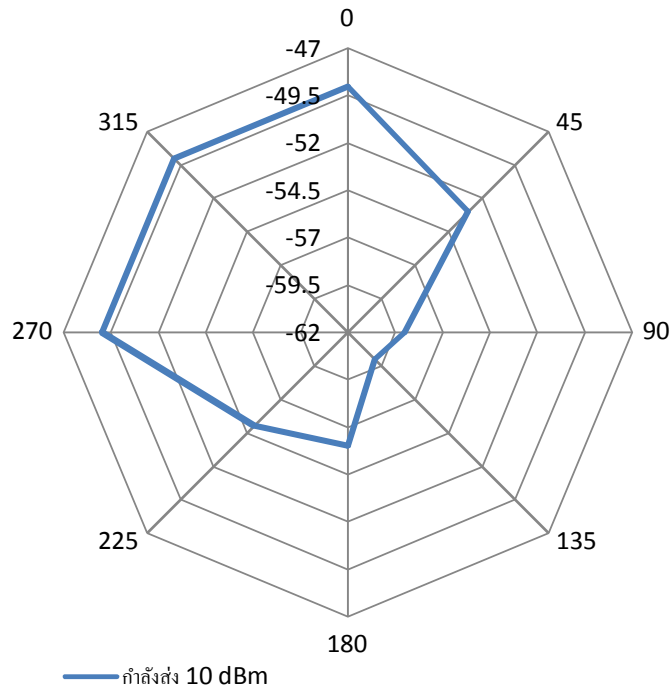


รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ระบบอ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือสำหรับการเฝ้าระวังความปลอดภัย



โดย

รองศาสตราจารย์ ดร. ผนกร อินทร์พยุ่ง (หัวหน้าโครงการฯ)

คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากจากสภาวิจัยแห่งชาติ

ประจำปีงบประมาณ 2557

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะวิจัยขอขอบคุณ สภาวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2557 ในโครงการวิจัย การพัฒนาระบบการอ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือสำหรับการเฝ้าระวังความปลอดภัย (Mobile phone reader for surveillance network system)

นอกจากนี้ ทางคณะวิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้การสนับสนุนในด้านอุปกรณ์และสถานที่ทำการวิจัย รวมทั้ง เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ นักวิจัยที่ช่วยสนับสนุนโครงการ ให้ดำเนินการได้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

คณะวิจัยฯ

บทคัดย่อ

สภาพสังคมที่เปลี่ยนแปลงไปตามวัตถุณียมอย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดปัญหาความปลอดภัยของชีวิต และทรัพย์สินตามมา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความเสี่ยงจากภัยอาชญากรรม สร้างความสูญเสียที่ประเมินค่าไม่ได้ มาตรการรักษาความปลอดภัยและแก้ปัญหอาชญากรรมในปัจจุบัน สามารถกระทำได้หลายแนวทาง ยกตัวอย่างเช่น การออกกฎควบคุมการเข้าใช้พื้นที่อย่างเข้มงวด การติดตั้งกล้องวงจรปิด (CCTV) การจ้างพนักงานรักษาความปลอดภัย อย่างไรก็ตาม แนวทางการแก้ปัญหความปลอดภัยและอาชญากรรมที่มีอยู่ในปัจจุบัน อาจขาดขาดประสิทธิภาพ ความยืดหยุ่นในทางปฏิบัติ เกิดช่องว่างหรือโอกาสสำหรับผู้กระทำผิด หรือมีต้นทุนในการดำเนินงานสูง ดังนั้น ในโครงการวิจัยนี้ จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาระบบต้นแบบการอ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือสำหรับการเฝ้าระวังความปลอดภัย เพื่อตอบโจทย์จากปัญหาข้างต้น

คณะผู้วิจัยได้พัฒนาอุปกรณ์อ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือต้นแบบ โดยที่อุปกรณ์อาศัยข้อมูลการอัปเดตตำแหน่งของโทรศัพท์โดยอัตโนมัติ (Location update) เมื่อมีการเปลี่ยนพื้นที่การให้บริการเครือข่าย โทรศัพท์มือถือจะส่งข้อมูลรหัสสัญญาณจำเพาะ (Mobile ID) เพื่อบ่งชี้ว่า อุปกรณ์อยู่ภายในเขตพื้นที่ให้บริการใดเพื่อความรวดเร็วในการติดต่อสื่อสารทั้งการรับสาย (Paging request) และการโทรออก ระบบดังกล่าวได้ถูกนำไปทดสอบการอ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือที่ประตูทางเข้าออกมหาวิทยาลัยบูรพา แบบชั่วคราว เนื่องจากงบประมาณในการดำเนินการวิจัยที่ค่อนข้างจำกัด เพื่ออ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือจากบุคคล/ยานพาหนะที่ผ่านเข้าออกประตูของมหาวิทยาลัย ข้อมูลสัญญาณโทรศัพท์มือถือที่อ่านได้ จะถูกเข้ารหัสเพื่อความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของบุคคล และส่งมายังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายจำลองในทุกๆช่วงเวลา 5 นาที (5-min interval) โดยผ่านขั้นตอนการคัดกรองข้อมูลและการประมวลผลที่เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย ผลการทดสอบความถูกต้องของอุปกรณ์ในการอ่านสัญญาณโทรศัพท์พบว่า อุปกรณ์ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถอ่านข้อมูลสัญญาณโทรศัพท์โดยมีค่าความถูกต้องร้อยละ 81

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	i
บทที่ 1 บทนำ.....	1-1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ.....	1-1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1-1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	1-1
1.4 กรอบแนวคิดของโครงการ	1-2
บทที่ 2 การทบทวนผลงานที่เกี่ยวข้อง.....	2-1
2.1 การอ่านข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือ.....	2-1
2.2 ผลงานที่เกี่ยวข้อง.....	2-3
2.3 ข้อมูลความเป็นส่วนตัว.....	2-10
2.4 ลิขสิทธิ์และสิทธิการใช้งานโครงข่ายโทรศัพท์.....	2-13
2.5 แนวทางการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม.....	2-15
บทที่ 3 การพัฒนาระบบประมวลผล	3-1
3.1 ระบบประมวลผลข้อมูลสัญญาณโทรศัพท์มือถือ.....	3-1
3.1.1 หมายเลขบ่งชี้ลักษณะจำเพาะของโทรศัพท์มือถือ	3-1
3.1.2 รูปแบบการจัดสรรคลื่นความถี่ และโปรโตคอลการสื่อสารระบบจีเอสเอ็ม.....	3-2
3.1.3 แนวคิดในการผสมสัญญาณคลื่นความถี่.....	3-5
3.2 แนวคิดในการพัฒนาสายอากาศรับส่งข้อมูลที่มีลักษณะจำเพาะ.....	3-6
3.3 ระบบประมวลผลข้อมูลตำแหน่งโทรศัพท์มือถือ	3-10
3.3.1 โปรโตคอลควบคุมการสื่อสาร	3-10
3.3.2 การอัปเดตข้อมูลตำแหน่งโทรศัพท์มือถือ.....	3-12
3.3.3 ค่าความแรงของสัญญาณและการเลือกเซล	3-15
3.3.4 การทดสอบความเร็วในการอ่านสัญญาณ	3-17
3.4 แนวคิดในการพัฒนาอุปกรณ์กวาดสัญญาณ	3-21
บทที่ 4 การพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ.....	4-1
4.1 การตรวจสอบความแรงของสัญญาณ	4-1
4.1.1 การตรวจสอบความแรงสัญญาณโทรศัพท์ในสภาพแวดล้อม	4-1
4.1.2 แนวคิดในการออกแบบการติดตั้งอุปกรณ์	4-6
4.2 การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์อ่านสัญญาณ	4-6
4.3 การตั้งค่าโปรแกรมระบบ	4-14
4.5 การเชื่อมต่อระบบข้อมูลกับคอมพิวเตอร์แม่ข่าย	4-18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 การวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล.....	5-1
5.1 ระบบประมวลผลการเดินทางเข้าออกพื้นที่	5-1
5.2 ระบบประมวลผลระยะเวลาเดินทาง	5-3
5.3 ระบบเชื่อมต่อข้อมูลโดยอัตโนมัติ	5-5
5.4 การทดสอบความถูกต้องของอุปกรณ์.....	5-7
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา.....	6-1
6.1 สรุปผลการศึกษา.....	6-1
6.1.1 การทบทวนผลการศึกษาและข้อเสนอแนะแนวทางที่เหมาะสม	6-1
6.1.2 การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางการเดินทางด้วย โทรศัพท์มือถือ	6-2
6.2 ข้อเสนอแนะของโครงการ.....	6-3

เอกสารอ้างอิง

บทที่ 1

บทนำ

- ❖ ความเป็นมาของโครงการ
- ❖ วัตถุประสงค์ของโครงการ
- ❖ ขอบเขตของการศึกษา
- ❖ กรอบแนวความคิดของโครงการ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

สภาพสังคมที่เปลี่ยนแปลงไปตามวัตุนิยมอย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดปัญหาความปลอดภัยของชีวิตและทรัพย์สินตามมา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความเสี่ยงจากภัยอาชญากรรม สร้างความสูญเสียที่ประเมินค่าไม่ได้ มาตรการรักษาความปลอดภัยและแก้ปัญหาอาชญากรรมในปัจจุบัน สามารถกระทำได้หลายแนวทาง ยกตัวอย่างเช่น การออกกฎควบคุมการเข้าใช้พื้นที่อย่างเข้มงวด การติดตั้งกล้องวงจรปิด (CCTV) การจ้างพนักงานรักษาความปลอดภัย อย่างไรก็ตาม แนวทางการแก้ปัญหาความปลอดภัยและอาชญากรรมที่มีอยู่ในปัจจุบัน อาจขาดขาดประสิทธิภาพ ความยืดหยุ่นในทางปฏิบัติ เกิดช่องว่างหรือโอกาสสำหรับผู้กระทำผิด หรือมีต้นทุนในการดำเนินงานสูง

ดังนั้น ในโครงการวิจัยนี้ จึงนำเสนอระบบตรวจสอบสัญญาณโทรศัพท์มือถือสำหรับการเฝ้าระวังความปลอดภัย เพื่อตอบโจทย์จากปัญหาข้างต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อพัฒนาระบบอ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือที่ผ่านสถานี M-Sense สำหรับการเฝ้าระวังความปลอดภัยในชุมชน
- 1.2.2 เพื่อพัฒนาระบบการสืบค้นข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ M-Sense ในข้อ (1.2.1) สำหรับสนับสนุนการสืบค้นและวิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนที่ของผู้ต้องสงสัยที่กระทำการละเมิดต่อชีวิตและทรัพย์สินผู้อื่น

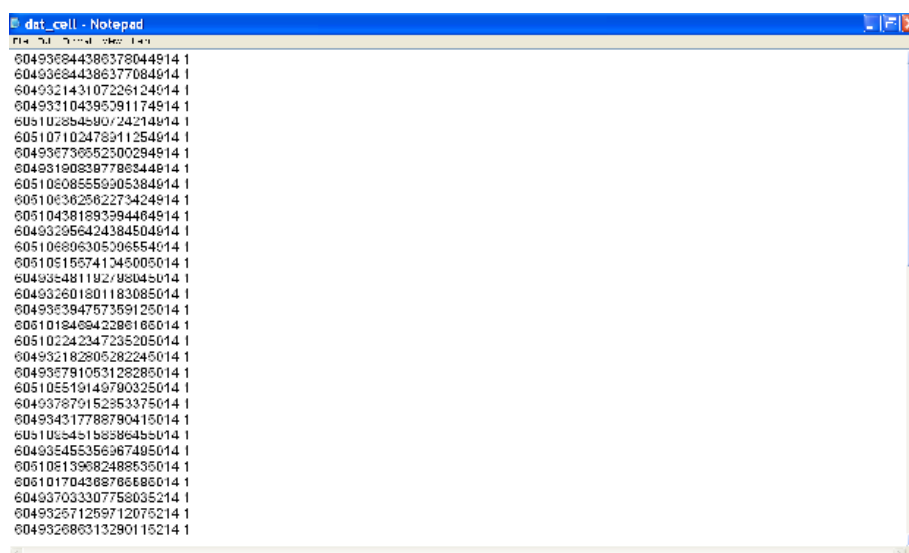
1.3 ขอบเขตของการศึกษา

พัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของระบบอ่านสัญญาณ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และการพัฒนาระบบเป็นระบบต้นแบบสำหรับพื้นที่เฝ้าระวังและการวิเคราะห์รูปแบบข้อมูลเพื่อสนับสนุนการตรวจสอบผู้บุกรุกทรัพย์สินทางราชการ

1.4 กรอบแนวความคิดของโครงการ

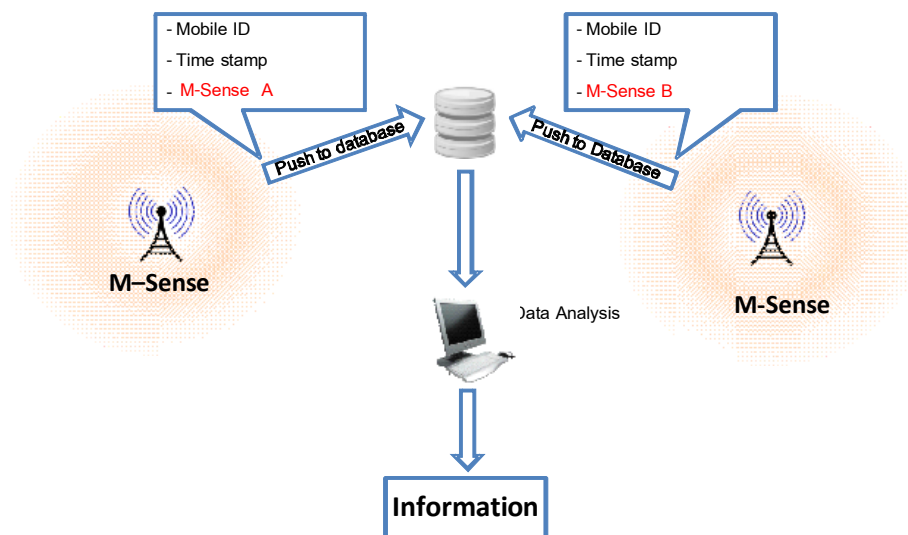
ในโครงการวิจัยนี้ จะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ 1) การวิจัยและพัฒนาระบบอ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือ ซึ่งทำหน้าที่ตรวจสอบสัญญาณโทรศัพท์มือถือที่เข้ามาอยู่ในรัศมีเครื่องอ่าน M-Sense ภายในระยะ 50-300 เมตร ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการของแต่ละจุดติดตั้ง และ 2) การวิจัยและพัฒนาระบบอ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือ โดยบ่งชี้ลักษณะจำเพาะของสัญญาณโทรศัพท์มือถือ (Mobile ID) แต่ละเครื่องที่มีลักษณะรูปแบบสัญญาณที่แตกต่างกัน

สำหรับการอ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือ จะได้สัญญาณโทรศัพท์มือถือแต่ละเครื่องที่มีรูปแบบรหัสดิจิทัล (Mobile ID) ที่แตกต่างกัน ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 1.4-1 โทรศัพท์มือถือที่มีรูปแบบ X ผ่านสถานี (M-Sense) A เวลา 02:00 น. และผ่านสถานี B เวลา 02:15 น. ในกรณีที่ทรัพย์สินสูญหาย มีเหตุร้ายหรืออาชญากรรมเกิดขึ้น ข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปวิเคราะห์หาผู้ต้องสงสัยจากรูปแบบการเคลื่อนที่ของสัญญาณโทรศัพท์มือถือ ภายในโครงข่ายสถานี M-Sense



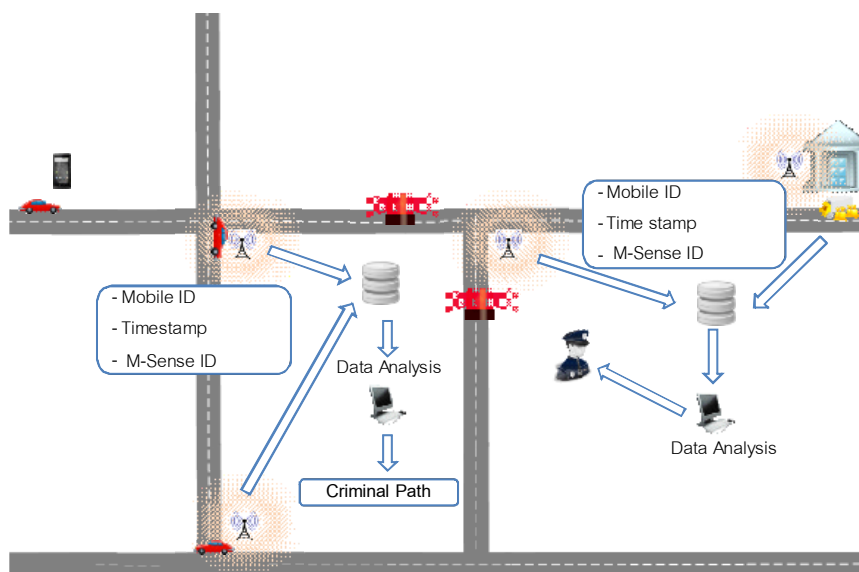
รูปที่ 1.4-1 ตัวอย่างข้อมูลจำเพาะของสัญญาณโทรศัพท์

รูปที่ 1.4-2 แสดงสถาปัตยกรรมของระบบ โดยข้อมูล Mobile ID ของโทรศัพท์มือถือที่อยู่ภายในบริเวณสถานีอ่านสัญญาณจะถูกจัดเก็บลงระบบฐานข้อมูล



รูปที่ 1.4-2 (ก) การจัดเก็บข้อมูล Mobile ID ลงในระบบฐานข้อมูล

ในกรณีที่มีเหตุบุกกรทุพรัพรัสนทางราชการเกิดขึ้น สถานีน่านสัญญาณโทรศัพท์ (M-Sense) สามารถรายงานเส้นทางเคลื่อนที่ของสัญญาณโทรศัพท์มือถือของผู้กระทำผิดได้แบบเรียลไทม์ ทำให้เจ้าหน้าที่สามารถใช้ข้อมูลวิเคราะห์วางแผนจับกุมได้ทันท่วงที หรือในกรณีการโจรกรรมทรัพย์สินในเหตุการณ์ที่ผ่านมาไปแล้ว ก็สามารถใช้ข้อมูลสนับสนุนการสืบสวน สอบสวน ประกอบกับข้อมูลหลักฐานอื่นๆที่หาได้



รูปที่ 1.4-2 (ข) การวิเคราะห์เส้นทางอาชญากรรมในโครงข่ายสถานีอ่านสัญญาณโทรศัพท์

ประเด็นเรื่องการละเมิดข้อมูลส่วนบุคคล สิทธิความเป็นส่วนตัว หรือสิทธิส่วนบุคคลเบื้องต้น

ระบบ M-Sense อาศัยการอ่านสัญญาณจากโทรศัพท์มือถือในลักษณะการใช้งานปกติภายในบริเวณพื้นที่ฝ้าระวังที่กำหนด อ้างถึง รัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พ.ศ. 2550 มาตรา 35 กล่าวว่า

....สิทธิของบุคคลในครอบครัว เกียรติยศ ชื่อเสียง ตลอดจนความเป็นอยู่ ส่วนตัว ย่อมได้รับความคุ้มครอง การกล่าวหรือไขข่าวแพร่หลายซึ่งข้อความหรือภาพไม่ว่าด้วยวิธีใดไปยังสาธารณชน อันเป็นการละเมิดหรือกระทบถึงสิทธิของบุคคลในครอบครัว เกียรติยศ ชื่อเสียง หรือความเป็นอยู่ ส่วนตัว จะกระทำมิได้ เว้นแต่กรณีที่เป็นประโยชน์ต่อสาธารณะ บุคคลย่อมมีสิทธิได้รับความคุ้มครองจากการแสวงประโยชน์โดยมิชอบจากข้อมูล ส่วนบุคคลที่เกี่ยวกับตน ทั้งนี้ ตามที่กฎหมายบัญญัติ เป็นต้น...

สังเกตว่า ขั้นตอนการทำงานของระบบ M-Sense ที่นำเสนอ จะแปลงสัญญาณที่อ่านได้จากโทรศัพท์มือถือให้อยู่ในรูปแบบรหัสดิจิทัลจำเพาะ **ซึ่งมนุษย์ไม่สามารถอ่านหรือเข้าใจ หรือนำไปอ้างอิงตัวบุคคลได้** ประกอบกับการประยุกต์ใช้ M-Sense เพื่อเป็นประโยชน์ต่อสาธารณะ (เปรียบเทียบกับคล้ายกับกรณีการติดตั้งกล้อง CCTV ของกรุงเทพมหานคร) ดังนั้น จึงถือได้ว่า ไม่ขัดต่อข้อกำหนดใน มาตรา 35 ดังกล่าวนอกจากนี้ เมื่อทบทวนข้อกำหนดการละเมิดข้อมูลส่วนบุคคลของธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์และโทรศัพท์มือถือในต่างประเทศ พบว่าในแต่ละประเทศยังมีความไม่ชัดเจน เนื่องจากความซับซ้อนและการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีที่รวดเร็ว

ตารางที่ 1.4-1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระบบ M-Sense และกล้องวงจรปิด (CCTV) สำหรับการฝ้าระวังความปลอดภัย

ตารางที่ 1.4-1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของกล้องวงจรปิด (CCTV) และระบบ M-Sense

คุณสมบัติ	กล้อง CCTV	M-Sense
1. การตรวจสอบวัตถุ	ทำได้ในมุมหรือบริเวณจำกัด	ตรวจสอบได้ 360 องศา ในกรณีบุคคลพกพาโทรศัพท์มือถือเข้ามาในพื้นที่
2. ความอ่อนไหวต่อสิ่งแวดล้อม	อ่อนไหวต่อสภาพอากาศ ความเข้มแสง ความเร็ว การบดบังจากสิ่งของ	ใช้งานได้ดีในทุกสภาพแวดล้อม
3. การใช้ประโยชน์จากข้อมูลสำหรับการเฝ้าระวังความปลอดภัย	เป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ (ภาพเคลื่อนไหว) ใช้ในการตรวจสอบข้อมูลเชิงหลักฐาน	ใช้ในการเฝ้าระวัง ระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติ เป็นข้อมูลเชิงปริมาณที่ช่วยสนับสนุนการวิเคราะห์สืบสวน
4. การจัดเก็บข้อมูลและบำรุงรักษาระบบ	ข้อมูลรูปภาพและภาพเคลื่อนไหว ต้องการระบบการจัดเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ และมีค่าใช้จ่ายสูง	ข้อมูลดิจิทัลมีขนาดเล็กมาก สามารถใช้ประมวลได้อย่างรวดเร็ว มีต้นทุนในการจัดเก็บต่ำ
5. การขยายผลการใช้งาน	จำกัดอยู่ในงานเฝ้าระวังความปลอดภัย	ใช้งานเฝ้าระวังความปลอดภัย งานจราจรและขนส่งที่เป็นประโยชน์ต่อสาธารณะ ฯลฯ

บทที่ 2
การทบทวนผลงานที่เกี่ยวข้อง

- ❖ การอ่านข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือ
- ❖ ผลงานที่เกี่ยวข้อง
- ❖ ข้อมูลความเป็นส่วนตัว
- ❖ ลิขสิทธิ์และสิทธิการใช้งานโครงข่ายโทรศัพท์
- ❖ แนวทางการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม

2.1 การอ่านข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือ

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาได้มีการประยุกต์ใช้วิธีการอ่านข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือ โดยมีต้นทุนในการดำเนินงานเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลน้อยกว่าการลงทุนติดตั้งระบบเซ็นเซอร์หรือวิธีการซึ่งได้มาซึ่งข้อมูลอื่นๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งหากมีการแบ่งตามประเภทของวิธีการเก็บข้อมูล โดยทั่วไปสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ได้แก่

- 1) Fixed sensor data
- 2) Mobile probe data

โดยสามารถเปรียบเทียบกับเทคโนโลยี Fixed sensor และ Mobile probe ตามแอปพลิเคชันการประยุกต์ใช้งาน สรุปได้ดังตารางที่ 2.1-1

ตารางที่ 2.1-1 แอปพลิเคชันการประยุกต์ใช้ข้อมูลจราจรและการเดินทาง

แอปพลิเคชัน	วัตถุประสงค์	รูปแบบข้อมูล	Fixed sensor	Mobile
Incident Detection	แจ้งเตือนผู้บริหารทาง และแผนในการแก้ปัญหา	ทันที	/	x
Traffic Management	ควบคุมระบบ Signaling, เพิ่มประสิทธิภาพระบบจราจร	เรียลไทม์	/	/
Traveler Information	ข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจในการเดินทาง	เรียลไทม์	/	/
Performance Monitoring	ติดตามและประเมินผลเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของโครงข่ายถนน	ข้อมูลในอดีต	/	/

ที่มา: ดัดแปลงจาก Rose (2006)

ระบบการอ่านข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือสำหรับการวางแผนและบริหารโครงข่ายถนนได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในหลายๆ ประเทศ อาทิเช่น สหรัฐอเมริกา อังกฤษ เยอรมัน เนเธอร์แลนด์ สวีเดน ออสเตรเลีย ฯลฯ โดยทั่วไป การอ่านข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีหลักๆ ได้แก่

- 1) Handset based approach
- 2) Network based approach

ซึ่งลักษณะการทำงานของการทำงานของการอ่านข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือ ทั้ง 2 วิธี สามารถสรุปได้ดังนี้

1) Handset based approach เป็นวิธีที่ใช้ฟังก์ชันการทำงานภายในอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ หรือเรียกว่า “Active system” ผู้ใช้จะต้องลงโปรแกรมซอฟต์แวร์ในเครื่องโทรศัพท์มือถือที่ใช้ระบบปฏิบัติการสมัยใหม่ หรือ สมาร์ทโฟน (Smart phone) โดยกำหนดฟังก์ชันการทำงานให้โทรศัพท์ส่งข้อมูลตำแหน่งพิกัดปัจจุบันโดยอาศัยโมดูลการบอกพิกัดด้วยดาวเทียม (Global positioning system: GPS) ภายในตัวเครื่องโทรศัพท์ และข้อมูล Time stamp ส่งไปยังศูนย์ข้อมูลกลางโดยใช้ช่องทางการสื่อสารไร้สายแบบ GPRS/Edge/3G หรือ 4G โดยวิธีนี้ ผู้ใช้โทรศัพท์มือถือจะมีภาระในการจ่ายค่า Air time เอง ในปัจจุบัน การระบุตำแหน่งพิกัดปัจจุบันของเครื่องโทรศัพท์มือถือสามารถกระทำได้ 2 วิธี ได้แก่

- GPS เป็นการระบุตำแหน่งพิกัดปัจจุบันของโทรศัพท์มือถือโดยใช้ดาวเทียม มีความแม่นยำสูงในระยะ 5-30 เมตร

- A-GPS หรือ Assisted GPS ไม่ต้องใช้โมดูล GPS ซึ่งทำให้อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือมีราคาถูกลง หรือเป็นแอปพลิเคชันที่ไม่ต้องการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ในโทรศัพท์มือถือมากเหมือนกับ GPS การระบุตำแหน่งพิกัดของผู้ใช้โทรศัพท์อาศัยความแรงของสัญญาณ (Signal strength) ระหว่างอุปกรณ์โทรศัพท์และสถานีฐาน (Cell tower) โดยมีความถูกต้องอยู่ประมาณระยะ 50-300 เมตร

2) Network based approach เป็นวิธีที่ใช้การเก็บข้อมูลจำนวนหรือการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์มือถือ หรือเรียกว่า “Passive system” โดยอาศัยข้อมูลการเชื่อมต่อสื่อสารกันระหว่างอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือและ Cell tower ในระบบ GSM/ 3G/ 4G เพื่อบ่งบอกข้อมูลที่อยู่ปัจจุบันของโทรศัพท์ว่าลงทะเบียนอยู่ใน Cell tower ไหน และเพื่อรักษาความต่อเนื่องของข้อมูลระหว่างการใช้โทรศัพท์ วิธี Network based approach สามารถแบ่งเป็นประเภท ดังนี้

- MAC address คือหมายเลขเฉพาะที่ใช้อ้างถึงอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือที่ต่อกับเครือข่ายไร้สาย การประยุกต์ใช้งานเฉพาะเครื่องโทรศัพท์มือถือที่ใช้ระบบปฏิบัติการสมัยใหม่ หรือ สมาร์ทโฟน และโดยเฉพาะพื้นที่ในเขตเมืองหลวงหรือชุมชนที่มีการเชื่อมต่อข้อมูลผ่าน WiFi Access Point หรือสัญญาณ Bluetooth จากอุปกรณ์เสริมของโทรศัพท์มือถือ

- Location update and registration (log on) ในระบบ GSM อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือจะต้องลงทะเบียนใน Cell tower หรือ Location area identity (LAI) และมีการอัปเดต Location เป็นระยะๆ อย่างต่อเนื่อง รวมทั้งในระหว่างการเปลี่ยนถ่าย Cell ที่เรียกว่า Mobile handover เพื่อบอกตำแหน่งปัจจุบันในการกำหนดจุดต้นทางในการโทรออกและจุดปลายทางในการรับสายเรียกเข้าได้อย่างรวดเร็ว

- Timing advance (TA) ในระบบโครงข่าย GSM, TA จะเป็นค่าที่ใช้บ่งบอกถึงระยะเวลาที่โทรศัพท์มือถือส่งสัญญาณไปยัง Cell tower ซึ่งสามารถประมาณระยะทางและตำแหน่งของโทรศัพท์มือถือจากข้อมูลสถานีฐาน โดยโทรศัพท์มือถือเมื่อเคลื่อนที่ผ่าน Cell tower ในระยะหนึ่งจะเปลี่ยนค่า TA เพื่อป้องกันการชนกันของข้อมูลกับโทรศัพท์มือถือเครื่องอื่นที่อยู่ใน Cell tower เดียวกัน (Anti-collision protocols) และเพื่อใช้ในการปรับกำลังส่งสัญญาณ (Transmission power) ที่เหมาะสมระหว่างโทรศัพท์มือถือแต่ละเครื่องกับ Cell tower

- Billing data เป็นข้อมูลการใช้โทรศัพท์มือถือเพื่อนำมาแปลงเป็นข้อมูลการเดินทางจากจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของผู้เดินทางขณะใช้บริการโทรศัพท์มือถือ โดยการ Mapping ข้อมูล O-D trips เข้ากับผังโครงข่ายของ Cell tower

2.2 ผลงานที่เกี่ยวข้อง

ภายในทศวรรษที่ผ่านมา หลายๆ ประเทศได้มีโครงการวิจัยพัฒนาระบบอ่านข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือ และประยุกต์ใช้ข้อมูลในการนำมาประมาณสภาพการจราจร การเดินทางและการเคลื่อนที่ของบุคคลในเมืองต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น โครงการ CAPITAL (Cellular Applied to ITS Tracking and Location) ในเมือง Washington D.C. (Transportation Studies Center University of Maryland, 1997) โครงการ STRIP (System for Traffic Information and Positioning) ในเมือง Lyons ประเทศฝรั่งเศส (Yim, 2003) โครงการ MTS (Mobile Traffic Service) ในเมือง Noord-Brabant ประเทศเนเธอร์แลนด์ (Vlist *et al.*, 2004) โครงการ Mobile Landscapes ในเมือง Milan ประเทศอิตาลี (Ratti, 2006) โครงการ Tel-Aviv ประเทศอิสราเอล (Bar-Gera, 2007) โครงการ Do-iT ในประเทศเยอรมัน (Friedrich *et al.*, 2009; Ramm *et al.*, 2006; Wiltschko *et al.*, 2007) รวมทั้งอีกหลายๆโครงการในประเทศสหรัฐอเมริกา เช่น Airsage, Cellint, Delcan, ITIS, Globais Data, IntelliOne (Smith *et al.*, 2004; Qiu *et al.*, 2007)

Rose (2006) ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือในงานจราจร และขนส่ง ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งที่กำลังเป็นที่ได้รับความนิยมของวิธีการเก็บข้อมูลจราจรโดยเฉพาะในพื้นที่ชุมชนเมืองขนาดใหญ่ งานวิจัยได้เปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของวิธีการเก็บข้อมูลสภาพจราจรแบบต่างๆ ทั้งในด้านปริมาณข้อมูลที่ต้องการ คุณภาพของข้อมูลและค่าใช้จ่ายในการลงทุนและการดำเนินงานของแต่ละระบบ ผลสรุปได้ชี้ให้เห็นว่า วิธีการประยุกต์ใช้ข้อมูลจราจรและข้อมูลจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางการเดินทาง (O-D matrix) จากโทรศัพท์มือถือเป็นวิธีที่มีศักยภาพมาก โดยเฉพาะวิธีที่อาศัยโครงข่ายโทรศัพท์ (Network based approach) ทำให้ได้ปริมาณข้อมูลที่มากพอและอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งยังไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้งานโทรศัพท์มือถือ (Passive system) นอกจากนี้ ระบบการเก็บข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือที่มีอยู่จริงในยุโรปและประเทศอิสราเอล ยังชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการประมาณระยะเวลาในการเดินทางที่มีค่าความถูกต้องมากถึง 95%

Kuwahara และ Chung (2007) ประเมินประสิทธิภาพข้อมูล O-D trips ที่ได้จากข้อมูลโทรศัพท์มือถือในเมืองโตเกียวประเทศญี่ปุ่น โดยใช้ขนาดตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางการเดินทาง (O-D zone) ที่มีขนาดแตกต่างกัน และเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากโทรศัพท์มือถือที่มีอุปกรณ์ GPS อยู่ภายในจะมีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งประมาณ 10 -20 เมตร และข้อมูลโทรศัพท์มือถือที่อาศัยความแรงของสัญญาณจาก Cell tower จะมีค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งประมาณ 50 เมตร ถึง 2 กิโลเมตร อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยได้ให้ข้อสังเกตว่า ข้อมูลจาก GPS และ A-GPS ของโทรศัพท์มือถือในเขตเมืองหลวงชั้นใน อาจจะมีค่าความเคลื่อนที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 100 - 200 เมตร เนื่องจากสภาพแวดล้อมของเมืองมีอาคารสูงล้อมรอบ บดบังสัญญาณโทรศัพท์ ผลการศึกษาสรุปได้ว่า การประมาณค่า O-D trips จากโทรศัพท์มือถือโดยใช้วิธี Network จะเหมาะสมกับการแบ่ง O-D zone ขนาดกลาง 2-5 กิโลเมตร โดยมีค่าความถูกต้องอยู่ที่ 90%

Caceres *et al.* (2007) ประมาณข้อมูลการไหลของโทรศัพท์มือถือเพื่อใช้เป็นตัวแทนการไหลของข้อมูลจราจร (Traffic flow) ภายในเมือง Huelva และ Sevilla ประเทศสเปน โดยการออกแบบผังโครงข่าย Cell tower ของโทรศัพท์มือถือ และข้อมูลการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์มือถือภายในโครงข่าย (Local area identity: LAI และ Cell identity: CI) งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบซอฟต์แวร์เพื่อรับสัญญาณโทรศัพท์มือถือโดยคำนึงข้อมูลความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้งานโทรศัพท์มือถือภายใต้ข้อบังคับของประเทศยุโรป European Directive 2002/58/EC, Article 9 กล่าวว่า “ข้อมูลตำแหน่งพิกัด (Location data) ของผู้ใช้โทรศัพท์มือถือ

สามารถนำไปประมวลผลได้ ถ้าข้อมูลเหล่านั้นไม่สามารถนำไปอ้างถึงผู้ใช้ (Anonymous) หรือ เมื่อผู้เป็นเจ้าของข้อมูลให้ความยินยอม” ตารางที่ 2.2-1 แสดงตัวอย่างข้อมูลการลงทะเบียนตำแหน่ง (Location register) ของโทรศัพท์มือถือที่เคลื่อนที่ภายในโครงข่าย Cell tower

ตารางที่ 2.2-1 ตัวอย่างข้อมูลการลงทะเบียนตำแหน่งของโทรศัพท์มือถือ

Time	Encrypted phone ID	LAI	CI
2006-05-12 17:38:00	6130 81	2140 1551 02	4875 1
2006-05-12 17:57:00	9214 69	2140 1560 21	4983 3
2006-05-12 18:10:00	1534 34	2140 1559 01	4930 1

ที่มา: ดัดแปลงจาก Caceres *et al.* (2007)

Florida DOT (2007) ศึกษาและสำรวจความก้าวหน้าและความพร้อมของเทคโนโลยีโทรศัพท์มือถือที่สามารถนำข้อมูลมาใช้ในการประมาณระยะเวลาเดินทางแบบเรียลไทม์ทั้งในถนนสายหลักและทางด่วน รายละเอียดของการศึกษารวมถึงการประเมินความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของข้อมูลโดยการเปรียบเทียบกับวิธีการเก็บข้อมูลจากหลายๆแหล่ง ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือทั้งในรูปแบบ Stand by เช่น Location register ในทุก 30 วินาที และในระหว่าง On call ในทุกๆ 1/2 วินาที จะมีความถูกต้องในการประมาณค่าระยะเวลาเดินทางน้อยในสภาพการจราจรติดขัด และมีค่าความถูกต้องค่อนข้างมากในสภาพการจราจรแบบ Free-flow นอกจากนี้ งานวิจัยยังได้ศึกษาถึงข้อมูลความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้โทรศัพท์มือถือ ความไม่ต่อเนื่องของข้อมูลสัญญาณโทรศัพท์ภายใต้สภาพอากาศที่รุนแรง (Extreme weather) และความยากลำบากในการแปลงรูปแบบของข้อมูลจากผู้ให้บริการโครงข่ายโทรศัพท์ที่แตกต่างกัน รวมทั้งผังหรือระยะห่างระหว่าง Cell tower ของผู้ให้บริการโครงข่ายโทรศัพท์แต่ละบริษัทยังเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อค่าความถูกต้องของการประมาณระยะเวลาเดินทางจากข้อมูลโทรศัพท์มือถือ

Sohn และ Hwang (2008) ประเมินประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือมาประมาณสภาพการจราจรบนทางด่วน (Freeway) ในงานศึกษาได้ใช้วิธี Space-based approach นั่นคือ การรับข้อมูลของโทรศัพท์มือถือโดยกำหนดจุดอ้างอิงและแบ่งถนนออกเป็นช่วงๆตามความเหมาะสม แทนที่จะอาศัยข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือที่ส่งออกมาในทุกๆช่วงเวลาไปที่ Cell tower (Time-based approach) ผลการศึกษาพบว่า มี 3 ปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดคุณภาพของข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือเพื่อประมาณสภาพการจราจรแบบเรียลไทม์บนทางด่วน ได้แก่ 1) Speed profile ของโทรศัพท์ภายในโครงข่าย Cell tower 2) ตำแหน่งของ Handoff ที่โทรศัพท์มือถือเปลี่ยนถ่าย Cell tower และ 3) ตำแหน่งของการกำหนดจุดอ้างอิงและช่วงของถนนภายในโครงข่ายโทรศัพท์

Bayen (2008) นักวิจัยจากมหาวิทยาลัย UC Berkeley ร่วมกับบริษัทมือถือ Nokia บริษัทแผนที่ Navteq และ US DOT ภายใต้โครงการที่ชื่อว่า “Mobile millennium” ได้ศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือมาวิเคราะห์รูปแบบสภาพการจราจร และช่วยในการวางแผนการเดินทางในเมืองแบบเรียลไทม์ โดยการกระจายข้อมูลออกไปยังผู้ใช้ผ่านสื่อต่างๆ รูปที่ 2.2-2 แสดงการกระจายตัวของข้อมูล Mobile probes ระหว่างการเดินทางในเส้นทาง



รูปที่ 2.2-2 การกระจายตัวของข้อมูล Mobile probes ระหว่างการเดินทางในเส้นทาง
ที่มา: Mobile millennium (2008)

Caceres *et al.* (2008) ทบทวนการศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประมาณสภาพจราจรจากข้อมูลโทรศัพท์มือถือ โดยเฉพาะข้อมูลที่อาศัยข้อมูลจากโครงข่ายโทรศัพท์ (Cellular networks) โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่ 1) Location update เป็นข้อมูลตำแหน่งของโทรศัพท์มือถือทั้งในรูปแบบ Standby และ On-call 2) Handover เป็นข้อมูลการเชื่อมต่อโทรศัพท์มือถือระหว่าง Cell tower 3) Erlang เป็นหน่วยวัดข้อมูลความหนาแน่นของการใช้โทรศัพท์มือถือ (Telephone traffic) ทั้งในรูปแบบเสียงและข้อมูลใน Cell tower ยกตัวอย่าง ระยะเวลาการใช้โทรศัพท์มือถือใน Cell tower ทั้งหมดใน 1 ชั่วโมงเท่ากับ 180 นาที นั่นคือ Erlang มีค่าเท่ากับ 3 เป็นต้น งานวิจัยนี้ ยังทบทวนการสร้างตาราง O-D trips การคำนวณหาการไหล (Traffic flow) ความเร็วของการจราจร ระยะเวลาการเดินทาง และความหนาแน่นของการจราจร จากข้อมูลโทรศัพท์มือถือ ซึ่งความถูกต้องของข้อมูลจะขึ้นอยู่กับการแบ่งโซนและช่วงของถนนภายในโครงข่ายโทรศัพท์มือถือเป็นสำคัญ

Yuan *et al.* (2010) ประยุกต์ใช้อุปกรณ์เก็บตำแหน่งผู้ใช้โทรศัพท์มือถือขณะเปลี่ยนถ่าย Cell tower (Handover location equipment) เพื่อนำมาประมาณสภาพจราจรแบบเรียลไทม์ ณ กรุงปักกิ่ง ประเทศจีน โดยอุปกรณ์ Handover location ถูกออกแบบให้มีราคาไม่สูงมากนักโดยการประยุกต์ใช้ความสามารถของซอฟต์แวร์เป็นหลัก และสามารถพัฒนาซอฟต์แวร์ในการจัดการระบบได้ค่อนข้างง่าย ตารางที่ 2.2-1 แสดงตัวอย่างชุดข้อมูลที่จัดเก็บได้จากอุปกรณ์ Handover location

ตารางที่ 2.2-1 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ Handover location

Mobile ID	From Cell-ID	To Cell-ID	Handover Timer
1	06B8	CE46	2008-6-17 10:10:46
2	CE46	CD3A	2008-6-17 10:11:02
3	CD3A	1697	2008-6-17 10:11:16
4	1697	2CC0	2008-6-17 10:12:22

ที่มา: ดัดแปลงจาก Yuan *et al.* (2010)

งานวิจัยนี้ เน้นด้านการประยุกต์ใช้อุปกรณ์เก็บข้อมูลสัญญาณโทรศัพท์มือถือ ซึ่งจัดอยู่ในประเภท Passive system และพัฒนาอัลกอริทึมในการคัดกรองข้อมูลและ Map matching เพื่อเพิ่มค่าความถูกต้องในการประมาณสภาพจราจรแบบเรียลไทม์ ผลการทดลองในเมืองปักกิ่งในเขตพื้นที่ชานเมืองระยะทาง 8 กิโลเมตร ให้ผลการประมาณค่าสภาพจราจรมีความถูกต้องมากถึง 85%

Jing *et al.* (2011) พัฒนารูปแบบการสร้างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางการเดินทาง (O-D matrix) แบบไดนามิกส์โดยใช้ข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือและได้ประเมินค่าความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลการเดินทางของเมืองปักกิ่งประเทศจีน การศึกษาได้แบ่งพื้นที่ออกเป็น 7 โซน ซึ่งประกอบด้วย 20 โหนด การประมาณข้อมูล O-D matrix จากโทรศัพท์มือถือได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับวิธี Simple growth coefficient โดยใช้ข้อมูลการสำรวจจากภาคสนาม ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การสร้างตาราง O-D matrix แบบไดนามิกส์จากข้อมูลโทรศัพท์มือถือให้ค่าความถูกต้องมากกว่า โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเก็บข้อมูลในภาคสนาม ตารางที่ 2.2-2 แสดงตัวอย่าง O-D trips ที่ประมาณค่าได้จากข้อมูลโทรศัพท์มือถือทั้ง 7 โซน

ตารางที่ 2.2-2 ตัวอย่างข้อมูล O-D trips ที่ได้จากข้อมูลโทรศัพท์มือถือ

O/D	A	B	C	D	E	F	G
A	0	200	250	250	350	350	600
B	250	0	300	300	250	650	600
C	200	250	0	250	350	250	350
D	250	350	350	0	400	250	400
E	300	300	300	350	0	450	300
F	350	550	300	300	500	0	400
G	500	400	350	250	250	400	0

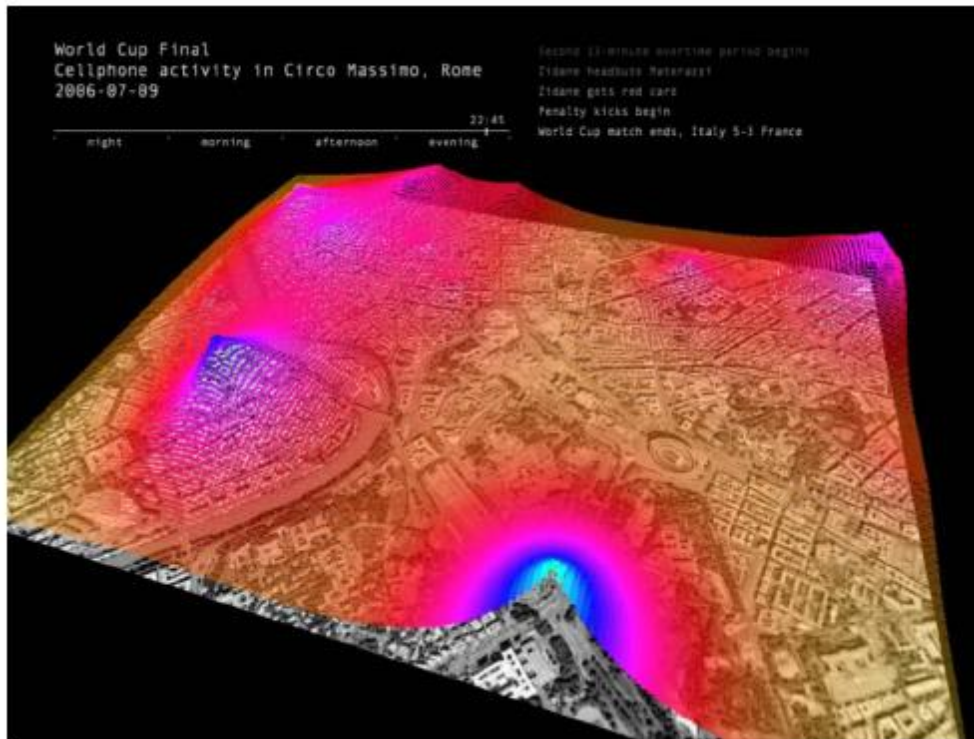
ที่มา: ดัดแปลงจาก Jing *et al.* (2011)

Zhou *et al.* (2011) พัฒนาแพลตฟอร์มในการแลกเปลี่ยนข้อมูลจราจรจากหลายแหล่งทั้งภาครัฐและเอกชน ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลจาก Loop detector, ข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือซึ่งเกิดจากการใช้อุปกรณ์ Bluetooth ที่อาศัย MAC address ซึ่งเป็นหมายเลขชี้เฉพาะของอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือโดยการเก็บข้อมูลเป็นลักษณะ AVI ที่ผ่านจุดอ่านสัญญาณ 2 จุดใดๆในเส้นทาง รวมทั้งข้อมูล GPS จากยานพาหนะที่ใช้ในการติดตามหรือการนำทางและข้อมูล GPS จากอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือในการเรียกใช้แอปพลิเคชันเซอร์วิสระหว่างเส้นทาง เพื่อนำมาประมาณรูปแบบการไหลของสภาพจราจร ณ เวลาปัจจุบัน และพยากรณ์รูปแบบสภาพจราจรในอนาคตโดยอาศัยค่าความสัมพันธ์ของค่าความแปรปรวนร่วม (Co-variance) ของพื้นที่และช่วงเวลา

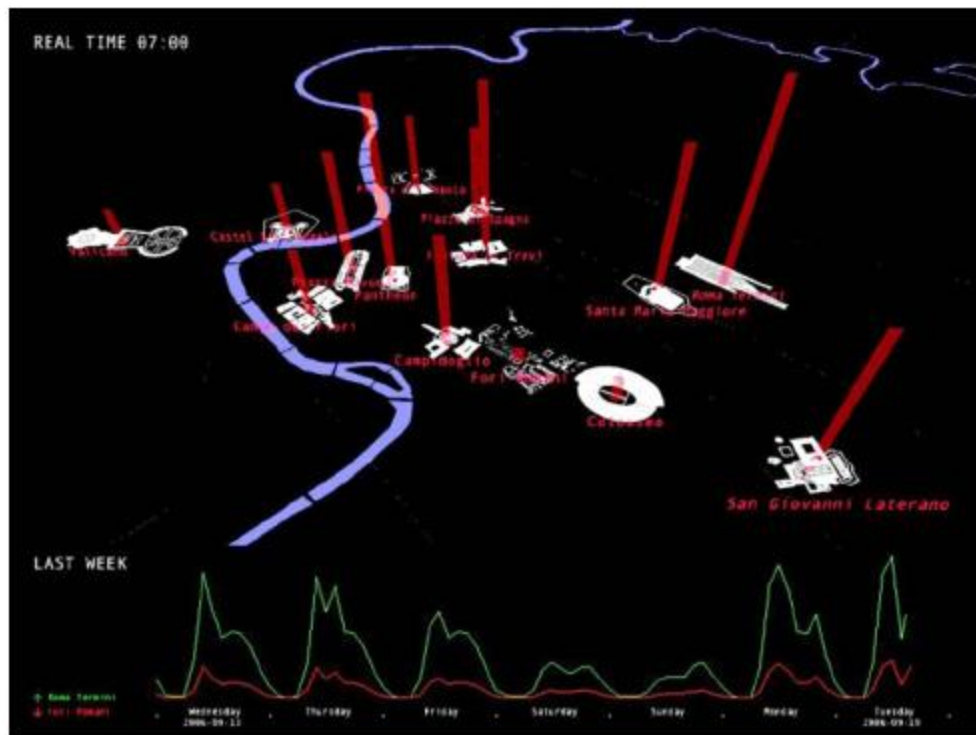
งานวิจัยยังได้ศึกษาถึงปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อค่าความถูกต้องของข้อมูล อาทิเช่น จุดติดตั้ง Detector จำนวนของ Mobile Bluetooth และจำนวนของ GPS จากยานพาหนะที่ได้รับในแต่ละช่วงเวลา

Calavrese และ Lorenzo (2011) พัฒนาอัลกอริทึมเพื่อประมาณค่า O-D trips และรูปแบบการเคลื่อนที่ของบุคคลจากข้อมูลโทรศัพท์มือถือในเมือง Boston จำนวน 1 ล้านเครื่อง 829 ล้านเรคคอร์ด โดยข้อมูลผู้ใช้โทรศัพท์จะถูกลักษณะปกปิด (Anonymous) เพื่อป้องกันการละเมิดข้อมูลส่วนบุคคล โครงการศึกษาได้รับการสนับสนุนจากบริษัทผู้ให้บริการโครงข่ายโทรศัพท์ (Aisage.com) โดยไม่ต้องลงทุนติดตั้งอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ใดๆเพิ่มเติม ณ Cell tower ที่ได้รับข้อมูลตำแหน่งผู้ใช้โทรศัพท์มือถือ ในกรณีที่ 1) เมื่อผู้ใช้โทรออกหรือรับโทรศัพท์ 2) เมื่อผู้ใช้ส่งหรือรับข้อความ และ 3) เมื่อผู้ใช้บริการการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตโดยตรวจสอบหมายเลข MAC address ของตัวอุปกรณ์โทรศัพท์ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึมในการประมาณค่า ผลงานวิจัยได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองการเดินทาง (Gravity model) โดยใช้ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การประยุกต์ใช้ข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือโดยใช้แบบจำลองประมาณค่า O-D trips ที่พัฒนาขึ้นมีค่าความถูกต้องอยู่ในระดับสูงมาก

Calabrese *et al.* (2011) พัฒนาระบบ Monitor ในเมืองเมือง Rome ประเทศอิตาลีแบบเรียลไทม์ โดยอาศัยข้อมูลการเคลื่อนที่ของผู้ใช้โทรศัพท์มือถือ รวมทั้งข้อมูลที่ได้จาก GPS ของรถประจำทางและแท็กซี่ และบัตรเดินทางอิเล็กทรอนิกส์ (E-common ticket) งานวิจัยนี้ยังได้พัฒนาอัลกอริทึมคัดกรองข้อมูลและการประมาณการเคลื่อนที่ของบุคคลในเมือง (Mobility state estimator) ผลการศึกษาได้ค่าความถูกต้องในการประมาณระยะเวลาเดินทางมากกว่า 85% นอกจากนี้ ข้อมูลจากผู้ใช้โทรศัพท์มือถือและบัตรเดินทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ถูกนำมาสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อให้สามารถทราบถึงพฤติกรรมการเดินทางของผู้ขับขี่ยานพาหนะ (Motorists) คนเดินเท้า (Pedestrians) และนักท่องเที่ยวในกรุง Rome เพื่อใช้ในการวางแผนและจัดการเมืองให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยสามารถตอบคำถามพฤติกรรมการเดินทางในเมือง อาทิเช่น รูปแบบการใช้ที่ดิน การกระจายตัวของผู้คนระหว่างช่วงเทศกาลหรือมีเหตุการณ์พิเศษ พื้นที่ไหนในเมืองที่ดึงดูดผู้คนมากที่สุด นักท่องเที่ยวส่วนใหญ่ในขณะนี้อยู่ที่ไหน และรูปแบบการเคลื่อนตัวของบุคคลภายในเมือง เป็นต้น รูปที่ 2.2-3 แสดงตัวอย่างภาพการกระจายตัวของผู้คนในระหว่างงาน World Cup Final ที่กรุงโรม ประเทศอิตาลี (2006-07-09) และรูปที่ 2.2-4 แสดงสถานที่สำคัญ (Landmark) ที่ดึงดูดปริมาณนักท่องเที่ยว



รูปที่ 2.2-3 การกระจายตัวของผู้คนในระหว่างงาน World Cup Final ที่กรุงโรม



รูปที่ 2.2-4 การกระจายตัวของนักท่องเที่ยวในแต่ละสถานที่ (Landmark)

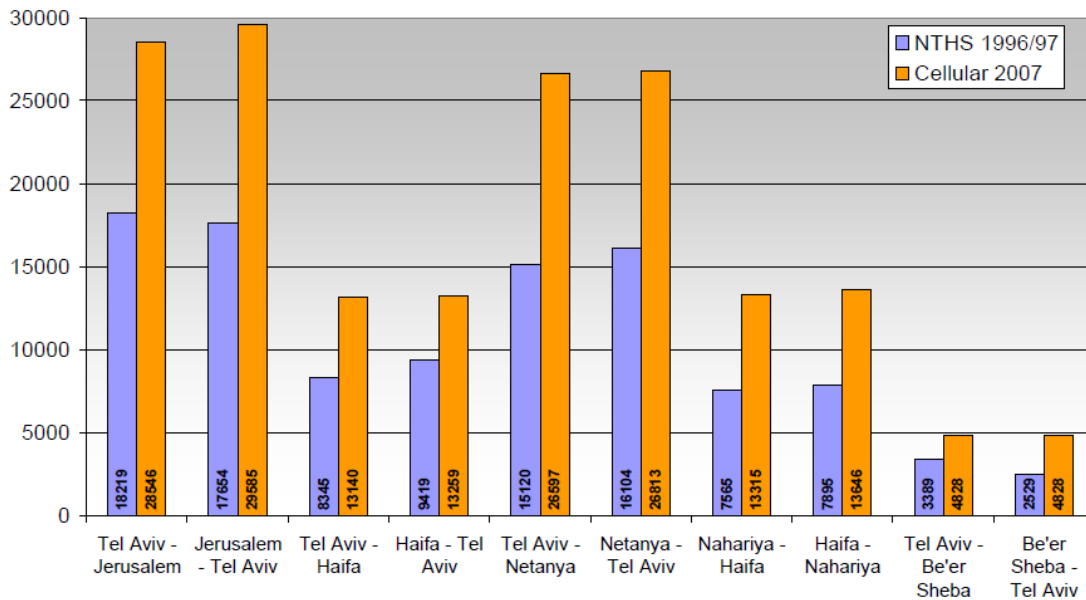
Bekhor *et al.* (2011) พัฒนาระบบสร้าง O-D matrix ในลักษณะการเดินทางระยะไกล (Long-distance trip) ซึ่งโดยปกติการสำรวจความต้องการเดินทางจะไม่รวมข้อมูลการเดินทางระยะไกล เนื่องจากมีความถี่ในการเดินทางน้อยและการเก็บข้อมูล O-D กระทำได้ลำบาก ดังนั้น การประยุกต์ใช้ข้อมูลจากตำแหน่งผู้ใช้โทรศัพท์มือถือจะสามารถสร้างตารางข้อมูลดังกล่าวได้โดยง่ายด้วยค่าใช้จ่ายที่น้อยมาก ซึ่งเป็นความต้องการเดินทางของบุคคลจากจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางในระดับประเทศ (Nationwide trips) ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะมีประโยชน์ต่อการวางแผนทางด้านระบบคมนาคมและระบบเศรษฐศาสตร์มหภาคของประเทศ ผลการศึกษาสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อประกอบในการวางแผนเชิงนโยบาย ยกตัวอย่างเช่น ตารางที่ 2.2-3 เปรียบเทียบจำนวนประชากรและการพักอาศัย (Night stay) อยู่ในเมืองต่างๆในแต่ละวัน

ตารางที่ 2.2-3 จำนวนการพักอาศัย (Night stay) อยู่ในเมืองต่างๆ ในแต่ละวัน

Region	Population		Cell Phones Night Stay	
	Thousands	Percents	Daily Average	Percent
1 Northern Galilee	642	9.3%	47	6.5%
2 Southern Galilee	929	13.5%	76	10.5%
3 Haifa	451	6.5%	49	6.8%
4 Central District - North	1,099	15.9%	129	17.8%
5 Central District - South	946	13.7%	88	12.1%
6 Tel-aviv	998	14.5%	102	14.1%
7 Judea and Samaria	167	2.4%	50	6.9%
8 Jerusalem	872	12.6%	80	11.0%
9 South District	392	5.7%	58	8.0%
10 Negev	404	5.9%	46	6.3%
Total	6,900	100.0%	725	100.0%

ที่มา: ดัดแปลงจาก Bekhor *et al.* (2011)

นอกจากนี้ งานวิจัยยังเปรียบเทียบผลการประมาณค่าการเดินทางระหว่างเมือง (O-D trips) ที่ได้จากข้อมูลโทรศัพท์มือถือและผลการสำรวจภาคสนามจาก NTHS หน่วยงานรัฐบาลของประเทศ ดังแสดงในรูปที่ 2.2-5 จะเห็นได้ว่า ข้อมูล O-D trips ที่ได้จากโทรศัพท์มือถือมีค่าสูงกว่าการสำรวจภาคสนามถึง 72% ซึ่งอาจเกิดจากการการสุ่มตัวอย่างสำรวจที่ไม่ครอบคลุม และอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างรวดเร็วระหว่างปี 1996/97 จนถึงปี 2007



รูปที่ 2.2-5 เปรียบเทียบข้อมูล O-D trips ที่ได้โทรศัพท์มือถือและจากการสำรวจภาคสนาม

Tao *et al.* (2012) พัฒนาแบบจำลองการจราจรภายในเมืองโดยใช้ข้อมูลตำแหน่งผู้ใช้โทรศัพท์มือถือจากโครงข่าย (A-GPS) โดยการคำนวณหาความเร็วกระแสจราจรในแต่ละเส้นทาง เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการประมาณค่า ผู้วิจัยได้พัฒนาตัวคัดกรองข้อมูล Kalman filtering และพัฒนาอัลกอริทึม Map matching เพื่อให้ได้ค่าความเร็วซึ่งเป็นตัวแทนของแต่ละช่วงถนน ผลการศึกษาโดยการทดสอบกับโครงข่ายถนนในประเทศสวีเดนแสดงให้เห็นว่า การประยุกต์ใช้ข้อมูลตำแหน่งผู้ใช้โทรศัพท์มือถือ สามารถให้ค่าความถูกต้องในการประมาณความเร็วในเส้นทางมากกว่า 85%

Florida Department of Transportation (2012) รวบรวมวิธีการเก็บข้อมูลระยะเวลาในการเดินทางที่เป็นปัจจุบันโดยมุ่งเน้นในการประมาณข้อมูลความต้องการเดินทางจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดปลายทางด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่โดยเฉพาะของมุม Probe จากโทรศัพท์มือถือหรืออุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ (Mobile device) ผ่านโครงข่ายโทรศัพท์ (Cell-tower) หรือเรียกว่า Wireless location technology รวมทั้ง Cloud-sourcing ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่บอกความติดขัดของสภาพจราจรโดยอาศัยอุปกรณ์ GPS ที่อยู่ในเครื่องโทรศัพท์มือถือโดยอาศัยเซิร์ฟเวอร์ของผู้ให้บริการแอปพลิเคชัน อาทิเช่น Google Latitude, TomTom, MapShare และ Waze ซึ่งต้องอาศัยจำนวนผู้ใช้จำนวนมากเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เพียงพอ นอกจากนี้ การศึกษายังเปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย อุปสรรคและข้อจำกัดของวิธีการเก็บข้อมูลจราจรแบบต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้งานอย่างเหมาะสม

2.3 ข้อมูลความเป็นส่วนตัว

การพัฒนาของเทคโนโลยีบอกตำแหน่งและโครงข่ายการสื่อสารไร้สายทำให้โทรศัพท์มือถือเป็นอุปกรณ์ที่สามารถใช้ประโยชน์ได้หลากหลายและมีความจำเป็นต่อการใช้ชีวิตประจำวัน การใช้บริการการบอกตำแหน่งของแอปพลิเคชันในโทรศัพท์มือถือ (Location based service: LBS) อาจจะทำให้สูญเสียความเป็นส่วนตัว ซึ่งโดยปกติผู้ใช้บริการโทรศัพท์ไม่ตระหนักถึงความเป็นส่วนตัวของข้อมูลดังกล่าวว่า จะถูกส่งออกไปจากเครื่องเมื่อไรและข้อมูลจะถูกจัดเก็บไว้ที่ไหน อย่างไร โดยเฉพาะตราบใดที่ข้อมูลที่ถูกส่งออกไปยังถูกปิดกั้นการแสดงตัวตนโดยการเข้ารหัส หรือได้รับความยินยอมจากผู้ใช้งานแอปพลิเคชัน

Syme (2010) ทบทวนเรื่องความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้งานโทรศัพท์มือถือโดยใช้เทคโนโลยีการบอกข้อมูลตำแหน่งของโทรศัพท์ทั้งในรูปแบบวิธี Network-based approach ซึ่งอาศัย Cell tower ของผู้ให้บริการโครงข่ายและ Handset-based ที่อาศัยข้อมูลจากผู้ใช้โทรศัพท์และอุปกรณ์บอกตำแหน่ง (GPS) ที่อยู่ในเครื่องโทรศัพท์ เพื่อปกป้องข้อมูลความเป็นส่วนตัว หลายวิธีได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ ยกตัวอย่างเช่น แอปพลิเคชัน Google Latitude ในนโยบายข้อมูลความเป็นส่วนตัว (Mobile data privacy policy) ได้แจ้งผู้ใช้งานว่า “Google จะเก็บข้อมูลการอัปเดตตำแหน่งล่าสุดของผู้ใช้งานไว้ในเครื่องเซิร์ฟเวอร์ภายในบริษัทเท่านั้น” ซึ่งทำให้ Google หรือบุคคลที่ 3 ไม่สามารถทราบพฤติกรรมการเดินทางของผู้ใช้โทรศัพท์ หรือการนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในทางที่ไม่ถูกต้อง

จากผลการศึกษาพบว่า มี 2 ปัจจัยหลักที่ทำให้ข้อกำหนดหรือนโยบายที่ป้องกันการละเมิดข้อมูลความเป็นส่วนตัวยังไม่ชัดเจนได้แก่ 1) อัตราการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีที่เป็นไปอย่างรวดเร็วทำให้ไม่สามารถออกกฎหมายหรือนโยบายข้อมูลความเป็นส่วนตัวได้ทัน 2) ความซับซ้อนของเทคโนโลยีและความสามารถในการประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายแพลตฟอร์ม (Ubiquitous technology) ทำให้ยากต่อการตีความหมาย แนวโน้มของการปกป้องข้อมูลตำแหน่งผู้ใช้โทรศัพท์มือถือในอนาคต จะไปในทิศทางที่ว่าผู้ให้บริการจะต้องปกป้องข้อมูลตำแหน่งของผู้ใช้บริการโทรศัพท์ด้วยความพยายามสูงสุด (Maximum protection) อย่างไรก็ตาม แนวทางดังกล่าวอาจจะมีความยากในแปลความหมายในทางปฏิบัติ ซึ่งต้องการวิธีการปกป้องข้อมูลที่เป็นมาตรฐานและได้รับการยอมรับทั่วโลก

Gao et al. (2012) พัฒนาระบบการป้องกันข้อมูลความส่วนตัวของการใช้ข้อมูลโทรศัพท์มือถือเพื่อนำมาประมาณค่าความเร็วกระแสจราจรแบบเรียลไทม์ ข้อมูลความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้จะถูกเข้ารหัส (Encryption) โดยการประมวลผลข้อมูลที่แยกออกเป็นอิสระจากขั้นตอนอื่น และไม่นำข้อมูลการเดินทางในอดีต (Spatiotemporal data หรือ Trajectories) ของผู้ใช้โทรศัพท์มาประมวลผล ผลการศึกษา โดยใช้ข้อมูลผู้ใช้บริการโทรศัพท์ที่เมือง Tianjin ประเทศจีน แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการประมาณค่าความเร็วกระแสจราจรแบบเรียลไทม์ ขณะที่ยังคงป้องกันข้อมูลความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้โทรศัพท์

Lawer.com (2011) ได้แสดงบทวิเคราะห์ข้อมูลความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้บริการโทรศัพท์ในประเทศสหรัฐ ซึ่งโดยทั่วไป หน่วยงานภาครัฐสามารถเข้าสู่ข้อมูลความเป็นส่วนตัวโทรศัพท์มือถือของผู้ใช้งานได้โดยไม่ต้องรับความยินยอมจากเจ้าของโทรศัพท์ ตาม Patriot Act 2001 ทั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันเหตุการณ์การก่อการร้าย ซึ่งยังรวมถึง เจ้าหน้าที่สามารถดักฟังและบันทึกเทปข้อมูลระหว่างการโทรศัพท์ของผู้ต้องสงสัยรวมทั้ง ยังมีประเด็นที่น่าสังเกตด้วยว่า ข้อมูลโทรศัพท์มือถือที่สื่อสารอยู่ในที่สาธารณะสามารถนำมาใช้ได้ถ้าข้อมูลนั้นก่อให้เกิดประโยชน์อย่างมากต่อสาธารณะ (อ้างถึง US Supreme Court First Amendment) นอกจากนี้ การใช้โมดูล GPS ภายในโทรศัพท์มือถือเพื่อการติดตาม องค์กร Federal Communications Commission (FCC) ของประเทศสหรัฐ ยังกำหนดให้ผู้ให้บริการโครงข่ายโทรศัพท์ให้ข้อมูลตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้ เมื่อผู้ใช้โทรออกหมายเลข 911 เมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินหรือต้องการความช่วยเหลือเร่งด่วน

อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือค่ายโนเกียได้ออกนโยบายเพื่อปกป้องข้อมูลความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้โทรศัพท์ โดยการเข้ารหัสข้อมูลระหว่างการสื่อสาร และโดยการเก็บข้อมูลตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งานแยกออกจากกันเป็นอิสระในแต่ละเครื่องแม่ข่าย แทนที่จะเก็บตำแหน่งและความเร็วของโทรศัพท์ในแต่ละช่วงเวลา โทรศัพท์มือถือแต่ละเครื่องถูกออกแบบให้ตรวจสอบตำแหน่งปัจจุบันกับฐานข้อมูลของตำแหน่งที่จัดเก็บ เพื่อปกป้องข้อมูลความเป็นส่วนตัวและลดปริมาณการเก็บข้อมูลของโทรศัพท์มือถือแต่ละเครื่อง ซึ่งทำให้บุคคลที่ 3 นำข้อมูลไปใช้ในการหาการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์แต่ละเครื่องได้โดยมิชอบ (Autopia, 2010)

Road traffic technology (2011) ประเทศจีนได้มีความพยายามที่จะใช้ข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือเพื่อนำมาประมาณค่าความเร็วสภาพจราจรในโครงการข่ายถนนในเมืองปักกิ่ง โดยในปี 2011 มีผู้ใช้บริการโทรศัพท์มือถือมากถึง 17 ล้านเครื่อง ซึ่งการปกปิดข้อมูลความเป็นส่วนตัว (Anonymous) เป็นประเด็นหนึ่งที่สำคัญ จากการสำรวจความคิดเห็นของผู้ใช้บริการส่วนใหญ่ไม่ได้กังวลถึงข้อมูลความเป็นส่วนตัวมากนัก ซึ่งถูกมองว่ามีลักษณะคล้ายกับข้อมูลส่วนบุคคลในการใช้บริการบัตรเครดิต ซึ่งผู้ให้บริการได้มีระบบรักษาความปลอดภัยของข้อมูลและการจำกัดสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลส่วนบุคคลอยู่ในระดับหนึ่ง โดยเมื่อแลกกับความสะดวกสบาย รวมทั้งประโยชน์จากการนำข้อมูลไปใช้เพื่อประโยชน์ต่อสังคมและสาธารณะ เช่นเดียวกับผู้ใช้บริการระบบนำทางในรถยนต์ในประเทศจีน บริษัท TomTom ข้อมูลตำแหน่งของผู้ใช้ยานพาหนะที่ได้จากอุปกรณ์ GPS ในรถยนต์จะถูกปกปิด (Anonymous) ด้วยความระมัดระวัง รวมทั้งในทุกขั้นตอนการประมวลผลจะต้องเป็นข้อมูล Anonymous และจะผ่านขั้นตอนการประมวลผลที่เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายที่ตั้งอยู่ภายในบริษัทเท่านั้น

กฎหมายการจัดเก็บข้อมูลส่วนบุคคลในสหภาพยุโรป (EU Privacy Directive, Article 15(1)) ต้องการให้บริษัทผู้ให้บริการโครงข่ายโทรศัพท์มือถือเก็บข้อมูลตำแหน่งของผู้ใช้โทรศัพท์มือถือเป็นระยะเวลา 1 ปี และข้อมูลการสื่อสารแบบ IP เป็นระยะเวลา 6 เดือน เพื่อใช้ในด้านความปลอดภัยและความมั่นคงของประเทศ และตาม Directive 2002/58/EC การนำข้อมูลตำแหน่งของผู้ใช้โทรศัพท์มือถือจะอนุญาตให้เฉพาะกรณีดังต่อไปนี้

- เมื่อข้อมูลตำแหน่งโทรศัพท์มือถือไม่สามารถอ้างถึงผู้ใช้งานจริงได้ (Anonymous); หรือ
- เมื่อได้รับความยินยอมจากผู้ให้บริการ (Subscribers) ภายในช่วงเวลาที่กำหนด

Nouwt (2008) วิเคราะห์ถึงประเด็นความเป็นส่วนตัวในที่สาธารณะ (Public place) และสถานที่ส่วนตัว (Private place) ในประเทศเนเธอร์แลนด์ อ้างอิงจาก European Court of Human Rights ประเด็นในเรื่องการติดตั้งกล้องวงจรปิดในที่สาธารณะ ที่สาธารณะหมายถึง “Open to the public” นั่นคือ No barriers to enter the place อาทิเช่น ค่าธรรมเนียม การขออนุญาต ตัว หรือการใช้บริการ ข้อสังเกตด้วยว่าสิทธิความเป็นส่วนตัวจะลดลงในที่สาธารณะ และข้อมูลความเป็นส่วนตัวจะลดน้อยลงเมื่อผู้ใช้เก็บข้อมูลอยู่ในคอมพิวเตอร์แม่ข่ายของผู้ให้บริการที่อยู่บนระบบโครงข่ายการเก็บข้อมูล (Cloud service) อาทิเช่น จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ Gmail ที่เก็บข้อมูลไว้ในระบบโครงข่ายการเก็บข้อมูลของ Google ซึ่งอาจจะถูกนิยามว่า Cloud service เป็นที่สาธารณะ ดังนั้น สังเกตด้วยว่า การละเมิดข้อมูลส่วนบุคคลอาจไม่ได้ทำในลักษณะทางกายภาพอีกต่อไป แต่ทำในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งยากต่อการตรวจสอบ คำถามที่ตั้งไว้เป็นประเด็นที่น่าสนใจคือ มีสถานที่ส่วนบุคคลในที่สาธารณะหรือไม่ ข้อมูลตำแหน่งของผู้ใช้โทรศัพท์ถูกเก็บอยู่ในสถานที่ส่วนบุคคลหรือที่สาธารณะ ฯลฯ

ในปี 2011 ตำรวจในประเทศอังกฤษใช้อุปกรณ์ลาดตระเวนสื่อสารไร้สาย (Surveillance technology equipment) ซึ่งติดต่อกับโทรศัพท์มือถือของผู้ต้องสงสัยได้ภายในรัศมี 10 กิโลเมตร และสามารถติดตามการเคลื่อนไหวของผู้ใช้โทรศัพท์แบบเรียลไทม์ รวมทั้งสามารถดักสัญญาณโทรศัพท์ของผู้ใช้งานได้แบบทันที ตามข้อบังคับ Regulation of Investigatory Powers Act (RIPA) เพื่อมาตรการควบคุมในด้านความปลอดภัยอย่างเข้มงวด (The Register, 2011) ซึ่ง Home secretary ของประเทศอังกฤษได้กล่าวว่า การออกข้อกำหนดในการควบคุมระดับข้อมูลความเป็นส่วนตัวและสิทธิส่วนบุคคล สามารถกระทำได้เมื่อรัฐบาลพิจารณาเห็นว่าเป็นประโยชน์ต่อประชาชนในประเทศ

สำหรับประเทศไทยกฎหมายที่มีอยู่ปัจจุบันที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลส่วนบุคคลคือ พระราชบัญญัติข้อมูลข่าวสารของทางราชการ พ.ศ. 2540 อย่างไรก็ตาม พระราชบัญญัติดังกล่าวนี้ครอบคลุมเฉพาะข้อมูลส่วนบุคคลที่อยู่ในครอบครองของหน่วยงานของรัฐเท่านั้น ยังไม่ครอบคลุมถึงข้อมูลส่วนบุคคลที่อยู่ในมือของเอกชน และแม้จะมีกฎหมายบางฉบับที่คุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลในครอบครองของเอกชน แต่ก็ยังไม่ครอบคลุมทั้งระบบ

อย่างไรก็ตาม ได้มีความพยายามร่างพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลโดยให้ครอบคลุมทั้งข้อมูลส่วนบุคคลที่อยู่ในครอบครองของหน่วยงานรัฐและเอกชน และสอดคล้องกับแนวปฏิบัติที่มีอยู่เดิม ซึ่งร่างพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลให้คำนิยาม “ข้อมูลส่วนบุคคล” ที่จะได้รับความคุ้มครองว่า “หมายความว่า ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับบุคคลซึ่งทำให้สามารถระบุตัวบุคคลนั้นได้ไม่ว่าทางตรงหรือทางอ้อม” อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยยังมีกฎหมายที่บัญญัติไว้ที่อาจเทียบเคียงกับความคุ้มครองส่วนบุคคล นั่นคือ สิทธิในความเป็นส่วนตัวหรือสิทธิส่วนบุคคล ซึ่งเป็นสิทธิขั้นพื้นฐานมีบัญญัติไว้ในรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พ.ศ. 2550 มาตราที่ 35 กล่าวว่า “สิทธิของบุคคล เกียรติยศ ชื่อเสียง ตลอดจนความเป็นอยู่ส่วนตัว ย่อมได้รับความคุ้มครอง การกล่าวหรือโฆษณาแพร่หลายซึ่งข้อความหรือภาพไม่ว่าด้วยวิธีใดไปยังสาธารณชนอันเป็นการละเมิดหรือกระทบสิทธิของบุคคล เกียรติยศ ชื่อเสียง หรือความเป็นส่วนตัว จะกระทำได้ เว้นแต่กรณีที่เป็นประโยชน์ต่อสาธารณะ บุคคลย่อมมีสิทธิได้รับความคุ้มครองจากการแสวงประโยชน์โดยมิชอบจากข้อมูลส่วนบุคคลที่เกี่ยวข้องกับตน ทั้งนี้ตามที่กฎหมายกำหนด”

2.4 ลิขสิทธิ์และสิทธิการใช้งานโครงข่ายโทรศัพท์

ประเทศไทย ตาม พ.ร.บ. องค์การจัดสรรคลื่นความถี่ พ.ศ. 2553 ได้จัดตั้งคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ซึ่งมีคณะกรรมการทั้งหมดจำนวน 10 คน ประกอบด้วย คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคม (กทค.) 5 คน และคณะกรรมการกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์ (กสท.) 5 คน ทำหน้าที่ในการบริหารคลื่นความถี่ จัดสรรคลื่นความถี่ และพิจารณาอนุญาตและกำกับดูแลการใช้เครื่องความถี่และเครื่องวิทยุคมนาคม นอกจากนี้ ยังสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ โดยมีหน้าที่ตรวจสอบและติดตามการใช้คลื่นความถี่รับและพิจารณาเรื่องร้องเรียนเกี่ยวกับการใช้คลื่นความถี่ เพื่อตรวจสอบและแก้ไขปัญหา หรือเสนอต่อ กสทช. เพื่อพิจารณากฎหมายที่เกี่ยวข้องกับวิทยุคมนาคมในประเทศไทย ได้แก่ พระราชบัญญัติวิทยุคมนาคม พ.ศ. 2498 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดการใช้งานเครื่องวิทยุคมนาคมอย่างมีประสิทธิภาพ ปราศจากการรบกวนและใช้ความถี่วิทยุได้อย่างเพียงพอและเท่าเทียมกัน ความหมายของเครื่องวิทยุคมนาคม ตาม พ.ร.บ. วิทยุคมนาคม มาตรา 4 หมายความว่า เครื่องส่ง เครื่องรับ หรือเครื่องส่งและรับ เครื่องหมาย สัญญาณ ตัวหนังสือ ภาพ เสียงและการอื่นใดซึ่งสามารถเข้าใจความหมายได้ด้วยคลื่นแอมพลิจูด แต่ไม่รวมถึงเครื่องรับวิทยุกระจายเสียงและเครื่องรับวิทยุโทรทัศน์

ตาม พ.ร.บ. 2498 เครื่องวิทยุคมนาคมแบบสังเคราะห์ความถี่ (Synthesizer) จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) เครื่องวิทยุคมนาคมที่ผู้ใช้สามารถตั้งความถี่วิทยุได้เองจากภายนอกเครื่อง อาทิเช่น วิทยุสื่อสารของทางหน่วยงานราชการ และ 2) เครื่องวิทยุคมนาคมที่ผู้ใช้ไม่สามารถตั้งความถี่วิทยุได้เองจากภายนอกเครื่อง แต่สามารถตั้งความถี่วิทยุด้วยเครื่องตั้งความถี่ (Programmable) หรือโดยวิธีอื่น อาทิเช่น โทรศัพท์มือถือ และ RFID (Radio Frequency Identification) ซึ่งการใช้เครื่องวิทยุคมนาคมแบบสังเคราะห์ความถี่ประเภท 2 นั้นจะต้องใช้เฉพาะความถี่วิทยุตามที่ได้รับอนุญาตเท่านั้น การใช้ความถี่นอกเหนือจากที่ได้รับอนุญาตจะต้องได้รับความเห็นชอบจาก กสทช. (มาตรา 11) โดยหน่วยงานราชการหรือรัฐวิสาหกิจ

สามารถใช้วิทยุคมนาคมเพื่อประโยชน์ต่อหน่วยงานและสาธารณะ (มาตรา 12) โดยไม่ทำให้เกิดการรบกวนหรือขัดขวางต่อการวิทยุคมนาคม (มาตรา 26)

ปัจจุบัน กสทช. ได้บริหารและจัดสรรคลื่นความถี่ให้ผู้ให้บริการโครงข่ายโทรศัพท์มือถือ (เครื่องวิทยุคมนาคม ประเภท 2 ตามความถี่ที่ได้รับการจัดสรรจากคณะกรรมการ) ของประเทศไทยมีอยู่ 6 บริษัท ได้แก่

- บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) ให้บริการระบบ 3G บนความถี่ 1900 MHz และ 2100 MHz โดยใช้ชื่อ TOT3G ในพื้นที่ กทม.
- บริษัท กสท. โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) ให้บริการ CAT CDMA ซึ่งเป็นระบบ 3G ในพื้นที่ 51 จังหวัด (ปัจจุบันขายให้บริษัท ทรู ไปแล้ว) และบริการ WCDMA บนความถี่ 850 MHz โครงข่ายเดียวกับ ทรูมูฟ เอช ในพื้นที่เมือง 77 จังหวัด โดยแบ่งสัดส่วน 20:80 (กสท.-ทรู) มาทำเครือข่ายโดยใช้ชื่อว่า “มาย”
- บริษัท แอดวานซ์ อินโฟร์ เซอร์วิส จำกัด (มหาชน) หรือ เอไอเอส รับสัมปทานระบบ GSM บนความถี่ 900 MHz จาก ทีโอที GSM บนความถี่ 1800 MHz จาก กสท. ปัจจุบันเริ่มให้บริการ 3G บนความถี่ 900 MHz ในกรุงเทพฯและบางจังหวัด
- บริษัท โทเทิล แอ็คเซ็ส คอมมูนิเคชั่น จำกัด (มหาชน) หรือ DTAC รับสัมปทานระบบ GSM บนความถี่ 1800 MHz ปัจจุบันเริ่มให้บริการ 3G บนความถี่ 850 MHz ในกรุงเทพฯและปริมณฑล
- บริษัท ทรูมูฟ จำกัด รับสัมปทานระบบ GSM บนความถี่ 1800 MHz จาก กสท. ปัจจุบันเริ่มให้บริการ 3G บนความถี่ 850 MHz บางพื้นที่ในกรุงเทพฯ พัทยา เชียงใหม่ ภูเก็ต
- บริษัท เรียวลูป จำกัด เป็นผู้ขายต่อ (Reseller) ของบริษัท กสท. บนความถี่ 850 MHz ภายใต้แบรนด์ ทรูมูฟ เอช

ตามพระราชบัญญัติ การประกอบกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2544 ผู้ให้บริการโครงข่ายโทรศัพท์มือถือที่ได้รับการจัดสรรคลื่นความถี่จากคณะกรรมการ กสทช. ทั้งแบบที่มี และไม่มีโครงข่ายคมนาคมเป็นของตัวเองมีสิทธิในการใช้และเชื่อมต่อโครงข่ายคมนาคม (อ้างอิงจาก พ.ร.บ. การประกอบกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2544 หมวด 2 มาตรา 25) กล่าวว่า ผู้รับใบอนุญาตที่มีโครงข่ายโทรคมนาคมต้องยินยอมให้ผู้ขอใช้หรือผู้ขอเชื่อมต่อโครงข่ายโทรคมนาคมของตน ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่คณะกรรมการกำหนด การปฏิเสธไม่ให้ใช้โครงข่ายโทรคมนาคมให้กระทำได้เฉพาะกรณี ดังต่อไปนี้

- 1) โครงข่ายโทรคมนาคมไม่เพียงพอต่อผู้ขอใช้หรือผู้ขอเชื่อมต่อรายอื่น
- 2) การใช้โครงข่ายโทรคมนาคมมีปัญหาทางเทคนิคที่อาจก่อให้เกิดการรบกวน หรือขัดขวางการโทรคมนาคม
- 3) กรณีอื่นตามที่คณะกรรมการกำหนด

นอกจากนี้ ประเทศไทยได้มีความพยายามในการจัดทำแผนแม่บทกิจการโทรคมนาคม พ.ศ.2555-2559 โดยมุ่งเน้นให้ประชาชนได้ใช้บริการโทรคมนาคมที่มีคุณภาพ หลากหลาย ผ่านโครงข่ายโทรคมนาคมที่ทันสมัย เท่าเทียม และทั่วถึง ซึ่งประกอบด้วยยุทธศาสตร์ 6 ด้าน คือ 1) การพัฒนาและส่งเสริมการแข่งขันโดยเสรีและเป็นธรรม 2) การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่และการอนุญาตให้ประกอบกิจการ 3) การใช้ทรัพยากรโทรคมนาคมอย่างมีประสิทธิภาพ 4) การบริการโทรคมนาคมพื้นฐานโดยทั่วถึง 5) การคุ้มครองผู้บริโภคในกิจการโทรคมนาคม และ 6) การเตรียมความพร้อมและการเข้าสู่การเป็นประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (AEC) และความร่วมมือระหว่างประเทศ โดยที่ประชุม กสทช. ในวันที่ 21 มี.ค.2555 มีมติเห็นชอบร่างแผนแม่บท

ดังกล่าว (กสทช. 2555) จากแผนแม่บทกิจการโทรคมนาคมดังกล่าว ได้ส่งเสริมการใช้ทรัพยากรโทรคมนาคมอย่างมีประสิทธิภาพ ตามยุทธศาสตร์ข้อที่ (6) ดังนั้น ในโครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาระบบอ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือสำหรับการเฝ้าระวังความปลอดภัย ถือเป็น การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับทรัพยากรโทรคมนาคม และเพิ่มประสิทธิภาพระบบความปลอดภัยของประเทศอีกทางหนึ่ง

2.5 แนวทางการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา รัฐบาลของหลายๆประเทศได้เริ่มให้ความสนใจต่อประเด็นการละเมิดข้อมูล ความเป็นส่วนตัวของระบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ (E-Commerce) และข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือ ที่นำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในหลายๆด้าน ทั้งเพื่องานธุรกิจและเพื่อประโยชน์ต่อสาธารณะและสังคม อาทิเช่น การประมาณสภาพการจราจร การเดินทางและการเคลื่อนที่ของคนภายในเมือง รวมทั้งการเฝ้าระวังความปลอดภัย

โดยทั่วไปกฎหมายของหลายๆประเทศ ยังไม่มีออกมาเพื่อปกป้องข้อมูลความเป็นส่วนตัวของโทรศัพท์มือถือโดยตรง แต่จะมีลักษณะที่เทียบเคียง อาทิเช่น สิทธิมนุษยชน และสิทธิส่วนบุคคล (Human Right Act, Civil Law) เป็นต้น ตารางที่ 2.5-1 แสดงตัวอย่างประเด็นการละเมิดข้อมูลส่วนบุคคลและกฎหมายที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะการใช้ข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์และข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือในแต่ละประเทศ

ตารางที่ 2.5-1 สรุปประเด็นการละเมิดข้อมูลส่วนบุคคลและกฎหมายที่เกี่ยวข้องของแต่ละประเทศ

ประเทศ	กฎหมายที่เกี่ยวข้อง	ประเด็นพิจารณา	การใช้งาน
สหรัฐ	<ul style="list-style-type: none"> - Privacy Act 1974 - Computer Security Act 1987 - Patriot Act 2001 และ FCC สำหรับเหตุฉุกเฉินและป้องกันการก่อการร้าย 	<ul style="list-style-type: none"> - ข้อมูลการเคลื่อนที่ของคน (Trace) - สถาปัตยกรรมระบบเพื่อการปกปิดข้อมูลความเป็นส่วนตัว 	<ul style="list-style-type: none"> - การเข้ารหัสข้อมูล - ข้อมูลการปกปิดชื่อหรือได้รับความยินยอม - ข้อมูลเฉพาะตำแหน่งของผู้ใช้ล่าสุด เช่น Google Latitude - เพื่อเป็นประโยชน์ต่อสาธารณะ (Significant impact)
สหภาพยุโรป	<ul style="list-style-type: none"> - Conventions on Data Protection - EU Directive 2002/58 - EU Privacy Directive, Article 15(1) 	<ul style="list-style-type: none"> - การจัดตั้งสภาแห่งสหภาพยุโรปสำหรับปกป้องข้อมูลความเป็นส่วนตัวในยุคเทคโนโลยีสมัยใหม่ Protection of Individuals with Regard to Automatic Processing of Personal Data 	<ul style="list-style-type: none"> - ข้อมูลการปกปิดชื่อหรือ ได้รับความยินยอม - ระยะเวลาการจัดเก็บข้อมูล - การปกป้องข้อมูลด้วยความพยายามสูงสุด (Maximum protection)
เนเธอร์แลนด์	<ul style="list-style-type: none"> - Dutch Data Registration Act 1988 	<ul style="list-style-type: none"> - ความเป็นส่วนตัว / ข้อมูลความเป็นส่วนตัวในที่สาธารณะ - ข้อมูลคอมพิวเตอร์และสื่อสารถูกจัดเก็บในระบบ Cloud 	<ul style="list-style-type: none"> - ข้อมูลการปกปิดชื่อหรือ ได้รับความยินยอม

ตารางที่ 2.8-1 สรุปประเด็นการละเมิดข้อมูลส่วนบุคคลและกฎหมายที่เกี่ยวข้องของแต่ละประเทศ (ต่อ)

ประเทศ	กฎหมายที่เกี่ยวข้อง	ประเด็นพิจารณา	การใช้งาน
อังกฤษ	- Human Rights Act - Data Protection Act 1998 - Regulation of Investigatory Powers Act (RIPA) ใช้สำหรับลาดตระเวน เหตุฉุกเฉินและก่อการร้าย	- ข้อมูลการเคลื่อนที่ของคน (Trace) - สถาปัตยกรรมระบบเพื่อการปกปิดข้อมูลความเป็นส่วนตัว	- ข้อมูลการปกปิดชื่อหรือ ได้รับความยินยอม
จีน	- Civil Law of China - Criminal Law, Amendment 2009	- ข้อมูลการเคลื่อนที่ของคน (Trace) - สถาปัตยกรรมระบบเพื่อการปกปิดข้อมูลความเป็นส่วนตัว	- การเข้ารหัสข้อมูล - ข้อมูลการปกปิดชื่อหรือ ได้รับความยินยอม
ไทย	- พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของทางราชการ พ.ศ. 2540 - พ.ร.บ. ว่าด้วยการกระทำผิดเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ พ.ศ. 2550 - รัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พ.ศ. 2550 มาตรา 35	- ยังไม่มีกฎหมายคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล	- ข้อมูลการปกปิดชื่อหรือ ได้รับความยินยอม - เพื่อเป็นประโยชน์ต่อสาธารณะ และหน่วยงานราชการ

จากตารางที่ 2.5-1 จะเห็นได้ว่ากฎหมายของแต่ละประเทศในการป้องกันการละเมิดข้อมูลความเป็นส่วนตัวของธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรศัพท์มือถือยังไม่ชัดเจนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีที่รวดเร็ว รวมทั้งเทคโนโลยีมีความซับซ้อน แม้กระทั่งประเทศไทยเองก็อยู่ในระหว่างขั้นการร่าง พระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล ดังนั้น แนวทางการอ่านข้อมูลหรือประยุกต์ใช้ข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือจึงมี 2 แนวทาง ได้แก่ 1) การได้รับความยินยอมจากผู้ใช้โทรศัพท์โดยตรงก่อนการใช้งานอุปกรณ์โทรศัพท์หรือซอฟต์แวร์แอปพลิเคชัน อาทิเช่น การกำหนดนโยบายข้อมูลความเป็นส่วนตัวในการใช้บริการ อาทิเช่น ในระบบปฏิบัติการของอุปกรณ์สมาร์ทโฟน เช่น Symbian, IOS, Android, RIM และ Windows phone เป็นต้น หรือที่ตัวแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์ เช่น Google Latitude, Ovi Map และ TomTom เป็นต้น และ 2) การปกปิดข้อมูลของผู้ใช้ (Anonymous) ด้วยความพยายามสูงสุด (Maximum protection) ยกตัวอย่างเช่น การเข้ารหัสข้อมูลในทุกขั้นตอนระหว่างการรับส่งข้อมูล การออกแบบโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลที่เป็นอิสระต่อกัน และระยะเวลาการจัดเก็บข้อมูล (เช่น เฉพาะข้อมูลตำแหน่งล่าสุด)

จากการเสนอแนวทางการเก็บข้อมูลสัญญาณโทรศัพท์มือถือด้วยอุปกรณ์ M-Sense ดังที่กล่าวมาข้างต้น การอ่านค่าสัญญาณโทรศัพท์ในรูปแบบจำเพาะและการเข้ารหัสข้อมูล เป็นการปกปิดข้อมูล (Anonymous) โดยไม่สามารถอ้างอิงถึงผู้ใช้บริการโทรศัพท์ได้ (รายละเอียดของวิธีการและขั้นตอนการดำเนินงานจะกล่าวไว้ในบทที่ 3) นอกจากนี้ ข้อมูลดังกล่าวยังถูกนำมาใช้ประโยชน์ต่อภาคสาธารณะ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในข้อยกเว้นตามรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พ.ศ. 2550 (มาตราที่ 35)

บทที่ 3

การพัฒนาระบบประมวลผล

- ❖ ระบบประมวลผลข้อมูลสัญญาณโทรศัพท์มือถือ
- ❖ การพัฒนาสายอากาศรับส่งข้อมูลที่มีลักษณะจำเพาะ
- ❖ ระบบประมวลผลข้อมูลตำแหน่งโทรศัพท์มือถือ
- ❖ การพัฒนาอุปกรณ์อ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

3.1 ระบบประมวลผลข้อมูลสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

3.1.1 หมายเลขบ่งชี้ลักษณะจำเพาะของโทรศัพท์มือถือ

การระบุเอกลักษณ์ของโทรศัพท์มือถือมีตัวเลขที่เครื่องโทรศัพท์ที่ โดยทั่วไป สามารถระบุได้จำนวน 3 รูปแบบด้วยกัน ประกอบด้วยหมายเลข IMEI (International Mobile Equipment Identity), IMSI (International Mobile Subscriber Identity) และ TIMSI (Temporary International Mobile Subscriber Identity)

1) IMEI เป็นหมายเลขประจำเครื่องโทรศัพท์มือถือ ซึ่งหมายเลขนี้จะประจำที่เครื่องใดเครื่องหนึ่งและมีลักษณะที่ Unique คือไม่ซ้ำกับโทรศัพท์เครื่องอื่นๆ โดยหมายเลข IMEI จะถูกกำหนดในมือถือทุกเครื่องเมื่อผลิตออกจากโรงงานมีหมายเลขจำนวน 15 ตัว แบ่งเป็น 4 ส่วนตามสูตร 6 2 6 1 แต่ละส่วนถูกแบ่งด้วยช่องว่างดังตัวอย่าง 490520 30 123456 0 โดยแต่ละส่วนจะมีความหมายดังแสดงในตารางที่ 3.1-1 และตารางที่ 3.1-2 กลุ่มตัวเลขนี้จะอยู่ด้านหลังหรือด้านบนกล่องโทรศัพท์มือถือและสามารถตรวจสอบเลข IMEI ผ่านทางตัวเครื่องโดยกด *#06# ที่เป็นพิมพ์ของเครื่องโทรศัพท์

ตารางที่ 3.1-1 ความหมาย IMEI ของเลขตัวอย่าง “490520 30 123456 0”

รายการ	คำจำกัดความ	ตัวอย่าง
TAC: Type Approval Code	เป็นรหัสรับรอง 4 ตัวแรกคือรหัสประเทศที่รับรอง 2 ตัวหลังคือหมายเลขรหัสรับรอง	490520
FAC: Final Assembly Code	รหัสการประกอบเครื่อง ระบุบริษัทที่ทำการประกอบ เครื่อง เช่น NOKIA, Alcatel	30
SNR: Serial number	เลขหมายประจำเครื่องโทรศัพท์มือถืออื่นๆ	123456
SP: Spare	เลขสำรอง (สงวนไว้ในอนาคต) โดยมากจะเป็นเลข 0	0

ตารางที่ 3.1-2 ความหมาย IMEI ในส่วนรหัสบริษัทประกอบเครื่อง FAC

หมายเลข FAC	บริษัท
01,02	AEG
07 , 40	Motorola
10, 20	Nokia
40, 41, 44,51	Siemens
60	Alcatel
70	Sagem
80	Philips
85	Panasonic

2) IMSI เป็นหมายเลขประจำซิม (SIM) ที่บรรจุลงในเครื่องโทรศัพท์มือถือซึ่งหมายเลขนี้ประกอบไปด้วยกลุ่มรหัส MCC, MNC และ MSIN

- MCC หรือ Mobile Country Code มีความยาว 3 หลัก เป็นตัวเลขที่บ่งบอกถึงประเทศที่มาของซิม

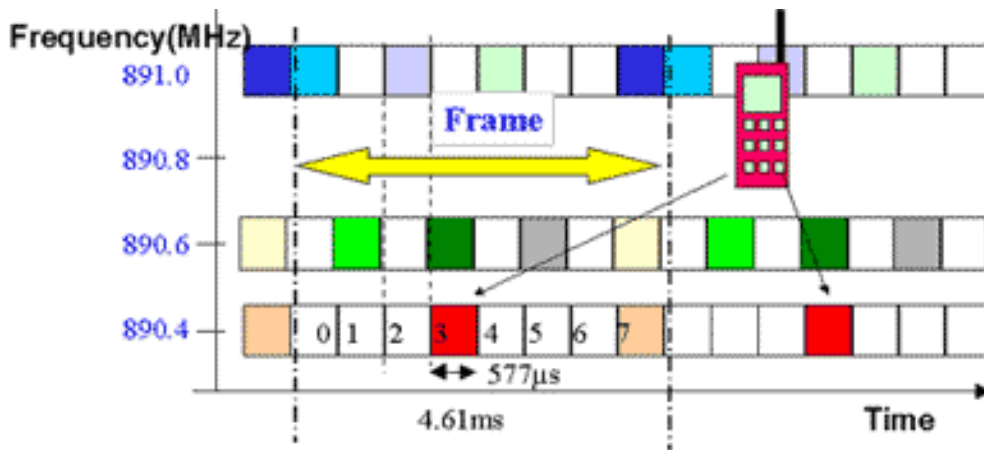
- MNC หรือ Mobile Network Code มีความยาว 2 หลัก เป็นตัวเลขของผู้ให้บริการเครือข่ายเช่น 12call หรือ Dtac

- MSIN หรือ Mobile Subscriber Identification Number มีความยาว 10 หลัก เป็นกลุ่มตัวเลขกลุ่มสุดท้ายใช้กำกับผู้จดทะเบียนเครือข่ายเช่น IMSI ของเครือข่ายหนึ่ง โดยแบ่งตำแหน่งที่มีหมายเลข 234 02 5054722010 จะเห็นว่าเป็นหมายเลขของผู้ใช้บริการซึ่งจดทะเบียนในประเทศอังกฤษ (MCC=234) กับเครือข่าย O2 (MNC=02) โดยหมายเลขกำกับของผู้ใช้บริการคือ 5054722010

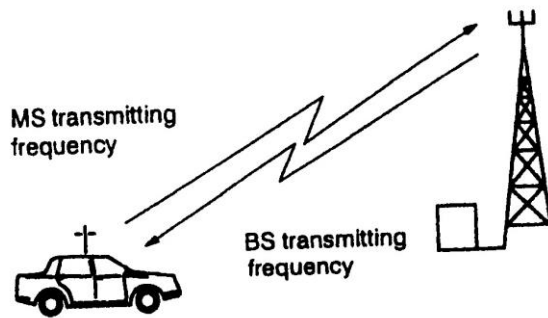
- TMSI เป็นกลุ่มเลขที่เกิดขึ้นอย่างชั่วคราวจากการที่โทรศัพท์มือถือมาอยู่ในพื้นที่เครือข่าย (Cell tower) ในช่วงขณะหนึ่งซึ่งกลไกการทำงานมีความเกี่ยวข้องกับระบบลงทะเบียนผู้ใช้นอก-ในพื้นที่ (Visitor Location Register: VLR) VLR โดยจะทำหน้าที่บรรจุข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ทุกเครื่องที่เข้ามา ภายในพื้นที่ของ MSC ซึ่งจะใช้เพื่อจำกัดช่วงเวลาในการส่ง IMSI ผ่านทาง Air interface และทำหน้าที่แทนด้วยกลุ่มตัวเลข TMSI

3.1.2 รูปแบบการจัดสรรคลื่นความถี่ และโปรโตคอลการสื่อสารระบบจีเอสเอ็ม (Frequency allocation and GSM protocol)

ในการจัดสรรความถี่สำหรับใช้งานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบ GSM นั้นได้มีการกำหนดช่วงความถี่ทั้งหมด 50 เมกกะเฮิร์ต (MHz) ประกอบด้วยย่านความถี่ 890-915 MHz สำหรับสื่อสารจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน BTS (Base Transceiver Station) และ 935-960 MHz สำหรับสถานีฐานส่งกลับมายังโทรศัพท์เคลื่อนที่ดังรูปที่ 3.1-1 มี Bandwidth ขนาด 25 MHz การส่งข้อมูลทั้งสองทางนี้ระบบ GSM ได้แบ่งจำนวนช่องของคลื่นพาห์ไว้ทั้งหมด 124 ช่องโดยแต่ละช่องมีความถี่ห่างกัน 200 กิโลเฮิร์ต สำหรับการส่งรับข้อมูลอาศัยเทคนิคการมัลติเพล็กซ์ทางเวลา (Time-domain multiplexing: TDMA) โดยมีการรองรับจำนวน 8 ช่องสัญญาณโทรศัพท์รวมเวลาในหนึ่งช่องความถี่คลื่นพาห์และหนึ่งช่วงเวลา 8 ช่องสัญญาณเป็น 4.61ms ซึ่งแต่ละเครื่องโทรศัพท์จะใช้เวลาในลักษณะรูปแบบสัญญาณ Burst 577µs ดังแสดงในรูปที่ 3.1-2



รูปที่ 3.1-1 ลักษณะการจัดช่องสัญญาณในรูปแบบทางเวลา



รูปที่ 3.1-2 การใช้งานความถี่ระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่และสถานีฐาน

โครงสร้างของระบบรับส่งสัญญาณ ประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ ได้แก่

1) Switching system ทำหน้าที่ควบคุมระบบและคิดเงินค่าใช้จ่ายบริการ เป็นฐานข้อมูลใช้เก็บข้อมูลเจ้าของโทรศัพท์ และเก็บข้อมูลโทรศัพท์มือถือที่เข้ามาอยู่ในชุมสาย รวมทั้งใช้ตรวจสอบว่าผู้ใช้โทรศัพท์ได้ลงทะเบียนอย่างถูกต้องหรือไม่ และมีขั้นตอนการเข้ารหัสเพื่อป้องกันการดักฟังโทรศัพท์

2) Base station system ทำหน้าที่ควบคุมเกี่ยวกับคลื่นวิทยุในระบบ เช่น ควบคุมการจัดการเกี่ยวกับช่องสัญญาณวิทยุ ควบคุมและรายงานสถานะภาพของอุปกรณ์ต่างๆในระบบ เช่นตรวจเช็คความผิดปกติพลาดอะไรเกิดขึ้น และมีความรุนแรงระดับใด จากนั้นจึงส่งแจ้งเตือน (Alarm) ไปยังศูนย์ควบคุมกลาง ช่องสัญญาณในการส่งข้อมูลระหว่างสถานีฐานกับโทรศัพท์มือถือ มีด้วยกันหลายประเภท ในการส่งข้อมูลและสัญญาณต่างๆ มีรูปแบบเป็นระดับลอจิกส่งผ่านทาง Physical channel ซึ่งเป็นช่องที่บ่งบอก Timeslot number บน TDMA เฟรม สามารถแบ่งระดับลอจิกออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ Traffic channel ใช้สำหรับส่งสัญญาณเสียงพูด-ข้อมูล และ Control channel ใช้สำหรับส่งข้อมูลในการควบคุมสัญญาณต่าง ๆ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ช่องสัญญาณ

1) Broadcast control channel (BCCH) เป็นช่องสัญญาณที่สถานีฐานใช้ในการส่งข้อมูลเกี่ยวกับระบบไปยังโทรศัพท์มือถือ อาทิเช่น ที่อยู่ของสถานีฐาน และหมายเลขประจำตัวของสถานีฐาน (Cell ID) โดยจะส่งสัญญาณออกมาอย่างต่อเนื่อง

2) Common control channel (CCCH) ใช้สำหรับการ Page หาโทรศัพท์เมื่อมีผู้โทรเข้ามา และเมื่อโทรศัพท์ต้องการโทรออก

3) Dedicated control channel (DCCH) ใช้สำหรับทำ Call set up ในขณะที่โทรศัพท์ต้องการโทรออกและส่งสัญญาณ (Signaling) เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ระหว่างพื้นที่ของสถานีฐาน (Handover) จากผลการศึกษาเบื้องต้น เพื่อวัดข้อมูลการสื่อสารระหว่างสถานีฐานกับโทรศัพท์ ในช่องสัญญาณ BCCH ซึ่งมีไว้สำหรับสถานีฐานใช้ในการกระจายข้อมูลต่างๆ เช่น หมายเลขประจำตัวของสถานีฐาน สถานะของช่องสัญญาณ และรายละเอียดของช่องสัญญาณที่มีการใช้งานช่องสัญญาณนี้จะส่งใน Timeslot ที่ศูนย์ของเฟรมบางเฟรมเท่านั้น นั่นคือ จะส่งเฉพาะเฟรมที่ 2-5 ในทุกๆ 51 เฟรม ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.1-3

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
7	0	BTS	Broadcast	GSM Um	23	(DTAP) (RR) System Information Type 2
8	0	BTS	Broadcast	GSM Um	23	(DTAP) (RR) System Information Type 3
9	0	BTS	Broadcast	GSM Um	23	(DTAP) (RR) System Information Type 4

Frame 8: 23 bytes on wire (184 bits), 23 bytes captured (184 bits)						
GSM Um Interface						
Direction: Downlink						
Channel: BCCH						
ARFCN: 49						
Band: P-GSM 900, Frequency: 944.800MHZ						
BSIC: 56						
TDMA Frame: 1823510						
Error: 0						
Timeshift: 3865						
0100 00.. = L2 Pseudo Length: 16						
GSM A-I/F DTAP - System Information Type 4						
Protocol Discriminator: Radio Resources Management messages						
0000 = Skip Indicator: 0						
... 0110 = Protocol discriminator: Radio Resources Management messages (6)						
DTAP Radio Resources Management Message Type: System Information Type 4 (0x1c)						
Location Area Identification (LAI)						
Location Area Identification (LAI) - 520/01/15010						
Mobile country code (MCC): Thailand (520)						

0000	41	06	1c	25	f0	10	3a	a2	85	05	79	00	00	64	51	00	A..%...: ..y..dq.
0010	31	82	00	53	2b	2b	2b	2b	1..5+++								

รูปที่ 3.1-3 การ Broadcast จากสถานีฐานในช่องสัญญาณ BCCH

การยืนยันเพื่อแสดงตนของโทรศัพท์มือถือกับสถานีฐาน (Authentication) จะใช้ช่องสัญญาณ DCCH ซึ่งจะใช้สำหรับการรับส่งสัญญาณในช่วงก่อนที่การรับส่งข้อมูลของผู้ใช้จะเกิดขึ้น ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.1-4

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
68	0	BTS	Broadcast	GSM Um	23	(DTAP) (RR) Paging Request Type 2
69	0	BTS	MS	LAPDm	23	u, func=UI
70	0	BTS	MS	LAPDm	23	u F, func=UA(DTAP) (RR) Paging Response
71	0	BTS	MS	LAPDm	21	u, func=UI(DTAP) (RR) System Information Type 5
72	0	BTS	MS	LAPDm	23	I, N(R)=1, N(S)=0(DTAP) (RR) Ciphering Mode Command
73	0	BTS	MS	LAPDm	21	u, func=UI(DTAP) (RR) System Information Type 5ter

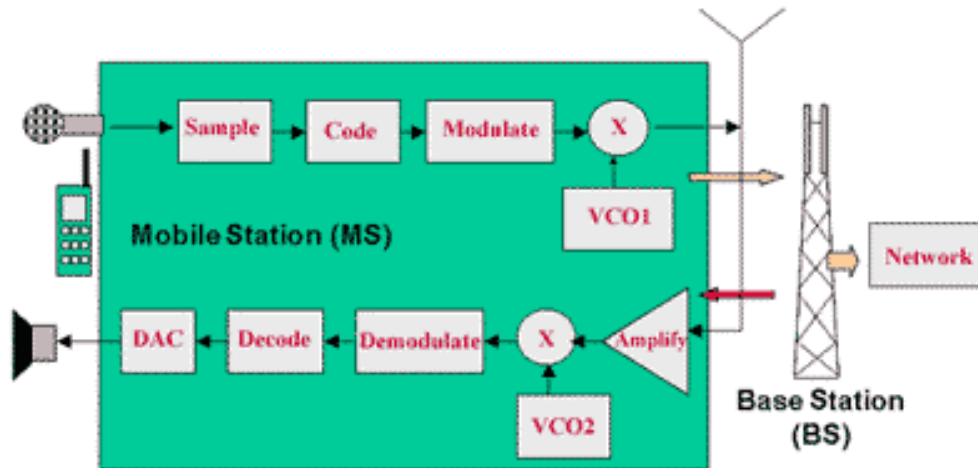
Frame 69: 23 bytes on wire (184 bits), 23 bytes captured (184 bits)						
GSM Um Interface						
Direction: Downlink						
Channel: SDCCCH						
ARFCN: 49						
Band: P-GSM 900, Frequency: 944.800MHZ						
BSIC: 56						
TDMA Frame: 1869718						
Error: 0						
Timeshift: 1612						
Link Access Procedure, Channel Dm (LAPDm)						
Address Field: 0x03						
Control field: u, func=UI (0x03)						
Length Field: 0x01						

0000	03	03	01	2b	2b	2b	2b	2b	2b	2b	2b	2b	2b	2b	2b	2b	2b	...+++++ ++++++
0010	2b	2b	2b	2b	2b	2b	2b	2b	+++++									

รูปที่ 3.1-4 ตัวอย่างข้อมูลในช่องสัญญาณ DCCH ที่ส่งจากสถานีฐานไปยังโทรศัพท์

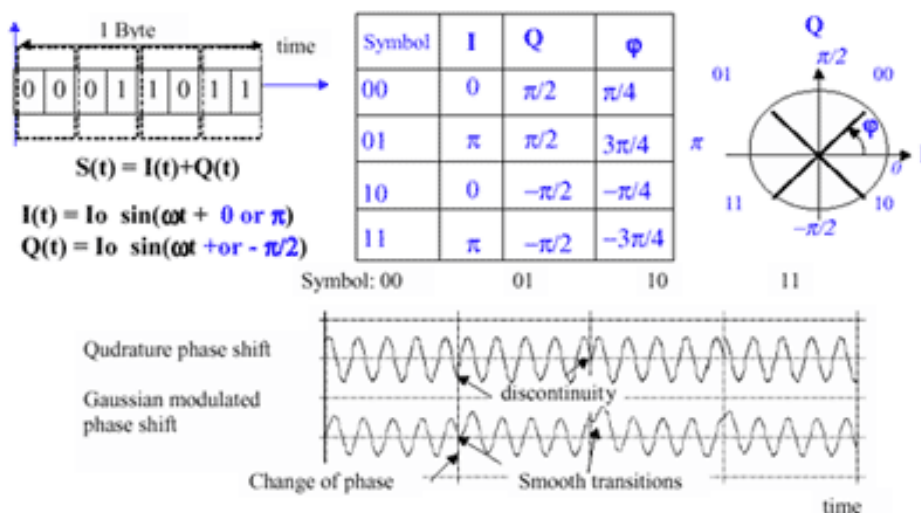
3.1.3 แนวคิดในการผสมสัญญาณคลื่นความถี่ (Signal modulation)

ในด้านของการรับส่งสัญญาณโทรศัพท์มือถือทั้งในส่วน Traffic channel และ Control channel ลักษณะข้อมูลจะต้องมีการผสมสัญญาณ (Modulation) และกระจายสัญญาณ (De-modulation) เกิดขึ้นทั้งนี้ในรูปแบบของระบบ GSM ได้ใช้วิธีการดิจิตอลมอดูเลตชื่อ GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) ซึ่งองค์ประกอบอย่างง่ายของการกระทำทางสัญญาณแสดงดังรูปที่ 3.1-5



รูปที่ 3.1-5 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่

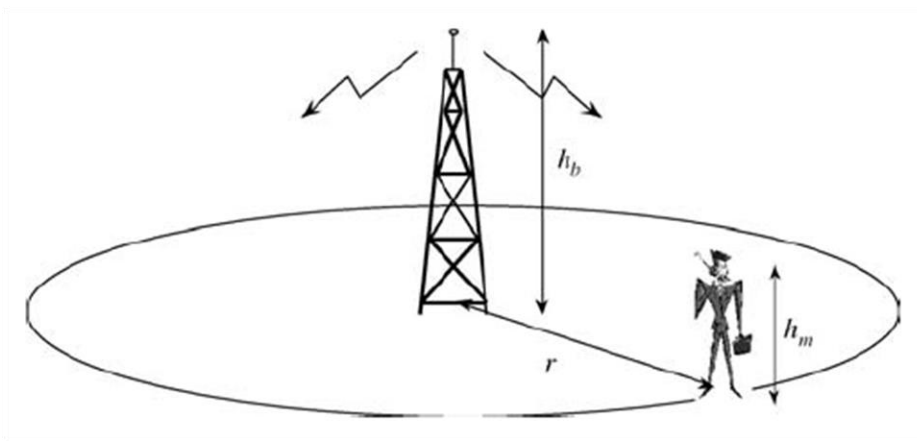
จากบล็อกไดอะแกรมสัญญาณเสียงจะส่งเข้ามาผ่านไมโครโฟนในรูปแบบสัญญาณที่ผ่านการสุ่มโดยรูปแบบสัญญาณที่ได้จะนำมาผ่านขั้นตอนจัดรูปแบบข้อมูล การเข้ารหัส การผสมสัญญาณ และส่งออกไปยังสายอากาศและในทางกลับกันสัญญาณที่โทรศัพท์รับได้ก็จะถูกการกระจายสัญญาณ การถอดรหัส และจัดระดับสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณแอนะล็อกให้สามารถรับฟังได้ ทั้งนี้ลักษณะของการมอดูเลตสัญญาณจะมีการแบ่งเฟสของสัญญาณออกเป็นสี่ส่วนเรียก Phase shift keying โดยในแต่ละเฟสสามารถแทนความหมายของบิตข้อมูลได้ขนาด 2 บิต (00,01,10,11) และใช้ตัวแปร I(t) กับ Q(t) แสดงตำแหน่งของเฟสที่มีการเลื่อนไปดังแสดงรูปที่ 3.1-6 แบบการจัดสัญญาณสำหรับการผสมสัญญาณทางเฟส



รูปที่ 3.1-6 การผสมสัญญาณทางเฟสของระบบ GSM

3.2 แนวคิดในการพัฒนาสายอากาศรับส่งข้อมูลที่มีลักษณะเฉพาะ

กระบวนการรับส่งสัญญาณในช่วงความถี่ใช้งานของโทรศัพท์มือถือที่มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์รับส่งคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของส่วนที่เป็นสถานีฐาน (Base transceiver station: BTS) ที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในโครงการ และในส่วนที่มีการแผ่กระจายออกจากโทรศัพท์โดยในการทำงานของสายอากาศของโครงการนี้มีรูปแบบการรับคลื่นจากโทรศัพท์และส่งคลื่นเข้าไปผสมสัญญาณที่รับได้ ซึ่งเป็นการหลีกเลี่ยงปัญหาการรบกวนการใช้งานของโทรศัพท์ โดยใช้การตรวจสอบลักษณะการสูญเสียพลังงานคลื่นความถี่ โดยการส่งสัญญาณในระบบโครงข่ายโทรศัพท์มือถือมีลักษณะดังรูปที่ 3.2-1 และมีความสัมพันธ์ในแบบเส้นทางการสูญเสียสัญญาณทางกายภาพ (Path loss) ดังสมการรูปที่ 3.2-2

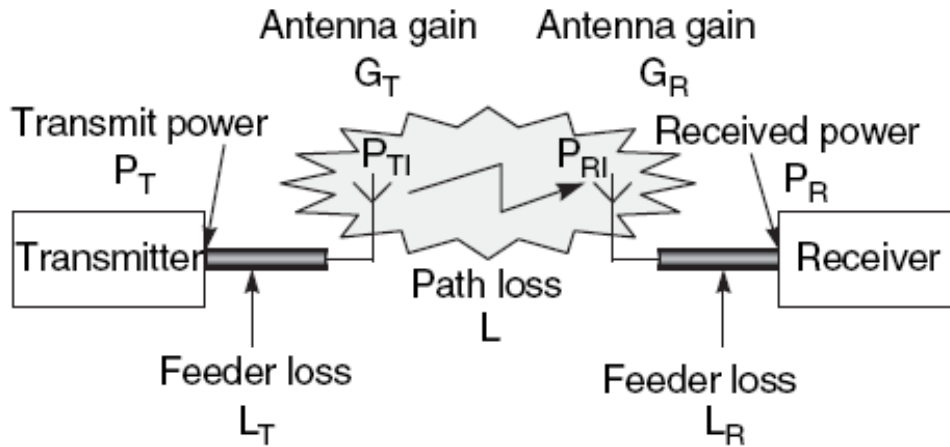


รูปที่ 3.2-1 ลักษณะทางกายภาพการสื่อสารระบบโครงข่ายโทรศัพท์มือถือ

$$\frac{P_R}{P_T} = \frac{1}{L} = k \frac{h_m h_b^2}{r^4 f^2}$$

รูปที่ 3.2-2 สมการหาความสัมพันธ์ในแบบเส้นทางการสูญเสียสัญญาณ (Path Loss)

ค่า P_R เป็นปริมาณกำลังที่ตำแหน่งโทรศัพท์ ค่า P_T เป็นปริมาณกำลังที่ตำแหน่งสถานีฐาน h_b และ h_m คือความสูงของสายอากาศที่สถานีฐานและผู้ใช้ r คือระยะทางในแนวนอนระหว่างสถานีฐานและโทรศัพท์ f คือความถี่คลื่นพาห์และ k คือค่าคงที่ที่เป็นสัดส่วน และ L เป็นค่า Path Loss ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของเส้นทางระหว่างทั้งสองตำแหน่งซึ่งรูปที่ 3.2-3 แสดง Path Loss ของระบบการสื่อสารไร้สายที่มีองค์ประกอบครบในระบบและสามารถนำพารามิเตอร์จากรูปคำนวณเป็นค่า Path Loss ได้ดังสมการรูปที่ 3.2-4

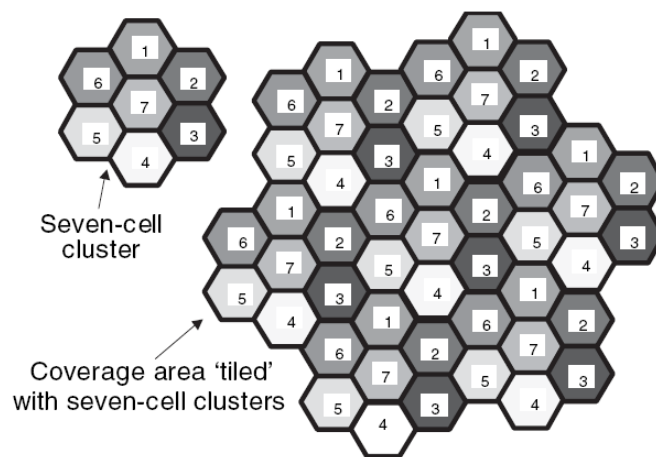


รูปที่ 3.2-3 ส่วนประกอบของระบบการสื่อสารไร้สาย

$$Path\ Loss, L = \frac{P_{TI}}{P_{RI}} = \frac{P_T G_T G_R}{P_R L_T L_R}$$

รูปที่ 3.2-4 สมการหาค่า Path Loss

ความเกี่ยวข้องเชื่อมโยงอีกส่วนหนึ่งคือลักษณะของสถานีฐานที่มีการติดตั้งอยู่เป็นปกติโดยจะมีลักษณะการแผ่กระจายคลื่นที่จัดเป็นรูปแบบรังผึ้งดังรูปที่ 3.2-5 เสาอากาศสถานีฐานหนึ่งต้นจะมีสายอากาศที่มีระยะมุมสำหรับการส่ง-รับคลื่นแบ่งเป็นเซกเตอร์ละ 120° จำนวน 3 เซกเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2-6 ทั้งนี้ทำให้ทราบถึงอาณาบริเวณของตำแหน่งที่จะทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจนับสัญญาณโทรศัพท์ที่มีความเชื่อมโยงกับสถานีฐานใดมาเกี่ยวข้องซึ่งโทรศัพท์มือถือแต่ละเครื่องเมื่อผ่านสถานีฐานแต่ละพื้นที่ที่จะเกิดกระบวนการ Location update เสมอ

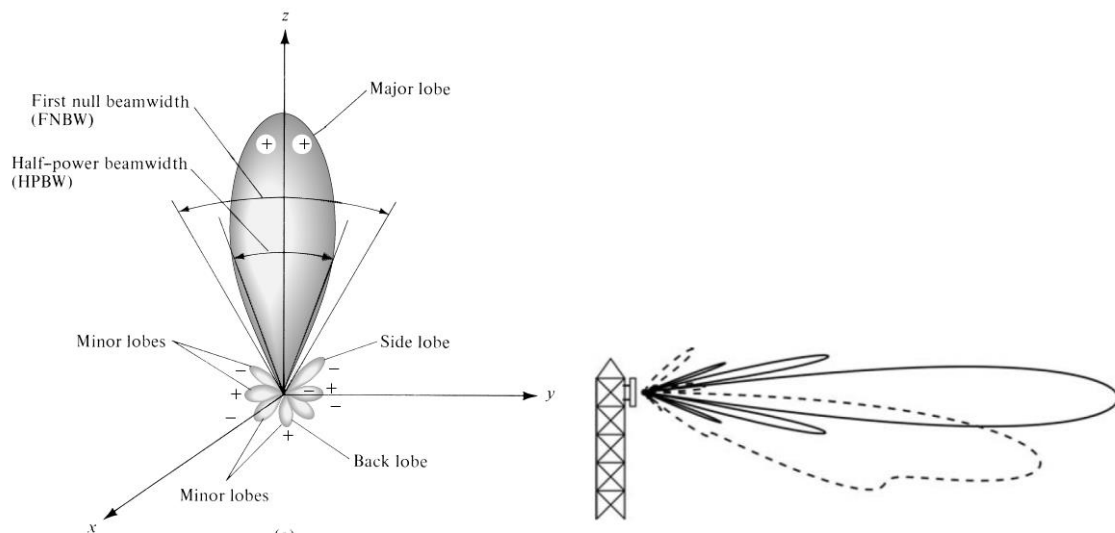


รูปที่ 3.2-5 การจัดวางโครงข่ายโทรศัพท์ของสถานีฐาน (BTS)



รูปที่ 3.2-6 สายอากาศสถานีฐานที่มีการแบ่งการรับส่งจำนวน 3 ส่วนๆละ 120 °

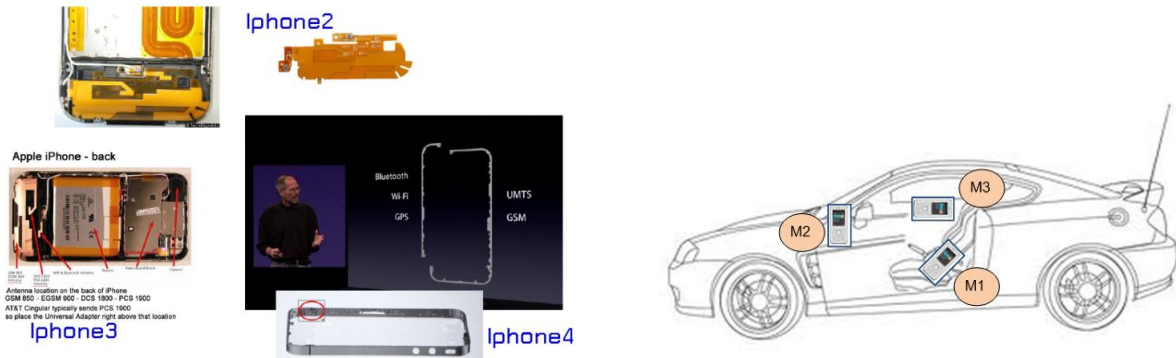
สำหรับลักษณะรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศที่จะสร้างขึ้นเพื่อตรวจนับสัญญาณโทรศัพท์มือถือ ที่ปรึกษาจะออกแบบและพัฒนาเสาอากาศชนิดทิศทางเดียวและมีบริเวณการตรวจวัดสัญญาณในขอบเขตจำกัด (ช่องทางจราจร 1 ทิศทาง) โดยลักษณะพารามิเตอร์ของรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นแสดงดังรูปที่ 3.2-7 (ก) ในการติดตั้งที่เสากำหนดทิศทางการวางสายอากาศจึงจำเป็นที่จะต้องทราบข้อมูลพารามิเตอร์โลบหลัก (Major lobe) ความกว้างของลำคลื่น (HPBW) ช่วงอับสัญญาณ (FNBW) และส่วนที่เหลือเป็นสำคัญทั้งนี้ทิศทางของมุมในการติดตั้งจะเกี่ยวข้องกับระดับมุมเงย ดังแสดงในรูป 3.2-7 (ข)



(ก) ลักษณะการแผ่คลื่น

(ข) ทิศทางการแผ่คลื่น

รูปที่ 3.2-7 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นสำหรับสายอากาศตรวจนับจำนวน



(ก) สายอากาศในโทรศัพท์ iPhone

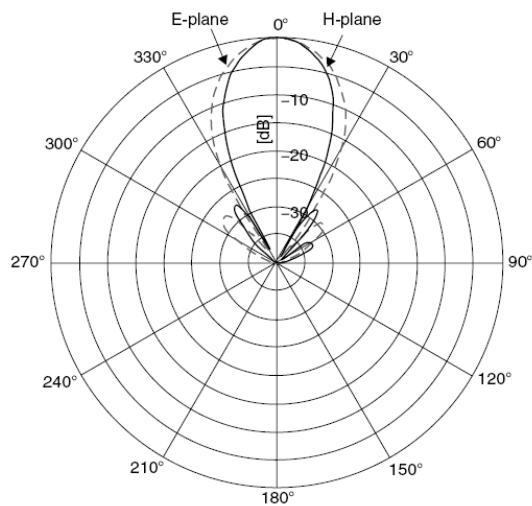
(ข) การจัดวางโทรศัพท์มือถือภายในรถยนต์

รูปที่ 3.2-8 ตัวอย่างสายอากาศในโทรศัพท์เคลื่อนที่และการจัดวางในรถยนต์

การรับคลื่นสัญญาณจากโทรศัพท์มือถือจะมีลักษณะพิเศษที่รับสัญญาณได้ทุกทิศทางโดยพื้นฐาน สายอากาศในโทรศัพท์ที่จะมีรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นได้ในทิศทางแนวนอนหรือแนวตั้ง (Horizontal or vertical polarization) อย่างใดอย่างหนึ่งทั้งนี้จะมีความเกี่ยวข้องกับการวางตำแหน่งของโทรศัพท์มือถือภายในรถยนต์ดังแสดงในรูปที่ 3.2-8 ฉะนั้นข้อกำหนดอีกประการหนึ่งของสายอากาศที่รับคลื่นต้องสามารถรับได้ในโพลาไรซ์ทั้งแนวตั้งและแนวนอนเรียกว่าโพลาไรซ์แบบวงกลม (Circular polarization) และจะต้องมีค่าอัตราขยายในการรับสัญญาณที่ส่งออกมาจากโทรศัพท์มือถือได้อย่างเพียงพอตามขนาดการคำนวณ Path loss



(ก) การติดตั้งสายอากาศรับคลื่น



(ข) รูปแบบการรับคลื่นทั้งสองโพลาไรซ์

รูปที่ 3.2-9 สายอากาศรับสัญญาณโทรศัพท์และรองรับ Horizontal , Vertical polarization

ข้อกำหนดคุณลักษณะเสาอากาศสำหรับการตรวจนับสัญญาณจากโทรศัพท์เคลื่อนที่นี้รองรับช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 890-915 และ 935-960 MHz มีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในแบบทิศทางเดียวและรองรับการรับคลื่นในแบบ Circular polarization ซึ่งค่าอัตราขยายของเสาอากาศจะต้องมีการประมาณจากการคำนวณ Path Loss เพื่อให้การตรวจนับสัญญาณครอบคลุมขอบเขตพื้นที่ที่กำหนด

3.3 ระบบประมวลผลข้อมูลตำแหน่งโทรศัพท์มือถือ

3.3.1 โพรโทคอลควบคุมการสื่อสาร

ในการควบคุมการเชื่อมต่อการสื่อสารไร้สายระบบ GSM จะรับส่งข้อมูลผ่านช่องการสื่อสาร (Channel) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ ได้แก่ 1) Control channel ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมข้อมูลการสื่อสารระหว่าง Cell tower และโทรศัพท์มือถือ และ 2) Traffic channel ซึ่งทำหน้าที่รับส่งข้อมูล Pay load ระหว่างโทรศัพท์มือถือ และ Cell tower อาทิเช่น เสียงพูด ข้อมูล และ SMS เป็นต้น

1) Traffic channel (TCH) ใช้ในการรับส่งข้อมูล Voice และ Non-voice ระหว่างอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือและ Cell tower โดยข้อมูลที่รับส่งจะถูกเข้ารหัสในรูปแบบ Bits และส่งผ่านช่องสัญญาณ Traffic channel นี้ ข้อมูลที่ส่งผ่าน TCH จะถูกบีบอัดให้อยู่ในรูปแบบ TDMA frame จำนวน 26 เฟรม และจะใช้ 24 เฟรมในการส่งถ่ายข้อมูล

2) Control channel (CCH) หรือบางครั้งเรียกว่า Signaling channel จะอ้างถึงช่องสัญญาณทั้งหมดที่ใช้ในการควบคุมการรับส่งข้อมูลและสำหรับการบำรุงรักษาระบบเครือข่าย GSM โดยทั่วไป CCH จะถูกแบ่งออกเป็นช่องสัญญาณย่อย 10 ช่อง ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ช่องสัญญาณหลักๆดังนี้

Broadcast Channel (BCH) ข้อมูลที่ส่งผ่านช่องสัญญาณนี้ทั้งหมดจะเป็น Downlink ประกอบด้วย

- Broadcast control channel (BCCH) ช่องสัญญาณนี้ ประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบการสื่อสาร และใช้ในการบ่งชี้การแสดงตนและการเข้าสู่ระบบสื่อสาร GSM ในแต่ละโครงข่าย พารามิเตอร์ในการควบคุมต่างๆ นี้ ประกอบด้วย รหัสตำแหน่งสถานที่ (Location area code: LAC) ตัวเลขบ่งชี้ผู้ให้บริการโครงข่ายสัญญาณโทรศัพท์ (Mobile network code: MNC) ช่องความถี่ของ Cell tower ที่อยู่ใกล้เคียง ช่องสัญญาณ (ARFCN) และค่าพารามิเตอร์ในการเข้าสู่ระบบ โทรศัพท์มือถือจะใช้ BCCH ในการเชื่อมต่อกับ Cell tower โดยการวัดค่าความแรงของสัญญาณ (Signal strength หรือ RXLEV) และอัตราความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูล (Bit error rate) จาก BCCH ที่แตกต่างกัน ขณะเดียวกัน Cell tower ก็จะกระจายสัญญาณข้อมูลระดับกำลังส่งที่เหมาะสมให้กับโทรศัพท์มือถือ ซึ่งจะช่วยให้โทรศัพท์ปรับกำลังส่งเหมาะสมเพื่อให้สามารถเชื่อมต่อกับโครงข่าย Cell tower ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- Frequency correction channel (FCCH) โทรศัพท์มือถือจะใช้ช่องสัญญาณนี้ในการค้นหา Cell tower ที่อยู่ใกล้เคียง โดยการสแกนช่องความถี่ที่กำหนดค่าไว้ล่วงหน้าใน SIM card ของแต่ละผู้ให้บริการโครงข่ายโทรศัพท์ (MNC) ในช่องสัญญาณนี้จะสร้างโทน (Tone) ในช่องความถี่ เพื่อให้โทรศัพท์มือถือได้ปรับค่าระดับสัญญาณโดยใช้ Oscillator ภายในเครื่องเพื่อให้จูนความถี่ที่ตรงกัน

- Synchronization channel (SCH) จะอนุญาตให้โทรศัพท์มือถือคำนวณหาตำแหน่ง TDMA ปัจจุบัน เพื่อให้ส่งข้อมูลในเฟรมที่ตรงกัน โดยปกติ ช่องสัญญาณ SCH จะถูกเรียกใช้ภายหลังจากการทำงานของช่องสัญญาณ FCCH ในช่องสัญญาณ SCH นี้ Cell tower จะส่งค่ารหัสจำเพาะของสถานี (Base station identity code: BSIC หรือ CI) ให้กับโทรศัพท์มือถือเพื่ออ้างถึงในการเรียกใช้งาน

- Cell broadcast channel (CBCH) ช่องสัญญาณนี้จะถูกใช้เพื่อส่งข้อมูลจำเพาะอื่นๆจาก Cell tower ไปยังโทรศัพท์มือถือ อาทิเช่น สภาพอากาศ สภาพจราจร ผลการแข่งขันกีฬา ข้อมูลหุ้น เป็นต้น

Common control channel (CCCH) ช่องสัญญาณนี้จะกำหนดกลุ่มของช่องสัญญาณ ที่ใช้สำหรับการสื่อสารระหว่าง Cell tower และโทรศัพท์มือถือ เพื่อร้องขอและให้การเข้าถึงสู่ TCH โดยช่องสัญญาณเหล่านี้ จะมี RACH ที่เป็น Uplink ส่วน PCH และ AGCH จะเป็น Downlink

- Paging channel (PCH) ช่องสัญญาณนี้จะถูกใช้เพื่อแจ้งโทรศัพท์มือถือเมื่อมีข้อมูลเข้ามา อาทิเช่น Voice call, SMS หรือข้อมูลสัญญาณอื่นๆ (Signaling messages) โดยปกติ โทรศัพท์มือถือจะคอยฟัง PCH สัญญาณที่ส่งมาจาก Cell tower อย่างต่อเนื่อง โดยใช้ค่า IMSI หรือ TMSI สำหรับหมายเลขแสดงตน ข้อมูลในช่องสัญญาณ PCH จะบรรจุสถานะในการเรียกโทรศัพท์มือถือ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าสถานะอยู่ในรูปแบบของสายเรียกเข้า (Incoming call) ก็จะทำให้โทรศัพท์เครื่องที่ผู้รับสายส่งเสียงดังขึ้นมา เนื่องจาก PCH จะถูกแบ่งการส่งสัญญาณภายใน Timeslot ช่องเดียวเท่านั้นในสัญญาณจาก Cell tower มายังเครื่องโทรศัพท์มือถือ (Downlink) จึงทำให้โทรศัพท์มือถือใช้พลังงานแบตเตอรี่ภายในเครื่องน้อยมากและสามารถใช้งานใน Idle mode ได้เป็นเวลานาน

- Random access channel (RACH) โทรศัพท์มือถือจะใช้ช่องสัญญาณนี้ในการร้องขอช่องสัญญาณเพื่อส่งหรือรับข้อมูล Traffic หรือข้อมูล Signal เมื่อโทรศัพท์มือถือเริ่มต้นการสื่อสารข้อมูลจะถูกส่งในช่องสัญญาณ RACH และเมื่อโทรศัพท์มือถือได้รับข้อมูล Page ช่องสัญญาณ RACH จะถูกส่งต่อจากช่องสัญญาณ PCH ช่องสัญญาณ RACH จะใช้ความถี่ในช่วง Uplink

- Access grant channel (AGCH) โดยทั่วไปแล้ว Cell tower จะตอบสนองต่อ Message ในช่องสัญญาณ RACH ด้วย Message ในช่อง AGCH ที่เป็นตัวกำหนดของความถี่ที่แน่นอน (ARFCN) ซึ่งข้อมูลจะทำหน้าที่ทั้งตอบสนองและรับข้อมูล RACH message และกำหนดเลขช่องสัญญาณ ARFCN เพื่อเริ่มต้นการใช้งาน

Dedicated control channel (DCCH) ช่องสัญญาณนี้เกิดขึ้นหลังจากเมื่อโทรศัพท์มือถือและ Cell tower ตกลงที่จะใช้เลขช่องสัญญาณ (ARFCN) กันอย่างแน่นอนแล้ว ซึ่งช่องสัญญาณนี้ จะถูกใช้เพื่อการตั้งค่าเริ่มต้นการโทร (Call-setup) การอัปเดตตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์มือถือภายในโครงข่าย Cell tower (Location updates) และการดำเนินการอื่นๆเพื่อการบริหารจัดการโครงข่าย

- Standalone dedicated control channel (SDCCH) ช่องสัญญาณนี้จะถูกใช้ในขั้นตอน Call-setup, Location update และการรับส่ง SMS ซึ่งช่องสัญญาณที่กำหนด Message ใน AGCH จะกำหนดช่อง SDCCH ไปให้โทรศัพท์มือถือ ในช่องสัญญาณ SDCCH ข้อมูลจะถูกแลกเปลี่ยนระหว่างโทรศัพท์และ Cell tower สำหรับการแสดงตน (Identification) และการเข้ารหัสผ่าน (Authentication) เพื่อเริ่มต้นการสื่อสารในช่องสัญญาณ TCH สังเกตด้วยว่า ข้อมูล SMS จะถูกส่งโดยตรงในช่องสัญญาณ SDCCH นี้

- Slow associated control channel (SACCH) ช่องสัญญาณนี้จะถูกใช้ร่วมกับ TCH หรือ SDCCH เสมอ ช่องสัญญาณ SACCH นี้จะรับส่งข้อมูลสำหรับความถี่และเวลาในการรับส่งข้อมูลที่เหมาะสมและข้อมูลหน่วยวัดคุณภาพของสัญญาณ ซึ่งโดยปกติจะส่งข้อมูลในเฟรมที่ 12 ภายใน 24 เฟรม ซึ่งช่องสัญญาณที่มีการรับส่งข้อมูลกับแบบ Slow นั้นหมายความว่า ข้อมูลที่สื่อสารกันนั้นจะถูกรับส่งกันอย่างต่อเนื่องใน SACCH timeslot

- Fast associated control channel (FACCH) โดยปกติ ช่องสัญญาณนี้จะถูกใช้ร่วมกันกับ TCH สำหรับในกรณีการเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินในการจัดการช่องสัญญาณที่ไม่ปกติ ยกตัวอย่างเช่น สายหลุดระหว่างการโทร หรือการเปลี่ยนถ่ายข้อมูลระหว่างการโทรจาก Cell หนึ่งไปยังอีก Cell หนึ่ง

ในการควบคุมสถานะของโทรศัพท์มือถือโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 สถานะได้แก่ Idle mode และ Dedicated mode โดยเมื่อมีการเชื่อมต่อแบบ Active ระหว่างโทรศัพท์มือถือและ Cell tower ซึ่งจะเรียกว่า Dedicated mode และในกรณีที่เปิดเครื่องโทรศัพท์มือถือแต่แสดงสถานะเป็นแบบ Passive กับ Cell tower จะถูกเรียกว่าสถานะ Idle mode ในสถานะ Idle mode โทรศัพท์มือถือจะคอยฟัง Paging channel จาก Cell tower เพื่อค้นหาข้อมูลที่ส่งมาจาก Broadcast control channel (BCCH) โดยเทียบกับหมายเลขประจำเครื่องให้ตรงกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.3-1

Direction	Channel	Name
MS ← BS	FCCH	Frequency Correction Channel
MS ← BS	SCH	Synchronization Channel
MS ← BS	BCCH	Broadcast Control Channel
MS ← BS	PAGCH	Paging and Access Grant Channel
MS → BS	RACH	Random Access Channel
MS ↔ BS	SDCCH	Stand-Alone Dedicated Control Channel
MS ↔ BS	SACCH	Slow Associated Control Channel
MS ↔ BS	FACCH	Fast Associated Control Channel

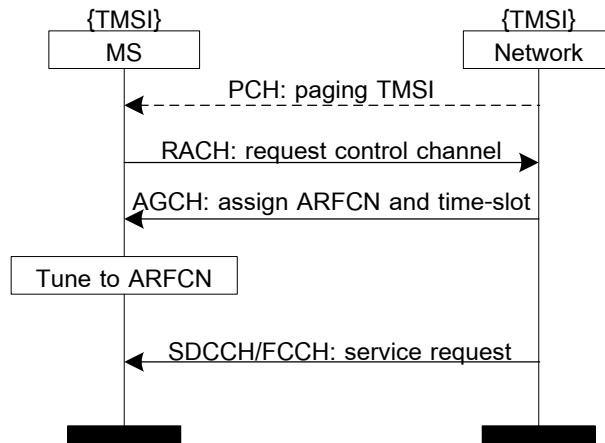
รูปที่ 3.3-1 ช่องสัญญาณ CCH ในระบบเครือข่าย GSM

Frequency correction channel	ค้นหาความถี่ใหม่ที่ใช้ในการสื่อสาร
Synchronisation channel	ค้นหาความถี่ใหม่ที่ใช้ในการสื่อสารและปรับเวลารับส่งข้อมูล
Broadcast control channel	กระจายข้อมูลจาก Cell tower เพื่อรอการเชื่อมต่อข้อมูล
Paging channel	บอกสถานะข้อมูลเรียกเข้าที่เครื่องโทรศัพท์มือถือ
Access grant channel	กำหนดช่องสัญญาณที่จะใช้งานระหว่างโทรศัพท์และ Cell tower
Random access channel	ร้องขอช่องความถี่ที่ต้องการจาก Cell tower

3.3.2 การอัปเดตข้อมูลตำแหน่งโทรศัพท์มือถือ

การอัปเดตข้อมูลของโทรศัพท์มือถืออาจจะเกิดขึ้นในหลายๆ สถานการณ์ ซึ่งทำให้ข้อมูลในการสื่อสารและพฤติกรรมของโทรศัพท์มือถือและ Cell tower มีลักษณะแตกต่างกันไปในแต่ละขั้นตอน โดยแต่ละสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการอัปเดตข้อมูลตำแหน่งของโทรศัพท์มือถือมีดังนี้

1) Channel setup ในรูปที่ 3.3-2 ด้านล่าง แสดงขั้นตอนการทำงานของโทรศัพท์มือถือเพื่อเข้าสู่ช่องสัญญาณ Control channel และ Voice channel จาก Cell tower ในขั้นตอนการตั้งค่าช่องสัญญาณ โทรศัพท์มือถือได้เชื่อมต่อกับ Cell tower โดยสมบูรณ์แล้ว



รูปที่ 3.3-2 การร้องขอและการกำหนดช่องสัญญาณ

จากรูปแสดงการตั้งค่าช่องสัญญาณ (Channel setup) เส้นปะแสดงหมายเลขแสดงตนชั่วคราว (TMSI) ของโทรศัพท์ที่ส่งมาจาก Cell tower ในช่องสัญญาณ PCH ในกรณีที่มี Message เกิดขึ้นในช่องสัญญาณนี้ Cell tower จะเริ่มกระบวนการตั้งค่าช่องสัญญาณ อาทิเช่น เมื่อมีสายเรียกเข้า (Incoming call หรือ Paging) ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลส่งมาจาก Cell tower (ไม่มีเส้นปะ) การตั้งค่าช่องสัญญาณ จะเริ่มต้นที่เครื่องโทรศัพท์ อาทิเช่น การทำ Location update (Timed location update) และในช่องสัญญาณ RACH จะประกอบด้วยสถานะในการร้องขอการเชื่อมต่อข้อมูล (เช่น การตอบรับโทรศัพท์) และรูปแบบของช่องสัญญาณที่ร้องขอไป สังเกตด้วยว่า เนื่องจากช่องสัญญาณ RACH นี้เป็นอิสระ และอนุญาตให้โทรศัพท์มือถือทุกเครื่องสามารถ เข้าสู่ระบบเครือข่ายได้ ซึ่งอาจส่งให้ทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลขึ้นได้ ดังนั้น โทรศัพท์มือถืออาจจะรอคอยในช่วงระยะเวลาหนึ่ง (Random time) จนกระทั่งสามารถส่งข้อมูลการเชื่อมต่อได้ ที่ ณ เวลานั้นเมื่อ Cell tower สามารถกำหนดเลขช่องสัญญาณ (ARFCN) ได้อย่างแน่นอนแล้ว Cell tower จะส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณ AGCH ไปยังโทรศัพท์มือถือ จากนั้นโทรศัพท์จะปรับจูนช่องสัญญาณให้ตรงกับช่องสัญญาณที่ส่งมาจาก Cell tower และส่งการร้องขอการเชื่อมต่อข้อมูลในช่องสัญญาณ SDCCH และ FCCH กลับไปที่ Cell tower

2) Sign on หรือ Location registration ขั้นตอนแรกของการลงทะเบียนระบบเครือข่าย โทรศัพท์ จะเกิดขึ้นเมื่อเปิดเครื่องโทรศัพท์ (Switch on) ระหว่างเปลี่ยน Cell tower (Inter-cell handover หรือ Handoff) และในขณะที่โทรศัพท์มือถือออกจากพื้นที่ที่ไม่มีสัญญาณ GSM ซึ่งจะเป็นการอัปเดตตำแหน่งของโทรศัพท์มือถือโดยใช้หมายเลขแสดงตน IMSI ในการลงทะเบียนกับระบบเครือข่ายโดยจะเปลี่ยนจากค่า IMSI เป็น TMSI

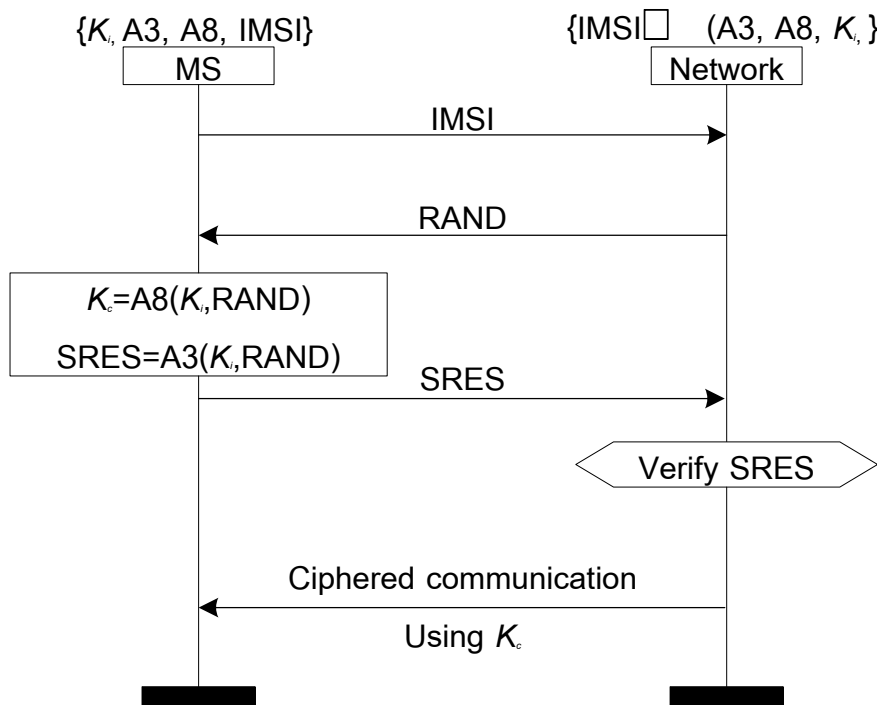
ในระหว่างการ Sign on โทรศัพท์มือถือจะมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

- 1) ค้นหาช่องสัญญาณความถี่
- 2) เมื่อพบข้อ (1) จะเก็บข้อมูลลงใน Timeslot ถัดไปในช่องความถี่สัญญาณที่ค้นพบ เพื่อปรับเวลารับส่งข้อมูลในช่องความถี่ให้ตรงกัน (Synchronization)
- 3) ใช้ Training sequence เพื่อปรับจูนความถี่และตั้งค่าเฟรม TDMA
- 4) เริ่มต้นการรับฟังข้อมูลจากช่องสัญญาณ BCCH เพื่อรับข้อมูลจาก Cell tower
- 5) ใช้ข้อมูลที่ได้จาก Cell tower ในขั้นตอน (5) เพื่อปรับจูนช่องสัญญาณ RACH และ AGCH และส่งข้อมูลการร้องขอการเข้าถึงเครือข่าย (Access burst) จากโทรศัพท์มือถือออกไปยัง Cell tower

6) รับฟังช่องสัญญาณ AGCH เพื่อส่งกลับข้อมูลไปยัง Cell tower และวนรอบกระทำซ้ำในขั้นตอนที่ (5) และ (6) จนช่องสัญญาณ CCH ถูกกำหนด

สังเกตด้วยว่า โทรศัพท์มือถืออาจจะได้รับสัญญาณจาก Cell tower หลายๆตัวจากผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์รายเดียวกัน โดยจะทำการเรียงลำดับคุณภาพของสัญญาณและเลือกช่องสัญญาณที่มีคุณภาพดีที่สุดในการรับส่งข้อมูล การส่งข้อมูลกลับไปยัง Cell tower จะประกอบด้วยตัวเลขช่องสัญญาณ (ARFCN) และ Timeslot สำหรับการจัดเตรียมเพื่อการเข้ารหัสเพื่อเข้าสู่ระบบที่จะเกิดขึ้นในขั้นตอนต่อไป

3) Authentication การเข้ารหัสผ่านระบบเครือข่ายเป็นขั้นตอนแรกที่เริ่มเข้าสู่ระบบรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบเครือข่าย GSM ในช่องสัญญาณ TCH โดยขั้นตอนการเข้ารหัสจะเริ่มหลังจากขั้นตอนการ Sign on หรือ ขั้นตอนการลงทะเบียนสถานที่ (Location registration) ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆได้แก่ 1) Full authentication จะเกิดขึ้นเมื่อเปิดเครื่องโทรศัพท์ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งเมื่อโทรศัพท์มือถือไม่มีข้อมูลหมายเลขแสดงตนชั่วคราว (TMSI) อยู่ภายในเครื่อง หรือในกรณีที่ Cell tower ปฏิเสธหรือไม่รับรู้ TMSI ที่ส่งจากโทรศัพท์มือถือขึ้นไปยัง Cell tower ซึ่งในกรณีนี้โครงข่าย Cell tower จะร้องขอหมายเลขแสดงตนของโทรศัพท์ค่าใหม่ นั่นคือ หมายเลข IMSI เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการเข้ารหัสผ่านในระบบ 2) Partial authentication จะแตกต่างกับ Full authentication ตรงที่โทรศัพท์มือถือมีข้อมูลหมายเลข TMSI อยู่ภายในเครื่องแล้ว และ Cell tower ก็รับรู้เลข TMSI นั้นๆในระบบแล้วเช่นกัน ขั้นตอนการเข้ารหัสผ่านระบบเครือข่าย GSM แสดงดังรูปที่ 3.3-3



รูปที่ 3.3-3 ขั้นตอนการเข้ารหัสผ่านระบบเครือข่าย GSM

ภายหลังจากขั้นตอนการ Sign on การเข้ารหัสผ่านระบบเครือข่ายเริ่มต้นที่ Cell tower ส่งชุดตัวเลขสุ่ม $RAND$ ขนาด 128 บิต ไปยังโทรศัพท์มือถือ จากนั้นฟังก์ชันการเข้ารหัสภายในโทรศัพท์มือถือ (Comp128 Algorithm) จะใช้ชุดตัวเลขสุ่ม $RAND$ และค่า Secret key K_i (ที่เก็บอยู่ภายใน SIM card) ขนาด 128 บิต มาทำการเข้ารหัสและได้ผลลัพธ์เป็นค่า $SRES$ ขนาด 32 บิต แล้วส่งกลับไปยังที่ Cell tower

เมื่อ Cell tower ได้ค่า *SRES* ที่มาจากโทรศัพท์ ระบบเครือข่ายจะนำค่า *SRES* ที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่า *SRES'* ที่สร้างขึ้นจากระบบเครือข่าย ในกรณีที่ค่า *SRES* และ *SRES'* มีค่าตรงกัน ระบบก็จะให้สิทธิการเข้ารหัสผ่านเข้าระบบ GSM โดยสมบูรณ์และเริ่มต้นการรับส่งข้อมูล และเสี่ยงในช่องสัญญาณ THC

3.3.3 ค่าความแรงของสัญญาณและการเลือกเซล

คุณภาพและค่าความแรงของสัญญาณมีความสำคัญต่อโทรศัพท์มือถือในการเชื่อมต่อข้อมูลกับโครงข่าย Cell tower และการอัปเดตตำแหน่งโทรศัพท์ที่เปลี่ยนถ่ายจาก Cell หนึ่ง ไปยังอีก Cell หนึ่ง ในโครงข่าย (Intra-cell หรือ Inter-cell handover)

1) Signal strength ระดับความแรงของสัญญาณเป็นตัวแปรหลักที่ใช้ในการควบคุมการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายโทรศัพท์ ซึ่งระดับความแรงของสัญญาณจะอยู่ในหน่วย เดซิเบลในมิลลิวัตต์ (Decibels in milli-watts) ในระบบการสื่อสารทั่วไปที่เป็นรูปแบบการสื่อสารแบบอนาล็อก (Analog) มักนิยมใช้ชื่อ RSSI (Received signal strength indicator) เป็นตัวชี้วัดระดับความแรงของสัญญาณ แต่ในระบบเครือข่ายโทรศัพท์มือถือซึ่งเป็นระบบการสื่อสารแบบดิจิทัล จะนิยมใช้ชื่อ RXLEV (Received signal level) แทน RXLEV จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 63 ตามระดับความแรงของสัญญาณโทรศัพท์ทีในหน่วย dBm ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 3.3-1

ตารางที่ 3.3 ค่าระดับความแรงของสัญญาณโทรศัพท์ RXLEV

RXLEV	dBm range
0	Less than -110 dBm
1	-110 to -109
2	-109 to -108
3	-118 to -107
4	-117 to -106
...	...
61	-50 to -49
62	-49 to -48
63	Greater than -48

สังเกตได้ว่า ค่าระดับความแรงของสัญญาณที่น้อยกว่า -110 dBm จะไม่สามารถใช้งานได้ ในระบบเครือข่ายโทรศัพท์ GSM โดยปกติระดับความแรงของสัญญาณจะอยู่ในช่วงระหว่าง -40 ถึง -90 dBm และโทรศัพท์จะเลือกใช้ระดับสัญญาณช่วง -40 ถึง -60 dBm ในการเชื่อมต่อข้อมูลกับ Cell tower ซึ่งระดับความแรงของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับกำลังส่งของ Cell tower (TX power) และระยะทางระหว่าง Cell tower และโทรศัพท์มือถือเป็นหลัก

2) Handover (หรือ Handoff) ก่อนที่โทรศัพท์จะเข้าสู่ขั้นตอนการเปลี่ยนพื้นที่การให้บริการเครือข่าย (Location area code: LAC) โทรศัพท์มือถือจะค้นหาช่องสัญญาณ (ARFCN) ที่มีระดับสัญญาณที่ดีที่สุด (Cell reselection parameter: C2) ในการเชื่อมต่อโครงข่าย ซึ่งภายในตัวอุปกรณ์

โทรศัพท์มือถือจะมีเครื่องวัดระดับความแรงของสัญญาณและคำนวณค่าที่ยอมรับได้ในการเลือกช่องสัญญาณเพื่อการเชื่อมต่อข้อมูล ดังแสดงตัวอย่างข้อมูลที่คำนวณได้จากโทรศัพท์ใน Idle mode ในตารางที่ 3.3-2 ซึ่งค่าดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งสถานที่และเวลา

ตารางที่ 3.3-2 ตัวอย่างข้อมูลระดับความแรงของสัญญาณระหว่างโทรศัพท์มือถือและ Cell ใกล้เคียง

Idle Mode	ARFCN	BSIC		Cell ID	Level (dBm)		Tx Max	C1	C2
		NCC	BCC		Rx	RM			
Serving cell	90	3	2	56281	-82	-106	5	25	25
Neighbor1	85	3	2	43698	-81	-106	5	25	25
Neighbor2	21	3	6	43697	-93	-106	5	13	13
Neighbor3	30	3	4	52538	-87	-106	5	19	19
Neighbor4	15	***	***	***	-98	***	***	***	***
Neighbor5	36	3	3	56283	-97	-106	5	9	9
Neighbor6	***	***	***	***	***	***	***	***	***

จากตารางแสดงให้เห็นว่า โทรศัพท์มือถืออยู่ใน Idle mode มี Cell tower อยู่จำนวน 7 Cell และ 6 Cell tower ที่เป็น Neighbor cells โดยที่โทรศัพท์จะเลือก Cell ที่มีคุณภาพสัญญาณดีที่สุด นั่นคือ ความถี่ BCCH ที่ช่องสัญญาณ ARFCN 90 (Serving cell) มีหมายเลขบ่งชี้เฉพาะ Cell ID คือ 56281 มีระดับความแรงในการรับสัญญาณอยู่ที่ -82 dBm และมีค่าระดับความแรงของสัญญาณน้อยที่สุดที่รับได้อยู่ที่ -106 dBm (ตัวเลขที่มีค่าน้อยแสดงถึงคุณภาพของสัญญาณที่ดี) ค่า Path loss C_1 เท่ากับ 25 และค่าพารามิเตอร์ในการเลือก Cell (Re-selection criteria) C_2 เท่ากับ 25 โทรศัพท์มือถือจะเลือก Cell ที่มีค่า C_2 มากที่สุดในการเชื่อมต่อข้อมูลในช่องสัญญาณ CCH และ THCH (Control and traffic channel) ซึ่งค่า C_1 และ C_2 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.3-1 และ 3.3-2 ค่าพารามิเตอร์ C_1 (Path loss criterion) สามารถคำนวณได้จาก

$$C_1 = (A - \text{Max}(B, 0)) \quad \text{—————} \quad (3.3-1)$$

โดยที่

$$A = RX - RM$$

$$B = MS_TXPWR_MAX_CCH - \text{ระดับกำลังส่งสูงสุดของโทรศัพท์มือถือ}$$

Rx คือ ค่าเฉลี่ยของระดับสัญญาณที่โทรศัพท์ได้รับจาก Cell tower

RM คือ ค่าระดับสัญญาณน้อยที่สุดที่โทรศัพท์สามารถเชื่อมต่อข้อมูลกับ Cell tower

$MS_TXPWR_MAX_CCH$ คือ ค่าระดับกำลังส่งสูงสุดที่โทรศัพท์ใช้เพื่อเชื่อมต่อข้อมูลกับ Cell tower ค่าพารามิเตอร์ C_2 สามารถคำนวณได้จาก

$$C_2 = C_1 - F \quad \text{-----} \quad (3.3-2)$$

โดยที่

$$F = CRO - (Temp_Offset \times H)$$

CRO คือค่า Cell reselection offset มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 63 โทรศัพท์จะเลือก Cell tower ที่มีค่า CRO มากในการเชื่อมต่อข้อมูล

3) Hysteresis (CRH) Cell reselection hysteresis เมื่อโทรศัพท์มือถือเลือก Cell tower ใหม่เพื่อเชื่อมต่อข้อมูล ในขั้นตอนนี้โทรศัพท์ไม่ต้องส่งข้อมูลไปแจ้งเครือข่าย ยกเว้นในกรณีการเปลี่ยนพื้นที่การให้บริการเท่านั้น (Location area code: LAC) ซึ่งภายใน LAC 1 พื้นที่ จะประกอบไปด้วยกลุ่มของ Cell tower (CI) จำนวนหลาย Cell ให้บริการอยู่ และเมื่อโทรศัพท์เปลี่ยนตำแหน่งไปในพื้นที่บริการ (LAC) ใหม่ จะเกิดขึ้นตอนการอัปเดตตำแหน่งของโทรศัพท์ (Handover location update) ในตำแหน่งที่โทรศัพท์อยู่ระหว่าง LAC สองพื้นที่ ก็จะแสดง List LAC ของทั้ง 2 พื้นที่ ซึ่งจะทำให้โทรศัพท์เชื่อมต่อทั้ง 2 พื้นที่สลับไปสลับมา ทำให้โทรศัพท์จะต้องเสียพลังงานแบตเตอรี่ภายในตัวและทำให้เกิดจำนวนครั้งของข้อมูลในการเครือข่ายมาก เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ในระบบ GSM จึงได้มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ CRH เพื่อกำหนดค่าระดับความแรงของสัญญาณที่จะอนุญาตให้โทรศัพท์มือถือเลือกพื้นที่การให้บริการ (LAC) ยกตัวอย่างเช่น การตั้งค่า CRH ที่ระดับความแรงของสัญญาณมากกว่า 9 dBm ซึ่งหมายความว่า โทรศัพท์มือถือต้องอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กับพื้นที่บริการ LAC อันหนึ่งที่มีระดับความแรงของสัญญาณมากกว่า 9 dBm ที่จะทำให้เกิดขั้นตอนการเปลี่ยนถ่ายพื้นที่การให้บริการ (Handover) ได้

3.3.4 การทดสอบความเร็วในการอ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

ในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการทดสอบหาค่าความเร็วของอุปกรณ์การอ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือ (M-Sense) ในห้องปฏิบัติการ เพื่อนำผลที่ได้ไปออกแบบกำลังส่งและระยะรัศมีการอ่านสัญญาณของเสาอากาศสำหรับการติดตั้งในภาคสนามจริง ในการทดลองในออกแบบให้เก็บค่าระยะเวลาที่อุปกรณ์สามารถอ่านค่า Mobile ID ของโทรศัพท์มือถือได้ โดยการควบคุมสถานะแวดล้อมภายในห้องปฏิบัติการและออกแบบเสาอากาศที่รับส่งสัญญาณได้ในระยะควบคุมเพื่อใช้ในการทดลอง นอกจากนี้ การทดลองยังพิจารณาถึงค่าความแปรผันจากการอ่านสัญญาณจากโทรศัพท์มือถือ ยี่ห้อและรุ่นต่างๆ จำนวน 5 เครื่อง โดยใช้โทรศัพท์มือถือรุ่นเก่า จำนวน 4 เครื่อง และใช้โทรศัพท์รุ่นใหม่จำนวน 1 เครื่อง (Nokia E5-00 ปี 2010) ซึ่งตามสมมติฐานขั้นต้นว่า โทรศัพท์มือถือรุ่นเก่าอาจมีระบบการประมวลผลสัญญาณและค่าความไวในการรับส่งสัญญาณน้อยกว่าโทรศัพท์รุ่นใหม่ ดังแสดงรายการของโทรศัพท์มือถือที่นำมาใช้ทดสอบในตารางที่ 3.3-3

ตารางที่ 3.3-3 โทรศัพท์มือถือที่นำมาใช้ในการทดสอบ

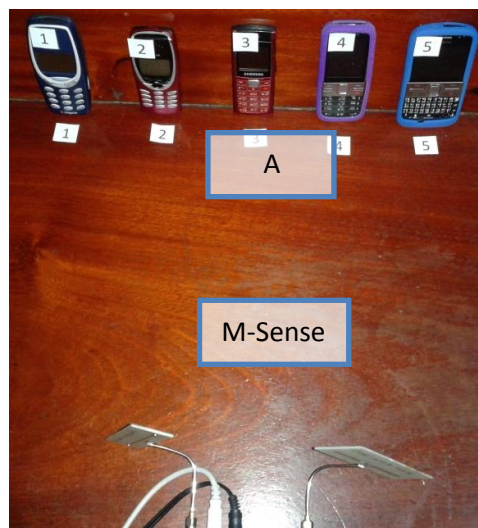
Test set	Brand	Model
1	Nokia	3310
2	Nokia	8210
3	Samsung	SGH-C170
4	Nokia	C5-00
5	Nokia	E5-00

จากนั้นเตรียมการทดสอบค่าความเร็วของอุปกรณ์ในการตรวจจับสัญญาณโทรศัพท์มือถือตามขั้นตอนดังนี้

1) กำหนดระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณโทรศัพท์ (M-Sense) และเครื่องโทรศัพท์มือถือเป็นระยะระยะ 1 เมตร และกำหนดตำแหน่งโทรศัพท์มือถือตามหมายเลขในจุดอ้างอิง (จุด A) ดังแสดงในรูปที่ 3.19

2) หาดำแหน่งที่โทรศัพท์มือถือไม่สามารถส่งสัญญาณมายังอุปกรณ์ได้ ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ระยะ 50 เมตร และกำหนดให้ตำแหน่งนี้เป็นจุด B

3) ทำการย้ายโทรศัพท์มือถือทุกเครื่อง จากจุด A ไป B และจาก B มายัง A เป็นจำนวน 30 ครั้ง และเก็บข้อมูลเวลาที่สามารถตรวจจับข้อมูลสัญญาณจำเพาะ (Mobile ID) ของโทรศัพท์มือถือได้เป็นครั้งแรก



รูปที่ 3.3-4 แสดงตำแหน่งการทดสอบการตรวจจับสัญญาณระหว่างอุปกรณ์และโทรศัพท์มือถือ

ผลการทดสอบความเร็วในการตรวจจับสัญญาณข้อมูลจำเพาะ (Mobile ID) ของโทรศัพท์มือถือ แสดงในตารางที่ 3.3-4

ตารางที่ 3.3-4 ผลการทดสอบความเร็วในการตรวจจับสัญญาณโทรศัพท์

ครั้งที่	ระยะเวลาในการตรวจจับ (หน่วย: วินาที)				
	1 (3310)	2 (8210)	3 (SGH-C170)	4 (C5-00)	5 (E5-00)
1	5	6	8	7	10
2	2	4	8	13	5
3	3	15	10	12	6
4	10	12	6	8	12
5	5	13	10	7	10
6	4	8	9	11	12
7	6	4	8	4	5
8	11	12	8	5	6
9	8	9	5	4	10
10	12	8	13	7	6
11	6	5	5	8	8
12	4	8	4	6	5
13	3	9	6	5	11
14	8	6	11	8	8
15	5	8	5	9	9
16	11	5	6	12	11
17	8	10	4	13	7
18	3	4	7	10	8
19	8	5	12	11	5
20	12	5	8	12	5
21	7	11	5	13	6
22	6	5	9	8	4
23	5	5	8	4	5
24	6	4	9	8	5
25	5	8	10	6	9

ตารางที่ 3.3-4 ผลการทดสอบความเร็วในการตรวจจับสัญญาณโทรศัพท์ (ต่อ)

ครั้งที่	ระยะเวลาในการตรวจจับ (หน่วย: วินาที)				
	1 (3310)	2 (8210)	3 (SGH-C170)	4 (C5-00)	5 (E5-00)
26	4	6	7	8	5
27	5	8	5	9	11
28	8	8	12	5	6
29	4	6	4	11	7
30	6	9	4	6	12
เฉลี่ย	6.3	7.5	7.5	8.3	7.6
เวลาสูงสุด	12	15	13	13	12

จากผลการทดสอบพบว่า ระยะเวลาที่อุปกรณ์ใช้ในการตรวจจับข้อมูลสัญญาณโทรศัพท์มือถือ โดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6-8 วินาที และระยะเวลาสูงสุดที่อ่านสัญญาณได้ ประมาณ 15 วินาที โดยเป็นเวลาที่อุปกรณ์อ่านข้อมูลสัญญาณได้ครั้งแรก เมื่อโทรศัพท์มือถือเคลื่อนที่จากตำแหน่ง B มายังตำแหน่ง A นอกจากนี้ ผลการทดลองยังพบว่า ความเร็วในการประมวลผลสัญญาณและค่าความไวในการรับส่งสัญญาณระหว่างโทรศัพท์รุ่นเก่า และโทรศัพท์รุ่นใหม่ (Smart phone) มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้อาจเนื่องจากว่าความแตกต่างระหว่างโทรศัพท์มือถือรุ่นเก่าและรุ่นใหม่ จะเน้นในด้านระบบการประมวลผลข้อมูลเพื่อรองรับการใช้งานแอปพลิเคชันและมัลติมีเดียบนโทรศัพท์มือถือ โดยที่การพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลของโทรศัพท์มือถือในระบบ Cellular ได้เริ่มต้นพัฒนามา 50 ปีแล้ว

จากผลการทดลองที่ได้เมื่อนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมี (ระยะทาง) การตรวจจับข้อมูลสัญญาณของอุปกรณ์กับความเร็วของยานพาหนะที่วิ่งบนทางพิเศษ โดยใช้ค่าการออกแบบ Worst case scenario นั่นคือ ระยะเวลาสูงสุดที่อุปกรณ์จะสามารถตรวจจับสัญญาณ Mobile ID ของโทรศัพท์ได้เป็นครั้งแรก เท่ากับ 15 วินาที ดังนี้

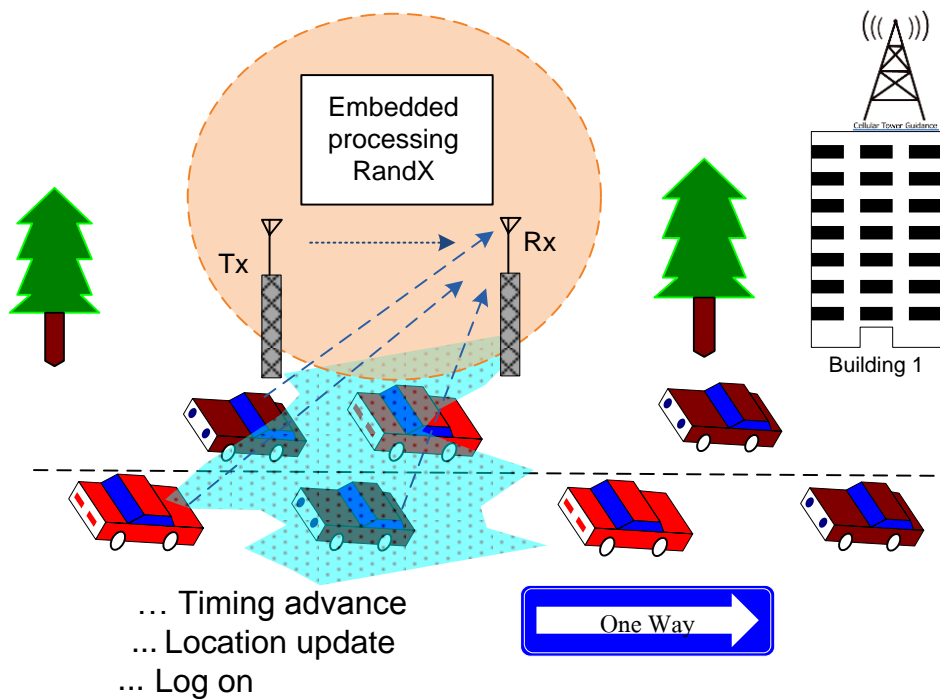
- ถ้ายานพาหนะวิ่งด้วยความเร็ว 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (kph) หรือ 80000 m/3600s หรือ 22 m/s ระยะเวลาการตรวจจับข้อมูล 15 วินาที จะต้องออกแบบเสาอากาศให้ครอบคลุมระยะทาง 330 เมตร
- ถ้ายานพาหนะวิ่งด้วยความเร็ว 100kph หรือ 27m/s จะต้องใช้รัศมีการอ่าน ~450 เมตร
- ถ้ายานพาหนะวิ่งด้วยความเร็ว 120kph (Speed limit) จะต้องใช้รัศมีการอ่าน ~500 เมตร

อย่างไรก็ตาม การทดสอบในภาคสนามเบื้องต้น ความเร็วของยานพาหนะที่วิ่งเข้ามาในรัศมีการตรวจจับข้อมูล Mobile ID ส่งผลในเชิงบวกต่อประสิทธิภาพและความเร็วในการอ่านสัญญาณได้มากขึ้น เนื่องจากระบบเครือข่าย GSM มีกลไกที่จะช่วยเร่งให้โทรศัพท์มือถือส่งสัญญาณการอัปเดตตำแหน่งของโทรศัพท์ในช่องสัญญาณ Control channel (CCH)

3.4 การพัฒนาอุปกรณ์อ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

สัญญาณที่มีการส่งออกจากโทรศัพท์มือถือที่มีรูปแบบการส่งสัญญาณอยู่ในเงื่อนไข การเปิดเครื่องโทรศัพท์ การเปลี่ยนสถานีฐาน (Cell tower) การโทรออก การระบุตัวตนในช่วงเวลาหนึ่งจาก Cell tower ซึ่งลักษณะสัญญาณที่ออกมาเมื่อประกอบประกอบด้วย ค่าตำแหน่งความถี่สัญญาณ ช่วงเวลาสัญญาณที่ส่งออก ซึ่งระบบในโครงการนี้เลือกใช้วิธีการอ่านสัญญาณโทรศัพท์ในแบบ Semi-passive system โดยอาศัยขั้นตอนการอัปเดตข้อมูลตำแหน่งของโทรศัพท์ (Timed and handover location update) ระหว่างโทรศัพท์มือถือกับ Cell tower รวมทั้งการประยุกต์ใช้ค่า Timing advance (TA) ที่ใช้ในระบบโครงข่าย GSM เพื่อตรวจนับข้อมูลสัญญาณเฉพาะของโทรศัพท์ที่อยู่ในบริเวณจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

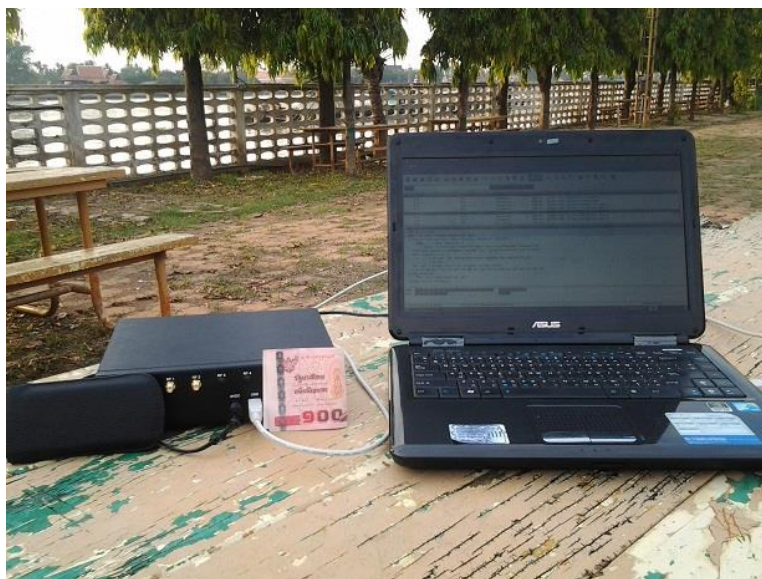
เทคนิคการอ่านข้อมูลสัญญาณโทรศัพท์ (Mobile ID) จะแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรกอาศัยการใช้อุปกรณ์รับสัญญาณ (สายอากาศ) ที่ปรับระดับ Threshold ด้วยวงจรตรวจแยกระดับสัญญาณ (Level classified detector) ที่ออกแบบมาเฉพาะช่วงความถี่โทรศัพท์มือถือ เนื่องจากระดับสัญญาณคลื่นความถี่มือถือในสภาพแวดล้อมมีสัญญาณรบกวนสูงและความแตกต่างทางช่องความถี่ของสัญญาณโทรศัพท์ต่อช่องเพียง 200 kHz สัญญาณโทรศัพท์ที่รับได้ถูกนำไปประมวลผลตามระบบ Semi-passive หรือระบบ Selective RF transmission รูปที่ 3.4-1 แสดงการออกแบบระบบอ่านสัญญาณมือถือ



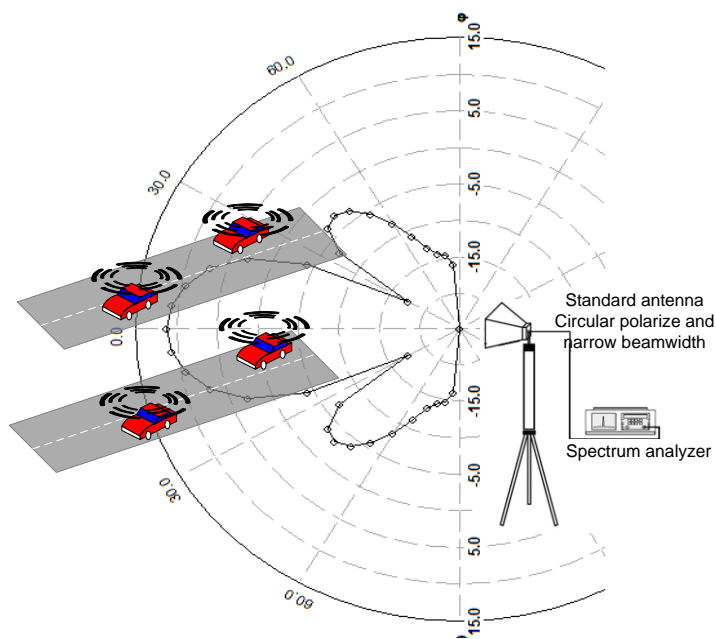
รูปที่ 3.4-1 ระบบการอ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

สำหรับส่วนที่สองเป็นส่วนของการจัดทำอุปกรณ์สำหรับส่งสัญญาณชุดข้อมูลของสถานีฐานจำลองและรับข้อมูลการอัปเดตตำแหน่งของโทรศัพท์ โดยต่อร่วมกับสายอากาศที่ออกแบบขึ้นเป็นพิเศษเพื่อส่งคลื่นความถี่ไปในพื้นที่เฉพาะและมีขอบเขตสนามคลื่นความถี่แคบโดยลักษณะของชุดข้อมูลจากสถานีฐานจำลอง (RF based station) จะอาศัยตัวประมวลผลจัดการทางโปรแกรม (Embedded processing unit) สำหรับส่ง

ข้อมูลไปยังเครื่องโทรศัพท์มือถือ รูปที่ 3.4-2 แสดงการทดสอบอุปกรณ์สำหรับส่งสัญญาณข้อมูลของสถานี RF based station



รูปที่ 3.4-2 อุปกรณ์สำหรับส่งข้อมูลจาก RF based station



รูปที่ 3.4-3 ไดอะแกรมการทดสอบการอ่านสัญญาณคลื่นความถี่

ในการทดสอบการอ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือ ในขั้นต้นได้ทำการทดสอบดังไดอะแกรมในรูปที่ 3.4-3 โดยมีองค์ประกอบหลักประกอบด้วยสายอากาศมาตรฐานและเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมสัญญาณ (Spectrum analyzer) โดยลักษณะการทดสอบเป็นการวางตำแหน่งสายอากาศห่างจากโทรศัพท์มือถือภายในระยะ 5 ถึง 25 เมตรและบันทึกค่าระดับสเปกตรัมความถี่สัญญาณแต่ละเครื่อง ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.4-4 แสดงระดับสเปกตรัมสัญญาณโทรศัพท์ในช่วงความถี่ 890.2 MHz – 915 MHz โดยในการอ่านสัญญาณนี้เพื่อ

สำรวจระดับกำลังสัญญาณที่ส่งออกมาจากโทรศัพท์มือถือ เพื่อประมาณพารามิเตอร์การออกแบบสายอากาศ และความไวของระดับการรับสัญญาณ

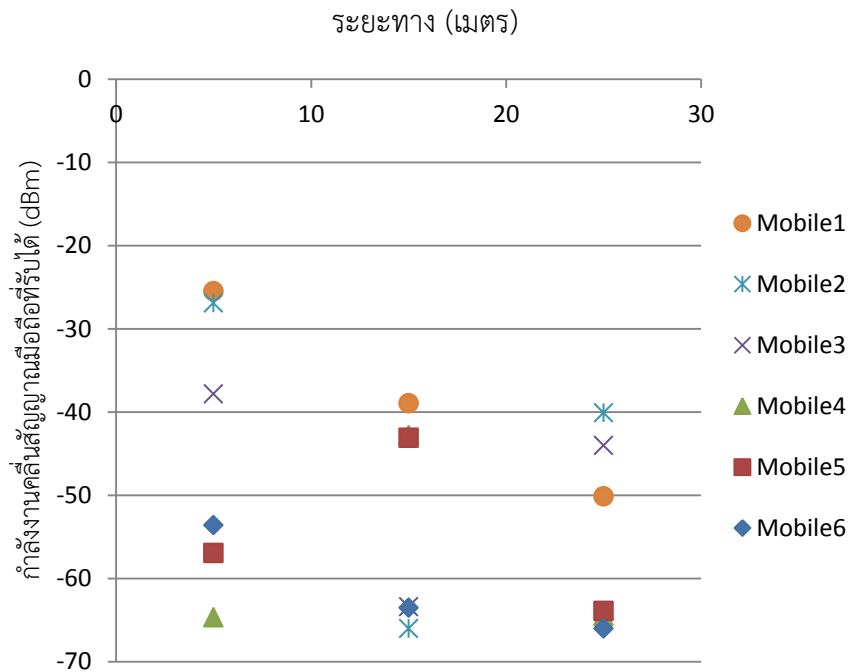


(ก) การทดสอบการอ่านค่าสเปกตรัมสัญญาณ



(ข) ผลการวัดสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

รูปที่ 3.4-4 การทดสอบการอ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือ



รูปที่ 3.4-5 ค่าระดับความแรงสัญญาณโทรศัพท์ที่ระยะห่างแตกต่างกัน

รูปที่ 3.4-5 แสดงผลระดับสัญญาณที่ตรวจวัดได้ระยะใกล้มีระดับกำลังสัญญาณในระยะ 5 เมตรตั้งแต่ประมาณ -25dBm ถึง -65dBm ทั้งนี้ระดับกำลังของสัญญาณอาจจะมีแปรผันกับเครื่องโทรศัพท์มือถือแต่ละบริษัท ดังนั้น การออกแบบส่วนของการอ่านสัญญาณจะต้องมีความไวในการรับไม่น้อยกว่า -70dBm เพื่อให้อุปกรณ์สามารถรับส่งข้อมูลสัญญาณโทรศัพท์มือถือแต่ละเครื่องได้

บทที่ 4

การพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ

- ❖ การตรวจสอบความแรงสัญญาณ
- ❖ การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์อ่านสัญญาณ
- ❖ การตั้งค่าโปรแกรมระบบ
- ❖ การเชื่อมต่อระบบข้อมูลกับคอมพิวเตอร์แม่ข่าย

4.1 การตรวจสอบความแรงของสัญญาณและแบบติดตั้งอุปกรณ์

4.1.1 การตรวจสอบความแรงสัญญาณโทรศัพท์ในสภาพแวดล้อม

จากการกำหนดบริเวณจุดติดตั้งอุปกรณ์อ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือ ขั้นตอนที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือการตรวจสอบระดับความแรงของสัญญาณคลื่นความถี่ระหว่างโทรศัพท์มือถือและ Cell tower บริเวณใกล้เคียง โดยมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญ 2 ข้อ คือ

1) การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณต้องไม่ไปรบกวน Cell tower ของผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์บริเวณใกล้เคียง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การรบกวนกับช่องสัญญาณที่ Cell tower ใช้เชื่อมต่อข้อมูลกับโทรศัพท์ (Serving cell) ในบริเวณสถานที่ติดตั้งอุปกรณ์อ่านสัญญาณ และ

2) การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณโดยการรับส่งข้อมูลในช่องสัญญาณที่สามารถใช้ตรวจจับข้อมูลลักษณะจำเพาะของโทรศัพท์มือถือ (Mobile identity) จากยานพาหนะที่วิ่งผ่านสถานี อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

จากการสำรวจระดับความแรงของสัญญาณโทรศัพท์ก่อนการติดตั้งอุปกรณ์ในบริเวณสถานีตรวจจับสัญญาณบริเวณประตูทางเข้าออกมหาวิทยาลัยบูรพา ได้ผลการสำรวจดังนี้ ช่องสัญญาณและระดับความแรงของสัญญาณโทรศัพท์บริเวณประตูด้านหน้าของมหาวิทยาลัยบูรพา ดังแสดงในตารางที่ 4.1-1

ตารางที่ 4.1-1 ระดับความแรงของสัญญาณโทรศัพท์บริเวณประตูด้านหน้า

900 MHz			จดบันทึกครั้งที่														
			1			2			3			4			5		
LAC	AFN	CI	C1	dB	C2	C1	dB	C2	C1	dB	C2	C1	dB	C2	C1	dB	C2
42040	46	914	50	-56	50	40	-66	40	49	-46	59	38	-68	38	29	-77	29
46019	742	1550	-99	-60	-99	-99	-63	-99	-99	-42	-99	-99	-52	-99	-99	-73	-99
42040	60	913	30	-76	30	23	-83	23	15	-91	15	32	-74	32	17	-89	17
42040	55	889	24	-85	24	46	-60	46	64	-42	64	44	-62	44	38	-68	38
42040	44	890	25	-81	25	29	-77	29	46	-60	46	34	-72	34	31	-75	31
	68		-99	-84	-99	-99	-89	-99	-99	-79	-99	-99	-85	-99	-99	-88	-99
	85		-99	-77	-99	-99	-79	-99	-99	-92	-99						
	41		-99	-85	-99	18	-88	18	-99	-78	-99	-99	-87	-99	-99	-92	-99
	40		16	-90	16												
42040	46	914	28	-78	28	37	-69	37	28	-78	28	34	-72	34			
42040	728	1549	-99	-91	-99	-99	-77	-99	-99	-85	-99	-99	-76	-99			
	43		12	-94	12	17	-79	17									
	44		33	-73	33	31	-75	31	27	-79	27	24	-82	24			
1800 MHz			จดบันทึกครั้งที่														
			1			2			3			4			5		
LAC	AFN	CI	C1	dB	C2	C1	dB	C2	C1	dB	C2	C1	dB	C2	C1	dB	C2
14003	648	441	70	-41	70	68	-43	68	67	-44	67	63	-48	63	61	-50	61
14003	629	4408	53	-58	53	51	-60	51	47	-64	47	42	-69	42	44	-68	44
14003	632	4410	-99	-64	-99	-99	-65	-99	-99	-69	-99	-99	-68	-99	-99	-61	-99
14003	641	442	44	-67	44	48	-63	48	50	-61	50	56	-52	56	48	-63	48
	637		40	-71	40	39	-72	39	-99	-81	-99	-99	-76	-99			
14003	636	4357	-99	-71	-99	-99	-72	-99	-94	-66	-94	-99	-62	-99			
14003	639	4409	33	-78	33	-99	-70	-99	36	-75	36	-99	-72	-99	-99	-76	-99
14103	633	1704	-99	-79	-99	-37	-74	-37									
14003	630	871	44	-67	44	44	-67	44	35	-76	35	38	-73	38	39	-72	39

จากตาราง ความถี่ของช่องสัญญาณของผู้ให้บริการในระบบเครือข่าย GSM ในประเทศไทย อาศัยย่านความถี่ 900/ 1800 MHz เป็นพื้นฐาน รวมทั้งย่านความถี่ 850 MHz ซึ่งขยาย Bandwidth ขึ้นมา ในช่องสัญญาณระหว่าง 850 – 900 MHz ยังมีจำนวนของช่องสัญญาณที่จำกัดและให้บริการการรับส่งข้อมูล (Data หรือ None-voice) เพียงอย่างเดียว ส่วนการรับส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ Control channel (CCH) และข้อมูลเสียง (Voice) ในช่องสัญญาณ Traffic channel (TCH) ยังอาศัยย่านความถี่ 900/1800 MHz เช่นเดิม

ข้อมูลในตาราง LAC (Location area code) เป็นหมายเลขชี้เฉพาะสำหรับพื้นที่การให้บริการ ARFCN (AFN) เป็นหมายเลขช่องสัญญาณที่โทรศัพท์ใช้ในการสื่อสารกับ Cell tower ค่า C₁ และ C₂ เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการเลือก Cell เชื่อมต่อสื่อสาร และค่า dB เป็นระดับความแรงของสัญญาณระหว่างโทรศัพท์และ Cell tower โดยโทรศัพท์มือถือจะเลือกช่องสัญญาณ (AFN) ที่มีระดับความแรงของสัญญาณมากที่สุด (dBm) ในการเชื่อมต่อเครือข่าย (Serving cell)

ช่องสัญญาณและระดับความแรงของสัญญาณโทรศัพท์บริเวณประตูด้านหลังมหาวิทยาลัย ดังแสดงในตารางที่ 4.1-2

ตารางที่ 4.1-2 ระดับความแรงของสัญญาณโทรศัพท์บริเวณประตูด้านหลัง

900 MHz			จุดบันทึกครั้งที่														
			1			2			3			4			5		
LAC	AFN	CI	C1	dB	C2	C1	dB	C2	C1	dB	C2	C1	dB	C2	C1	dB	C2
32040	43	542	39	-67	39	36	-69	36	39	-72	39	33	-73	33	29	-77	29
32040	49	755	17	-89	17	13	-63	13	23	-83	23	19	-87	19	23	-83	23
19019	761	1370	-99	-73	-99	-99	-74	-99	-99	-67	-99	-99	-80	-99	-99	-64	-99
19019	753		-99	-81	-99	-99	-83	-99	99	-81	99	-99	-85	-99	-99	-84	-99
19019	763	1371	-99	-92	-99												
32040	39	543	4	-102	4	21	-85	21	15	-91	15	19	-80	19			
32040	55	541	18	-90	18	37	-69	37	21	-85	21	15	-89	15			
32040	51	861	13	-93	13	21	-85	21	14	-93	14						
32040	54	553	25	-82	25	25	-81	25	19	-90	19						
32040	44	697	5	-101	5	17	-89	17									
32040	46	598	17	-88	17	13	-93	13									
32040	92	1065	22	-84	22	16	-90	16									
1800 MHz			จุดบันทึกครั้งที่														
			1			2			3			4			5		
LAC	AFN	CI	C1	dB	C2	C1	dB	C2	C1	dB	C2	C1	dB	C2	C1	dB	C2
14106	594	1073	50	-52	50	52	-59	52	50	-61	50	46	-65	46	44	-68	44
14106	579	1071	-46	-65	-46	-51	-60	-51	-52	-59	-52	-50	-61	-50	-42	-69	-42
14106	631	4188	48	-63	48	55	-56	55	58	-56	58	44	-67	44	40	-71	40
14106	610	3483	45	-66	45	54	-57	54	47	-46	47	39	-72	39	39	-72	39
14106	648		-99	-68	-99	-99	-76	-99	-99	-70	-99	-99	-71	-99			
14106	581		-99	-75	-99	-99	-74	-99	-37	-74	-37	-40	-71	-40	-35	-76	-35
14106	602		36	-74	36												
14106	606		-99	-77	-99	-99	-74	-99	-35	-76	-35	-34	-77	-34			
14106	592		38	-73	38	99	-75	99	32	-79	32						
14106	584		37	-74	37	36	-75	36									
14106	640		35	-76	35	37	-74	37	39	-72	39						
14106	645		35	-76	35												
14106	596		34	-77	36												

ช่องสัญญาณและระดับความแรงของสัญญาณโทรศัพท์บริเวณประตูด้านซ้าย (ซอยสดใส) ดังแสดงในตารางที่ 4.1-3

ตารางที่ 4.1-3 ระดับความแรงของสัญญาณโทรศัพท์บริเวณประตูด้านซ้าย

900 MHz			จดบันทึกครั้งที่														
			1			2			3			4			5		
LAC	AFN	CI	C1	dB	C2	C1	dB	C2	C1	dB	C2	C1	dB	C2	C1	dB	C2
17010	48	882	39	-67	39	37	-68	37	37	-69	37	32	-70	32	20	-74	20
17019	748	1650	-99	-58	-99	-99	-60	-99	-99	-61	-99	-99	-62	-99	-99	-63	-99
17010	91	1051	30	-76	30	23	-77	23	29	-77	29	25	-81	25	18	-88	18
17019	707	1659	-99	-80	-99	-99	-85	-99	-99	-84	-99	-99	-76	-99			
17010	42	1049	-30	-76	-30	27	-79	27	16	-90	16	22	-85	22	18	-88	18
	40		27	-79	27												
17010	84	519	26	-80	26												
	82		-99	-79	-99												
	78		-99	-89	-99												
17019	733	1657	-99	-93	-99	-99	-87	-99	-99	-89	-99	-99	-92	-99			
17010	38	881	27	-75	27	27	-79	27	15	-91	15	14	-92	14			
	763		-99	-95	-99	-99	-93	-99									
17019	737	1649	-99	-90	-99	-99	-83	-99	-99	-76	-99	-99	-78	-99			
1800			จดบันทึกครั้งที่														
			1			2			3			4			5		
LAC	AFN	CI	C1	dB	C2	C1	dB	C2	C1	dB	C2	C1	dB	C2	C1	dB	C2
14205	647	3341	64	-47	64	63	-48	63	58	-52	58	59	-52	59	59	-54	59
14207	628	620	50	-61	50	49	-62	49	48	-63	48	47	-64	47	43	-68	43
14205	634	171	27	-84	27	28	-83	28	33	-78	33	34	-77	34			
14205	640	3343	60	-51	60	59	-52	59	57	-54	57	52	-59	52	46	-67	46
14207	636	624	27	-84	27	28	-83	28	39	-72	39	40	-71	40			
14205	635	3342	41	-70	41	37	-74	37	36	-75	36	33	-78	33	31	-80	31
14205	631	925	35	-76	35	41	-70	41	39	-72	39						
14207	643	2923	35	-76	35	38	-73	38	34	-77	34	35	-76	35			
14205	638	1564	34	-77	34	36	-75	36	31	-80	31	43	-68	43			

ช่องสัญญาณและระดับความแรงของสัญญาณโทรศัพท์บริเวณประตูด้านขวา (โรงเรียนสาธิต) ดังแสดงในตารางที่ 4.1-4

ตารางที่ 4.1-4 ระดับความแรงของสัญญาณโทรศัพท์บริเวณประตูด้านขวา

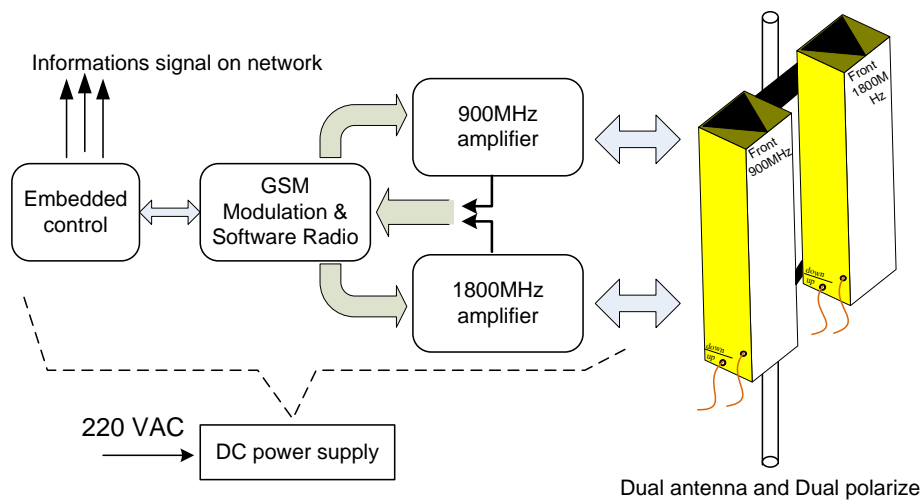
900 MHz			จดบันทึกครั้งที่														
			1			2			3			4			5		
LAC	AFN	CI	C1	dB	C2	C1	dB	C2	C1	dB	C2	C1	dB	C2	C1	dB	C2
32040	53	775	51	-55	51	50	-56	50	49	-57	49	45	-61	45	44	-62	44
32040	40	1057	31	-75	31	30	-76	30	36	-74	36						
32040	39	621	31	-75	31	26	-80	26	25	-81	25	34	-72	34			
32040	44	778	27	-78	27												
32040	47	616	29	-77	29	30	-76	30									
3010	84	1045	25	-81	25	32	-74	30									
32040	52	1213	30	-76	30												
32040	78		33	-77	33												
1800 MHz			จดบันทึกครั้งที่														
			1			2			3			4			5		
LAC	AFN	CI	C1	dB	C2	C1	dB	C2	C1	dB	C2	C1	dB	C2	C1	dB	C2
14107	578	3907	60	-45	60	64	-47	64	61	-48	61	62	-49	62	50	-52	50
14107	595	3906	30	-81	30	47	-64	47									
14107	582	4335	43	-68	43	42	-69	42	41	-70	41	40	-71	40	39	-72	39
14107	587	4336	30	-80	31	30	-81	70									
	593		30	-81	30	29	-82	29	33	-78	33	30	-79	32	99	-81	99
14107	595	3906	27	-84	27	43	-68	43									
	584		99	-82	99												
14107	597	14107	30	-21	30												
14107	589	2492	30	-81	30	32	-79	32	29	-82	29						
14107	591	3908	28	-85	28	47	-70	47	44	-67	44	43	-68	43	42	-69	42
14109	585	2422	24	-84	24												
	584		28	-83	28												
19019	720	1563	99	-50	99	99	-63	99									
19019	759	1214	99	-86	99												
	737		99	-79	99												

สังเกตด้วยว่า การเก็บข้อมูลความแรงของสัญญาณโทรศัพท์ทั้ง 4 แห่ง ณ แต่ละสถานีจะเก็บข้อมูลความแรงของสัญญาณในแต่ละจุด 3-5 จุดภายในระยะ 100 - 300 เมตรภายในบริเวณสถานี RF based station เพื่อวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลงของระดับความแรงของสัญญาณต่อระยะทางและสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน

4.1.2 แนวคิดในการออกแบบการติดตั้งอุปกรณ์

เพื่อความสะดวกในการติดตั้งและความเป็นมาตรฐาน ของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ โทรศัพท์มือถือ ชุดการติดตั้งจึงถูกออกแบบให้มีลักษณะเดียวกัน (Typical set) สำหรับทุกๆสถานี ซึ่งอุปกรณ์แต่ละชุดจะมีความแตกต่างกันตรงที่ลักษณะการอ่านคลื่นของเสาอากาศ มุมการอ่านสัญญาณ และกำลังรับส่งสัญญาณ ตามสถานที่ที่มีสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน

จากแนวคิดในการออกแบบการติดตั้งอุปกรณ์ตามบริเวณสถานที่ทั้ง 4 แห่งดังกล่าว จะมีรายละเอียดของส่วนประกอบของอุปกรณ์ การเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าและการสื่อสารข้อมูล โดยแบ่งออกเป็น 6 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 4.1-1



รูปที่ 4.1-1 ส่วนประกอบของระบบอ่านสัญญาณโทรศัพท์

ภายในอุปกรณ์มีส่วนของแหล่งจ่ายไฟป้อนเข้าขนาด 220 โวลต์ ส่วนของจุดเชื่อมต่อสายอากาศจำนวน 4 จุดประกอบด้วยจุดต่อ Uplink 900/1800 MHz และ Downlink 900 /1800 MHz ซึ่งต่อเข้ากับส่วนภาคขยายสัญญาณ (Power amplifier) ส่วนจุดต่อภายนอกส่วนสุดท้ายคือสายเชื่อมต่อข้อมูลสำหรับส่งเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย

4.2 การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์อ่านสัญญาณ

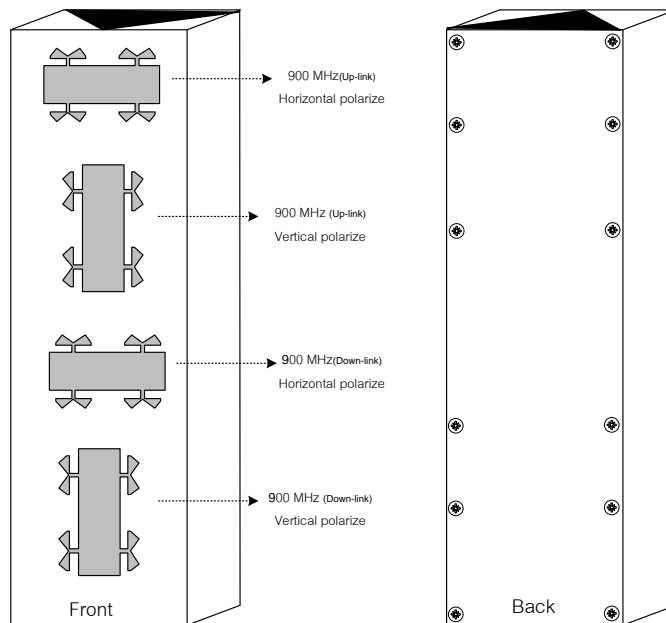
การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์อ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือ (Mobile ID) ในแต่ละสถานีจะมีสัญญาณ (Tx) ที่ส่งไปยังโทรศัพท์และสัญญาณที่ส่งออกจากโทรศัพท์ (Rx) ภายใต้เงื่อนไขว่า โทรศัพท์วางอยู่ในตำแหน่งภายในยานพาหนะ (Idle mode) ขณะเคลื่อนที่ ซึ่งแต่ละตำแหน่งติดตั้งทั้ง 4 แห่ง มีรูปแบบสภาพแวดล้อมที่ไม่ต่างกันมากนักในเชิงพื้นที่ อาทิเช่น ในด้านการรับส่งสัญญาณโทรศัพท์มือถือจะมีลักษณะในแนวสายตา (Line of sight) รูปแบบคลื่นที่ส่งออกจากสายอากาศจึงมีลักษณะเป็นแบบทิศทาง (Directional antenna) อีกด้านหนึ่งลักษณะสัญญาณที่แผ่ออกมาจากโทรศัพท์ที่อยู่ภายในยานพาหนะจะมีรูปแบบขั้วคลื่น (Polarization) ที่แปรเปลี่ยนไปตามทิศทางการวาง ทั้งในแนวตั้งและแนวนอนมีผลให้เกิดขั้วคลื่นแนวตั้งและแนวนอนอย่างใดอย่างหนึ่งปรากฏออกมา (Vertical and horizontal polarization) ดังนั้น สายอากาศจะต้องรองรับขั้วคลื่นทั้งสองด้านนี้ ซึ่งมีความแตกต่างจากการส่งสัญญาณของ Cell tower ในระบบเครือข่าย GSM ทั่วไป ซึ่งถูกออกแบบให้รับส่งสัญญาณเฉพาะในแนวตั้ง (นั่นคือ เมื่อผู้ใช้ยกโทรศัพท์ขึ้นโทร) รวมทั้ง

การออกแบบเสาอากาศยังต้องครอบคลุมย่านความถี่ GSM 900/1800 MHz ทั้งสองช่วงความถี่ ดังแสดงในตารางที่ 4.2-1

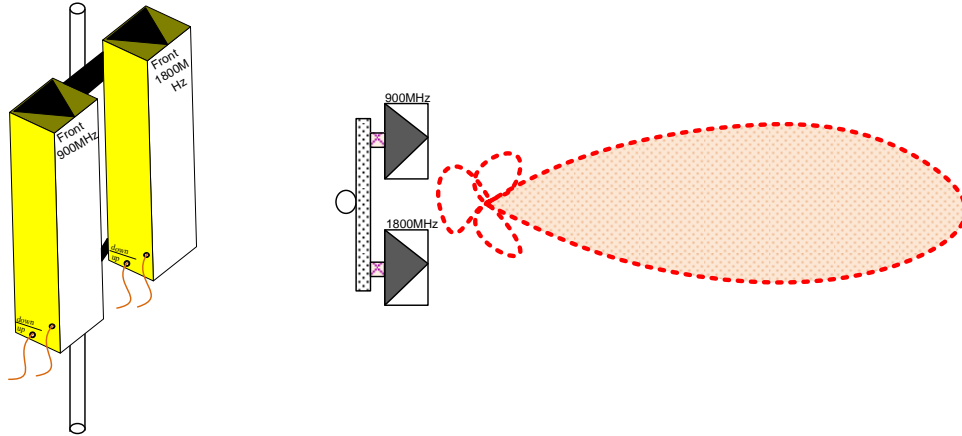
ตารางที่ 4.2-1 คลื่นความถี่สำหรับออกแบบสายอากาศอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณโทรศัพท์

ระบบเครือข่าย	Downlink	Uplink
GSM 900	935 - 960 MHz	890 - 915 MHz
GSM 1800	1805 - 1880 MHz	1710 - 1785 MHz

สำหรับโครงสร้างเสาอากาศสำหรับการติดตั้งแสดงแบบร่างดังรูปที่ 4.2-1 และ 4.2-2 มีส่วนประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนโครงสร้างเสาเหล็กสำหรับยึดติดระหว่างพื้นและสายอากาศ (Tower) ส่วนอุปกรณ์จับยึดสายอากาศและเสา และส่วนของสายอากาศ (Antenna) รูปที่ 4.2-1 แสดงโครงสร้างสายอากาศแบ่งเป็นสายอากาศทำงานในย่านความถี่ 900 MHz และเสาอากาศชุดที่ 2 ทำงานย่านความถี่ 1800 MHz มีลักษณะการจัดวางดังรูปที่ 4.2-2 ซึ่งเมื่อพิจารณามุมมองด้านบนบนลงมา (Top view) จะมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นเป็นลักษณะวงรี

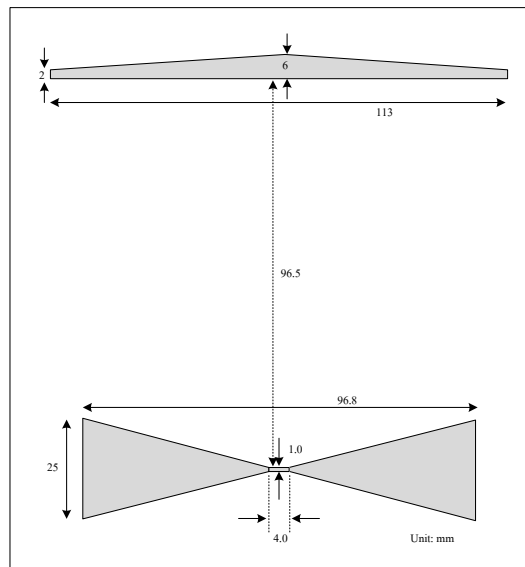


รูปที่ 4.2-1 โครงสร้างสายอากาศที่ใช้อ่านสัญญาณโทรศัพท์

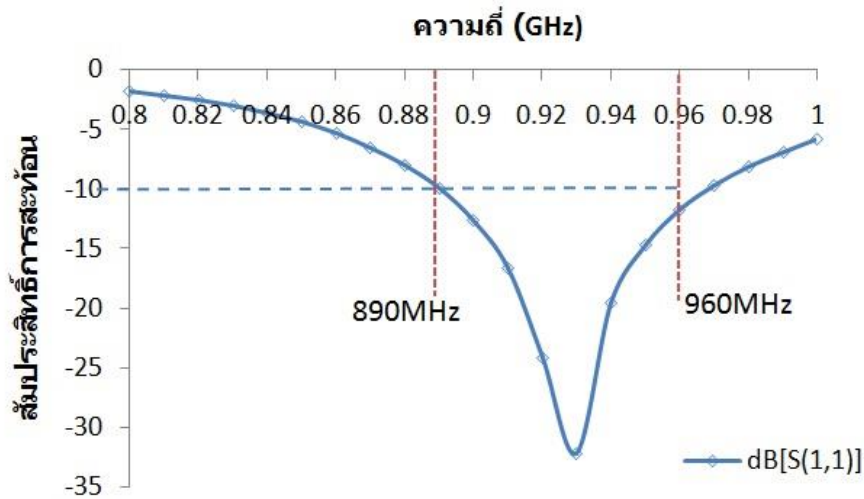


รูปที่ 4.2-2 ลักษณะการติดตั้งสายอากาศและลักษณะการแผ่คลื่นเมื่อมองในแนวตั้ง

ในโครงการนี้ คณะวิจัยได้ออกแบบสายอากาศสำหรับรับส่งข้อมูลระหว่างสถานีตรวจจับสัญญาณ (RF based station) และโทรศัพท์มือถือ ซึ่งถูกออกแบบเป็นสองส่วนประกอบด้วยส่วนเชื่อมต่อจุดป้อนสัญญาณ มีลักษณะโครงสร้างแบบไดโพลแบบลาดเอียงทั้งสองด้านมีความยาวรวม 96.8 มิลลิเมตรและมีความกว้างน้อยสุดถึงสูงสุดที่ 1 และ 25 มิลลิเมตร ตำแหน่งป้อนสัญญาณมีความยาว 4 มิลลิเมตร ด้วยคุณสมบัติการลาดเอียงของไดโพลมีผลให้เกิดการแผ่รังสีในช่วงความถี่กว้าง สำหรับส่วนที่สองเป็นส่วนกำหนดทิศทางของการแผ่กระจายคลื่นโดยมีโครงสร้างแบบแผ่นเส้นตรง ส่วนของความกว้างมีการลาดเอียงจาก 2 มิลลิเมตรถึง 6 มิลลิเมตร มีความยาวรวม 113 มิลลิเมตร และมีระยะห่างจากส่วนที่หนึ่ง 96.5 มิลลิเมตร ในการออกแบบระยะของสายอากาศอาศัยโปรแกรมช่วยคำนวณและมีการปรับแต่งระยะอย่างเหมาะสมซึ่งแสดงการออกแบบดังแสดงในรูปที่ 4.2-3 ตัวอย่างของการออกแบบรายละเอียดของเสาอากาศรับส่งข้อมูลในย่านความถี่ 900 MHz

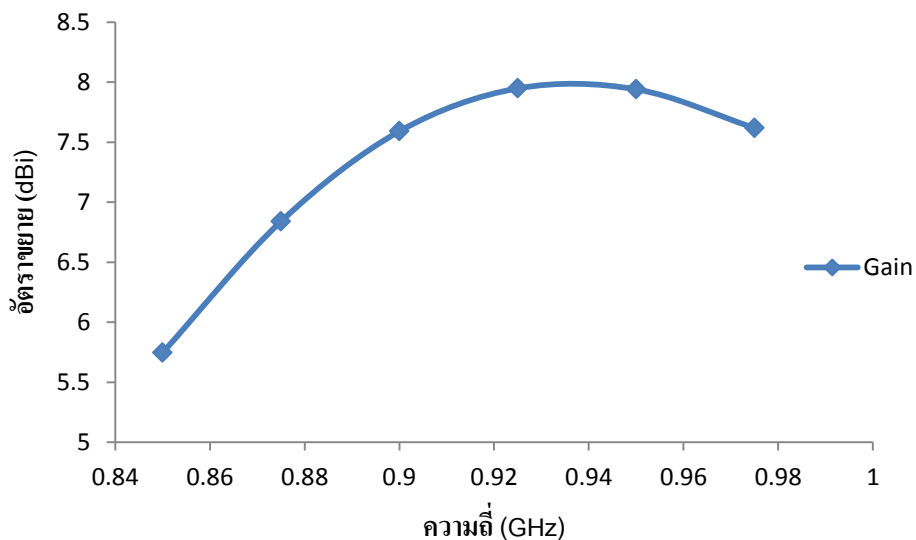


รูปที่ 4.2-3 โครงสร้างสายอากาศในย่าน 900 MHz



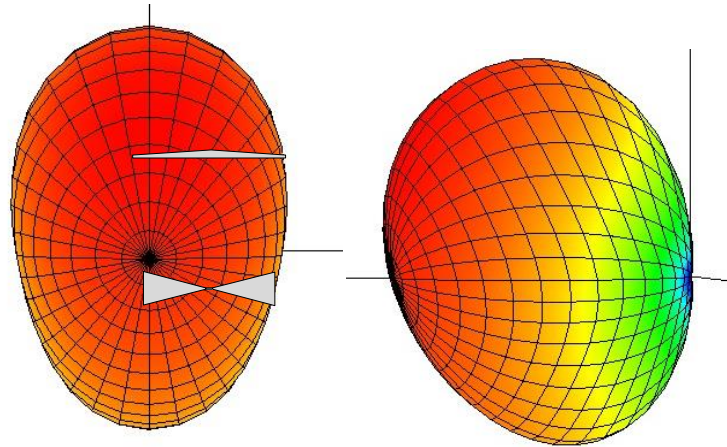
รูปที่ 4.2-4 สัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศที่ออกแบบในย่าน 900 MHz

ในการตรวจสอบผลการทำงานของสายอากาศพารามิเตอร์ สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสดงดังรูปที่ 4.2-4 จะพบว่าในช่วงการตอบสนองความถี่ที่พร้อมใช้งานตั้งแต่ 890-960 MHz ทั้งนี้ในการสร้างมีความจำเป็นต้องมีการปรับแต่งระยะของสายอากาศพร้อมกับการตรวจสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ขยายงานสำหรับตรวจสอบช่วงความถี่ใช้งานให้เหมาะสมกับช่วงความถี่มากที่สุด พารามิเตอร์ส่วนถัดมาคืออัตราขยายของสายอากาศแสดงดังรูปที่ 4.2-5 พบว่า มีค่าไม่ต่ำกว่า 7 เดซิเบลตลอดย่านความถี่ใช้งาน



รูปที่ 4.2-5 อัตราขยายของสายอากาศที่ออกแบบในย่าน 900 MHz

พารามิเตอร์การแผ่กระจายคลื่นมีลักษณะแสดงดังรูปที่ 4.2-6 (ด้านล่าง) มีทิศทางพุ่งในแนวแกน Y (ตำแหน่งสายอากาศอยู่แนวตั้ง) ตามตำแหน่งส่วนของตัวกำหนดทิศทางคลื่น โดยลักษณะของสนามเมื่อพิจารณาด้านข้างจะมีลักษณะพุ่งออกไปทางด้านซ้ายส่วนหนึ่ง

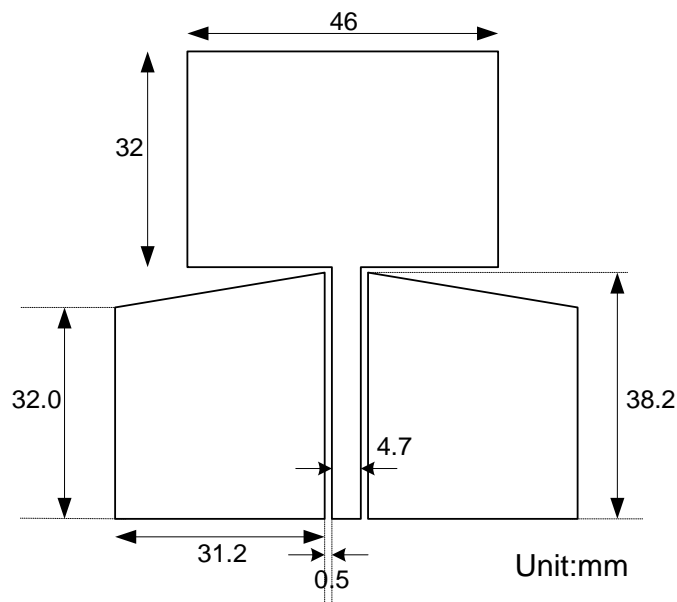


ก) แนวด้านหน้าของสายอากาศ

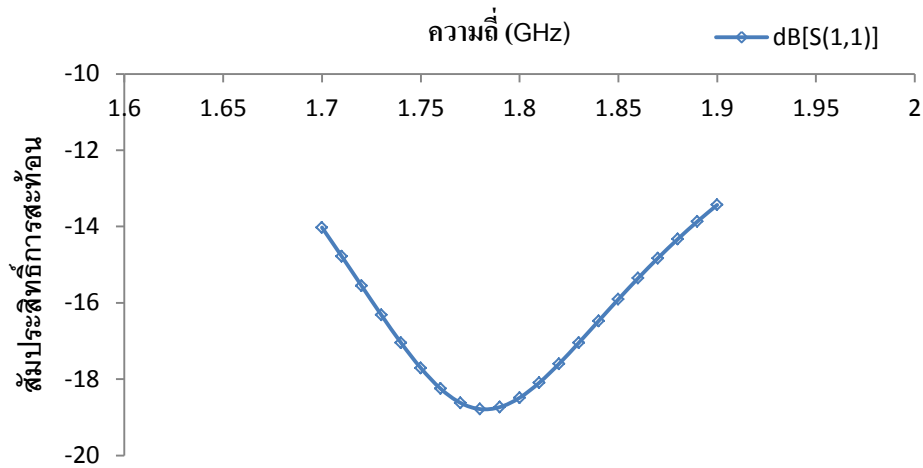
ข) แนวด้านข้างของสายอากาศ

รูปที่ 4.2-6 การแผ่กระจายคลื่นสายอากาศที่ออกแบบในย่าน 900 MHz

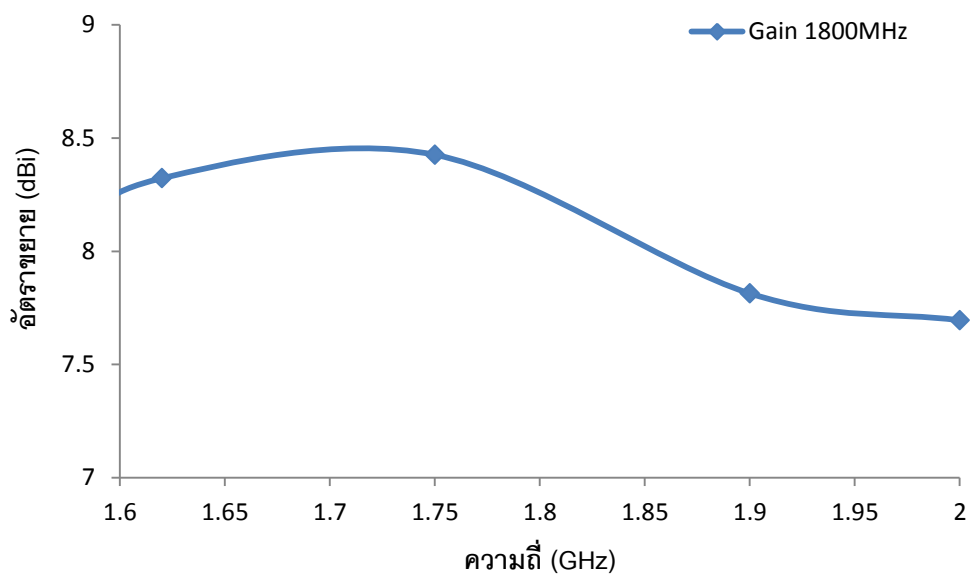
สำหรับการออกแบบสายอากาศรับส่งข้อมูลคลื่นความถี่ในย่าน 1800 MHz มีรูปแบบโครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 4.2-7 โครงสร้างพื้นฐานเป็นสายอากาศโมนโพลแบบแผ่นด้วยการป้อนสายนำสัญญาณระนาบร่วมและมีกราวด์ด้านล่างมีระยะกราวด์ด้านล่าง 28 มิลลิเมตร โดยอาศัยเทคนิคตำแหน่งเชื่อมต่อส่วนของตัวแผ่คลื่นแบบลาดเอียงช่วยให้มีการแมทซ์ในช่วงความถี่กว้างขึ้นแสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนดังแสดงในรูปที่ 4.2-8 จากรูปจะพบว่า ค่าความถี่ใช้งาน 1800 MHz สามารถใช้งานได้ตลอดย่าน



รูปที่ 4.2-7 โครงสร้างสายอากาศที่ออกแบบในย่าน 1800 MHz

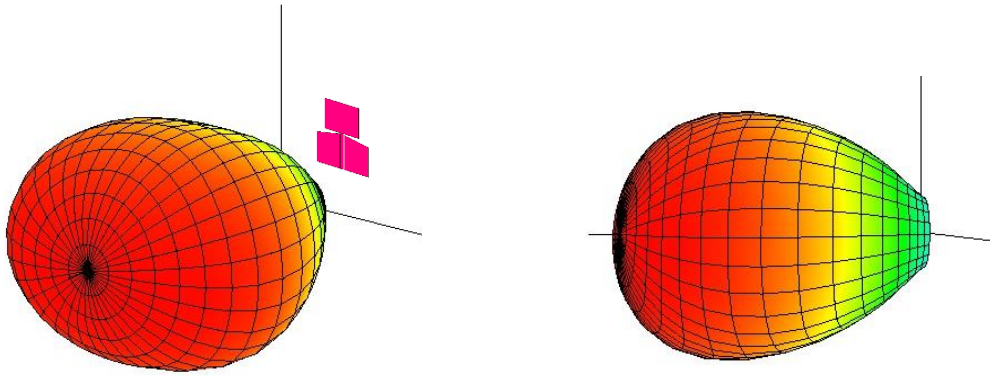


รูปที่ 4.2-8 สัมประสิทธิ์การสะท้อนสายอากาศที่ออกแบบในย่าน 1800 MHz



รูปที่ 4.2-9 อัตราขยายสายอากาศที่ออกแบบในย่าน 1800 MHz

ในส่วนของอัตราขยายของสายอากาศที่ออกแบบ แสดงดังรูปที่ 4.2-9 (ด้านบน) ค่าอัตราขยายมีค่าไม่ต่ำกว่า 7.5 ตลอดช่วงความถี่ใช้งานและมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในแบบทิศทางเดียวพุ่งไปด้านหน้าของสายอากาศแสดงดังรูปที่ 4.2-10

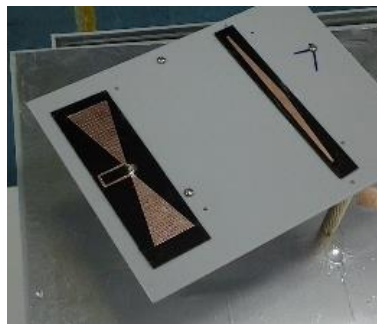


ก) แนวด้านหน้าของสายอากาศ

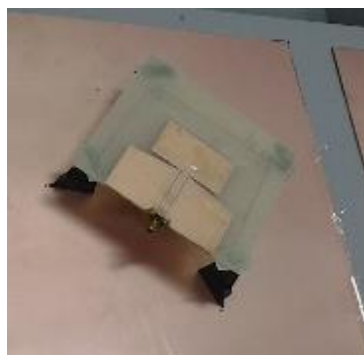
ข) แนวด้านข้างของสายอากาศ

รูปที่ 4.2-10 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นสายอากาศในย่าน 1800 MHz

สำหรับการสร้างสายอากาศทั้งสองช่วงความถี่ใช้งานได้ดำเนินการสร้างบนวัสดุอีพ็อกซีและวัสดุอะครีลิกโดยมีแผ่นกรวดด้านล่างทำหน้าที่สะท้อนคลื่นเป็นวัสดุทองแดงมีขนาดความกว้างยาว 30 เซนติเมตร รูปที่ 4.2-11 แสดงผลการสร้างสายอากาศที่ออกแบบทั้งหมดบรรจุภายในกล่องอะครีลิกหนา 3 มิลลิเมตร มีความสูง 60 เซนติเมตร ความกว้าง 30 เซนติเมตรและความลึก 12 เซนติเมตร หลังจากประกอบลงกล่องสำเร็จจะนำเข้าสู่ขั้นตอนการวัดปริมาณการแผ่กระจายคลื่นดังรูปที่ 4.2-12

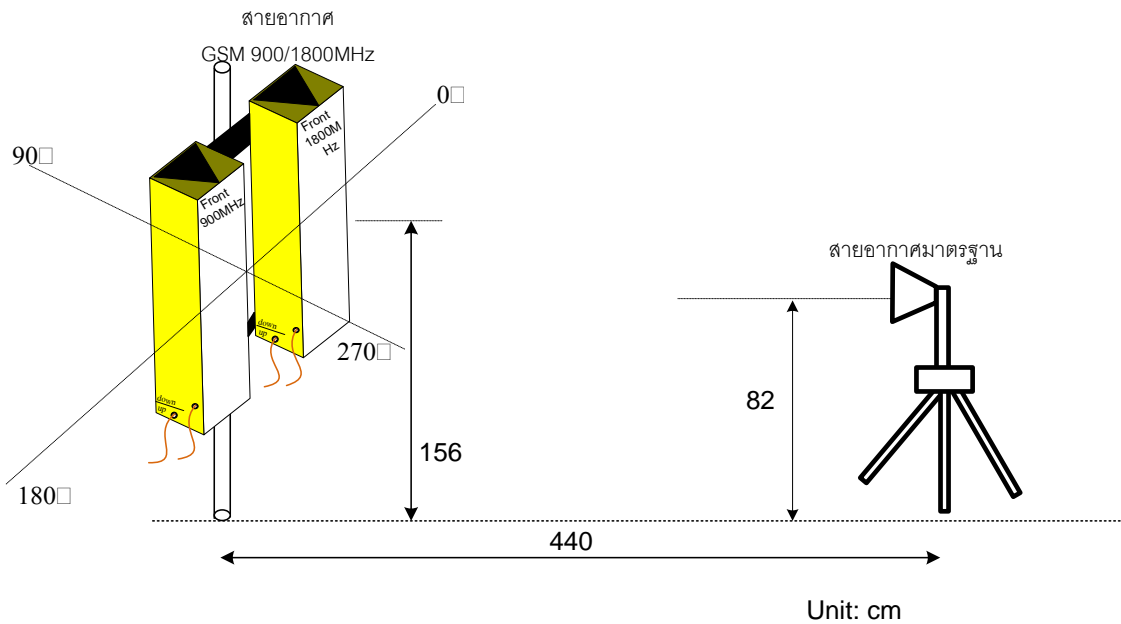


ก) สายอากาศในย่าน 900 MHz



ข) สายอากาศในย่าน 1800 MHz

รูปที่ 4.2-11 ผลการสร้างสายอากาศที่ออกแบบ



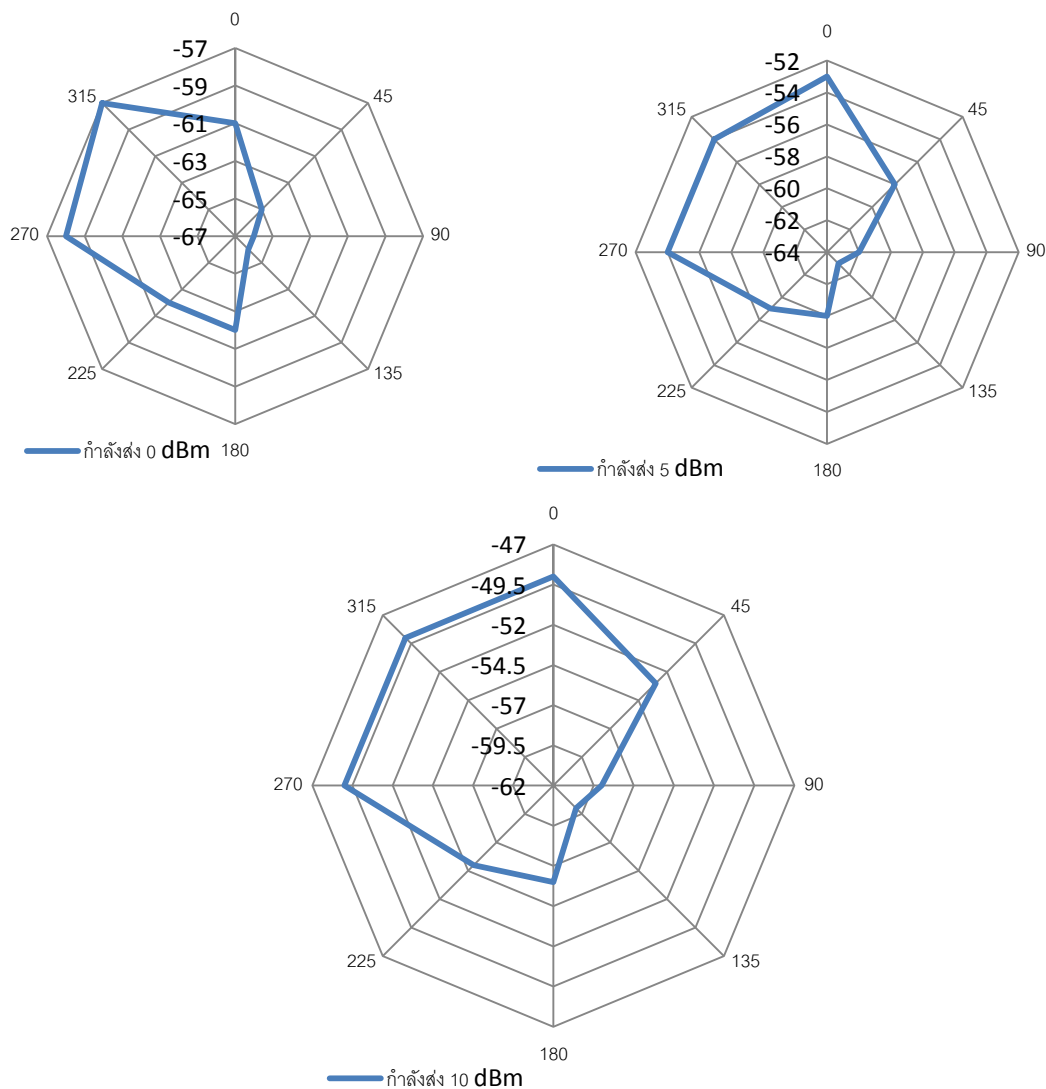
รูปที่ 4.2-12 ไดอะแกรมการตรวจวัดปริมาณการแผ่กระจายคลื่นความถี่

การตรวจวัดค่าความอ่อนไหวของคลื่นความถี่อาศัยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมทำหน้าที่ตรวจวัดปริมาณคลื่นที่รับได้ด้วยสายอากาศมาตรฐานโดยมีระยะห่างจากสายอากาศที่ออกแบบ (Designed antenna) อย่างน้อยเกินกว่าระยะสนามระยะใกล้ ในที่นี้กำหนดค่าที่ระยะ 440 เซนติเมตร และมีความสูงของสายอากาศเท่ากับ 156 เซนติเมตร และความสูงของสายอากาศมาตรฐานสูงเท่ากับ 82 เซนติเมตร



รูปที่ 4.2-13 การวัดทดสอบปริมาณการแผ่คลื่นของสายอากาศโดยสอบเทียบกับสายอากาศมาตรฐาน

ทั้งนี้กำหนดความสูงต่างกันเพื่อจำลองให้มีสภาพเดียวกันกับสถานที่จริงเมื่อทำการติดตั้งสถานีตรวจจับสัญญาณโทรศัพท์บริเวณอาคารเก็บค่าผ่านทางของการทางพิเศษฯ โดยปริมาณการส่งคลื่นความถี่จากสายอากาศที่ออกแบบทำการแบ่งระดับความแรงไว้หลายค่าเพื่อตรวจสอบความเป็นเชิงเส้นของกำลังที่ส่ง (Transmission power Tx) ได้ซึ่งกำหนดไว้ที่ 3 ระดับสัญญาณ ประกอบด้วย 0dBm, 5dBm และ 10dBm ผลการวัดระดับความแรงสัญญาณแสดงดังรูปที่ 4.2-14 เป็นค่าความแรงสัญญาณ ซึ่งพบตำแหน่งที่มีความแรงสัญญาณสูงโดยเฉลี่ยที่ช่วง 270 - 315 องศาและตำแหน่งที่มีการแผ่คลื่นน้อยสุดคือบริเวณด้านหลังกล่องสายอากาศ



รูปที่ 4.2-14 ปริมาณความแรงสัญญาณ Tx ของสายอากาศที่ออกแบบ

4.3 การตั้งค่าโปรแกรมระบบ

อุปกรณ์การอ่านสัญญาณโทรศัพท์จะประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ 1) ส่วนควบคุมการสื่อสารไร้สาย (Universal software radio peripheral: USRP unit) ที่ใช้ในการผสมและถอดรหัสสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ 2) ส่วนสมองกลฝังตัวขนาดเล็ก (Embedded processing unit) โดยมีหน่วยประมวลผลกลาง 1.66 GHz และหน่วยความจำ 1 GB เพื่อใช้ในการประมวลผลข้อมูลและเชื่อมต่อข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอก และ 3) ส่วนภาคขยายกำลังส่งสัญญาณความถี่ (Power amplifier: PA) ทั้ง 3 ส่วนนี้จะทำงานร่วมกันเพื่อใช้ในการอ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือ โดยมีลักษณะการจัดวางอุปกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.3-1



รูปที่ 4.3-1 ชุดอุปกรณ์อ่านสัญญาณโทรศัพท์

เพื่อช่วยในการบริหารจัดการสถานีตรวจจับสัญญาณ ในลักษณะเป็น Cell tower จำลองขนาดเล็กในโครงการได้ประยุกต์โปรแกรม OpenBTS (Open Base Transceiver Station) P2.8 ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ Open source มาช่วยในการพัฒนาระบบการตรวจจับข้อมูลลักษณะจำเพาะของโทรศัพท์มือถือ ซึ่งรายละเอียดของโปรแกรม OpenBTS P2.8 สามารถหาได้จาก (Range Network, 2012)

การตั้งค่าของโปรแกรมระบบจะอยู่ 2 ขั้นตอนหลักๆ ได้แก่ 1) การคอมไพล์โปรแกรมเพื่อตั้งค่าเริ่มต้น (Initialization) ให้กับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ URSP ที่ทำการเชื่อมต่อโปรแกรมระบบ OpenBTS ที่ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์จากไดเรคทอรี `git clone git://openbts.net/gitroot/openbts/openbts` การคอมไพล์โปรแกรมโดยใช้คำสั่ง

ภายหลังจากการใช้คำสั่งดังกล่าว จะได้ผลดังหน้าจอระหว่างการคอมไพล์โปรแกรมดังรูปที่ 4.3-2

```
cd /opt/openbts-uhd/public-trunk

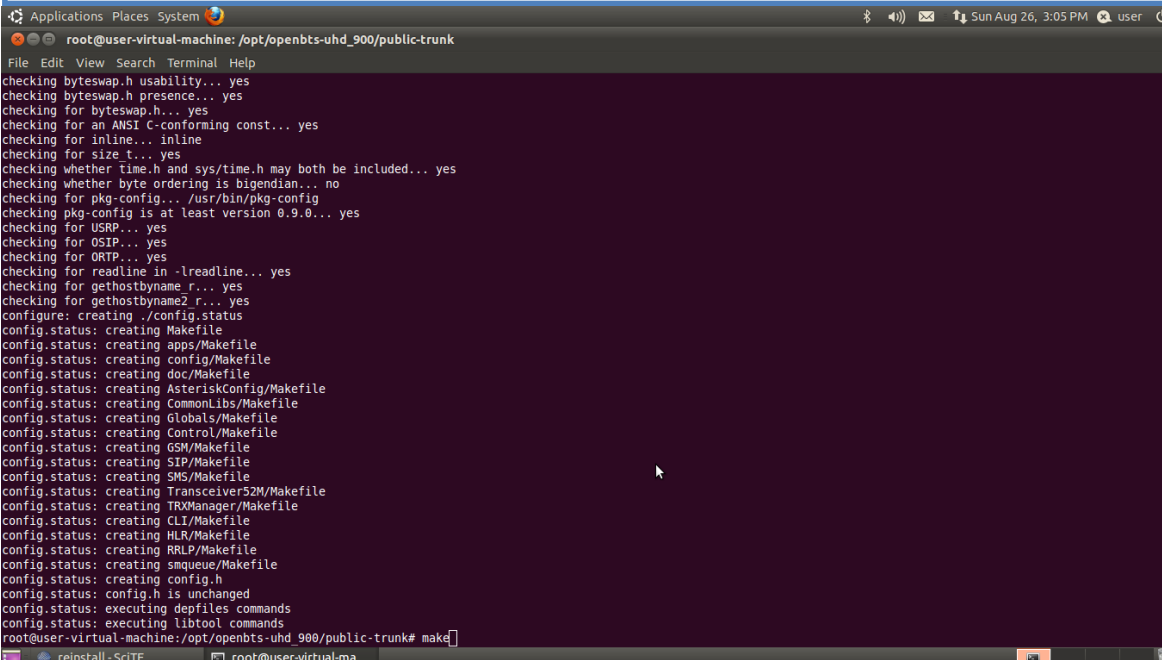
autoreconf -fi

./configure --with-usrp1 --with-singledb

make

make install

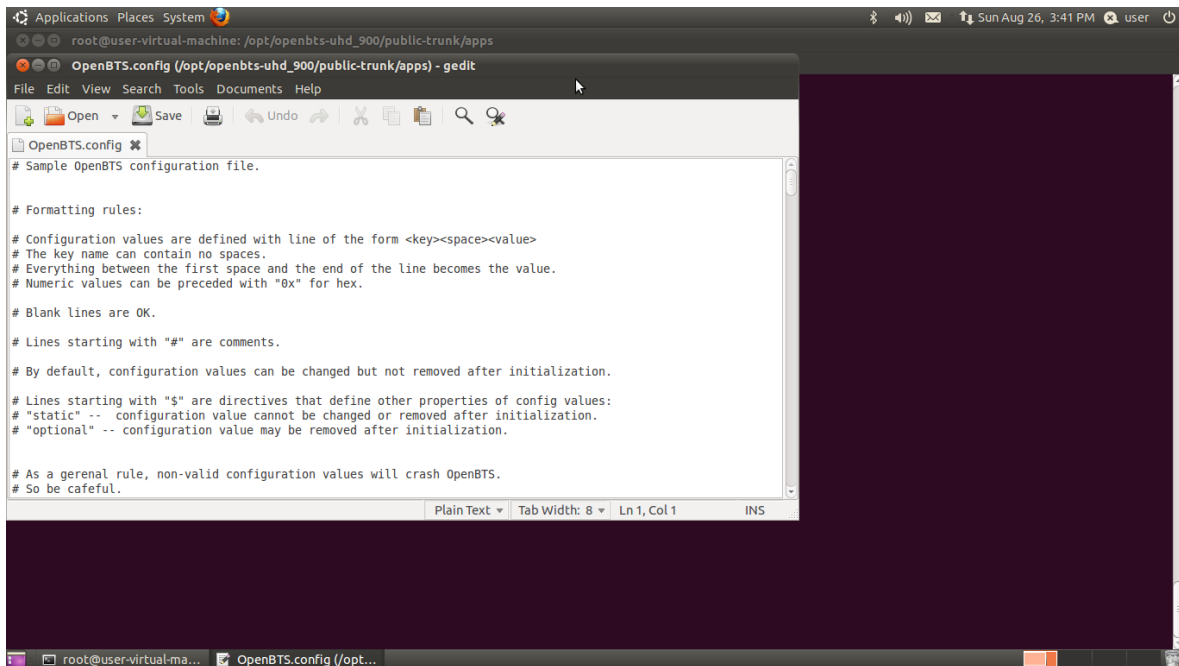
ldconfig
```



รูปที่ 4.3-2 หน้าจอระหว่างการคอมไพล์โปรแกรม OpenBTS

หลังจากการตั้งค่าเริ่มต้นให้กับอุปกรณ์ URSP ในการเชื่อมต่อกับโปรแกรมระบบ OpenBTS แล้วนั้น ขั้นตอนต่อไปคือการตั้งค่าพารามิเตอร์ของโปรแกรมโดยใช้คำสั่ง

จะได้ผลดังหน้าจอระหว่างการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 4.3-3



รูปที่ 4.3-3 หน้าจอระหว่างการทำงานตั้งค่าพารามิเตอร์โปรแกรม OpenBTS

```

cd /opt/openbts-uhd_900/public-trunk

cd apps/

gedit Openbts.config

```

การตั้งค่าพารามิเตอร์ของโปรแกรมเพื่อใช้ควบคุมการอ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือ ประกอบด้วย ตัวแปรต่างๆเหล่านี้

- GSM.NCC การตั้งค่ารหัสสีของโครงข่ายที่ให้บริการ (Network color code)
- GSM.BCC การตั้งค่ารหัสสีของสถานีฐาน (Base station color code)
- GSM.MCC การตั้งค่ารหัสประเทศของโทรศัพท์ที่ใช้บริการ (Mobile country code)
- GSM.MNC การตั้งค่ารหัสโครงข่ายของโทรศัพท์ (Mobile network code)
- GSM.LAC การตั้งค่าพื้นที่ในการให้บริการโครงข่าย (Location area code)
- GSM.CI การตั้งค่าลักษณะจำเพาะของสถานีโครงข่าย (Cell identity)
- GSM.ARFCN การตั้งค่าหมายเลขช่องสัญญาณ (Absolute radio frequency channel number)
- GSM.T3212 การตั้งค่าเวลาในการใช้ระบบเครือข่าย (Mobile registration timer)
- GSM.PowerManager การตั้งค่าระดับความแรงของการส่งสัญญาณ (Transmission power)

GSM.CS.CELL_RESELECT_HYSTERESIS การตั้งค่าความไวในการเปลี่ยนถ่ายสถานี โครงข่าย (Cell reselection hysteresis)

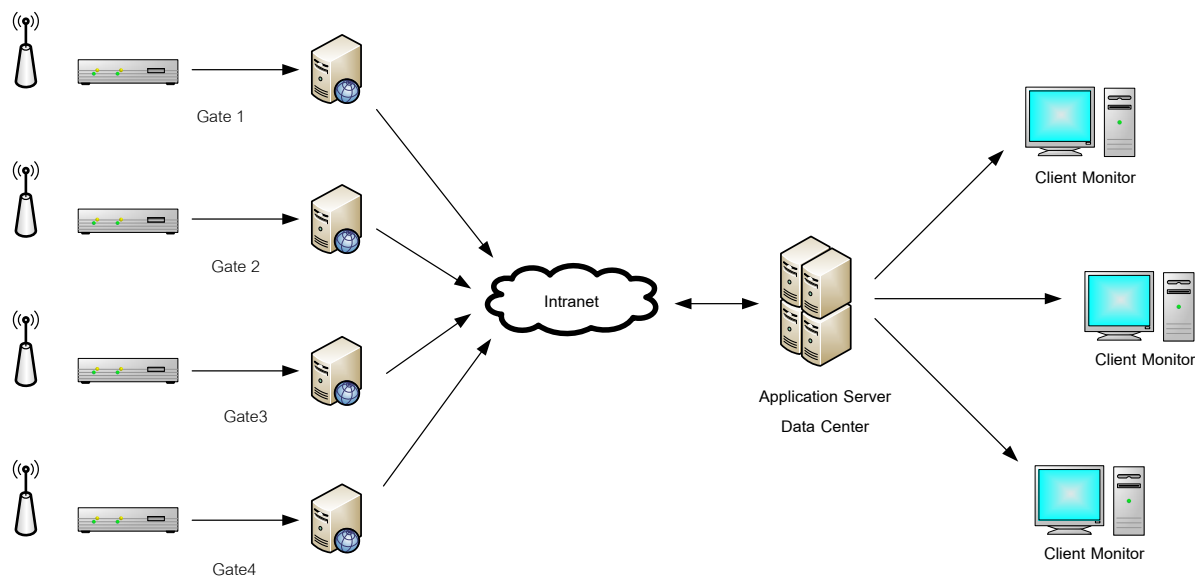
ภายหลังจากตั้งค่าพารามิเตอร์จะสามารถเรียกใช้งานโปรแกรม OpenBTS โดยการอ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือ หน่วยสมองกลฝั่งตัว Client processing unit จะทำการประมวลผลและเข้ารหัสข้อมูลในทุกๆ ช่วงเวลา 5 นาทีเพื่อส่งให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย รูปที่ 4.3-4 แสดงตัวอย่างข้อมูลสัญญาณโทรศัพท์มือถือที่ได้จากการประมวลผล โดยมีข้อมูลเป็นรหัสตัวเลขจำนวน 23 digit และหลักสุดท้ายแสดงหมายเลขแสดงตน (ID) ของแต่ละสถานีอ่านสัญญาณที่ส่งข้อมูล (Mobile ID) มายังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย



รูปที่ 4.3-4 ข้อมูลจำเพาะของสัญญาณโทรศัพท์ที่ได้จากการประมวลผล

4.4 การเชื่อมต่อระบบข้อมูลกับคอมพิวเตอร์แม่ข่าย

การออกแบบและพัฒนาระบบเชื่อมต่ออุปกรณ์อ่านสัญญาณโทรศัพท์ จะอยู่ในรูปแบบ Client – Server ภายเครือข่ายสายข้อมูลภายในมหาวิทยาลัย (Intranet) โดยโครงข่ายการเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างสถานีตรวจจับสัญญาณ (Client) และเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Server) แสดงในรูปที่ 4.4-1



รูปที่ 4.4-1 แสดงการเชื่อมต่อระบบข้อมูลกับคอมพิวเตอร์แม่ข่าย

ในโครงการได้กำหนดหมายเลขที่อยู่ของอุปกรณ์ (IP address) และคุณสมบัติที่ใช้ในการเชื่อมต่อข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.4-1 จากตาราง ได้ทำการทดสอบโดยการ Ping จากอุปกรณ์อ่านสัญญาณโทรศัพท์ ต้นแบบ (Embedded processing unit) ไปยัง IP ของเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (xxx.xx.3.41) โดยสามารถเชื่อมต่อข้อมูล (Connecting program) ระหว่างสถานีและเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายได้

ตารางที่ 4.6 หมายเลขที่อยู่ของอุปกรณ์และคุณสมบัติที่ใช้ในการเชื่อมต่อข้อมูล

สถานี	ชื่อสถานี	IP Address	Subnet	IP Gateway
	เครื่องแม่ข่าย (Server)	xxx.xx.3.41		
1	Gate 1	xxx.xx.10.136	255.255.255.240	xxx.xx.10.129
2	Gate 2	xxx.xx.25.136	255.255.255.240	xxx.xx.25.129
3	Gate 3	xxx.xx.17.136	255.255.255.240	xxx.xx.17.129
4	Gate 4	xxx.xx.20.26	255.255.255.224	xxx.xx.20.1

หมายเหตุ xxx เป็นการปกปิดเลข IP จริงเพื่อความปลอดภัยในการเข้าถึงข้อมูล

จากตารางด้านบนจะต้องกำหนดที่อยู่ของอุปกรณ์แบบสแตติก (Static IP address) และคุณสมบัติในการเชื่อมต่อข้อมูลให้กับอุปกรณ์ รูปที่ 4.4-2 แสดงการเชื่อมต่อข้อมูลกับอุปกรณ์ Switching



รูปที่ 4.4-2 การเชื่อมต่อข้อมูลกับอุปกรณ์ Switching

การเชื่อมต่อข้อมูลในระบบอ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือ จะเริ่มต้นจากอุปกรณ์อ่านข้อมูลลักษณะจำเพาะของโทรศัพท์ที่ตรวจจับได้ โดยข้อมูลลักษณะจำเพาะของโทรศัพท์ที่ได้มานี้จะมีการประมวลผล (Client processing) ที่สถานี ซึ่งเป็นหน่วยประมวลผลย่อย และทำการประมวลผลและเก็บข้อมูลไว้เป็น Buffer ในทุกช่วงเวลา 5 นาที หลังจากนั้น ข้อมูลจะถูกส่งผ่าน IP gateway ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายผ่านระบบเครือข่ายภายใน (Intranet)

ในโครงการนี้ ได้เลือกใช้ระบบการจัดการฐานข้อมูล ProgreSQL8.3 database ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ Open source ที่มีเสถียรภาพ สามารถรองรับฐานข้อมูลขนาดใหญ่และมีความเร็วในการประมวลผลข้อมูลสูง ข้อมูลจำเพาะของโทรศัพท์มือถือที่อ่านค่าได้จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณจะถูกส่งมายังเครื่องแม่ข่ายแบบ Push ในรูปแบบของไฟล์ Text ในรอบการประมวลผลทุกช่วงเวลา 5 นาที หลังจากนั้น ระบบจะทำการอ่านไฟล์ที่ได้รับเพื่อจัดรูปแบบและบันทึกลงฟิลด์ของระบบฐานข้อมูลที่ออกแบบไว้ ดังแสดงในรูปที่ 4.4-3

PK	bigserial	integer	character	varchar	time(3)	with	date
1	80	5	37480442834	06:00:08	2012-08-10		
2	81	5	46156924806	06:00:12	2012-08-10		
3	82	5	46436284497	10:00:04	2012-08-10		
4	83	6	41647340640	10:00:07	2012-08-10		
5	84	5	36654455583	10:00:12	2012-08-10		
6	85	5	32664193316	10:00:18	2012-08-10		
7	86	6	27445058991	10:00:25	2012-08-10		
8	87	6	48873386462	10:00:34	2012-08-10		
9	88	6	28263222447	10:00:42	2012-08-10		
10	89	5	41138744140	10:00:44	2012-08-10		
11	90	5	35931706703	10:00:46	2012-08-10		
12	91	5	38240337394	10:00:46	2012-08-10		
13	92	6	43871700796	10:00:59	2012-08-10		
14	93	6	42115304938	10:01:05	2012-08-10		
15	94	5	47294421474	10:01:07	2012-08-10		
16	95	6	30156997579	10:01:11	2012-08-10		
17	96	6	54334391368	10:01:14	2012-08-10		
18	97	6	27841052996	10:01:15	2012-08-10		
19	98	6	23299118216	10:01:26	2012-08-10		
20	99	5	35948502023	10:01:30	2012-08-10		
21	100	6	53017965372	10:01:34	2012-08-10		
22	101	5	44790581338	10:01:38	2012-08-10		
23	102	5	42322148812	10:01:58	2012-08-10		
24	103	6	33316732783	10:02:04	2012-08-10		
25	104	5	32825130662	10:02:08	2012-08-10		
26	105	5	41139125967	10:02:11	2012-08-10		
27	106	5	49979603332	10:02:12	2012-08-10		
28	107	5	34210119725	10:02:22	2012-08-10		
29	108	5	34191509988	10:02:22	2012-08-10		
30	109	6	48932364348	10:02:30	2012-08-10		
31	110	5	45934050505	10:02:34	2012-08-10		
32	111	5	47230362537	10:02:40	2012-08-10		
33	112	5	22389501405	10:02:44	2012-08-10		

pass_id	base_id	pass_date	pass_hour	pass_min	pass_num	
1	4075	5	2012-08-10	6	0	42
2	4411	6	2012-08-10	6	0	34
3	4413	5	2012-08-10	6	5	25
4	4412	6	2012-08-10	6	5	37
5	4414	5	2012-08-10	6	10	42
6	4415	6	2012-08-10	6	10	27
7	4416	5	2012-08-10	6	15	46
8	4417	6	2012-08-10	6	15	46
9	4418	5	2012-08-10	6	20	48
10	4419	6	2012-08-10	6	20	44
11	4420	5	2012-08-10	6	25	58
12	4421	6	2012-08-10	6	25	48
13	4422	5	2012-08-10	6	30	61
14	4423	6	2012-08-10	6	30	69
15	4425	5	2012-08-10	6	35	94
16	4424	6	2012-08-10	6	35	46
17	4427	6	2012-08-10	6	40	54
18	4426	5	2012-08-10	6	40	55
19	4429	5	2012-08-10	6	45	53
20	4428	6	2012-08-10	6	45	64
21	4431	5	2012-08-10	6	50	60
22	4430	6	2012-08-10	6	50	44
23	4433	6	2012-08-10	6	55	66
24	4432	5	2012-08-10	6	55	84
25	4435	6	2012-08-10	7	0	75
26	4434	5	2012-08-10	7	0	64
27	4437	5	2012-08-10	7	5	84
28	4436	6	2012-08-10	7	5	68
29	4438	5	2012-08-10	7	10	86
30	4439	6	2012-08-10	7	10	77
31	4441	6	2012-08-10	7	15	83
32	4440	5	2012-08-10	7	15	97
33	4442	5	2012-08-10	7	20	89

pair_id	pair_pattern	base_id	pair_date	pair_time	base_id2	pair_date2	pair_time2	
1	15267	37480442834	5	2012-08-10	06:00:08	6	2012-08-10	06:03:35
2	15268	46156924806	5	2012-08-10	06:00:12	6	2012-08-10	06:03:50
3	15269	46436284497	5	2012-08-10	10:00:04	6	2012-08-10	10:09:10
4	15270	41647340640	6	2012-08-10	10:00:07	5	2012-08-10	09:51:24
5	15271	36654455583	5	2012-08-10	10:00:12	6	2012-08-10	10:04:18
6	15272	32664193316	5	2012-08-10	10:00:18	6	2012-08-10	10:09:02
7	15273	27445058991	6	2012-08-10	10:00:25	5	2012-08-10	09:51:10
8	15274	48873386462	6	2012-08-10	10:00:34	5	2012-08-10	09:51:34
9	15275	28263222447	6	2012-08-10	10:00:42	5	2012-08-10	09:48:20
10	15276	41138744140	5	2012-08-10	10:00:44	6	2012-08-10	10:05:19
11	15277	35931706703	5	2012-08-10	10:00:46	6	2012-08-10	10:07:35
12	15278	38240337394	5	2012-08-10	10:00:46	6	2012-08-10	10:09:14
13	15279	43871700796	6	2012-08-10	10:00:59	5	2012-08-10	09:56:04
14	15280	42115304938	6	2012-08-10	10:01:05	5	2012-08-10	09:51:27
15	15281	47294421474	5	2012-08-10	10:01:07	6	2012-08-10	10:14:32
16	15282	30156997579	6	2012-08-10	10:01:11	5	2012-08-10	09:50:22
17	15283	54334391368	6	2012-08-10	10:01:14	5	2012-08-10	09:49:53
18	15284	27841052996	6	2012-08-10	10:01:15	5	2012-08-10	09:56:48
19	15285	23299118216	6	2012-08-10	10:01:26	5	2012-08-10	09:51:33
20	15286	35948502023	5	2012-08-10	10:01:30	6	2012-08-10	10:10:21
21	15287	53017965372	6	2012-08-10	10:01:34	5	2012-08-10	09:50:10
22	15288	44790581338	5	2012-08-10	10:01:38	6	2012-08-10	10:08:26
23	15289	42322148812	5	2012-08-10	10:01:58	6	2012-08-10	10:07:15
24	15290	33316732783	6	2012-08-10	10:02:04	5	2012-08-10	09:54:45
25	15291	32825130662	5	2012-08-10	10:02:08	6	2012-08-10	10:12:36
26	15292	41139125967	5	2012-08-10	10:02:11	6	2012-08-10	10:11:12
27	15293	49979603332	5	2012-08-10	10:02:12	6	2012-08-10	10:07:05
28	15294	34210119725	6	2012-08-10	10:02:22	6	2012-08-10	10:11:59
29	15295	34191509988	6	2012-08-10	10:02:22	6	2012-08-10	10:13:46
30	15296	48932364348	6	2012-08-10	10:02:30	5	2012-08-10	09:54:19
31	15297	45934050505	5	2012-08-10	10:02:34	6	2012-08-10	10:08:12
32	15298	47230362537	5	2012-08-10	10:02:40	6	2012-08-10	10:07:49
33	15299	22389501405	5	2012-08-10	10:02:44	6	2012-08-10	10:11:17

รูปที่ 4.4-3 ระบบการจัดการฐานข้อมูล PostgreSQL ที่ออกแบบ

บทที่ 5

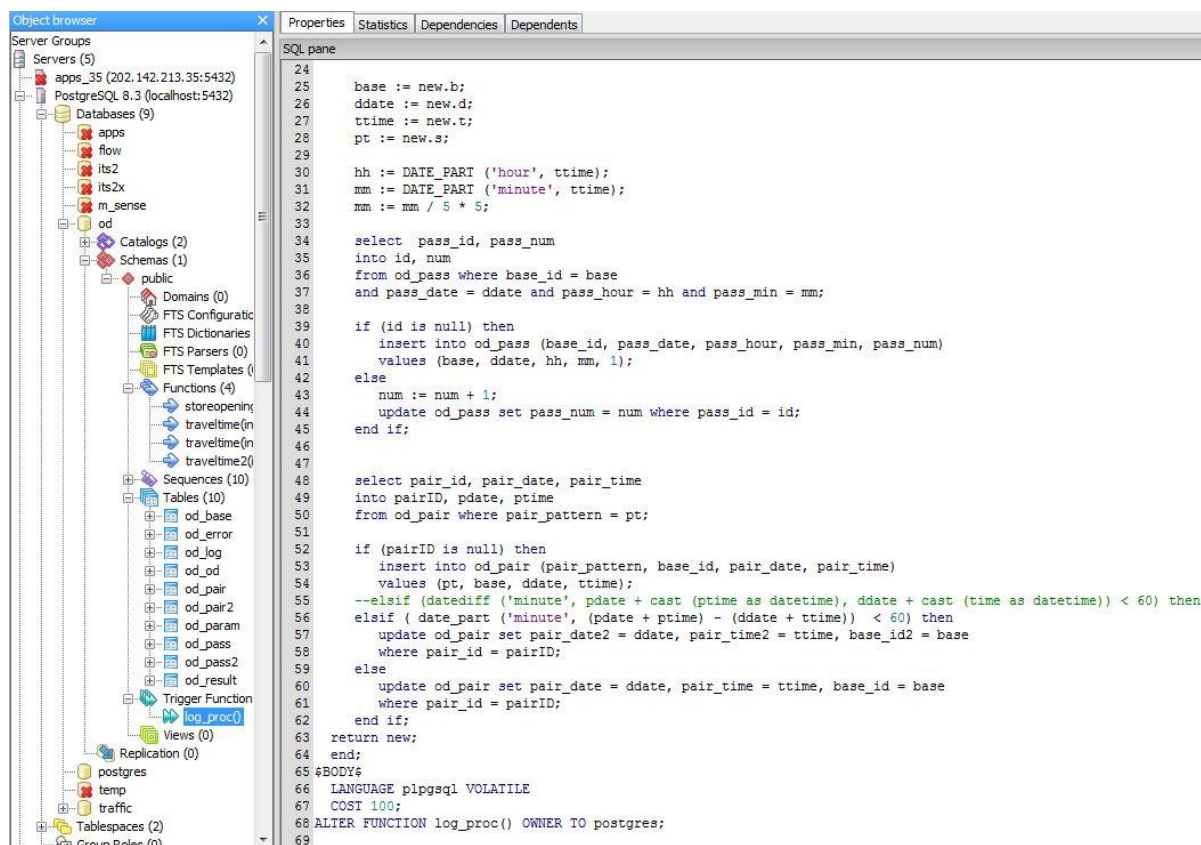
การวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล

- ❖ ระบบประมวลผลการเดินทางเข้าออกพื้นที่
- ❖ ระบบประมวลผลระยะเวลาเดินทาง
- ❖ ระบบให้บริการเชื่อมต่อข้อมูลโดยอัตโนมัติ
- ❖ การทดสอบความถูกต้องของอุปกรณ์

5.1 ระบบประมวลผลการเดินทางเข้าออกพื้นที่

การออกแบบระบบฐานข้อมูลที่ใช้สำหรับบันทึกและประมวลผลข้อมูลการเดินทางเข้าออกพื้นที่ จำเป็นต้องมีการคัดกรองและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลสัญญาณจำเพาะโทรศัพท์มือถือ (เช่น Mobile ID หลังจากการเข้ารหัสข้อมูล: 604936844386378044914 1) ที่ได้รับเข้ามาจากสถานีตรวจจับสัญญาณ ภายในทุกช่วงเวลา 5 นาที โดยจะมีขั้นตอนการคัดกรองและการประมวลผล หลังจากที่มีการส่งข้อมูลจาก อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณโทรศัพท์มือถือมายังที่เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย Mobile log server ข้อมูลที่ส่งมา นี้ส่วนหนึ่งจะถูกคัดกรอง Mobile ID ที่มีเวลาการอ่านข้อมูลที่ไม่เป็นจริง หรือข้อมูล Mobile ID ที่ไม่สามารถ จับคู่ Gate pair ได้ในช่วงระยะเวลาที่กำหนด

หลังจากผ่านขั้นตอนการคัดกรองเบื้องต้นแล้ว ระบบจะสร้างเป็นข้อมูล Gate pair หรือ Route ซึ่งจะ บอกลักษณะการเดินทางจากประตูหนึ่งไปยังอีกประตูหนึ่ง ในแต่ละช่วงเวลา โดยหน้าจอกำหนดพัฒนาขั้นตอน ทางคอมพิวเตอร์ของการสร้างข้อมูล Gate pair แสดงในรูปที่ 5.1-1



รูปที่ 5.1-1 การพัฒนาขั้นตอนทางคอมพิวเตอร์ของการสร้างข้อมูล Gate pair

รูปด้านบนแสดง Store procedure ในระบบฐานข้อมูลที่จะทำงานเมื่อมีข้อมูลเข้ามาจากสถานีอ่านสัญญาณโทรศัพท์ โดยอัลกอริทึมจะทำการตรวจสอบว่า Mobile ID ที่อ่านค่าได้นั้นเคยมีอยู่ในฐานข้อมูลแล้วหรือยัง ถ้ายังอัลกอริทึมจะเพิ่มข้อมูลเข้ามาใหม่ และในกรณีที่ข้อมูล Mobile ID อยู่แล้วในฐานข้อมูล อัลกอริทึมก็จะตรวจสอบระยะเวลาว่าข้อมูลที่เข้ามาใหม่กับของเดิมที่มีอยู่ ระยะเวลาต่างกันเกินที่กำหนดไว้ (เช่น 60 นาที) หรือไม่ ถ้ายังไม่เกินเวลาที่กำหนดก็จะเพิ่มข้อมูล Mobile ID เพื่อใช้คำนวณหาปริมาณการเดินทางระหว่างประตูทางเข้าออก (Gate pair) รูปที่ 5.1-2 จะแสดงหน้าต่างของโปรแกรมในการคำนวณหาปริมาณการเดินทางเข้าออกพื้นที่

```

124 unset($data);
125 $sql = "select date_part('hour', pair_time2) , count(pair_id)
126 from od_pair where pair_date2 = current_date
127 and base_id = " . $base1 . "
128 and base_id2 = " . $base2 . "
129 and date_part('hour', pair_time2)* 60 + date_part('minute', pair_time2) - 1 > " . $minute . "
130 group by date_part('hour', pair_time2)
131 order by 1 asc";
132 $request = @pg_query($sql);
133
134 $h = -1;
135 $n = 0;
136 $i = 0;
137
138 $tmp_hour = $hour;
139 $h_index = 0;
140 while ($row = @pg_fetch_row($request)) {
141     $n = $row[1];
142     $h = $row[0];
143     for ($k = $tmp_hour; $k <= $h && $h <= $now_hour; $k++) {
144         if ($tmp_hour != $h) {
145             $data[$i] = array('hour' => ($tmp_hour < 10 ? '0' . $tmp_hour : $tmp_hour), 'min' => '00', 'sum' => '0');
146             $tmp_hour++;
147             $i++;
148         } else {
149             $data[$i] = array('hour' => ($h < 10 ? '0' . $h : $h), 'min' => '00', 'sum' => $n);
150             $tmp_hour++;
151             $i++;
152             break;
153         }
154     }
155 }
    
```

รูปที่ 5.1-2 การพัฒนาโปรแกรมในการคำนวณหาปริมาณการเข้าออกพื้นที่

5.2 ระบบประมวลผลระยะเวลาเดินทาง

หลังจากที่ได้ข้อมูลการเดินทางเข้าออกพื้นที่จากข้อมูลโทรศัพท์มือถือที่ผ่านสถานีตรวจจับสัญญาณ และโดยผ่านขั้นตอนการคัดกรองข้อมูลดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นสามารถนำมาประมาณค่าระยะเวลาการเดินทางในแต่ละคู่ของประตูทางเข้าออก Gate pair ระยะเวลาเดินทางที่ได้จากการประมาณค่า Mobile ID ที่ผ่านสถานีอ่านสัญญาณใดๆ จะได้ข้อมูลที่สะท้อนถึงระยะเวลาเดินทางจริงระหว่าง 2 จุดใดๆ การประมาณระยะเวลาเดินทางนอกจากจะอาศัยอัลกอริทึมการคัดกรองข้อมูลระยะเวลาที่อ่านค่าได้จากโทรศัพท์มือถือที่ผ่านสถานีอ่านสัญญาณ 2 สถานี โดยข้อมูลที่ถูกนำมาหาเฉลี่ยจะต้องตกอยู่ในช่วงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานข้อมูลค่าเฉลี่ย $\bar{x} \pm \sigma$ โดยที่ σ สามารถคำนวณค่าได้จากสมการที่ 5.2-1 โดยที่ t คือ ระยะเวลาเดินทาง (นาที่) \bar{t} คือ ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาเดินทาง และ n คือ จำนวนข้อมูลที่ต้องการประมาณค่า

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (t - \bar{t})^2}{n}} \tag{5.2-1}$$

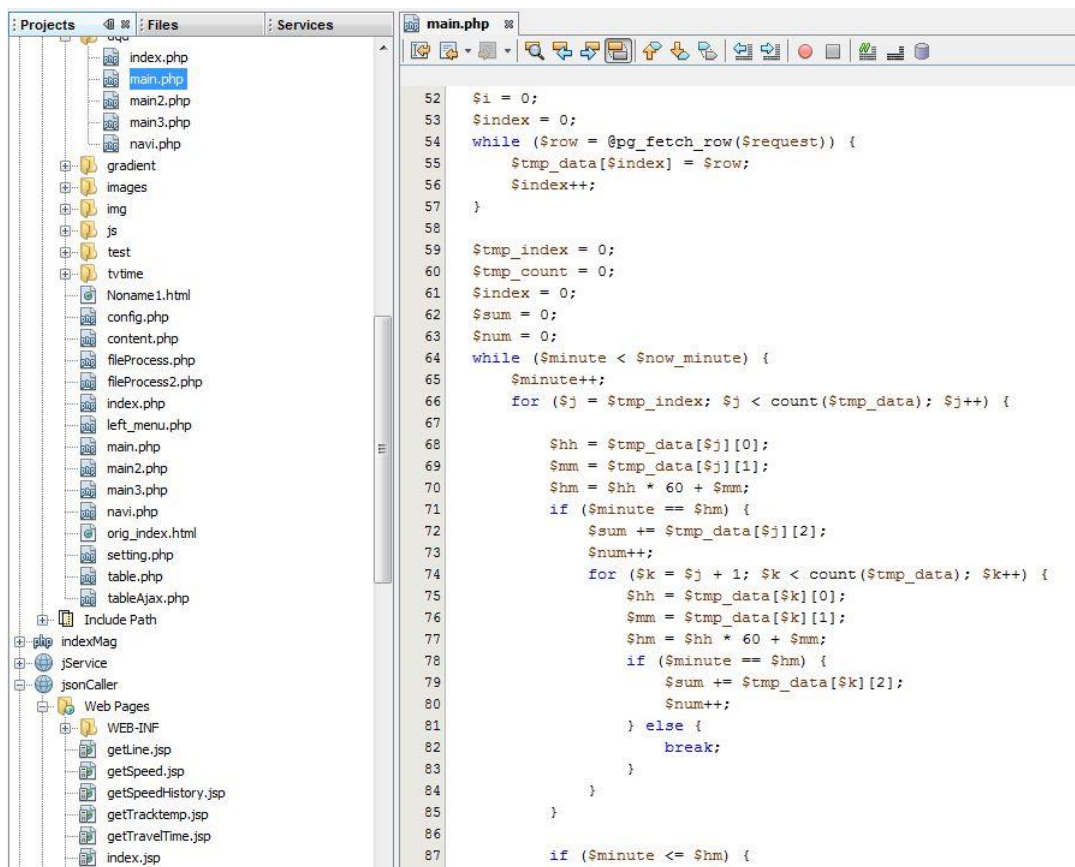
รูปที่ 5.2-1 (ด้านล่าง) แสดงหน้าต่างของโปรแกรมในการประมาณระยะเวลาเดินทางระหว่างประตูทางเข้าออก Gate pair ที่ได้จากการอ่านค่า Mobile ID ของโทรศัพท์มือถือจากสถานีอ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

```

File Edit Query Favgrites Macros View Help
od on postgres@localhost:5432
SQL Editor Graphical Query Builder
Delete Delete All

1 CREATE OR REPLACE FUNCTION traveltime(odid integer, hh integer, mm integer)
2 RETURNS SETOF record AS
3 $BODY$
4
5 DECLARE
6     min int;
7     max int;
8     result RECORD;
9 BEGIN
10     min := cast (mm / 5 as int) * 5;
11     max := min + 5;
12     for result in
13     select
14     a.pair_pattern as a,
15     current_date + a.pair_time as b,
16     current_date + a.pair_time2 as c,
17     a.pair_time2 - a.pair_time as d
18     from od_pair a
19     left join od_od b on a.base_id = b.base_in and a.base_id2 = b.base_out
20     where b.od_id = odid and date_part('minute', pair_time) >= min
21     and date_part('minute', pair_time) < max and date_part('hour', pair_time) = hh
22     loop
23         RETURN NEXT result;
24     end loop;
25 end;
26 $BODY$
27 LANGUAGE plpgsql VOLATILE
28 COST 100
29 ROWS 1000;
30 ALTER FUNCTION traveltime(integer, integer, integer) OWNER TO postgres;
    
```

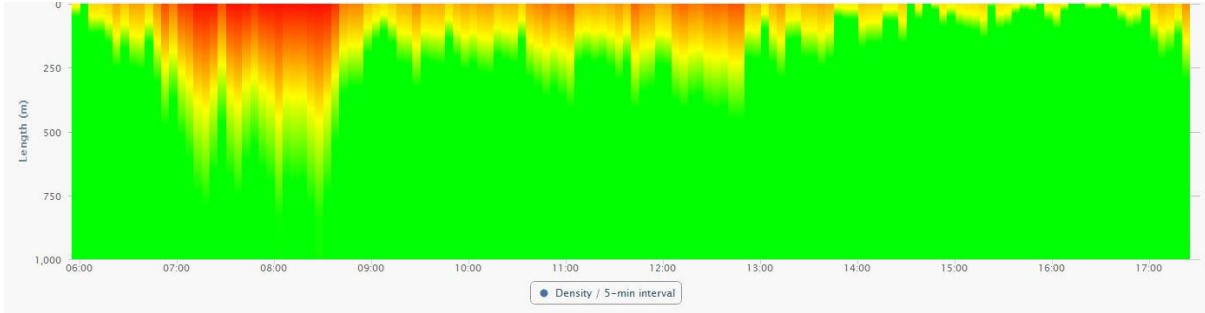
ก) หน้าต่างการพัฒนาส่วนเริ่มต้นโปรแกรม



ข) หน้าต่างการพัฒนาส่วนโปรแกรมหลัก

รูปที่ 5.2-1 การพัฒนาโปรแกรมในการประมาณระยะเวลาเดินทาง

ข้อมูลระยะเวลาเดินทางในส่วนนี้จะถูกประมาณค่าและบันทึกไว้ในระบบฐานข้อมูลในทุกๆ ช่วงเวลา 5 นาที จากนั้น แอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในระบบฐานข้อมูลจะทำการร้องขอข้อมูลและส่งผ่านไปยัง ขั้นตอนการแสดงผลต่อไป นอกจากนี้ เพื่อให้เห็นถึงประโยชน์ในการประยุกต์ใช้ข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์อ่าน สัญญาณโทรศัพท์ สามารถนำมาแสดงสภาพความติดขัดของการเดินทางเข้ามาบริเวณประตูทางเข้าออก ใน รูปแบบภาพ 2 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 5.2-2

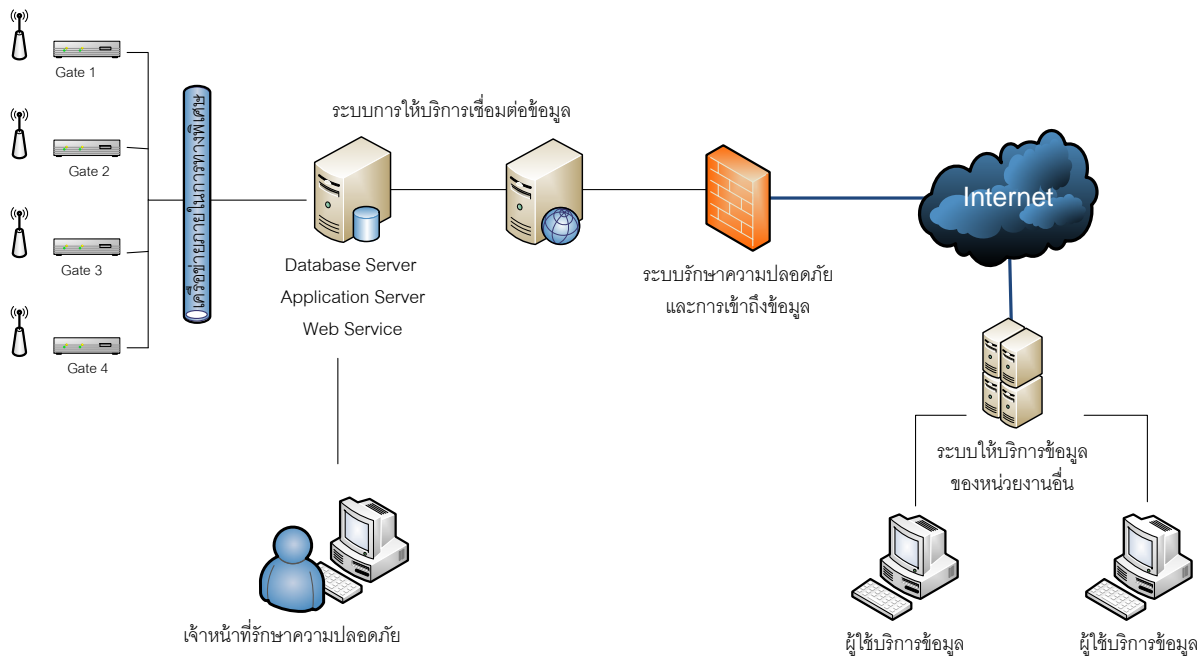


รูปที่ 5.12 การแสดงผลสภาพความติดขัดบริเวณประตูด้านหน้า ตามช่วงเวลา

จากรูป แถบสีแดง หมายถึงสภาพความติดขัดสูง แถบสีเหลืองและสีเขียว หมายถึงสภาพ ความติดขัดปานกลางและคล่องตัว ตามลำดับ ส่วนแกน Y เป็นค่าพารามิเตอร์ของระบบ (Length) เพื่อ กำหนดมาตราส่วนที่เหมาะสมในการแสดงผล และแกน X เป็นข้อมูลของเวลาที่มีการอัปเดตของระบบในทุกๆ ช่วงเวลา 5 นาที

5.3 ระบบเชื่อมต่อข้อมูลโดยอัตโนมัติ

นอกจากการแสดงผลข้อมูลของระบบผ่านหน้าเว็บไซต์แล้ว ในโครงการยังได้พัฒนาส่วนของการ ให้บริการเชื่อมต่อข้อมูลโดยใช้เว็บเซอร์วิส ซึ่งมีความยืดหยุ่นในการแลกเปลี่ยนข้อมูลเพื่อนำไปแสดงผลในเว็บ บราวเซอร์ที่แตกต่างกันได้ รวมทั้งนำข้อมูลไปใช้ในการวางแผนหรือพัฒนาแอปพลิเคชันด้านการเฝ้าระวังความ ปลอดภัยอื่นๆ ได้โดยง่าย ระบบการให้บริการนี้ที่สามารถเรียกใช้งานได้แก่ข้อมูลปริมาณลักษณะจำเพาะของ สัญญาณโทรศัพท์มือถือ (Mobile ID) ที่ผ่านประตูทางเข้าออก รูปที่ 5.3-1 แสดงภาพรวมของระบบบริการ เชื่อมต่อข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย



รูปที่ 5.3-1 ภาพรวมของระบบบริการเชื่อมต่อข้อมูล

เว็บเซอร์วิส (Web service) ที่ออกแบบ จะใช้การให้บริการแบบ REST (Representational state transfer) ซึ่งเป็นการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันของเว็บเซอร์วิสคล้ายกับ SOAP เพียงแต่รับส่งข้อมูลโดยผ่านโปรโตคอล HTTP และไม่จำเป็นต้องสร้างเอกสารอธิบายการใช้งาน ในมุมมองของผู้เรียกใช้บริการ REST เพียงแค่ให้ทราบ URL ของ REST และการอ่านข้อมูล ก็จะเรียกใช้ข้อมูลได้ นอกจากลักษณะการให้บริการข้อมูลแบบเว็บเซอร์วิส รูปแบบข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งนั้นเป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญในการให้บริการข้อมูลเว็บเซอร์วิส โดยรูปแบบข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งที่เป็นที่แพร่หลายในปัจจุบัน คือ

- XML (Extensible markup language) เป็นภาษามาร์กอัปสำหรับการใช้งานทั่วไป พัฒนาโดย W3C โดยมีจุดประสงค์เพื่อใช้เชื่อมต่อข้อมูลในระบบที่มีความแตกต่างกัน นอกจากนี้ ยังเป็นพื้นฐานในการสร้างภาษามาร์กอัปเฉพาะทางอีกชั้นหนึ่ง XML พัฒนามาจาก SGML โดยดัดแปลงให้มีความซับซ้อนลดน้อยลง XML ใช้ในแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ที่แตกต่างกัน และเน้นการแลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต

- JSON (JavaScript object notation) เป็นฟอร์แมตสำหรับแลกเปลี่ยนข้อมูลคอมพิวเตอร์ JSON นั้นอยู่ในรูปข้อความธรรมดา (Plain text) ที่มนุษย์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถอ่านเข้าใจได้ ปัจจุบัน JSON นิยมใช้ในเว็บแอปพลิเคชัน โดยเฉพาะ AJAX โดย JSON เป็นฟอร์แมตทางเลือกในการส่งข้อมูล นอกจาก XML ซึ่งนิยมใช้กันอยู่เดิม สาเหตุที่ JSON เริ่มได้รับความนิยมเป็นเพราะมีรูปแบบที่กระชับและเข้าใจได้ง่ายกว่า

เนื่องจากการรับส่งข้อมูลในปัจจุบันมีความนิยมทั้งสองรูปแบบ การให้บริการของผู้ให้บริการเว็บเซอร์วิสโดยทั่วไปจึงจำเป็นต้องให้บริการข้อมูลทั้งสองรูปแบบ ทั้งนี้ในการปรับเปลี่ยนรูปแบบระหว่างสองรูปแบบข้อมูลนี้สามารถทำได้โดยง่าย ดังนั้น การให้บริการเว็บเซอร์วิสโดยสามารถให้บริการทั้งสองรูปแบบข้อมูลนั้นจะทำให้มีความแพร่หลายในการเรียกใช้งานได้มากและสะดวกแก่ผู้เรียกใช้บริการข้อมูล โดยในระบบการให้บริการข้อมูลนี้จะใช้การให้บริการแบบ REST ซึ่งจะคืนค่าออกมาได้ทั้ง XML และ JSON

5.4 การทดสอบความถูกต้องของอุปกรณ์

ความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์อ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือเป็นปัจจัยที่ชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้น ค่าประสิทธิภาพของข้อมูลสามารถช่วยให้เราใช้ในการอ้างอิงหรือพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการเก็บข้อมูลเพื่อการเฝ้าระวังความปลอดภัย โดยทั่วไป การทดสอบความถูกต้องและประสิทธิภาพของระบบ จะกระทำโดยการสุ่มตัวอย่างจากข้อมูลปริมาณลักษณะจำเพาะของสัญญาณโทรศัพท์มือถือ (Mobile ID) ที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งอาจใช้กล้อง CCTV เพื่อเก็บข้อมูลจำนวนบุคคลเดินทางผ่านเข้าออกพื้นที่ โดยมีสมมติฐานว่า บุคคลจะพกพาอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือคนละ 1 เครื่อง

ในการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์อ่านสัญญาณโทรศัพท์ ผู้วิจัยได้เลือกช่วงของเส้นทางจากประตูด้านหน้ามหาวิทยาลัยจนถึงก่อนวงเวียนแรกหน้าอาคาร ภปร. สังเกตด้วยว่า ช่วงของเส้นทางดังกล่าวเป็นระบบปิด นั่นคือ ผู้เดินทางจะต้องผ่านประตูทางเข้า มายังวงเวียน เท่านั้น ตารางที่ 5.4-1 แสดงผลการสำรวจในช่วงเวลา 8.00 น., 14.00 น. และ 18.00 น.

ตารางที่ 5.4-1 ผลการสำรวจข้อมูลโดยใช้อุปกรณ์อ่านสัญญาณโทรศัพท์บริเวณประตูทางเข้าด้านหน้า

ช่วงเวลา		จำนวนบุคคล		ความคลาดเคลื่อน	
ชั่วโมง	นาที	ประตูด้านหน้า	วงเวียน	จำนวน	%
8	0	45	39	6	13.33
8	5	51	47	4	7.84
8	10	27	23	4	14.81
8	15	32	26	6	18.75
8	20	23	19	4	17.39
8	25	15	13	2	12.28
8	30	11	9	2	21.05
8	35	13	12	1	7.12
8	40	12	10	2	15.11
8	45	16	15	1	3.72
8	50	10	7	3	30.97
8	55	8	8	0	0.00
14	0	10	8	2	17.95
14	5	12	11	1	8.33
14	10	9	8	1	6.76

ตารางที่ 5.4-1 ผลการสำรวจข้อมูลโดยใช้อุปกรณ์อ่านสัญญาณโทรศัพท์บริเวณประตูทางเข้าด้านหน้า (ต่อ)

ช่วงเวลา		จำนวนบุคคล		ความคลาดเคลื่อน	
ชั่วโมง	นาที	ประตูด้านหน้า	วงเวียน	จำนวน	%
14	15	6	5	1	14.53
14	20	7	7	0	0.00
14	25	9	9	0	0.00
14	30	8	8	0	0.00
14	35	11	10	1	9.09
14	40	5	5	0	0.00
14	45	11	9	2	17.58
14	50	13	11	2	12.70
14	55	8	6	2	20.63
8	0	45	39	6	13.33
8	5	51	47	4	7.84
8	10	27	23	4	14.81
8	15	32	26	6	18.75
18	0	11	10	1	8.42
18	5	8	8	0	0.00
18	10	13	9	4	33.04
18	15	11	8	3	26.74
18	20	12	10	2	17.90
18	25	8	8	0	0.00
18	30	13	9	4	30.77
18	35	6	6	0	0.00
18	40	9	8	1	11.11
18	45	8	6	2	20.63
18	50	9	9	0	0.00
18	55	8	7	1	15.46

จากตารางจะเห็นได้ว่า ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างจุดเข้าออก ประตูด้านหน้ามหาวิทยาลัย และก่อนถึงวงเวียน ด้านหน้าอาคาร ภปร. โดยใช้อุปกรณ์อ่านสัญญาณโทรศัพท์โดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 12.06 และจากผลการทดลองดังกล่าว ผู้วิจัยสามารถหารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนบุคคลที่เดินทางผ่านประตูทางเข้าที่เกิดขึ้นจริง และจำนวนที่ได้จากการประมาณค่าโดยใช้ข้อมูลลักษณะจำเพาะสัญญาณโทรศัพท์มือถือ (Mobile ID) ตารางที่ 5.4-2 แสดงผลการสำรวจข้อมูลระหว่างจำนวนบุคคลที่เดินทางผ่านประตูทางเข้าที่เกิดขึ้นจริงโดยนับจากข้อมูลกล้อง CCTV และข้อมูลที่ได้จากระบบอ่านสัญญาณโทรศัพท์ โดยการสุ่มการกระจายตัวของเวลาในช่วงเวลา 8.00 น. 14.00 น. และ 18.00 น. ในแต่ละวัน

ตารางที่ 5.4-2 เปรียบเทียบข้อมูลจากการสำรวจ (CCTV) และข้อมูลสัญญาณโทรศัพท์ (Mobile ID)

วันที่	ช่วงเวลา		จำนวนบุคคล		วันที่	ช่วงเวลา		จำนวนบุคคล	
	ชั่วโมง	นาที	CCTV	Mobile ID		ชั่วโมง	นาที	CCTV	Mobile ID
16/8/2557	8	0	77	45	19/8/2557	8	0	27	13
	8	5	79	51		8	5	30	12
	8	10	59	27		8	10	31	10
	8	15	45	32		8	15	36	15
	8	20	49	23		8	20	22	9
	8	25	39	15		8	25	20	8
	8	30	30	11		8	30	19	7
	8	35	34	13		8	35	32	11
	8	40	31	12		8	40	32	9
	8	45	41	16		8	45	33	12
	8	50	26	10		8	50	28	15
	8	55	21	8		8	55	22	8
	14	0	25	10		14	0	15	9
	14	5	25	12		14	5	15	5
	14	10	22	9		14	10	17	8
	14	15	15	6		14	15	25	12
	14	20	19	7		14	20	17	8
	14	25	23	9		14	25	12	6
	14	30	20	8		14	30	16	8
	14	35	21	11		14	35	12	6

ตารางที่ 5.4-2 เปรียบเทียบข้อมูลจากการสำรวจ (CCTV) และข้อมูลสัญญาณโทรศัพท์ (Mobile ID) (ต่อ)

วันที่	ช่วงเวลา		จำนวนบุคคล		วันที่	ช่วงเวลา		จำนวนบุคคล	
	ชั่วโมง	นาที	CCTV	Mobile ID		ชั่วโมง	นาที	CCTV	Mobile ID
16/8/2557	14	40	15	5	19/8/2557	14	40	23	11
	14	45	26	11		14	45	18	7
	14	50	30	13		14	50	21	7
	14	55	18	8		14	55	16	6
	18	0	26	11		18	0	23	11
	18	5	18	8		18	5	24	8
	18	10	32	13		18	10	21	7
	18	15	26	11		18	15	12	4
	18	20	29	12		18	20	29	10
	18	25	20	8		18	25	22	8
	18	30	20	13		18	30	13	5
	18	35	14	6		18	35	24	8
	18	40	25	9		18	40	13	4
	18	45	21	8		18	45	10	3
	18	50	20	9		18	50	16	5
	18	55	23	8		18	55	17	6
17/8/2557	8	0	63	23	20/8/2557	8	0	63	21
	8	5	61	22		8	5	68	22
	8	10	62	22		8	10	54	18
	8	15	67	24		8	15	65	21
	8	20	43	15		8	20	69	24
	8	25	60	22		8	25	44	15
	8	30	35	13		8	30	50	18
	8	35	38	14		8	35	43	15
	8	40	27	10		8	40	42	15
	8	45	23	8		8	45	30	11
	8	50	24	9		8	50	35	12
	8	55	35	13		8	55	23	8
	14	0	20	7		14	0	19	7
	14	5	25	9		14	5	17	6
	14	10	16	6		14	10	13	6

ตารางที่ 5.4-2 เปรียบเทียบข้อมูลจากการสำรวจ (CCTV) และข้อมูลสัญญาณโทรศัพท์ (Mobile ID) (ต่อ)

วันที่	ช่วงเวลา		จำนวนบุคคล		วันที่	ช่วงเวลา		จำนวนบุคคล	
	ชั่วโมง	นาที	CCTV	Mobile ID		ชั่วโมง	นาที	CCTV	Mobile ID
17/8/2557	14	15	23	8	20/8/2557	14	15	15	7
	14	20	24	9		14	20	23	11
	14	25	22	8		14	25	17	8
	14	30	17	6		14	30	23	11
	14	35	25	9		14	35	18	12
	14	40	13	5		14	40	19	9
	14	45	26	9		14	45	20	13
	14	50	18	6		14	50	20	9
	14	55	20	8		14	55	19	9
	18	0	25	9		18	0	34	18
	18	5	33	23		18	5	29	15
	18	10	24	9		18	10	23	12
	18	15	19	7		18	15	26	14
	18	20	22	8		18	20	37	19
	18	25	23	8		18	25	17	9
	18	30	18	6		18	30	19	10
	18	35	16	6		18	35	24	11
	18	40	21	8		18	40	22	10
	18	45	28	10		18	45	26	11
	18	50	25	9		18	50	21	13
	18	55	21	8		18	55	25	11
18/8/2557	8	0	31	11					
	8	5	56	20					
	8	10	43	15					
	8	15	46	17					
	8	20	40	14					
	8	25	36	13					
	8	30	30	13					
	8	35	52	19					
	8	40	31	12					
	8	45	37	14					

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษา

- ❖ สรุปผลการศึกษา
- ❖ ข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษา

6.1.1 การทบทวนผลการศึกษาและข้อเสนอแนะแนวทางที่เหมาะสม

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการอ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือต้นแบบ งานศึกษาได้เปรียบเทียบเทคโนโลยีที่ใช้ในอ่านข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 5 วิธี ตามลักษณะทางเทคนิคของการเก็บข้อมูล ได้แก่ 1) GPS application 2) GPS on cloud service 3) MAC address 4) A-GPS และ 5) RF base station

เมื่อพิจารณาถึงความต้องการในการประยุกต์ในด้านการเฝ้าระวังความปลอดภัย และจากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของวิธีการเก็บข้อมูลโทรศัพท์มือถือทั้ง 5 วิธี สามารถสรุปได้ว่า การประยุกต์ใช้วิธีการเก็บข้อมูลด้วยวิธี RF base station หรือการสร้างสถานี Cell tower จำลองขนาดเล็ก เป็นแนวทางที่มีความเหมาะสมและตอบสนองความต้องการข้อมูลโดยติดตั้งอุปกรณ์ RF base station ณ บริเวณประตูทางเข้าออก นอกจากนี้ ยังสามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในการประเมินสภาพความติดขัดบริเวณประตูทางเข้าออกได้

ผลการศึกษายังได้สรุปถึงประเด็น เรื่องการละเมิดข้อมูลส่วนบุคคลของธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์และโทรศัพท์มือถือซึ่งในแต่ละประเทศยังมีความไม่ชัดเจนในข้อกำหนดเนื่องจากความซับซ้อนและการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีที่รวดเร็ว สำหรับประเทศไทยเองก็อยู่ในระหว่างขั้นตอนการร่างพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล ดังนั้น แนวทางการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากโทรศัพท์มือถือจึงมี 2 แนวทาง ได้แก่ 1) การได้รับความยินยอมจากผู้ใช้โทรศัพท์โดยตรงก่อนการใช้งานอุปกรณ์โทรศัพท์หรือซอฟต์แวร์แอปพลิเคชัน อาทิเช่น การกำหนดนโยบายข้อมูลความเป็นส่วนตัวในการใช้บริการ (Mobile phone data privacy) และ 2) การปกปิดข้อมูลของผู้ใช้ (Anonymous) ด้วยความพยายามสูงสุด (Best effort basis) ยกตัวอย่างเช่น การเข้ารหัสข้อมูลในทุกขั้นตอนระหว่างการรับส่งข้อมูล การออกแบบโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลที่เป็นอิสระต่อกันและระยะเวลาการจัดเก็บข้อมูล (เช่น การเก็บข้อมูลเฉพาะตำแหน่งล่าสุดของพนักงานโทรศัพท์มือถือ) จากการเสนอแนวทางการเก็บข้อมูลโทรศัพท์มือถือด้วยอุปกรณ์ RF based station ดังที่กล่าวมาข้างต้น การอ่านข้อมูลสัญญาณโทรศัพท์ในรูปแบบจำเพาะและการเข้ารหัสข้อมูลภายในอุปกรณ์ก่อนการเชื่อมโยงเข้าสู่ระบบเครือข่าย เป็นการปกปิดข้อมูล (Anonymous) โดยข้อมูลที่จะนำมาประมวลผลไม่สามารถอ้างอิงถึงผู้ใช้บริการโทรศัพท์ได้ นอกจากนี้ ข้อมูลดังกล่าวยังถูกนำมาใช้ประโยชน์ต่อภาคสาธารณะในด้านการเฝ้าระวังเพื่อความปลอดภัยให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในข้อยกเว้นตามรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พ.ศ. 2550 (มาตราที่ 35)

เมื่อพิจารณาด้านลิขสิทธิ์และสิทธิการใช้งานโครงการสัญญาณโทรศัพท์มือถือในประเทศไทย สำหรับโครงการพัฒนาระบบอ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือเพื่อการเฝ้าระวังความปลอดภัย ของหน่วยงานภาครัฐต่างๆ ตาม พ.ร.บ. วิทยุคมนาคม พ.ศ. 2498 สามารถขออนุญาตใช้งานอุปกรณ์ RF base station ซึ่งจัดเป็นเครื่องวิทยุคมนาคม ประเภท 2 ได้เพื่อใช้ในกิจการภายในหรือเพื่อประโยชน์ต่อสาธารณะ (มาตรา 12) ทั้งนี้ อุปกรณ์คมนาคมดังกล่าวจะต้องไม่ทำให้เกิดการรบกวนหรือขัดขวางต่อการวิทยุคมนาคม (มาตรา 26)

นอกจากการพัฒนาอุปกรณ์ RF base station เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย การขออนุญาตใช้สัญญาณโทรศัพท์ เฉพาะภายในสถานที่ราชการเพื่อการเฝ้าระวังความปลอดภัย จึงมีความเป็นไปได้ โดยเป็นการส่งเสริมและ สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับทรัพยากรโทรคมนาคมของประเทศ ตามยุทธศาสตร์ข้อที่ (6) ภายใต้แผนแม่บทกิจการ โทรคมนาคม พ.ศ.2555-2559 อีกทางหนึ่งด้วย

6.1.2 การพัฒนาระบบการอ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

ในโครงการนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนาอุปกรณ์อ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือ (RF-based station) แบบ คงที่ อุปกรณ์อาศัยข้อมูลการอัปเดตตำแหน่งของโทรศัพท์โดยอัตโนมัติ (Location update) เมื่อมีการเปลี่ยน พื้นที่การให้บริการเครือข่าย โทรศัพท์มือถือจะส่งข้อมูลรหัสสัญญาณจำเพาะ (Mobile ID) เพื่อบ่งชี้ว่า อุปกรณ์อยู่ในเขตพื้นที่ให้บริการใดเพื่อความรวดเร็วในการติดต่อสื่อสารทั้งการรับสาย (Paging request) และการโทรออก

ระบบดังกล่าวได้ถูกนำไปทดสอบการอ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือที่ประตูทางเข้าออก มหาวิทยาลัยบูรพาแบบชั่วคราว เนื่องจากงบประมาณที่ค่อนข้างจำกัด เพื่ออ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือจาก ยานพาหนะที่วิ่งผ่านเข้าออกประตูของมหาวิทยาลัย ข้อมูลสัญญาณโทรศัพท์มือถือที่อ่านได้ จะถูกเข้ารหัสเพื่อ ความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของบุคคล และส่งมายังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายจำลองที่ตั้งอยู่ที่อาคาร 50 ปี ชั้น 4 ในทุกๆช่วงเวลา 5 นาที (5-min interval) ภายระบบเครือข่ายภายใน (Intranet) ของ มหาวิทยาลัย โดยผ่านขั้นตอนการคัดกรองข้อมูลและการประมวลผลที่เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย สำหรับส่วน การแสดงผลได้พัฒนาโดยใช้ภาษา HTML5, jQuery และ PHP ซึ่งสามารถแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ได้ใน หลายๆ Platform นอกจากนี้ งานวิจัยยังได้ทดสอบความถูกต้องของอุปกรณ์ในการอ่านสัญญาณโทรศัพท์ จากผลการทดสอบพบว่า อุปกรณ์อ่านสัญญาณโทรศัพท์มีค่าความถูกต้องร้อยละ 81

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากโครงการศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์อ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือสำหรับการเฝ้าระวังความปลอดภัย เนื่องจากระยะเวลาในการดำเนินโครงการ และงบประมาณของโครงการที่มีอยู่อย่างค่อนข้างจำกัด ผู้วิจัยจึง มุ่งเน้นในการดำเนินโครงการเพื่อตอบวัตถุประสงค์และเพื่อให้ครอบคลุมของเขตของโครงการเป็นหลัก ดังนั้น ในโครงการนี้ จึงไม่สามารถดำเนินการศึกษาวิจัยในเชิงลึก การสอบเทียบอุปกรณ์ต้นแบบภายใต้สถานการณ์ ต่างๆ การติดตั้งและการพัฒนาระบบช่วยสนับสนุนการบำรุงรักษาซ่อมแซม เพื่อให้การประยุกต์ใช้งาน อุปกรณ์อ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ แม้ว่าการดำเนินการในขั้นตอน การขออนุญาตในการพัฒนาและใช้งานอุปกรณ์เครื่องวิทยุโทรคมนาคมสำหรับอุปกรณ์อ่านสัญญาณ โทรศัพท์มือถือในรูปแบบ RF based station หรือ Cell tower จำลองขนาดเล็ก จะมีความเป็นไปได้ แต่ อาจจะพบข้อจำกัดในรายละเอียดเชิงนโยบาย หรืออุปสรรคอื่นๆเมื่อมีการดำเนินการขออนุญาตการใช้งานจริง อาทิเช่น ความล่าช้าในการขออนุญาตการใช้งานโครงข่ายสัญญาณ การขอรับรองมาตรฐานการใช้งานอุปกรณ์ สื่อสารความถี่สูง เป็นต้น อย่างไรก็ตาม เราสามารถสรุปข้อเสนอแนะของโครงการ เป็นข้อๆดังต่อไปนี้

- 1) อุปกรณ์อ่านสัญญาณโทรศัพท์ต้นแบบที่พัฒนาขึ้น เป็นแบบ Semi-passive นั่นคือ อาศัยทั้งการ รับและการส่งข้อมูลระหว่างสถานีและโทรศัพท์มือถือ (Tx and Rx transmission) ทำให้การออกแบบและ พัฒนาอุปกรณ์จะต้องอาศัยขั้นตอนที่ค่อนข้างซับซ้อนและส่งผลให้อุปกรณ์มีราคาแพง นอกจากนี้ ระบบการ รับส่งข้อมูลแบบ Semi-passive ดังกล่าว อาจจะทำให้การขออนุญาตการใช้งานโครงข่ายโทรศัพท์เกิดความ ล่าช้า เนื่องจากจะต้องมีรายงานการศึกษาผลกระทบจากการใช้งานอุปกรณ์อ่านสัญญาณโทรศัพท์ที่พัฒนาขึ้น

และในแต่ละสถานที่ที่ติดตั้งอุปกรณ์ ดังนั้น การศึกษาและพัฒนาระบบ Passive ในงานวิจัยถัดไป คือ อาศัยการรับข้อมูลลักษณะจำเพาะจากโทรศัพท์เพียงอย่างเดียว (Rx signal) จะช่วยให้อุปกรณ์มีราคาถูกลงมากและส่งผลให้มีความคุ้มค่าต่อการลงทุนและการขยายผลของโครงการวิจัยเพิ่มมากขึ้น

2) การทดสอบตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์อ่านจับสัญญาณโทรศัพท์ โดยตำแหน่งการติดตั้งจะส่งผลต่อขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์ (อัลกอริทึม) ที่ใช้ในการประมวลผลการอ่านสัญญาณโทรศัพท์ที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น การติดตั้งอุปกรณ์ที่ตำแหน่งสูงด้านหน้า (Overhead) จะมีความไวต่อการรับส่งข้อมูลสัญญาณโทรศัพท์ (Mobile ID) ที่มาก แต่จะมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งค่อนข้างสูง รวมทั้งอาจจะเกิดสูญเสียของสัญญาณในสายนำสัญญาณความถี่สูงเนื่องจากต้องเดินสายเป็นระยะไกลหรือต้องใช้ความชำนาญในการติดตั้งระบบสูง ในกรณีการติดตั้งอุปกรณ์บริเวณประตูทางเข้าออกสามารถติดตั้งและเชื่อมต่อระบบสื่อสารข้อมูลได้ง่าย แต่ต้องอาศัยกำลังส่งในระดับที่เหมาะสม และต้องอาศัยการออกแบบเสาอากาศเฉพาะพื้นที่ที่มีลำคลื่นครอบคลุมเฉพาะเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยฯ ดังนั้น การเลือกตำแหน่งการติดตั้งและการพัฒนาอัลกอริทึมในการประมวลผลเพื่ออ่านสัญญาณโทรศัพท์จะต้องมีความสอดคล้องกัน และเหมาะสมกับการใช้งานมากที่สุด

3) การพัฒนาอุปกรณ์อ่านสัญญาณโทรศัพท์ที่รองรับย่านความถี่ในช่วงที่กว้างขึ้น (GSM multi-band radio) โดยการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ WBX (Wide bandwidth transceiver) ในย่านความถี่ 50 – 2900 MHz สามารถทำงานร่วมกับระบบเครือข่าย 3G และ 4G ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น รวมทั้งอุปกรณ์ภาคกำลังส่งสัญญาณแบบหลายความถี่ที่มีตัวแยกสัญญาณภายในตัว จะทำให้ชุดอุปกรณ์อ่านสัญญาณโทรศัพท์มีขนาดเล็กและมีความน่าเชื่อถือสูง อย่างไรก็ตาม การพัฒนาระบบดังกล่าวมีขั้นตอนที่ซับซ้อนเพิ่มมากขึ้น และต้องการระยะเวลาในการศึกษาและพัฒนา

เอกสารอ้างอิง

- เอแบคโพลล์ (2547) “ปัญหาด้านความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของ ปัญหาด้านความปลอดภัยในชีวิต และทรัพย์สินของประชาชน: กรณีศึกษา ประชาชนที่เคยประสบเหตุในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล”
- สำนักงานตำรวจแห่งชาติ (2553) “สรุปจำนวนคดีอาชญากรรม เฉพาะที่ได้รับแจ้ง ในปี 2553”
- กสทช. (2555) “รายงานประชุมคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคม ครั้งที่ 18/2555 เรื่องการจัดทำแผนปฏิบัติการภายใต้แผนแม่บทกิจการโทรคมนาคม ฉบับที่ 1 พ.ศ.2555-2559, เข้าถึงเมื่อ 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2557
- ชวลิต รักเหลือ และธรรณต์ หงส์นรา (2549) “สายอากาศสายอากาศไมโครสตริปชนิดแผ่นแบบอาร์เรย์ที่มีการโพลาริซัแบบวงกลม,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- Autopia (2010) “Cellphone Networks and the Future of Traffic,” Retrieved April 10, 2012, <http://www.wired.com/autopia/2011/03/cell-phone-networks-and-the-future-of-traffic/>
- Bar-Gera, H. (2007) “Evaluation of a cellular phone-based system for measurements of traffic speeds and travel times: a case study from Israel,” *Transportation Research Part C*, vol. 15, pp. 380 – 391.
- Bayen, A. (2008) “Mobile millennium – participatory traffic estimation using mobile phones,” Research Report, Department of Civil and Environment Engineering, UC Berkeley.
- Bekhor, S., Cohen, Y., and Solomon, C. (2011) “Evaluation long-distance travel patterns in Israel by tracking cellular phone positions,” to appear in *Journal of advanced transportation*.
- Caceres, N., Wideberg, J.P., and Benitez, F.G. (2007) “Deriving origin-destination data from a mobile phone network,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation System*, vol. 1, no. 1, pp. 15 – 26.
- Caceres, N., Wideberg, J.P., and Benitez, F.G. (2008) “Review of traffic data estimations extracted from cellular network,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation System*, vol. 2, no. 3, pp. 179 – 192.
- Calabrese, F., Colonna, M., Lovisolo, P., and Ratti, C. (2011) “Real-time urban monitoring using cellular phones: a case-study in Rome,” to appear in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*.
- Calavrese, F., and Lorenzo, G.D. (2011) “Estimating origin-destination flows using mobile phone location data,” *Large-Scale Opportunistic Sensing*, *IEEE Pervasive Computing*, pp. 36 – 44.
- Evans, H., Gale, P., Aljibouri, B., and Lim, E.G. (2000) “Korolkciwicz and A. Sambell,

- “Application of simulated annealing to design of serial feed sequentially rotated 2 x 2 antenna array,” *Electronics Letter* 23rd, vol. 36, no. 24, pp. 1987 - 1988.
- Florida department of transportation (2007) “Travel time estimation using cell phones for highway and roadways,” Research Report, Florida Department of Transportation
- Florida Department of Transportation (2012) “Travel time data collection,” White Paper.
- Friedrich, M. Jehlicka, P., Otterstaetter, T., and Schlaich, J. (2008) “Mobile phone data for telematic applications,” In: *Proceedings of International Multi-Conference on Engineering and Technological Innovation*, Orlando, Florida.
- Gao, R., Wang, Wang, S., and Lu, Y. (2012) “Privacy preserving traffic speed estimation via mobile probe,” *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, vol. 6, no. 1, pp. 446 – 453.
- Jing, W. Dianhai, W., Xianmin, S., and Di, S. (2011) “Dynamic OD expansion method based on mobile phone location,” In: *Proceedings of 4th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*.
- Kuwahara, M., and Chung, E. (2007) “Mapping personal trip OD from probe data,” *International Journal of ITS Research*,” vol. 5, no. 1.
- Lawer.com (2011) “Cell phone privacy,” Retrieved April 10, 2012, from <http://communications-media.lawyers.com/privacy-law/Cell-Phone-Privacy.html>
- Nouwt, S. (2008) “Reasonable expectations of geo-privacy?,” Retrieved April 10, 2012, <http://www.law.ed.ac.uk/ahrc/script-ed/vol5-2/nouwt.asp>
- Qiu, Z., Jin, J. Cheng, P., and Ran, B. (2007) “State of the art and practice: cellular probe technology applied in advanced traveler information system,” *Transportation Research Board*, Washington D.C., USA
- Range Network (2012) “OpenBTS public release,” Retrieved March 29, 2012, <http://wush.net/trac/rangepublic>
- Ramm, K., Czommer, R., and Scgwieger, V. (2006) “Map based positioning using mobile phones,” *Shaping the Change XXIII FIG Congress*, Munich, Germany.
- Ratti, C., Frenchman, D., Pulselli, R.M., and Williams, S. (2006) “Mobile Landscapes: using location data from cell phones for urban analysis,” *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 33, pp.727-728.
- Road traffic technology (2011) “Beijing's geo-location master plan – the privacy pitfall,” Retrieved April 10, 2013, <http://www.roadtraffic-technology.com/features/feature121805/>
- Rose, G. (2006) “Mobile phones as traffic probes: practices, prospects and issues,” *Transport Reviews*, vol. 26, no. 3, pp. 275 -291.
- Smith, B.L., Zhang, H., Fontaine, M.D., and Green, M.W. (2004) “Wireless location technology-

- based traffic monitoring: critical assessment and evaluation of an early-generation system,” *Journal of Transportation Engineering*, vol. 130, no. 5, pp. 576 – 584.
- Sohn, K., and Hwang K. (2008) “Space-based passing time estimation on a freeway using cell phones as traffic probes,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation System*, vol. 9, no. 3, pp. 559 – 568.
- Syme, R. (2010) “Privacy of a mobile phone user in a rapidly evolving technological framework,” Research Report, School of Mathematical and Geospatial Sciences, RMIT University.
- Tao, S., Manolopoulos, V., Rodriguez, S., and Rusu, A. (2012) “Real-time urban traffic state estimation with A-GPS mobile phones as probes,” *Journal of Transportation Technologies*, vol.2, pp. 22-31.
- The register (2011) “UK cops must justify using new mobile interception tech,” Retrieved April 10,2013, from http://www.theregister.co.uk/2011/11/02/polics_must_justify_using_communication_interception_tech/
- Transportation studies center University of Maryland (1997) “CAPITAL-ITS operational test and demonstration program,” Final Evaluation Report.
- Vlist, M., Rutten, B., Wloff, P. (2004) “GSM as the source for traffic information,” In: proceedings of European Transport Conference, Strasbourg, France.
- Wiltschko, T., Schwieger, V., and Mohlenbrink, W. (2007) “Acquisition of traffic state information by mobile phone positioning,” 6th European Congress on ITS, Aalborg, Denmark.
- Yanjun, Z., Aixin, C., Shunfeng, C., and Donglin, S. (2009) “Design of a circularly polarized 8×8 patch antenna array using a new series-parallel feed,” *Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technology for Wireless Communications*, 2009 3rd IEEE International Symposium, pp. 411 – 414.
- Yim, Y. (2003) “The state of cellular phone probes,” California PATH Paper UCB-ITS-PRR-2003-25, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley.
- Yuan, Y., Guan, W., and Qiu, W. (2010) “Map matching of mobile probes based on handover location technology,” *IEEE*
- Zhou, X., Sharma, S., and Peeta, S. (2011) “Development of mobile probe-based traffic data fusion and flow management platform for innovative public-private information based partnerships,” Research report, NEXTRANS Project No. 040PY02, USDOT Region V Regional University Transportation Center.