้นก็คือความยากลำบากในการหาสถานีที่ติดตั้งสายอากาศ ซึ่งหากสามารถลดจำนวนสายอากาศส่งและสายอากาศรับต้นใดต้นหนึ่งในแต่ละเซลเข้าด้วยกัน สายอากาศที่ใช้เป็นสายอากาศที่ได้รับออกแบบมาให้สามารถรับและส่งคลื่นความถี่วิทยุในย่านที่กำหนดใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่สัญญาณจากอุปกรณ์คอมบายเบอร์ซึ่งเป็นสัญญาณที่เตรียมส่งจะถูกป้อนไปยังอุปกรณ์ดูเพล็กเซอร์ (Duplexer) ซึ่งทำหน้าที่รวมสัญญาณที่รับได้และสัญญาณที่จะถูกส่งเข้าด้วยกันเพื่อป้อนไปยังสายอากาศต้นเดียวกัน ด้วยเทคนิคดังกล่าวจึงทำให้จำนวนสายอากาศต่อเซลลดลงเหลือเพียง 2 ต้น หรือเท่ากับ 6 ต้นต่อสถานีฐาน

2.2.5 อุปกรณ์ถ่ายทอดรหัส (Transcoder)

อัตราเร็วของข้อมูลสำหรับผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งถูกส่งจากอุปกรณ์ ควบคุมสถานีฐาน ไปยังสถานีฐานเพื่อทำการแปลงให้อยู่ในรูปของเฟรม TDMA สำหรับส่งออกอากาศไปยังบรรดาเครื่องลูกข่ายนั้นจะมีอัตราเร็วเท่ากับ 13 กิโลบิตต่อวินาทีต่อวงจร แต่ในทางปฏิบัติแล้วจะนิยมมีการผนวกข้อมูลว่างเข้าไปกับข้อมูลในแต่ละวงจรให้มีอัตราเร็วต่อช่องเท่ากับ 16 กิโลบิตต่อวินาทีซึ่งเป็นอัตราเร็วที่ต่ำกว่าอัตราเร็วของวงจรสื่อสารแต่ละช่องบนวงจรสื่อสารแบบ PCM เป็น 4 เท่าพอดี เมื่อย้อนกลับไปพิจารณาถึงการกำหนดมาตรฐานอัตราเร็วของข้อมูลที่ถูกรับส่งระหว่างเครือข่ายชุมสายโทรศัพท์ทั่วไปรวมถึงชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ พบว่ามีการกำหนดให้อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลของแต่ละวงจรเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที จึงทำให้มองเห็นว่าจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่ปรับลดอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลใช้งานแต่ละวงจรลง 4 เท่า ในทิศทางการส่งจากชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน และทำหน้าที่ปรับเพิ่มอัตราเร็วของข้อมูลใช้งานแต่ละวงจรขึ้น 4 เท่าในทิศทางการส่งในทางกลับกัน อุปกรณ์ดังกล่าวมีชื่อว่าอุปกรณ์ถ่ายทอดรหัส (Transcoder) XCDR

รูปที่ 2.7 แสดงการทำงานของอุปกรณ์ถ่ายทอดรหัส และการปรับเทียบวงจรสื่อสารตั้งแต่สัญญาณที่ถูกส่งมาจากชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ผ่านอุปกรณ์ถ่ายทอดรหัสไปยังอุปกรณ์ควบคุม

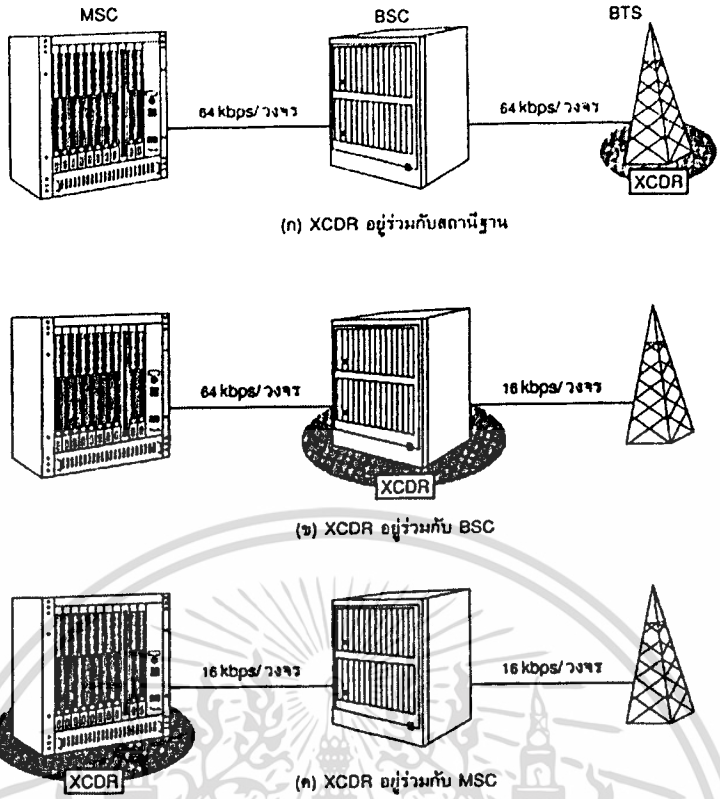
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานีฐาน และต่อไปยังสถานีฐานจนกระทั่งผ่านชุดเชื่อมต่อทางอากาศไปยังเครื่องลูกข่าย จะพบว่าบางครั้งมักมีการเรียกชื่อจุดเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ถ่ายทอดรหัส ไปยังอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐานว่า Terrestrial (A-TER) หมายถึงส่วนเชื่อมต่อที่จะต้องวางวงจรสื่อสารเป็นระยะทางไกลทั้งนี้ก็เนื่องมาจากความนิยมในการติดตั้งอุปกรณ์ถ่ายทอดรหัสไว้ร่วมกับชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ทั้งที่ตามความเป็นจริงแล้วอุปกรณ์ถ่ายทอดรหัสถือเป็นส่วนหนึ่งของเครือข่ายสถานีฐาน

สาเหตุหลักในการติดตั้งตามลักษณะดังกล่าวก็เนื่องมาจากความต้องการลดต้นทุนในการวางวงจรสื่อสัญญาณเชื่อมต่อระยะทางไกล ทั้งนี้เนื่องจากการที่อุปกรณ์ถ่ายทอดรหัสทำหน้าที่ลดอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลจากชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังอุปกรณ์ ควบคุมสถานีฐาน สมมติว่าจากชุมสายโทรศัพท์มีวงจรสื่อสาร PCM แบบ 32 ช่องสื่อสารต่อไปยังอุปกรณ์ถ่ายทอดรหัสเป็นจำนวน 4 วงจร แต่ละวงจร PCM สามารถรองรับวงจรสื่อสารได้ 30 วงจรก็จะกล่าวได้ว่ามีวงจรสื่อสารรวมทั้งสิ้นเท่ากับ 120 วงจร แต่ละวงจรมีอัตราเร็วในการรับส่งเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที แต่ละวงจรเมื่อผ่านเข้าไปในอุปกรณ์ถ่ายทอดรหัสแล้วก็จะถูกลดอัตราเร็วลงเหลือเพียง 16 กิโลบิตต่อวินาที หรือกล่าวให้ง่ายเข้าจะได้ว่าช่องสื่อสารอัตราเร็ว 64 กิโลบิตต่อวินาทีซึ่งเดิมเคยรองรับวงจรสื่อสารได้เพียง 1 วงจร หลังจากผ่านอุปกรณ์ถ่ายทอดรหัสไปแล้วจะสามารถรองรับวงจรสื่อสารได้ถึง 4 วงจร ดังนั้นในการกรณีนี้จะเห็นว่าสามารถใช้วงจรสื่อสาร PCM แบบ 32 ช่องสื่อสารเพียงวงจรเดียวรองรับวงจรสื่อสารซึ่งมีอยู่ทั้งสิ้น 120 วงจรได้ การติดตั้งอุปกรณ์ถ่ายทอดรหัสไว้ร่วมกับชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำให้เสียเงินลงทุนในการสร้างวงจรสื่อสัญญาณเชื่อมต่อระหว่างจุดชุมสายโทรศัพท์กับจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐานเพียง 1 วงจรเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.8 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ถ่ายทอดรหัส

อย่างไรก็ตามหากไม่พิจารณาถึงความต้องการลดต้นทุนในส่วนของการสร้างวงจรสื่อสัญญาณแล้ว จะพบว่าผู้ออกแบบระบบมีสิทธิที่จะติดตั้งอุปกรณ์ถ่ายทอดรหัสไว้ที่จุดใด ๆ ของเครือข่ายสถานีฐานก็ได้ ทั้งนี้ตำแหน่งที่อยู่ของอุปกรณ์ถ่ายทอดรหัสที่สามารถเป็นไปได้มีอยู่ 3 ตำแหน่งดังนี้

ติดตั้งกับสถานีฐานดังแสดงในรูปที่ 2.8 (ก) ทั้งนี้เนื่องจากผู้ออกแบบระบบต้องลงทุนติดตั้งอุปกรณ์ถ่ายทอดรหัสเป็นจำนวนมากเท่ากับจำนวนสถานีฐานที่มีอยู่ทั้งหมด นอกจากนั้นการติดตั้งในลักษณะดังกล่าวยังทำให้วงจรสื่อสารใช้งานแต่ละวงจรระหว่างสถานีฐานและอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐานต้องการอัตราเร็วเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาทีทำให้เปลืองวงจรสื่อสัญญาณเป็นอย่างมาก

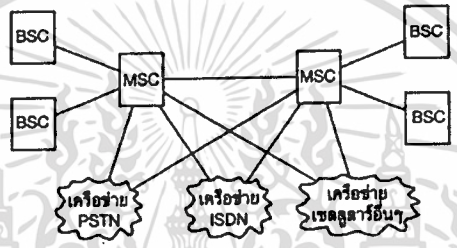
2.2.5.1 ติดตั้งอยู่ร่วมกับอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐานดังแสดงในรูปที่ 2.8 (ข) ผู้วางระบบไม่จำเป็นต้องลงทุนติดตั้งสถานีฐาน และสามารถใช้วงจรสื่อสัญญาณบนจุดเชื่อมต่อแบบ A-bis อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ก็ยังต้องลงทุนมากกว่าการติดตั้งแบบที่สามในส่วนของจำนวนวงจรสื่อสัญญาณบนจุดเชื่อมต่อแบบ A เป็นมูลค่าประมาณ 4 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
59820

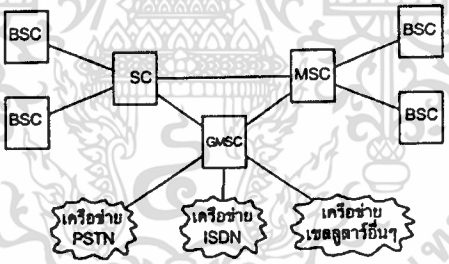
2.2.5.2 ติดตั้งร่วมกับชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ดังแสดงในรูปที่ 2.8 (ค) ซึ่งเป็นแบบที่ได้กล่าวมาตั้งแต่ต้นและเป็นแบบที่ได้รับการนำไปใช้งานมากที่สุด เนื่องจากจุดเด่นในด้านของความประหยัดในการลงทุนอุปกรณ์สื่อสัญญาณดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

2.2.6 ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (MSC)

ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อวงจรระหว่างเครื่องลูกข่ายด้วยกัน เพื่อสร้างวงจรสนทนาและเป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายและอุปกรณ์อื่นๆ ภายในเครือข่ายชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือ Mobile Service Switching Center ใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในเครือข่ายดังแสดงในรูปที่ 2.9 แล้วยังจะต้องมีการเชื่อมต่อกับเครือข่ายโทรศัพท์สาธารณะ, เครือข่าย ISDN รวมถึงเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่อื่น ๆ ในกรณีที่เครือข่ายมีชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่หลาย แห่งก็จะต้องมีการเชื่อมต่อ ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ แต่ละแห่งเข้าด้วยกัน



(ก) การเชื่อมโยงกับเครือข่ายอื่นๆ โดยตรง



(ข) การเชื่อมโยงกับเครือข่ายอื่นๆ โดยผ่าน GMSC

รูปที่ 2.9 เปรียบเทียบความแตกต่างในการเชื่อมต่อโดยชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ และ GMSC

ในเครือข่าย GSM ที่มีการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่นๆ จะนิยมต่อผ่านอุปกรณ์ Gateway MSC (GMSC) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อทำหน้าที่ติดต่อกับควบคุมสถานีฐาน สาเหตุหนึ่งของการเชื่อมต่อผ่าน GMSC เพื่อควบคุมการเรียกเข้าและออกกับต่างเครือข่ายกับเครือข่ายอื่น ๆ ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.9

การเชื่อมต่อของระบบสัญญาณควบคุมระหว่างชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่และอุปกรณ์อื่น ๆ ภายในเครือข่ายซึ่งแสดงในรูปที่ 2.9 ต่างก็อยู่บนพื้นฐานของระบบสัญญาณหมายเลข 7 (Common

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Channel Signaling Number 7) การเรียกชื่อวงจรเชื่อมต่อสัญญาณเป็นไปตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้โดย ETSI ดังนี้

วงจรเชื่อมต่อสัญญาณระหว่าง MSC และ BSC มีชื่อเรียกว่า A-interface

วงจรเชื่อมต่อสัญญาณระหว่าง MSC และ VLR มีชื่อเรียกว่า B-interface

วงจรเชื่อมต่อสัญญาณระหว่าง MSC และ HLR มีชื่อเรียกว่า C-interface

วงจรเชื่อมต่อสัญญาณระหว่าง HLR และ VLR มีชื่อเรียกว่า D-interface

วงจรเชื่อมต่อสัญญาณระหว่าง MSC และ MSC มีชื่อเรียกว่า E-interface

วงจรเชื่อมต่อสัญญาณระหว่าง MSC และ EIR มีชื่อเรียกว่า F-interface

สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างระบบฐานข้อมูลบริการกลางและศูนย์ตรวจสอบการใช้งาน จะขึ้นอยู่กับผู้ผลิตอุปกรณ์ว่าจะใช้เป็นแบบใด ส่วนการเชื่อมต่อระหว่างควบคุมสถานีฐานและ สถานีฐานมีชื่อเรียกว่า Abis interface ซึ่งเป็นระบบสัญญาณที่อยู่บนพื้นฐานของโปรโตคอลแบบ LAPD เช่นเดียวกับการเชื่อมต่อทางคลื่นวิทยุระหว่าง สถานีฐาน กับเครื่องลูกข่าย

2.2.7 ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง (HLR)

Home Location Register (HLR) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เก็บเลขหมายและข้อมูลเฉพาะอื่น ๆ ของผู้ใช้บริการ ตัวอย่างของข้อมูลที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลางได้แก่ หมายเลข International Mobile Subscriber Identity (IMSI) ซึ่งเป็นเลขหมายอ้างอิงผู้ใช้บริการที่ใช้ภายในเครือข่าย GSM, เลขหมาย Mobile Subscriber ISDN Number (MSISDN) ซึ่งเป็นเลขหมายที่ใช้ในการโทรติดต่อหากัน, กุญแจตรวจสอบส่วนบุคคล (Authentication Key), รายการบริการพิเศษที่เจ้าของเลขหมายขอเปิดใช้รวมไปถึงข้อมูลชั่วคราวอื่นๆ ซึ่งได้แก่หมายเลขของฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นที่ผู้ใช้บริการกำลังสังกัดอยู่เบอร์โทรศัพท์ที่ต้องการจะให้โอนสายไปหาในกรณีที่ขอเปิดบริการโอนสาย และบางส่วนของข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการตรวจสอบยืนยันผู้ใช้ และกระบวนการเข้ารหัสเสียงพูด

เลขหมาย IMSI จะถูกบันทึกอย่างถาวรลงในแผ่น บัตรโทรศัพท์ ทั้งนี้ขอให้เข้าใจก่อนว่าภายในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ตระกูล GSM จะอ้างอิงเลขหมายของผู้ใช้บริการแต่ละคนโดยใช้ IMSI มิได้ใช้ MSISDN ซึ่งเป็นเลขหมายที่ถูกใช้อ้างในการเรียกติดต่อโดยผู้ใช้บริการด้วยกัน ส่วนประกอบของ IMSI เป็นดังนี้

$$IMSI = MCC + MNC + MSIN$$

โดยที่ Mobile Country Code (MCC) มีความยาว 3 หลัก ใช้เป็นตัวเลขบอกถึงประเทศซึ่งเจ้าของ บัตรโทรศัพท์ จดทะเบียนอยู่ด้วย ต่อไปคือ Mobile Network Code (MNC) ความยาว 2 หลักใช้แทนชื่อของผู้ให้บริการเครือข่ายซึ่งเจ้าของบัตรโทรศัพท์จดทะเบียน สำหรับตัวอย่างของ MCC และ MNC ของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั่วโลกบางรายแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 ส่วน 10 หลักสุดท้ายของ IMSI ซึ่งบางเครือข่ายอาจจะใช้ไม่ถึง 10 หลักมีชื่อเรียกว่า Mobile Subscriber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Identification Number (MSIN) ใช้กำกับผู้จดทะเบียนเครือข่ายแต่ละคน ยกตัวอย่างการอ่านค่า IMSI ของเครือข่ายแห่งหนึ่งที่มีหมายเลขคือ 262 02 4542750010 จะเห็นได้ว่าเป็นเลขหมายของผู้ใช้บริการซึ่งจดทะเบียนในประเทศเยอรมัน (MCC = 262) กับเครือข่าย D2 private (MNC = 02)

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างรายชื่อของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่เรียงตามรหัส MCC และ MNC

MCC	ประเทศ	MNC	ผู้ให้บริการ
208	ประเทศฝรั่งเศส	01	F France Telekom
		02	F SFR
234	ประเทศอังกฤษ	10	UK CellNet
		15	UK Vodafone
240	ประเทศสวีเดน	01	S Tele Radio
		07	S Comviq
		08	S Nordictel
244	ประเทศฟินแลนด์	91	SF Tele Fin
262	ประเทศเยอรมัน	01	D1-Telekorm
		02	D2 pivat
505	ประเทศออสเตรเลีย	01	Telecom Australia
		02	Optus Communication
		03	Vodafone
520	ประเทศไทย	01	Advanced Info Service (AIS)
		10	CP Orange
		18	Total Access Communication (TAC)
		15	Thai Mobile
		23	Digital Phone

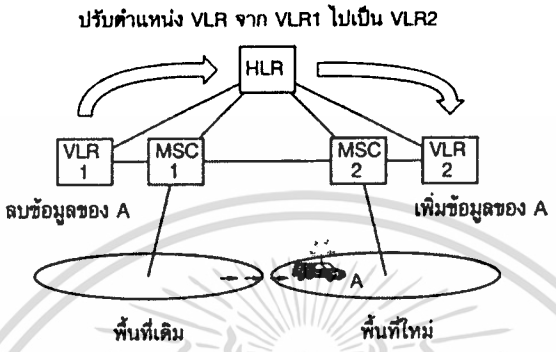
สำหรับฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลางในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถมีได้ตั้งแต่หนึ่งตัวหรือมากกว่านั้น ขึ้นอยู่กับการจัดสรรการลงทะเบียนลูกค้าของผู้ให้บริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละราย

2.2.8 ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่น (VLR)

เรียกว่า Visitor Location Register (VLR) ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่เกี่ยวกับเลขหมายทั้งหมดซึ่งเข้ามาใช้งานอยู่ในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งของชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งโดยทั่วไปจำนวนของฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่น และชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะเท่ากันสำหรับข้อมูลของเลขหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละเลขซึ่งถูกเก็บอยู่ภายใน ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นจะแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งเป็นข้อมูลถาวรซึ่งเป็นข้อมูลเดียวกันกับที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง อีกส่วนหนึ่งเป็นข้อมูลชั่วคราวตัวอย่างของข้อมูลชั่วคราวได้แก่เลขหมาย Temporary Mobile Subscriber Identity (TMSI) ซึ่งเป็นเลขหมายที่ถูกใช้รับส่งระหว่างสถานีฐานและเครื่องลูกข่ายแทนเลขหมาย IMSI เพื่อป้องกันการถูกลักลอบดักจับเลขหมาย IMSI กลางอากาศ จะได้กล่าวถึงกระบวนการป้องกันดังกล่าวต่อไป



รูปที่ 2.10 การปรับข้อมูลภายในฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่น และฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง

จุดประสงค์ของการออกแบบให้มีฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นก็เพื่อให้ทำหน้าที่ร่วมกันกับชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับสร้างการเชื่อมต่อวงจร (Call establishment) และการตรวจสอบยืนยันการใช้งาน (Authentication procedure) ซึ่งการระบุตำแหน่งของเลขหมายผู้ใช้บริการโดยใช้ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นจะช่วยทำให้ลดปริมาณการส่งสัญญาณสอบถามตำแหน่งจาก ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง เนื่องจากชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถติดต่อขอข้อมูลจากฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นของตนได้โดยตรงสำหรับการขอเชื่อมวงจรและการตรวจสอบยืนยันการใช้งาน ในกรณีที่ผู้ใช้บริการเคลื่อนย้ายตำแหน่งของตนเองไปยังพื้นที่ของชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่อื่นฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นประจำชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่เดิมจะต้องลบข้อมูลเกี่ยวกับเลขหมายดังกล่าวทิ้งไป ในขณะที่ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นตัวใหม่จะบันทึกข้อมูลของเลขหมายดังกล่าวพร้อมกับที่ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลางจะต้องได้รับแจ้งถึงการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว และทำการปรับข้อมูลระบุตำแหน่งฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นที่สัมพันธ์กับตำแหน่งที่อยู่ใหม่ของผู้ใช้บริการดังแสดงในรูปที่ 2.10

2.2.9 ศูนย์ตรวจสอบการใช้งาน (AuC)

Authentication Center (AuC) ซึ่งโดยปกติจะเชื่อมกับฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลางโดยตรง บางครั้งอาจพบว่าศูนย์ตรวจสอบการใช้งานและฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลางเป็นอุปกรณ์ตัวเดียวกัน ศูนย์ตรวจสอบการใช้งานทำหน้าที่เก็บข้อมูลต่างๆที่จำเป็นต้องใช้ในการตรวจสอบยืนยันการใช้งาน โดยส่งผ่านไปทางฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง ซึ่งศูนย์ตรวจสอบการใช้งานจะทราบว่าต้องใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัลกอริธึมชนิดใด สำหรับกระบวนการตรวจสอบยืนยันของเลขหมายแต่ละเลขพร้อมกับทำหน้าที่คำนวณสร้างรหัสตรวจสอบสำหรับส่งต่อไปยังฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่น เพื่อทำการเปรียบเทียบกับรหัสที่ได้รับจากเครื่องลูกข่าย เนื่องจากข้อมูลทั้งหมดที่ใช้ในการตรวจสอบยืนยันการใช้งานถูกเก็บไว้ในศูนย์ตรวจสอบการใช้งานจึงจำเป็นจะต้องมีกระบวนการป้องกันการโจรกรรมข้อมูลในศูนย์ตรวจสอบการใช้งานเป็นอย่างดี สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบยืนยันการใช้งานของเลขหมายแต่ละเลขทั้งที่เก็บอยู่ในศูนย์ตรวจสอบการใช้งาน และบัตรโทรศัพท์จะเป็นข้อมูลเดียวกันทุกประการ

2.2.10 ฐานข้อมูลเครื่องลูกข่าย (EIR)

Equipment Identity Register (EIR) เป็นอุปกรณ์เพิ่มเติมสำหรับผู้ให้บริการเครือข่าย การติดตั้งใช้งานระบบฐานข้อมูลเครื่องลูกข่าย นับเป็นแนวทางในการรักษาความปลอดภัยอีกประการหนึ่ง โดยระบบฐานข้อมูลเครื่องลูกข่ายจะทำหน้าที่เก็บข้อมูลเลขหมายประจำเครื่องลูกข่ายซึ่งจะแบ่งออกเป็นกลุ่มที่อนุญาตให้ใช้งานได้กลุ่มที่ได้รับแจ้งว่าถูกขโมยหรือสูญหาย และกลุ่มที่ถูกจับตามอง เป็นต้น เลขหมายประจำเครื่องลูกข่ายมีชื่อเรียกว่า International Mobile Equipment Identity (IMEI) ซึ่งไม่ใช่เลขเดียวกันกับเลขรหัสเลขเครื่อง (Serial number) เนื่องจาก IMEI เป็นเลขหมายมาตรฐานซึ่งระบุถึงบริษัทผู้ผลิตประเทศที่ผลิต และรหัสการตรวจอนุมัติการมีระบบฐานข้อมูลเครื่องลูกข่าย ขึ้นในระบบก็เพื่อใช้สำหรับตรวจสอบว่าเครื่องลูกข่ายดังกล่าวสามารถใช้งานได้ในเครือข่ายหรือไม่ซึ่งไม่เกี่ยวกับเรื่องของ บัตรโทรศัพท์ เป็นการตรวจเฉพาะตัวเครื่องลูกข่ายเท่านั้น โดยการตรวจสอบจะกระทำทุกครั้งที่มีการเปิดเครื่อง และเมื่อมีการโทรออกหรือรับสายเข้า

สำหรับการแบ่งกลุ่มข้อมูลในระบบฐานข้อมูลเครื่องลูกข่ายจะแบ่งเป็น 3 กลุ่มรายการ คือ รายการขาว (White List), รายการเทา (Grey List) และรายการดำ (Black List) การตรวจสอบอนุญาตให้ใช้งานเครื่องลูกข่ายจะเป็นไปตามลำดับดังนี้ คือ หากตรวจสอบแล้วไม่พบว่าอยู่ในรายการใดเลยจะไม่อนุญาตให้ใช้งานเครื่องลูกข่ายดังกล่าว หากอยู่ในรายการขาวจะสามารถโทรได้ หากอยู่ในรายการดำจะไม่อนุญาตให้โทรในกรณีที่เลขหมาย IMEI ของเครื่องลูกข่ายอยู่ในรายการเทาก็จะขึ้นอยู่กับการกำหนดของผู้ให้บริการระบบเครือข่ายว่าจะให้โทรหรือไม่

2.2.11 อุปกรณ์ตรวจสอบและซ่อมบำรุง (OMC)

Operation and Maintenance Center (OMC) เป็นอุปกรณ์ซึ่งมิได้เกี่ยวข้องโดยตรงกับการให้บริการของระบบ แต่จะทำหน้าที่ควบคุมและบริหารการทำงานของระบบเครือข่ายโดยรวม ระบบอุปกรณ์ตรวจสอบและซ่อมบำรุงยังแบ่งออกเป็น OMC-Switch (OMC-S) ทำหน้าที่ควบคุมและบริหารการทำงานของชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ และฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลางนอกจากนี้ยังมี OMC Radio (OMCR) ทำหน้าที่ควบคุมและบริหารการทำงานของควบคุมสถานีฐานและสถานีฐาน

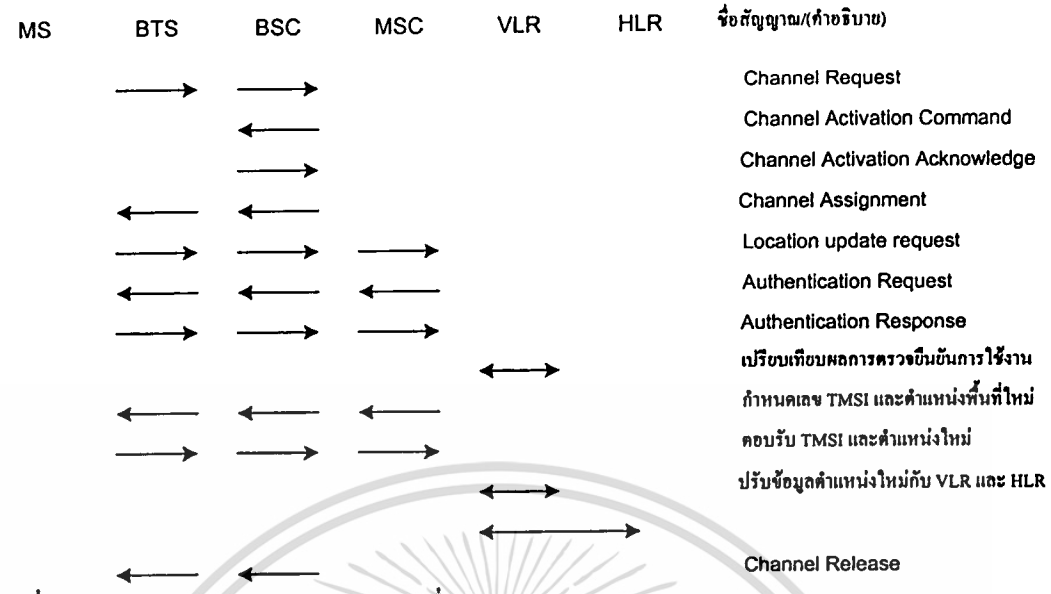
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กระบวนการที่สำคัญภายในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

2.3.1 กระบวนการลงทะเบียน

ทันทีที่เครื่องลูกข่ายถูกเปิดเครื่องใช้งาน เครื่องลูกข่ายจะเริ่มตรวจสอบหาเครือข่าย GSM (หรือ DCS แล้วแต่ชนิดของเครื่อง) โดยตรวจดูจากย่านความถี่ใช้งาน เช่น ในกรณีของ GSM เครื่องลูกข่ายจะตรวจหาความถี่ในช่วง 890-915 เมกะเฮิรตซ์ หรือสำหรับระบบ DCS-1800 ก็จะตรวจในช่วงความถี่ 1810-1885 เมกะเฮิรตซ์ การตรวจหาเครือข่ายจะกระทำให้เสร็จภายในเวลาอันสั้นโดยใช้อัลกอริธึมการตรวจสอบ ทันทีที่ตรวจพบเครือข่ายเครื่องลูกข่ายจะเริ่มอ่านข้อมูลของระบบเครือข่ายที่ถูกส่งออกมาจากสถานีฐาน ซึ่งข้อมูลนี้จะทำให้เครื่องลูกข่ายรู้ถึงตำแหน่งใช้งานปัจจุบันภายในเครือข่าย หากตำแหน่งที่อยู่ใหม่นี้ต่างกันกับตำแหน่งที่อยู่เดิมก่อนที่จะมีการปิดเครื่องไป เครื่องลูกข่ายจะต้องทำการขอลงทะเบียน (Registration) กับเครือข่ายเพื่อให้เครือข่ายรับทราบถึงตำแหน่งที่อยู่ใหม่ของเครื่องลูกข่าย ทั้งนี้การกำหนดนิยามของตำแหน่งซึ่งใช้อ้างอิงดังกล่าว แต่ละตำแหน่งซึ่งมีชื่อเรียกว่า Location Area (LA) จะประกอบไปด้วยกลุ่มของเซลจำนวนหลาย ๆ เซล ทั้งนี้เพื่อลดปัญหาในเรื่องการของลงทะเบียนใหม่อย่างไม่จำเป็นหากนิยามตำแหน่งให้มีขนาดเท่ากับเซลแต่ละเซล รูปที่ 2.11 เป็นตัวอย่างของการส่งสัญญาณระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการขอลงทะเบียน โดยในขั้นแรกเครื่องลูกข่ายจะทำการขอลงทะเบียนโดยในขั้นแรกเครื่องลูกข่ายจะทำการขอช่องสัญญาณวิทยุที่ว่างจากสถานีฐาน ซึ่งจะถูกกำหนดให้โดยควบคุมสถานีฐาน ซึ่งควบคุมสถานีฐานนั้นอยู่เมื่อมีการกำหนดช่องสัญญาณให้แล้วควบคุมสถานีฐาน จะแจ้งไปยังสถานีฐาน และสถานีฐานจะตอบรับควบคุมสถานีฐานพร้อมกับแจ้งไปยังเครื่องลูกข่าย เมื่อถึงขั้นนี้ก็ถือว่าเครื่องลูกข่ายเชื่อมต่อกับเครือข่ายได้แล้ว เครื่องลูกข่ายจะเริ่มส่งสัญญาณไปยังเครือข่ายเพื่อขอทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งหรือ Location Update ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะถูกส่งผ่าน ควบคุมสถานีฐาน ไปยัง ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ก่อนที่ ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะทำการปรับตำแหน่งให้นั้นจะทำการร้องขอให้เครื่องลูกข่ายทำการตรวจสอบยืนยันการใช้งานก่อน (Authentication) โดยชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำการส่งข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณไปยังเครื่องลูกข่าย พร้อมกับที่เก็บผลจากการคำนวณไว้ในฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นเครื่องลูกข่ายจะส่งผลที่คำนวณเสร็จแล้วกลับมายังชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อที่จะส่งไปเปรียบกับผลที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่น หากตรงกันก็จะดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

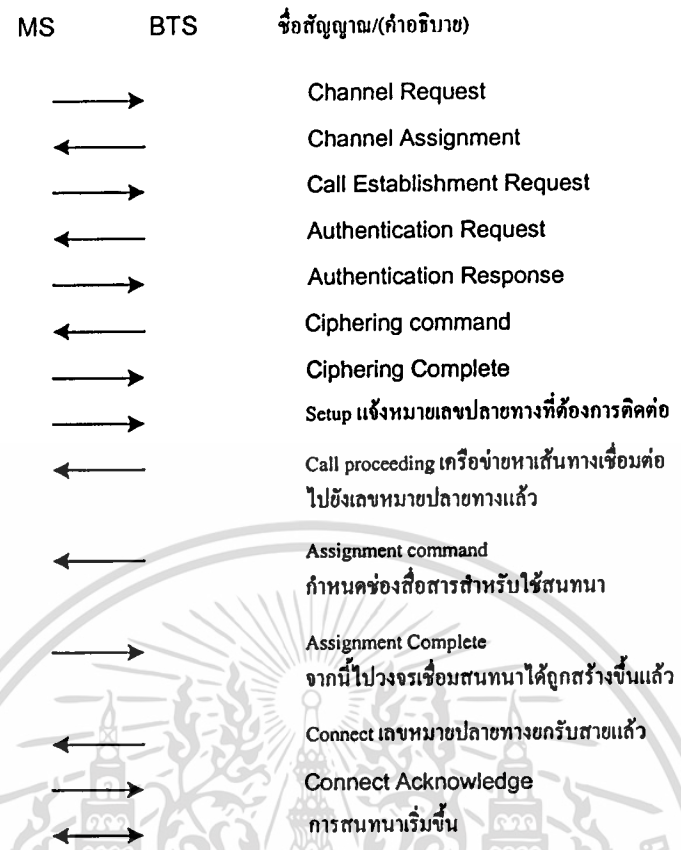


รูปที่ 2.11 กระบวนการลงทะเบียนของเครื่องลูกข่าย

หลังจากผ่านการตรวจสอบยืนยันการใช้งานแล้วชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะตอบรับการขอเปลี่ยนตำแหน่งไปยังเครื่องลูกข่ายโดยผ่านไปยังควบคุมสถานีฐาน และสถานีฐานตามลำดับ สำหรับบางเครือข่ายที่กำหนดให้มีการป้องกันการดักตรวจจับเลขหมาย IMSI กลางอากาศก็จะมีการบังคับให้ในขั้นตอนนี้ ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะต้องส่ง TMSI ซึ่งเป็นเลขหมายชั่วคราวแทน IMSI ไปเก็บไว้ในบัตรโทรศัพท์ของเครื่องลูกข่าย เพื่อให้ใช้เลขหมายนี้แทน IMSI โดยเครือข่ายจะทราบเองว่า TMSI หมายเลขใดเป็นของ IMSI ใด หลังจากนั้นก็จะเป็นการปรับข้อมูลที่เกี่ยวกับกับตำแหน่งใช้งานของเลขหมายนั้นลงในฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นที่เกี่ยวข้องและฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลางตามลำดับ

จุดประสงค์ของการกำหนดให้มีการลงทะเบียนก็เพื่อทำให้เครือข่ายสามารถล่วงรู้ได้ตลอดว่าหมายเลขผู้ใช้บริการแต่ละรายมีสถานะเป็นอย่างไร และอยู่ที่ใดโดยกระบวนการลงทะเบียนจะช่วยจำกัดปริมาณสัญญาณที่ส่งผ่านภายในเครือข่ายข้อมูลทุกอย่างที่เก็บไว้ใน ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลางก็จะเป็นข้อมูลที่ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่รับรู้ด้วย เช่นกันดังนั้นในกรณีที่มีขอเรียกเข้าเลขหมายที่ปิดเครื่องอยู่ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็จะสามารถ ส่งสัญญาณแจ้งว่าเลขหมายดังกล่าวไม่สามารถติดต่อได้โดยไม่จำเป็นต้องส่งสัญญาณเรียกไปยังเลขหมายปลายทางก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการสร้างวงจรสนทนากรณีโทรเรียกออก

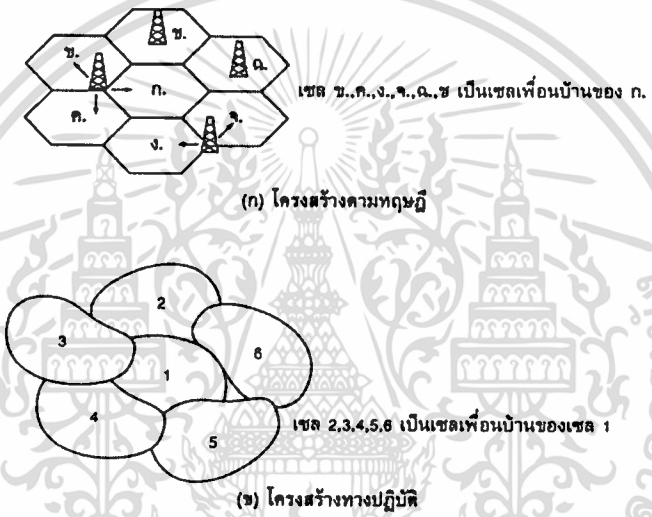
2.3.2 การเชื่อมต่อวงจรสนทนา

การเชื่อมต่อวงจรสนทนานั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ การโทรออก Mobile-originated Call (MOC) และการรับสายเข้า (Mobile-terminated Call (MTC) ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างการเชื่อมต่อสำหรับกรณีโทรออกเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้ขอให้ศึกษาประกอบจากรูปที่ 2.12 ซึ่งเป็นการแลกเปลี่ยนสัญญาณระหว่างเครื่องลูกข่าย และสถานีฐานในการเชื่อมต่อวงจรนั้นจะต้องมีการแลกเปลี่ยนสัญญาณจำนวน 14 สัญญาณ โดยเครื่องลูกข่ายจะทำการส่งสัญญาณขอช่องสื่อสารวิทยุ (Channel Assignment) ซึ่งจะได้รับการตอบอนุมัติจากระบบจากนั้นเครื่องลูกข่ายจะแจ้งให้เครือข่ายทราบว่าตนต้องการช่องสื่อสารสนทนาโดยจะต้องผ่านกระบวนการตรวจสอบยืนยันการใช้งานตามด้วยการตกลงในเรื่องของการเข้ารหัสสัญญาณเสียงระหว่างสถานีฐาน และเครื่องลูกข่ายซึ่งเรียกว่าการเข้ารหัส (Ciphering) เมื่อผ่านกระบวนการทั้งสองนี้แล้วเครื่องลูกข่ายจะส่งเลขหมายที่ต้องการจะเรียกไปผ่านสัญญาณชื่อ Setup จากนั้นควบคุมสถานีฐานจะทำการกำหนดช่องสัญญาณสื่อสารให้กับเครื่องลูกข่ายพร้อมทั้งแจ้งระบุตำแหน่งช่องสัญญาณดังกล่าวกลับมา ถ้าเลขหมายที่ต้องการจะเรียกไปไม่ถูกใช้งานอยู่ ผู้เรียกจะได้ยินเสียงสัญญาณกระดิ่งย้อนกลับ (Ring Back) และวงจรสนทนาจะเชื่อมต่อกันเมื่อคู่สนทนาปลายทางรับสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 กระบวนการย้ายข้ามเซล

กระบวนการย้ายข้ามเซลล์ (Handover) เป็นกระบวนการซึ่งทำให้ผู้ใช้งานเครื่องลูกข่ายสามารถสนทนาได้อย่างต่อเนื่อง แม้ในช่วงที่กำลังเดินทางข้ามระหว่างเซล 2 เซล กระบวนการย้ายข้ามเซลล์ถือเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ผู้ใช้งานสามารถใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้อย่างต่อเนื่องไม่ว่าจะเดินทางไปที่ใดในช่วงก่อนหน้าที่จะมีการคิดค้นเทคนิคนี้ หากผู้ใช้งานโทรศัพท์กำลังเดินทางข้ามพื้นที่ระหว่างเซลวงจรสนทนาจะต้องถูกตดไปและผู้ใช้งานจะต้องเริ่มต้นโทรออกใหม่อีกครั้งเมื่อเข้ามาอยู่ในเซลใหม่แล้วจากรูปที่ 2.13 จะเห็นว่าแต่ละเซลต่างถูกล้อมรอบด้วยเซลข้างเคียงจำนวนหนึ่ง ซึ่งมีชื่อเรียกรวมๆว่าเซลเพื่อนบ้าน (neighboring cells) โดยที่แต่ละเซลจะได้รับการกำหนดให้มีข้อมูลของเซลเพื่อนบ้านทั้งหมดก่อนที่ผู้ใช้บริการจะสามารถทำการย้ายข้ามเซลได้



รูปที่ 2.13 การจัดวางเซลล์ข้างเคียงซึ่งมีชื่อเรียกว่าเซลเพื่อนบ้าน

ในกรณีของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ตระกูล GSM จะมีการกำหนดให้เครื่องลูกข่ายทำหน้าที่ตรวจวัดระดับสัญญาณแต่ละความถี่ที่รับได้ทั้งจากเซลซึ่งเครื่องลูกข่ายจับใช้งานอยู่ในปัจจุบันและเซลข้างเคียง โดยเซลที่ถูกจับใช้งานอยู่ในปัจจุบัน จะทำการส่งรายชื่อบรรดาเซลเพื่อนบ้าน โดยที่เครื่องลูกข่ายจะต้องคอยตรวจวัดระดับสัญญาณ เครื่องลูกข่ายจะทำการตรวจวัดทั้งระดับความแรงและคุณภาพของสัญญาณความถี่ที่ถูกส่งจากเซลทั้งหมดที่มีชื่ออยู่ในรายการผลการตรวจวัดจะถูกนำมารวมและส่งกลับไปยังสถานีฐาน ซึ่งควบคุมเซลที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันทุกๆช่วงเวลาหนึ่งเพื่อให้สถานีฐานนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการตรวจสอบ หากพบว่าจำเป็นจะต้องทำการย้ายข้ามเซลล์ให้กับเครื่องลูกข่ายดังกล่าวสถานีฐาน นั้นจะทำให้ตรวจสอบว่าควรจะส่งผ่านไปให้เซลใดและจะทำการขอย้ายข้ามเซลล์ทันทีสำหรับปัจจัยที่จะนำมาพิจารณาในการขอทำการย้ายข้ามเซลล์นั้นประกอบไปด้วย 2 ปัจจัยหลัก ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

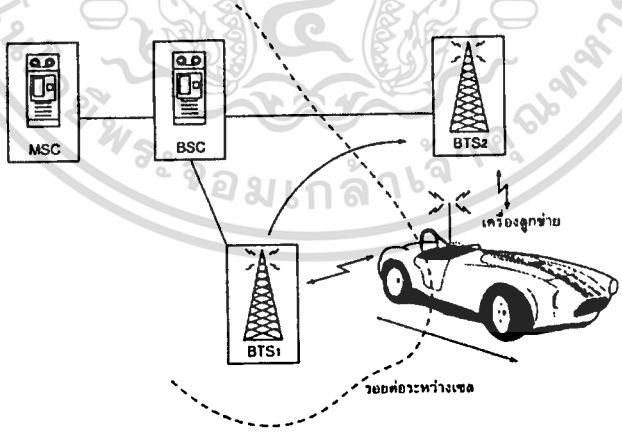
(1) คุณภาพของสัญญาณความถี่ (Received Signal Quality Level) เป็นสิ่งที่แสดงถึงระดับการเกิดความผิดพลาดของข้อมูล ซึ่งนิยมวัดกันในหน่วยของ Bit Error Rate (BER) หากพบว่าอัตราความผิดพลาดของสัญญาณที่เครื่องลูกข่ายได้รับจากเซลปัจจุบันเริ่มสูงมากขึ้น ก็จำเป็นที่จะต้องทำการย้ายข้ามเซลล์เครื่องลูกข่ายให้ไปใช้งานเซลอื่นที่มีระดับคุณภาพของสัญญาณที่ดีกว่า

(2) ระดับความแรงของสัญญาณความถี่ (Received Signal Strength Level) โดยทั่วไปเครื่องลูกข่ายจะมีข้อจำกัดในเรื่องของความไวในการรับสัญญาณ (Sensitivity) เช่น บางรุ่นมีความไวถึง 100dBm บางรุ่นเป็น -98dBm เป็นต้น ยิ่งค่า dBm มีค่าเป็นลบมากเท่าใดก็ยิ่งแสดงว่ามีความไวมาก เมื่อระดับสัญญาณที่ได้รับจากเซล ซึ่งใช้งานอยู่ในปัจจุบันมีค่าต่ำมาก ๆ จึงจำเป็นที่จะต้องทำการย้ายข้ามเซลล์เครื่องลูกข่ายให้ไปใช้งานเซลใหม่ที่ให้ระดับความแรงของสัญญาณที่สูงกว่า โดยทั่วไปในกรณีที่ระดับสัญญาณจากเซลปัจจุบันมีค่าต่ำมาก ๆ อาจเกิดจากเครื่องลูกข่ายอยู่ห่างจากสถานีฐานนั้นมาก หรืออยู่ในบริเวณอับสัญญาณ เช่น ชั้นใต้ดินของอาคาร เป็นต้น

นอกจากนี้ตามมาตรฐานของระบบ GSM ยังได้แบ่งประเภทของการเกิดย้ายข้ามเซลล์ออกเป็นแบบย่อย ๆ โดยพิจารณาจากคุณลักษณะของเซลคู่ย้ายข้ามเซลล์ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทดังนี้

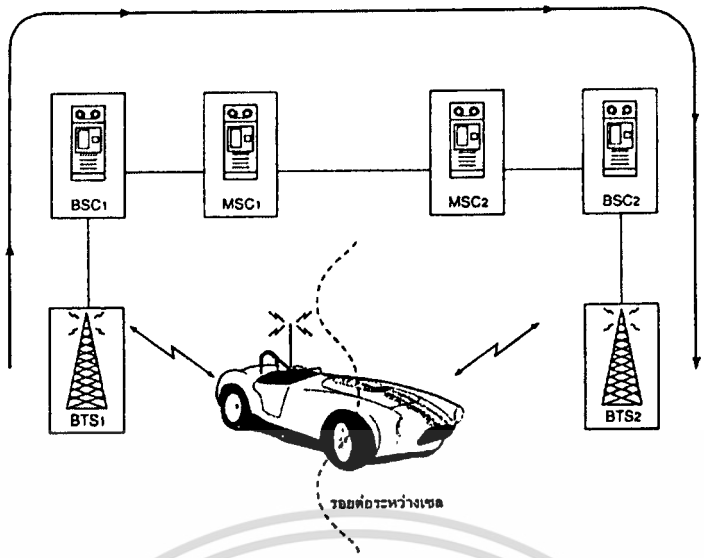
(1) กระบวนการย้ายข้ามเซลล์ระหว่างเซลที่ควบคุมโดยสถานีฐานเดียวกัน (Intra-BTS Handover) การควบคุมกระบวนการย้ายข้ามเซลล์กระทำโดย ควบคุมสถานีฐาน ซึ่งควบคุม สถานีฐาน นั้นอยู่

(2) การย้ายข้ามเซลล์ระหว่างเซล ซึ่งอยู่ต่างสถานีฐาน แต่ยังอยู่ในอุปกรณ์ ควบคุมสถานีฐานเดียวกัน (Inter-BTS Handover หรือ Intra-BTS Handover) การควบคุมกระบวนการย้ายข้ามเซลล์กระทำโดย ควบคุมสถานีฐาน ซึ่งควบคุม สถานีฐาน คู่นั้นอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การเกิดการย้ายข้ามเซลล์ภายใน อุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน เดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 การเกิดการย้ายข้ามเซลล์ระหว่างชุมสายโทรศัพท์

(3) การย้ายข้ามเซลล์ระหว่างเซลซึ่งอยู่ต่าง อุปกรณ์ควบคุมสถานีฐานแต่ยังอยู่ใน ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เดียวกัน (Inter-BSC Handover หรือ Intra-MSC Handover) การควบคุมกระบวนการย้ายข้ามเซลล์กระทำโดยชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งควบคุมอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน คู่นั้นอยู่

(4) การย้ายข้ามเซลล์ระหว่างเซลกรณีที่เลขหมายอยู่ต่างชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Inter-MSC Handover) การควบคุมกระบวนการย้ายข้ามเซลล์กระทำร่วมกัน โดยคู่ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.15

2.3.4 กระบวนการตรวจยืนยันการใช้งาน

กระบวนการตรวจยืนยันการใช้งานได้ถูกกำหนดให้เป็นจุดเด่นประการหนึ่งของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ตระกูล GSM โดยเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์ ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง, อุปกรณ์ ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่น และแผ่น บัตรโทรศัพท์ ซึ่งบรรจุอยู่ในเครื่องลูกข่าย

จากรูปที่ 2.16 แสดงให้เห็นถึงอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องและขั้นตอนการทำงานในการตรวจยืนยันการใช้งาน โดยที่อุปกรณ์ ศูนย์ตรวจสอบการใช้งาน จะเก็บข้อมูลเกี่ยวกับรหัสลับประจำตัวผู้ใช้บริการอันมีชื่อเรียกว่า รหัสตรวจสอบประจำตัว (Authentication Key) เรียกสั้น ๆ ว่า Ki เป็นเลขฐาน 16 ความยาว 32 หลัก ซึ่งค่า Ki ของผู้ใช้บริการแต่ละคนจะมีอยู่เพียงค่าเดียวและถูกผูกโยงเข้ากับ IMSI ซึ่งเป็นเลขหมายประจำตัวผู้ใช้บริการที่ระบบเครือข่ายใช้อ้างในการเชื่อมต่อวงจร นอกจากนี้ Ki ยังได้รับการบรรจุลงในแผ่น บัตรโทรศัพท์ ของผู้ใช้งานแต่ละรายด้วย ทั้งนี้ผู้ใช้บริการแต่ละรายจะไม่ทราบว่าตนมีค่า Ki เป็นเท่าไร ในอุปกรณ์ ศูนย์ตรวจสอบการใช้งาน ยังทำการเก็บสมการที่ใช้ในการคำนวณรหัสตรวจสอบ ซึ่งในทางเทคนิคจะเรียกว่าอัลกอริธึม โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

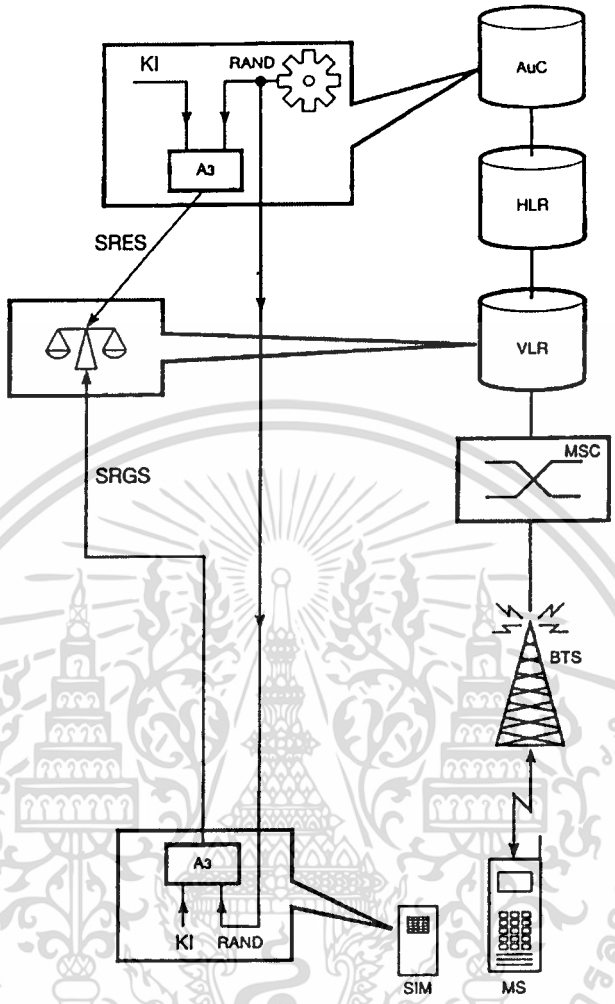
อัลกอริธึมที่ใช้ในอุปกรณ์ศูนย์ตรวจสอบการใช้งาน มีชื่อเรียกว่า A3 กระบวนการตรวจยืนยันการใช้งานเกิดขึ้นเมื่อเครื่องลูกข่ายเริ่มขอลงทะเบียนเข้าสู่ระบบอันได้แก่ในช่วงเริ่มเปิดเครื่อง, ช่วงโทรออกและช่วงที่มีการเปลี่ยนพื้นที่ (Location Area) โดยในช่วงของการทำ Authentication Request อุปกรณ์ศูนย์ตรวจสอบการใช้งานจะทำการสร้างตัวเลขสุ่มค่าหนึ่งขึ้นมาเรียกว่า Random Number (RAND) เป็นเลขฐาน 16 ความยาว 32 หลัก ตัวเลข RAND และ Ki ของผู้ใช้งานรายดังกล่าวจะถูกนำมาเข้าสมการ A3 ได้ผลลัพธ์ขึ้นมาเป็นตัวเลขอีกชุดหนึ่งเรียกว่า Signed Response (SRES) กระบวนการทั้งหมดเกิดขึ้นที่อุปกรณ์ศูนย์ตรวจสอบการใช้งาน ในที่นี้ขอชี้แจงว่าเมื่อกล่าวถึงสมการ A3 จะมิได้หมายความว่ามีเพียงสมการเดียวที่จริงแล้ว A3 เป็นกลุ่มของสมการ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนชุดสมการไปในการตรวจสลับแต่ละครั้ง เช่น ในการตรวจสอบครั้งแรกศูนย์ตรวจสอบการใช้งาน กำหนดให้ใช้สมการ A3 ชุดที่ 110 แต่ในครั้งต่อไปอาจเป็นสมการ A3 ชุดที่ 15 เป็นต้น สำหรับตัวอย่างของค่าตัวแรก Ki, RAND และ SRES ที่เกี่ยวข้องกันในการทำการตรวจยืนยันจะเป็นดังต่อไปนี้

ค่า Ki : HG1376A634B2C312AC127G87A00023CD
ค่า RAND : 11B56CD8A33C1200987AAC12DD342312 เมื่อผ่านสมการ A3
ค่า SRES : 56A712888CCBD790212AA1234BBAC123

ในขณะเดียวกันค่าตัวเลข RAND ก็จะถูกส่งจากอุปกรณ์ ศูนย์ตรวจสอบการใช้งาน ผ่านชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐานที่กำลังติดต่อกับเครื่องลูกข่ายนั้นอยู่ ซึ่งเครื่องลูกข่ายจะทำกระบวนการสร้างตัวเลข SRES เช่นเดียวกันโดยเครื่องลูกข่ายจะทำการดึงค่าตัวเลข Ki ซึ่งเก็บอยู่ในแผ่นบัตรโทรศัพท์มาผ่านสมการ A3 ร่วมกับค่า RAND ที่ได้รับจากเครือข่าย ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณซึ่งก็คือ SRES จะถูกส่งกลับไปยังเครือข่ายในด้านของเครือข่ายค่า SRES ที่ได้จากการคำนวณของอุปกรณ์ศูนย์ตรวจสอบการใช้งาน และจากเครื่องลูกข่ายจะถูกนำมาตรวจสอบที่อุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นเนื่องจากทั้งค่า Ki และสมการ A3 ของผู้ใช้บริการแต่ละรายซึ่งเก็บไว้ในอุปกรณ์ศูนย์ตรวจสอบการใช้งาน และบัตรโทรศัพท์เป็นค่าเดียวกันซึ่งถือเป็นค่าคงที่สำหรับค่า RAND ซึ่งแม้จะเป็นตัวแปรแต่ก็เป็นค่าเดียวกันที่ใช้ในอุปกรณ์ศูนย์ตรวจสอบการใช้งานและในเครื่องลูกข่ายสำหรับการใช้งานแต่ละครั้ง ดังนั้นค่า SRES ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณทั้งจากอุปกรณ์ศูนย์ตรวจสอบการใช้งาน และเครื่องลูกข่ายจะต้องมีค่าเท่ากันในกรณีนี้จะถือว่าเลขหมายดังกล่าวผ่านกระบวนการตรวจยืนยันการใช้งาน ซึ่งค่าของ SRES และ RAND จะถูกนำไปเก็บไว้ในทั้งฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลางและฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่น และกระบวนการขั้นต่อไปก็จะเกิดขึ้นในกรณีที่ใช้บัตรโทรศัพท์ซึ่งมิได้เป็นของเครือข่ายนั้นๆ กระบวนการตรวจยืนยันจะล้มเหลว และผู้ที่งานบัตรโทรศัพท์นั้นจะไม่สามารถใช้งานเครื่องลูกข่ายของตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเครือข่ายได้นอกจากกรณีที่บัตรโทรศัพท์นั้นเป็นของเครือข่ายซึ่งได้มีการทำสัญญาร่วมใช้เครือข่ายกับฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นนั้นๆ ตัวอย่างเช่น การใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ข้ามแดน



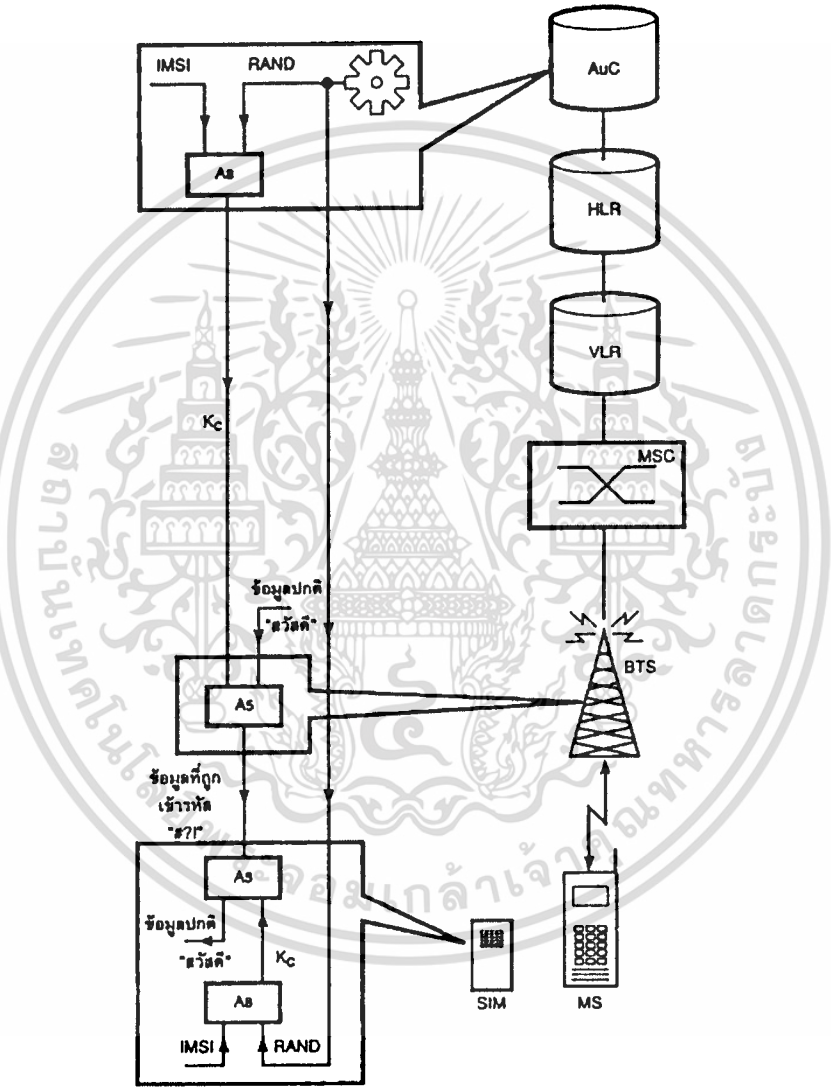
รูปที่ 2.16 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องและกระบวนการตรวจยืนยันการใช้งาน

ทั้งค่า Ki และสมการ A3 ล้วนแล้วแต่เป็นค่าตัวเลขที่ไม่ถูกส่งผ่านการเชื่อมต่อทางคลื่นวิทยุเลย ดังนั้นหากในกรณีที่มีการดักจับเลขหมายโดยบุคคลที่สามเพื่อประโยชน์ในการจูนเครื่อง สิ่งที่บุคคลผู้นั้นจะจับได้ก็คือค่าตัวเลข RAND ในทิศทางจากสถานีฐานไปยังเครื่องลูกข่าย และ SRES ที่ส่งจากเครื่องลูกข่ายกลับไปยังเครือข่าย ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าเป็นตัวเลขที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาทุกครั้งที่มีการตรวจยืนยันจึงไม่มีประโยชน์แต่ประการใดสำหรับการนำมาจูนเครื่อง สำหรับเลขหมายประจำตัวของผู้ในบริการซึ่งได้กล่าวไว้แล้วว่าคือ IMSI ก็จะไม่ถูกส่งผ่านการเชื่อมต่อทางวิทยุไปโดยตรง แต่จะถูกส่งในรูปของเลขหมาย TMSI ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป จึงสามารถกล่าวได้ว่าระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ตระกูล GSM ได้วางมาตรการป้องกันการลักลอบการจูนเครื่องได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 กระบวนการเข้ารหัสสัญญาณเสียง

การตรวจยืนยันการใช้งานเป็นกระบวนการหนึ่งของการรักษาความปลอดภัยให้กับผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ตระกูล GSM ในแง่ของการป้องกันการจูนเครื่อง สำหรับกระบวนการเข้ารหัสสัญญาณเสียงเป็นอีกมาตรการหนึ่งซึ่งเพิ่มความมั่นใจในการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยเป็นการเข้ารหัสสัญญาณข้มูลที่ติดต่อระหว่างครื่องลูกข่ายและสถานีฐาน ข้อมูลดังกล่าวไม่จำกัดเฉพาะเสียงพูดแต่รวมถึงข้อมูลอื่นๆ เช่นโทรสาร หรือข้อมูลดิจิตอลที่ส่งไปยังอุปกรณ์โมเด็ม เป็นต้น



หมายเหตุ : K_c คือคำย่อใช้เรียกรหัสไซเฟอร์ริ่ง (Ciphering key)

รูปที่ 2.17 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องและกระบวนการเข้ารหัสสัญญาณเสียง

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่กำหนดให้มีการใช้สมการเข้ารหัสและถอดรหัสสำหรับข้อมูลของผู้ใช้งาน โดยสมการดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า A5 เป็นสมการที่เก็บไว้ในอุปกรณ์สถานีฐานและเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลูกข่าย ข้อมูลที่จะถูกรับส่งระหว่างเครื่องลูกข่ายและสถานีฐานจะถูกนำไปผ่านสมการ A5 เพื่อทำการเข้ารหัสก่อนที่จะส่งไปยังปลายทาง และถูกถอดรหัสด้วยสมการ A5 เป็นข้อมูลเดิม ทั้งนี้ขอให้ทำความเข้าใจว่าข้อมูลในที่นี้คือข้อมูลของผู้ใช้บริการซึ่งนิยมเรียกว่าข้อมูลปลายทางถึงปลายทาง (End-to-End information) สำหรับสัญญาณต่างๆ ซึ่งมีการติดต่อระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครือข่ายจะไม่ผ่านการเข้ารหัสแต่อย่างใด

สมการ A5 ในอุปกรณ์สถานีฐานและเครื่องลูกข่ายจะทำการแปลงข้อมูลของผู้ใช้งานโดยขึ้นกับตัวแปรอีกชนิดหนึ่งมีชื่อเรียกว่ารหัสไซเฟอริ่ง (Ciphering key) ซึ่งถูกสร้างขึ้นจากอุปกรณ์ศูนย์ตรวจสอบการใช้งาน โดยใช้สมการ A8 โดยทุกครั้งที่เครื่องลูกข่ายมีการขอโทรออกนอกจากอุปกรณ์ ศูนย์ตรวจสอบการใช้งานจะใช้สมการ A3 สร้างตัวเลข SRES เพื่อใช้ในการตรวจยืนยันการใช้งานแล้วยังมีการนำตัวเลข Ki และ RAND มาผ่านสมการ A8 เพื่อสร้างรหัสไซเฟอริ่งและส่งรหัสไซเฟอริ่งไปยังอุปกรณ์สถานีฐาน สำหรับในส่วนของเครื่องลูกข่ายก็จะมีการสร้างรหัสไซเฟอริ่งจากสมการ A8 โดยใช้ค่า Ki ที่เก็บไว้ในบัตรโทรศัพท์และตัวเลข RAND ที่ได้รับจากเครือข่ายกระบวนการทั้งหมดได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2.17

2.3.6 การกำหนดใช้ตัวเลข TMSI

เพื่อเป็นการป้องกันการถูกดักตรวจสอบเลขหมายประจำตัวของผู้ใช้บริการแต่ละราย มาตรฐานเครือข่าย GSM ได้มีการกำหนดเลขหมายอีกชนิดหนึ่งมีชื่อเรียกว่า Temporary Mobile Subscriber Identity (TMSI) เพื่อใช้ในการรับส่งแทนเลขหมาย IMSI ระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยทุกครั้งที่เครื่องลูกข่ายมีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งอ้างอิง (Location Area Update) อุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่น ซึ่งทำหน้าที่ดูแลตำแหน่งอ้างอิง (LA) นั้น ๆ จะกำหนดเลขหมาย TMSI ให้กับเครื่องลูกข่ายโดยการติดต่อกับเครื่องลูกข่ายจะกระทำโดยอ้างเลขหมาย TMSI ตลอดเวลา แม้กระทั่งในช่วงที่เครื่องลูกข่ายทำการติดต่อกับเครือข่ายเพื่อขอโทรออกก็จะอ้างเลขหมายของตนโดยใช้ TMSI แทน ซึ่งฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นจะทราบเองว่าตรงกับ IMSI เลขหมายใดในทางกลับกันเมื่อมีการเรียกเข้าไปยังเครื่องลูกข่ายดังกล่าวเครือข่ายจะทำการเรียกเครื่องลูกข่ายโดยใช้เลขหมาย TMSI เช่นเดียวกัน

2.4 รูปแบบของบริการเสริมต่างๆ ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ไดรับการจัดเตรียมบริการเสริมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานเครื่องลูกข่ายในส่วนของผู้ใช้งานบริการเสริมหลาย ๆ รายการเป็นบริการเสริมที่ได้รับการกำหนดขึ้นเป็นมาตรฐานในเครือข่าย ISDN ซึ่งแทบจะถือได้ว่าเป็นแม่แบบของการออกแบบระบบ GSM ขึ้นมาบริการเสริมหลัก ๆ ที่จะขอกล่าวถึงในทีนี้ประกอบด้วยบริการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 บริการโอนสายอัตโนมัติ

บริการโอนสายอัตโนมัติ Call Forwarding เป็นการทำงานของชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการโอนย้ายวงจรสนทนาที่ต้องการติดต่อไปยังผู้ใช้บริการรายหนึ่งไปยังเลขหมายอีกเลขหนึ่ง ซึ่งเลขหมายใหม่นี้อาจจะเป็นเลขหมายโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยกันหรือเลขหมายโทรศัพท์พื้นฐานก็ได้ การโอนสายสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทดังนี้

2.4.1.1 บริการโอนสายอัตโนมัติทุกกรณี (Call Forwarding Unconditional) ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำการโอนสายที่เรียกเข้าเครื่องลูกข่ายไปยังเลขหมายอื่นทันทีทุกครั้งที่มีการเรียกเข้า โดยไม่สนใจว่าสถานะภาพของเครื่องลูกข่ายในขณะนั้นจะเป็นอย่างไร

2.4.1.2 บริการโอนสายอัตโนมัติเมื่อเลขหมายที่ติดต่อสายไม่ว่าง (Call Forwarding on Busy) การโอนสายจะเกิดขึ้นเมื่อมีสายเรียกเข้าขณะผู้ใช้งานกำลังใช้งานเครื่องลูกข่ายอยู่

2.4.1.3 บริการโอนสายอัตโนมัติ เมื่อเลขหมายอยู่นอกพื้นที่ให้บริการ (Call Forwarding when Not Reachable) ในกรณีที่เครื่องลูกข่ายอยู่นอกเขตพื้นที่ให้บริการหรือมีการปิดเครื่องอุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง ซึ่งทำหน้าที่เก็บข้อมูลสถานะการใช้งานของเลขหมายแต่ละเลขจะแจ้งไปยังชุมสายโทรศัพท์ให้ทำการโอนสายเรียกเข้าไปยังเลขหมายที่กำหนดไว้

2.4.1.4 บริการโอนสายเมื่อไม่มีผู้รับสาย (Call Forwarding when No Reply) เป็นบริการโอนสายเมื่อมีการเรียกเข้ามายังเครื่องลูกข่าย แต่ไม่มีการรับสาย โดยชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะจับเวลาตั้งแต่เริ่มส่งสัญญาณ RINGING ครั้งแรกไปยังเลขหมายปลายทาง หากเกินเวลาที่ได้กำหนดไว้ก็จะทำการโอนสายไปยังเลขหมายที่ได้ตั้งไว้ทันที ผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถทำการกำหนดประเภทของการโอนสายได้ตามที่ตนต้องการ เช่น อาจกำหนดให้มีบริการ CFB ร่วมกับบริการ CFNRy โดยสามารถกำหนดให้แต่ละบริการโอนสายไปยังหมายเลขที่ต่างกันได้ตามต้องการรูปที่ 2.18 แสดงถึงการโอนสายอัตโนมัติในแต่ละกรณี ซึ่งผู้ใช้บริการสามารถกำหนดเลขหมายในการโอนสายตามประเภทของบริการที่ใช้งานได้ เช่น โอนให้สายเรียกเข้าที่เป็นบริการโทรศัพท์ไปยังเลขหมายหนึ่ง ในขณะที่โอนสายเรียกเข้าที่เป็นบริการโทรสารไปเข้ายังอีกเลขหมายหนึ่ง นอกจากนี้ผู้ใช้บริการยังสามารถทำการยกเลิกการโอนสายได้เมื่อไม่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.18 การโอนสายอัตโนมัติในแต่ละกรณี

2.4.2 บริการป้องกันการโทรออกและรับสายเข้า (Call Barring)

บริการดังกล่าวได้รับการกำหนดขึ้นเพื่อช่วยให้ผู้ใช้บริการสามารถกำหนดเงื่อนไขในการใช้งานเครื่องของตนภายในสภาวะการณ์ต่าง ๆ เพื่อป้องกันปัญหาค่าใช้จ่ายบานปลาย บริการป้องกันการโทรออกและรับสายเข้าแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภท ดังนี้

2.4.2.1 การป้องกันการโทรออกทุกกรณี (Barring of All Outgoing Call) เป็นการระงับการโทรออกจากเครื่องลูกข่ายไปยังทุกหมายเลขไม่ว่าจะเป็นเลขหมายใด

2.4.2.2 การป้องกันการโทรออกไปเลขหมายต่างประเทศ (Barring Outgoing International Call) เป็นการป้องกันการโทรออกจากเครื่องลูกข่ายไปยังเลขหมายต่างประเทศ โดยระบบจะตรวจสอบจากรหัสประเทศซึ่งปรากฏอยู่ในเลขหมายที่ต้องการจะติดต่อด้วย หากรหัสประเทศแตกต่างจากรหัสประเทศของเครือข่าย ก็จะมีการระงับไม่ให้มีการโทรออก

2.4.2.3 การป้องกันการโทรออก ไปยังเลขหมายต่างประเทศ ยกเว้นกรณีโทรกลับประเทศต้นสังกัด (Barring Outgoing International Call except those directed to Home PLMN Country) จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดขึ้นเมื่อผู้ใช้บริการนำเครื่องลูกข่ายไปใช้งานยังเครือข่าย GSM หรือ PCN ที่อยู่ในต่างประเทศ และต้องการระงับการโทรออกไปยังเลขหมายต่างประเทศยกเว้นการโทรกลับมายังเลขหมายซึ่งอยู่ในประเทศแม่หรือประเทศที่ตนจดทะเบียนเครื่องลูกข่ายอยู่ด้วย

2.4.2.4 การป้องกันการรับสายเข้าทุกกรณี (Barring of All Incoming Call) เป็นการป้องกันการเรียกเข้าจากเลขหมายอื่นๆไม่ว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือจากโทรศัพท์พื้นฐาน

2.4.2.5 การป้องกันการรับสายเข้าเมื่อนำเครื่องไปใช้งานในต่างเครือข่าย (Barring All Incoming Call when Roaming outside home PLMN Country) เป็นการป้องกันการเรียกเข้าเฉพาะเมื่อนำเครื่องไปใช้งานยังเครือข่าย GSM หรือ PCN ที่อยู่ในต่างประเทศจุดประสงค์ของบริการดังกล่าวก็เพื่อหลีกเลี่ยงการรับสายเข้าจากประเทศแม่ของตนเป็นหลัก เนื่องจากโดยทั่วไปการรับสายเข้าจากประเทศแม่เมื่อผู้ใช้งานนำเครื่องไปใช้งานยังต่างประเทศผู้ใช้เครื่องลูกข่ายจะเป็นผู้รับผิดชอบค่าบริการวงจรสื่อสารจากประเทศแม่ไปจนถึงประเทศที่ตนใช้งานเครื่องอยู่ด้วย ทั้งนี้เพราะถือว่าผู้โทรเรียกจากประเทศไม่มีสิทธิทราบว่าผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ตนต้องการติดต่อยังอยู่ในประเทศหรือไม่ จึงไม่เป็นการสมควรที่จะเก็บค่าบริการวงจรต่างประเทศกับผู้เรียก ผู้ใช้บริการสามารถกำหนดประเภทของบริการที่ต้องการป้องกันการโทรออกหรือรับสายเข้าเช่นเดียวกับในกรณีของการโอนสายอัตโนมัติ

2.4.3 บริการรับสายเรียกซ้อน (Call Hold & Call Waiting)

ในกรณีที่ผู้ใช้บริการกำลังใช้งานเครื่องลูกข่ายสนทนาอยู่และเกิดมีสายเรียกเข้าขึ้นในขณะนั้นบริการรับสายเรียกซ้อนจะช่วยให้ผู้ใช้บริการสามารถพักคู่สายที่กำลังสนทนาแต่แรกไว้แล้วทำการรับคู่สายที่เรียกเข้ามาใหม่ได้บริการรับสายเกิดขึ้นจากบริการเสริม 2 ชนิด คือ บริการรอสาย (Call Waiting) ซึ่งทำให้คู่สายที่ทำการเรียกเข้าในขณะที่เลขหมายปลายทางที่ต้องการติดต่อกำลังใช้งานอยู่ได้ยินสัญญาณแจ้งรอแทนที่จะเป็นสัญญาณสายไม่ว่าง (Busy Tone) ทางด้านผู้ใช้บริการปลายทางก็จะได้รับการเตือนด้วยสัญญาณเสียงว่ามีการเรียกเข้าจากอีกคู่สายหนึ่ง สำหรับบริการพักสาย (Call Hold) จะทำให้ผู้ใช้บริการที่กำลังสนทนาอยู่สามารถพักการสนทนากับคู่สายเดิม และอาจจะกลับมาขอสนทนาใหม่ได้อีกครั้งหนึ่ง ทั้งสองบริการดังกล่าวช่วยทำให้ผู้ใช้บริการสามารถทำการสนทนากับคู่สายที่เรียกเข้าได้มากกว่า 1 คู่สาย แต่การสนทนาจะเป็นไปในลักษณะของการคุยกับคู่สายหนึ่งขณะที่พักสายอื่น ๆ เอาไว้ รูปที่ 2.19 แสดงตัวอย่างของการรับสายซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.19 การให้บริการรับสายเรียกซ้อน

2.4.4 บริการประชุมทางโทรศัพท์ (Multiparty)

จากการบริการรับสายเรียกซ้อนหากมีการเปิดใช้บริการประชุมทางโทรศัพท์ผู้ใช้บริการจะสามารถเชื่อมต่อคู่สายทั้งหมดที่ตนทำการสนทนาอยู่เข้าด้วยกันและทำการสนทนาร่วมกันได้พร้อม ๆ กัน จำนวนคู่สายสูงสุดที่สามารถรวมเชื่อมต่อเข้าด้วยกันมีทั้ง 3 คู่สายและ 7 คู่สาย ขึ้นอยู่กับความสามารถของชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่และตัวเครื่องลูกข่ายเอง

2.4.5 บริการแสดงเลขหมายเรียกเข้า (Calling Line Identification Presentation)

Calling Line Identification Presentation (CLIP) จะทำให้เครื่องลูกข่ายแสดงเลขหมายที่ทำการเรียกเข้าหาตนได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าเครื่องลูกข่ายสนับสนุนบริการดังกล่าวหรือไม่

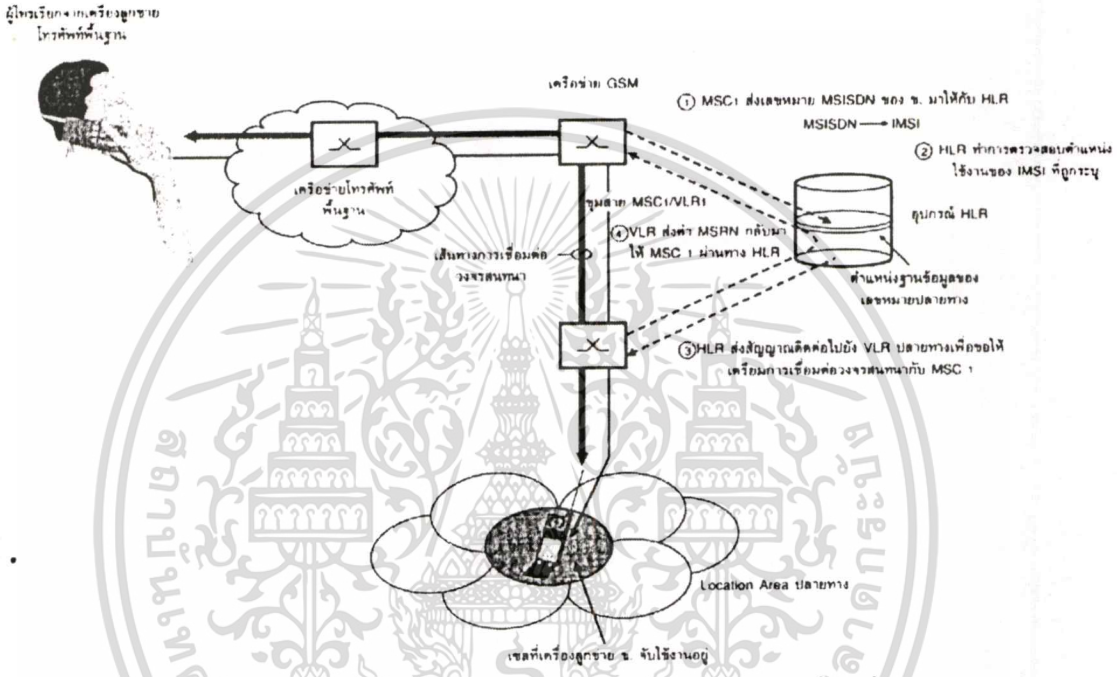
บริการป้องกันการส่งเลขหมาย Calling Line Identification Restriction (CLIR) ในกรณีที่ผู้ใช้บริการไม่ประสงค์จะให้เลขหมายของตนไปปรากฏอยู่บนหน้าจอเครื่องลูกข่ายของผู้ที่ต้องการจะติดต่อด้วยก็สามารถเปิดใช้บริการป้องกันการส่งเลขหมายหรือ CLIR ซึ่งจะระงับการแสดงเลขหมายของตนบนหน้าจอของเครื่องลูกข่ายปลายทาง นอกจากบริการพื้นฐานที่ได้กล่าวถึงเหล่านี้แล้วมาตรฐานโทรศัพท์เครื่องที่ GSM ยังมีการกำหนดบริการหลักและบริการเสริมใหม่ ๆ ซึ่งจะทยอยตามออกมาในระยะเวลาอันใกล้ อีกทั้งในปัจจุบันได้มีผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ตระกูล GSM และ PCN หลายรายนำเอาระบบเครือข่ายอัจฉริยะ หรือ Intelligent Network มาเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่าย GSM/PCN เพื่อให้เครือข่ายสามารถรองรับบริการต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

2.4.6 บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ข้ามแดน

ตามที่ได้เคยกล่าวถึงแล้วว่าระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ตระกูล GSM ได้รับการวางแผนออกแบบข้อกำหนดต่าง ๆ เพื่อให้เป็นระบบสื่อสารที่เป็นมาตรฐานเดียวกันทั่วโลกความหมายของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเป็นมาตรฐานทั่วโลกมิใช่จำกัดอยู่เพียงเรื่องของความเข้ากันได้ของอุปกรณ์เครือข่ายจากผู้ผลิตต่างรายกันเท่านั้น แต่ยังหมายความถึงการสนับสนุนให้ผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ไม่ว่าจะมาจากเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ตระกูล GSM ของประเทศใดสามารถนำเครื่องลูกข่าย หรือบัตรโทรศัพท์ ของตนไปใช้งานได้ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ตระกูล GSM ของประเทศอื่น ๆ ได้เสมือนหนึ่งอยู่ในประเทศของตนเอง ซึ่งก็คือความหมายของการให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ข้ามแดน หรือ International Roaming

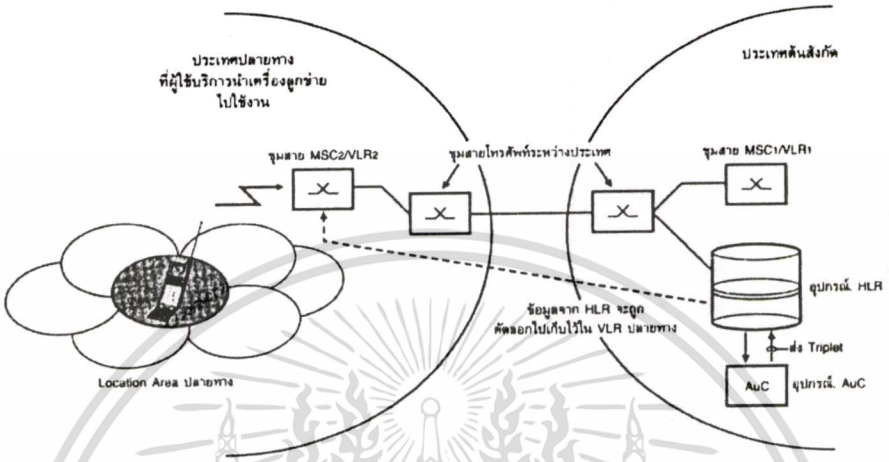


รูปที่ 2.20 แนวทางในการเชื่อมต่อวงจรสนทนาภายในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM

การที่จะทำความเข้าใจการทำงานของระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ในการสนับสนุนการให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ข้ามแดนรูปที่ 2.20 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในกรณีที่มีการโทรเรียกเครื่องลูกข่ายซึ่งใช้งานอยู่ในเครือข่ายต้นสังกัดของตน มีการโทรเรียกติดต่อเครื่องลูกข่าย ข. ซึ่งกำลังใช้งานอยู่ภายในพื้นที่ปลายทางที่ถูกควบคุมโดยชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 2 ทั้งนี้กำหนดให้การเรียกเข้าเป็นการเรียกจากเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐานผ่านเข้ามาทางชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 1 เนื่องจากการหมุนเลขหมายเพื่อที่จะอ้างถึงเครื่องลูกข่าย ข. จะเป็นไปตามแผนการจัดสรรเลขหมายโทรศัพท์นานาชาติ ซึ่งในกรณีของประเทศไทยหากผู้ใช้งานโทรศัพท์พื้นฐานต้องการจะโทรติดต่อโทรศัพท์เคลื่อนที่หมายเลข 3600000 ก็จะต้องหมุนเลขหมาย 01-3600000 การกำหนดเลขหมายดังกล่าวไม่สามารถนำไปใช้อ้างอิงได้โดยตรงภายในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ดังได้กล่าวไว้ในตอนต้นแล้วว่า สำหรับการอ้างถึงเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลูกข่ายภายในเครือข่ายจะอยู่บนพื้นฐานของเลขหมาย International Mobile Subscriber Identity (IMSI) ซึ่งอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการแปลงเลขหมายโทรศัพท์หรือที่เรียกกันว่า Mobile Station ISDN Number (MSISDN) ไปเป็นเลขหมาย IMSI ก็คืออุปกรณ์ ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง (Home Location Register)



รูปที่ 2.21 การลงทะเบียนของเครื่องลูกข่ายในเครือข่ายต่างประเทศ

จากรูปที่ 2.21 เมื่อชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่1 ได้รับเลขหมายโทรศัพท์ (MSISDN) ของเครื่องลูกข่าย ข. ที่เข้ามาจากเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐานแล้วก็จะทำการส่งสัญญาณติดต่อไปยังอุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง เพื่อให้อุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลางแปลงเลขหมาย MSISDN ที่ได้รับให้กลายไปเป็นเลขหมาย IMSI นอกจากนั้นอุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลางจะทำการตรวจสอบข้อมูลของผู้ใช้บริการ ซึ่งมีเลขหมาย IMSI ตรงกับที่ได้รับการร้องขอจาก ระบบชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่1 ว่าปัจจุบันกำลังอยู่ในพื้นที่บริการซึ่งเป็นของอุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นตัวใดซึ่งโดยปกติอุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่น จะเป็นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์ ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ตัวใดตัวหนึ่งเมื่อพบแล้วก็จะทำการติดต่อไปยังอุปกรณ์ ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในที่นี้คือชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่2 เพื่อส่งเลขหมายอ้างอิงในการส่งต่อวงจรสื่อสารจากชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่1 ไปยังชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่2 เลขหมายอ้างอิงดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า (Mobile Station Roaming Number) เลขหมาย MSRN ซึ่งถูกกำหนดโดยชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่2 จะถูกส่งผ่านอุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลางกลับไปยังชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่1 พร้อมเลขหมาย IMSI ของผู้ใช้บริการปลายทาง

กระบวนการขั้นต่อไปชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 1 ก็จะทำการเชื่อมต่อวงจรสื่อสารที่มาจากผู้เรียกซึ่งอยู่ในเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐานไปยังชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 2 หลังจากการเชื่อมต่อเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เรียบร้อยแล้วชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 2 จะทำการส่งสัญญาณค้นหา (Paging) เพื่อเรียกติดต่อเครื่องลูกข่ายปลายทางภายในพื้นที่ที่เลขหมายปลายทางใช้งานอยู่จนกระทั่งมีการตอบรับหรือหลังจากไม่มีการตอบรับภายในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งจะนำไปสู่กระบวนการสนทนาหรือกระบวนการแจ้งว่าผู้ใช้บริการไม่ได้เปิดเครื่องตามลำดับแล้วแต่ว่าจะเป็นกรณีใด

กระบวนการทำงานของบริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ข้ามแดนไม่แตกต่างจากตัวอย่างของการใช้งานภายในเครือข่ายต้นสังกัดตามที่ได้กล่าวมา โดยเริ่มจากการที่ผู้ใช้งานนำเครื่องลูกข่ายพร้อมแผนกบัตรโทรศัพท์ หรืออาจจะนำเพียงบัตรโทรศัพท์ของตนไปใช้งานในเครือข่ายซึ่งอยู่ในต่างประเทศทั้งนี้การตกลงให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ข้ามแดนของผู้ให้บริการในประเทศต่าง ๆ นั้นจะเป็นไปตามข้อกำหนดของผู้ให้บริการแต่ละราย ในบางประเทศที่มีผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่หลายรายมิได้หมายความว่าตนจะสามารถนำเครื่องไปใช้งานได้ในทุกเครือข่ายภายในประเทศนั้น จึงเป็นหน้าที่ของผู้ให้บริการเครือข่ายต้นสังกัดที่จะต้องแจ้งผู้ใช้บริการของตนว่าได้มีการทำสัญญาณใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ข้ามแดนไว้กับผู้ให้บริการเครือข่ายรายใดในประเทศใดบ้าง

ภาพแสดงกระบวนการที่เกิดขึ้นในกรณีของการใช้งานโทรศัพท์ข้ามแดนแสดงในรูปที่ 2.21 เมื่อผู้ใช้บริการทำการเปิดเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งบรรจุบัตรโทรศัพท์ของตนในเครือข่ายของประเทศที่ตนเดินทางไปถึง เครื่องลูกข่ายจะทำการติดต่อไปยังอุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นซึ่งควบคุม Location Area ของพื้นที่ที่ตนใช้งานอยู่อุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นจะทำการตรวจสอบเลขหมาย IMSI ของเครื่องลูกข่ายนั้น ดังที่เคยกล่าวมาแล้วนั้น ว่าตัวเลข 3 หลักแรกของเลขหมาย IMSI จะแสดงถึงรหัสประเทศ Mobile Country Code (MCC) และอีก 2 หลักต่อมาจะแสดงถึงรหัสเครือข่ายภายในประเทศนั้น Mobile Network Code (MNC) อุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นจะทำการเปรียบเทียบ MCC ของผู้ใช้บริการกับเลขหมาย MCC ประจำเครือข่ายของตนเมื่อพบว่ามีค่าไม่ตรงกันก็จะทำการส่งสัญญาณติดต่อไปยังเครือข่ายต้นสังกัดของผู้ใช้บริการรายนั้น โดยการส่งสัญญาณไปติดต่อกลับไปยังอุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลางของเครือข่ายต้นสังกัด ในกรณีที่ไม่มีการทำสัญญาร่วมกันระหว่างเครือข่ายทั้งสองอุปกรณ์ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งควบคุมพื้นที่นั้นจะทำการส่งสัญญาณแจ้งไปยังเครื่องลูกข่ายว่าไม่สามารถใช้งานภายในเครือข่ายดังกล่าวได้

สัญญาณที่ถูกส่งจากอุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นปลายทางไปยังอุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลางของเครือข่ายต้นสังกัดจะมีการระบุถึงเลขหมาย IMSI ของผู้ใช้บริการ เมื่ออุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลางได้รับสัญญาณดังกล่าวแล้วก็จะทำการส่งข้อมูลเกี่ยวกับผู้ใช้งานกลับไปยังอุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่น เพื่อใช้เก็บเป็นฐานข้อมูล ข้อมูลที่ส่งกลับไปได้แก่ข้อมูลการเปิดใช้บริการพิเศษต่าง ๆ ของผู้ใช้งาน เช่น บริการโอนสายอัตโนมัติ, บริการระงับการโทรออกและเรียกเข้าเป็นต้น ในขณะเดียวกันอุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลางก็จะทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเก็บหมายเลขแสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นปลายทางไว้สำหรับการอ้างถึงในภายหลัง

สำหรับกระบวนการตรวจสอบยืนยันการใช้งานของผู้ใช้บริการจะขึ้นอยู่กับการกำหนดของเครือข่ายปลายทางว่าจะทำการตรวจสอบผู้ใช้บริการที่มาจากต่างเครือข่ายหรือไม่ แต่ไม่ว่าจะมีการกำหนดให้เป็นอย่างไรก็ตามอุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลางของเครือข่ายต้นสังกัดจะติดต่อกับอุปกรณ์ศูนย์ตรวจสอบการใช้งาน เพื่อขอให้ส่งกลุ่มรหัสยืนยันจำนวนหนึ่งกลับมาเพื่อที่จะได้ทำการส่งต่อไปยังอุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นปลายทางโดยที่กลุ่มรหัสดังกล่าวจะประกอบไปด้วยค่าต่อไปนี้

ค่า SRES ที่ได้จากการนำรหัส Ki และค่าตัวเลขสุ่ม RAND ผ่านอัลกอริทึม A3
ค่า Kc ที่ได้จากการนำรหัส Ki และค่าตัวเลขสุ่ม RAND ผ่านอัลกอริทึม A8
ค่าตัวเลขสุ่ม RAND ค่าเดียวกับที่ใช้ในกระบวนการสร้างค่า SRES และ Kc

กลุ่มข้อมูลดังกล่าวเรียกว่า Triplet ในการกำหนดจำนวนชุดข้อมูลภายในอุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลางของเครือข่ายต้นสังกัดต้องส่งค่า Triplet ไปให้กับฐานข้อมูลผู้ใช้บริการจะขึ้นอยู่กับข้อตกลงระหว่างผู้ให้บริการเครือข่ายทั้งสอง สาเหตุที่ต้องมีการส่งค่า Triplet ไปให้กับอุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นครั้งละหลายชุดก็เพื่อลดปริมาณความถี่ในการติดต่อขอข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่น และอุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลางทั้งนี้แนวทางปฏิบัติดังกล่าวนั้นเป็นไปในลักษณะเดียวกันไม่ว่าผู้ใช้งานจะอยู่ในเครือข่ายต้นสังกัดหรือไปใช้งานในเครือข่ายต่างประเทศหลังจากกระบวนการต่าง ๆ ที่กล่าวมาเสร็จสิ้นลงอุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นของเครือข่ายปลายทางก็จะถือว่าผู้ใช้บริการรายดังกล่าวสามารถใช้งานโทรศัพท์ได้ภายในเครือข่ายของตน

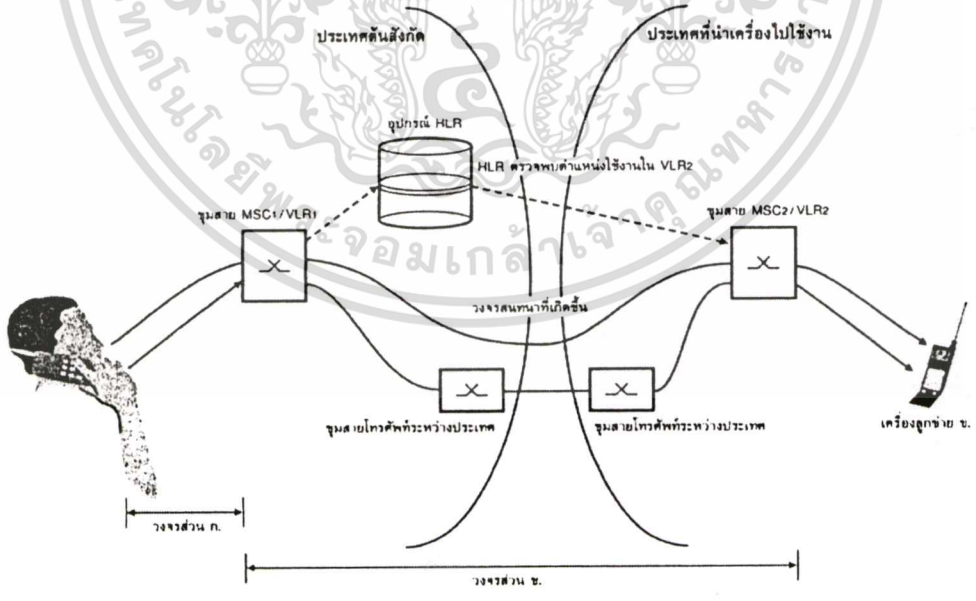
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบรูปแบบการโทรออกในกรณีนำเครื่องลูกข่ายไปใช้งานต่างเครือข่าย

กลุ่มเลขหมาย	เลขหมายปลายทาง	เลขหมายที่ต้องหมุน	
	รูปแบบเลขหมายที่ใช้ภายในประเทศ	เมื่อใช้งานอยู่ในเครือข่ายต้นสังกัด	เมื่อใช้งานอยู่ในเครือข่ายของประเทศอังกฤษ
เลขหมายของประเทศไทย	01 360 0000 02 248 6280 053 444 000	01 360 0000 02 248 6280 053 444 000	+66 1 360 0000 +66 2 248 6280 +66 53 444 000
เลขหมายของประเทศอังกฤษ	017 456 9999	+44 17 456 9999	17 456 9999
เลขหมายของประเทศที่สาม	4452 0999 (สิงคโปร์)	+65 4452 0999	+65 4452 0999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งที่ต้องทำความเข้าใจอีกจุดหนึ่งก็คือเมื่อเครื่องลูกข่ายจากต่างเครือข่ายได้รับการอนุญาตให้ใช้งานได้ภายในเครือข่ายดังกล่าวแล้วเลขหมายผู้ใช้บริการที่ปรากฏขึ้นในสายตาของเครือข่ายต่างแดนนั้นก็เสมือนกับเป็นเครื่องลูกข่ายที่จดทะเบียนในเครือข่ายนั้นการกดเลขหมายเพื่อใช้ในการโทรติดต่อไปยังที่ใด ๆ ตัวอย่างเช่น หากนำบัตรโทรศัพท์จากประเทศไทยไปใช้งานยังเครือข่ายในประเทศอังกฤษและต้องการที่จะโทรกลับมายังเลขหมายในประเทศไทยผู้ใช้บริการก็จะต้องทำการกดเลขหมายเสมือนกับว่าตนใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ของประเทศอังกฤษเอง

การโทรออกไปยังต่างประเทศในเครือข่ายของแต่ละประเทศนั้น จะใช้รหัสในการโทรออกไม่เหมือนกัน เพื่อเป็นการลดความยุ่งยากในการที่จะต้องคอยจดจำรหัสโทรออกต่างประเทศของแต่ละประเทศมาตรฐาน GSM ได้มีการกำหนดรหัสสากลในการโทรออกต่างประเทศด้วยเครื่องหมาย “+” ซึ่งเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในแต่ละประเทศก็จะต้องทำหน้าที่ในการแหลงรหัสดังกล่าวไปเป็นรหัสโทรออกต่างประเทศของตนเองขอย้อนกลับมาที่ตัวอย่างซึ่งผู้เขียนได้กล่าวค้างไว้ว่าหากผู้ใช้บริการชาวไทยซึ่งนำบัตรโทรศัพท์ไปใช้งานยังประเทศอังกฤษต้องการโทรกลับมายังประเทศไทยก็จะต้องทำการกดเลขหมาย + 662 2486280 โดยที่ 66 เป็นรหัสประเทศไทย และ 2 คือรหัสพื้นที่โทรศัพท์พื้นฐานในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลแทนที่จะกดเลขหมายเป็น 02 2486280 ดังเช่นเมื่ออยู่ในประเทศไทยตารางที่ 2.3 เป็นตัวอย่างของการกดเลขหมายโทรของผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งจดทะเบียนในประเทศไทยเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ใช้งานอยู่ในประเทศไทยและประเทศอังกฤษ



รูปที่ 2.22 การโทรเรียกติดต่อจากเลขหมายภายในประเทศต้นสังกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.22 แสดงถึงกระบวนการทำงานของเครือข่ายต้นสังกัดและเครือข่ายปลายทางในกรณีที่มีการโทรเรียกเข้าหาหมายเลขของผู้ใช้บริการที่นำเครื่องไปใช้งานต่างเครือข่าย จากรูปจะสมมติว่ามีการโทรเรียกผู้ใช้บริการดังกล่าวจากเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน กระบวนการดังกล่าวจะคล้ายคลึงกับที่ได้แสดงในรูปที่ 2.22 เพียงแต่ในกรณีนี้ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 2 และชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 1 จะเป็นชุมสายโทรศัพท์ของผู้ให้บริการต่างรายกันและอยู่คนละเครือข่าย ในกรณีนี้ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 1 จะทำการสร้างวงจรสื่อสารผ่านชุมสายโทรศัพท์ระหว่างประเทศของประเทศต้นทางไปยังชุมสายโทรศัพท์ระหว่างประเทศของประเทศปลายทางไปสิ้นสุดที่ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 2

เมื่อพิจารณาดูรูปแบบของการกำหนดวงจรจากรูปที่ 2.22 การเชื่อมต่อวงจรหลักๆ ขึ้น 2 ช่วง คือ วงจรสื่อสารที่เกิดขึ้นระหว่างเครื่องลูกข่ายต้นทางที่เป็นของเครือข่ายโทรศัพท์สาธารณะกับชุมสารโทรศัพท์เคลื่อนที่ 1 วงจรหนึ่ง (วงจร ก.) กับวงจรสื่อสารจากชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 1 ผ่านวงจรโทรศัพท์ระหว่างประเทศไปยังชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 2 ซึ่งอยู่ในอีกประเทศหนึ่งอีกวงจรหนึ่ง (วงจร ข.) ซึ่งโดยหลักการทั่วไปแล้วผู้ทำการโทรเรียกจะรับผิดชอบค่าบริการในช่วงวงจร ก. การโทรเรียกจากโทรศัพท์พื้นฐานในกรุงเทพฯ ก็จะคิดเป็นค่าบริการในอัตรา 3 บาทต่อนาที สำหรับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในวงจรสื่อสารส่วน ข. จะตกเป็นภาระของผู้ใช้บริการซึ่งใช้งานอยู่ในประเทศปลายทางนั้น โดยจะประกอบด้วยค่าใช้จ่ายวงจรสื่อสารระหว่างประเทศรวมถึงค่าธรรมเนียมต่างๆ ที่เกิดขึ้นซึ่งกำหนดโดยผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในประเทศปลายทาง ก่อให้เกิดความสับสนต่อผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ข้ามแดนเป็นอย่างมาก ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากความเข้าใจที่ว่าตนจะเสียค่าใช้จ่ายในการโทรศัพท์ระหว่างประเทศก็ต่อเมื่อตนได้เป็นผู้ทำการโทรออกเท่านั้น แต่ในกรณีของการรับสายเข้าไม่ว่าจะเป็นการโทรเรียกมาจากเครือข่ายใดของประเทศใดก็ตามผู้รับสายจะตกเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายของวงจรสื่อสารต่างประเทศที่เกิดขึ้นจากประเทศต้นทางของตนมายังเครือข่ายที่ตนกำลังใช้งานอยู่ทุกครั้งไป ทั้งนี้ถึงแม้ว่าการโทรเรียกจะเป็นการโทรมาจากประเทศที่ผู้ใช้บริการนำเครื่องไปใช้งานอยู่ก็ตามเพื่อเป็นการอธิบายสาเหตุดังกล่าว ผู้เขียนขอแยกกรณีการโทรเข้าเป็น 3 กรณีดังนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.23

(1) การโทรเรียกจากประเทศต้นทาง ในกรณีนี้ได้กล่าวถึงไปแล้ว

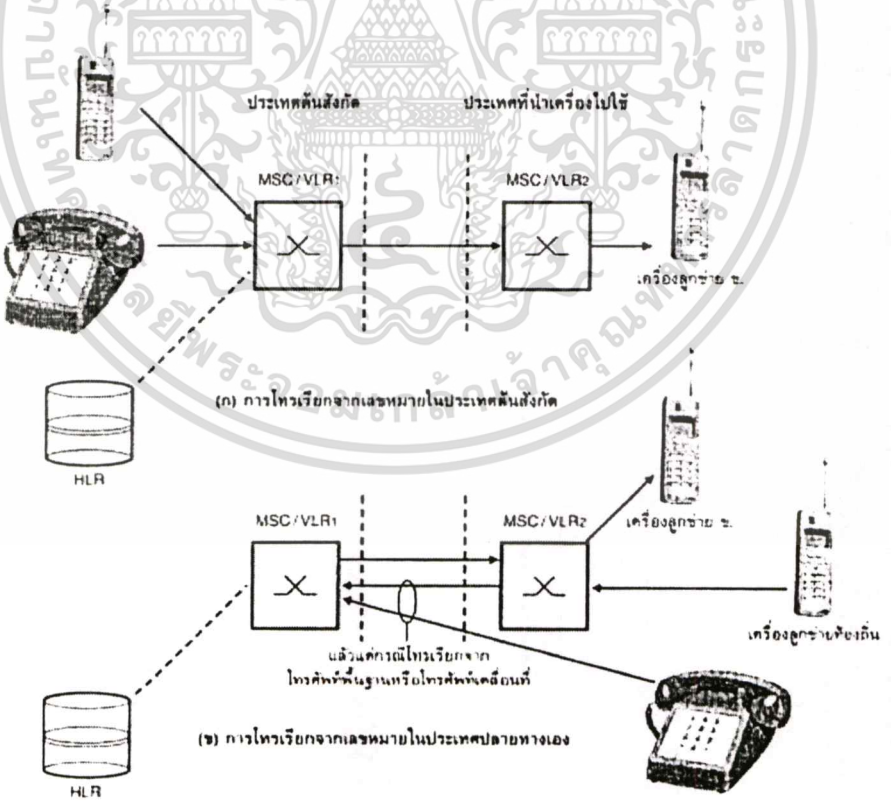
(2) การโทรเรียกจากประเทศที่นำเครื่องไปใช้งานจากเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน หรือจากเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ แม้จะเป็นเครือข่ายเดียวกันกับที่ผู้รับสายนำเครื่องไปใช้งานอยู่ก็ตามผู้ทำการโทรเรียกจะต้องกดเลขหมายในการติดต่อเป็นรหัสโทรต่างประเทศ ซึ่งชี้กลับมายังประเทศไทยเสมอโดยจะต้องมีการสร้างวงจรโทรศัพท์มายังเครือข่ายต้นสังกัดเสมอ หลังจากนั้นจึงเป็นหน้าที่ของเครือข่ายต้นสังกัดในการตรวจสอบตำแหน่งการใช้งานของเครื่องลูกข่าย เมื่อพบว่ามีการนำเครื่องไปใช้งานยังต่างประเทศทราบจากเลขหมายในระบบฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นที่ได้เก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

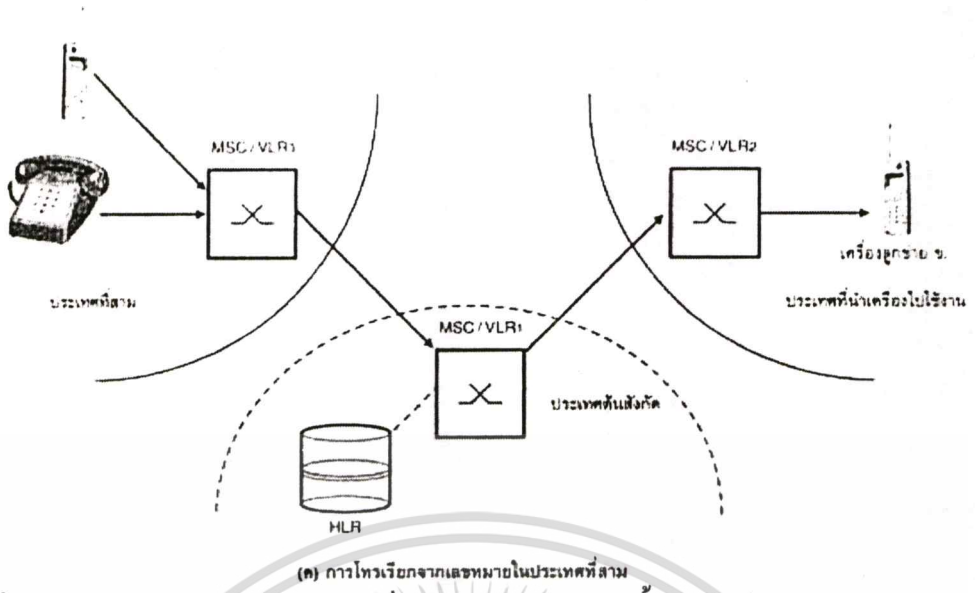
ไว้ในกระบวนการลงทะเบียนขณะเปิดเครื่องครั้งแรก และจากกระบวนลงทะเบียนในเวลาต่อๆมา จึงจะมีการสร้างวงจรโทรศัพท์ย้อนกลับไปยังประเทศที่ผู้ใช้บริการนำเครื่องลูกข่ายไปใช้งานอยู่

(3) การโทรเรียกจากประเทศที่สาม ตัวอย่างเช่น การโทรเรียกจากประเทศเยอรมันผลที่เกิดขึ้นก็จะคล้ายคลึงกับในกรณีที่สองแต่ต่างกันเพียงว่าวงจรโทรศัพท์ระหว่างประเทศที่เกิดขึ้นจะไม่ทับเส้นทางเดียวกันกล่าวคือเกิดวงจรเรียกเข้าจากเส้นทางเยอรมันมายังไทยและวงจรเรียกออกจากไทยไปยังอังกฤษ

คณะกรรมการบันทึกข้อตกลง GSM Memorandum of Understanding (GSMMoU) กำลังทำการสร้างข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ให้มีความสามารถในการตรวจสอบตำแหน่งที่แท้จริงของเครื่องลูกข่ายที่ต้องการทำการติดต่อด้วยโดยการส่งเฉพาะสัญญาณควบคุมจากชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ของประเทศต้นทางไปยังอุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลางของประเทศที่ต้องการติดต่อด้วยเพื่อสอบถามตำแหน่งของผู้ใช้งานปลายทาง เมื่อทราบแล้วจึงจะทำการสร้างวงจรสื่อสารไปยังประเทศปลายทางโดยตรง ซึ่งในกรณีที่มีการโทรเรียกจากเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เดียวกันกับที่ผู้ใช้บริการนำเครื่องไปใช้งานอยู่ก็จะเป็นการยกเลิกการสร้างวงจรสื่อสารข้ามประเทศไปในทันที มาตรฐานดังกล่าวมีชื่อเรียกว่าการเชื่อมต่อแบบกระจัด (Optimal Routing) ซึ่งคาดว่าจะเริ่มมีการนำมาใช้งานในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ตระกูล GSM ทั่วโลกในอีกไม่นานนัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) การโทรเรียกจากเลขหมายในประเทศที่สาม

รูปที่ 2.23 การโทรเรียกเข้าหาหมายเลขที่ไปใช้งานต่างประเทศทั้ง 3 กรณี

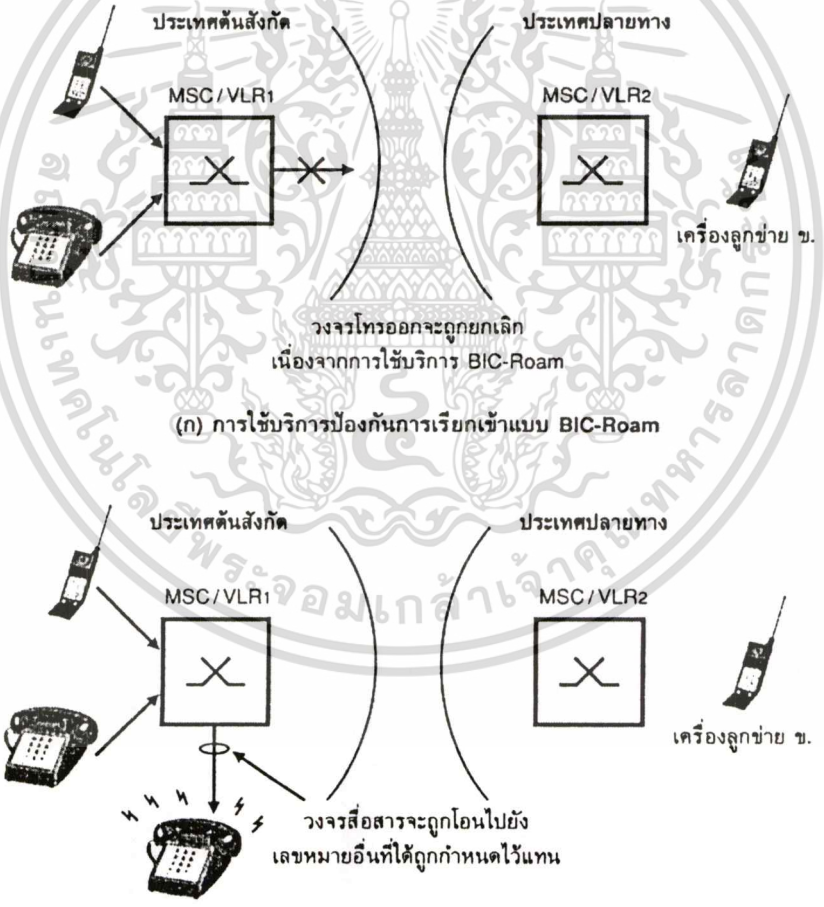
อย่างไรก็ตามใช่ว่าความสามารถของมาตรฐาน การเชื่อมต่อแบบกระจัดจะสามารถลดความซ้ำซ้อนของการสร้างวงจรสื่อสารระหว่างประเทศได้ในทุกกรณี ทั้งนี้เนื่องจากหากผู้ทำการโทรเรียกมาจากเครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐานก็ไม่สามารถที่จะใช้กระบวนการการเชื่อมต่อแบบกระจัดได้แล้ว ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่หลักของผู้ใช้บริการโทรศัพท์ข้ามแดนซึ่งมักจะนำเครื่องลูกข่ายของตนไปใช้งานต่างประเทศบ่อยๆ ที่ต้องระมัดระวังมิให้เกิดค่าใช้จ่ายบานปลาย ซึ่งหากจะกล่าวไปแล้วมาตรฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็ได้มีการกำหนดบริการเสริมพิเศษซึ่งช่วยเหลือผู้ใช้บริการในการควบคุมค่าใช้จ่ายอยู่แล้วโดยขอเสนอแนวทางในการใช้บริการเสริม 2 ประเภทตามที่แสดงในรูปที่ 2.23 ดังนี้

(1) การใช้บริการป้องกันการรับสายเข้าเมื่อนำเครื่องไปใช้งานต่างเครือข่าย (Barring All Incoming Call when Roaming outside home PLMN Country) ซึ่งจะเป็นการสั่งไปยังชุมสายโทรศัพท์ต้นทางระงับการสร้างวงจรสื่อสารในกรณีที่มีการโทรเรียกเข้าหาเลขหมายของตน โดยไม่ว่าจะมีการเรียกเข้าจากผู้ใช้บริการจากในประเทศต้นทางหรือจากต่างประเทศก็ตามชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในเครือข่ายต้นสังกัดที่รับการเรียกเข้าจากชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่1 จะทำการตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ของผู้ใช้บริการที่เก็บไว้ในอุปกรณ์ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลางหากพบว่ามีการกำหนดให้ใช้บริการ BIC-Roam ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ดังกล่าวจะส่งข้อความเสียงพูด (Announcement) แจ้งไปยังผู้ทำการเรียกว่าเลขหมายปลายทางได้ขอระงับการเรียกเข้าอยู่

(2) การใช้บริการโอนสายอัตโนมัติทุกกรณี (Call Forwarding Unconditional) ในกรณีที่ผู้ใช้บริการไม่ต้องการพลาดการติดต่อก็สามารถที่จะใช้บริการโอนสายอัตโนมัติทุกกรณี ได้โดยทำการโอนสายเรียกเข้าให้ไปยังเลขหมายปลายทางอื่นซึ่งอาจเป็นเลขหมายที่ทำงานในประเทศต้นสังกัดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตนเพื่อให้ผู้ร่วมงานเป็นผู้บันทึกข้อความ ข้อควรระวังก็คือไม่ควรที่จะทำการโอนสายไปยังเลขหมายต่างประเทศ เนื่องจากผู้ใช้บริการหลายรายเข้าใจว่าหากทำการโอนสายไปยังเลขหมายโทรศัพท์พื้นฐานในประเทศที่ตนกำลังพักอาศัยอยู่ เช่น เลขหมายโทรศัพท์ของโรงแรมที่ตนเข้าพักอยู่จะเป็นการผลักภาระค่าโทรศัพท์ระหว่างประเทศไปยังผู้ทำการเรียก ซึ่งนับเป็นความเข้าใจที่ผิด ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลที่ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในเครือข่ายต้นสังกัดของตนส่งผ่านไปยังชุมสายโทรศัพท์ระหว่างประเทศจะระบุว่าวงจรสื่อสารที่เกิดจากการโอนสายนั้นเป็นการเรียกโดยผู้ใช้บริการเอง ซึ่งมีค่าเท่ากับการผู้ใช้บริการใช้เครื่องลูกข่ายในเครือข่ายต้นสังกัดของตนและทำการโทรเรียกไปยังประเทศปลายทาง จะเห็นได้ว่าไม่ได้เป็นการผลักภาระค่าใช้จ่ายไปให้ผู้อื่นแต่อย่างใดนอกจากนี้ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM หลายๆ เครือข่ายก็ไม่ยินยอมให้มีการโอนสายไปยังต่างประเทศทั้งนี้เนื่องจากความกังวลในเรื่องของหนี้สูญอันเนื่องมาจากความเข้าใจของผู้นิยมทำการโอนสายโดยทั่วไปที่ว่าตนไม่น่าจะรับภาระค่าใช้จ่ายวงจรสื่อสารที่เกิดจากการโอนสายนั่นเอง



รูปที่ 2.24 การป้องกันการโทรเรียกเข้าเมื่อนำเครื่องไปใช้งานต่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริการหลักและบริการเสริมต่างๆ ที่ผู้ใช้บริการซึ่งนำเครื่องลูกข่ายไปใช้งานในต่างแดนจะสามารถใช้งานได้นั้นก็ขึ้นอยู่กับการตกลงกันระหว่างเครือข่ายต้นสังกัดของตนและเครือข่ายปลายทาง จึงควรทำการตรวจสอบกับผู้ให้บริการเครือข่ายของตนก่อนที่จะนำเครื่องลูกข่ายไปใช้งานเพื่อความเข้าใจที่ถูกต้องอันจะนำมาซึ่งความสะดวกในการใช้งาน

2.5 คุณภาพการให้บริการ (Grade of Service)

จากการที่สเปคตรัมที่มีอยู่สำหรับการใช้งานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีขนาดจำกัด ทำให้ช่องสัญญาณความถี่ที่ใช้งานได้ในแต่ละเซลล์มีจำนวนจำกัด หากแต่เมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีอยู่จะพบว่ามีจำนวนมากกว่า ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการแบ่งปันและผลัดกันใช้เคลื่อนความถี่เหล่านี้คนละช่วงเวลาระหว่างผู้ใช้บริการทั้งหมดภายในระบบ นั่นคือเมื่อผู้ใช้คนหนึ่งมีความต้องการจะใช้โทรศัพท์ระบบโทรศัพท์จะจัดสรรช่องความถี่ที่เหมาะสมให้ 1 ช่องสัญญาณ โดยผู้ใช้ก็จะใช้และครอบครองความถี่นี้เพื่อการติดต่อกับคู่สนทนาตลอดช่วงเวลาการสนทนา และเมื่อการสนทนาสิ้นสุดลงคลื่นความถี่นี้ก็จะสามารถนำไปใช้รองรับความต้องการใช้โทรศัพท์ของผู้ใช้บริการอื่นๆต่อไปด้วยวิธีการนี้เองที่ทำให้เราสามารถใช้ช่องสัญญาณที่มีอยู่อย่างจำกัดมารองรับผู้ใช้บริการจำนวนมากๆ ได้

จากหลักการที่กล่าวมานี้ก่อให้เกิดคำถามว่าเราจะต้องมีจำนวนช่องสัญญาณทั้งหมดเท่าใดจึงจะเพียงพอสำหรับรองรับจำนวนผู้ใช้บริการที่มีอยู่โดยที่สามารถให้บริการที่มีคุณภาพในระบบที่ต้องการได้ (Grade of Service) เป็นการวัดความสามารถของผู้ใช้ในการเข้ามาใช้งานในระบบระหว่างชั่วโมงที่มีการใช้งานสูงสุดโดยปกติแล้วชั่วโมงการใช้งานสูงสุดของผู้ใช้โทรศัพท์มักอยู่ระหว่าง 16.00-18.00 น. โดยทั่วไปแล้วการวัดค่าของ GOS ทำได้โดยการวัดค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้โทศัพท์คนหนึ่งไม่สามารถจะโทรศัพท์ออกได้ เนื่องจากจำนวนช่องสัญญาณที่มีอยู่ได้มีผู้ใช้อื่นครอบครองอยู่จนหมดแล้ว (Blocking Probability) ซึ่งในกรณีนี้ผู้ใช้ก็จะต้องพยายามโทรใหม่ในภายหลังหรือในบางระบบอาจจะมีการเข้าคิวเข้ามาช่วยนั่นคือไม่มีช่องสัญญาณว่างเลยการโทรศัพท์นั้นก็จะได้รับการจัดให้อยู่ในคิวและรอจนกว่าจะมีช่องสัญญาณว่างในกรณีนี้ค่าของ GOS ก็อาจจะวัดได้จากระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่ผู้ใช้ต้องรอคอยจนกระทั่งมีช่องสัญญาณว่าง

การคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของการเกิดบล็อก (Blocking Probability) จะต้องอาศัยทฤษฎีเรื่องของคิว (Queuing Theory) ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นโดยนักคณิตศาสตรชาว เดนมาร์ก ที่มีชื่อว่า Erlang โดยในปัจจุบันได้มีการนำชื่อของเขามาเป็นหน่วยวัดปริมาณความแออัด ที่เรียกว่าความเข้มของความแออัด (Traffic Intensity) โดยที่ 1 เออแลงค์ จะหมายถึง ปริมาณของความแออัดที่มีอยู่ในหนึ่งช่วงเวลา ยกตัวอย่างเช่น ถ้าช่องสัญญาณหนึ่งมีการใช้งานอยู่ทั้งหมด 15 นาที ในช่วงเวลาทั้งหมด 1 ชั่วโมง ก็จะกล่าวได้ว่ามีความแออัดเท่ากับ 0.25 เออแลงค์ ค่าความเข้มของความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แออัดของผู้ใช้แต่ละคนขึ้นอยู่กับ อัตราความถี่ของการใช้โทรศัพท์คูณด้วยระยะเวลาการสนทนา (Holding Time) นั่นคือ ผู้ใช้แต่ละคนจะมีความเข้มของความแออัด เท่ากับ A_u เออแลงค์ ตามสมการ

$$A_U = \lambda H \tag{2.1}$$

โดยที่ H คือ ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการสนทนาของแต่ละครั้ง
และ λ คือ ค่าเฉลี่ยของจำนวนการโทรต่อหนึ่งหน่วยเวลา
สำหรับระบบที่มีจำนวนผู้ใช้งาน U คน สามารถหาค่าความเข้มของความแออัดรวม ได้ดังสมการ

$$A_{Total} = UA_U \tag{2.2}$$

ในระบบที่มีจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ C ถ้าความแออัดมีการกระจายลงในแต่ละช่องสัญญาณที่มีปริมาณเท่าๆกัน สามารถหาความเข้มของความแออัดต่อช่องสัญญาณ A_C ได้ดังสมการ

$$A_C = \frac{UA_U}{C} \tag{2.3}$$

ในการศึกษาถึง GOS ในระบบโดยวัดจากความน่าจะเป็นที่การโทรออกจะถูกบล็อก เนื่องจากช่องสัญญาณที่มีอยู่ได้ถูกใช้งานทั้งหมด เพื่อให้การวิเคราะห์สามารถทำได้ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร จึงจำเป็นจะต้องมีการตั้งสมมุติฐาน หลายอย่างดังนี้

จำนวนการโทรมีการกระจายเป็นแบบปัวส์ซอง (Poisson Distribution), จำนวนของผู้จำนวนมาก (Infinity) ผู้ใช้แต่ละคนสามารถโทรออก ณ เวลาใดๆก็ได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน ระยะเวลาการสนทนามีการกระจายแบบเอกซ์โพเนนเชี่ยลแบบลบ (Negative Exponential) จำนวนช่องสัญญาณมีอยู่จำนวนจำกัด ซึ่งเรียกว่าระบบ M/M/m Queue ทำให้ได้สูตร Erlang B (Erlang B Formula) ซึ่งสูตรนี้ทำให้ทราบค่าความน่าจะเป็นที่การจะถูกบล็อกเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดค่า GOS ของระบบ จากค่าสมมุติฐานเหล่านี้เมื่อเราทราบ ปริมาณความแออัดทั้งหมดที่จะรองรับ (A) และจำนวนช่องสัญญาณที่มีอยู่ (C) สามารถคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของการเกิดบล็อกได้จากสมการ Erlang B [2]

$$\Pr[\,Blocking\,] = GOS = \frac{A^C / C!}{\sum_{k=0}^{C} A^k / k!} \tag{2.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการนี้สามารถนำมาสร้างเป็นตารางแสดงค่าความจุ หรือปริมาณความแออัดที่ระบบสามารถรองรับได้ภายใต้เงื่อนไข จำนวนช่องสัญญาณ C ที่มีอยู่ และค่าความน่าจะเป็นของการเกิดการบล็อก

ยกตัวอย่างเช่น ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้กำหนดให้ค่า GOS มีค่าเท่ากับ 2% หมายความว่า ในชั่วโมงที่มีการใช้งานสูงสุดถ้ามีการโทรเข้ามา 100 ครั้ง จะต้องเกิดการบล็อกไม่เกิน 2 ครั้ง ดังในตารางที่ 2.4 แสดงตัวอย่างค่าความจุของระบบ หรือปริมาณความแออัดที่ระบบสามารถรองรับได้ ตามจำนวนช่องสัญญาณ C ที่มีอยู่ ที่ค่าความน่าจะเป็นในการเกิดการบล็อกขนาดต่างๆ

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าความจุหรือปริมาณความแออัดที่ระบบสามารถรองรับได้ (Erlang B)

จำนวนช่องสัญญาณ (C)	ความจุของระบบ A (เออแลงค์) สำหรับค่า GOS			
	0.5%	1%	2%	5%
1	0.005	0.010	0.020	0.053
2	0.1054	0.1525	0.223	0.381
3	0.349	0.4554	0.6022	0.899
5	1.13	1.36	1.66	2.22
10	3.96	4.46	5.08	6.22
20	11.1	12.0307	13.1816	15.2
24	14.2	15.3	16.6	19.0
40	27.4	29.0	31.0	34.6
80	62.7	65.4	68.7	74.8
100	80.9	84.1	88.0	95.2

2.6 สรุป

ในบทที่ 2 นี้เป็นกล่าวถึงหลักการพื้นฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่ใช้งานในปัจจุบัน ส่วนประกอบพื้นฐานของโครงข่าย ตลอดจนการคำนวณวิเคราะห์คุณภาพของการให้บริการโครงข่ายปัจจัยต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของบริการ เพื่อใช้เป็นพื้นฐานความรู้ก่อนจะกล่าวนำไปสู่หลักการที่นำเสนอในบทถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การวิเคราะห์รูปแบบการทำงานของโครงข่ายด้วยวิธีการที่นำเสนอ

3.1 กล่าวนำ

ในบทที่ 3 นี้ จะเป็นการกล่าวถึงความต้องการพื้นฐานของโครงข่ายเพื่อใช้งานวิธีที่นำเสนอ การวิเคราะห์และรูปแบบการทำงานของโครงข่ายด้วยวิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบอัลกอริธึมแบบใหม่กับวิธีการโดยทั่วไปด้วยเหตุการณ์ดังต่อไปนี้ การโทรแบบปรกติภายในโครงข่ายเดียวกัน, การรับสายเมื่อผู้ใช้งานโรมมิ่งต่างประเทศ, บริการโอนสายแบบมีเงื่อนไข และบริการโอนสายแบบไร้เงื่อนไข ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังกล่าวยืนยันเป็นอย่างดีว่า เมื่อทำการเพิ่มอัลกอริธึมแบบใหม่เข้าไปจะสามารถลดภาระการจองวงจรสนทนาระหว่างชุมสายได้เป็นอย่างดี แต่ในขณะเดียวกันได้ส่งผลกระทบ ทำให้เกิดภาระที่สูงขึ้นของช่องสัญญาณเล็กน้อย เนื่องจากจะต้องรับส่งสัญญาณของอัลกอริธึมของวิธีการที่นำเสนอ อีกทั้งยังส่งผลให้ช่วงเวลาล่าช้าของการโทรสูงขึ้น

3.2 ความต้องการพื้นฐานของโครงข่ายเพื่อใช้งานการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่

ในการใช้งานหลักการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่นี้ โครงข่ายจะต้องสามารถรองรับความฟังก์ชั่นการทำงานพื้นฐานดังนี้

(1) โครงข่ายจะต้องรองรับรูปแบบการทำงานการเชื่อมต่อวงจรแบบกระจัด (Optimal Routing) อ้างอิงตามมาตรฐานของระบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่สากล GSM 02.79 [6] โดยที่การเชื่อมต่อวงจรแบบกระจัด ซึ่งจะช่วยให้โครงข่ายสามารถเชื่อมต่อวงจรสนทนาได้โดยตรงจากชุมสายต้นทางไปยังชุมสายปลายทางได้ โดยไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่อวงจรสนทนาผ่านชุมสายส่งผ่านระหว่างประเทศ

(2) ระบบชุมสายโทรศัพท์ต้นทาง (Caller exchange), ชุมสายปลายทาง (Called exchange) รวมทั้งระบบฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง (HLR) จะต้องรองรับโปรโตคอลสื่อสาร MAP เวอร์ชั่น 3 [7]

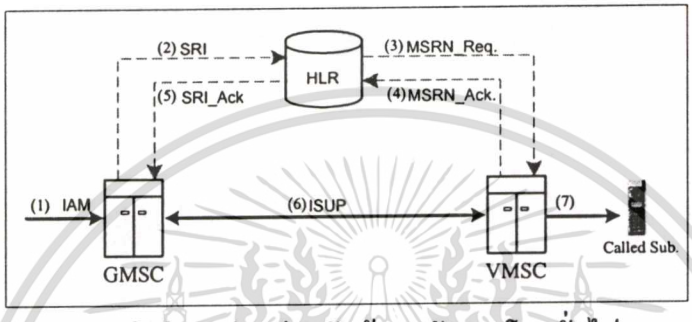
(3) ระบบชุมสาย GMSC จะต้องสามารถรองรับการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่ [17]เพื่อที่จะทำการส่งสัญญาณการขอใช้บริการแบบใหม่นี้ไปยังระบบฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง (HLR) และหากชุมสาย GMSC ไม่สามารถรองรับการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่ ระบบจะแทนที่การเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยวิธีโดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) ระบบฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง จะต้องสามารถทราบว่าระบบชุมสายใดสามารถรองรับการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่ได้ด้วยฐานข้อมูลภายในระบบเอง และทำการเพิ่มแฟลกลงในสัญญาณที่ส่งไปยังระบบฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่นเพื่อบ่งชี้ว่าใช้การเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่

3.3 การเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยหลักการโดยทั่วไป (Conventional call routing)

3.3.1 การโทรแบบปรกติภายในโครงข่ายเดียวกันด้วยหลักการโดยทั่วไป



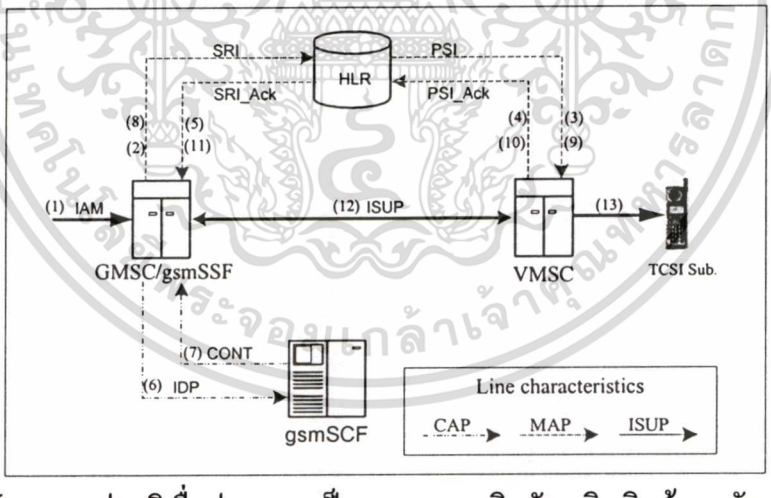
รูปที่ 3.1 การโทรแบบปรกติภายในโครงข่ายเดียวกันด้วยหลักการโดยทั่วไป

รูปที่ 3.1 เป็นการโทรเรียกเมื่อเลขหมายปลายทางเป็นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ตระกูล GSM เริ่มต้นจากสัญญาณขาเข้ามาที่ GMSC คือ IAM (Initial Address Message) ซึ่งภายในระบุข้อมูลที่สำคัญ คือ เลขหมายโทรศัพท์ต้นทาง และปลายทาง เมื่อ GMSC ได้รับสัญญาณ IAM จะเริ่มทำการสอบถามข้อมูลไปยังระบบฐานข้อมูลบริการกลาง (HLR) ด้วยโปรโตคอล MAP โดยที่ GMSC จะทราบได้ว่าผู้ใช้งานแต่ละเบอร์จดทะเบียนอยู่ที่ระบบ ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง ใด ได้จากระบบฐานข้อมูล และระบบการจัดสรรเลขหมายภายในโครงข่าย ตัวอย่างเช่น กลุ่มโทรศัพท์ หมายเลข 0989xxxxx จะจดทะเบียนอยู่ใน ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง หมายเลข 100 และ กลุ่มโทรศัพท์ หมายเลข 0988xxxxx จะจดทะเบียนอยู่ใน ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง หมายเลข 200 เป็นต้น เมื่อ ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง ได้รับสัญญาณ SRI จะค้นหาจากระบบฐานข้อมูลล่าสุดถึงตำแหน่งของ ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง ที่เลขหมายปลายทางโรมมิ่งอยู่ในขณะนั้น จากการทำกระบวนการลงทะเบียนของเลขหมายปลายทาง จากนั้นส่งสัญญาณร้องขอ MSRN ไปยัง ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง เพื่อร้องขอเลขหมาย MSRN จาก ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง ซึ่งมีความจำเป็นเมื่อ GMSC ต้องการเชื่อมต่อวงจรสนทนา ผ่านไปบนโปรโตคอล ISUP (ISDN User Part) เพื่อเริ่มต้นการสนทนาระหว่างเลขหมายทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การโทรแบบปรกติเมื่อเลขหมายปลายทางเป็นเลขหมายชนิดบัตรเติมเงิน

เลขหมายชนิดบัตรเติมเงินมีความแตกต่างจาก เลขหมายโทรศัพท์โดยทั่วไปตรงที่ก่อนจะทำการโทรออก หรือรับสาย จะต้องมีการขออนุญาต ไปยังระบบโครงข่ายอัจฉริยะ (Intelligent Network) เสียก่อนด้วยโปรโตคอลสื่อสาร CAMEL (Customized Applications for Mobile network Enhanced Logic) จากรูปที่ 3.2 กำหนดให้สัญญาณ IAM ขาเข้าระบุเลขหมายปลายทาง เป็นเลขหมายชนิดบัตรเติมเงิน และ GMSC สามารถรองรับโปรโตคอลสื่อสาร CAMEL สำหรับติดต่อกับระบบโครงข่ายอัจฉริยะได้ เมื่อ GMSC ได้รับสัญญาณ IAM จะเริ่มกระบวนการสอบถามเลขหมาย MSRN ของเลขหมายปลายทางตามปรกติเพราะในขั้นตอนนี้ GMSC จะยังไม่ทราบในทันทีว่า เลขหมายปลายทางที่ระบุมาในสัญญาณ IAM หมายเลข (1) เป็นเลขหมายชนิดบัตรเติมเงิน หรือเลขหมายปรกติ จนกระทั่งส่งสัญญาณ SRI ไปยัง ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง ขณะนี้ ระบบฐานข้อมูลใน ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง จะทราบว่าเลขหมายปลายทางเป็นเลขหมายชนิดบัตรเติมเงิน แต่ในบางกรณีที่ผู้ให้บริการระบบโทรศัพท์จะมีการคำนวณค่าใช้จ่ายในการโทร (Air Time) จากตำแหน่งที่เลขหมายปลายทางโรมมิ่งอยู่ ในขณะนั้น ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง จึงต้องส่งสัญญาณ PSI หมายเลข (3) จาก ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง ซึ่งข้อมูลที่สำคัญที่จะได้รับการตอบกลับมาคือ ข้อมูลพื้นที่ที่เลขหมายปลายทางโรมมิ่งอยู่ คือ MCC, MNC, LACOD และ CGI (ตัวอย่างของสัญญาณได้จากภาคผนวก)



รูปที่ 3.2 รูปแบบการโทรแบบปรกติเมื่อปลายทางเป็นเลขหมายชนิดบัตรเติมเงินด้วยหลักการโดยทั่วไป

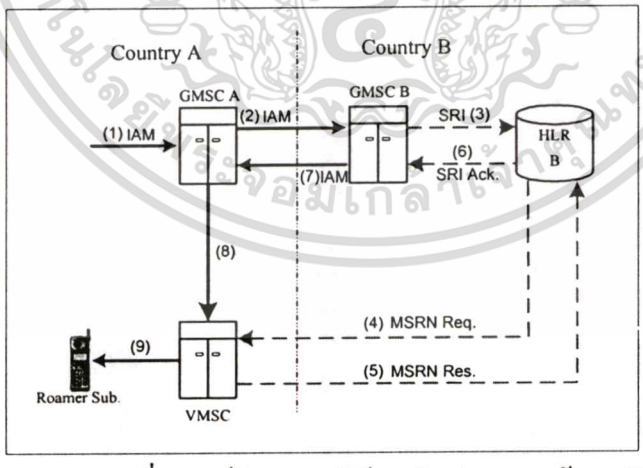
จากนั้น ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง จะตอบสัญญาณ SRI กลับไปให้กับ GMSC โดยภายในจะระบุถึงรหัสพื้นที่ของเลขหมายปลายทาง และ ข้อมูลจำเพาะของเลขหมายปลายทางที่ระบุว่าเลขหมายปลายทางเป็นเลขหมายชนิดบัตรเติมเงิน เรียกว่า T-CSI (Terminating Call CAMEL Subscription

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Information) โดย GMSC ซึ่งสามารถรองรับ CAMEL โปรโตคอล จะส่งสัญญาณ IDP ไปยัง gsmSCF เพื่อสอบถามว่า เลขหมายปลายทางมีความสามารถในการรับสายได้หรือไม่ gsmSCF จะตอบกลับด้วยสัญญาณ CONT ในกรณีที่อนุญาต เพื่อให้ GMSC ทำการตรวจสอบตำแหน่งใช้งาน ครั้งที่สองไปยังฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง เพื่อร้องขอ ข้อมูล MSRN เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อ วงจรสนทนาไปยังชุมสายปลายทางด้วยสัญญาณหมายเลข (12) เพื่อเริ่มต้นการสนทนาระหว่างเลขหมายต้นทางและปลายทาง

3.3.3 การเชื่อมต่อวงจรสนทนาเมื่อเลขหมายปลายทางใช้งานในต่างแดน

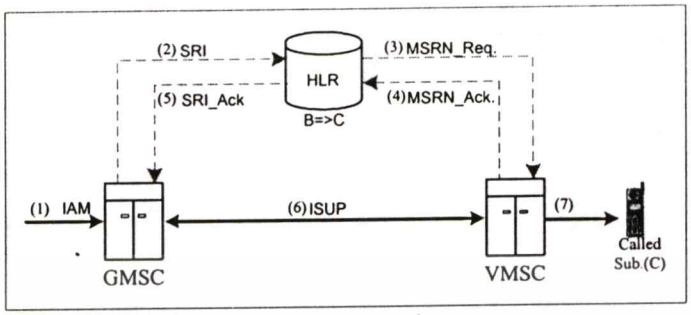
ในการเชื่อมต่อวงจรสนทนาเมื่อเบอร์ปลายทางใช้งานอยู่ในโครงข่ายต่างแดน (International Roaming) สัญญาณขาเข้าหมายเลข (1) ซึ่งอาจเป็นสายเรียกเข้าจากระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือระบบโทรศัพท์พื้นฐาน เมื่อ GMSC ได้รับสัญญาณ IAM ซึ่งระบุเลขหมายปลายทางเป็นเบอร์ภายในโครงข่ายของประเทศ B เนื่องจาก GMSC A ไม่สามารถรองรับการทำงานของ OR (Optimal Routing) จึงต้องทำการเชื่อมต่อวงจรสนทนาไปยัง GMSC B ดังสัญญาณ IAM (2) จากนั้น GMSC B จะเริ่มกระบวนการสอบถามหมายเลข MSRN ไปยัง ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง ด้วยสัญญาณ หมายเลข (3) และฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง ส่งสัญญาณ MSRN Request ไปยัง ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง ในประเทศ A จนกระทั่งได้รับ MSRN ตอบกลับมายัง GMSC B จากนั้นวงจรสนทนาจึงถูกเชื่อมต่อกลับไปยัง GMSC A ด้วยสัญญาณหมายเลข (7) จากเลขหมาย MSRN ที่ได้รับมา GMSC A จะสามารถทราบด้วยระบบฐานข้อมูลภายในตัวเองเพื่อทำการเชื่อมต่อวงจรสนทนาไปยัง ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง เพื่อใช้ในการสนทนาระหว่างคู่สายทั้งสอง



รูปที่ 3.3 การเชื่อมต่อวงจรสนทนาเมื่อเบอร์ปลายทางใช้งานในต่างแดน ด้วยหลักการโดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

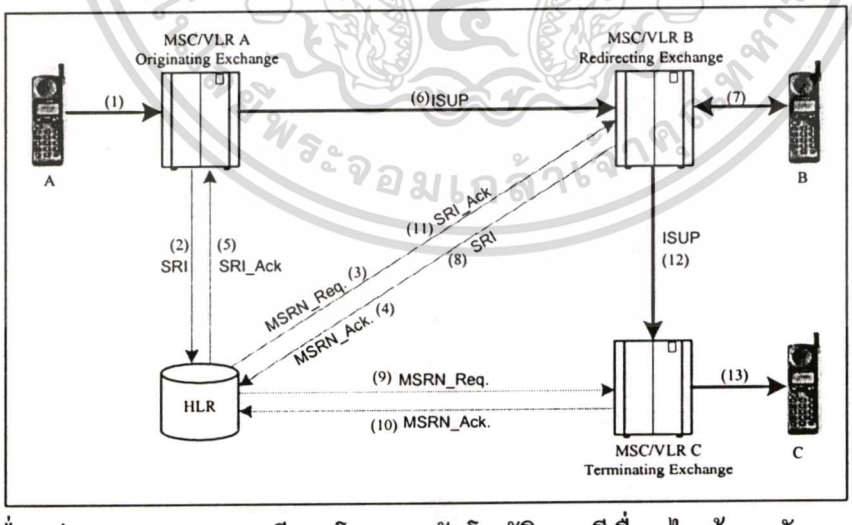
3.3.4 การเชื่อมต่อวงจรสนทนากรณีการโอนสายอัตโนมัติทุกกรณี



รูปที่ 3.4 การโอนสายอัตโนมัติทุกกรณี ด้วยหลักการโดยทั่วไป

การโอนสายอัตโนมัติทุกกรณีในรูปที่ 3.4 มีหลักการทำงานเหมือนกับการทำงานในรูปที่ 3.1 โดยที่เลขหมายโทรศัพท์ B จะถูกโอนไปยังเลขหมาย C โดย ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง จากนั้น ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง จะส่งสัญญาณ MSRN Request ไปยัง ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง ที่เลขหมายโทรศัพท์ C โรมมิ่งอยู่ เพื่อขอเลขหมาย MSRN และ ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง ตอบเลขหมาย MSRN กลับมายัง GMSC ด้วยสัญญาณหมายเลข (5) เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อวงจรสนทนาจาก GMSC ไปยังชุมสายท้องถิ่นปลายทาง เพื่อใช้ในการสนทนา

3.3.5 การเชื่อมต่อวงจรสนทนากรณีการโอนสายอัตโนมัติแบบมีเงื่อนไข



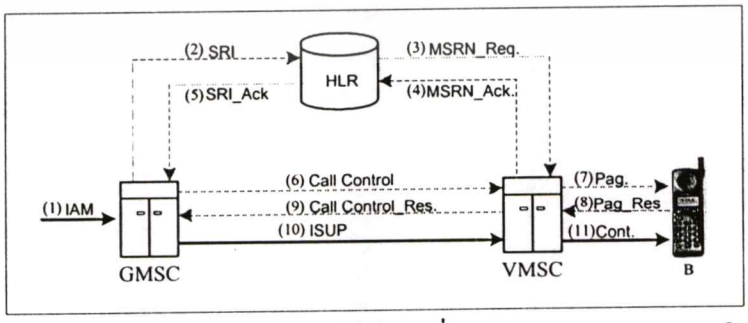
รูปที่ 3.5 การเชื่อมต่อวงจรสนทนากรณีการโอนสายอัตโนมัติแบบมีเงื่อนไข ด้วยหลักการโดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรสนทนาหมายเลข (6) และ (12) ตามลำดับ เนื่องจากการเชื่อมต่อวงจรด้วยวิธีโดยทั่วไปจำเป็นจะต้องรับข้อมูลของเบอร์ปลายทางที่ถูกโอนสายจากชุมสาย B เสียก่อน จากนั้นจึงเริ่มกระบวนการสอบถามข้อมูลไปยัง ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง อีกครั้งหนึ่ง เพื่อร้องขอเลขหมาย MSRN ของเลขหมาย C ทำให้เป็นการสิ้นเปลืองวงจรสนทนาที่ถูกจองระหว่างชุมสาย A, B และ C โดยจากรูปที่ 3.5 สามารถอธิบายหลักการทำงานโดยเริ่มจากสัญญาณขาเข้าคือ IAM หมายเลข (1) ชุมสายโทรศัพท์ A เริ่มทำการสอบถามข้อมูลไปยัง ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง ที่หมายเลข B จดทะเบียนอยู่ (ในกรณีนี้กำหนดให้หมายเลขโทรศัพท์ B และ C ได้จดทะเบียนไว้ใน ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง เดียวกัน) ด้วยการส่งสัญญาณ SRI (2) ไปยัง ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง จากนั้น ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง จะส่งสัญญาณร้องขอ MSRN จากชุมสาย B เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อวงจรสนทนาจากชุมสาย A ไปยังชุมสาย B โดยข้อมูล MSRN ได้ถูกตอบกลับมายังชุมสาย A ด้วยสัญญาณหมายเลข (4) และ (5) ตามลำดับ จากนั้นวงจรสนทนาจะถูกเชื่อมต่อจากชุมสาย A ไปยังชุมสาย B ตามเลขหมาย MSRN กระบวนการค้นหา (Paging Procedure) ได้เริ่มต้นขึ้นที่ชุมสายโทรศัพท์ B เพื่อค้นหาตำแหน่งแท้จริงของโทรศัพท์เคลื่อนที่ B จนกระทั่งเข้าสู่เงื่อนไขการโอนสายของเลขหมาย B ตัวอย่างเช่น เมื่อเลขหมาย B ไม่รับสายให้ทำการโอนสายอัตโนมัติไปยังเลขหมาย C เป็นต้น จากนั้นชุมสายโทรศัพท์ B จึงเริ่มต้นการสอบถามข้อมูลอีกครั้งหนึ่งไปยัง ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง ที่เลขหมาย C จดทะเบียนอยู่ด้วยสัญญาณหมายเลข (8) และสัญญาณหมายเลข (9) เป็นการขอ MSRN จากชุมสายโทรศัพท์ C ซึ่งเป็นพื้นที่ ที่ โทรศัพท์เคลื่อนที่ C โรมมิ่งอยู่ในขณะนั้น เมื่อได้รับข้อมูล MSRN แล้ว ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง จะส่งต่อมาให้ชุมสาย B ด้วยสัญญาณหมายเลข (11) เพื่อเชื่อมต่อวงจรสนทนาจากชุมสาย B ไปยังชุมสาย C ณ. เวลานี้หากเลขหมายโทรศัพท์ C ไม่มีการโอนสายไปยังเลขหมายอื่นอีก วงจรสนทนาจะสิ้นสุดที่ชุมสายโทรศัพท์ C

3.4 การเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยหลักการที่นำเสนอ (Alternative call routing)

3.4.1 การโทรแบบปรกติภายในโครงข่ายเดียวกันด้วยหลักการที่นำเสนอ



รูปที่ 3.6 การโทรปรกติภายในโครงข่ายเดียวกันด้วยการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

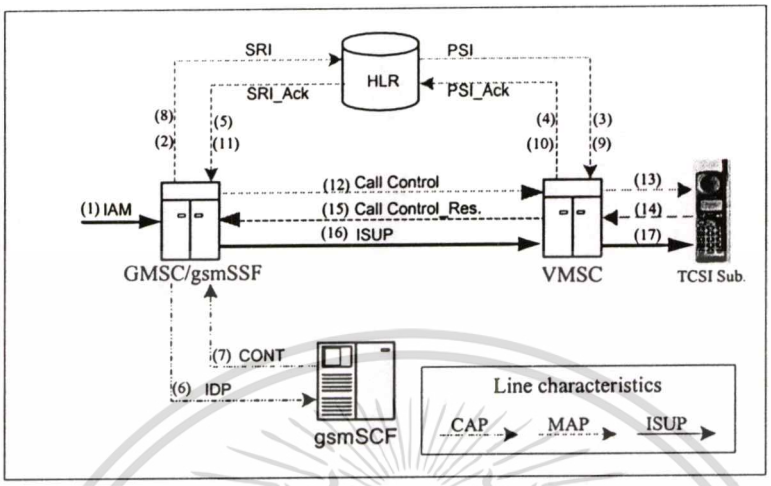
จากรูปที่ 3.6 กำหนดให้ระบบชุมสาย และฐานข้อมูลบริการกลางสามารถรองรับการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่ (Alternative call routing) สัญญาณหมายเลข (1) เป็นสัญญาณขาเข้า ซึ่งระบุเลขหมายโทรศัพท์เคลื่อนที่ปลายทาง จากนั้น GMSC จะเริ่มต้นกระบวนการตรวจสอบตำแหน่งใช้งาน (Interrogation) ด้วยการส่งสัญญาณหมายเลข (2) คือสัญญาณ SRI (Send routing information) ไปยังฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง ด้วยโปรโตคอล MAP เวอร์ชั่น 3 เพื่อร้องขอเลขหมาย MSRN จาก ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง ในสัญญาณนี้จะระบุแฟลกที่บอก ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง ว่าการเชื่อมต่อวงจรสนทนานี้เป็นแบบ Alternative Call Routing ที่โทรศัพท์เคลื่อนที่หมายเลข B ทำการโรมมิ่งอยู่ เมื่อฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง ได้รับสัญญาณ SRI จะส่งสัญญาณ MSRN Req. (Roaming number enquiry) หลังจากนั้น ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่น จะตอบเลขหมาย MSRN (พร้อมกับแฟลกที่ระบุการใช้งานการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่) กลับมายัง ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง ดังสัญญาณหมายเลข (4) และส่งต่อมาให้ GMSC ด้วยสัญญาณหมายเลข (5) จากนั้น GMSC จะทำการส่งสัญญาณหมายเลข (6) คือ Call control transfer ซึ่งเป็นสัญญาณเฉพาะของการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่เพื่อ สั่งให้ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง เริ่มทำกระบวนการค้นหา (Paging procedure) ซึ่งโดยปรกติกระบวนการค้นหาจะถูกสั่งงานโดย ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง เพื่อค้นหาตำแหน่งที่แท้จริงของเลขหมายปลายทางว่าอยู่ในพื้นที่ใดของชุมสาย ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง จากนั้นเมื่อเลขหมายปลายทางตอบรับการค้นหาด้วยสัญญาณหมายเลข (8) และเมื่อเลขหมายปลายทางรับสายแล้ว ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง จะตอบสัญญาณกลับมายัง GMSC เพื่ออนุญาตให้ GMSC ทำการเชื่อมต่อวงจรสนทนา หมายเลข (10) ไปยังชุมสายท้องถิ่นปลายทาง เพื่อเริ่มต้นการสนทนาของเลขหมายทั้งสอง จากรูปแบบการทำงานดังกล่าวจะเห็นว่าการเชื่อมต่อวงจรสนทนาจะกระทำภายหลังจากที่เลขหมายปลายทางตอบรับการค้นหา และรับสายแล้วเท่านั้น ทำให้สามารถลดการจองวงจรสนทนาระหว่างชุมสายได้ คือ ช่วงเวลาก่อนที่เบอร์ปลายทางจะรับสาย, และช่วงเวลาที่ระบบใช้ในการเชื่อมต่อก่อนที่จะทำการเชื่อมต่อวงจรสนทนา

3.4.2 การโทรแบบปรกติเมื่อเลขหมายปลายทางเป็นชนิดบัตรเติมเงิน

จากรูปที่ 3.7 สัญญาณขาเข้าหมายเลข (1) ระบุเลขหมายปลายทางเป็นเบอร์โทรศัพท์แบบบัตรเติมเงิน ซึ่งในการโทรจะมีการคำนวณหักค่าใช้จ่ายในการโทรด้วยระบบโครงข่ายอัจฉริยะ (Intelligent Network) เมื่อเริ่มต้นการโทรระบบ GMSC ซึ่งสามารถรองรับโปรโตคอล CAMEL (Customized Applications for Mobile network Enhanced Logic) ที่ใช้ในการสื่อสารระหว่าง gsmSSF และโครงข่ายอัจฉริยะ จะทำส่งสัญญาณหมายเลข (2) คือสัญญาณ SRI (Send Routing Information) ส่งจาก GMSC ไปยัง ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง ด้วยโปรโตคอล MAP เวอร์ชั่น 3 เพื่อร้องขอเลขหมาย MSRN จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง ที่โทรศัพท์เคลื่อนที่หมายเลข B ทำการโรมมิ่งอยู่ เมื่อ ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง ได้รับสัญญาณ SRI จะทราบจากระบบฐานข้อมูลว่าเลขหมายปลายทางเป็นหมายเลขโทรศัพท์



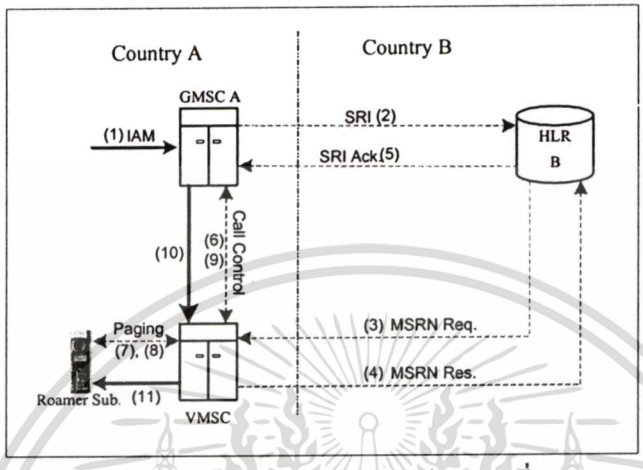
รูปที่ 3.7 การเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่ กรณีการโทรแบบปรกติสำหรับเลขหมายบัตรเติมเงินด้วยการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่

แบบบัตรเติมเงิน จะส่งสัญญาณหมายเลข (3) คือ PSI (Provide subscriber information)ไปยัง ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง เพื่อสอบถามรหัสพื้นที่ ที่เลขหมายปลายทางโรมมิ่งอยู่เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณอัตราการโทร โดย ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่น จะตอบกลับด้วย สัญญาณหมายเลข (4) คือ PSI-Ack (Provide subscriber information acknowledge) ซึ่งภายในจะระบุถึงรหัสพื้นที่ของเลขหมายปลายทาง จากนั้นขั้นตอนในการคำนวณค่าใช้จ่ายจะเริ่มต้นด้วยการติดต่อกับชุมสาย gsmSCF (Service control function) โปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างโหนด gsmSSF และ gsmSCF คือ โปรโตคอล CAMEL ดังสัญญาณหมายเลข (6) และ (7) โดยสัญญาณหมายเลข (6) คือ สัญญาณ IDP เพื่อใช้ในการสอบถามความสามารถในการรับสายของ หมายเลขโทรศัพท์ B ในการตอบกลับจาก gsmSCF สามารถตอบรับ และปฏิเสธได้ด้วยสัญญาณหมายเลข (7) ในกรณีที่ เลขหมายปลายทางได้รับอนุญาตให้ทำการรับสาย เมื่อผ่านกระบวนการเพื่อขออนุญาตในการรับสายแล้ว GMSC จะทำการส่งสัญญาณหมายเลข (12) คือ Call control transfer ซึ่งเป็นสัญญาณเฉพาะของการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่เพื่อ สั่งให้ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง เริ่มทำกระบวนการค้นหา (Paging procedure) ซึ่งโดยปรกติกระบวนการค้นหาจะถูกสั่งงานโดย ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง เพื่อค้นหาตำแหน่งที่แท้จริงของเลขหมายปลายทางว่าอยู่ในพื้นที่ใดของโครงข่าย ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง จากนั้นเมื่อเลขหมายปลายทางตอบรับการค้นหาด้วยสัญญาณหมายเลข (14) และเมื่อเลขหมายปลายทางรับสายแล้ว ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง จะตอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณกลับมายัง GMSC เพื่ออนุญาตให้ GMSC ทำการจองและเชื่อมต่อวงจรสนทนา หมายเลข (16) ไปยัง ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง เพื่อเริ่มต้นการสนทนาของเลขหมายทั้งสอง

3.4.3 การเชื่อมต่อวงจรสนทนาเมื่อเลขหมายปลายทางใช้งานในต่างแดน

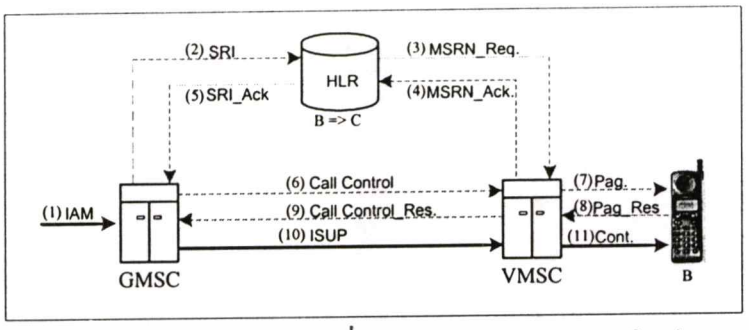


รูปที่ 3.8 การเชื่อมต่อวงจรสนทนากรณีผู้ใช้งานในต่างแดน ด้วยการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่

ในกรณีที่ผู้ใช้งานในต่างแดนด้วยวิธีการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่ (Alternative Call Routing) จะสามารถเชื่อมต่อวงจรสนทนาโดยตรงจาก GMSC A ที่เลขหมายต้นทางอยู่ ไปยังชุมสายท้องถิ่นปลายทาง ซึ่งเลขหมายปลายทางใช้งานอยู่ โดยไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่อวงจรสนทนากลับมายังเครือข่ายต้นสังกัด เหมือนเช่นการเชื่อมต่อวงจรด้วยวิธีโดยทั่วไป แต่ทั้งนี้ GMSC ในประเทศต้นทางจะต้องสามารถรองรับการทำงาน การเชื่อมต่อวงจรแบบกระจัด (Optimal Routing) คือ GMSC สามารถทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งใช้งาน (Interrogation) ไปยังระบบฐานข้อมูลบริการกลางในเครือข่ายต้นสังกัดของเบอร์ปลายทางได้ โดยการส่งสัญญาณ SRI หมายเลข (2) จากนั้น ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลางซึ่งสามารถรองรับรูปแบบการทำงานการเชื่อมต่อวงจรแบบกระจัด จะส่งสัญญาณร้องขอหมายเลข MSRN จาก ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง จากระบบชุมสายท้องถิ่นที่เลขหมายปลายทางโรมมิ่งอยู่ โดยที่สัญญาณตั้งแต่ (2)-(5) จะต้องประกอบด้วยแฟลกที่บ่งบอกการใช้การเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่เพื่อให้โครงข่ายทั้งในประเทศ A และ B ทราบเพื่อการทำงานที่ตรงกัน ทันทีที่ GMSC A ได้รับสัญญาณ SRI_Ack. จากโครงข่ายต้นสังกัดของเบอร์ปลายทางแล้วจะส่งสัญญาณ Call Control ไปยังชุมสายท้องถิ่นที่เบอร์ปลายทางโรมมิ่งอยู่ เพื่อสั่งให้เริ่มกระบวนการค้นหา (Paging Procedure) เมื่อเบอร์ปลายทางถูกตรวจพบ และรับสายแล้วจะส่งสัญญาณ Call Control Response กลับมายัง GMSC เพื่อสั่งให้เชื่อมต่อวงจรสนทนาไปยังชุมสายท้องถิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 การเชื่อมต่อวงจรสนทนากรณีการโอนสายอัตโนมัติทุกกรณี



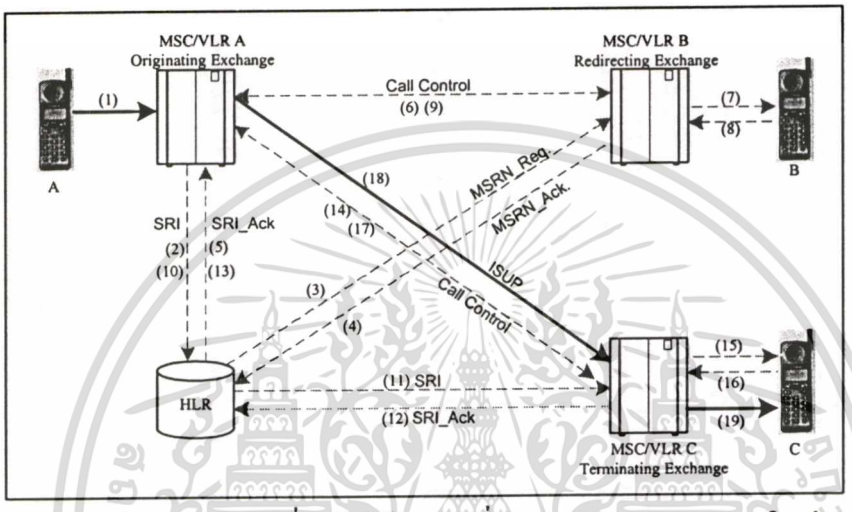
รูปที่ 3.9 การโอนสายอัตโนมัติทุกกรณี ด้วยการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่

ลักษณะการทำงานของการใช้บริการโอนสายอัตโนมัติทุกกรณีจะคล้ายกับการทำงานของ การโทรเรียกแบบปรกติภายในโครงข่ายเดียวกัน เริ่มต้นด้วยเลขหมาย A ทำการโทรไปยังเลขหมาย B ด้วยสัญญาณหมายเลข (2) คือสัญญาณ SRI (Send routing information) ส่งจาก GMSC ไปยัง ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง ด้วยโปรโตคอล MAP เวอร์ชั่น 3 เพื่อร้องขอเลขหมาย MSRN จาก ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง ที่โทรศัพท์เคลื่อนที่หมายเลข B ทำการโรมมิ่งอยู่ เมื่อระบบฐานข้อมูลบริการกลางได้รับสัญญาณนี้จะทราบจากระบบฐานข้อมูลของตนเองว่าเลขหมายโทรศัพท์ B ได้ใช้บริการโอนสายแบบไร้เงื่อนไขไปยังเบอร์โทรศัพท์หมายเลข C และทำการส่งสัญญาณ MSRN Req. (Roaming number enquiry) ไปยังระบบชุมสายท้องถิ่น หรือ ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่น ที่หมายเลข C ทำการโรมมิ่งอยู่ หลังจากนั้น ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่น จะตอบเลขหมาย MSRN กลับมายัง ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง ดังสัญญาณหมายเลข (4) และส่งต่อมาให้ GMSC ด้วยสัญญาณหมายเลข (5) จากนั้น GMSC จะทำการส่งสัญญาณหมายเลข (6) คือ Call control transfer ซึ่งเป็นสัญญาณเฉพาะของการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่เพื่อ สั่งให้ ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง เริ่มทำกระบวนการค้นหา (Paging procedure) ซึ่งโดยปรกติกระบวนการค้นหาจะถูกสั่งงานโดย ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง เพื่อค้นหาตำแหน่งที่แท้จริงของเลขหมายปลายทางว่าอยู่ในพื้นที่ใดของโครงข่าย ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง จากนั้นเมื่อเลขหมายปลายทางตอบรับการค้นหาด้วยสัญญาณหมายเลข (8) และเมื่อเลขหมายปลายทางรับสายแล้ว ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง จะตอบสัญญาณกลับมายัง GMSC เพื่ออนุญาตให้ GMSC ทำการจองและเชื่อมต่อวงจรสนทนา หมายเลข (10) ไปยัง ชุมสายท้องถิ่นปลายทาง เพื่อเริ่มต้นการสนทนาของเลขหมายทั้งสอง จะเห็นว่าการทำงานของบริการโอนสายแบบไร้เงื่อนไขจะคล้ายกับการโทรออกแบบปรกติภายในโครงข่ายเดียวกัน เพียงแต่ในสัญญาณหมายเลข (3) ระบบฐานข้อมูลกลางจะร้องขอเลขหมาย MSRN ขอเบอร์โทรศัพท์ C แทนที่จะขอ MSRN ของเลขหมาย B และสัญญาณหมายเลข (5) จะระบุส่วนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอเบอร์โทรศัพท์ C แทนที่จะขอ MSRN ของเลขหมาย B และสัญญาณหมายเลข (5) จะระบุส่วนที่บอก GMSC ว่าการโทรเรียกนี้ได้ถูกโอนสายจาก เลขหมาย B ไปยังเลขหมาย C สำหรับในบางกรณีที่ระบบชุมสายต้นทางต้องการให้มีระบบข้อความว่าขณะนี้คอลได้ทำการโอนจากเลขหมาย B ไปยังเลขหมาย C แล้ว เท่านั้น

3.4.5 การเชื่อมต่อวงจรสนทนากรณีการโอนสายอัตโนมัติแบบมีเงื่อนไข



รูปที่ 3.10 การโอนสายอัตโนมัติแบบมีเงื่อนไข ด้วยการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่

กำหนดให้หมายเลขโทรศัพท์ A โทรไปยังเลขหมาย B ซึ่งทำการเชื่อมต่อบริการโอนสายแบบมีเงื่อนไข เช่น โอนสายเมื่อไม่มีผู้รับสาย, เมื่อเลขหมายปลายทางสายไม่ว่าง หรือ กรณีที่เลขหมายปลายทางอยู่นอกพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณ ไปยังเลขหมาย C สัญญาณหมายเลข (2) – (9) จะมีกระบวนการทำงานเหมือนกับการทำงานในรูปที่ 3.10 ทุกประการ แต่สัญญาณหมายเลข (9) ในกรณีนี้จะบรรจุข้อมูลเลขหมายปลายทางของบุคคลที่สาม เพื่อให้ระบบฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่น A ใช้ในการสอบถามข้อมูลไปยัง ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง ต่อไปสำหรับเลขหมายโทรศัพท์ C ด้วยสัญญาณหมายเลข (10) เมื่อได้รับแล้ว ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการกลาง จะส่งสัญญาณหมายเลข (11) เพื่อสอบถามข้อมูล MSRN ผ่านมาให้กับ ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่น A และสั่งให้เริ่มต้นกระบวนการค้นหาด้วยสัญญาณหมายเลข (14) เมื่อเลขหมายปลายทางตอบรับแล้ววงจรสนทนาจะถูกเชื่อมต่อจากชุมสาย ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่น A ไปยัง ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่น C ได้โดยที่ไม่จำเป็นต้องผ่าน ฐานข้อมูลผู้ใช้บริการท้องถิ่น B จึงสามารถลดปริมาณการจองวงจรสนทนาลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 สรุป

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงหลักการทำงานของวิธีการโดยทั่วไปเปรียบเทียบกับหลักการทำงานด้วยวิธีที่นำเสนอ ซึ่งความแตกต่างสำคัญของหลักการใหม่ คือ การปรับปรุงแก้ไขอัลกอริธึมบนโปรโตคอลสื่อสาร MAP (Mobile Application Part) ที่ใช้สื่อสารระหว่างระบบชุมสาย และระบบฐานข้อมูลบริการกลาง เพื่อสั่งให้ระบบชุมสายต้นทางรอจนกว่าจะได้รับสัญญาณตอบรับสายจากคู่สนทนา ก่อนที่จะมีการเชื่อมต่อวงจรสนทนาไปยังชุมสายปลายทาง โดยหลักการที่นำเสนอนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ทั้งระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ปกติ และระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบบัตรเติมเงิน ทั้งนี้หลักการที่นำเสนอยังเป็นการแก้ไขปัญหาการเชื่อมต่อวงจรสนทนาข้ามประเทศ ในกรณีที่ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในต่างแดน โดยวงจรสนทนาสามารถเชื่อมต่อไปยังชุมสายโทรศัพท์ของคู่สนทนาปลายทางได้โดยตรงอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง การเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่

4.1 กล่าวนำ

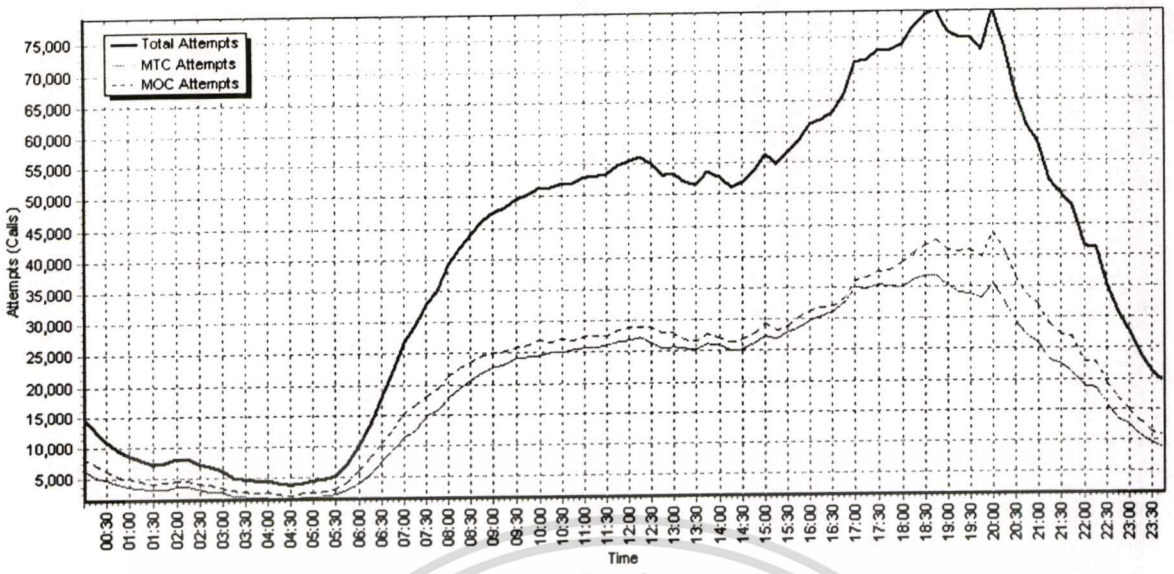
ในบทนี้เป็นการนำเสนอผลการทดลองของ การเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่ โดยอาศัยหลักการทำงานตามที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 โดยภายในบทนี้จะประกอบด้วยเนื้อหาที่สำคัญคือ ผลการเลียนแบบการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยจะแบ่งการวิเคราะห์เป็นสามส่วนหลัก คือ การวิเคราะห์ภาระของวงจรสนทนาภายในโครงข่าย (Traffic Channel Load), ภาระของวงจรสัญญาณภายในโครงข่าย (Signaling Channel Load) และ ความล่าช้าในการเชื่อมต่อวงจร (Call setup delay)

4.2 การเก็บและรวบรวมข้อมูล เพื่อใช้ในการวิเคราะห์

ในการเก็บ และรวบรวมข้อมูลทางสถิติ เพื่อนำมาใช้สำหรับวิเคราะห์ในงานวิจัย ได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากสถิติการใช้งานจริงของผู้ให้บริการโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่รายหนึ่ง เป็นระยะเวลา 5 วัน คือช่วงเวลา 19-23 กันยายน 2546 โดยวิเคราะห์จากการใช้งานในช่วงเวลาปกติ ที่พฤติกรรมของผู้ใช้งานมีลักษณะเป็นเชิงเส้นมากที่สุด ในงานวิจัยนี้จะไม่วิเคราะห์คลอบคลุมพฤติกรรมของผู้ใช้งานในช่วงเวลาที่ข้อมูลเกิดความผันผวน เช่น ในช่วงเทศกาลต่างๆ, หรือช่วงเวลาที่เกิดการปรับเปลี่ยนโครงข่าย ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ข้อมูล ในการคำนวณหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาแนวโน้มของพฤติกรรมผู้ใช้งาน จะแยกการวิเคราะห์เป็นสองส่วน คือ กรณีของการเรียกออก และการเรียกเข้า เนื่องจากข้อมูล และปัจจัยบางประการมีความแตกต่างกันของพฤติกรรมในทั้งสองกรณี เช่น ช่วงเวลาสนทนาของการเรียกออกจะมีค่าต่ำกว่า การเรียกเข้า (Average Call Duration), พฤติกรรมที่เกิดกรณีปลายทางไม่รับสาย (No-Answer), ปลายทางสายไม่ว่าง (B-Busy), ความพยายามในการเรียก (Call Attempt) เป็นต้น

จากรูปที่ 4.1 แสดงปริมาณการใช้งานของเลขหมายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ตลอดวัน โดยช่วงเวลาเร่งด่วนจะอยู่ที่เวลา 20:00 ซึ่งเกิดปริมาณการเรียกสูงสุด ดังนั้นในการออกแบบโครงข่ายที่ดีจะต้องออกแบบให้ทรัพยากรภายในชุมสายสามารถรองรับ ปริมาณการเรียกสูงสุดได้ในแต่ละวัน โดยปกติแล้วชั่วโมงเร่งด่วน (Busy Hour) ในแต่ละวันจะอยู่ในช่วงเวลา 17:00-20:00 และอาจมีปริมาณที่แตกต่างกันเล็กน้อยในแต่ละวัน ยกเว้นในกรณีพิเศษที่ในพื้นที่ของชุมสายนั้นมีเหตุการณ์พิเศษ เช่น ในช่วงเทศการปีใหม่ หรือสงกรานต์ เป็นต้น ซึ่งผู้ออกแบบโครงข่ายจะต้องคำนึงถึงปัจจัยดังกล่าวเป็นสำคัญ เพื่อคาดคะเนปริมาณการเติบโตของการใช้งานในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ปริมาณการใช้งานของชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Full day average call attempt per exchange)

4.2.1 การเก็บข้อมูลในกรณีการโทรออก (Mobile Originating Call)

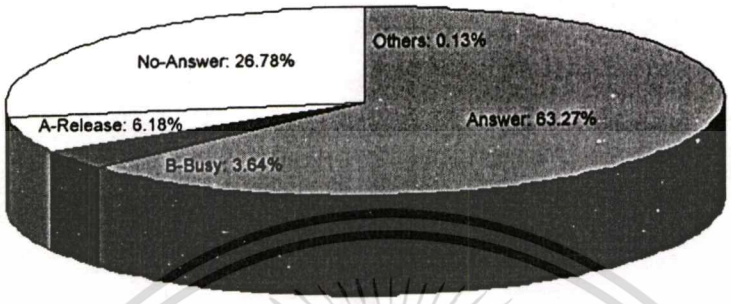
ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลการใช้งานสูงสุดในแต่ละวันของชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ กรณีการโทรออก

Call type (MOC Busy Hour Load)	19-Sep-03	20-Sep-03	21-Sep-03	22-Sep-03	23-Sep-03	Average
	18:15-19:15	19:15-20:15	19:00-20:00	17:00-18:00	18:00-19:00	
CALL_ATTEMPTS	171624	179754	165498	134814	158956	162129
SPEECH_CALL_WITH_ANSWER	108370	111408	102630	84988	101498	101779
BS_REL_WITH_ANSWER	982	1058	960	370	648	804
CALL_REL_BEF_A_ALERT	10198	11420	10702	7474	10306	10020
CALL_REL_A_ALERT	43042	46118	41834	34732	38994	40944
CALL_TIOUT_ALERT	2748	2654	2392	2120	2428	2468
UNS_MS_BUSY	6002	6662	7182	4432	5224	5900
DUR_OF_CONV_SPEECH_SERV	7700582	8387574	7444338	5528128	7260210	7264166
Answer (%)	63.72	62.57	62.59	63.32	64.26	63.27
B-Busy (%)	3.50	3.71	4.34	3.29	3.29	3.64
A-Release (%)	5.94	6.35	6.47	5.54	6.48	6.18
No-Answer (%)	26.68	27.13	26.72	27.34	26.06	26.78
Others (%)	0.16	0.24	-0.12	0.52	-0.09	0.13
MOC Success Rate (%)	99.84	99.76	100.12	99.48	100.09	99.87
Average Call Setup (Sec)	1.54	1.53	1.52	1.55	1.54	1.536
Average Paging Duration (Sec)	1.77	1.78	1.77	1.77	1.76	1.77
Average Call Duration (Sec)	70.42	74.58	71.86	64.76	71.08	70.81

จากตารางที่ 4.1 เป็นตารางแสดงค่าการใช้งานสูงสุดในแต่ละวัน ของชุมสายโทรศัพท์จากผู้ให้บริการรายหนึ่ง ในช่วงวันที่ 19-23 กันยายน 2546 ซึ่งเป็นช่วงที่พฤติกรรมของผู้ใช้งานมีความผัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผวนต่ำสุดจากนั้นนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณภาระของวงจรสนทนาโดยรวมที่เกิดขึ้นในชั่วโมงเร่งด่วน และทำการเปรียบเทียบกับวิธีการเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยหลักการที่นำเสนอโดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดของการโทรออกที่ 162,129 ครั้ง และช่วงเวลาการสนทนาเฉลี่ยเท่ากับ 70.81 วินาที



รูปที่ 4.2 รูปแผนภูมิวงกลมค่าเฉลี่ยของพฤติกกรมผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่กรณีการเรียกออก

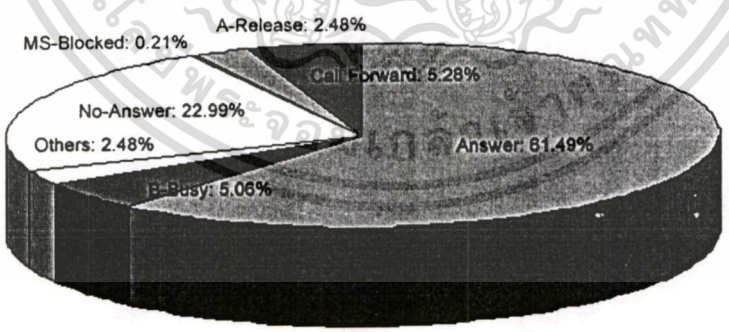
4.2.2 การเก็บข้อมูลในกรณีการรับสายภายในชุมสายโทรศัพท์ (Mobile Terminating Call)

จากตารางที่ 4.2 เป็นตารางแสดงปริมาณการใช้งานสูงสุดแต่ละวันภายในชุมสายโทรศัพท์จากผู้ให้บริการรายหนึ่ง ในช่วงวันที่ 19-23 กันยายน 2546 ซึ่งเป็นช่วงที่พฤติกรรมของผู้ใช้งานมีความผันผวนต่ำสุด โดยมีค่าเฉลี่ยของการรับสายตลอดทั้งวันภายในชุมสายเท่ากับ 138,038 ครั้ง และแจกแจงเป็นร้อยละของการโทรในกรณีต่างๆ โดยมีค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการสนทนาเท่ากับ 97.78 วินาที นอกจากนี้ในกรณีของการรับสายยังประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญ คือ จำนวนการเกิดกรณีโอนสายอัตโนมัติ ซึ่งจากข้อมูลที่ทำการสำรวจอยู่ที่ 5.28% ของปริมาณการรับสายทั้งสิ้นภายในโครงข่าย เป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับใช้ในการวิเคราะห์วงจรสนทนาที่จะถูกจองระหว่างชุมสายโทรศัพท์ ซึ่งเมื่อใช้การเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยวิธีการที่นำเสนอ การเชื่อมต่อวงจรลักษณะนี้จะถูกยกเลิก เนื่องจากขั้นตอนการทำงานสามารถกระทำได้บนช่องสัญญาณหมายเลขเจ็ด ทั้งสิ้น เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4.2 มาแจกแจงเป็นแผนภูมิวงกลมจะได้ดังรูปที่ 4.4 โดยการเปรียบเทียบกับปริมาณการเรียกเข้ารวมทั้งหมดในทุกๆกรณีของการเรียกนั้น วงจรสนทนาระหว่างชุมสายจะถูกจับใช้งานไม่ว่ากรณีเลขหมายปลายทางไม่รับสาย, เลขหมายปลายทางสายไม่ว่าง หรือโอนสายอัตโนมัติโดยวงจรสนทนาที่ถูกจองใช้งานเหล่านี้จะถูกแก้ไขด้วยวิธีการที่นำเสนอเหลือเพียงกรณีที่ปลายทางรับสาย และเกิดการสนทนาระหว่างคู่สายเท่านั้น จึ่งจะมีการจองวงจรสนทนาระหว่างชุมสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลการใช้งานสูงสุดในแต่ละวันของชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ กรณีการรับสาย

Call Type (MTC Busy Hour Load)	19-Sep-03	20-Sep-03	21-Sep-03	22-Sep-03	23-Sep-03	Average
	18:15-19:15	19:15-20:15	19:00-20:00	17:00-18:00	18:00-19:00	
GEN_TRAF_CHAN_REQ	128820	129646	116776	113418	119648	121662
CALL_ATTEMPTS	144950	149288	135654	126076	134222	138038
STARTED_PAGING_PROC	135522	136908	123080	118772	125994	128055
SPEECH_CALL_WITH_ANSWER	90386	88738	81444	79170	84098	84767
BS_REL_WITH_ANS	80	72	36	36	50	55
CALL_REL_BEF_A_ALERT	3538	3954	3464	2990	3234	3436
CALL_REL_ALERT	32478	35848	32004	28456	30014	31760
UNS_MS_BUSY	6842	8256	7922	5778	6238	7007
UNS_MS_BLOCKED	304	324	268	280	284	292
RECEIVED_PAG_RESP	129566	130566	117552	114060	120366	122422
DUR_OF_CONV_SPEECH_SERV	8617050	9195622	8331486	7107714	8257788	8301932
CALL_END_CALL_FORW	7818	8146	6780	6348	7404	7299
Answer (%)	62.41	59.49	60.06	62.82	62.69	61.49
B-Busy (%)	4.72	5.53	5.84	4.58	4.65	5.06
A-Release (%)	2.44	2.65	2.55	2.37	2.41	2.48
No-Answer (%)	22.41	24.01	23.59	22.57	22.36	22.99
MS-Blocked (%)	0.21	0.22	0.2	0.22	0.21	0.21
Call Forwarding (%)	5.39	5.46	5	5.04	5.52	5.28
Others (%)	2.42	2.64	2.76	2.4	2.16	2.48
Average Call Setup (Sec)	1.54	1.53	1.52	1.55	1.54	1.536
Average Paging Duration (Sec)	1.77	1.78	1.77	1.77	1.76	1.77
Average Call Duration (Sec)	95.25	103.54	102.25	89.74	98.13	97.78
MTC Setup Rate (%)	99.42	99.3	99.34	99.44	99.4	99.38
MTC Success Rate (%)	97.58	97.36	97.24	97.6	97.84	97.52



รูปที่ 4.3 รูปแผนภูมิวงกลมค่าเฉลี่ยของการรับสายในแต่ละกรณีของผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การเก็บข้อมูลการลงทะเบียนของเลขหมายภายในชุมสายโทรศัพท์ (Location Update)

ข้อมูลที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ อัตราการลงทะเบียนของเลขหมายโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในระบบชุมสาย ซึ่งเมื่อเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยหลักการที่นำเสนอนี้ จะส่งผลให้ปริมาณสัญญาณที่รับส่งระหว่างระบบฐานข้อมูลท้องถิ่น (VLR) และระบบฐานข้อมูลบริการกลาง (HLR) สูงขึ้น เนื่องจากข้อมูลส่วนตัวของผู้ใช้งานจะต้องระบุว่าเลขหมายโทรศัพท์ดังกล่าว มีบริการการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะติดตามผู้ใช้งานไปด้วย เมื่อไปใช้งานในชุมสายท้องถิ่น ดังนั้นจึงต้องมีการเก็บข้อมูลในส่วนของปริมาณการลงทะเบียนของผู้ใช้งาน เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบปริมาณภาระของวงจรสัญญาณภายหลังจากใช้งานการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่ โดยปกติกระบวนการลงทะเบียนจะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การลงทะเบียนที่อยู่ภายในระบบฐานข้อมูลท้องถิ่นเดิม (Location update in Same VLR) และการลงทะเบียนภายในระบบฐานข้อมูลท้องถิ่นใหม่ (Location update in New VLR) ซึ่งปริมาณข้อมูลที่รับ-ส่งในสองกรณีดังกล่าวจะไม่เท่ากัน โดยการลงทะเบียนในระบบฐานข้อมูลท้องถิ่นใหม่จะมีค่าสูงกว่า เนื่องจากข้อมูลของผู้ใช้งานทั้งหมดจะต้องถูกโอนจากระบบฐานข้อมูลบริการกลางไปยังระบบฐานข้อมูลท้องถิ่นตัวใหม่ ในขณะที่การลงทะเบียนในระบบฐานข้อมูลท้องถิ่นเดิมจะมีเฉพาะตำแหน่งของระบบฐานข้อมูลท้องถิ่นและเลขหมาย IMSI เท่านั้น จึงทำให้ปริมาณข้อมูลที่รับ-ส่งมีจำนวนน้อยกว่า

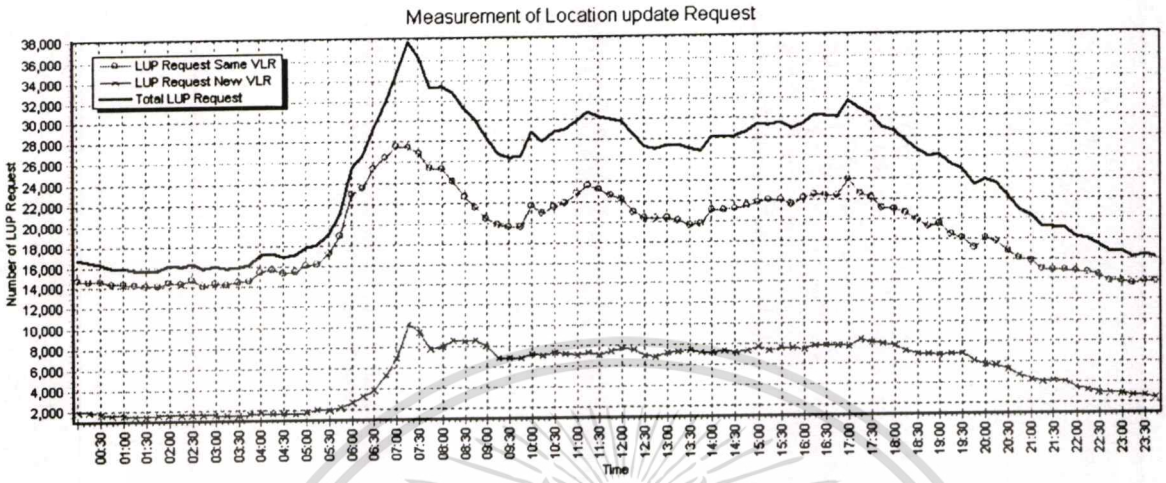
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยของกระบวนการลงทะเบียนในช่วงเวลาเร่งด่วน

Location Update Type (Busy Hour)	19-Sep-03	20-Sep-03	21-Sep-03	22-Sep-03	23-Sep-03	Average
	18:15-19:15	19:15-20:15	19:00-20:00	17:00-18:00	18:00-19:00	
REQ_LUP_SAME_VLR	79176	74718	71990	88246	78140	78454.00
REQ_LUP_NEW_VLR	27598	25134	22664	29488	25330	26042.80
Others	2884	2403	2337	2772	2849	2649.00
TOTAL_LUP_REQ	109658	102255	96991	120506	106319	107145.80
LUP Success Rate (%)	97.37	97.65	97.59	97.7	97.32	97.53
Others (%)	2.63	2.35	2.41	2.3	2.68	78454.00

ตารางที่ 4.3 เป็นข้อมูลทางสถิติที่ใช้งานจริงภายในโครงข่ายพบว่าในช่วงที่ทำกระบวนการลงทะเบียนสูงสุดอยู่ที่เวลา 07:00-08:00 ในแต่ละวัน ดังกราฟรูปที่ 4.4 แต่เนื่องจากช่วงเวลาเร่งด่วนที่ทำให้เกิดภาระในการรับ-ส่งสัญญาณสูงสุด เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของทั้งกรณีการโทรออก, การรับสายและกระบวนการลงทะเบียนคือ ช่วงเวลาประมาณ 18:00-19:00 ดังนั้นจึงนำข้อมูลทางสถิติในช่วงเวลาดังกล่าวมาใช้ในการพิจารณา โดยมีค่าเฉลี่ยของการลงทะเบียนสำเร็จอยู่ที่ 97.53% และล้มเหลวเพียง 2.47% อาจเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ เช่น เลขหมายที่ขอลงทะเบียนไม่มีในระบบฐานข้อมูล, เลขหมายที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลงทะเบียนใช้เครื่องที่อยู่ในบัญชีดำ (Black List) หรือเลขหมายดังกล่าวถูกยกเลิก เป็นต้น ปริมาณการลงทะเบียนเฉลี่ยในแต่ละวันสามารถแสดงได้ดังกราฟรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงปริมาณการลงทะเบียนของเลขหมายโทรศัพท์เฉลี่ยตลอดวัน

4.3 การวิเคราะห์ภาระของวงจรสนทนาภายในโครงข่าย (Traffic Channel Load)

ภาระของวงจรสนทนาภายในโครงข่ายจะวิเคราะห์จากอัตราการจองวงจรสนทนา ในช่วงเวลาที่กำหนด โดยเริ่มนับจากช่วงเวลาที่วงจรสนทนาเริ่มถูกจอง ไปจนกระทั่งการสนทนาสิ้นสุดลง และวงจรสนทนากลับมาอยู่ในสถานะว่าง ซึ่งเมื่อใช้หลักการเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยวิธีการแบบใหม่จะสามารถลดภาระในการใช้งานวงจรลงได้ เพราะวงจรสนทนาจะถูกจองภายหลังจากที่เลขหมายปลายทางถูกตรวจพบโดยระบบ และทำการรับสายแล้วเท่านั้น โดยทำการเปรียบเทียบภาระของวงจรสนทนาที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเชื่อมต่อวงจรด้วยวิธีทั้งสอง และจำนวนวงจรสนทนาที่สามารถลดลงภายในระบบชุมสาย โดยสมการที่ (4.1) เป็นการคำนวณหาปริมาณภาระของวงจรสนทนาเฉลี่ยภายในระบบชุมสาย โดยพิจารณาที่เหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกรณีของการโทรออก และรับสาย โดยหน่วยที่ได้จะมีค่าเป็น เออแลงค์ โดยที่ 1 เออแลงค์ จะหมายถึง ปริมาณของความแออัดที่มีอยู่ในหนึ่งช่วงเวลา ยกตัวอย่างเช่น ถ้าช่องสัญญาณหนึ่งมีการใช้งานอยู่ทั้งหมด 15 นาที ในช่วงเวลาทั้งหมด 1 ชั่วโมง ก็จะกล่าวได้ว่ามีความแออัดเท่ากับ 0.25 เออแลงค์ ในการเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยวิธีโดยทั่วไปนั้น วงจรสนทนาจะถูกจองโดยระบบชุมสายตั้งแต่เลขหมายต้นทางได้รับค่า MSRN ตอบกลับมาจาก ชุมสายท้องถิ่น (VMSC) โดยการส่งสัญญาณ IAM (Initial Address Message)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ภาระของวงจรสนทนาในกรณีที่เลขหมายโทรออก (Traffic channel load for Mobile originating call)

ในการคำนวณภาระของวงจรสนทนาในกรณีของการโทรออกจะใช้ข้อมูลจากตารางที่ 4.1 และสมการที่ (4.1) เพื่อหาค่าภาระของเกิดขึ้นจริงภายในระบบชุมสาย โดยมีการกำหนดค่าที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้ในการคำนวณด้วย ดังในตารางที่ 4.3

$$Load_T = \frac{A_T}{3600} * \sum_{i=1}^{k} (T_i * P_i) \qquad (4.1)$$

สมการที่ (4.1) เป็นสมการสำหรับคำนวณภาระเฉลี่ยของวงจรสนทนาภายในชุมสายโทรศัพท์ โดยที่

$Load_T$ หมายถึง ภาระเฉลี่ยของวงจรสนทนาภายในชุมสายโทรศัพท์ (เออแลงค์/ชั่วโมง)

T_i หมายถึง ช่วงเวลาเฉลี่ยของการสนทนา (วินาที)

P_i หมายถึง ความน่าจะเป็นที่เกิดกรณีต่างๆของการโทรเรียก

A_T หมายถึง ความพยายามในการโทรเรียกทั้งหมด (ครั้ง)

โดยที่ ค่า i สามารถแปรตามเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นสำหรับกรณีการโทรออก ตามข้อมูลในตารางที่ 4.1 คือ

i = 1 หมายถึง กรณีที่เลขหมายปลายทางรับสาย (Answer)

i = 2 หมายถึง กรณีที่เลขหมายปลายทางสายไม่ว่าง (B-Busy)

i = 3 หมายถึง กรณีที่มีการว่างสายในระหว่างการเชื่อมต่อวงจรสนทนาระหว่างคู่สาย (A-Release)

i = 4 หมายถึง กรณีที่เลขหมายปลายทางไม่รับสาย (No-Answer)

i = 5 หมายถึง กรณีอื่นๆ เช่น กดเลขหมายผิด, ถูกระงับการใช้งาน เป็นต้น (Others)

ตัวอย่างการคำนวณภาระของวงจรสนทนากรณีการโทรออก

การเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยวิธีโดยทั่วไป (Conventional Call Routing)

จากสมการที่ (4.1) และข้อมูลในตารางที่ 4.3 จะสามารถคำนวณปริมาณภาระของวงจรสนทนาทั้งหมดภายในระบบชุมสาย ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.3 แสดงช่วงเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของการเชื่อมต่อวงจรสนทนากรณีการโทรออก

Procedure	Time (Sec.)	Call type	Seizer Time (Conventional)	Seizer Time (Alternative)
Average call duration (τ_1)	70.81	Answer	(τ_1)+ (τ_2)+ (τ_3)+ (τ_4)= 77.116	(τ_1) = 70.81
Paging procedure (τ_2)	1.77	B-Busy	(τ_3) = 1.536	0
Call setup (τ_3)	1.536	A-Release	(τ_2)+ (τ_3) = 3.306	0
Time before Answer (τ_4)	3.0	No-Answer	(τ_2)+ (τ_3)+(τ_5)= 33.306	0
No answer (τ_5)	30	Other	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่กรณีอื่นๆ (Others) จะไม่เกิดการจองวงจรสนทนา เนื่องจากสิ้นสุดการเรียกก่อนที่วงจรสนทนาจะถูกจองโดยระบบชุมสาย ดังนั้นการคำนวณจึงพิจารณาเพียง กรณีที่ 1 ถึง 4 และกำหนดให้ความพยายามในการเรียกในชั่วโมงเร่งด่วน (A_T) มีค่าเท่ากับ 500,000 ครั้ง

$$Load_T = \frac{A_T}{3600} * \sum_{i=1}^{4} (T_i * P_i) \tag{4.2}$$

$$Load_T = (A_T/3{,}600)* [(T_1*P_1)+ (T_2*P_2)+ (T_3*P_3)+ (T_4*P_4)] \tag{4.3}$$

$$Load_T = (500{,}000/3600)*[(77.116*0.6372)+(1.536*0.035)+(3.306*0.0594)+(33.306*0.2668)] \tag{4.4}$$

$$Load_T = 8{,}093.68 \text{ เออแลงค์/ชั่วโมง} \tag{4.5}$$

เมื่อกำหนดให้วงจรสนทนาหนึ่งวงจรสามารถรองรับปริมาณภาระที่ 0.75 เออแลงค์ หมายถึงในช่วงเวลา 60 นาที วงจรสนทนาหนึ่งวงจร ถูกจองโดยระบบชุมสายเป็นเวลา 45 นาที ดังนั้นสามารถคำนวณหาจำนวนวงจรสนทนา เพื่อรองรับปริมาณการเรียกในชั่วโมงเร่งด่วนได้ เท่ากับ

$$Trunk = \frac{Load_{Total}}{Load_{Trunk}} \tag{4.6}$$

$$Trunk = 8{,}093.68/0.75 \tag{4.7}$$

$Trunk = 10{,}791.57 \approx 10{,}792$ วงจร เพื่อรองรับปริมาณการเรียกสูงสุดในชั่วโมงเร่งด่วน

การเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยวิธีที่นำเสนอ (Alternative Call Routing)

ด้วยหลักการที่นำเสนอวงจรสนทนาจะถูกจองเฉพาะในช่วงเวลาของการสนทนาเท่านั้น เนื่องจากกระบวนการค้นหา, การเชื่อมต่อวงจรสนทนาเมื่อไม่มีผู้รับสาย, และกรณีที่ปลายทางสายไม่ว่าง จะถูกกระทำบนช่องสัญญาณหมายเลขเจ็ด ทั้งสิ้น ดังนั้นจากสมการที่ (4.1) จะสามารถคำนวณปริมาณภาระของวงจรสนทนาทั้งหมดภายในระบบชุมสาย ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Load_T = \frac{A_T}{3600} * \sum_{i=1}^{1} (T_i * P_i) \quad (4.8)$$

$$\text{Load}_T = (500{,}000/3600)*[70.81*0.6372] \quad (4.9)$$

$$\text{Load}_T = 6{,}266.685 \text{ เออแลงค์/ชั่วโมง} \quad (4.10)$$

จำนวนวงจรสนทนาทั้งหมดภายในชุมสาย เพื่อรองรับภาระที่เกิดขึ้นจากปริมาณการเรียกเข้า ที่ 500,000 ครั้ง/ชั่วโมง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.11)

$$Trunk = \frac{Load_{Total}}{Load_{Trunk}} \quad (4.11)$$

$$\text{Trunk} = 6266.685/0.7 \quad (4.12)$$

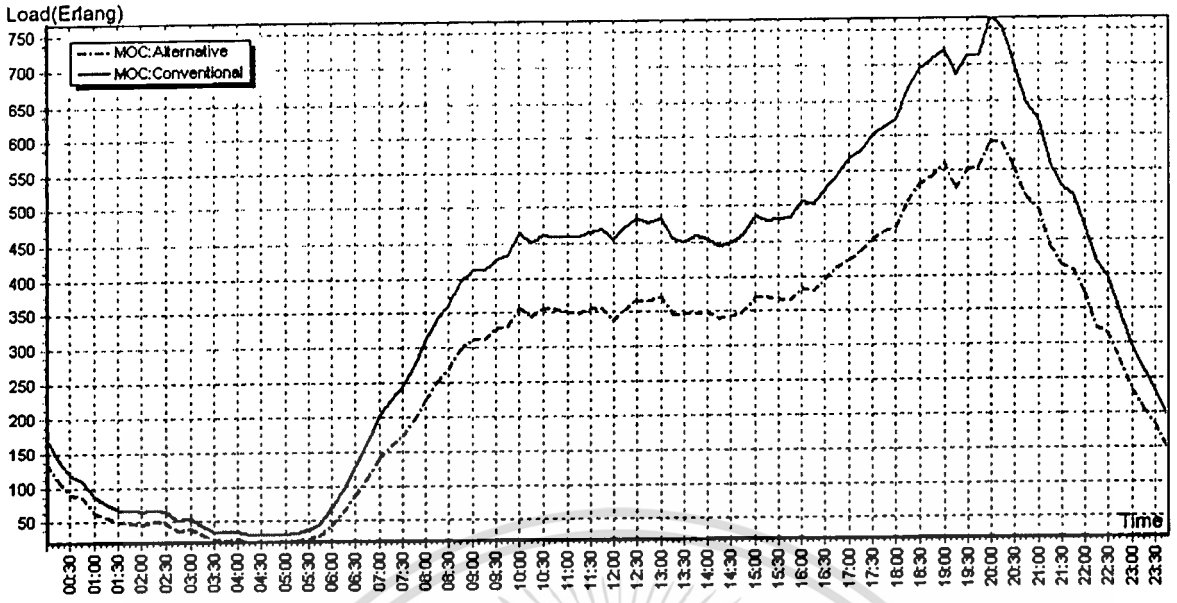
$$\text{Trunk} = 8355.58 \approx 8{,}356 \text{ วงจร} \quad (4.13)$$

ผลการเปรียบเทียบกรณีการโทรออก

เมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณที่ปริมาณการเรียกเข้าที่ 500,000 ครั้ง/ชั่วโมง พบว่าการเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยวิธีการที่นำเสนอสามารถลดภาระของวงจรสนทนาลงได้ถึง 1,827 เออแลงค์ โดยคิดเป็นจำนวนวงจรสนทนาที่สามารถลดลงได้เท่ากับ 2,436 วงจร หรือ 22.57% ของจำนวนวงจรสนทนาเมื่อเชื่อมต่อด้วยหลักการโดยทั่วไป

ผลการเลียนแบบในรูปที่ 4.5 เป็นการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์ Traffic measurement ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยเส้นทึบสีแดงแสดงปริมาณภาระของวงจรสนทนาเมื่อใช้การเชื่อมต่อวงจรด้วยวิธีโดยทั่วไป ส่วนเส้นประสีน้ำเงินเป็นภาระของวงจรสนทนาเมื่อใช้การเชื่อมต่อวงจรด้วยวิธีการที่นำเสนอ ซึ่งสามารถลดปริมาณการใช้งานวงจรสนทนาลงได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาเร่งด่วน (Busy Hour) ในเวลา 20:00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ผลการเลียนแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กรณีของการโทรออก

4.3.2 ภาระของวงจรสนทนาในกรณีที่เลขหมายรับสาย (Traffic channel load for Mobile terminating call)

ในการคำนวณภาระของวงจรสนทนาในกรณีของการรับสายจะใช้ข้อมูลจากตารางที่ 4.2 และสมการที่ (4.1) แต่ต่างจากกรณีของการโทรออกคือ ค่า i มีค่าตั้งแต่ 1-7 โดยเพิ่มกรณีที่เลขหมายปลายทางถูกระงับ และกรณีที่เกิดการโอนสายอัตโนมัติ โดยที่ ค่า i สามารถแปรตามเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นสำหรับกรณีการรับสาย ตามข้อมูลในตารางที่ 4.2 คือ

i = 1 หมายถึง กรณีที่เลขหมายปลายทางรับสาย (Answer)

i = 2 หมายถึง กรณีที่เลขหมายปลายทางสายไม่ว่าง (B-Busy)

i = 3 หมายถึง กรณีที่มีการว่างสายในระหว่างการเชื่อมต่อวงจรสนทนาระหว่างคู่สาย (A-Release)

i = 4 หมายถึง กรณีที่เลขหมายปลายทางไม่รับสาย (No-Answer)

i = 5 หมายถึง กรณีที่เลขหมายปลายทางใช้บริการโอนสายอัตโนมัติ (Call Forwarding)

i = 6 หมายถึง กรณีที่เลขหมายปลายทางถูกระงับ (MS-Blocked)

i = 7 หมายถึง กรณีอื่นๆ เช่น กดเลขหมายผิด, ถูกระงับการใช้งาน เป็นต้น (Others)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณภาระของวงจรสนทนากรณีการรับสาย

การเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยวิธีโดยทั่วไป (Conventional Call Routing)

จากสมการที่ (4.1) และข้อมูลในตารางที่ 4.3 จะสามารถคำนวณปริมาณภาระของวงจรสนทนาทั้งหมดภายในระบบชุมสาย ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.4 แสดงช่วงเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของการเชื่อมต่อวงจรสนทนากรณีการรับสาย

Procedure	Time (Sec.)	Call type	Seizer Time (Conventional)	Seizer Time (Alternative)
Average call duration (τ_1)	97.78	Answer	(τ_1)+ (τ_2)+ (τ_3)+ (τ_4)= 104.086	(τ_1) = 97.78
Paging procedure (τ_2)	1.77	B-Busy	(τ_3) = 1.536	0
Call setup (τ_3)	1.536	A-Release	(τ_2)+ (τ_3) = 3.306	0
Time before Answer (τ_4)	3.0	No-Answer	(τ_2)+ (τ_3)+(τ_5)= 33.306	0
No answer (τ_5)	30	Forward	2*[(τ_1)+ (τ_2)+ (τ_3)+ (τ_4)]= 208.172	(τ_1) = 97.78
		MS-Blocked	0	0
		Other	0	0

กำหนดให้ความพยายามในการเรียกในชั่วโมงเร่งด่วน (A_T) มีค่าเท่ากับ 500,000 ครั้ง

$$Load_T = \frac{A_T}{3600} * \sum_{i=1}^{7} (T_i * P_i) \qquad (4.14)$$

แต่เนื่องจากกรณีที่เลขหมายปลายทางถูกระงับ และกรณีอื่น จะไม่มีการจองของวงจรสนทนาระหว่างชุมสายดังนั้น จึงพิจารณาค่า i ตั้งแต่ (1)-(5)

$$Load_T = (A_T/3,600)*[(T_1*P_1)+ (T_2*P_2)+ (T_3*P_3)+ (T_4*P_4)+ (T_5*P_5)] \qquad (4.15)$$

$$Load_T = (500,000/3,600)*[(104.086*0.6241)+(1.536*0.0472)+(3.306*0.0244)+(33.306*0.2241)+ (208.172*0.0539)] \qquad (4.16)$$

$$Load_T = 11,638.55 \text{ เออแลงค์/ชั่วโมง} \qquad (4.17)$$

เมื่อกำหนดให้วงจรสนทนาหนึ่งวงจรสามารถรองรับปริมาณภาระที่ 0.75 เออแลงค์ หมายถึง ในช่วงเวลา 60 นาที วงจรสนทนาหนึ่งวงจร ถูกจองโดยระบบชุมสายเป็นเวลา 45 นาที ดังนั้นสามารถคำนวณหาจำนวนวงจรสนทนา เพื่อรองรับปริมาณการเรียกในชั่วโมงเร่งด่วนได้ เท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Trunk = \frac{Load_{Total}}{Load_{Trunk}} \tag{4.18}$$

$$\text{Trunk} = (11{,}638.55/0.75) \tag{4.19}$$

Trunk = 15518.07 ≈ 15,519 วงจร เพื่อรองรับปริมาณการเรียกสูงสุดในชั่วโมงเร่งด่วน

การเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยวิธีที่นำเสนอ (Alternative Call Routing)

ด้วยหลักการที่นำเสนอวงจรสนทนาจะถูกจองเฉพาะในช่วงเวลาของการสนทนาเท่านั้น เนื่องจากกระบวนการค้นหา, การเชื่อมต่อวงจรสนทนาเมื่อไม่มีผู้รับสาย, และกรณีที่ปลายทางสายไม่ว่าง จะถูกกระทำบนช่องสัญญาณหมายเลขเจ็ดทั้งสิ้น ดังนั้นจากในสมการที่ (4.1) จะสามารถคำนวณปริมาณภาระของวงจรสนทนาทั้งหมดภายในระบบชุมสาย ได้ดังนี้

$$Load_T = \frac{A_T}{3600} * \sum_{i=1}^{7} (T_i * P_i) \tag{4.20}$$

แต่เนื่องจากวงจรสนทนา ถูกจองโดยระบบชุมสายเฉพาะในกรณีที่เลขหมายปลายทางรับสาย และกรณีของการโอนสายอัตโนมัติ เท่านั้น ดังนั้นจากสมการที่ (4.20) จะแทนค่าได้เท่ากับ

$$\text{Load}_T = (500{,}000/3{,}600)*[(97.78*0.6241)+(97.78*0.0539)] \tag{4.21}$$

$$\text{Load}_T = 9{,}207.62 \text{ เออแลงค์/ชั่วโมง} \tag{4.22}$$

จำนวนวงจรสนทนาทั้งหมดภายในชุมสาย เพื่อรองรับภาระ ที่เกิดขึ้นจากปริมาณการเรียกเข้าที่ 500,000 ครั้ง/ชั่วโมง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.23)

$$Trunk = \frac{Load_{Total}}{Load_{Trunk}} \tag{4.23}$$

$$\text{Trunk} = (9{,}207.62/0.75) \tag{4.24}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

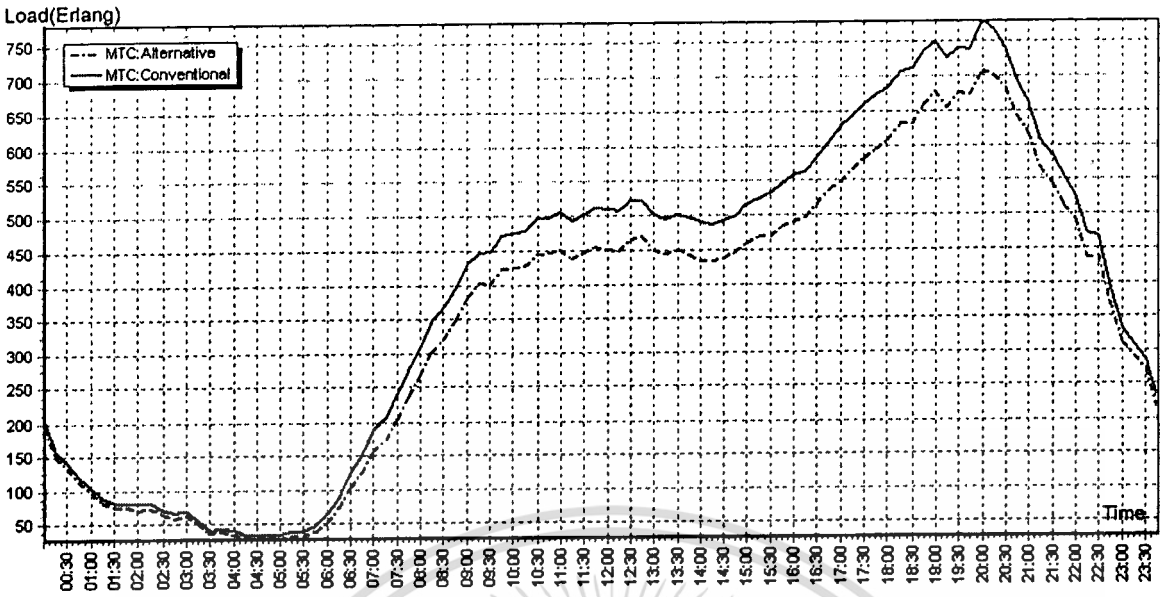
$$\text{Trunk} = 12{,}276.82 \approx 12{,}277 \text{ วงจร} \quad (4.25)$$

ผลการเปรียบเทียบกรณีการรับสาย

เมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณที่ปริมาณการเรียกเข้าที่ 500,000 ครั้ง/ชั่วโมง พบว่าการเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยวิธีการที่นำเสนอสามารถลดภาระของวงจรสนทนาลงได้ถึง 2,430.93 เออแลงค์ โดยคิดเป็นจำนวนวงจรสนทนาที่สามารถลดลงได้เท่ากับ 3,242 วงจร หรือ 20.89% ของจำนวนวงจรสนทนาเมื่อเชื่อมต่อด้วยหลักการโดยทั่วไป

ผลการเลียนแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในรูปที่ 4.6 เป็นการจำลองสถานะ การทำงานด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ Traffic measurement ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยเส้นทึบสีแดงแสดงปริมาณภาระของวงจรสนทนาเมื่อใช้การเชื่อมต่อวงจรด้วยวิธีโดยทั่วไป ส่วนเส้นประสีน้ำเงินเป็นภาระของวงจรสนทนาเมื่อใช้การเชื่อมต่อวงจรด้วยวิธีการที่นำเสนอ ซึ่งสามารถลดปริมาณการใช้งานวงจรสนทนาลงได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาเร่งด่วน (Busy Hour) ในเวลา 20:00 โดยกรณีที่ปลายทางรับสาย (Answer) ด้วยการเชื่อมต่อวงจรสนทนาโดยวิธีทั่วไปนั้น วงจรสนทนาจะถูกจองโดยตลอดจากชุมสายต้นทางจนถึงชุมสายปลายทาง เป็นระยะเวลา เท่ากับ 76.18 วินาที โดย วงจรสนทนาจะต้องถูกจองตั้งแต่ชุมสายต้นทาง ได้รับสัญญาณ MSRN กลับมาจากชุมสายท้องถิ่น (VMSC) ที่เลขหมายปลายทางโรมมิ่งอยู่ ดังนั้นช่วงเวลาทั้งหมดที่วงจรสนทนาจะถูกจองระหว่างชุมสายต้นทาง จนถึงชุมสายปลายทาง คือ ผลรวมของเวลาที่เกิดจาก การสนทนาระหว่างเลขหมายต้นทางและเลขหมายปลายทาง, เวลาเฉลี่ยของกระบวนการค้นหา, เวลาเฉลี่ยของการเชื่อมต่อวงจร และเวลาเฉลี่ยก่อนที่เลขหมายปลายทางจะรับสาย ในขณะที่การเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยวิธีการแบบใหม่สามารถขจัดช่วงเวลาการจองวงจรสนทนาที่ไม่จำเป็นทิ้งไป เหลือเพียงช่วงเวลาของการสนทนาจริงระหว่างคู่สายเท่านั้น การโทรเรียกเมื่อเลขหมายปลายทางไม่รับสาย เมื่อเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยวิธีโดยทั่วไป จากตารางที่ 4.4 จะเห็นว่า วงจรสนทนายังคงถูกจองไว้ใช้งานเป็นเวลา เท่ากับผลรวมของเวลาเฉลี่ยของกระบวนการค้นหา, เวลาเฉลี่ยของการเชื่อมต่อวงจร และเวลาเฉลี่ยของการรอเมื่อเลขหมายปลายทางไม่รับสาย ในขณะที่การเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยวิธีการแบบใหม่วงจรสนทนาจะไม่ถูกจองระหว่างชุมสายทั้งสิ้น ส่วนการวางสายในระหว่างการเชื่อมต่อวงจรสนทนาระหว่างคู่สาย ในกรณีนี้วงจรสนทนาจะถูกจองเป็นเวลาเท่ากับเวลาเฉลี่ยของการเชื่อมต่อวงจรจากชุมสายต้นทางไปยังชุมสายปลายทางบวกกับเวลาของกระบวนการค้นหา และเกิดกรณีวางสาย หรือสายหลุดอันเนื่องมาจากสาเหตุความผิดปกติทางเทคนิคเมื่อใช้หลักการที่นำเสนอจะไม่มีการจองวงจรสนทนาทั้งสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



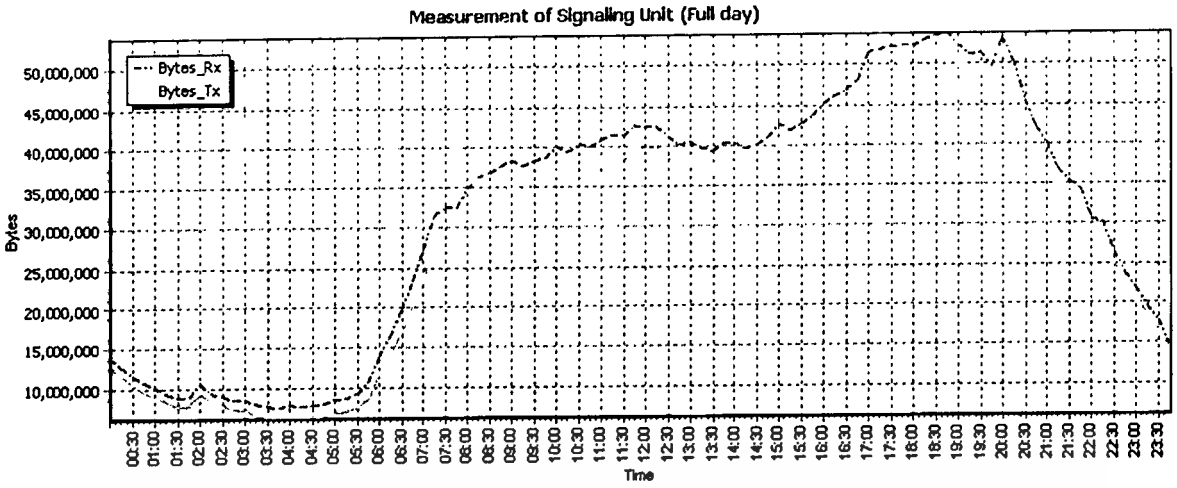
รูปที่ 4.6 ผลการเลียนแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กรณีของการรับสาย

4.4 ภาระของวงจรสัญญาณภายในโครงข่าย (Signaling Channel Load)

ในหัวข้อนี้จะวิเคราะห์ถึงปริมาณของสัญญาณที่จะต้องรับ-ส่งระหว่างระบบชุมสายด้วยโปรโตคอลสื่อสาร ISUP: ISDN User Part ซึ่งใช้ติดต่อระหว่างระบบชุมสายต้นทาง-ปลายทาง สำหรับเชื่อมต่อวงจรสนทนา และโปรโตคอล MAP: Mobile Application Part ซึ่งใช้ในการสอบถามข้อมูลเลขหมายปลายทางไปยังระบบฐานข้อมูลบริการกลาง (HLR) รวมทั้งชุมสายผู้ใช้งานท้องถิ่น (VLR) โดยในส่วนของการวิเคราะห์โปรโตคอลระหว่างระบบชุมสาย และระบบควบคุมสถานีฐาน (BSC) จะไม่นำมากล่าวถึงในหัวข้อนี้ เนื่องจากในงานวิจัยนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโปรโตคอลใดๆที่ใช้สื่อสารกับระบบควบคุมสถานีฐาน ดังนั้นสัญญาณที่ใช้ในการรับ-ส่งจึงไม่มีความแตกต่างจากหลักการที่ใช้โดยทั่วไปจึงไม่นำมาวิเคราะห์ในที่นี้

จากข้อมูลทางสถิติในตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 ซึ่งได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากการใช้งานจริงภายจากชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในช่วงเวลา 5 วัน คือวันที่ 19 กันยายน 2546 ถึง วันที่ 23 กันยายน 2546 พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณสัญญาณที่รับเข้า ในช่วงเวลาเร่งด่วนมีค่าสูงกว่า ปริมาณสัญญาณที่ส่งออกภายนอกชุมสาย ทั้งนี้เนื่องจากในบางกรณีที่การเรียกสิ้นสุดลงภายในชุมสาย เช่น กรณีที่มีการเรียกเข้ามายังเลขหมายโทรศัพท์ที่อยู่ภายในชุมสายเอง จึงไม่มีการส่งสัญญาณออกไปภายนอกชุมสาย โดยค่าเฉลี่ยจากในตารางทั้งสอง จะใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับคำนวณเปรียบเทียบ ภาระของวงจรสัญญาณด้วยวิธีการเชื่อมต่อวงจรด้วยวิธีโดยทั่วไป และวิธีที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ปริมาณภาระสัญญาณตลอดวันที่มีการรับ-ส่ง บนช่องสัญญาณหมายเลขเจ็ด

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าสูงสุดในแต่ละวันของสัญญาณขารับภายในระบบชุมสายโทรศัพท์

Date/Time	Busy Hour	MSU Rx	Bytes Rx	Bytes/MSU Rx	Load Rx
19Sep03	18:15-19:15	5969155	213000617	35	7399
20Sep03	19:15-20:15	6083252	216060449	35	7501
21Sep03	19:00-20:00	5598939	197402708	35	6854
22Sep03	17:00-18:00	5972555	211664925	35	7347
23Sep03	18:00-19:00	5580163	198992703	35	6918
Average		5840813	207424280	35	7204

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าสูงสุดในแต่ละวันของสัญญาณขาส่งภายในระบบชุมสายโทรศัพท์

Date/Time	Busy Hour	MSU Tx	Bytes Tx	Bytes/MSU Tx	Load Tx
19Sep03	18:15-19:15	5594406	204377946	36	7093
20Sep03	19:15-20:15	5716240	208143253	36	7224
21Sep03	19:00-20:00	5239550	189884732	36	6595
22Sep03	17:00-18:00	5518024	198995798	36	6908
23Sep03	18:00-19:00	5223162	190666475	36	6617
Average		5458276	198413641	36	6887

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบความจุของแต่ละสัญญาณที่รับ-ส่ง ระหว่างชุมสายต้นทาง-ปลายทาง เพื่อทำการเชื่อมต่อวงจรสนทนากรณีที่เลขหมายปลายทางรับสายซึ่งในการเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยวิธีโดยทั่วไปจะต้องมีการรับ-ส่งสัญญาณ ขนาด 258 ไบต์ ในขณะที่ การเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยวิธีการแบบใหม่ต้องรับ-ส่ง สัญญาณขนาด 308-328 ไบต์ ทั้งนี้เนื่องจากการเชื่อมต่อวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนทนาด้วยวิธีการที่นำเสนอจะต้องมีการรับ-ส่งสัญญาณที่เพิ่มขึ้นมา คือ สัญญาณ Resume Call Handling ใช้รับ-ส่งระหว่าง GMSC และ VMSC เพื่อสั่งใช้ ระบบชุมสายท้องถิ่น (VMSC) เริ่มกระบวนการค้นหา (Paging Procedure) ก่อนที่จะทำการเชื่อมต่อวงจรสนทนาจริง ซึ่งในการตอบกลับจากชุมสายท้องถิ่นนั้นจะตอบค่า Location Area, Cell ID และข้อมูลของการโอนสายไปยังบุคคลที่สามกลับมายัง GMSC ในกรณีที่มีการใช้บริการโอนสายอัตโนมัติ เช่น โอนสายอัตโนมัติไปยังเลขหมายโทรศัพท์พื้นฐาน เมื่อปลายทางไม่รับสาย เป็นต้น ดังนั้นขนาดของสัญญาณขึ้นอยู่กับปริมาณข้อมูลของผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละเลขหมาย

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบความจุของสัญญาณที่รับ-ส่งระหว่างการเชื่อมต่อวงจรสนทนา

Message type	Conventional (Bytes)	Alternative (Bytes)
MAP protocol		
SRI	48	48
SRI_ACK	35	35
PRN	52	52
PRN_ACK	18	18
RESUME_CALL_HANDLING	0	10
RESUME_CALL_HANDLING_ACK	0	40-60
ISUP protocol		
IAM	42	42
ACM	14	14
ANM	21	21
REL	16	16
RLC	12	12
Total (Exclude the BSS messages)	258	308-328

ตารางที่ 4.8 เป็นปริมาณสัญญาณที่รับ-ส่งระหว่างชุมสายต้นทางและชุมสายบริการท้องถิ่นในการโทรเรียกแต่ละกรณี รวมทั้งการรายงานตัวก่อนใช้งานจริง (Location Update) เพื่อแจ้งสถานะและตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบันของเลขหมายโทรศัพท์ไปบอกกับระบบฐานข้อมูลบริการกลาง (HLR) จากตารางจะพบว่าการโทรเรียกสมบูรณ์ และการเรียกล้มเหลว ด้วยวิธีการที่นำเสนอจะต้องใช้การรับ-ส่งสัญญาณระหว่างชุมสายสูงกว่าวิธีการโดยทั่วไป จำนวน 50 ไบต์ เนื่องจากจะต้องมีการรับ-ส่งสัญญาณ เพื่อสั่งให้ระบบชุมสายท้องถิ่นเริ่มต้นกระบวนการค้นหา (Paging procedure) และตอบกลับพร้อมข้อมูลการใช้บริการโอนสายอัตโนมัติ ส่วนการเรียกที่ล้มเหลวในตารางนี้สมมุติ ว่าเกิดขึ้นภายหลังจากชุมสายต้นทางเริ่มการเชื่อมต่อวงจรสนทนาไปยังปลายทาง แต่ไม่มีการตอบกลับจนกระทั่งเลยช่วงเวลาที่ตั้งไว้ ทำให้ชุมสายต้นทางทำการปล่อยวงจรสนทนาให้กลับมาอยู่ในสถานะว่างอีกครั้งหนึ่ง สำหรับการเรียกเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่มีผู้รับสาย, การเรียกเมื่อไม่มีการตอบรับการค้นหา และการเรียกเมื่อปลายทางสายไม่ว่าง จะสามารถลดภาระของการรับ-ส่งสัญญาณระหว่างชุมสายลงได้ เนื่องจากการโทรเรียกลักษณะนี้จะไม่มีการรับ-ส่ง สัญญาณบนโปรโตคอล ISUP เพื่อจองวงจรสนทนา เมื่อกับหลักการของวิธีโดยทั่วไป

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบความจุของสัญญาณที่รับ-ส่ง ในการโทรแต่ละกรณี

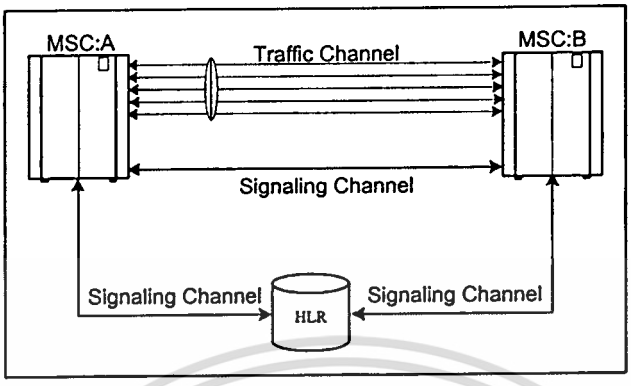
Scenario	Conventional (Bytes)	Alternative (Bytes)	Delta Alternative-Conventional
Complete call	258	308	+50
A-Release	195	245	+50
Called no answer	237	203	-34
Called busy	258	203	-55
No paging response	223	203	-20
Early call forwarding	278	328	+50
Late call forwarding	516	511	-5
MS-Blocked	83	83	0
Others	75	75	0
LOCUPD same VLR	45	48	+3
LOCUPD new VLR	105	108	+3
LOCUPD Reject	20	23	+3

ส่วนการลงทะเบียนก่อนใช้งานจริง (Location Update) ของเลขหมายโทรศัพท์ด้วยวิธีการที่นำเสนอจะต้องการสัญญาณที่มีความจุสูงกว่าวิธีการโดยทั่วไปเพียง 3 ไบต์ เนื่องจากใช้เป็นแฟลกที่แจ้งไปบอกกับระบบฐานข้อมูลบริการกลางว่าเลขหมายดังกล่าวมีบริการการเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยวิธีการแบบใหม่ (Alternative Call Routing) เพื่อให้ระบบทราบว่าเลขหมายแต่ละเบอร์มีการขอให้การเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใด ซึ่งจะมีผลต่อระบบการคิดเงิน เช่น อาจกำหนดให้ผู้ที่ขอใช้บริการเชื่อมต่อวงจรแบบใหม่มีอัตราการโทรต่อนาที ที่ถูกกว่าเลขหมายที่ใช้งานโดยทั่วไป หรือการคิดเงินในกรณีการใช้บริการโอนสายอัตโนมัติจะไม่คิดค่าใช้จ่ายสำหรับผู้ใช้บริการแบบใหม่ เป็นต้น

หลักการคำนวณภาระของวงจรสัญญาณที่ใช้รับส่งสัญญาณระหว่างชุมสายโทรศัพท์จะใช้หลักการคล้ายๆ กับการคำนวณภาระของวงจรสนทนา คือทำการแยกการพิจารณาปริมาณสัญญาณที่มีการรับ-ส่งออกเป็นส่วนๆ ตามลักษณะของการโทร โดยจำนวนวงจรสัญญาณที่ใช้ในระบบชุมสายจะต้องสามารถรองรับการรับ-ส่ง สัญญาณที่ใช้สำหรับการเชื่อมต่อวงจรสัญญาณทั้งกรณีการโทรออกและรับสาย ในชั่วโมงเร่งด่วนได้ มิฉะนั้นอาจทำให้เกิดกรณีการเรียกที่ล้มเหลวในชั่วโมงเร่งด่วนได้ ในการคำนวณวงจรสัญญาณจะรวมปริมาณการเรียกทั้งขาเข้าและขาออก เพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณที่ใช้ แต่ในงานวิจัยนี้จะไม่รวมปริมาณสัญญาณที่มีการรับ-ส่งระหว่างระบบชุมสายกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน เนื่องจากในหลักการที่นำเสนอจะไม่มีการแก้ไขสัญญาณที่รับ-ส่งระหว่างอุปกรณ์ดังกล่าวจึงจะไม่นำมาพิจารณาในที่นี้



รูปที่ 4.8 การเชื่อมต่อวงจรสนทนา และวงจรสัญญาณระหว่างชุมสาย

รูปที่ 4.8 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างชุมสาย และระบบฐานข้อมูลบริการกลาง จะพบว่าในการเชื่อมต่อไปยังระบบฐานข้อมูลบริการกลางจะไม่จำเป็นต้องใช้วงจรสนทนา เนื่องจากในการติดต่อจะเป็นเพียงวงจรสัญญาณที่ใช้ในการสอบถามข้อมูลของผู้ใช้เลขหมายเท่านั้น เช่น ข้อมูลของบริการโอนสายอัตโนมัติ, ข้อมูลของตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบันของเลขหมายปลายทาง และ บริการระงับการเรียกเข้าหรือออก เป็นต้น จำนวนสัญญาณ และขนาดของสัญญาณที่ขารับ และขาส่งจะมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งจากกราฟรูปที่ 4.8 เป็นค่าเฉลี่ยของปริมาณสัญญาณที่รับ-ส่ง ทั้งหมดในแต่ละชั่วโมง ซึ่งพบว่าสัญญาณขารับมีค่าสูงกว่าขาส่งเล็กน้อย เนื่องจากในบ้างกรณีที่เลขหมายปลายทางใช้งานอยู่ภายในชุมสายเอง จึงไม่มีการส่งสัญญาณออกไปภายนอกเพื่อเชื่อมต่อวงจรสนทนาสมการที่ (4.2) เป็นสมการที่คำนวณภาระของวงจรสัญญาณรวมจากการโทรออกและการรับสายซึ่งภาระของวงจรสัญญาณในแต่ละกรณีสามารถคำนวณได้จากผลรวมของสมการที่ (4.3)

$$S_{Total} = S_{MOC} + S_{MTC} + S_{LUP} \tag{4.26}$$

$$S_L = A_T * \sum_{i=1}^{k} (P_i * S_i) \tag{4.27}$$

S_L หมายถึง ภาระของสัญญาณที่รับ-ส่งระหว่างชุมสาย (ไบต์)

A_T หมายถึง ความพยายามในการเรียกในช่วงเวลาหนึ่งชั่วโมง (ครั้ง)

P_i หมายถึง ความน่าจะเป็นของการเกิดกรณีต่างๆของการโทรเรียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S_i หมายถึง ขนาดของสัญญาณที่รับ-ส่งในแต่ละกรณีของการโทรเรียก (ไบต์)

โดยที่ ค่า i สามารถแปรตามเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นสำหรับกรณีการโทรออก ตามข้อมูลในตารางที่ 4.1 คือ

i = 1 หมายถึง กรณีที่เลขหมายปลายทางรับสาย (Answer)

i = 2 หมายถึง กรณีที่เลขหมายปลายทางสายไม่ว่าง (B-Busy)

i = 3 หมายถึง กรณีที่มีการว่างสายในระหว่างการเชื่อมต่อวงจรสนทนาระหว่างคู่สาย (A-Release)

i = 4 หมายถึง กรณีที่เลขหมายปลายทางไม่รับสาย (No-Answer)

i = 5 หมายถึง กรณีอื่นๆ เช่น กดเลขหมายผิด, ถูกระงับการใช้งาน เป็นต้น (Others)

โดยที่ ค่า i สามารถแปรตามเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นสำหรับกรณีการรับสาย ตามข้อมูลในตารางที่ 4.2 คือ

i = 1 หมายถึง กรณีที่เลขหมายปลายทางรับสาย (Answer)

i = 2 หมายถึง กรณีที่เลขหมายปลายทางสายไม่ว่าง (B-Busy)

i = 3 หมายถึง กรณีที่มีการว่างสายในระหว่างการเชื่อมต่อวงจรสนทนาระหว่างคู่สาย (A-Release)

i = 4 หมายถึง กรณีที่เลขหมายปลายทางไม่รับสาย (No-Answer)

i = 5 หมายถึง กรณีที่เลขหมายปลายทางใช้บริการโอนสายอัตโนมัติ (Call Forwarding)

i = 6 หมายถึง กรณีที่เลขหมายปลายทางถูกระงับ (MS-Blocked)

i = 7 หมายถึง กรณีอื่นๆ เช่น กดเลขหมายผิด, ถูกระงับการใช้งาน เป็นต้น (Others)

ตัวอย่างการคำนวณภาระของสัญญาณที่รับ-ส่งระหว่างชุมสาย

การเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยวิธีการโดยทั่วไป (Conventional call routing)

กำหนดให้ ความพยายามในการเรียก ในช่วงเวลาหนึ่งชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 500,000 ครั้ง/ชั่วโมง

ขนาดของสัญญาณในแต่ละกรณีของการโทรเรียกในตารางที่ 4.8 และความน่าจะเป็นในแต่ละกรณีของการโทรเรียกในตาราง 4.1 แทนที่ลงในสมการที่ (4.3)

ภาระของวงสรสัญญาณกรณีการโทรออก

$$S_L = A_T * \sum_{i=1}^{5} (P_i * S_i) \tag{4.28}$$

$$S_{L:MOC} = 500{,}000*[(0.6372*258)+(0.035*258)+(0.0594*195)+(0.2668*237)+(0.016*75)] \tag{4.29}$$

$$S_{L:MOC} = 500{,}000*[249.4422] \tag{4.30}$$

$$S_{L:MOC} = 124{,}721{,}100 \text{ ไบต์/ชั่วโมง} \tag{4.31}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาระของวงสรสัญญาณกรณีการรับสาย

$$S_L = A_T * \sum_{i=1}^{7} (P_i * S_i) \tag{4.32}$$

$$S_{L:MTC} = 500{,}000*[(0.6241*258)+(0.0472*258)+(0.0244*195)+(0.2241*237)+(0.0539*516) +(0.0021*83)+(0.0242*75)] \tag{4.33}$$

$$S_{L:MTC} = 500{,}000*[260.8668] \tag{4.34}$$

$$S_{L:MTC} = 130{,}433{,}400 \text{ ไบต์/ชั่วโมง} \tag{4.35}$$

ภาระของวงสรสัญญาณกรณีการลงทะเบียน

$$S_{L:LUP} = S_{L:NewVLR}+S_{L:SameVLR}+S_{L:Reject} \tag{4.36}$$

$$S_{L:LUP} = (26042.8*105)+(78454*45)+(2649*20) \tag{4.37}$$

$$S_{L:LUP} = 6{,}317{,}904 \text{ ไบต์/ชั่วโมง} \tag{4.38}$$

ผลรวมภาระของวงสรสัญญาณทั้งกรณีการโทรออก รับสาย และการลงทะเบียนของเลขหมาย

$$S_{L:Total} = S_{L:MOC}+S_{L:MTC}+S_{L:LUP} \tag{4.39}$$

$$S_{L:Total} = 124{,}721{,}100 +130{,}433{,}400 +6{,}317{,}904 \tag{4.40}$$

$$S_{L:Total} = 261{,}472{,}404 \text{ ไบต์/ชั่วโมง} \tag{4.41}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนช่องสัญญาณทั้งหมดเพื่อรองรับภาระของสัญญาณระหว่างชุมสาย เมื่อกำหนดให้ช่องสัญญาณหมายเลขเจ็ดช่องหนึ่งๆ สามารถรองรับการรับ-ส่งสัญญาณได้เท่ากับ 0.2 เออแลงค์ ดังนั้นหนึ่งช่องสัญญาณของระบบ Pulse Code Modulation: PCM สามารถรับ-ส่งสัญญาณได้เท่ากับ

$$\frac{64{,}000(bit/\sec)*3600(\sec/hour)*0.2(Erlang)}{8(bit/byte)} = 5{,}760 Kbyte/hour \quad (4.42)$$

ดังนั้นจำนวนช่องสัญญาณหมายเลขเจ็ดที่จำเป็นในการรองรับภาระของสัญญาณระหว่างชุมสาย คือ

$$SS7_{Link} = (261{,}472{,}404*0.5)/(5{,}760{,}000) \quad (4.43)$$

$$SS7_{Link} = 22.7 \approx 23 \text{ วงจร} \quad (4.44)$$

การเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยวิธีการที่นำเสนอ (Alternative call routing)

กำหนดให้ ความพยายามในการเรียก ในช่วงเวลาหนึ่งชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 500,000 ครั้ง/ชั่วโมง ขนาดของสัญญาณในแต่ละกรณีของการโทรเรียกในตารางที่ 4.8 และความน่าจะเป็นในแต่ละกรณีของการโทรเรียกในตาราง 4.1 แทนที่ลงในสมการที่ (4.3)

ภาระของวงสรสัญญาณกรณีการโทรออก

$$S_L = A_T * \sum_{i=1}^{5} (P_i * S_i) \quad (4.45)$$

$$S_{L:MOC} = 500{,}000*[(0.6372*308)+(0.035*203)+(0.0594*245)+(0.2668*203)+(0.016*75)] \quad (4.46)$$

$$S_{L:MOC} = 500{,}000*[273.276] \quad (4.47)$$

$$S_{L:MOC} = 136{,}638{,}000 \text{ ไบต์/ชั่วโมง} \quad (4.48)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาระของวงจรสัญญาณกรณีการรับสาย

$$S_L = A_T * \sum_{i=1}^{7} (P_i * S_i) \quad (4.49)$$

$S_{L:MTC}$ = 500,000*[(0.6241*308)+(0.0472*203)+(0.0244*245)+(0.2241*203)+(0.0539*511) +(0.0021*83)+(0.0242*75)] (4.50)

$$S_{L:MTC} = 500{,}000*[282.8069] \quad (4.51)$$

$$S_{L:MTC} = 141{,}403{,}450 \text{ ไบต์/ชั่วโมง} \quad (4.52)$$

ภาระของวงสรสัญญาณกรณีการลงทะเบียน

$$S_{L:LUP} = S_{L:NewVLR} + S_{L:SameVLR} + S_{L:Reject} \quad (4.53)$$

$$S_{L:LUP} = (26042.8*108)+(78454*48)+(2649*23) \quad (4.54)$$

$$S_{L:LUP} = 6{,}639{,}341.4 \text{ ไบต์/ชั่วโมง} \quad (4.55)$$

ผลรวมภาระของวงสรสัญญาณทั้งกรณีการโทรออก รับสาย และการลงทะเบียนของเลขหมาย

$$S_{L:Total} = S_{L:MOC} + S_{L:MTC} + SL_{:LUP} \quad (4.56)$$

$$S_{L:Total} = 136{,}638{,}000 + 141{,}403{,}450 + 6{,}639{,}341.4 \quad (4.57)$$

$$S_{L:Total} = 284{,}680{,}791 \text{ ไบต์/ชั่วโมง} \quad (4.58)$$

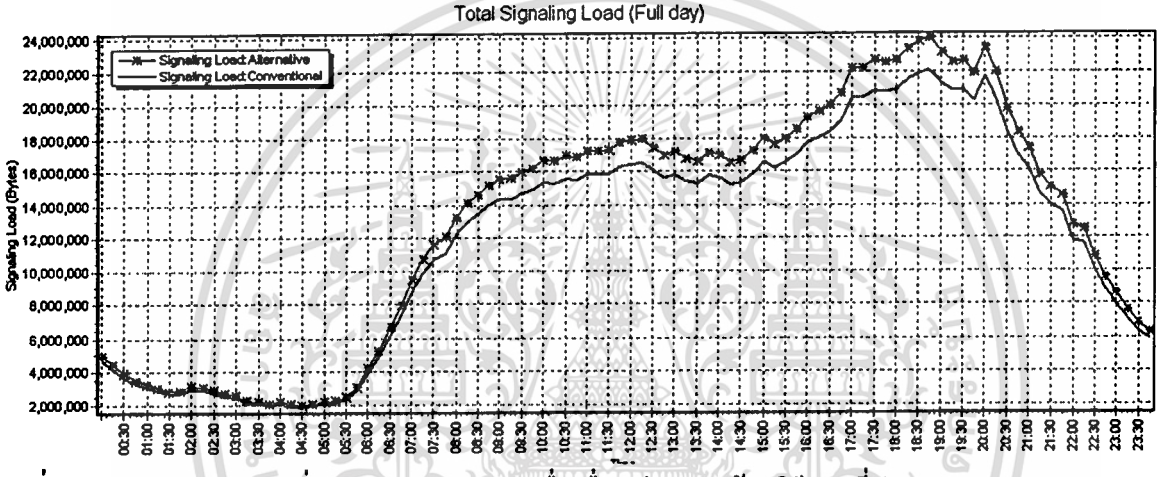
ดังนั้นจำนวนช่องสัญญาณหมายเลขเจ็ดที่จำเป็นในการรองรับภาระของสัญญาณระหว่างชุมสาย คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$SS7_{Link} = (284{,}680{,}791*0.5)/(5{,}760{,}000) \quad (4.59)$$

$$SS7_{Link} = 24.71 \approx 25 \text{ วงจร} \quad (4.60)$$

จากตัวอย่างการคำนวณพบว่าด้วยการเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยวิธีการที่นำเสนอ ส่งผลกระทบให้ภาระของวงจรสัญญาณสูงขึ้นเล็กน้อย คิดเป็นร้อยละ 8.88% ที่ปริมาณการเรียกสูงสุดที่ 500,000 ครั้ง/ชั่วโมงซึ่งคิดเป็นจำนวนวงจรสัญญาณที่เพิ่มขึ้นเพียง 2 วงจร เพื่อใช้ในการรองรับปริมาณสัญญาณที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของวงจรสัญญาณเมื่อเชื่อมต่อวงจรด้วยวิธีการที่นำเสนอ

รูปที่ 4.9 เป็นกราฟเปรียบเทียบภาระของวงจรสัญญาณหมายเลขเจ็ด เมื่อทำการเชื่อมต่อวงจรด้วยวิธีการโดยทั่วไปกับวิธีที่นำเสนอ ตลอดทั้งวัน ซึ่งพบว่าวิธีการเชื่อมต่อวงจรด้วยวิธีการที่นำเสนอส่งผลให้ภาระของวงจรสัญญาณสูงขึ้นในปริมาณเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการโดยทั่วไป โดยช่วงเวลาที่เกิดปริมาณภาระสูงสุดอยู่ที่เวลา 18:00-19:00 ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยใช้ค่าทางสถิติจากโครงข่ายที่ใช้งานจริงจากผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่รายหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 เวลาล่าช้าในการเชื่อมต่อวงจร (Call setup delay)

ในหัวข้อนี้จะวิเคราะห์ถึงความล่าช้าในการเชื่อมต่อวงจรด้วยวิธีการที่นำเสนอ เปรียบเทียบกับวิธีการเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยวิธีการโดยทั่วไป โดยประกอบด้วยสองปัจจัยหลักที่ทำให้เป็นสาเหตุของความล่าช้าในการเชื่อมต่อวงจร ด้วยวิธีการที่นำเสนอ (Alternative Call Routing) คือ วิธีการที่นำเสนอจะมีการรับ-ส่งสัญญาณที่เพิ่มขึ้น คือ สัญญาณ RESUME CALL HANDLING ซึ่งส่งจากชุมสาย GMSC ไปยัง VMSC เพื่อสั่งให้ชุมสายปลายทางเริ่มกระบวนการค้นหา (Paging procedure) ก่อนที่จะทำการเชื่อมต่อวงจรสนทนาไปยังปลายทางส่วนอีกสาเหตุคือ เวลาในการอ่านข้อมูลจากระบบฐานข้อมูลภายในระบบของชุมสาย ซึ่งวิธีการที่นำเสนอจะมีจำนวนรอบในการอ่านข้อมูลจากระบบชุมสายมากกว่า วิธีการโดยทั่วไป จึงเป็นสาเหตุให้ความล่าช้าในการเชื่อมต่อวงจรด้วยวิธีที่นำเสนอมีค่าสูงกว่า โดยสามารถแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 หลักได้ดังนี้ คือ

4.5.1 เวลาที่ใช้ในการรับ-ส่ง สัญญาณระหว่างชุมสาย (Message Transceiver)

กำหนดให้มีค่าเท่ากับ x ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบการเชื่อมต่อวงจรสนทนาในกรณีการโทรออกแบบปกติ พบว่าวิธีการโดยทั่วไปมีการรับ-ส่งสัญญาณจำนวน 5x ซึ่งไม่พิจารณารวมถึงสัญญาณที่มีการรับ-ส่ง ระหว่างระบบชุมสาย และระบบควบคุมสถานีฐาน เนื่องจากวิธีการที่นำเสนอนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขระบบสัญญาณใดๆ ที่มีการรับ-ส่ง ระหว่างระบบชุมสาย กับระบบควบคุมสถานีฐาน ในขณะที่สัญญาณที่มีการรับส่งด้วยหลักการที่นำเสนอจะใช้เวลาในการรับ-ส่งข้อมูลจำนวน 7x (พิจารณาจากการโทรเรียกสมบูรณ์) ซึ่งสัญญาณที่เพิ่มขึ้นมา คือสัญญาณ RESULE CALL HANDLING ที่รับ-ส่งระหว่าง GMSC และ VMSC

4.5.2 เวลาในการค้นหา และอ่านข้อมูลจากฐานข้อมูลภายในระบบ (Database Query)

ด้วยหลักการที่นำเสนอจะต้องมีการค้นหาข้อมูลภายในระบบเพิ่มเป็น สองเท่า เนื่องจาก ต้องมีการค้นหาฐานข้อมูลในหมวดข้อผู้ใช้บริการที่มีบริการ การเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่ จึงจำเป็นต้องใช้เวลาเป็นสองเท่าของการค้นหาฐานข้อมูลของวิธีโดยทั่วไป โดยกำหนดให้เวลาในการค้นหาฐานข้อมูลของวิธีโดยทั่วไป คือ y และ วิธีที่นำเสนอ คือ 2y ตามลำดับ

4.5.3 ช่วงเวลาของกระบวนการค้นหา (Paging Time)

เนื่องจากวิธีการที่นำเสนอไม่มีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขในส่วนของกระบวนการ และสัญญาณที่รับ-ส่ง ระหว่างระบบชุมสายและระบบควบคุมสถานีฐาน จึงถือว่าช่วงเวลาที่ใช้ในการเชื่อมต่อวงจรสนทนา ในส่วนนี้มีค่าเท่ากัน แทนค่าด้วย τ_2 (จากตารางข้อมูลทางสถิติที่ 4.1) จากเหตุผลที่กล่าวมาแล้วในข้างต้นจะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Call Setup Time (Conventional Routing)} = 5x+y+\tau_2 \quad (4.61)$$

$$\text{Call Setup Time (Alternative Routing)} = 7x+2y+\tau_2 \quad (4.62)$$

แต่เนื่องจากเวลาในการค้นหาและอ่านข้อมูลของระบบชุมสาย (y) เป็นค่าที่ต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลาในการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างชุมสาย คือ ประมาณ 50 นาโนวินาที ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลาที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างระบบชุมสาย ด้วยระบบ Pulse Code Modulation: PCM ดังนั้นจึงประมาณค่าจากสมการที่ (4.61) และ (4.62) ได้ว่า

$$\text{Call Setup Time (Conventional Routing)} = 5x+\tau_2 \quad (4.63)$$

$$\text{Call Setup Time (Alternative Routing)} = 7x+\tau_2 \quad (4.64)$$

จากตารางที่ 4.1 และสมการที่ (4.63) ซึ่งได้จากการรวบรวมข้อมูลทางสถิติของช่วงเวลาที่ใช้ในกระบวนการค้นหาและการเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยวิธีโดยทั่วไปเมื่อนำมาแทนค่าจะสามารถประมาณค่าเฉลี่ยของ x และ ค่า τ_2 ได้เท่ากับ $5x+\tau_2$= 1.536+1.77 = 3.306 วินาที โดยสามารถประมาณค่า x ได้เท่ากับ 0.3072 วินาที ดังนั้นเมื่อนำค่า x และค่า τ_2 ที่ได้ มาแทนลงในสมการที่ (4.64) สำหรับการเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยหลักการที่นำเสนอ โดยถือว่าใช้เวลาในกระบวนการค้นหามีค่าเท่ากันคือที่ 1.77 วินาที เนื่องจากไม่มีการแก้ไขระบบสัญญาณในกระบวนการค้นหา (Paging procedure) ระหว่างชุมสายโทรศัพท์และอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน ดังนั้นจะสามารถประมาณค่าเวลาล่าช้าของการเชื่อมต่อวงจรสนทนาของหลักการที่นำเสนอได้เท่ากับ 7*0.3072+1.77 = 3.9204 วินาที คิดเป็นเวลาที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.6144 วินาที ของเวลาที่ใช้ในหลักการโดยทั่วไป ทั้งนี้ในการวิเคราะห์ความล่าช้าของการเชื่อมต่อวงจรจะขึ้นอยู่กับการออกแบบโครงข่ายของผู้ให้บริการด้วย เช่น การออกแบบและจัดวางพื้นที่และเซลล์ของระบบสถานีฐาน ซึ่งจะทำให้มีผลต่อช่วงเวลาของกระบวนการค้นหา, รวมไปถึงการจัดการวงจรสนทนา และช่องสัญญาณหมายเลขเจ็ด ด้วย โดยปกติแล้วเวลาที่ทำให้เกิดความล่าช้าในการเชื่อมต่อวงจรสนทนาของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ส่วนใหญ่จะอยู่ที่ เวลาที่ใช้ในกระบวนการค้นหา (Paging procedure) ซึ่งผลกระทบอันเกิดจากช่วงเวลาล่าช้าของการเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยหลักการที่นำเสนอนี้ ถือเป็นจุดที่สามารถใช้สำหรับการพัฒนาและวิจัยต่อไปในลำดับต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 สรุป

จากการวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพการทำงานของหลักการที่นำเสนอ คือการเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยด้วยวิธีการแบบใหม่ กับวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM พบว่าหลักการที่นำเสนอสามารถลดภาระของวงจรสนทนาลงได้เป็นอย่างดี เช่นที่ปริมาณการเรียกของผู้ใช้บริการ 500,000 ครั้ง/ชั่วโมง สามารถลดภาระของวงจรสนทนาได้ถึง 22.57% สำหรับกรณีของการโทรออก และ 20.89% สำหรับกรณีของการรับสาย โดยสามารถคิดเป็นจำนวนวงจรสนทนาที่ลดลงของทั้งสองกรณี เท่ากับ 5,678 วงจร (ที่ปริมาณการเรียกในช่วงเวลาสูงสุดที่ 500,000 ครั้ง/ชั่วโมง ขณะเดียวกันได้ส่งผลกระทบให้ภาระของวงจรสัญญาณหมายเลขเจ็ดสูงขึ้นเล็กน้อย เท่ากับ 8.88% และผลกระทบจากช่วงเวลาในการเชื่อมต่อวงจรที่เพิ่มขึ้น โดยประมาณ 0.6144 วินาที ในส่วนของผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากวิธีการที่นำเสนอสามารถใช้เป็นหัวข้อในการพัฒนาในลำดับต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

จากวัตถุประสงค์การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ในการนำเสนอหลักการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อลดเวลาการจองวงจรสนทนาที่ไม่จำเป็นออก เช่น ช่วงเวลาที่วงจรสนทนาถูกจองในระหว่างกระบวนการเชื่อมต่อวงจร, ช่วงเวลาที่ไม่จำเป็นก่อนที่คู่สนทนาจะรับสายและช่วงเวลาที่วงจรสนทนาถูกจองขณะที่ยังไม่มีผู้รับสายปลายทาง เป็นต้น โดยหลักการที่นำเสนอนี้จะใช้วิธีการเชื่อมต่อวงจรสนทนาภายหลังจากที่ได้รับสัญญาณตอบรับจากเลขหมายปลายทาง ด้วยการสนับสนุนของการทำงานรูปแบบใหม่ในโปรโตคอลสื่อสาร MAP V.3 ที่เรียกว่า การเชื่อมต่อวงจรสนทนากระจัด (Optimal Routing) อีกทั้งยังสามารถแก้ไขปัญหาการเชื่อมต่อแบบลูกโซ่ระหว่างชุมสาย (Chain connection between exchange) ในกรณีที่มีการใช้งาน บริการโอนสายอัตโนมัติได้อีกด้วย จากการวิเคราะห์ผลเลียนแบบการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และจากข้อมูลทางสถิติจากโครงข่ายที่ใช้งานจริงในระบบชุมสาย พบว่าโดยการจำลองปริมาณการเรียกในช่วงเวลาเร่งด่วนที่ 500,000 ครั้ง/ชั่วโมง หลักการที่นำเสนอสามารถลดภาระของวงจรสนทนาลงได้ถึง 22.57% สำหรับกรณีการโทรออก และ 20.89% สำหรับกรณีการโทรเข้า เมื่อเทียบกับการเชื่อมต่อวงจรสนทนาด้วยวิธีโดยทั่วไป

แต่ในขณะเดียวกันหลักการที่นำเสนอนี้ได้ส่งผลกระทบให้เกิดภาระของวงจรสัญญาณหมายเลขเจ็ดเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 8.88% ของภาระที่เกิดขึ้นในหลักการโดยทั่วไป เนื่องจากวิธีการที่นำเสนอได้มีการเพิ่มสัญญาณที่ใช้รับ-ส่ง ระหว่างชุมสายบนโปรโตคอลสื่อสาร MAP V.3 และช่วงเวลาล่าช้าในการการเชื่อมต่อวงจรของคู่สนทนาที่เพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.6144 วินาที สำหรับการโทรเรียกแบบปกติจากเวลาที่ใช้อยู่ด้วยหลักการโดยทั่วไป ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบในแง่ของการลงทุน เพื่อขยายโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ วิธีการที่นำเสนอสามารถลดต้นทุนการขยายระบบลงได้อย่างมาก ถึงแม้จะส่งผลกระทบข้างเคียงในกรณีที่กล่าวไปแล้วข้างต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำหลักการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้งาน สำหรับบริการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในต่างแดน จะสามารถลดค่าใช้จ่ายของการใช้งานได้อย่างมาก เนื่องจากวงจรสนทนาจะสามารถเชื่อมต่อโดยตรงไปยังระบบชุมสายปลายทางไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่อกลับมายังเครือข่ายต้นสังกัดก่อน สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของโครงข่ายนี้จะไม่กล่าวถึงการสื่อสารระหว่างระบบชุมสายและอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขในโปรโตคอลสื่อสารของสถานีฐาน (BSSAP)

ปัญหาประการหลักของการนำเอาการเชื่อมต่อวงจรสนทนาแบบใหม่นี้ไปใช้งานในโครงข่าย คือ การรองรับมาตรฐานของเครือข่าย จะต้องสามารถรองรับโปรโตคอลสื่อสาร MAP V.3, การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื่อมต่อวงจรแบบกระจัด (Optimal Routing) และฟังก์ชั่นการทำงานที่เพิ่มเติมใหม่ของหลักการที่นำเสนอ ซึ่งเป็นเรื่องยากที่จะทำให้โครงข่ายเพื่อนบ้านทั้งภายในและต่างประเทศสามารถรองรับการทำงานแบบใหม่นี้ได้ทั้งหมด

สุดท้ายนี้ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ และสามารถให้แนวทางต่อผู้ที่สนใจในการพัฒนาระบบการเชื่อมต่อวงจรสนทนาของโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อลดผลข้างเคียงที่เกิดขึ้นจากหลักการใหม่นี้และสามารถนำเอาเทคนิคต่างๆ ไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] J.Walker, November "Advances in Mobile information systems" Artech House Publishers Boston London, 1944.

[2] W.C.Y. Lee, "Mobile communication Engineering Theory and Applications (Second edition)", Mc Graw Hill, 1998.

[3] W.C.Y.Lee, "Mobile Cellular Telecommunications Systems", Mc Graw Hill, 1989.

[4] Yi-Bing Lin, Reducing Location Update Cost in PCS network, IEEE ACM Trans. Networking, vol.5 No.1, 1997.

[5] C.-Lin, PCS Mobility management using the Reverse virtual call setup algorithm, IEEE/ACM Trans. on netw. vol. 5 No.1, 1997.

[6] GSM 02.79, Digital cellular telecommunications system (Phase 2+), Support of Optimal Routing.

[7] GSM 09.02 version 5.9.0, Digital cellular telecommunications system (Phase 2+), Mobile Application Part (MAP).

[8] GSM 04.08 version 5.9.0, Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Mobile radio interface layer 3.

[9] Z. Mao, "An intra-LA location update strategy for reducing paging cost," IEEE Commun. Lett., vol. 6, no. 8, 2002.

[10] Y.-B. Lin, S. Mohan, N. Sollenberger and H. Sherry, "Adaptive algorithms for reducing PCS network traffic," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 46, pp. 588-596, Aug 1997.

[11] R. Rezaiifar and A. M. Makowski, From optimal search theory to sequential paging in cellular networks, IEEE J. Select. Areas Commun.,vol. 15, pp. 1253-1264, Sep 1997.

[12] J.Li, Y. Pan and X. Jia, Analysis of Dynamic Location Management for PCS Networks, IEEE Trans. Vehicular Technology vol 51, pp.1109-1119, Sep 2002.

[13] Y. Cui, D. Lam, J. Widom and D. Cox, Efficient PCS Call setup protocols, Computer Science & Electrical Engineering Depts Standford University.

[14] J. Biesterfeld and K. Jobmann, Evaluating different Mobility Management Methods, Institute of communications University of Hanover.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[15] T. Brown and S. Mohan, "Mobility management for personal communications systems," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 46, pp. 269–278, May 1997.

[16] D. Cox, "Personal communications a viewpoint," IEEE Commun. Mag., vol. 28, pp. 8–20, Nov. 1990.

[17] J. Pliancharoen, P. Thaibunterng and S. Noppanakeepong, Optimum Traffic Channel in GSM Network by using Alternative call routing, Proceeding of the 4th of Intech03, Intelligent Application Vol.4,2003 pp.12-16, Chiang Mai Thailand, Dec 2003.

[18] J. Pliancharoen, M. Pengnoo and S. Noppanakeepong, Optimum Traffic Channel in GSM Network by using Alternative call routing (IN routing analytical), Proceeding of the CODEC04, P-70, Calcutta India, Jan 2004.

[19] ประเสริฐ จริงโพธิ์ และ พงษ์ศักดิ์ สุสัมพันธ์ไพบูลย์, "เรื่องน่ารู้โมบายล์โทรคมนาคม"บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2543.

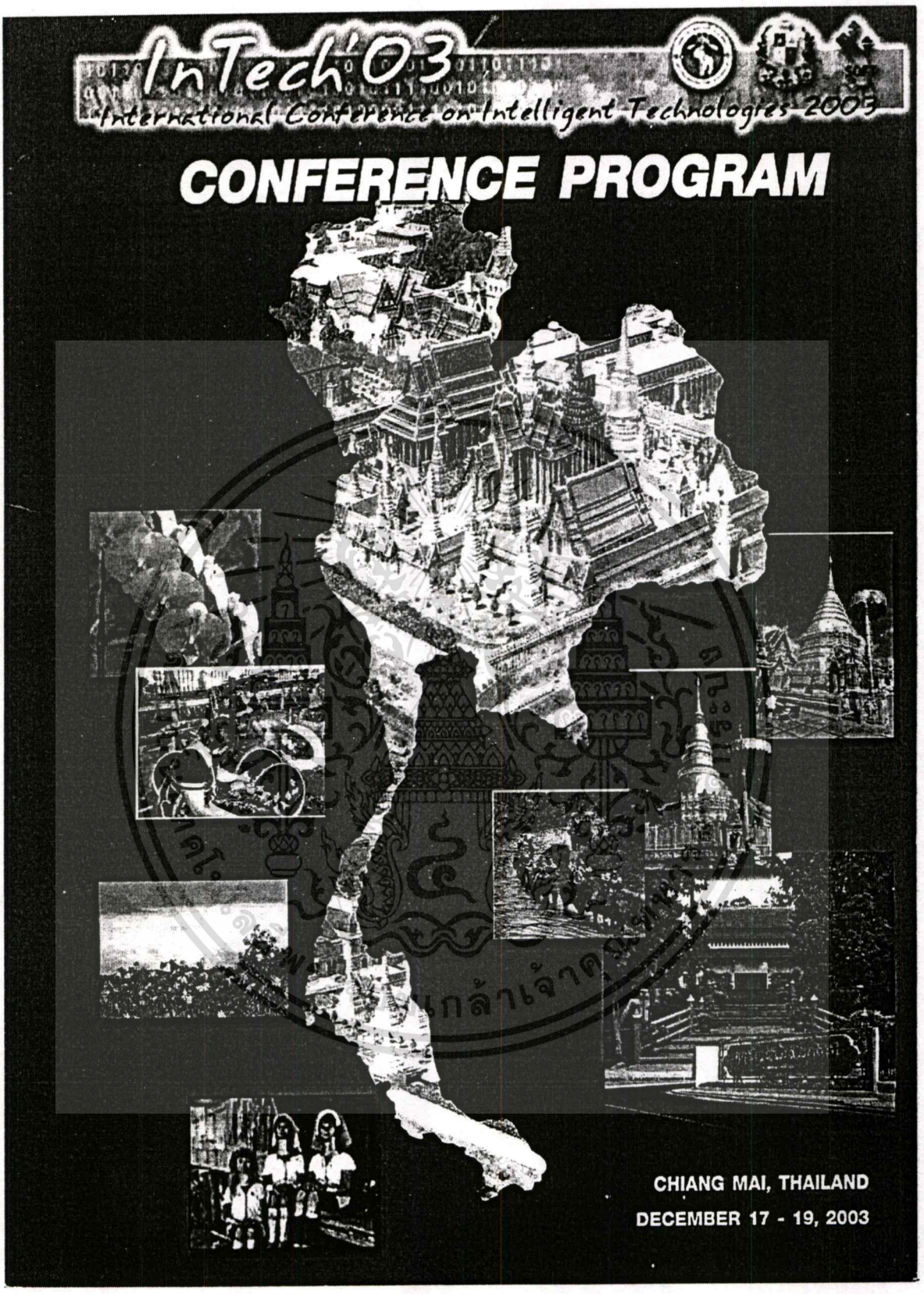
[20] ไพโรจน์ ไววานิชกิจ, "เปิดโลกมือถือ GSM สู่ UMTS" บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2545.

[21] ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ, "หลักการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่", สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และในระหว่างที่ทำการศึกษาที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Optimum traffic channel in GSM network by using Alternative call routing (Call forward analytic)

Jatuporn Pliancharoen, Palapol Thaibunterng and Suthichai Noppanakeepong
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand, 10520
E-mail: jatupornp@siemens.com, s3061045@kmitl.ac.th and knsuthic@kmitl.ac.th

Abstract: The increased demand of wireless mobile communications in circuit switching, and the finite resource lead to the resource expansion to satisfy the demand supply for subscribers. This research proposed the alternative routing to optimize the traffic channel in case of late call forwarding. From the conventional routing in GSM network traffic channel have to be setup via redirecting exchange through the terminating exchange, although the second party is not involve conversation between the first and third party. Effect to the inefficiency routing and waste of traffic channel between the redirecting exchange and terminating exchange. We are assumption the alternative routing to setup direct connection from originating exchange to terminating exchange. The propose method could be implemented in addition from the existing GSM network, and the relative performances for each scenario are investigated.
Keywords: Call forwarding, GSM network, Optimal routing, Traffic channel

1. Introduction

From the conventional routing in GSM network (circuit switching network) the speech trunk is seized since the calling exchange start IAM message to called exchange, neither before the called subscriber is reached (before Paging response) nor answer. Leads to loss of efficiency for traffic channel, we are propose the alternative routing which speech channel seized after paging response and called answered over the MAP protocol. Furthermore in case of late call forwarding in the conventional routing the traffic channel have to be setup crossing the exchange from A through B and C. This improper connection will be resolved by alternative routing as well.

There are 3 points, which motivate to the improvement of conventional routing.

1.1 Optimum the traffic channel between calling through called exchange to seized only the mean while of conversation time by eliminated the seizer time of un-necessary procedure in conventional routing e.g. during the call setup, paging time, seizer before answer.

1.2 Resolve the traffic channel over inter-PLMN in case international roaming. As shown in Fig.(1) for the conventional routing of international roaming B is roaming in country A, and terminating call from A in the same country the traffic channel have to setup over inter-PLMN from country A to country B. This is loss the gain of traffic channel. By the alternative routing and new functional of MAP V.3 (optimal routing) capable MAP interrogation over the inter-PLMN that not require traffic channel setup over the country A to B any more in this call scenario.

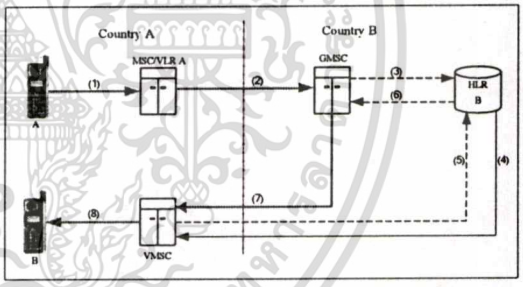


Figure 1: International roaming MTC (Conventional routing)

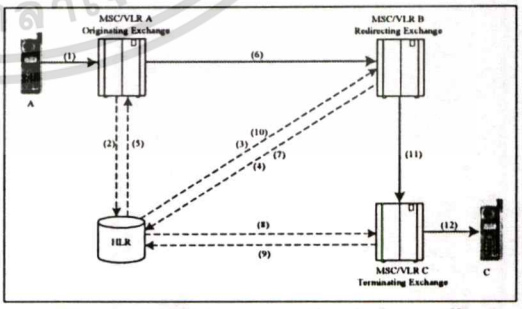


Figure 2: Chain connection in late call forwarding

1.3 The problem of traffic channel setup crossing the redirecting exchange (Chain connection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

problem) in case of late calls forwarding. This case subscriber B who setup call forward to C is charged for the traffic connection from B location to C location. The procedures of call forwarding see in GSM 09.02 [7]

2. Alternative routing

In this section will present the different aspect of the alternative routing as well as the prerequisite to enable this functional in the existing GSM network.

2.1 Functional requirement

The alternative routing could be supported for all circuit switched in GSM network, except emergency calls, and Dedicated Packet Access (GPRS and UMTS are for further study).

2.1.1 Require network feature optimal routing before implement the alternative routing. Afterward the functional could be applied automatically (without modify the subscriber profile in their HPLMN) for all calls except those calls, which the HPLMN of the called party denies the optimal routing.

2.1.2 The VPLMN of caller and called, as well as the HPLMN of called must have the capable of alternative routing and MAP version 3 to support the resume call handling message between GMSC and VMSC.

2.1.3 If the interrogation PLMN detects that the alternative routing are not support, the interrogate PLMN will routes the call according to the dialed number by normal routing.

2.1.4 The serving network of alternative routing could be recognition the destination for conventional routing or alternative routing by own database in the interrogation PLMN.

2.2 Propose scheme for alternative routing

2.2.1 Alternative routing for early call forwarding.

In the Fig.(3) A is a mobile subscriber who may benefit from the alternative routing. If A sets up a call to B, then the originating PLMN shall interrogate the HPLMN of the mobile subscriber B in order to know how to route the call. This case HLR will known by their database that B has setup the call forwarding (Unconditional) to subscriber C and assume that C also same HPLMN of B. Then HLR is queried again for the address of VMSC where C is located. And send MAP message to VMSC to invoke MSRN of C number (3). When GMSC get the MSRN of C subscriber (5), the message Call control transfer (Application context number 6) will be sent to VMSC directly to force VMSC to start paging to C subscriber. After C response the paging and answer the call, VMSC will notify to GMSC with call control transfer whether called party answer or not. This message alert calling that called party has reached (9) and trig GMSC to setup traffic channel to VMSC. Now the call is terminated to C subscriber.

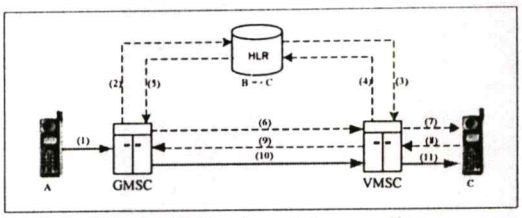


Figure 3: Early call forwarding (Alternative routing)

2.2.2 Alternative routing for late call forwarding.

In any other cases, the call shall be routed to the mobile subscriber B via HPLMN(B). If the call cannot be completed, the originating PLMN shall receive an indication of the reason of the failure of the call completion. Thereafter, if the mobile subscriber B has activated a conditional call forward to a destination located in her home country or to a destination in the country where A is registered and this leads to the invocation of Late Call Forwarding, then the originating PLMN shall route the call directly to the forwarded-to-party. The remaining leg of the call from the intermediate point to the ultimate destination may be optimally routed. The subscriber who have the service of alternative routing will be recorded in HLR database and transfer to VLR when perform location update. The Fig.(4) demonstrate the call flow of late call forward when C is roaming in same country as A the message no.(1)-(5) as same as the normal MTC. The message no.(6) is call control transfer contain the forwarding data to GMSC such as no-reply, busy or no-paging respond. Then GMSC start interrogation again to HLR by the received data from MSC B. Eventually the call flow will routed as same as normal MTC for message no.(10)-(19).

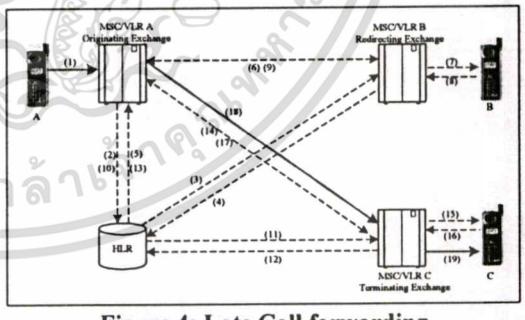


Figure 4: Late Call forwarding (Alternative routing)

3. Analytical results

3.1 Traffic channel load

This section discusses the cost of traffic channel in network, which cause from the successful call and unsuccessful call. The successful call concluded from the number of call which reached to called party (paging response and calling alert) although called number answer the call or not such as called

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

busy, called not answer, completed call, calling party release before answer. In ideal we assumption that the traffic channel should be seized only while the conversation time exclude the time before called answer to optimum the efficiency of traffic channel in GSM network.

Call type	P_i	T_i Conventional	T_i Alternative
COMPLETED_CALLS	0.52	$\tau_1+\tau_2,\tau_3,\tau_4$= 144.2	τ_1= 140
B_NO_ANSWER	0.30	τ_2,τ_3,τ_4= 6.9	0
B_BUSY	0.03	τ_2,τ_3= 3.9	0
DROP_CALL	0.07	τ_3= 1.4	0
UNSUCCESSFUL_CALLS	0.08	0	0
Average duration	τ_i		
MEAN_HOLDING_TIME (τ_1)	140		
PAGING_TIME (τ_2)	2.5		
AVERAGE_CALL_SETUP	1.4		
HOLDING_BEF_ANSWER	3.0		

Table 1: Probability for each call type and the average duration time.

With the alternative routing traffic channel will not seized at all before called answered and notify the calling exchange over the MAP message to start setup ISUP for conversation. That means the seizer duration is shorter than the conventional routing because excluded the paging time, B no answer, B busy, B out of service area.

$$C_T = \sum_1^i \frac{\overline{T}_i * P_i * A_T * M_i}{3600} \quad (1)$$

Where C_T is the relative traffic channel cost, $\overline{T}_i$ average duration per call type, P_i Probability per call type, A_T total call attempt in network (All day), M_i MSC crossing per call type

$$C_T = (C_{CompleteCdl}) + (C_{B-NoAnswer}) + (C_{B-Busy}) + (C_{DropCall}) \quad (2)$$

From Eq. (2) we consider per call type by Conventional routing

$$C_T = \frac{M_i * A_T}{3600}[(144.2 * 0.52) + (6.9 * 0.3) + (3.9 * 0.03) + (1.4 * 0.07)] \quad (3)$$

$$C_T = (0.0215) * M_i * A_T \quad (4)$$

From Eq. (2) we consider per call type by Alternative routing

$$C_T = \frac{M_i * A_T}{3600}[140 * 0.52] \quad (5)$$

$$C_T = (0.0202) * M_i * A_T \quad (6)$$

Traffic load per late call forwarding
Assume that late call forwarding probability = 0.01
Conventional routing

$$C_T = \frac{M_i * A_T}{3600}[144.2 * 0.01] = (0.0004) * M_i * A_T \quad (7)$$

This case M_i is number of call forwarding
(Concluded of traffic channel crossing the MSC)
Alternative routing

$$C_T = \frac{M_i * A_T}{3600}[140 * 0.01] = (0.00078) * A_T \quad (8)$$

M_i of alternative routing always = 2 because not require the traffic channel crossing redirecting exchange.

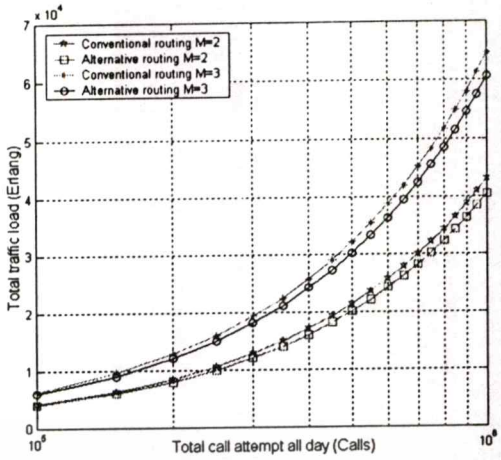


Figure 5: All day traffic load of complete call crossing per MSC

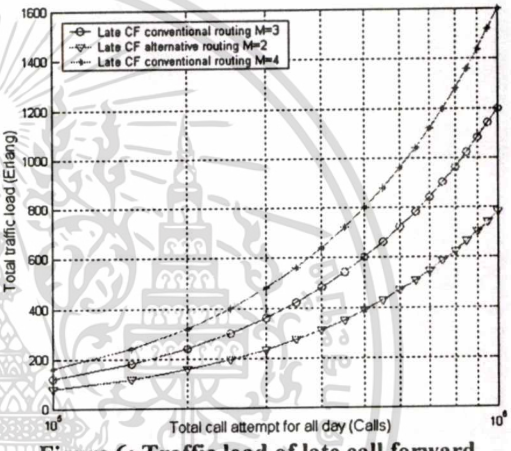


Figure 6: Traffic load of late call forward crossing per MSC

From the Fig.(6) alternative routing cause the traffic load very low than the conventional routing, because not require the traffic channel crossing redirecting exchange, always setup traffic channel directly from originating exchange to terminating exchange.

3.2 Signaling channel load

The section discusses the signaling load associated with alternative routing; we define the signaling messaged on the GSM ISUP and MAP protocol. The messages sent locally between BSS and SSS part are not considered since they are the same as conventional routing. The message size could be different than the Table(2). Which depend on the optional parameter for each network, but this research we are particularly focus on how different between the conventional and alternative routing.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Message type	Conventional	Alternative
MAP protocol		
SRI	48	48
SRI_ACK	35	35
PRN	52	52
PRN_ACK	18	18
RESUME_CALL_HANDLING	0	10
RESUME_CALL_HANDLING_ACK	0	40-60[1]
ISUP protocol		
IAM	42	42
ACM	14	14
ANM	21	21
REL	16	16
RLC	12	12
Total (Exclude the BSS messages)	258	308-328

Table 2: Message size of conventional and alternative routing

The message MAP_RESUME_CALLHANDLING is especially for alternative routing (which is not require in the conventional routing) for trigger VMSC to start paging to called subscriber. This message demonstrates in Fig.(3) message (9)-(10) the application context number 6[2] this message available only in MAP version 3.This message will return the forwarding data to GMSC including the cause value of call control[3] to the calling exchange.

[1] Message volume varies on the cause value, which contain forwarding data in case call forwarding.
[2] The application context for MAP are defined in GSM 09.02
[3] The cause value of call control are defined in GSM 04.08

Scenario	Conventional	Alternative	Delta
Complete call	258	308	+50
Drop call	195	245	+50
Called no answer	237	203	-34
Called busy	258	203	-55
No paging response	223	203	-20
Early call forwarding	278	328	+50
Late call forwarding	516	511	-5
LOCUPD same VLR	45	48	+3
LOCUPD new VLR	105	108	+3

Table 3: Compare signaling load per call scenario

In the Table(3) shown the signaling traffic for each call scenario between conventional routing and alternative routing, in case of location update either same or new VLR the subscriber service flag for alternative routing have to be transferred from HLR to VLR which cost 3 bytes.

3.2.1 Complete call: Alternative routing worse than conventional routing 50 bytes because require the message MAP RESUME CALL HANDLING for trigger VMSC to start paging to called subscriber in their location area. After called subscriber answer the call. This message will alert GMSC to setup speech channel to VMSC for terminating call.

3.2.2 Drop call: Mean the scenario, which drop before VMSC respond the ACM message during ISUP connection. Might come from the several reason such as Transmission problem, A release before call alert etc. Alternative routing cost 50 bytes more than conventional routing.

3.3.3 Called no answer is better signaling load 34 bytes by alternative routing, because not require the ISUP message sending to VMSC. Called busy and no paging response are also better signaling load than conventional routing for 55 and 20 bytes respectively. Because of MAP RESUME CALL HANDLING could return the called state from VMSC to GMSC after paging procedure, whether called subscriber is idle or busy state. Therefore GMSC could be foreseen to not setup ISUP message to VMSC.

3.3.4 Call forwarding: the signaling load of alternative routing worse than conventional routing in case late call forwarding about 50 bytes, but for early call forwarding about 5 bytes. Because require MAP RESUME CALL HANDLING return to calling GMSC before start the second interrogation to C number.

$$SignalingLoad = \frac{3600 * E * C * CH}{T} \quad (9)$$

Where E is the average traffic load of a speech channel (Erlang), C is the volume of signaling load for complete call (Bytes), CH is the total of speech channel in the exchange (Channel), T is the average call duration (Second)

Conventional routing

C=258 bytes for each complete call and assume that speech channels carry a traffic load 0.75 Erlang (75%) from the Eq.(9) we get

$$SignalingLoad = \frac{3600 * 0.75 * 258 * CH}{T} \quad (10)$$

$$SignalingLoad = \frac{696{,}600 * CH}{T} \quad (11)$$

Alternative routing

C=308 bytes for each complete call and assume that speech channels carry a traffic load 0.75 Erlang (75%) from the Eq.(9) we get

$$SignalingL\ oad = \frac{3600 * 0.75 * 308 * CH}{T} \quad (12)$$

$$SignalingLoad = \frac{831{,}600 * CH}{T} \quad (13)$$

Number of speech channel per signaling link

Assuming that: Maximum load for each CCS7 link 0.2 Erl (20%), Speech channels carry a traffic load of 0.75 Erl, The average call duration is 140 Sec.

Complete call by conventional routing:

Per hour each speech channel carries

$$\frac{3600\ \text{sec} * 0.75\ Erl}{140\ \text{sec}} = 19.28\ call$$

Each call setup and call released involves the transmit of 258 bytes, per hour = 19.28*258 = 4974.24 bytes of information must be transmitted.

Signaling traffic per hour for each direction=4974.24*0.5=2487.12

A CCS7 sends max per each direction

$$\frac{64{,}000(bit/\text{sec}) * 3600(\text{sec}/hour) * 0.2(Erl)}{8(bit/byte)} = 5{,}760{,}000(byte/hour)$$

Therefore per signaling link could be support:

$$\frac{5{,}760{,}000}{2487.12} = 2{,}315.93 \approx 2{,}316$$ Speech channel.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Complete call by alternative routing:
Signaling traffic per hour = 19.28*308 = 5938.24 bytes of information must be transmitted therefore signaling traffic per hour for each direction is 2969.12 bytes.
Therefore a signaling link could be support:
$\frac{5,760,000}{2969.12} = 1,939.97 \approx 1,940$ Speech channel.

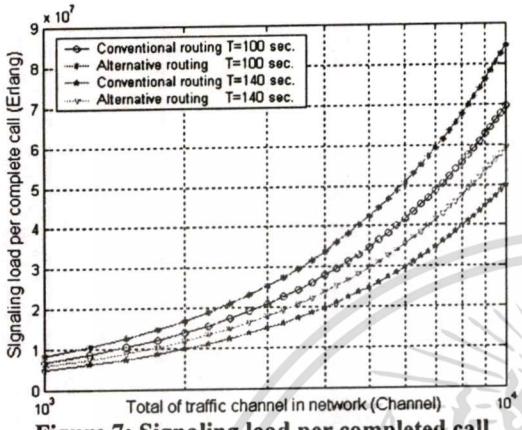


Figure 7: Signaling load per completed call

3.3 Call setup delay

In this section will consider the call setup delay, which result from the alternative routing in case of complete call setup. There are three main variables in this consideration (Time for transmit the signaling message, Time for database query for each network element, Time used for paging procedure). We will not concern the actual time for call setup but mention especially for the different value of call setup delay between the conventional routing and alternative routing.

3.3.1 Time for transmit the signaling message between network element is denoted as x. from the Fig.(1) of MTC call require 5x for the complete call (Exclude the message transmit to the BSS part because no different procedure from the alternative routing in the BSS part). In vice versa of alternative routing in Fig.(3) require 7x for each complete call. The extra message is call control transfer as no.(6) and no.(9) between VMSC and GMSC.

3.3.2 Time for database query for each network element, due to the alternative routing require double database inquiry (for normal inquiry and alternative service subscription) therefore the Alternative routing require 2y, where y is denote as normal database inquiry.

3.3.3 Time for paging procedure, both routing method not modify the procedure of paging in BSS part. Therefore the paging time would be equal at all denote as ρ. Therefore

Call setup time (Conventional routing) = $5x+y+\rho$
Call setup time (Alternative routing) = $7x+2y+\rho$

When the time for transmit message is much greater than the time for database query ($x >> y$), in this case the total delay using alternative routing is roughly greater 40% of the total delay of conventional routing. Call setup delay would be the topic of improvement in future to decrease the call setup delay.

4. Conclusion

The alternative routing was propose in this letter to resolve the problem of chain connection crossing the redirecting exchange when subscriber setup the conditional call forwarding. By setup the direct connection from calling exchange to called exchange. Traffic channel load was improved by alternative routing but lead to the greater call setup delay approximately 40% and worse of signaling load than the conventional method about 50 bytes for each complete call. The improvement of call setup delay and signaling load could be the tropic in future.

5. References

[1] Advances in Mobile information systems, John Walker Editor, Artech House Publishers Boston London, November 1944

[2] Mobile communication Engineering Theory and Applications (Second edition), William C.Y. Lee, Mc Graw Hill, 1998

[3] Mobile Cellular Telecommunications Systems, Willia C.Y.Lee, Mc Graw Hill, 1989

[4] PCS Mobillity management using the Reverse virtual call setup algorithm, *IEEE/ACM Transactions on networking* **vol. 5** No.1 February 1997

[5] Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Support of Optimal Routing (SOR);(GSM 02.79)

[6] Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Mobile Application Part (MAP) specification (GSM 09.02 version 5.9.0)

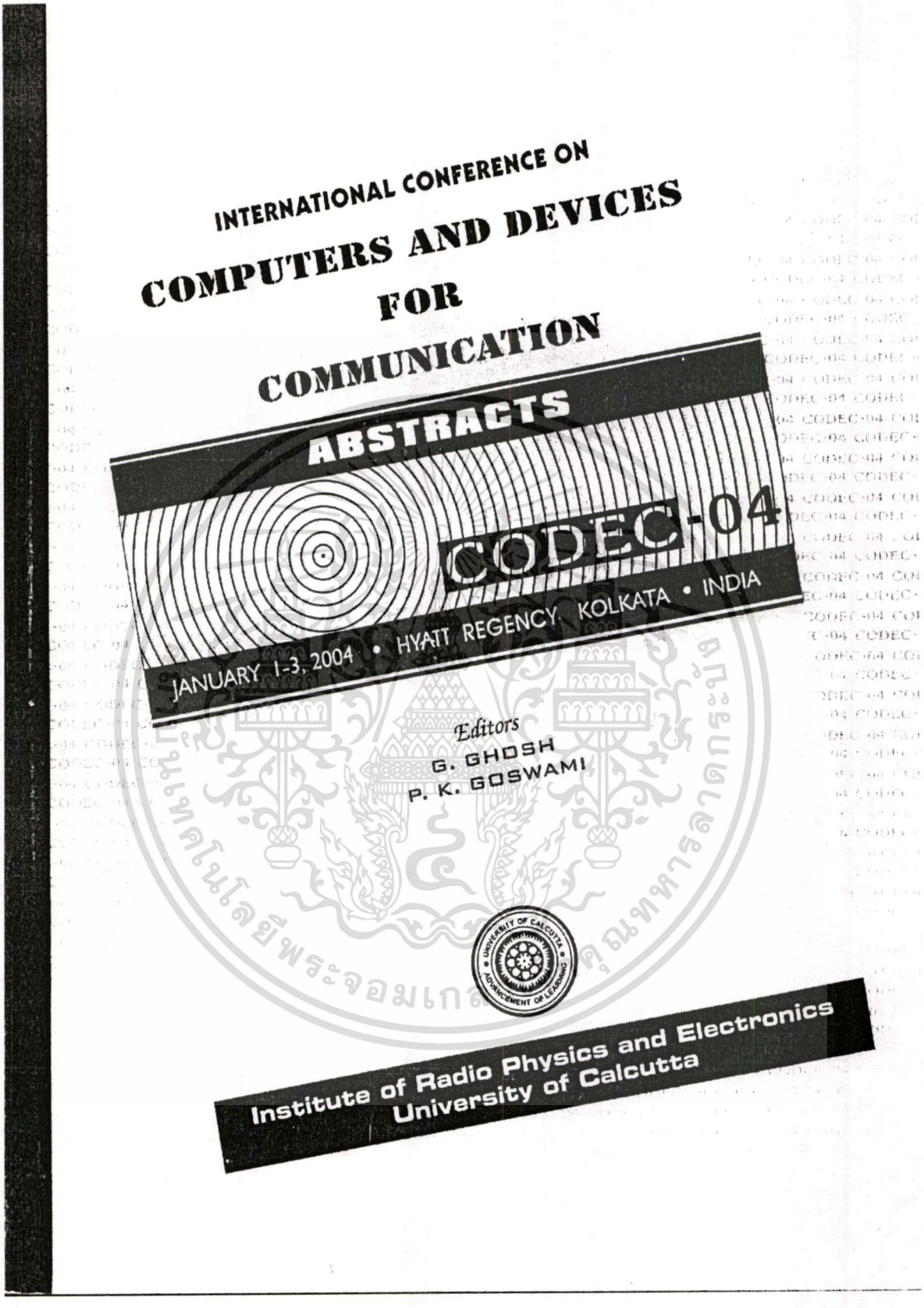
[7] Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Mobile radio interface layer 3 specification (GSM 04.08 version 5.9.0)

[8] Zuji Mao, "An intra-LA location update strategy for reducing paging cost," *IEEE Commun. Lett.*, **vol. 6**, no. 8, August 2002.

[9] Y.-B. Lin, S. Mohan, N. Sollenberger and H. Sherry, "Adaptive algorithms for reducing PCS network authentication traffic," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, **vol. 46**, pp. 588-596, Aug. 1997.

[10] R. Rezaiifar and A. M. Makowski, "From optimal search theory to sequential paging in cellular networks," *IEEE J. Select. Areas Commun.*,**vol. 15**, pp. 1253-1264, September 1997.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Optimum traffic channel in GSM network by using Alternative call routing (IN routing analytical)

Jatuporn Pliancharoen, Manus Pengnoo and Suthichai Noppanakeepong
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand, 10520
E-mail: jatupornp@siemens.com, s4068718@kmitl.ac.th and knsuthic@kmitl.ac.th

Abstract **The increased demand of wireless mobile communications in circuit switching, and the finite resource lead to the resource expansion to satisfy the demand supply for subscribers. From the traffic measurement found the approximate 50% of call attempts are complete call, else are incomplete call with several reasons such as no reply, out of service area, or busy. But the speech channel between calling through called exchange and seized the circuit since the beginning of call setup although the call are incomplete. From this reason motivated to the investigation for alternative routing to optimum the traffic resource in GSM network. We are assumption that the traffic channel should not be seized, if the call is incomplete. The propose method could be implemented in addition from the existing GSM network, their relative performances are investigated and comparison i.e. Traffic load, Signaling load, Call setup delay.**

Keywords: **Call forwarding, Mobility management, Optimal routing, Traffic channel, Interrogation.**

I. INTRODUCTION

The motivation of alternative routing to optimum the traffic channel between calling through called exchange to seized the circuit only the mean time of conversation by eliminated the seizer time of un-necessary procedure in conventional routing e.g. during the call setup, paging time, seizer before answer. And resolve the problem of traffic channel setup crossing the redirecting exchange called chain connection problem as shown in Figs.(1) in case of late calls forwarding as solid line no.(6) and no.(11). This case subscriber B who setup call forward to the third party is charged for the traffic connection crossing from redirecting exchange to the terminating exchange. The procedures of call forwarding see in GSM 09.02

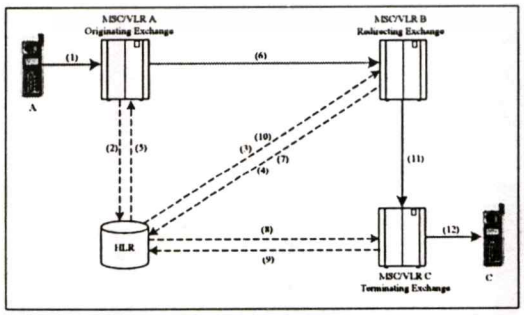


Figure 1 Chain connection in late call forwarding

II. ALTERNATIVE ROUTING

In this section will present the different aspect of the alternative routing as well as the prerequisite to enable this functional in the existing GSM network.

2.1 Functional requirement

The alternative routing could be supported for all circuit switched in GSM network, except emergency calls, and Dedicated Packet Access (GPRS and UMTS are for further study).

2.1.1 Require network feature optimal routing before implement the alternative routing. Afterward the functional could be applied automatically for all calls except those calls, which the HPLMN of the called party denies the optimal routing see optimal routing in GSM 03.79

2.1.2 The VPLMN of caller and called, as well as the HPLMN of called must have the capable of alternative routing and MAP version 3 to support the resume call handling message between GMSC and VMSC see application context description in GSM 09.02

2.1.3 If the interrogation PLMN detects that the alternative routing are not support, the interrogate PLMN will routes the call according to the dialed number by conventional routing.

2.1.4 The serving network of alternative routing could be recognition the destination for conventional routing or alternative routing by own database in the interrogation PLMN.

2.1.5 For IN subscriber the SCF should have the subscriber profiles with alternative routing service, if would like to charge as premium rate for those relevant subscriber.

2.2 Propose scheme for alternative routing

2.2.1 Alternative routing for IN subscriber terminating call. In Figs.(2) the caller is an ordinary subscriber originate the call to IN subscriber who have alternative routing service and TCSI. See description of TCSI in CAMEL specification GSM 03.78 in some operator called subscriber was charged for terminating call, but this case operator may charge as the premium rate for terminating with alternative routing. Calling party setup call to called party GMSC start interrogate to HLR where called is registered as line no.2 with application context number 5, HLR query in own database and know that called subscriber has TCSI for IN service then send the message Subscriber Information Enquiry to VMSC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

with application context number 28. VMSC respond with the Location number of called subscriber, which is essential for SCP to calculate the charging tariff for called subscriber. Then HLR return routing information to GMSC including the CAMEL subscription information. From routing information SSF would initiate the IDP message to SCF to request the terminating authorize. After SCF verify in own database and respond GMSC with CONNECT message now GMSC will start the second interrogate to HLR (With Suppress TCSI flag) for request MSRN number from VMSC which is need for setup traffic channel through called exchange. When GMSC receive the MSRN from HLR will initiate the MAP message call resume handling to VMSC instead of ISUP connection to VMSC as in the conventional routing. This message will trig VMSC to start paging to called subscriber. If called subscriber is reach and answer the call VMSC will return the MAP call resume handling to GMSC with application context number 6. Eventually The GMSC shall setup the traffic connection to VMSC for terminating call by mean of MSRN number.

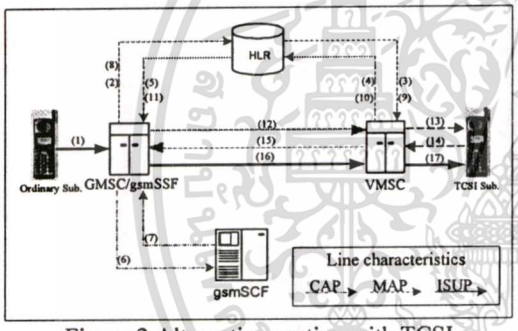


Figure 2 Alternative routing with TCSI

2.2.2 Alternative routing for late call forwarding.
In this cases, the call shall be routed to the mobile subscriber B via HPLMN(B). If the call cannot be completed, the originating PLMN shall receive an indication reason of failure for the call completion. Thereafter, if the mobile subscriber B has activated a conditional call forward to a destination located in her home country or to a destination in the country where A is registered and this leads to the invocation of Late Call Forwarding, then the originating PLMN shall route the call directly to forwarded-to-party. The remaining leg of the call from the intermediate point to the ultimate destination may be optimally routed. The subscriber who have the service of alternative routing will be recorded in HLR database and transfer to VLR when perform location update. The Figs.(3) demonstrate the call flow of late call forward when C is roaming in same country as A the message no.(1)-(5) as same as the normal MTC. The message no.(6) is call control transfer contain the forwarding data to GMSC such as no-reply, busy or no-paging respond. Then GMSC start interrogation again to HLR by the received data from MSC B. Eventually the call flow will routed as same as normal MTC for message no.(10)-(19).

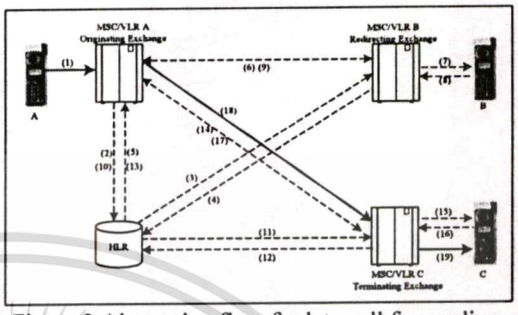


Figure 3 Alternative flow for late call forwarding.

III. ANALYTICAL RESULTS

3.1 Traffic channel load

This section discusses the cost of traffic channel in network, which cause from the successful call and unsuccessful call. The successful call concluded from the number of call which reached to called party (paging response and calling alert) although called number answer the call or not such as called busy, called not answer, completed call, calling party release before answer. In the idealization the traffic channel should be seized only while the conversation time exclude the time before called answer to optimum the efficiency of traffic channel in GSM network.

Table 1 Call scenario probability and duration.

Call type	P_i	T_i Conventional	T_i Alternative
COMPLETED_CALLS	0.52	$\tau_1+\tau_2,\tau_3,\tau_4$= 144.2	τ_1= 140
B_NO_ANSWER	0.30	τ_2,τ_3,τ_4= 6.9	0
B_BUSY	0.03	τ_2,τ_3= 3.9	0
DROP_CALL	0.07	τ_3= 1.4	0
UNSUCCESSFUL_CALLS	0.08	0	0
Average duration	τ_i		
MEAN_HOLDING_TIME (τ_1)	140		
PAGING_TIME (τ_2)	2.5		
AVERAGE_CALL_SETUP (τ_3)	1.4		
HOLDING_BEF_ANSWER (τ_4)	3.0		

With the alternative routing traffic channel will not seized any more before called answer and notify the calling exchange over the MAP message to start ISUP connection though called exchange for terminating call. That means the seizer duration is less than the conventional routing because excluded the paging time, B no answer, B busy, B out of service area.

$$C_T = \sum_i \frac{\overline{T}_i * P_i * A_T * M_i}{3600} \quad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Where C_T is the relative traffic channel cost, $\overline{T}_i$ average duration per call type, P_i Probability per call type, A_T total call attempt in network (All day), M_i MSC crossing per call type

$$C_T = (C_{CompleteCall}) + (C_{B-NoAnswer}) + (C_{B-Busy}) + (C_{DropCall}) \quad (2)$$

From Eq. (2) we consider per call type by Conventional routing

$$C_T = \frac{M_i * A_T}{3600}[(144.2 * 0.52) + (6.9 * 0.3) + (3.9 * 0.03) + (1.4 * 0.07)] \quad (3)$$

$$C_T = (0.0215) * M_i * A_T \quad (4)$$

From Eq. (2) we consider per call type by Alternative routing

$$C_T = \frac{M_i * A_T}{3600}[140 * 0.52] \quad (5)$$

$$C_T = (0.0202) * M_i * A_T \quad (6)$$

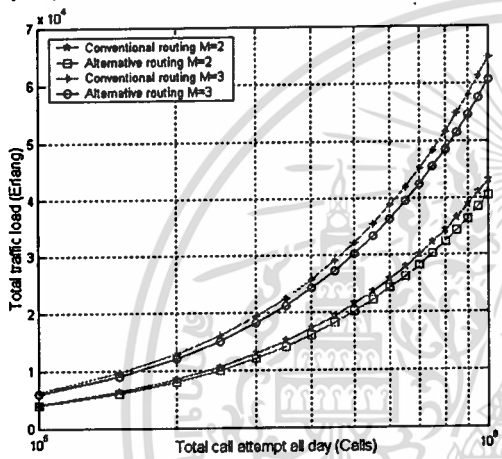


Figure 5 Traffic channel load of complete call crossing per MSC

From the Figs.(5) alternative routing cause the traffic channel load lower than the conventional routing, because not require the traffic channel crossing redirecting exchange, traffic channel was seized only the mean time of conversation.

3.2 Signaling channel load

The section discusses of signaling load associated with alternative routing; we define the signaling messaged on the GSM ISUP and MAP protocol. The messages sent locally between BSS and SSS part are not considered since they are the same as conventional routing. The message size could be different than the Table(2). Which depend on the optional parameter for each network, but this research we are particularly focus on how different between the conventional and alternative routing.

The message MAP_RESUME_CALLHANDLING is especially for alternative routing (which is not require in the conventional routing) for trigger VMSC to start paging to called subscriber. This message demonstrates in Figs.(3) message (14) and (17) the application context number 6[2] this message available only in MAP version 3.This message will return the forwarding data to GMSC including the cause value of call control[3] to the calling exchange. The CAP protocol in alternative routing bigger than conventional routing about 30 bytes for service flag transceiver between SSF and SCF in case operator charge as the premium rate for alternative routing.

Table 2 The size of message element.

Message type	Conventional	Alternative
CAP protocol		
Total CAP protocol	273	303
MAP protocol		
Total MAP protocol	153	213
ISUP protocol[1]		
IAM	42	42
ACM	14	14
ANM	21	21
REL	16	16
RLC	12	12
Total (Exclude the BSS messages)	531	621

Table 3 Compare signaling load per call scenario

Scenario	Conventional	Alternative	Delta
Complete call	258	308	+50
Drop call	195	245	+50
Called no answer	237	203	-34
Called busy	258	203	-55
No paging response	223	203	-20
Early call forwarding	278	328	+50
Late call forwarding	516	511	-5
LOCUPD same VLR	45	48	+3
LOCUPD new VLR	105	108	+3

[1] Message volume varies on the cause value, which contain forwarding data in case call forwarding.
[2] The application context for MAP are defined in GSM 09.02
[3] The cause value of call control are defined in GSM 04.08

In Table(3) shown the signaling traffic for each call scenario between conventional routing and alternative routing, in case of location update either same or new VLR the subscriber service flag for alternative routing have to be transferred from HLR to VLR which cost 3 bytes.

3.2.1 Complete call: Alternative routing worse than conventional routing 50 bytes because require the message MAP RESUME CALL HANDLING for trigger VMSC to start paging to called subscriber in their location area. After called subscriber answer the call. This message will alert GMSC to setup speech channel to VMSC for terminating call.

3.2.2 Drop call: Mean the scenario, which drop before VMSC respond the ACM message during ISUP connection. Might come from the several reason such as Transmission problem, A release before call alert etc. Alternative routing cost 50 bytes more than conventional routing.

3.3.3 Called no answer is better signaling load 34 bytes by alternative routing, because not require the ISUP message sending to VMSC. Called busy and no paging response are also better signaling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

load than conventional routing for 55 and 20 bytes respectively. Because of MAP RESUME CALL HANDLING could return the called state from VMSC to GMSC after paging procedure, whether called subscriber is idle or busy state. Therefore GMSC could be foreseen to not setup ISUP message to VMSC.

3.3.4 Call forwarding: the signaling load of alternative routing worse than conventional routing in case late call forwarding about 50 bytes, but for early call forwarding about 5 bytes. Because require MAP RESUME CALL HANDLING return to calling GMSC before start the second interrogation to C number.

3.3 Call setup delay

In this section will consider the call setup delay, which result from the alternative routing in case of complete call setup. There are three main variables in this consideration (Time for transmit the signaling message, Time for database query for each network element, Time used for paging procedure). We will not concern the actual time for call setup but mention especially for the different value of call setup delay between the conventional routing and alternative routing.

3.3.1 Time for transmit the signaling message between network element is denoted as x. require 14x for the complete call in conventional routing (Exclude the message transmit to the BSS part because no different procedure from the alternative routing in the BSS part). In vice versa of alternative routing in Figs.(2) require 16x for each complete call. The extra message is call control transfer as no.(12) and no.(15) between VMSC and GMSC. This is estimate from the normal MTC where called is IN subscriber with TCSI service.

3.3.2 Time for database query for each network element, due to the alternative routing require double database inquiry (for normal inquiry and alternative service subscription) therefore the Alternative routing require 2y, where y is denote as normal database inquiry.

3.3.3 Time for paging procedure, both routing method not modify the procedure of paging in BSS part. Therefore the paging time would be equal at all denote as ρ. Therefore

Call setup time (Conventional routing) = $14x+y+\rho$

Call setup time (Alternative routing) = $16x+2y+\rho$

When the time for transmit message is much greater than the time for database query ($x >> y$), in this case the total delay using alternative routing is roughly greater 14% of the total delay of conventional routing. Call setup delay would be the topic of improvement in future to decrease the call setup delay.

IV. CONCLUSION

The alternative routing was propose in this letter to resolve the problem of chain connection crossing the redirecting exchange when subscriber setup the conditional call forwarding and to eliminate the seizer time of traffic channel before called answer. By setup the direct connection from calling exchange to called exchange after receive the MAP resume call handling from called exchange. Traffic channel load was improved by alternative routing but lead to the greater call setup delay approximately 14% and worse of signaling load than the conventional scheme about 90 bytes for each complete call (IN subscriber with TCSI). The improvement of call setup delay and signaling load could be the tropic in future.

REFERENCES

[1] John Walker Editor *"Advances in Mobile information systems"* Artech House Publishers Boston London, November 1944

[2] William C.Y. Lee *"Mobile communication Engineering Theory and Applications (Second edition)"* Mc Graw Hill, 1998

[3] Willia C.Y.Lee *"Mobile Cellular Telecommunications Systems"*,Mc Graw Hill, 1989

[4] *"PCS Mobillity management using the Reverse virtual call setup algorithm"*, IEEE/ACM Transactions on networking vol. 5No.1 February 1997

[5] Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Support of Optimal Routing (SOR);(GSM 02.79)

[6] Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Mobile Application Part (MAP) specification (GSM 09.02 version 5.9.0)

[7] Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Mobile radio interface layer 3 specification (GSM 04.08 version 5.9.0)

[8] Zuji Mao, *"An intra-LA location update strategy for reducing paging cost," IEEE Commun. Lett.*, vol. 6, no. 8, August 2002.

[9] Y.-B. Lin, S. Mohan, N. Sollenberger and H. Sherry, *"Adaptive algorithms for reducing PCS network authentication traffic," IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 46, pp. 588-596, Aug. 1997.

[10] R. Rezaiifar and A. M. Makowski, *"From optimal search theory to sequential paging in cellular networks," IEEE J. Select. Areas Commun.*,vol. 15, pp. 1253-1264, September 1997.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายจตุพร เปลี่ยนเจริญ เกิดเมื่อวันที่ 15 พฤศจิกายน 2520 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร สาขาโทรคมนาคม (เกียรตินิยม) จากศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ปีการศึกษา 2543

ปี พ.ศ. 2543 เข้าทำงานในบริษัทซีเมนส์ประเทศไทย ในส่วนงานสื่อสารระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยดำรงตำแหน่งวิศวกรระบบชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่รับผิดชอบโครงการภายในประเทศไทยและประเทศพม่าปี พ.ศ. 2546 ดำรงตำแหน่งวิศวกรอาวุโสระบบชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่รับผิดชอบการทดสอบซอฟต์แวร์ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้