โปรแกรมวิเคราะห์และจำลองขอบเขตที่สัญญาณครอบคลุมของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

โดย

นางสาวฐาปนี	ไทยวิโรจน์	รหัสนักศึกษา B4602323
นางสาวศิริภิญญา	อาสา	รหัสนักศึกษา B4609315
นางสาวศิวพร	ศิริรัตนาพานิชย์	รหัสนักศึกษา B4609391

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษารายวิชา 427499 โครงงานวิศวกรรมโทรคมนาคม

ประจำภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2549

หลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ.2546

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

หัวข้อโครงงาน	โปรแกรมวิเคราะห์และจำลองขอบเขตที่สัญญาณครอบคลุมของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่
นักศึกษา	นางสาวฐาปนี ไทยวิโรจน์ รหัสนักศึกษา B4602323
	นางสาวศิริภิญญา อาสา รหัสนักศึกษา B4609315
	นางสาวศิวพร ศิริรัตนาพานิชย์ รหัสนักศึกษา B4609391
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
พ.ศ.	2549
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน	อ.ดร.ชุติมา พรหมมาก

บทคัดย่อ

ปัจจุบันระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่มีบทบาทต่อวิถีการดำรงชีวิตประจำวัน สังคม การทำงาน การติดต่อธุรกิจ การส่งผ่านข่าวสาร มากขึ้นและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีและครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการ ตำแหน่งที่ต่างกันส่งผลให้ระยะห่างระหว่างผู้ใช้กับอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณต่างกัน ทำให้คุณภาพของสัญญาณ ณ ตำแหน่งที่ต่างกันไม่เท่ากัน การรู้ว่าตำแหน่งที่สัญญาณครอบคลุมถึงและความแรงของสัญญาณ ณ ตำแหน่งที่ต่างกันจึงเป็นสิ่งสำคัญ โครงงานนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษา วิเคราะห์และจำลองขอบเขตบริเวณที่สัญญาณครอบคลุมถึงของสถานีฐาน ณ ตำแหน่งที่ต่างกัน ซึ่งสามารถแสดงค่าความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) เป็นระดับสี ซึ่งความเข้มของสีจะสัมพันธ์กับระดับความแรงของสัญญาณ โดยทำการป้อนอินพุท คือ ค่าพารามิเตอร์ของสถานีฐานแล้วทำการประมวลผล ซึ่งผู้จัดทำใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic 2005 เป็นโปรแกรมหลักในวิเคราะห์และจำลองขอบเขตการครอบคลุมของสัญญาณของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

กิตติกรรมประกาศ

คุณความดีอันใดที่เกิดจากโครงงานฉบับนี้ ขอมอบแด่ครอบครัวของข้าพเจ้า ผู้คอยห่วงใย ให้โอกาส ให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนทางการศึกษามาโดยตลอด

โครงงานเล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. ชุติมา พรหมมาก ผู้ที่เป็นเจ้าของแนวคิดเริ่มแรกของโปรแกรมวิเคราะห์และจำลองขอบเขตที่สัญญาณครอบคลุมของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่ให้ความช่วยเหลือในการให้แนวคิด การดูแลเอาใจใส่ติดตามงาน ชี้แนะข้อพกพร่องที่ข้าพเจ้ามองข้าม ตลอดจนฝึกฝนและสนับสนุนข้าพเจ้าให้มีความสามารถในการทำโครงงานจนสามารถนำเสนอผลงานให้เป็นที่รู้จักและยอมรับได้

ขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องอื่นๆดังนี้

ขอขอบคุณอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่าน ที่สั่งสอนให้ความรู้ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

ขอขอบคุณอาจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีสายอากาศในการทำโครงงานจนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณอาจารย์สถิตโชค โพธิ์สอาด, อาจารย์ธรรมศักดิ์ เธียรนิเวศน์ และ คุณวริญทร เจนชัย ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับโปรแกรม Microsoft Visual Basic 2005 จนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณ คุณมณีรัตน์ ทุมพงษ์ เลขานุการการประจำสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่ให้ความสะดวกในการติดต่อกับอาจารย์

ขอขอบคุณคุณประพล จาระตะคุ วิศวกรประจำอาคารเครื่องมือ 3 ที่ช่วยเป็นธุระติดต่อการเบิกจ่ายค่าอุปกรณ์ต่างๆ รวมไปถึงการประสานงานการขอใช้เครื่องมือด้วย

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกคนที่เป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด

นางสาวฐาปนี ไทยวิโรจน์
นางสาวศิริภิญญา อาสา
นางสาวศิวพร ศิริรัตนาพานิชย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตการทำงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่	
2.1 ประวัติของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์	4
2.2 โครงสร้างและองค์ประกอบของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่	6
2.3 การทำงานของระบบเซลลูลาร์	8
2.4 ลักษณะของสายอากาศที่ใช้	10
2.4 1 Omni Directional Antenna	10
2.4.2 Sector Antenna	11
2.5 Propagation Model	13
2.5.1 คุณลักษณะการลดทอน	13
2.5.1.1 การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss)	13
2.5.1.2 แบบจำลองการสูญเสียกำลังของ Okumura	17
2.5.1.3 แบบจำลองของ Hata	19
2.6 Antenna Pattern (แบบรูปการแผ่พลังงานหรือแบบรูปกระจายคลื่น)	21
2.6.1 Omni directional (แบบรอบทิศทางในระนาบเดี่ยว)	21
2.6.2 Directional and Sector (แบบมีทิศทาง)	22
2.7 คุณสมบัติของสายอากาศ	23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.8 การโพลาไรซ์ (Polarization) 23

2.9 อัตราขยาย (Gain) 24

2.10 ความกว้างแถบ (Bandwidth) 25

บทที่ 3 การสร้างโปรแกรมและการใช้งานโปรแกรม

3.1 ความน่าสนใจของโครงงาน 28

3.2 โครงสร้างของโปรแกรม 29

3.3 การทำงานด้าน Graphics ของตัวโปรแกรมที่เขียนโดย Visual Basic 30

3.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวโปรแกรม 31

3.5 สมการที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ในตัวโปรแกรม 31

3.5.1 Path-Loss Models (แบบจำลองของ Hata) 31

3.5.2 สมการคำนวณหาค่ากำลังที่รับได้ (Pr) จากตัวสถานีฐาน ณ ตำแหน่งใด ๆ 32

3.5.3 สมการที่ใช้ในการแปลงกำลังในหน่วยวัด Watt เป็น dBm 33

3.6 การใช้งานโปรแกรม 35

3.6.1 ภาพรวมของโปรแกรม 35

3.6.2 วิธีการใช้งานตัวโปรแกรม Step by Step 36

บทที่ 4 ผลการคำนวณจากโปรแกรม

4.1 ตัวอย่างที่ 1 46

4.2 ตัวอย่างที่ 2 48

4.3 ตัวอย่างที่ 3 51

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป 54

5.2 ปัญหาและอุปสรรค 55

5.3 ขีดจำกัดของโครงงาน 55

5.4 ข้อเสนอแนะ 56

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	57
ประวัติผู้เขียน	58
ภาคผนวก ก. Antenna Pattern	59
ภาคผนวก ข. อธิบายโปรแกรม	62

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	แสดงบล็อกไดอะแกรมพื้นฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่	6
รูปที่ 2.2	ส่วนประกอบและคุณสมบัติของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่	7
รูปที่ 2.3	แสดงโมบายล์และสถานีฐาน	9
รูปที่ 2.4	Omni directional Antennas	10
รูปที่ 2.5	แสดงเซลล์บริเวณของสนามของสัญญาณที่ส่งออกจากสายอากาศ	11
รูปที่ 2.6	Directional Antennas	11
รูปที่ 2.7	Sector directional Cell	12
รูปที่ 2.8	แสดงแหล่งกำเนิดสัญญาณแบบทุกทิศทุกทาง	14
รูปที่ 2.9	ค่าการลดทอนของสัญญาณในบริเวณเมือง (urban) โดยเทียบอยู่กับค่าการสูญเสียของสัญญาณในบริเวณอากาศว่าง ตามแบบจำลองของ Okumura ความสูงของสายอากาศ ของสถานีฐานเท่ากับ 200 เมตร และความสูงของสายอากาศโทรศัพท์เท่ากับ 3 เมตร	17
รูปที่ 2.10	ค่าแฟกเตอร์แก้ไข (correction factor) สำหรับการส่งสัญญาณในบริเวณพื้นที่มีสภาพต่างไปจากสภาพในเมือง	18
รูปที่ 2.11	Omni directional Antenna and Coverage Patterns	21
รูปที่ 2.12	แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแบบรอบตัวในระนาบเดี่ยว	22
รูปที่ 2.13	แบบรูปการแผ่กำลังงานแบบมีทิศทาง	22
รูปที่ 2.14	Directional Antenna and Coverage Patterns	22
รูปที่ 2.15	Sector Antenna and Coverage Patterns	23
รูปที่ 3.1	โครงสร้างของโปรแกรม	29
รูปที่ 3.2	Flow Chart ของโปรแกรมในส่วนของความแรงของสัญญาณ (Signal Strength)	34
รูปที่ 3.3	แสดงการเริ่มเข้าสู่โปรแกรม	36
รูปที่ 3.4	แสดง Toolbar ของโปรแกรม	36
รูปที่ 3.5	แสดงการเปิด file แผนที่ของโปรแกรม	39
รูปที่ 3.6	แสดงค่า Base Station Dialog	41
รูปที่ 3.7	แสดง Coverage Area	44

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.1	แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สายอากาศแบบ Omni directional ของสถานีฐานที่ 1	46
รูปที่ 4.2	แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สายอากาศแบบ Omni directional ของสถานีฐานที่ 2	47
รูปที่ 4.3	แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สายอากาศแบบ Omni directional ของสถานีฐานที่ 3	47
รูปที่ 4.4	โปรแกรมทำการประมวลผล แสดงระดับครอบคลุมของสัญญาณที่ได้รับใช้สายอากาศแบบ Omni directional	48
รูปที่ 4.5	แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สายอากาศแบบ Directional ของสถานีฐานที่ 1	49
รูปที่ 4.6	แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สายอากาศแบบ Directional ของสถานีฐานที่ 2	49
รูปที่ 4.7	แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สายอากาศแบบ Directional ของสถานีฐานที่ 3	50
รูปที่ 4.8	โปรแกรมทำการประมวลผล แสดงระดับครอบคลุมของสัญญาณที่ได้รับใช้ สายอากาศแบบ Directional	50
รูปที่ 4.9	แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สายอากาศแบบ Omni directional และใช้สายอากาศแบบ Directional ของสถานีฐานที่ 1	51
รูปที่ 4.10	แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สายอากาศแบบ Omni directional และใช้สายอากาศแบบ Directional ของสถานีฐานที่ 2	51
รูปที่ 4.11	แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สายอากาศแบบ Omni directional และใช้สายอากาศแบบ Directional ของสถานีฐานที่ 3	52
รูปที่ 4.12	แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สายอากาศแบบ Omni directional และใช้สายอากาศแบบ Directional ของสถานีฐานที่ 4	52
รูปที่ 4.13	โปรแกรมทำการประมวลผล แสดงระดับครอบคลุมของสัญญาณที่ได้รับใช้สายอากาศแบบ Omni directional และใช้สายอากาศแบบ Directional	53

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงการพัฒนาของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่	6
ตารางที่ 2.2	ตัวอย่างค่า n ที่ใช้ในการคำนวณการสูญเสียเชิงวิถีในบริเวณต่าง ๆ	13
ตารางที่ 3.1	การเปรียบเทียบกำลังของสัญญาณที่รับได้โดยใช้แบบจำลองสองแบบ	22
ตารางที่ 4.1	แสดงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของสถานีฐานที่ 1, 2, 3 โดยใช้สายอากาศแบบ Omni directional	46
ตารางที่ 4.2	แสดงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของสถานีฐานที่ 1, 2, 3 โดยใช้สายอากาศแบบ Sector 120 องศา	48

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ปัจจุบันระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่มีบทบาทต่อวิถีการดำรงชีวิตประจำวัน สังคม การทำงาน การติดต่อธุรกิจ การส่งผ่านข่าวสาร มากขึ้นและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีและครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการ ตำแหน่งที่ต่างกันส่งผลระยะห่างระหว่างผู้ใช้กับอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณต่างกัน ทำให้คุณภาพของสัญญาณ ณ ตำแหน่งที่ต่างกันไม่เท่ากัน การรู้ว่าตำแหน่งที่สัญญาณครอบคลุมถึงและความแรงของสัญญาณ ณ ตำแหน่งที่ต่างกันจึงเป็นสิ่งสำคัญ โครงงานนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษา วิเคราะห์และจำลองขอบเขตบริเวณที่สัญญาณครอบคลุมถึง ณ ตำแหน่งที่ต่างกัน ซึ่งสามารถแสดงค่าความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) เป็นระดับสี ซึ่งความเข้มของสีจะสัมพันธ์กับระดับความแรงของสัญญาณ โดยทำการป้อนอินพุทคือค่าพารามิเตอร์ของสถานีฐาน แล้วทำการประมวลผลโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์และจำลองขอบเขตการครอบคลุมของสัญญาณของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

เมื่อกล่าวถึงระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ หมายถึง ความสามารถของแม่ข่ายหรือที่เรียกว่า สถานีฐาน (Base Station) ที่ทำให้ลูกข่ายหรือผู้ใช้โทรศัพท์ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ สามารถใช้โทรศัพท์หรือสนทนาเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ไม่ถูกขัดจังหวะเมื่อลูกข่ายเคลื่อนที่ไปด้วย นั้นคือเทคนิคที่เรียกว่า แฮนด์ออฟ (Hand Off) หรือ แฮนด์โอเวอร์ (Hand Over) ในขณะสนทนาคู่สนทนาทั้งสองฝ่ายจะอยู่บนช่องสัญญาณเสียง (Voice Channel) ที่สถานีฐานจะกำหนดให้ เมื่อลูกข่ายเดินทางออกไปนอกพื้นที่ให้บริการของสถานีแรก การรับและส่งสัญญาณระหว่างตัวเครื่องกับสถานีฐานเริ่มอ่อนลง สถานีแรกก็จะทำการขอแฮนโอเวอร์ ไปยังชุมสายถ้าในสถานีถัดไปมีช่องสัญญาณ ระบบก็จะทำการสลับช่องสัญญาณเสียง ไปยังสถานีใหม่ โดยจะไม่มีการขัดจังหวะการสนทนาของผู้ใช้เกิดขึ้นและหากลูกข่ายเคลื่อนที่ออกไปนอกพื้นที่ให้บริการตามปกติ เครื่องลูกข่ายก็ยังคงสามารถโทรได้หากในบริเวณดังกล่าวมีสถานีฐานติดตั้งอยู่ การที่เครื่องลูกข่ายเดินทางไปในพื้นที่ต่างๆ อย่างไม่สามารถคาดคะเนได้จะถูกเรียกว่า โรมมิ่ง (Roaming)

จากคุณสมบัติของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ การทำแฮนด์ออฟ (Hand Off) หรือ แฮนด์โอเวอร์ (Hand Over), การโรมมิ่ง (Roaming) ทำให้ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่มีผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้การสื่อสารด้วยวิธีนี้ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ควบคุมดูแลพื้นที่ให้บริการการสื่อสารอุปกรณ์นี้เราเรียกว่า สถานีฐาน (Base Station) ซึ่งตำแหน่งในการวางตัว Base Station นั้นมีความสำคัญมาก ในการที่จะทำให้ระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ของเราสมบูรณ์ที่สุด และทำให้ตัวรับสามารถรับสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

ดังนั้นโครงงานนี้จะเป็นการสร้างโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ในการคำนวณออกแบบตำแหน่งที่เหมาะสมในการหาจุดติดตั้งตัวสถานีฐาน ภายในพื้นที่ที่ต้องการจะติดตั้งระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

นอกจากนี้การนำโปรแกรม Visual Basic มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบตัวโปรแกรมนั้น ทำให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานโปรแกรมออกแบบนี้ได้ง่าย เนื่องการใช้งานเกี่ยวกับ Graphics ของโปรแกรม Microsoft Visual Basic 2005 นั้นมีฟังก์ชั่นใช้งานรองรับการออกแบบตัวโปรแกรมโครงงานนี้เพียงพอต่อความต้องการใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อรวบรวมความรู้ที่ได้ศึกษามาจากภาคทฤษฎี มาใช้ในการทำงานได้จริง
2. ศึกษาการทำงานของโปรแกรม Visual Basic เพื่อแสดงผลลงบนระบบปฏิบัติการวินโดว์และใช้ในการคำนวณสมการทางคณิตศาสตร์
3. เพื่อศึกษาและออกแบบสถานการณ์จำลองที่จะทำการวิเคราะห์ความแรงของสัญญาณ โดยใช้แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถีในทางปฏิบัติของแบบจำลองการสูญเสียกำลังของ Okumura และแบบจำลองของ Hata โดยใช้โปรแกรมภาษา Visual Basic ในการพัฒนาโปรแกรม
4. พัฒนาฟังก์ชันต่างๆของโปรแกรม Visual Basic เพื่อควบคุมและสั่งการทำงาน การคำนวณ และการแสดงผล
5. เพื่อนำโปรแกรม Visual Basic มาใช้งานร่วมกับแผนที่และการวิเคราะห์แสดงค่าความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ได้
6. พัฒนาโปรแกรมให้สามารถวิเคราะห์ผลของการใช้สายอากาศแบบ Sector Antenna

1.3 ขอบเขตการทำงาน

1. ศึกษาลักษณะการแผ่กระจายสัญญาณที่ส่งออกจากสถานีฐานโดยคำนึงถึงชนิดของสายอากาศ
2. ศึกษาสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณค่าความแรงของสัญญาณและค่า Path Loss
3. ศึกษาและเปรียบเทียบแบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถีในทางปฏิบัติของแบบจำลองการสูญเสียกำลังของ Okumura และแบบจำลองของ Hata

4. ออกแบบขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม ในส่วนของการรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ส่วนวิเคราะห์ประมวลผลและส่วนแสดงผลลัพธ์ของข้อมูล
5. เขียนโปรแกรมควบคุมการรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณสมการทางคณิตศาสตร์ แล้วให้แสดงผลออกมาเป็นแบบจำลองกราฟิกสีผ่านระบบปฏิบัติการวินโดว์ โดยที่ตัวโปรแกรมสามารถให้ผู้ใช้งานออกแบบตำแหน่งการวางตัวของสถานีฐานได้ตามที่ผู้ใช้งานต้องการ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่
2. ศึกษาทฤษฎีสายอากาศ
3. ศึกษาการใช้งานฟังก์ชันต่างๆของภาษา Visual Basic เพื่อใช้ในการออกแบบโปรแกรม
4. ศึกษาแบบจำลอง Okumura - Hata Models สำหรับการคำนวณค่า Path-Loss ที่ตำแหน่งต่าง ๆ
5. สร้างโปรแกรม โดยใช้ภาษา Visual Basic
6. แสดงผลที่ได้จากการใช้โปรแกรมออกแบบ
7. สรุปผลการทำงาน

บทที่ 2
เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

2.1 ประวัติของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์

อเล็กซานเดอร์เกร แฮม เบล เป็นผู้วางรากฐานระบบโทรศัพท์ไว้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2419 หรือประมาณร้อยปีเศษแล้ว โทรศัพท์มีพัฒนาการค่อนข้างช้า เริ่มจากการสวิตช์ด้วยคน มาเป็นการใช้ระบบสวิตช์แบบอัตโนมัติด้วยกลไกทางแม่เหล็กไฟฟ้าจำพวกรีเลย์ จนในที่สุดเป็นระบบครอสบาร์

ครั้นเข้าสู่ยุคดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ระบบโทรศัพท์ที่ใช้ได้เปลี่ยนแปลงวิธีการสวิตช์มาเป็นแบบดิจิตอล มีการแปลงสัญญาณเสียงให้เป็นดิจิตอล โดยแถบเสียงขนาด 4 กิโลเฮิร์ทซ์ต่อวินาที ใช้อัตราสุ่ม 8,000 ครั้งต่อวินาที ได้สัญญาณดิจิตอลขนาด 64 กิโลบิตต่อวินาที แถบเสียงแบบดิจิตอลจึงเป็นข้อมูลที่มีการรับส่งกันมากที่สุดในโลกอยู่ขณะนี้

ประมาณปี 1983 ระบบเซลลูลาร์เริ่มพัฒนาขึ้นใช้งาน ระบบแรกที่พัฒนามาใช้งานเรียกว่าระบบ AMPS (Analog Advance Mobile Phone Service) ระบบดังกล่าวส่งสัญญาณไร้สายแบบอะนาล็อก โดยใช้คลื่นความถี่ที่ 824-894 เมกะเฮิร์ทซ์ โดยใช้หลักการแบ่งช่องทางความถี่หรือที่เรียกว่า FDMA - Frequency Division Multiple Access

ต่อมาประมาณปี 1990 กลุ่มผู้พัฒนาระบบเซลลูลาร์ได้พัฒนามาตรฐานใหม่โดยให้ชื่อว่าระบบ GSM-Global System for Mobile Communication โดยเน้นระบบเชื่อมโยงติดต่อกันได้ทั่วโลก ระบบดังกล่าวนี้ใช้วิธีการเข้าถึงช่องสัญญาณด้วยระบบ TDMA-Time Division Multiple Access โดยใช้ความถี่ในการติดต่อกับสถานีเบสที่ 890-960 เมกะเฮิร์ทซ์

สำหรับในสหรัฐอเมริกาเองก็มีการพัฒนาระบบของตนขึ้นมาใช้ในปี 1991 โดยให้ชื่อว่า IS - 54 - Interim Standard - 54 ระบบดังกล่าวใช้วิธีการเข้าสู่ช่องสัญญาณด้วยระบบ TDMA เช่นกัน แต่ใช้ช่วงความถี่ 824-894 เมกะเฮิร์ทซ์ และในปี 1993 ก็ได้พัฒนาต่อเป็นระบบ IS-95 โดยใช้ระบบ CDMA ที่มีช่องความถี่มากขึ้นคือ 824-894 และ 1,850-1,980 เมกะเฮิร์ทซ์ ซึ่งเป็นระบบที่ใช้ร่วมกับระบบ AMPS เดิมได้

พัฒนาการของโทรศัพท์แบบเซลลูลาร์แบ่งออกเป็นยุคตามรูปของการพัฒนาเทคโนโลยีได้ดังนี้

ยุค 1G เป็นยุคแรกของการพัฒนาระบบโทรศัพท์แบบเซลลูลาร์ การรับส่งสัญญาณใช้วิธีการมอดูเลตสัญญาณอะนาล็อกเข้าช่องสื่อสารโดยใช้การแบ่งความถี่ออกมาเป็นช่องเล็ก ๆ ด้วยวิธีการนี้มีข้อจำกัดในเรื่องจำนวนช่องสัญญาณ และการใช้ไม่เต็มประสิทธิภาพ จึงติดขัดเรื่องการขยายจำนวนเลขหมาย และการขยายแถบความถี่ ประจวบกับระบบเครื่องรับส่งสัญญาณวิทยุกำหนดขนาดของเซลและความแรงของสัญญาณเพื่อให้เข้าถึงสถานีเบสได้ ตัวเครื่องโทรศัพท์เซลลูลาร์ยังมีขนาดใหญ่

ใช้กำลังงานไฟฟ้ามาก ในภายหลังจึงเปลี่ยนมาเป็นระบบดิจิตอล และการเข้าช่องสัญญาณแบบแบ่งเวลา โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ 1G จึงใช้เฉพาะในยุคแรกเท่านั้น

ยุค 2G เป็นยุคที่พัฒนาต่อมาโดยการเข้ารหัสสัญญาณเสียง โดยบีบอัดสัญญาณเสียงในรูปแบบดิจิตอล ให้มีขนาดจำนวนข้อมูลน้อยลงเหลือเพียงประมาณ 9 กิโลบิตต่อวินาที ต่อช่องสัญญาณ การติดต่อจากสถานีลูก หรือตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีเบส ใช้วิธีการสองแบบคือ TDMA คือการแบ่งช่องเวลาออกเป็นช่องเล็ก ๆ และแบ่งกันใช้ ทำให้ใช้ช่องสัญญาณความถี่วิทยุได้เพิ่มขึ้นจากเดิมอีกมาก กับอีกแบบหนึ่งเป็นการแบ่งการเข้าถึงตามการเข้ารหัส และการถอดรหัสโดยใส่แอดเดรสเหมือน IP เราเรียกวิธีการนี้ว่า CDMA - Code Division Multiple Access ในยุค 2G จึงเป็นการรับส่งสัญญาณโทรศัพท์แบบดิจิตอลหมดแล้ว

ยุค 3G เป็นยุคแห่งอนาคตอันใกล้ โดยสร้างระบบใหม่ให้รองรับระบบเก่าได้ และเรียกว่า Universal Mobile Telecommunication Systems (UMTS) โดยมุ่งหวังว่า การเข้าถึงเครือข่ายแบบไร้สาย สามารถกระทำได้ด้วยอุปกรณ์หลากหลาย เช่น จากคอมพิวเตอร์ จากเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ระบบยังคงใช้การเข้าช่องสัญญาณเป็นแบบ CDMA ซึ่งสามารถบรรจุช่องสัญญาณเสียงได้มากกว่า แต่ใช้แบบแถบกว้าง (wideband) ในระบบนี้จึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า WCDMA

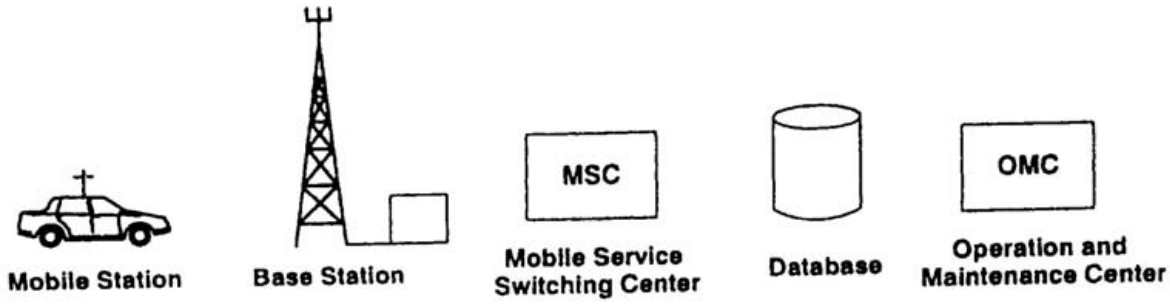
นอกจากนี้ยังมีกลุ่มบริษัทบางบริษัทแยกการพัฒนาในรุ่น 3G เป็นแบบ CDMA เช่นกัน แต่เรียกว่า CDMA2000 กลุ่มบริษัทนี้พัฒนารากฐานมาจาก IS95 ซึ่งใช้ในสหรัฐอเมริกา และยังขยายรูปแบบเป็นการรับส่งในช่องสัญญาณที่ได้อัตราการรับส่งสูง (HDR-High Data Rate)
การพัฒนาในยุคที่สามนี้ยังต้องการความเกี่ยวโยงกับการใช้งานร่วมในเทคโนโลยีเก่าอีกด้วย โดยเฉพาะในสหรัฐอเมริกาที่ยังคงให้ใช้งานได้ทั้งแบบ 1G และ 2G โดยเรียกรูปแบบใหม่เพื่อการส่งเป็นแพ็กเก็ตว่า GPRS-General Packet Radio Service ซึ่งส่งด้วยอัตราความเร็วตั้งแต่ 9.06, 13.4, 15.6 และ 21.4 กิโลบิตต่อวินาที โดยในการพัฒนาต่อจาก GPRS ให้เป็นระบบ 3G เรียกระบบใหม่ว่า EDGE-Enhanced Data Rate for GSM Evolution

ในยุค 3G นี้ เน้นการรับส่งแบบแพ็กเก็ต และต้องขยายความเร็วของการรับส่งให้สูงขึ้น โดยสามารถส่งรับด้วยความเร็วข้อมูล 384 กิโลบิตต่อวินาที เมื่อผู้ใช้กำลังเคลื่อนที่ และหากอยู่กับที่จะส่งรับได้ด้วยอัตราความเร็วถึง 2 เมกะบิตต่อวินาที

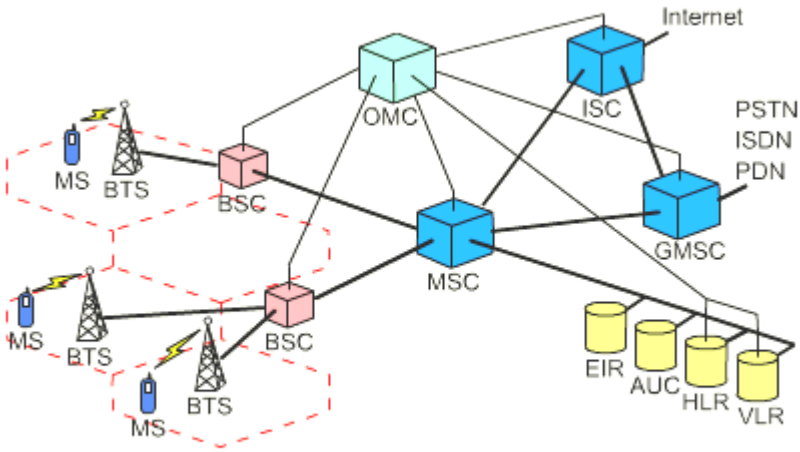
ตารางที่ 2.1 แสดงการพัฒนาของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

ระบบ	ปีที่เริ่ม	โปรโตคอลเข้าช่องสัญญาณ	ความถี่	การบริการ
AMPS	1983	FDMA	824-894	เสียง , ข้อมูลผ่านโมเด็ม
GSM	1990	TDMA/FDMA	890-960	เสียง , ข้อมูล , เพ็จจิ้ง
IS54	1991	TDMA/FDMA	824-894	เสียง , ข้อมูล , เพ็จจิ้ง
IS95	1993	CDMA	824-894 1850-1980	เสียง , ข้อมูล , เพ็จจิ้ง
DCS1900	1994	TDMA/FDMA	1840-1990	เสียง , ข้อมูล , เพ็จจิ้ง
WCMA (CDMA2000) IMT2000	หลังปี 2000	WCDMA	1885-2025 2100-2200	มัลติมีเดีย , วิดีโอ เสียง , ข้อมูล

2.2 โครงสร้างและองค์ประกอบของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่



รูปที่ 2.1 **แสดงบล็อกไดอะแกรมพื้นฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่**



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบและคุณสมบัติของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

1. **โทรศัพท์เคลื่อนที่** (Mobile Station: MS) ประกอบด้วย SIM+IMEI โดย MS ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเสียงพูดเป็นข้อมูลดิจิตอลและทำการมอดูเลตข้อมูลนั้นออก อากาศด้วยคลื่นความถี่สูงไปยังสถานีฐาน และในทางกลับกันทำหน้าที่รับสัญญาณคลื่นความถี่สูงจากสถานีฐานแปลงเป็นสัญญาณเสียงพูด และชุมสายกับมือถือจะได้รับ 3 ความถี่

1) Up-link
2) Down-link
3) การเพิ่มกำลังส่ง

2. **สถานีฐาน** (Base Station: BS: BSC) ทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารกับโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยใช้ความถี่วิทยุซึ่งหนึ่งความถี่สามารถรองรับวงจรการ สื่อสารกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ และส่วนควบคุมสถานีฐาน (Base Station Controller) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของสถานีฐานหลาย ๆ สถานี (BTS) และยังเป็น ตัวกลางในการส่งผ่านสัญญาณเสียงและสัญญาณควบคุมระหว่างสถานีฐานและชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ได้แก่

- เก็บรักษาข้อมูลประจำเซลล์ต่างๆ เช่น ความถี่ Output power
- ตัดสินใจสั่งการ Hand over ไปยัง MS แต่ละเครื่อง
- วัดสถิติของ Traffic ในเวลาต่างๆ
- สั่งการ BTS ให้ส่งสัญญาณที่จำเป็น ในการทำ Cell Set Up
- คำนวณและสั่งการให้ BTS และ MS ปรับกำลังส่งให้เหมาะสม

3. **ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่** (Mobile Telephone Exchange or Mobile Switching Center : MSC) ทำหน้าที่ควบคุมการสนทนา โดยรับผิดชอบในการสร้างวงจรสื่อสารตาม คำขอของผู้ใช้บริการ รักษาสภาพของวงจร และปลดวงจรสื่อสารเมื่อเลิกใช้งาน นอกจากนี้ให้ส่วนของชุมสาย ยังมี การเก็บข้อมูลของผู้ใช้บริการเพื่อใช้ในการตรวจสอบก่อนจะให้บริการ**ผู้ใช้บริการแต่ละราย ชุมสาย เชื่อมต่อกับชุมสาย** ของระบบโทรศัพท์อื่น ๆ เช่น เครือข่าย PSTN NMT หรือ TAC เพื่อให้ผู้ใช้บริการในแต่ละเครือข่ายสามารถโทรเรียกถึงกันได้

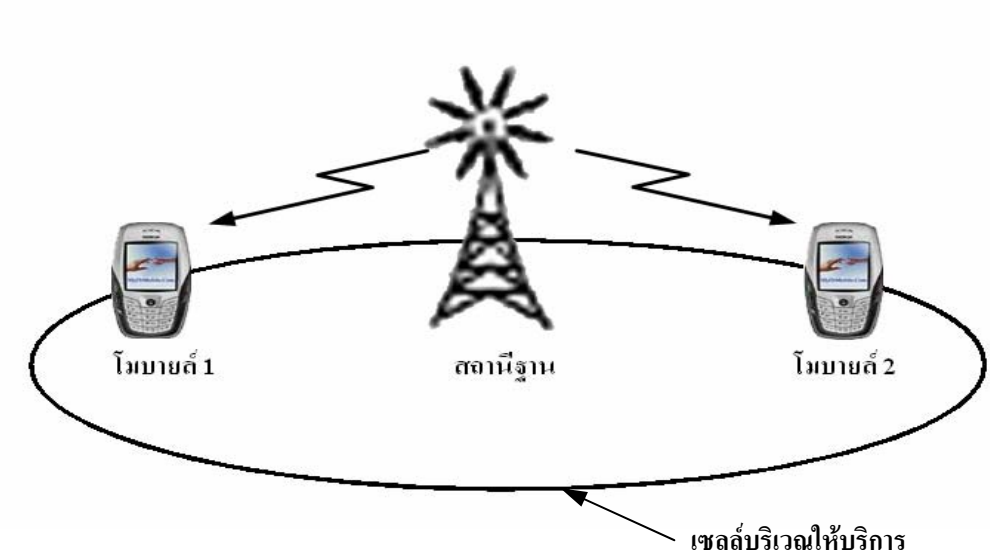
4. **ฐานข้อมูล** (Database)

- Home Location Register (HLR) เก็บข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้บริการ เช่นการ การปิดเปิดเครื่องการโทรออกและรับสาย บริการเสริม การใช้งานครั้งสุดท้าย และ HLR ติดตั้งอยู่ที่จังหวัดที่เป็น NOTEใหญ่ๆ ฐานข้อมูลทุกฐานจะทำการ Update ข้อมูลพร้อมกันจะทำให้สามารถติดต่อได้เร็วขึ้น
- Visitor Location Register (VLR) เป็นฐานข้อมูลที่ติดอยู่กับ MSC เก็บข้อมูลชั่วคราวของผู้ใช้บริการขณะมีการใช้งานอยู่ เช่น ตำแหน่งการใช้งาน
- Authentication Centre (AUC) เป็นฐานข้อมูลที่เป็นความลับ การเข้าถึงจะต้องมีการใส่รหัสผ่านด้วย

5. **ส่วนปฏิบัติการและควบคุม** (Operation & Maintenance Center : OMC) เป็นปฏิบัติการและควบคุมช่องทาง ที่จะติดต่อสื่อสารว่าช่องทางไหนสะดวกและเหมาะสมที่สุด เช่น ไมโครเวฟ ใยแก้วนำแสง และ ดูแลตรวจเช็ค CELL จุดต่างๆ

2.3 การทำงานของระบบเซลลูลาร์ สามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานได้เป็น 4 ส่วน ดังนี้

1. **เมื่อโมบายล์เริ่มเปิดเครื่อง** ในขณะที่เริ่มใช้เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ตัวเครื่องจะทำการตรวจสอบพร้อมกับค้นหา สัญญาณจากช่องสัญญาณที่มีอยู่ในอากาศเอง เมื่อตัวเครื่องตรวจพบสัญญาณที่มีระดับความแรงของสัญญาณมากที่สุด (นั่นคือสถานีฐานที่ใกล้ที่สุด) ตัวเครื่องก็จะทำการจูนเข้าหาความถี่นั้น และ หลังจากนั้นจะคงไว้ชั่วขณะจนกว่าตัวโทรศัพท์ จะเคลื่อนที่เข้าไปหาเซลล์อื่น ซึ่งมีสัญญาณแรงกว่า ในขั้นตอนนี้จะถูกเรียกว่า เป็นการค้นหาตำแหน่งของตัวโมบายล์เอง (Self-location scheme) ขั้นตอนดังกล่าว เครื่องจะจัดการเองอัตโนมัติ วิธีการดังกล่าว จะเป็นการช่วยลดโหลด บนสายส่งสัญญาณของเซลล์ต่างๆในการค้นหาตำแหน่งของโมบายล์ ข้อเสียคือ วิธีการดังกล่าวจะทำให้ระบบ ไม่สามารถ ทราบตำแหน่งของโมบายล์ที่เปิดใช้งานอยู่ ในแต่ละเซลล์ได้จนกว่า จะมีการเรียกเข้าหาโทรศัพท์จากที่อื่นและยังทำให้ระบบ ต้องใช้เวลามากขึ้นสำหรับการเรียกหาโมบายล์ การเรียกหาดังกล่าวเรียกว่าการ " เพจจิ้ง" (Paging Process)



รูปที่ 2.3 แสดงโมบายล์และสถานีฐาน

2. **เมื่อผู้ใช้โมบายล์ทำการโทรออก** ซึ่งมีได้สองกรณี เช่น โมบายล์ไปยังแลนด์ไลน์ และโมบายล์ไปยังโมบายล์ หลังจาก ผู้ใช้กดหมายเลขโทรศัพท์และ ทำการกดปุ่ม Send สัญญาณขอใช้บริการ จะถูกส่งขึ้นไปบนช่องสัญญาณโดยจะถูกเรียกว่า เซตอัพ แชนแนล (Set-up channel) ที่ตัวเครื่องได้จูนเข้าหาช่องสัญญาณไว้แล้ว ในการค้นหาตำแหน่งของตัวเอง ตัวสถานีฐาน จะหน้าที่เลือกช่องสัญญาณสำหรับการสนทนาขณะเดียวกันสถานีฐานจะติดต่อกับชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อทำการเชื่อมต่อช่องสัญญาณของผู้เรียกกับผู้รับเข้าหากัน

3. **เมื่อระบบโทรศัพท์เรียกเข้าหาตัวโมบายล์** ได้แก่แลนด์ไลน์ไปยังโมบายล์ นั่นคือมีผู้ใช้โทรศัพท์สาธารณะทำการเรียก เข้าโทรศัพท์เคลื่อนที่ชุมสายโทรศัพท์ธรรมดา จะทราบจากกลุ่มหมายเลขที่ผู้ใช้กด เช่น 081-7654-321 และจะเชื่อมสัญญาณ เข้าหาชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ จากนั้นชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ก็จะทำการเพจข้อมูลสั้นๆเข้าหาโทรศัพท์เคลื่อนที่ตามข้อมูล ที่มีอยู่ที่ชุมสายของหมายเลขนั้นและตามอัลกอริทึมในการค้นหาเครื่องลูกข่าย ในแต่ละสถานีฐานระบบจะทำการส่งข้อความ เรียก (Paging Message) ผ่านทางเซตอัพแชนแนล เมื่อเครื่องโมบายล์รับทราบว่าเป็นการเรียกเข้าหาตัวเองจะทำการ ติดต่อกลับผ่านทางเซตอัพแชนแนล ที่มีระดับความแรงของสัญญาณมากที่สุด จากนั้นสถานีฐานก็จะค้นหาช่องสัญญาณ ที่ว่างอยู่ ให้สามารถเชื่อมต่อการสนทนาได้ ตัวเครื่องโมบายล์จะทำการจูนหาความถี่ของช่องสัญญาณดังกล่าว ตามคำสั่ง ของสถานีฐาน

4. **เมื่อสิ้นสุดการสนทนา** หรือเมื่อคู่สนทนาวางหู โดยผู้ใช้เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่กดคีย์สิ้นสุดการสนทนา END จะมี สัญญาณสิ้นสุดส่งไปยังสถานีฐานและส่งสัญญาณต่อผ่านไปยังชุมสายชุมสายจะ

ยกเลิกการใช้ช่องสัญญาณดังกล่าวทั้งสองข้าง สถานีฐานก็จะยกเลิก การใช้ช่องสัญญาณที่ใช้อยู่เช่นกัน และตัวเครื่องโมบายล์ก็จะกลับไปทำการวัดสัญญาณความแรง ของเซตอัพแชนแนลอีกครั้งหนึ่ง

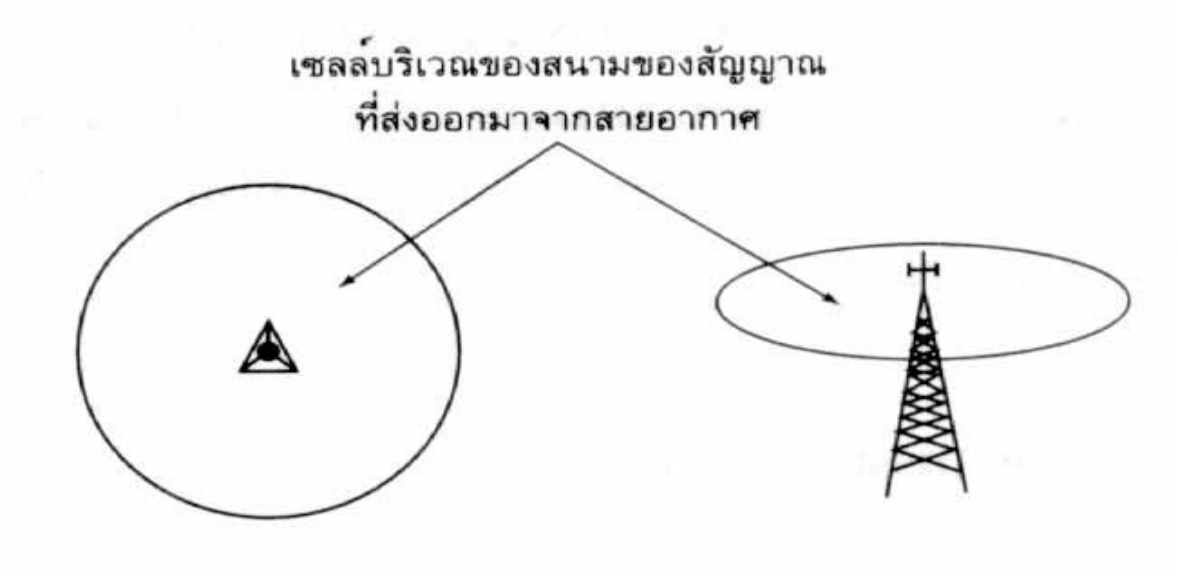
2.4 ลักษณะของสายอากาศที่ใช้

สายอากาศ (Antenna) สายอากาศเป็นตัวช่วยให้อุปกรณ์ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถแพร่กระจายคลื่นออกไปในอากาศทิศทางต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกตามการแพร่กระจายคลื่นดังนี้

2.4.1 Omni Directional Antenna หมายถึง เป็นสายอากาศที่มีลักษณะการกระจายคลื่นในแนวรอบ ๆ สายอากาศ โดยคลื่นจะถูกแพร่กระจายออกไปยังทุกทิศทาง ซึ่งสายอากาศประเภทนี้นิยมใช้ในงานภายนอกอาคาร (Outdoor) หรือใช้สำหรับการเชื่อมโยงแบบจุดไปหลายจุด

รูปที่ 2.4 Omni directional Antennas

Omni directional Cell หมายถึง Cell ที่ครอบคลุมโดยสถานีฐานที่ใช้สายอากาศส่งสัญญาณออกไปทุกทิศทุกทาง

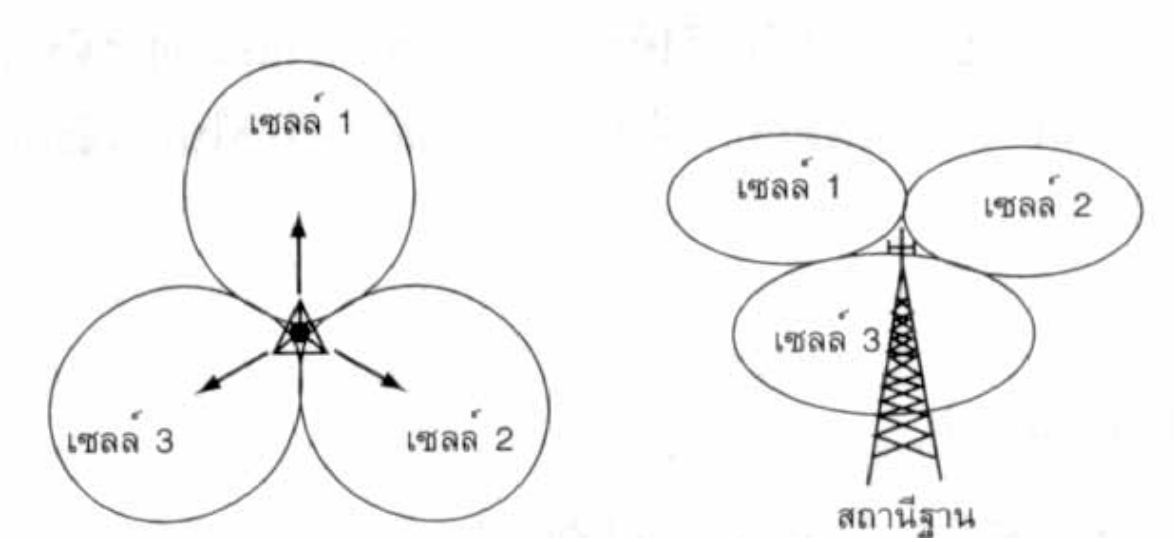


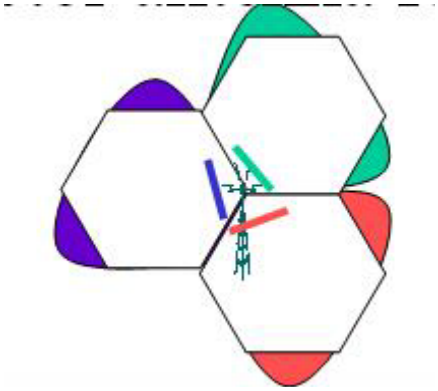
รูปที่ 2.5 **แสดงเซลล์บริเวณของสนามของสัญญาณที่ส่งออกจากสายอากาศ**

2.4.2 Sector Antenna เป็นสายอากาศที่มีลักษณะการกระจายคลื่นในแนวทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ทำให้ผู้ใช้งานสามารถบังคับทิศทางการรับส่งคลื่นได้ตามที่ต้องการ สายอากาศประเภทนี้นิยมใช้ในงานภายนอกอาคาร (Outdoor) สำหรับการเชื่อมโยงแบบจุดไปจุด

รูปที่ 2.6 Sector Antennas

Sector Cell หมายถึง Cell ที่ใช้สายอากาศ 3 ตัว แต่ละตัวครอบคลุมบริเวณ 120 องศา แต่ละสถานีฐานจะครอบคลุม Sector Cell ตั้งแต่ 1 Sector Cell จนถึง 3 Sector Cell แต่ละ Sector Cell จะใช้ 2 ความถี่ ในการส่งสัญญาณ คือความถี่หนึ่งส่งจากสถานีฐาน ไปยังเครื่องโทรศัพท์และอีกความถี่หนึ่งส่งจากเครื่องโทรศัพท์ไปยังสถานีฐาน





รูปที่ 2.7 Sector directional Cell

2.5 Propagation Model

การส่งสัญญาณในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จะใช้ความถี่ในย่านความถี่หลายร้อย MHz ไปจนถึงหลายร้อย GHz ทั้งนี้เพราะเป็นย่านความถี่ที่เหมาะสมกับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่ย่านความถี่ดังกล่าวสายอากาศที่ใช้ไม่ใหญ่มากนัก ยกตัวอย่างเช่นที่ความถี่ 900 MHz คลื่นสัญญาณจะมีค่าความยาวคลื่นเพียง 1/3 เมตร เพราะฉะนั้นสายอากาศที่ใช้ก็มีขนาดเล็กและกะทัดรัด สามารถติดตั้งกับเครื่องโทรศัพท์ได้ และถ้าหากระบบมีการใช้สายอากาศมากกว่าหนึ่งชุดในการเพิ่มประสิทธิภาพของการรับสัญญาณก็สามารถกระทำได้โดยง่ายและสะดวก เพราะการติดตั้งสายอากาศให้ห่างกันเพียงเล็กน้อยก็จะช่วยให้คุณภาพการรับสัญญาณเพิ่มขึ้นได้อย่างมาก

2.5.1 **คุณลักษณะการลดทอน**

2.5.1.1 **การสูญเสียเชิงวิถี** (Path Loss)

การสูญเสียเชิงวิถีเป็นการลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับสัญญาณโดยที่ค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณจะลดลงตามค่า d^{-n} โดย d คือ ระยะทางระหว่างภาครับและภาคส่ง ส่วน n เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งมีขนาดแตกต่างกันออกไปตามสภาพของบริเวณที่สัญญาณส่งผ่านดูตัวอย่างของค่า n สำหรับการคำนวณค่าการสูญเสียเชิงวิถีในบริเวณต่าง ๆ ในตารางที่ 2 สังเกตว่าค่าอัตราการลดทอนของสัญญาณมีขนาดที่สูงในบริเวณเมืองใหญ่ เมื่อเทียบกับบริเวณที่ว่างเปล่าเพราะมีปัญหาการบดบังของสัญญาณเนื่องมาจากตึก อาคาร และสถานที่

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างค่า n ที่ใช้ในการคำนวณการสูญเสียเชิงวิถีในบริเวณต่าง ๆ

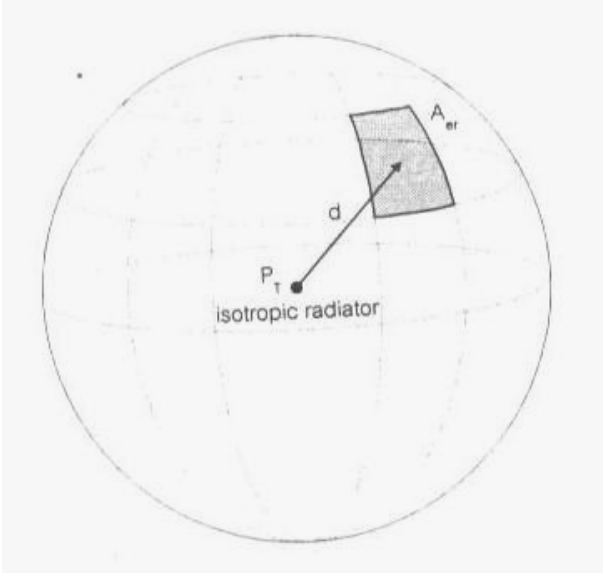
สภาพแวดล้อม	n
อากาศว่าง	2
บริเวณพื้นที่ในเมือง	2.7 – 3.5
บริเวณพื้นที่ในเมืองที่มีการบดบัง	3 – 5
ภายในอาคารที่มีเส้น LOS	1.6 – 1.8
ภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวาง	4 – 6
ภายในโรงงานที่มีสิ่งกีดขวาง	2 -3

การสูญเสียเชิงวิถีในอากาศว่าง

ในระบบสื่อสารไร้สาย (wireless communication) สัญญาณที่กำเนิดขึ้นเนื่องจากภาคส่งเช่น สถานีฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จะต้องนำไปป้อนเข้าสายอากาศ เพื่อแปลงสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ไปเป็นสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic หรือEM field) สำหรับแพร่กระจายผ่านสื่อสัญญาณซึ่งโดยทั่วไปคืออากาศ เมื่อสัญญาณเดินทางถึงภาครับเช่นเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็จะมีสายอากาศสำหรับรับสัญญาณ ซึ่งทำหน้าที่กลับกันกับที่ภาคส่งคือรับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อแปลงกลับให้เป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์อีกครั้ง ในเรื่องของการแพร่กระจายสัญญาณจะเริ่มพิจารณาจากแหล่งแผ่สัญญาณแบบทุกทิศทุกทาง ดูรูปที่ 2.8 ฉะนั้นถ้ากำหนดให้ P_T เป็นกำลังของแหล่งกำเนิดสัญญาณ แล้วความหนาแน่นกำลังของสัญญาณที่ตำแหน่งห่างออกไป d จะมีค่าเท่ากับ

$$P(d) = P_T / 4\P d^2 \qquad \text{watt} / m^2 \qquad (2.1)$$

โดย $4\P d^2$ คือ พื้นผิวของทรงกลมที่มีรัศมีเท่ากับ d



รูปที่ 2.8 แสดงแหล่งกำเนิดสัญญาณแบบทุกทิศทุกทาง

ถ้านำสายอากาศหนึ่งไปรับสัญญาณที่ตำแหน่งห่างจากภาคส่งเท่าd กำลังของสัญญาณที่รับได้จะมีค่าเท่ากับ

$$P_R = p(d) A_{er} / 4\P d^2 \qquad \text{watt} / m^2 \qquad (2.2)$$

โดย A_{er} คือขนาดพื้นที่ผิวของสายอากาศที่สามารถดูดซึมหรือรับสัญญาณได้ (effective area) ณ ที่ภาครับสัญญาณ ตามสมการต่อไปนี้

$$A_{er} = \frac{\text{total power extracted}}{\text{Incident power flux density}} \qquad (2.3)$$

ในกรณีที่เรานำสายอากาศมาใช้ส่งสัญญาณที่ภาคส่ง เราจะเรียกการนิยามพื้นที่ผิวดังกล่าวว่า A_{et} และถ้าสายอากาศที่พิจารณายังไม่มีการระบุชัดเจนว่าเป็นสายอากาศส่งหรือรับก็จะเรียกนิยามค่าขนาดพื้นที่ผิวดังกล่าวว่า A_e โดยทั่วไปขนาดของพื้นที่ผิว A_e มีความสัมพันธ์กับขนาดพื้นที่ผิวทางกายภาพของสายอากาศ A_p ดังนี้

$$A_e = \eta A_p \qquad (2.4)$$

โดย (คือ ค่าที่บ่งถึงประสิทธิภาพของสายอากาศ ซึ่งมีค่าประมาณ 0.55 **สำหรับสายอากาศแบบจานพาราโบลา** (parabolic shaped reflector) **และมีค่า** 0.75 **สำหรับสายอากาศรูปฮอร์น** (horn shaped antenna)

(gain) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า G ค่าอัตราขยายของสายอากาศนี้เป็นการเปรียบเทียบความสามารถในการรับกำลังของสัญญาณสำหรับทิศทางใดทิศทางหนึ่งเทียบกับความสามารถในการรับกำลังของสัญญาณจากพื้นผิวของทรงกลม

ค่าอัตราขยายของสายอากาศ G มีความสัมพันธ์กับขนาดพื้นที่ผิวของสายอากาศที่สามารถดูดซึมหรือรับสัญญาณ A_e ดังนี้

$$G = \frac{4\P A_e}{\lambda^2} \qquad (2.5)$$

โดย λ คือ ค่าความยาวคลื่นซึ่งสัมพันธ์กับความถี่ f ในรูป $c = \lambda f$ เมื่อ c เป็นความเร็วของแสง $3x10^8$ m / s

กลับมาพิจารณาสมการที่ (2.2) อีกครั้ง อาศัยความสัมพันธ์ตามสมการที่ (2.5) ประกอบกับการพิจารณาเพิ่มเติมถึงกรณีที่สายอากาศส่งมีค่าอัตราขยายเท่ากับ G_T ด้วย จะได้ว่า

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \quad (2.6)$$

สมการความสัมพันธ์ที่ได้นี้มีชื่อเรียกกันทั่วไปว่า Friis transmission equation

ในการส่งคลื่นสัญญาณผ่านอากาศว่าง เราจะนิยามให้ค่าการสูญเสียเชิงวิถีในอากาศว่าง (Free space path loss) มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณที่รับได้ต่อกำลังของสัญญาณที่ถูกส่งออกมา ซึ่งเป็นรูปความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$(P_R / P_T) = G_T G_R [\lambda / 4\pi d]^2 \quad (2.7)$$

โดยที่

P_R คือ กำลังของสัญญาณที่รับได้

P_T คือ กำลังของสัญญาณที่ส่งออก

G_R คือ อัตราขยายของสายอากาศรับ

G_T คือ อัตราขยายของสายอากาศส่ง

λ คือ ค่าความยาวคลื่น ซึ่ง $\lambda = c / f$ เมื่อ c เป็นความเร็วของแสง 3×10^8 m / s และ f คือ ความถี่ของสัญญาณ (Hz)

d คือ ระยะระหว่างภาครับและภาคส่ง (m)

ค่าการสูญเสียกำลังของสัญญาณในอากาศว่างโดยทั่วไปแล้วจะคิดค่าเป็นหน่วยของเดซิเบล (dB) ซึ่งมีค่าเท่ากับ

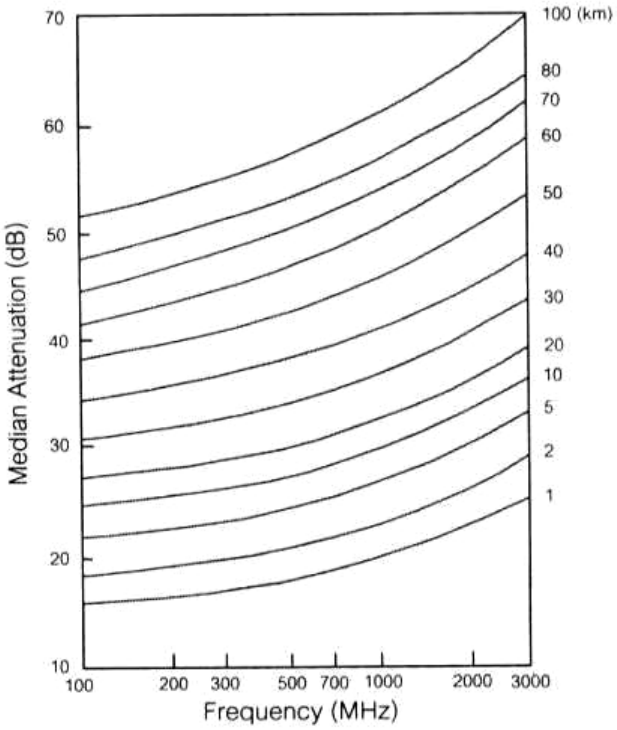
$$L_p \text{ (dB)} = 10 \log (P_T) - 10 \log (P_R)$$
$$= 32.44 + 20 \log (f) + 20 \log (d) - 10 \log (G_T) - 10 \log (G_R) \quad (2.8)$$

โดยที่ d มีหน่วยเป็น km และ f มีหน่วยเป็น MHz

จากสมการจะเห็นว่าค่าการสูญเสียจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางและค่าความถี่ของคลื่นสัญญาณ

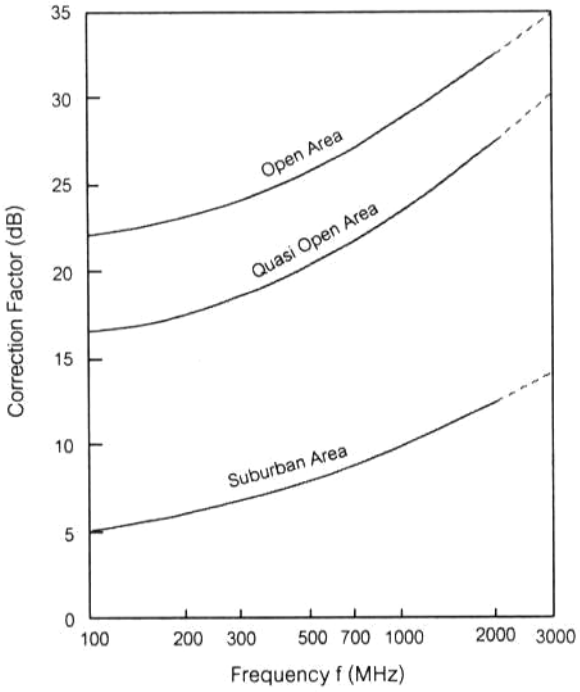
2.5.1.2 แบบจำลองการสูญเสียกำลังของ Okumura

จากที่กล่าวมาในข้างต้นจะเห็นว่าในการวิเคราะห์และจำลองหาค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากการสูญเสียเชิงวิถีในระบบจริงนั้นมีความซับซ้อนและยุ่งยากมากเพราะมีองค์ประกอบต่าง ๆ มากมายที่ต้องนำมาพิจารณา โดยเฉพาะสภาพแวดล้อมที่สัญญาณส่งผ่านซึ่งมีความแตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณการใช้งาน และยังสามารถเปลี่ยนแปลงไปหากมีการเคลื่อนไหวของผู้ใช้บริการเองหรือวัตถุรอบข้าง การคำนวณค่าการสูญเสียเชิงวิถีให้ถูกต้องอยู่ตลอดเวลาจึงเป็นเรื่องที่กระทำได้ยากมาก ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงมักอาศัยค่าประมาณที่ได้จากการวัดสภาพการใช้งานจริงเพื่อนำมาใช้ในการจำลองการลดทอนของสัญญาณของระบบ โดยแบบจำลองหนึ่งที่ได้รับความสนใจมากเป็นพิเศษคือแบบจำลองของ Okumura ซึ่งได้จากการวัดหาค่าการลดทอนของสัญญาณในบริเวณเมืองโตเกียวแล้วนำค่าที่วัดได้นี้มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อวาดเป็นกราฟสำหรับใช้ในการจำลองการส่งผ่านสัญญาณในบริเวณเมืองใหญ่ ค่าเหล่านี้ได้กำหนดให้เป็นค่ามาตรฐานกลาง และถ้าหากต้องการค่าการลดทอนของสัญญาณในบริเวณที่มีสภาพแวดล้อมต่างจากนี้ไป เช่น ในบริเวณชนบท หรือมีการเปลี่ยนค่าความสูงของสายอากาศที่ใช้ ก็จะอาศัยแฟกเตอร์ชุดหนึ่งที่เรียกว่า แฟกเตอร์แก้ไข (correction factor) ในการปรับค่าเหล่านี้ให้ถูกต้องยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.9 **ค่าการลดทอนของสัญญาณในบริเวณเมือง** (urban) **โดยเทียบอยู่กับค่าการสูญเสียของสัญญาณในบริเวณอวกาสว่างตามแบบจำลองของ** Okumura **ความสูงของสายอากาศของสถานีฐานเท่ากับ** 200 **เมตร และความสูงของสายอากาศโทรศัพท์เท่ากับ** 3 **เมตร**

รูปที่ 2.9 แสดงค่าการลดทอนของสัญญาณที่ค่าความถี่ต่าง ๆ ระหว่าง 100-3000 MHz ที่ได้จากผลการวัดของ Okumura ในบริเวณเมือง โดยความสูงของสายอากาศของสถานีฐานที่ใช้มีค่าเท่ากับ 200 เมตร และความสูงของสายอากาศโทรศัพท์เท่ากับ 3 เมตร ระยะทางระหว่างสายอากาศ 2 ชุดนั้นกำหนดให้เป็นค่าจาก 1 km ถึง 100 km สังเกตว่าค่าการลดทอนของสัญญาณมีค่าเพิ่มขึ้นตามความถี่ที่ใช้ นั่นคือยิ่งความถี่ที่ใช้สูงขึ้นก็จะมีการลดทอนของสัญญาณมากขึ้นด้วย จากกราฟในรูปจะเห็นว่าถ้าเราใช้ความถี่ 900 MHz ในการส่งสัญญาณผ่านบริเวณในเมืองในระยะ 1 km จะมีการลดทอนของสัญญาณสูงเพิ่มขึ้น 20 dB จากค่าการสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากการสูญเสียเชิงวิถีในอวกาศว่าง (free space path loss) ที่ได้อธิบายไว้ในข้างต้น



รูปที่ 2.10 ค่าแฟกเตอร์แก้ไข (correction factor) สำหรับการส่งสัญญาณในบริเวณพื้นที่มีสภาพต่างไปจากสภาพในเมือง

สำหรับกรณีที่เราต้องการหาค่าการลดทอนของสัญญาณในบริเวณชานเมืองซึ่งโดยปกติแล้วจะมีค่าการลดทอนของสัญญาณที่น้อยกว่าในเมือง เราก็จะใช้กราฟอีกรูปหนึ่งซึ่งทำหน้าที่เป็นแฟกเตอร์แก้ไข (correction factor) เพื่อนำมาลบกับค่าที่หาได้จากกราฟในรูปที่ 2.9 โดยเราได้ให้ตัวอย่างของกราฟนี้ในรูปที่ 2.10 จากเส้นกราฟจะสังเกตเห็นว่าที่ค่าความถี่สูง ๆ ค่าแฟกเตอร์แก้ไขก็มีขนาดใหญ่ขึ้น

ด้วย ซึ่งหมายความว่าการส่งสัญญาณในบริเวณชานเมืองด้วยความถี่สูง ๆ จะได้สัญญานที่มีคุณภาพดีขึ้นมากกว่าการส่งสัญญาณในเมือง

ถ้าหากสายอากาศของสถานีฐานหรือเครื่องโทรศัพท์มีความสูงที่เปลี่ยนไปหักออกจากค่าที่อ่านได้ข้างต้นโดยที่

$$G(h_b) = 20 \log (h_b / 200) \qquad 10\ m < h_b < 1000\ m \qquad (2.9)$$

$$G(h_m) = 10 \log (h_m / 3) \qquad h_m < 3\ m$$

$$G(h_m) = 20 \log (h_m / 3) \qquad 3m < h_m < 10\ m$$

โดย h_b คือ ความสูงของสายอากาศของสถานีฐาน

h_m คือ ความสูงของสายอากาศของเครื่องโทรศัพท์

สังเกตว่าการเพิ่มความสูงของสายอากาศที่สถานีฐานช่วยทำให้คุณภาพของสัญญาณดีขึ้นได้ถึง 20 dB/decade แต่ในขณะที่การเพิ่มความสูงของสายอากาศที่อุปกรณ์โทรศัพท์จะช่วยเพิ่มคุณภาพเพียง 10 dB/decade สำหรับในกรณีที่สายอากาศมีความสูงน้อยกว่า 3 m ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเราใช้สายอากาศของสถานีฐานที่มีความสูงเป็น 2 เท่า ก็คือ 400 m จะส่งผลให้สัญญาณที่รับได้มีค่าการลดทอนถึงประมาณ 6 dB

2.5.1.3 **แบบจำลองของ** Hata

แบบจำลองของ Okumura มีประโยชน์และนำมาใช้ในการประมาณค่าการลดทอนของสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากแต่ว่าการนำมาใช้งานค่อนข้างจะยุ่งยากและไม่ค่อยจะสะดวกนัก ด้วยเหตุนี้ Hata จึงได้ทำการหาชุดสมการที่สามารถนำมาจำลองและใช้แทนกราฟของ Okumura ซึ่งสมการของ Hata ได้แบ่งแบบจำลองออกเป็น 3 แบบตามสภาพแวดล้อมคือ

1.ในเมือง

$$L_p\ (dB) = 69.55 + 26.16 \log (f) + (44.9 - 6.55 \log (h_b)) \log (d) - 13.82 \log (h_b) - a (h_m) \qquad (2.10)$$

โดยที่ f คือ ค่าความถี่ของคลื่นพาห์ (MHz)

D คือ ระยะระหว่างสถานีฐานและเครื่องโทรศัพท์ (km)

h_b คือ ความสูงของสายอากาศของสถานี (m)

h_m คือ ความสูงของสายอากาศของโทรศัพท์ (m)

และ a (h_m) คือ แฟกเตอร์แก้ไข (correction factor) สำหรับขนาดความสูงของสายอากาศของเครื่องโทรศัพท์

เมืองขนาดใหญ่

$$a(h_m) = 8.29 [\log(1.54h_m)]^2 - 1.1 \quad (2.11)$$

$$a(h_m) = 3.2 [\log(11.75h_m)]^2 - 4.9$$

เมืองขนาดกลางและเล็ก

$$a(h_m) = [1.1 \log(f) - 0.7]h_m - [1.56 \log(f) - 0.8] \quad (2.12)$$

2.บริเวณชานเมืองรอบนอก

$$L_{ps}(dB) = L_p - 2[\log(f/128)]^2 - 5.4 \quad (2.13)$$

3.เขตชนบท

$$L_{po}(dB) = L_p - 4.78[\log(f)]^2 + 18.33 \log(f) - 40.94 \quad (2.14)$$

ชุดสมการของ Hata มีประโยชน์อย่างมากในทางปฏิบัติ เพราะสามารถใช้ค่าการลดทอนของสัญญาณที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากแบบจำลองของ Okumura ที่ระยะทางที่มากกว่า 1 km จึงเหมาะสมกับการนำมาใช้งานในระบบที่ใช้เซลล์ขนาดใหญ่

ตัวอย่างการคำนวณ แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถีแบบต่างๆ

อุปกรณ์ส่งสัญญาณเครื่องหนึ่งมีกำลังส่งเท่ากับ 10 W จงคำนวณหากำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ตำแหน่ง 1 km, 2km, 5km, 10km และ 20km และ ในการคำนวณนั้นให้ใช้แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถีแบบต่างๆ ดังนี้

(ก) การสูญเสียเชิงวิถีในอวกาศว่าง (free space path loss)

(ข) แบบจำลองของ Hata ที่ใช้งานในบริเวณเมืองใหญ่

ทั้งนี้กำหนดให้ f=1800 MHz, h_t= 40 m, h_r =3 m, G_t = G_r=0 dB

วิธีทำ

P_T = 100log (10000mW) = 40 dBm

(ก) อาศัยสมการที่ (2.8) จะสามารถคำนวณหา P_R

ที่ตำแหน่ง 1 km

$$P_R\,(\text{dBm}) = P_T\,(\text{dBm}) - (32.44 + 20\log(f) + 20\log(d) - 10\log(G_T) - 10\log(G_R))$$
$$= 40-(32.44+20\log(1800)+20\log(1)-0-0)$$
$$= -57\ \text{dBm}$$

ที่ตำแหน่ง 2 km

$$P_R\,(\text{dBm}) = P_T\,(\text{dBm}) - (32.44 + 20\log(f) + 20\log(d) - 10\log(G_T) - 10\log(G_R))$$
$$= 40-(32.44+20\log(1800)+20\log(2)-0-0)$$
$$= -63.57\ \text{dBm}$$

ที่ตำแหน่ง 5 km

$$P_R\,(\text{dBm}) = P_T\,(\text{dBm}) - (32.44 + 20\log(f) + 20\log(d) - 10\log(G_T) - 10\log(G_R))$$
$$= 40-(32.44+20\log(1800)+20\log(5)-0-0)$$
$$= -71.53\ \text{dBm}$$

ที่ตำแหน่ง 10 km

$$P_R\,(\text{dBm}) = P_T\,(\text{dBm}) - (32.44 + 20\log(f) + 20\log(d) - 10\log(G_T) - 10\log(G_R))$$
$$= 40-(32.44+20\log(1800)+20\log(10)-0-0)$$
$$= -77.55\ \text{dBm}$$

ที่ตำแหน่ง 20 km

$$P_R\,(\text{dBm}) = P_T\,(\text{dBm}) - (32.44 + 20\log(f) + 20\log(d) - 10\log(G_T) - 10\log(G_R))$$
$$= 40-(32.44+20\log(1800)+20\log(20)-0-0)$$
$$= -83.57\ \text{dBm}$$

(ข) อาศัยสมการที่ (2.10) จะสามารถคำนวณหา P_R

ที่ตำแหน่ง 1 km

$$P_R\,(dBm) = P_T\,(dBm) - (69.55 + 26.16 \log (f) + (44.9 - 6.55 \log (h_b)) \log (d) - 13.82 \log (h_b) - a\,(h_m))$$

$$P_R\,(dBm) = 40 - (69.55 + 26.16 \log (1800) + (44.9 - 6.55 \log (40)) \log (1) - 13.82 \log (40) - (3.2[\log(11.75*3)]^2\text{-}4.97))$$

$$= -89.88\ dBm$$

ที่ตำแหน่ง 2 km

$$P_R\,(dBm) = 40 - (69.55 + 26.16 \log (1800) + (44.9 - 6.55 \log (40)) \log (2) - 13.82 \log (40) - (3.2[\log(11.75*3)]^2\text{-}4.97))$$

$$= -100.24\ dBm$$

ที่ตำแหน่ง 5 km

$$P_R\,(dBm) = 40 - (69.55 + 26.16 \log (1800) + (44.9 - 6.55 \log (40)) \log (5) - 13.82 \log (40) - (3.2[\log(11.75*3)]^2\text{-}4.97))$$

$$= -113.93\ dBm$$

ที่ตำแหน่ง 10 km

$$P_R\,(dBm) = 40 - (69.55 + 26.16 \log (1800) + (44.9 - 6.55 \log (40)) \log (10) - 13.82 \log (40) - (3.2[\log(11.75*3)]^2\text{-}4.97))$$

$$= -124.28\ dBm$$

ที่ตำแหน่ง 20 km

$$P_R\,(dBm) = 40 - (69.55 + 26.16 \log (1800) + (44.9 - 6.55 \log (40)) \log (20) - 13.82 \log (40) - (3.2[\log(11.75*3)]^2\text{-}4.97))$$

$$= -134.6\ dBm$$

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบกำลังของสัญญาณที่รับได้โดยใช้แบบจำลองสองแบบ

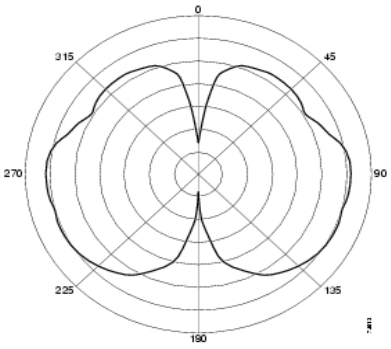
ระยะทาง d (km)	กำลังของสัญญาณที่รับได้ (dBm)	
	free space path loss	Hata's path loss
1	-57.0	-89.88
2	-63.57	-100.24
5	-71.55	-113.93
10	-77.55	-124.28
20	-83.57	-134.6

2.6 Antenna Pattern (แบบรูปการแผ่พลังงานหรือแบบรูปกระจายคลื่น)

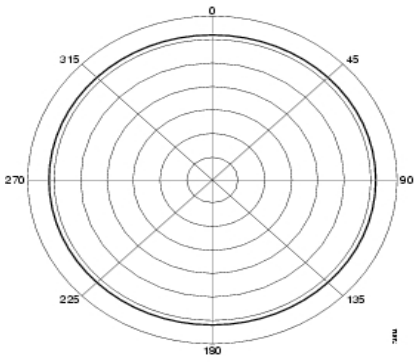
แบบรูปการแผ่พลังงานหรือแบบรูปกระจายคลื่นของสายอากาศ ได้ถูกนิยามว่า "เป็นการนำเสนอคุณสมบัติในการแผ่กำลังงานของสายอากาศในรูปของกราฟิกหรือในรูปของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของพิกัดตำแหน่ง (Space Coordinates) ในการพิจารณาแบบรูปการแผ่กำลังงานจะต้องกระทำในบริเวณสนามระยะไกล (Far-Field Region) เท่านั้น และจะนำเสนอในรูปฟังก์ชันของพิกัดทิศทาง (Directional Coordinates) เสมอ ซึ่งคุณสมบัติการแผ่กำลังงานนี้สามารถที่จะพิจารณารวมถึงความหนาแน่นของเส้นแรงกำลังงาน (Power Flux Density) ความเข้มการแผ่กำลังงาน (Radiation Intensity) ความแรงของสนาม (Field Strength) เฟสของสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity Phase) หรือการแยกขั้วคลื่น (Polarization) ได้" ชนิดของแบบรูปการแผ่กำลังงานสามารถแบ่งออกเป็น

2.6.1 Omni directional (แบบรอบทิศทางในระนาบเดี่ยว)

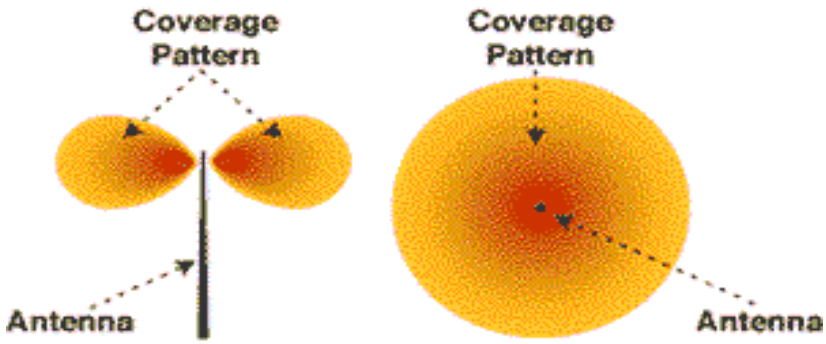
แบบรอบทิศทางในระนาบเดี่ยว (Omni directional Pattern) โดยมีนิยามว่า "เป็นแบบรูปการแผ่กำลังงานที่ไม่มีทิศทางในระนาบที่กำหนดให้ในที่นี้คือมุมกวาด (Azimuth) และระนาบที่อยู่ตั้งฉากกันจะมีแบบรูปการแผ่กำลังงานเป็นแบบมีทิศทาง ในกรณีคือมุมเงย (Elevation)



มุมเงย (Elevation)

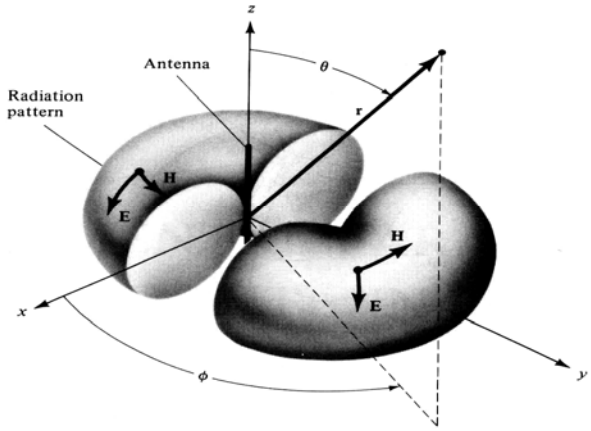


มุมกวาด (Azimuth)



มุมเงย (Elevation) **มุมกวาด** (Azimuth)

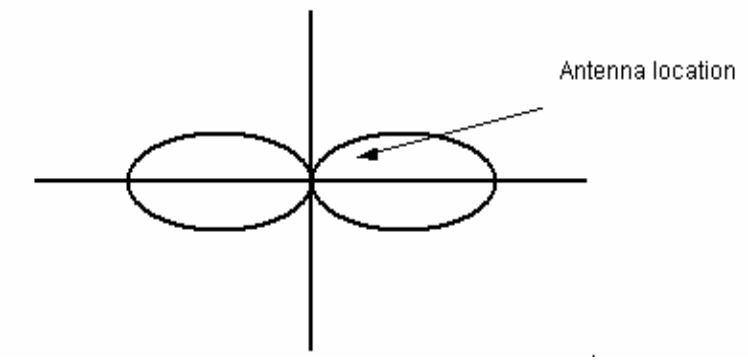
รูปที่ 2.11 Omni directional Antenna and Coverage Patterns



รูปที่ 2.12 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแบบรอบตัวในระนาบเดี่ยว

2.6.2 Directional and Sector (แบบมีทิศทาง)

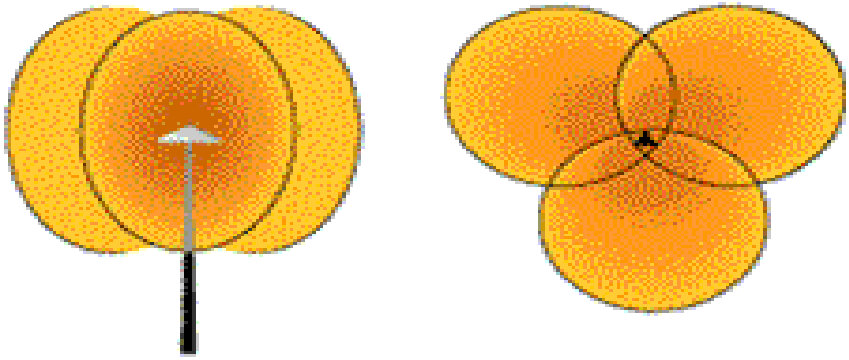
สายอากาศแบบมีทิศทาง (Directional Antenna) คือ “สายอากาศที่มีคุณสมบัติในการแผ่กำลังงานหรือรับคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากกว่าทิศทางอื่น ๆ ” ซึ่งคำนี้มักจะนำมาใช้กับสายอากาศที่มีสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุด (Maximum Directivity) มากกว่าจะใช้กับสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศไดโพลความยาวครึ่งคลื่น (Half-wave Dipole)



รูปที่ 2.13 **แบบรูปการแผ่กำลังงานแบบมีทิศทาง**

มุมเงย (Elevation) มุมกวาด (Azimuth)

รูปที่ 2.14 Directional Antenna and Coverage Patterns



มุมเงย (Elevation) มุมกวาด (Azimuth)

รูปที่ 2.15 Sector Antenna and Coverage Patterns

2.7 **คุณสมบัติของสายอากาศ**

สำหรับคุณสมบัติของสายอากาศที่จะทำหน้าที่เป็นสายอากาศตัวส่งที่ดีนั้น จะต้องเป็นสายอากาศที่ทำให้สายอากาศภาครับสามารถรับสัญญาณได้ดีที่สุด นั่นคือ ไม่ว่าสายอากาศภาครับจะอยู่ทางทิศใด ของสายอากาศภาคส่ง และมีการโพลาไรซ์เป็นแบบใด ก็ควรที่จะสามารถรับคลื่นจากสถานีส่งได้

2.8 **การโพลาไรซ์** (Polarization)

สายอากาศภาคส่งควรจะมีการโพลาไรซ์แบบวงกลม (Circular Polarization) การโพลาไรซ์ของคลื่นที่เดินทางออกจากสายอากาศนั้น สามารถกำหนดให้มีลักษณะที่เป็นวงรีหรือวงกลมก็ได้ (ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสายอากาศด้วย) การโพลาไรซ์แบบวงรี (Elliptical Polarization) จะเกิดจากการรวมกันของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าสองเวกเตอร์ (โดยพิจารณาให้ทั้งสองเวกเตอร์มีการโพลาไรซ์เป็นแบบ

เชิงเส้น) ซึ่งมีความถี่เดียวกัน แต่วางตั้งฉากซึ่งกันและกันและเดินทางไปในทิศทางเดียวกัน และในขณะที่คลื่นเคลื่อนที่ออกไปนั้น ความสัมพันธ์เชิงเฟสและเชิงแอมพลิจูดของเวกเตอร์ทั้งสองจะมีค่าแตกต่างกัน อีกกรณีหนึ่งก็คือ ถ้าแอมพลิจูดของทั้งสองเวกเตอร์มีค่าเท่ากัน และทั้งสองเวกเตอร์มีเฟสต่างกัน 90 องศาอย่างแท้จริง โพลาไรซ์ที่ได้จะเปลี่ยนไปเป็นการโพลาไรซ์เป็นแบบวงกลม (Circular Polarization) แต่ถ้าเวกเตอร์ใดเวกเตอร์หนึ่งมีแอมพลิจูดเป็นศูนย์ การโพลาไรซ์ก็จะกลายเป็นแบบเชิงเส้น จะเห็นว่าการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นและแบบวงกลมจะเป็นกรณีพิเศษที่เป็นผลจากการโพลาไรซ์แบบวงรี

วิธีการที่จะได้การโพลาไรซ์แบบวงกลมนั้น สนามไฟฟ้าจะต้องถูกทำให้หมุนและเคลื่อนที่ไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีหลายวิธีที่สามารถจะทำให้เกิดขึ้นได้

วิธีแรก ก็คือ การส่งคลื่นออกไปทั้งที่เป็นการโพลาไรซ์ทางแนวตั้งและการโพลาไรซ์ทางแนวนอน โดยให้มีความต่างเฟสของคลื่นเท่ากับ 90 องศา คล้ายกับการสร้างภาพวงกลมให้ปรากฏบนออสซิลโลสโคปโดยการป้อนสัญญาณรูปไซน์ที่ต่างเฟสกัน 90 องศาเข้าที่อินพุตของแกน X และแกน Y

อีกวิธีหนึ่ง ก็คือ การส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดรูปเกลียวซึ่งมีขนาดที่เหมาะสม คลื่นดังกล่าวจะเดินทางเข้าไปในเกลียวของขดลวด ซึ่งจะทำให้เกิดการหมุนของสนามไฟฟ้าไปตามแนวเกลียวของขดลวดอย่างรวดเร็ว ซึ่งวิธีนี้ ก็คือ หลักการทำงานพื้นฐานของสายอากาศแบบเกลียวนั่นเอง

การหมุนของสนามไฟฟ้านั้น สามารถที่จะเกิดขึ้นได้ทั้งในทิศทางตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกา ถ้าเรากำมือขวาและให้นิ้วชี้ถึงนิ้วก้อยของมือขวาชี้แสดงทิศทางของการหมุนของสนามไฟฟ้าโดยให้นิ้วหัวแม่มือชี้ไปในทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นที่เดินทางออกไปในอากาศ เราจะเรียกการโพลาไรซ์ในลักษณะนี้ว่า การโพลาไรซ์แบบวนขวา (Right-Hand Circular Polarization) สำหรับในทิศทางที่หมุนตรงกันข้ามกัน เราจะเรียกลักษณะนี้ว่า การโพลาไรซ์แบบวนซ้าย (Left-Hand Circular Polarization)

สำหรับการโพลาไรซ์แบบวงกลมนี้ ผลกระทบของการแยกโดดเดี่ยวแบบข้ามขั้วจะเห็นได้อย่างชัดเจนมาก สายอากาศที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมวนขวาจะไม่สามารถรับสัญญาณที่ส่งมาด้วยการโพลาไรซ์วงกลมแบบวนซ้ายได้ รวมทั้งในทางกลับกันด้วย แต่อย่างไรก็ตามสายอากาศเหล่านี้สามารถที่จะรับสัญญาณจากสายอากาศที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นได้เช่นกัน แต่จะเกิดการลดทอนของสัญญาณถึงหนึ่งเท่าตัว (3 dB)

ถึงแม้ว่าการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นน่าจะเพียงพอสำหรับการประยุกต์ใช้งานในหลายๆ สถานการณ์ แต่การโพลาไรซ์แบบวงกลมจะมีประโยชน์อย่างมากในการสื่อสารที่ต้องการความแน่นอน ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจน ก็คือ การติดต่อสื่อสารระบบดาวเทียม ซึ่งเป็นเรื่องยากที่จะกำหนดให้ลักษณะการวางตัวของสายอากาศให้คงที่ได้ ดังนั้นถ้าใช้สายอากาศที่มีการโพลาไรซ์เป็นแบบเชิงเส้น อาจจะทำให้เกิดการจางหายของสัญญาณเมื่อการวางตัวของสายอากาศเปลี่ยนไป แต่ถ้าเป็นการโพลาไรซ์แบบ

วงกลม ความแรงของสัญญาณที่รับได้ค่อนข้างที่จะคงที่ โดยไม่สนใจว่าสายอากาศของดาวเทียมจะหมุนตัวไปอย่างไร เช่นเดียวกับการติดต่อสื่อสารวิทยุระบบ FM ซึ่งหากสายอากาศภาคส่งมีการโพลาไรซ์แบบวงกลมแล้ว ไม่ว่าสายอากาศภาครับจะวางตัวในทิศทางใด ก็สามารถรับคลื่นจากสถานีส่งได้

2.9 อัตราขยาย (Gain)

ก. อัตราขยายจริง (Absolute Gain) ของสายอากาศ (ในทิศทางที่กำหนดให้) หมายถึง อัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานในทิศทางที่กำหนดให้ ต่อความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานที่ได้รับเข้ามา

ข. อัตราขยายสัมพัทธ์ (Relative Gain) หมายถึง อัตราส่วนของอัตราขยายกำลังงานในทิศทางที่กำหนดให้ ต่ออัตราขยายกำลังงานของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น โดยกำลังงานที่ป้อนให้กับอินพุตของสายอากาศจะต้องเหมือนกันทั้งสองตัว โดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ก็คือ สายอากาศที่เป็นแหล่งกำเนิดไอโซทรอปิกที่ไม่มีการสูญเสีย (Lossless Isotropic Source) และสายอากาศแบบไดโพล

2.10 ความกว้างแถบ (Bandwidth)

ความกว้างแถบของสายอากาศ ถูกนิยามว่า ย่าความถี่ที่ยังอยู่ภายในสภาวะที่สายอากาศยังสามารถทำงานได้ สภาวะดังกล่าวพิจารณาจากคุณสมบัติบางตัวของสายอากาศ และให้เป็นไปตามมาตรฐานกำหนด ความกว้างแถบจะพิจารณาจากช่วงของความถี่ที่ต่ำกว่าและสูงกว่าความถี่กลาง (Center Frequency) ซึ่งสภาวะการทำงานของสายอากาศที่ยอมรับได้ จะต้องสามารถทำงานได้ตลอดย่านความถี่นี้

บทที่ 3
การสร้างโปรแกรมและการใช้งานโปรแกรม

3.1 ความสามารถของโปรแกรม

1. สำหรับตัวโครงงานนี้ สามารถทำการโหลดแผนที่มาลงในตัวโปรแกรมได้จริง โดยไม่จำกัดขนาดภาพแผนที่ แต่ขนาดภาพแผนที่ต้องไม่เกินขนาดของหน้าจอแสดงภาพ และสามารถนำมาคำนวณได้โดยการนำโปรแกรม Visual Basic มาใช้ในการคำนวณ และง่ายต่อการใช้งาน

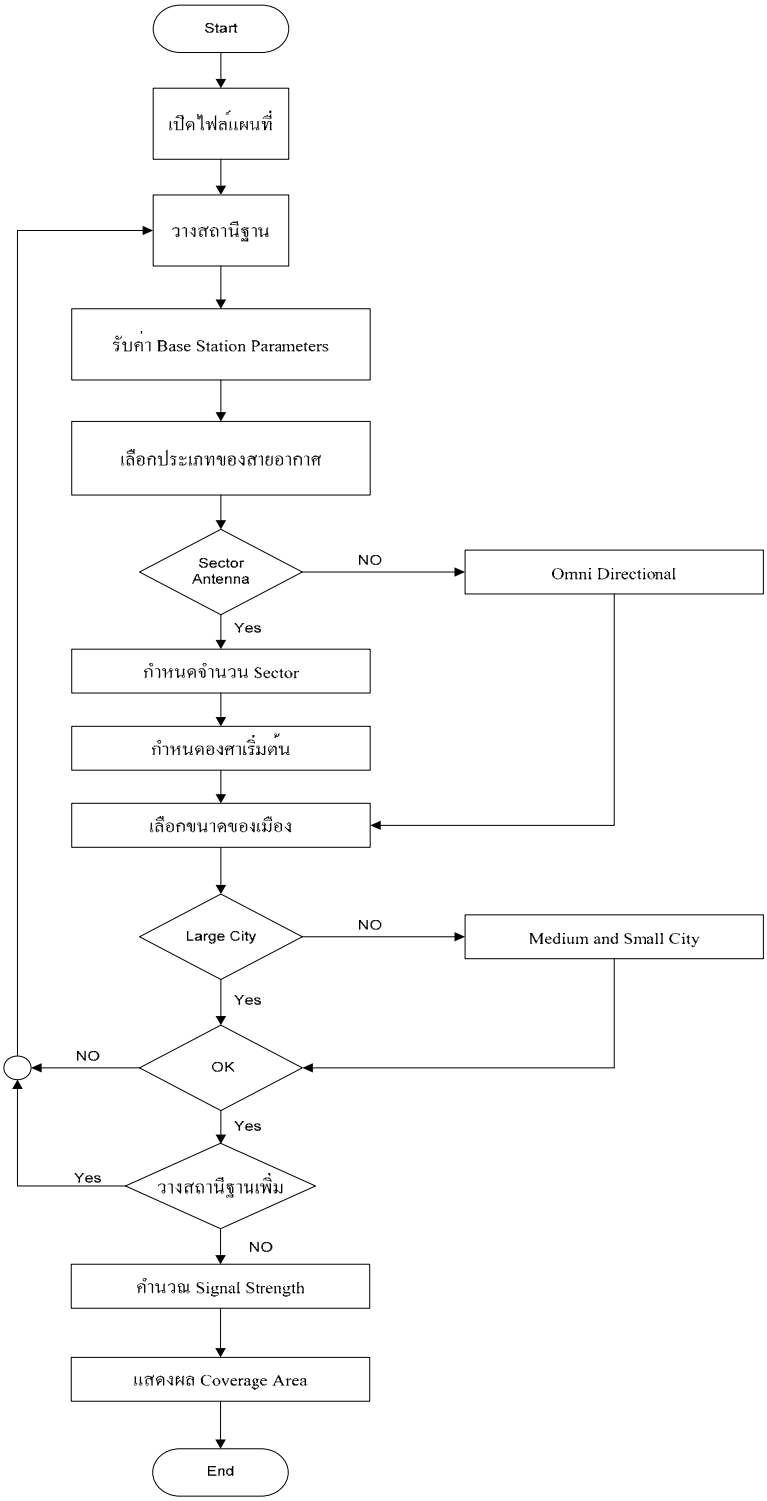
2. โปรแกรมนี้สามารถคำนวณค่าต่าง ๆ จากภาพแผนที่ เช่น การสูญเสียเนื่องจากระยะทางของทุกพิกัดบนแผนที่ นอกจากนี้ยังสามารถแสดงระดับความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ณ จุดต่าง ๆ ออกมาเป็นระดับสีต่างๆ แล้วแต่ระดับความเข้มมากน้อยของสัญญาณได้

3.โปรแกรมนี้สามารถวิเคราะห์ความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ของสถานีฐาน โดยสามารถวางสถานีฐานได้มากถึง 20 สถานีฐาน ต่อการประมวลผลในแต่ละครั้ง แล้วแสดงออกมาเป็นระดับสีต่างๆ แล้วแต่ระดับความเข้มมากน้อยของสัญญาณได้

4. โปรแกรมนี้มีเมนูที่เข้าใจง่าย และสะดวกต่อผู้ใช้เป็นอย่างมาก เนื่องจากในปัจจุบันมีการใช้งานตัวโปรแกรมจากต่างประเทศซึ่งยังมีราคาที่สูงอยู่มาก ซึ่งทางผู้จัดทำโครงงานจึงออกแบบตัวโปรแกรมนี้ขึ้นมาเพื่อประหยัดเวลา ประหยัดค่าใช้จ่าย และทำการวิเคราะห์ความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) โดยทำการออกแบบให้สามารถหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งสถานีฐาน ได้ในระยะเวลาน้อยกว่าการหาตำแหน่งโดยการวัดสัญญาณเป็นอย่างมาก ภายในพื้นที่ที่ต้องการจะติดตั้งระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

5. โปรแกรมนี้ยังสามารถวิเคราะห์ความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ของสถานีฐานที่ใช้สายอากาศทั้งแบบกระจายรอบทิศทาง (Omni directional antenna) และสายอากาศแบบเจาะจงทิศทาง (Sector antenna) ได้

3.2 โครงสร้างของโปรแกรม



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของโปรแกรม

3.3 การทำงานด้าน Graphics ของตัวโปรแกรมที่เขียนโดย Visual Basic

การทำงานที่เกี่ยวกับด้าน Graphics ในตัวโปรแกรมที่เขียนด้วย Visual Basic หรือที่เราเรียกกันว่า Graphics User Interface (GUI) นั้นจะใช้ในการโต้ตอบกับผู้ใช้โปรแกรมในรูปของ Object ต่างๆ ซึ่งเป็นการโปรแกรมเชิงวัตถุ หรือ OOP (Object Oriented Program) เช่น การลงสี การสร้างปุ่มกด รวมไปถึงการสร้างช่องสำหรับให้ผู้ใช้งานกรอกข้อมูลต่าง เป็นต้น ซึ่งเราจะนำข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากผู้ใช้งานมาทำการคำนวณต่อไป ดังนั้นในตัวโปรแกรมเราจึงต้องมีการเรียกดึงข้อมูลจากตำแหน่งต่างๆ มาคำนวณรวมกับพารามิเตอร์ที่เราใส่ให้ไปดังที่จะกล่าวต่อไปนี้

การนำตำแหน่งต่าง ๆในแผนที่มาเก็บเป็นข้อมูล

เมื่อผู้ใช้ทำการวางสถานีฐานลงบนแผนที่แล้ว โปรแกรมนี้จะทำการคำนวณหาค่าระยะทางระหว่างจุดที่วางสถานีฐานกับจุดพิกัดของภาพแผนที่โดยเริ่มคำนวณตั้งแต่ตำแหน่งพิกัดที่ 0, 0 ไปจนถึง ตำแหน่งพิกัดสุดท้ายของแผนที่

การเก็บข้อมูลตำแหน่งต่าง ๆ ของแผนที่ในโปรแกรมนี้นั้นจะไล่เก็บไปทีละจุด โดยเริ่มเก็บจากตำแหน่งพิกัดที่ 0, 0 ไปจนถึง ตำแหน่งพิกัดสุดท้าย ซึ่งจะทำการวน Loop ไปตามคอลัมน์ในแถวแรกจนครบก่อน จากนั้นจะทำการวน Loop ไปตามคอลัมน์ในแถวต่อไป จะวน Loop เช่นนี้ไปจนถึงแถวสุดท้าย หรือวนไปจนถึงตำแหน่งสุดท้ายของแผนที่

โดยมีสมการที่ใช้ในการคำนวณหาระยะทางดังนี้

$$d = \left| \sqrt{(X - X_0)^2 + (Y - Y_0)^2} \right|$$

(X_0 , Y_0) = ตำแหน่งของการวางสถานีฐาน

(X , Y) = ตำแหน่งที่จะคำนวณระยะทางวัดเทียบกับสถานีฐาน

จากนั้นนำระยะทางที่ได้ในแต่ละตำแหน่งมาเปรียบเทียบเป็นค่าพิกเซล โดยมีสมการที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

$$dis\tan ce = \left| \sqrt{((X - X_0)/scalepix)^2 + ((Y - Y_0)/scalepix)^2} \right|$$

$scalepix$ = จำนวนค่าพิกเซลต่อกิโลเมตร

ซึ่งนำระยะทางที่ทำการเปรียบเทียบค่าพิกเซลแล้ว ไปใช้เป็นพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ตัวโปรแกรมต่อไป

3.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวโปรแกรม

- ค่ากำลังในการส่งของสถานีฐาน ที่วัดในหน่วย dBm
- ค่าอัตราขยายของสายอากาศตัวส่งของสถานีฐาน ที่วัดในหน่วย dB
- ค่าอัตราขยายของสายอากาศตัวรับของสถานีฐาน ที่วัดในหน่วย dB
- ค่าความถี่ของสถานีฐานที่ใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่วัดในหน่วย MHz
- ค่าความสูงของสายอากาศของสถานีฐาน ที่วัดในหน่วย m
- ค่าความสูงของสายอากาศของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่วัดในหน่วย m
- ค่าการลดทอนเนื่องจากระยะทาง (Path-Loss Models) ที่วัดในหน่วย dB
- ค่าพิกเซลต่อกิโลเมตร (*scalepix*)

3.5 สมการที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ในตัวโปรแกรม

3.5.1 Path-Loss Models (แบบจำลองของ Hata)

แบบจำลองของ Okumura เป็นสมการเริ่มแรกสำหรับการวิเคราะห์และคำนวณค่าของ Path-Loss (L_p) ซึ่งค่าที่ได้จากสมการนี้นั้นจะเป็นค่าความสูญเสียอันเนื่องจากระยะทางเพียงอย่างเดียว มีประโยชน์และนำมาใช้ในการประมาณค่าการลดทอนของสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากแต่ว่าการนำมาใช้งานค่อนข้างจะยุ่งยากและไม่ค่อยจะสะดวกนัก ด้วยเหตุนี้ Hata จึงได้ทำการหาชุดสมการที่สามารถนำมาจำลองและใช้แทนกราฟของ Okumura ซึ่งสมการของ Hata ได้แบ่งแบบจำลองออกเป็น 3 แบบตามสภาพแวดล้อมคือ

1.ในเมือง

$$L_p\ (dB) = 69.55 + 26.16 \log (f) + (44.9 - 6.55 \log (h_b)) \log (d) - 13.82 \log (h_b) - a (h_m)$$

โดยที่ f คือ ค่าความถี่ของคลื่นพาห์ (MHz)

D คือ ระยะระหว่างสถานีฐานและเครื่องโทรศัพท์ (km)

h_b คือ ความสูงของสายอากาศของสถานี (m)

h_m คือ ความสูงของสายอากาศของโทรศัพท์ (m)

และ $a (h_m)$ คือ แฟกเตอร์แก้ไข (correction factor) สำหรับขนาดความสูงของสายอากาศของเครื่องโทรศัพท์

เมืองขนาดใหญ่

$$a(h_m) = 8.29 [\log (1.54h_m)^2] - 1.1$$

$$a(h_m) = 3.2 [\log (11.75h_m)^2] - 4.9$$

เมืองขนาดกลางและเล็ก

$$a(h_m) = [1.1 \log (f) - 0.7]h_m - [1.56 \log (f) - 0.8]$$

2.บริเวณชานเมืองรอบนอก

$$L_{ps} \text{ (dB)} = L_p - 2 [\log (f / 128]^2 - 5.4$$

3.เขตชนบท

$$L_{po} \text{ (dB)} = L_p - 4.78 [\log (f)]^2 + 18.33 \log (f) - 40.94$$

ชุดสมการของ Hata มีประโยชน์อย่างมากในทางปฏิบัติ เพราะสามารถใช้ค่าการลดทอนของสัญญาณที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากแบบจำลองของ Okumura ที่ระยะทางที่มากกว่า 1 km จึงเหมาะสมกับการนำมาใช้งานในระบบที่ใช้เซลล์ขนาดใหญ่

3.5.2 สมการคำนวณหาค่ากำลังที่รับได้ (Pr) จากตัวสถานีฐาน ณ ตำแหน่งใด ๆ

$$P_r = P_t - L_p$$

โดย

P_t = กำลังส่งของสถานีฐาน หน่วย dBm

P_r = กำลังของสัญญาณที่รับได้ จากสถานีฐาน หน่วย dBm

L_p = Path-Loss Models (แบบจำลองของ Hata) หน่วย dB

3.5.3 สมการที่ใช้ในการแปลงกำลังในหน่วยวัด Watt เป็น dBm

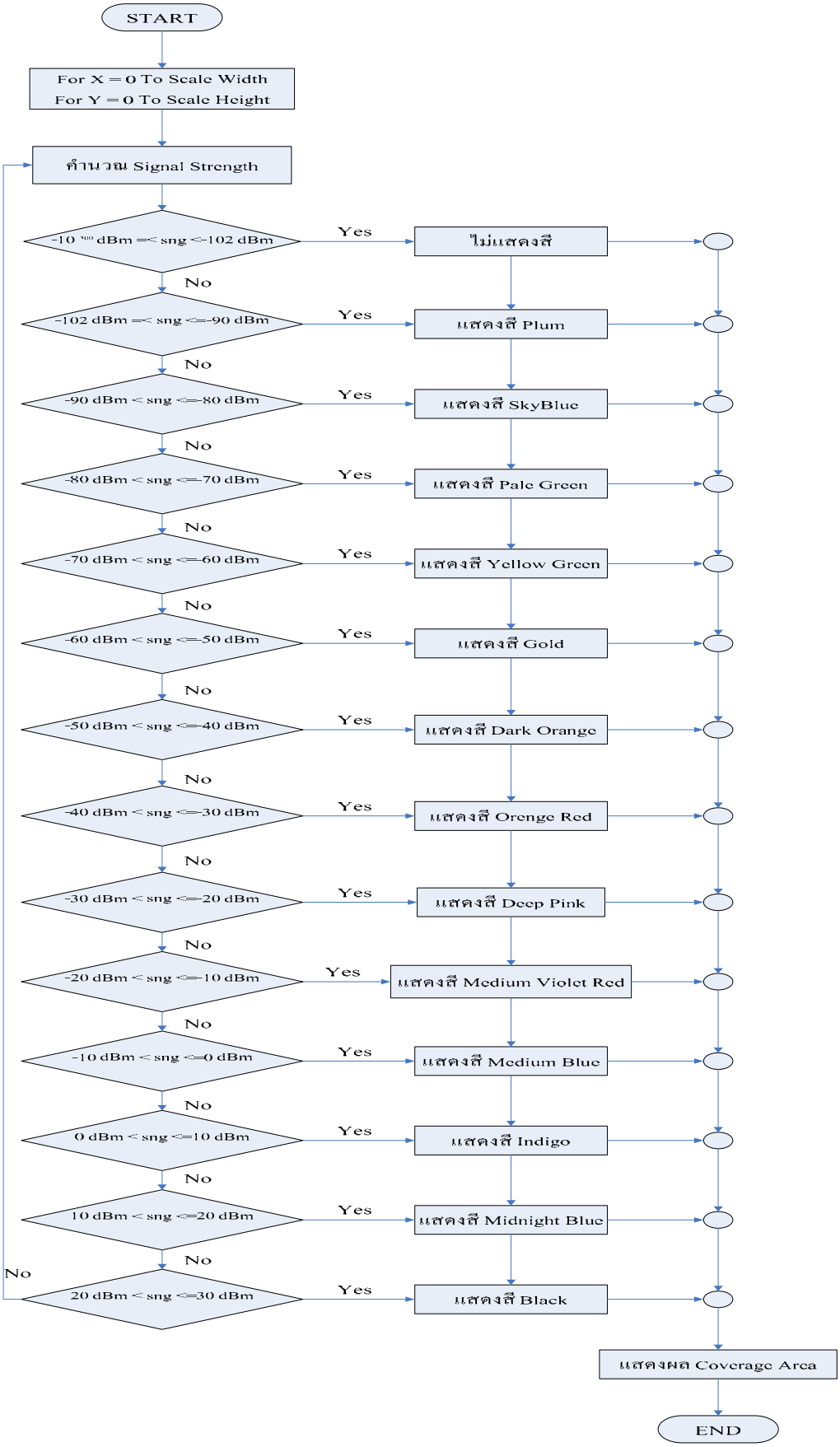
$$dBm = 10 \log (W / _{mW})$$

เช่น

P_t = 100 *mW* (20 *dBm*), P_t = 0.001 *mW* (-30 *dBm*)

โดยที่ค่าของกำลังส่งจะเป็นเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสถานีฐานแต่ละสถานีฐาน

จากทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้วในบทนี้ เราจะนำมาเป็นหลักการในการเขียนโปรแกรมนี้ขึ้นมา และเนื่องจากว่าตัวโปรแกรมการออกแบบนี้มีขนาดของโปรแกรมใหญ่ ดังนั้นทางผู้จัดทำโครงงานจึงขอแสดง Flow Chart อย่างคร่าว ๆ ไว้ดังนี้



รูปที่ 3.2 Flow Chart **ของโปรแกรมในส่วนของความแรงของสัญญาณ** (Signal Strength)

3.6 การใช้งานโปรแกรม

3.6.1 ภาพรวมของโปรแกรม

1.โปรแกรมนี้สามารถอนุญาตให้ผู้ใช้งานตัวโปรแกรม กำหนดจุดติดตั้งสถานีฐาน ได้เองตามความต้องการของผู้ใช้งาน เหมาะสำหรับผู้ใช้ที่ต้องการทราบว่าตำแหน่งใดที่เหมาะสำหรับการติดตั้งสถานีฐาน เพื่อที่จะทำการออกแบบให้สัญญาณครอบคลุมทั่วถึง ณ บริเวณจุดที่ต้องการได้รับสัญญาณ และนอกจากตำแหน่งของการวางที่เหมาะสมแล้ว ผู้ใช้งานโปรแกรมยังสามารถกำหนดจำนวนสถานีฐาน ที่จะติดตั้งได้อีกด้วย เนื่องจากตัวโปรแกรมนี้สามารถแสดงระดับความแรงของสัญญาณ ณ จุดต่าง ๆ ในหน่วยวัดเดซิเบล ออกมาเป็นระดับสีต่าง ๆ กันได้

2.โปรแกรมนี้มีความสามารถในการแสดง Coverage Area ของความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) เป็นผลทำให้ลดเวลาในการออกแบบและวัดสัญญาณหาจุดติดตั้งและจำนวนสถานีฐาน ที่เหมาะสมได้

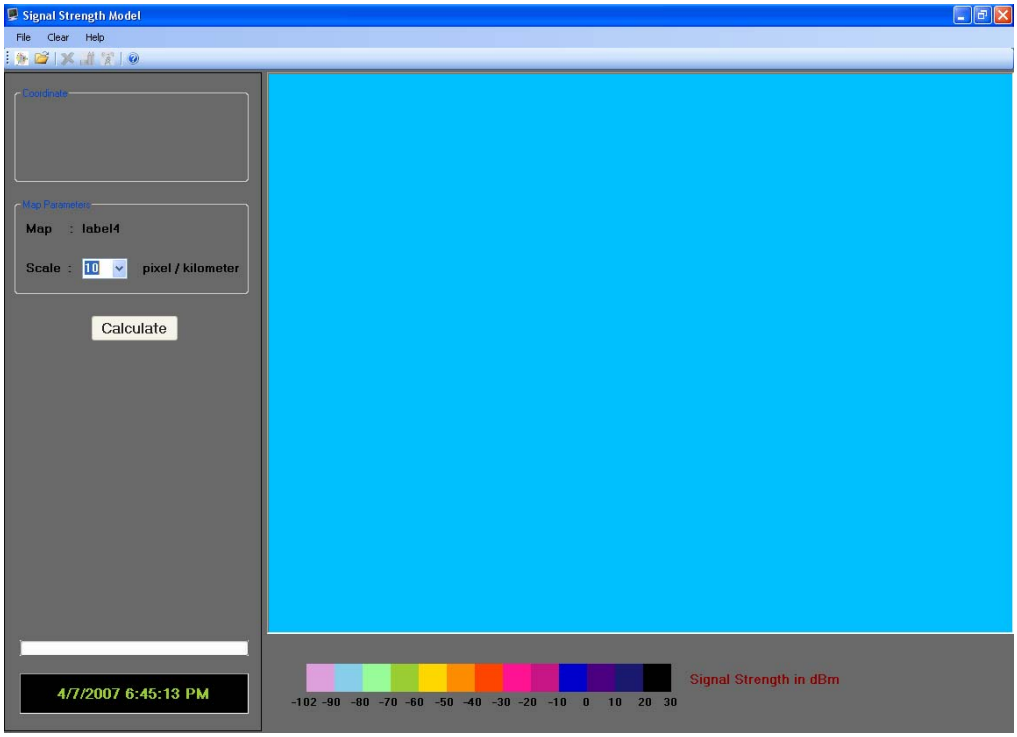
3.ตัวโปรแกรมมีไม้บรรทัดสำหรับทำการวัดขนาดของแผนที่ที่นำมาใช้เพื่อให้ผู้ใช้สามารถกำหนดอัตราส่วนของรูปภาพแผนที่ต่อขนาดจริงได้อย่างถูกต้อง

4.ตัวโปรแกรมนี้สามารถ Load แผนที่ลงในตัวโปรแกรมโดยไม่จำกัดขนาดภาพแผนที่ เพื่อทำการคำนวณได้

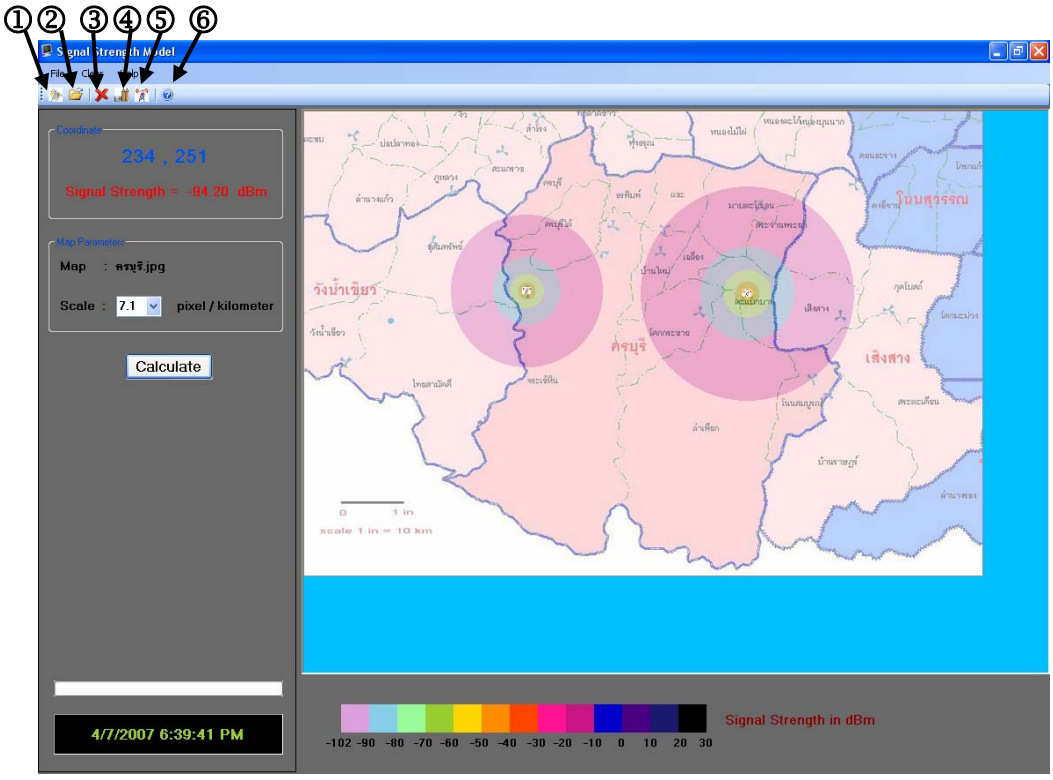
5.ตัวโปรแกรมนี้สามารถคำนวณสัญญาณโดยใช้สายอากาศแบบกระจายรอบทิศทาง (Omni directional antenna) และใช้สายอากาศแบบเจาะจงทิศทาง (Sector antenna) และสามารถกำหนดทิศทางเริ่มต้นของสายอากาศsectorที่1ได้ เพื่อผู้ใช้ที่ต้องการทราบความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ที่มีผลจากสถานีฐานที่ติดตั้งได้

3.6.2 วิธีการใช้งานตัวโปรแกรม Step by Step

1. เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรมจะปรากฏหน้าจอดัง รูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงการเริ่มเข้าสู่โปรแกรม



รูปที่ 3.4 แสดง Toolbar ของโปรแกรม

จากภาพสามารถอธิบายการทำงานของส่วนต่างๆได้ดังนี้

ปุ่มที่ 1.Open New Map file ใช้สำหรับเปิด file แผนที่

ปุ่มที่ 2. Open Map File ใช้สำหรับเปิด file แผนที่ที่ทำการคำนวณหาระดับความแรงของสัญญาณเสร็จเรียบร้อยแล้ว

ปุ่มที่ 3. Clear All Base ใช้สำหรับลบ base station ทั้งหมด

ปุ่มที่ 4. Ruler ใช้สำหรับวัดระยะทางจากแผนที่ ใช้ในการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างแผนที่กับระยะทางจริง

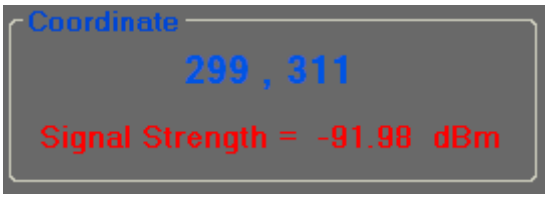
ปุ่มที่ 5. Base Station ใช้สำหรับการวาง Base Station

ปุ่มที่ 6. Help ใช้สำหรับให้คำแนะนำการใช้งานโปรแกรม

ปุ่ม Calculate

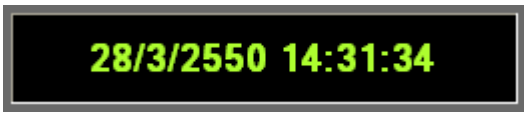
ใช้สำหรับคำนวณหาความแรงของสัญญาณทั้งหมดที่ส่งออกจากทุกๆ Base Station ที่วางลงบนแผนที่

Coordinate ใช้ในการแสดงพิกัด ณ ตำแหน่งต่างๆของแผนที่ เมื่อเมาส์เคลื่อนที่ผ่านและแสดงความแรงของสัญญาณ ณ ตำแหน่งพิกัดนั้นๆ



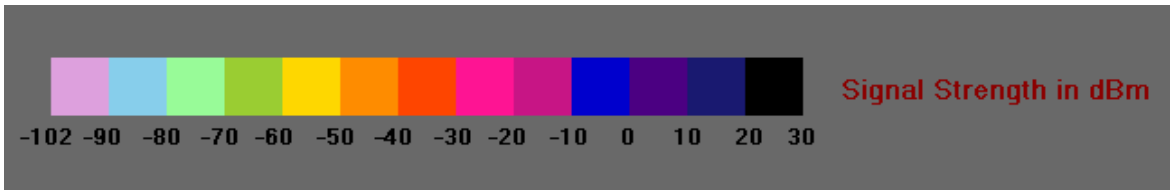
- Map Parameter ใช้ในการแสดงชื่อของแผนที่และอัตราส่วนของจำนวนพิกเซลต่อหนึ่งกิโลเมตร

- ส่วนแสดงวันและเวลาปัจจุบันขณะใช้งานโปรแกรม

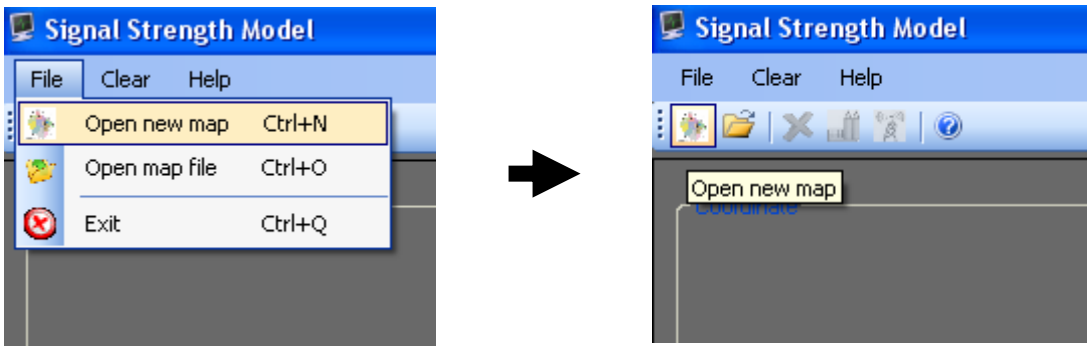


- Progress bar เป็นส่วนแสดงความคืบหน้าในการประมวลผล

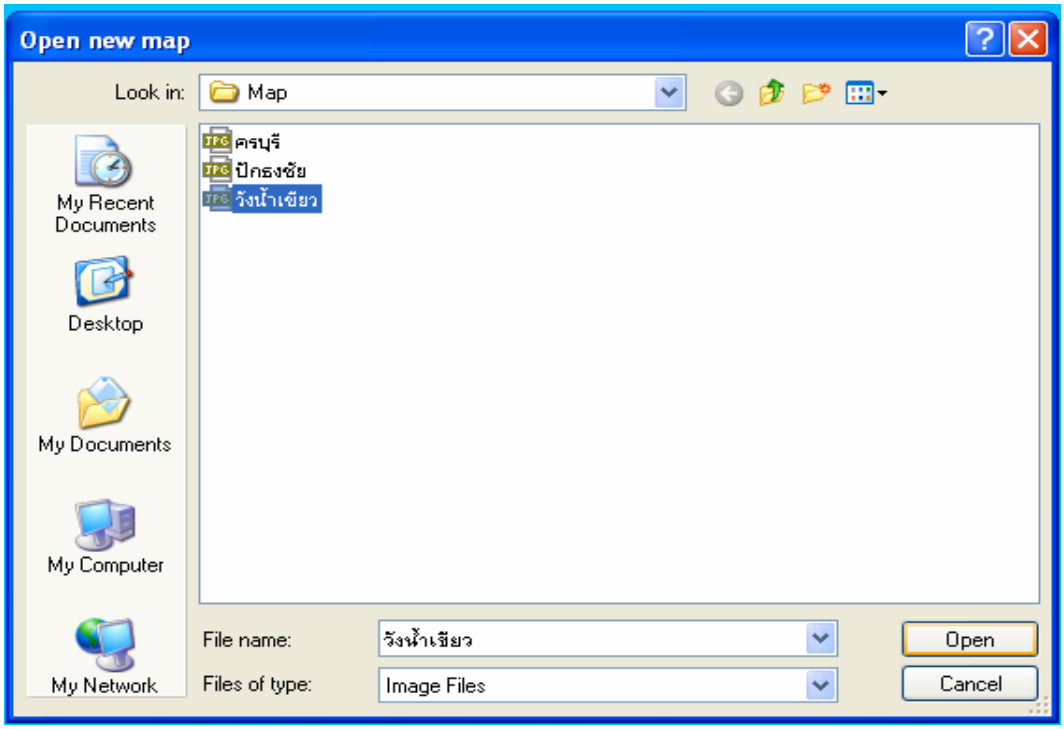
- แถบสีแสดงระดับความแรงของสัญญาณ

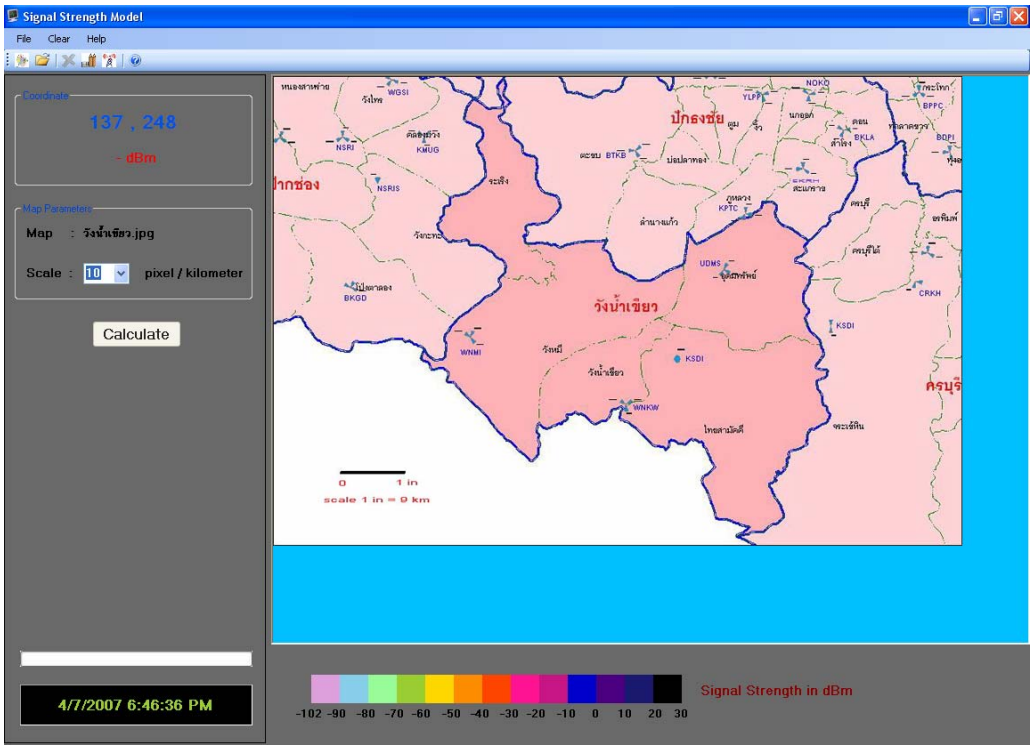


2. เปิด file แผนที่



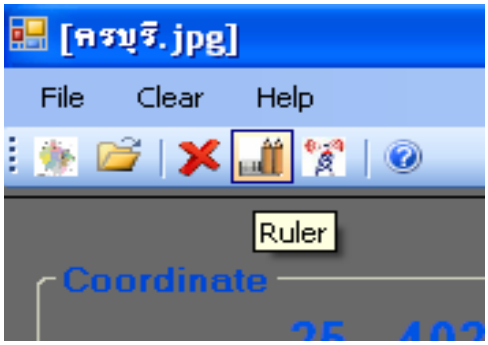
หรือ

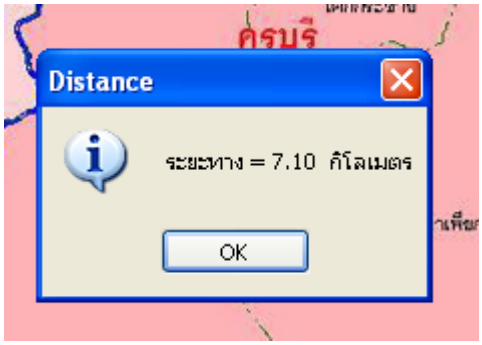




รูปที่ 3.5 แสดงการเปิด file แผนที่ของโปรแกรม

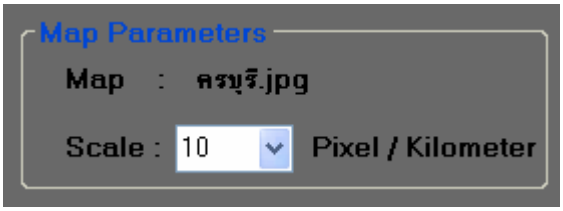
3. Click ปุ่มไม้บรรทัดเพื่อทำการวัดระยะทาง





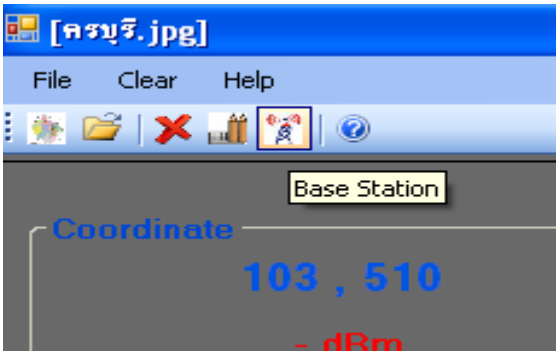
ปรากฏระยะทาง

4. ถ้าระยะทางที่วัดจากแผนที่ไม่ตรงกับระยะทางจริง ทำการปรับพิกเซลที่ช่อง Scale แล้ววัดระยะทางอีกครั้ง

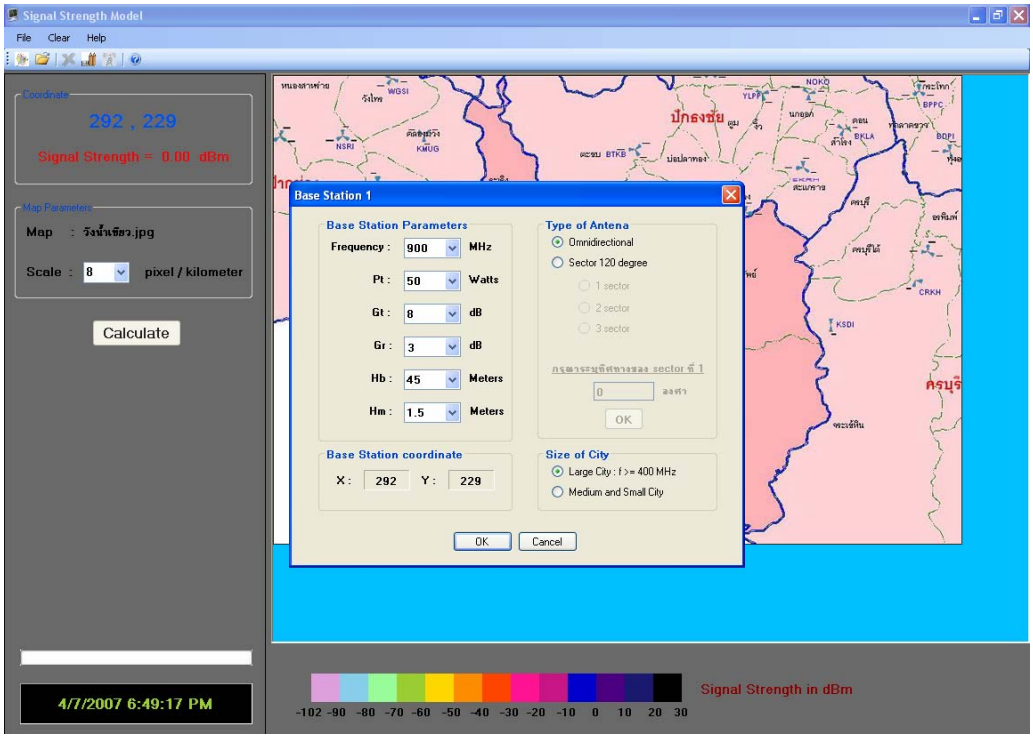


5. การวางสถานีฐาน

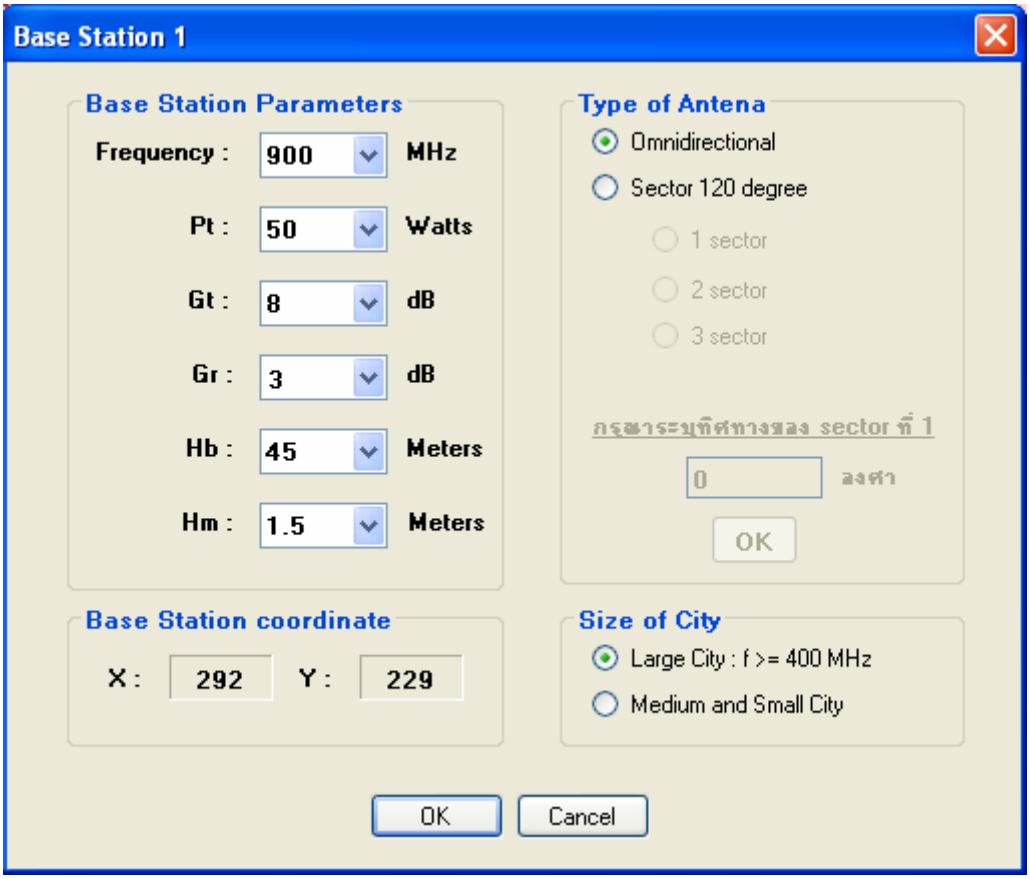
- Click ปุ่ม Base Station เพื่อทำการวางสถานีฐาน



- Click ตำแหน่งที่ต้องการวาง Base Station ลงบนแผนที่ จะปรากฏ Dialog ดังนี้



- กรอกพารามิเตอร์



รูปที่ 3.6 **แสดงค่า** Base Station Dialog

- Base Station Parameters

  - P_t ใช้ป้อนกำลังงานที่ผู้ใช้เป็นผู้ป้อนให้สถานีฐาน หน่วย watts
  - G_t ใช้ป้อนอัตราขยายภาคส่งที่ผู้ใช้เป็นผู้ป้อนให้สถานีฐาน หน่วย dB
  - G_r ใช้ป้อนอัตราขยายภาครับที่ผู้ใช้เป็นผู้ป้อนให้สถานีฐาน หน่วย dB
  - Hb คือ ความสูงของสถานีฐานของสายอากาศของโทรศัพท์เคลื่อนที่ หน่วย m
  - Hm คือ ความสูงของสายอากาศของสถานีฐาน หน่วย m
  - Frequency คือความถี่ของสถานีฐานที่ใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ หน่วย MHz

Type Of Antenna เป็นส่วนที่ให้รายละเอียดของสายอากาศของสถานีฐาน

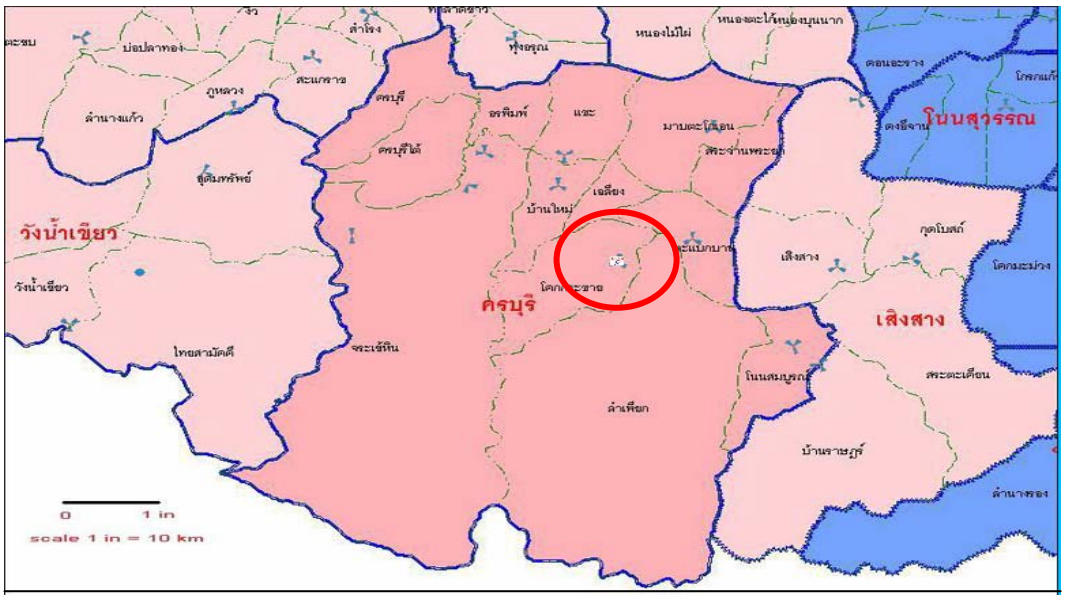
ซึ่งสามารถเลือกใช้สายอากาศได้ 2 ประเภท คือ

- สายอากาศแบบกระจายรอบทิศทาง-->Omni directional
- สายอากาศแบบเจาะจงทิศทาง-->Directional 120 degree sector ดังนี้
  - วาง 1 sector โดยต้องกำหนดทิศทางเริ่มต้นของสายอากาศ sector ที่ 1
  - วาง 2 sectors โดยต้องกำหนดทิศทางเริ่มต้นของสายอากาศ sector ที่ 1
  - วาง 3 sectors โดยต้องกำหนดทิศทางเริ่มต้นของสายอากาศ sector ที่ 1

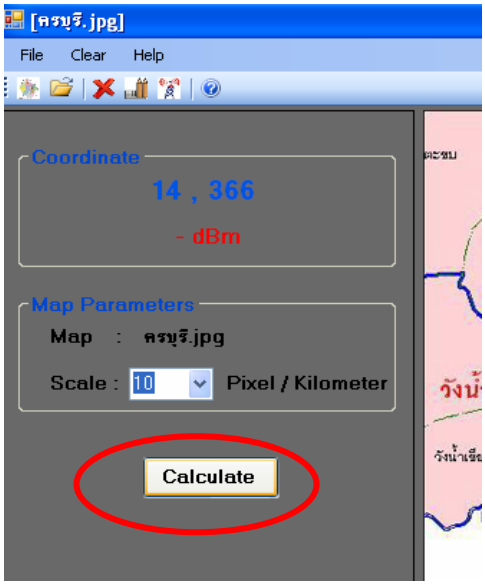
- Size Of City รายละเอียดของสภาพแวดล้อม
  - Large City : f >= 400 MHz
  - Medium and Small City

- **จากนั้นกดปุ่ม OK เพื่อยืนยันหรือกดปุ่ม cancel เพื่อยกเลิก**

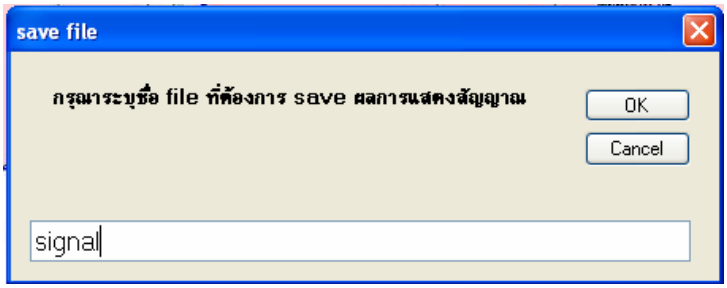
- **ตำแหน่งที่วาง Base Station ลงบนแผนที่**



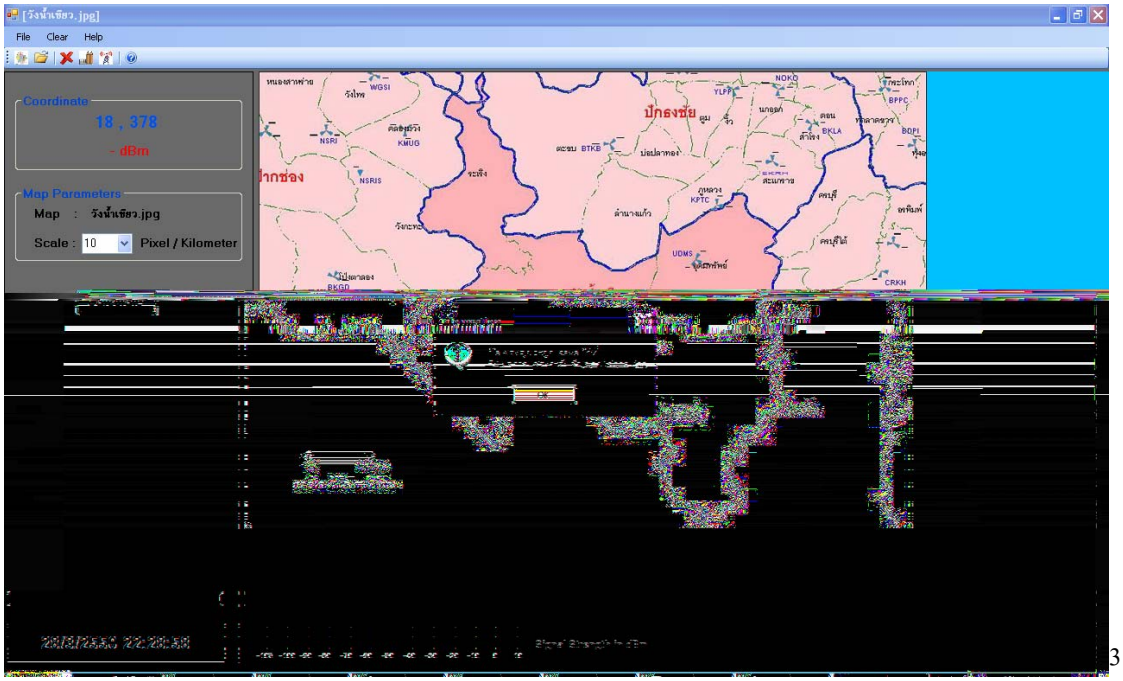
6. Click ปุ่ม Calculate



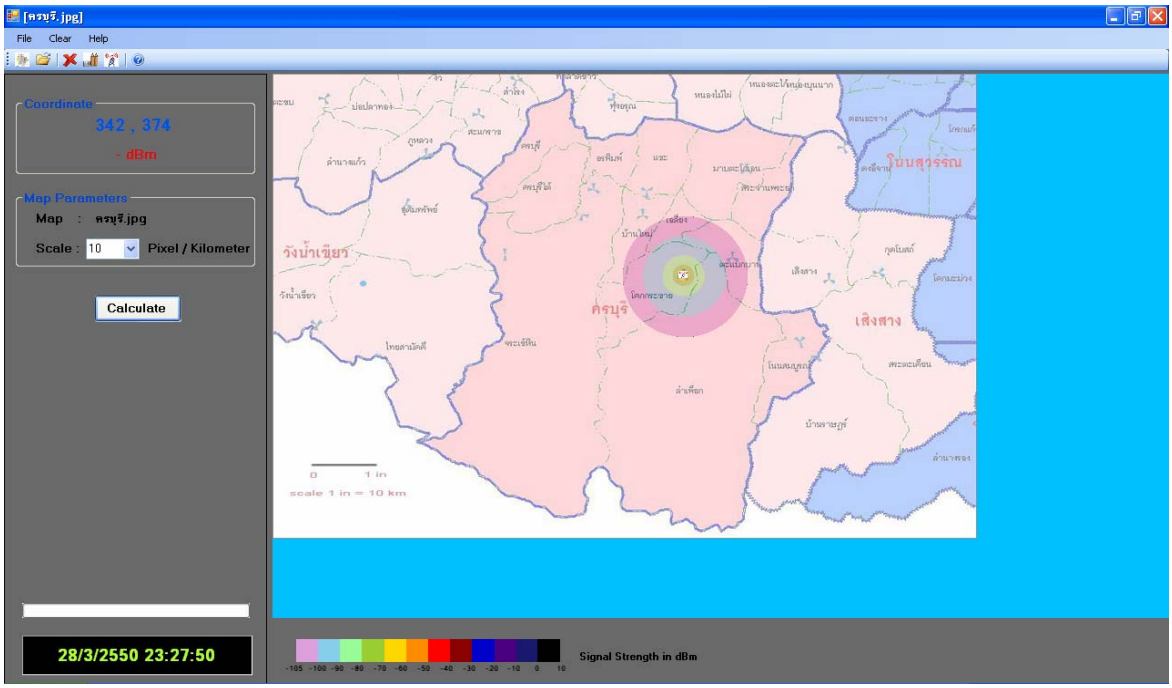
- ทำการระบุชื่อ file ที่ต้องการ save ผลการแสดงสัญญาณ



- ตำแหน่งที่วาง Base Station ลงบนแผนที่



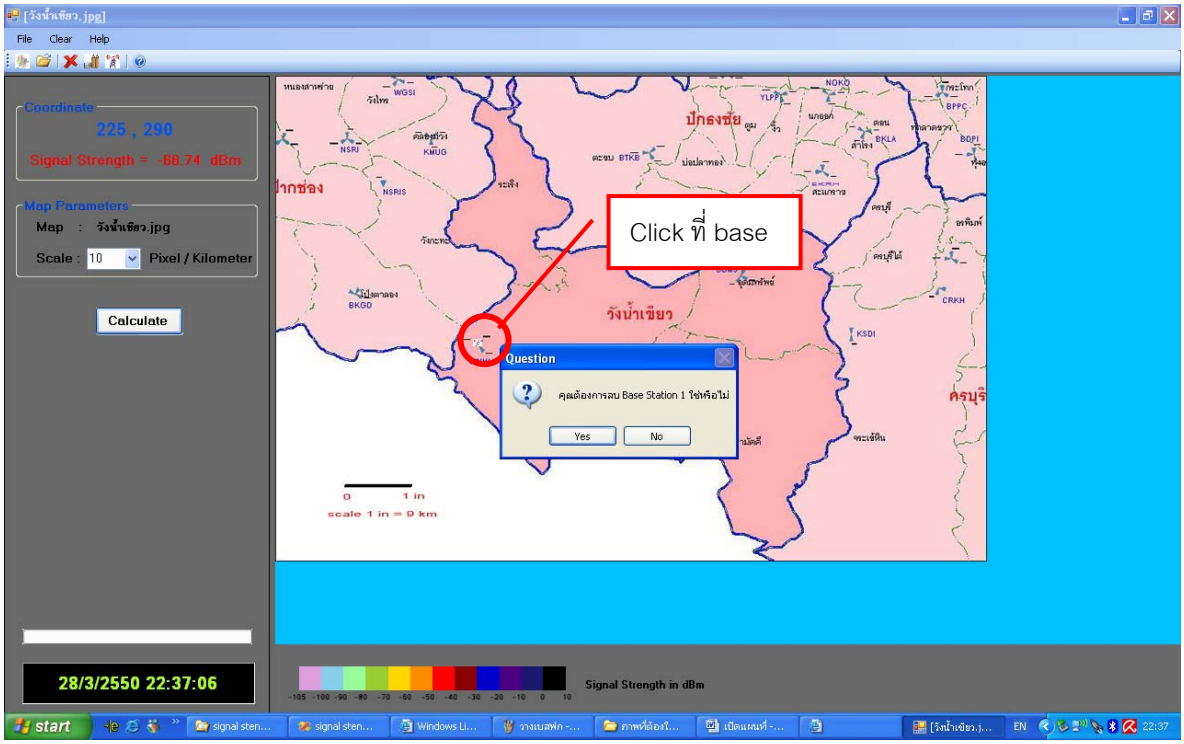
โปรแกรมทำการประมวลผล และแสดงระดับครอบคลุมของสัญญาณ



รูปที่ 3.7 แสดง Coverage Area

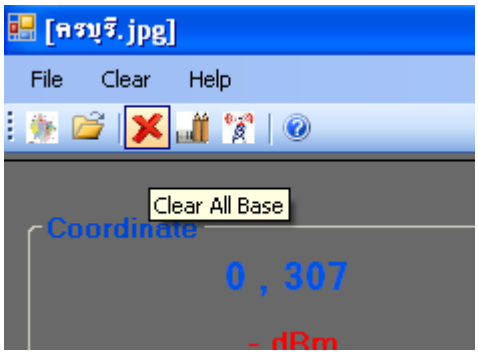
7. ถ้าต้องการ ลบ Base Station ที่วางไปแล้วทีละ Base Station

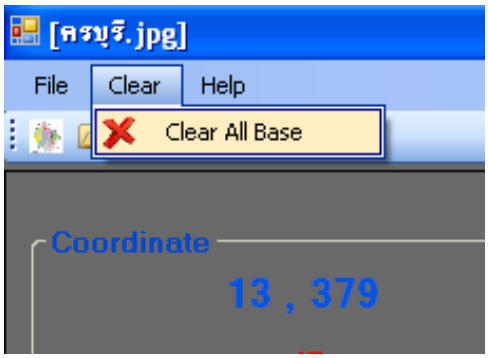
--> Click รูป Base Station เดิมที่ต้องการลบ แล้ว Click Yes



8. ถ้าต้องการ ลบ Base Station ที่วางไปแล้วทุกBase Station

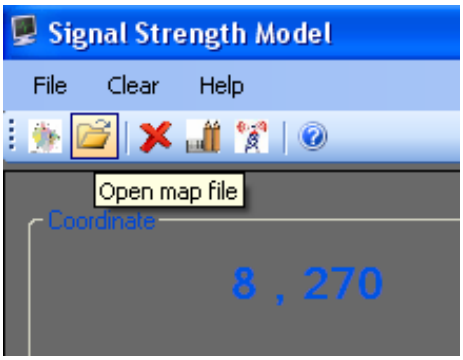
--> Click ปุ่ม Clear All Base ที่ Tool Bar หรือ Click ปุ่ม Clear All Base ที่ Manu Bar

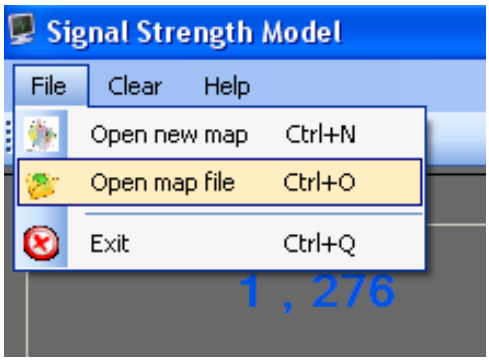




9. ถ้าต้องการเรียกดูผลการคำนวณ Signal Strength ที่ประมวลผลเรียบร้อยแล้ว

--> Click ปุ่ม Open Map File ที่ Tool Bar หรือ Click ปุ่ม Open Map File ที่ Manu Bar





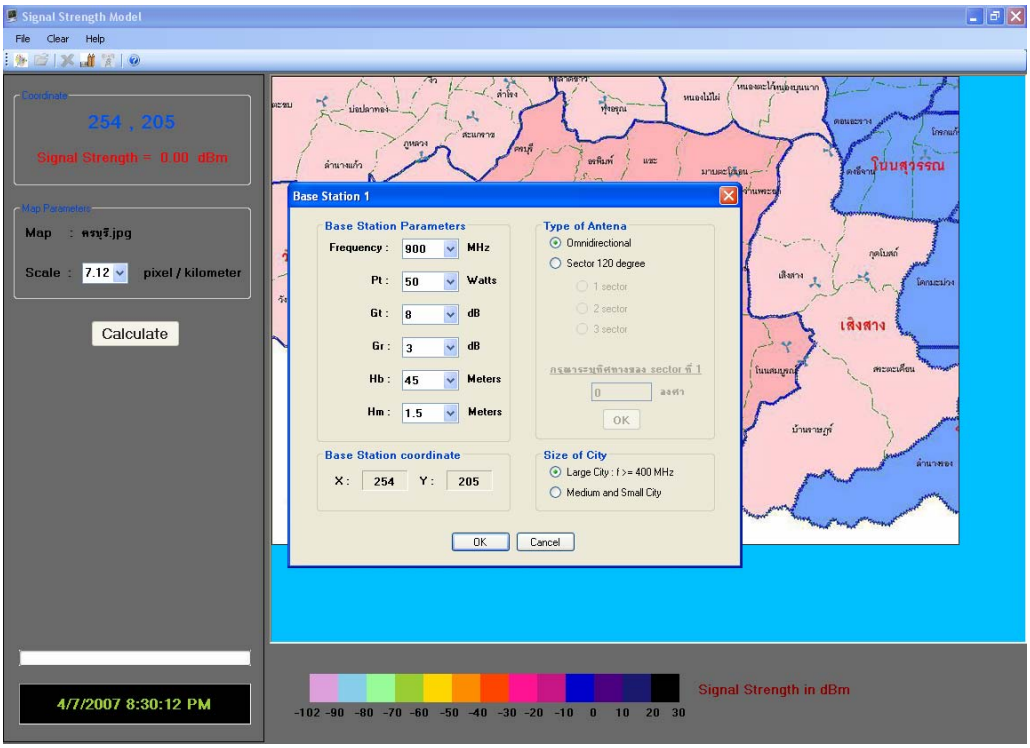
บทที่ 4
ผลการคำนวณจากโปรแกรม

ในบทนี้ ได้ทำการทดสอบการทำงานของโปรแกรมโดยแสดงตัวอย่างการคำนวณ 3 ตัวอย่าง ดังนี้

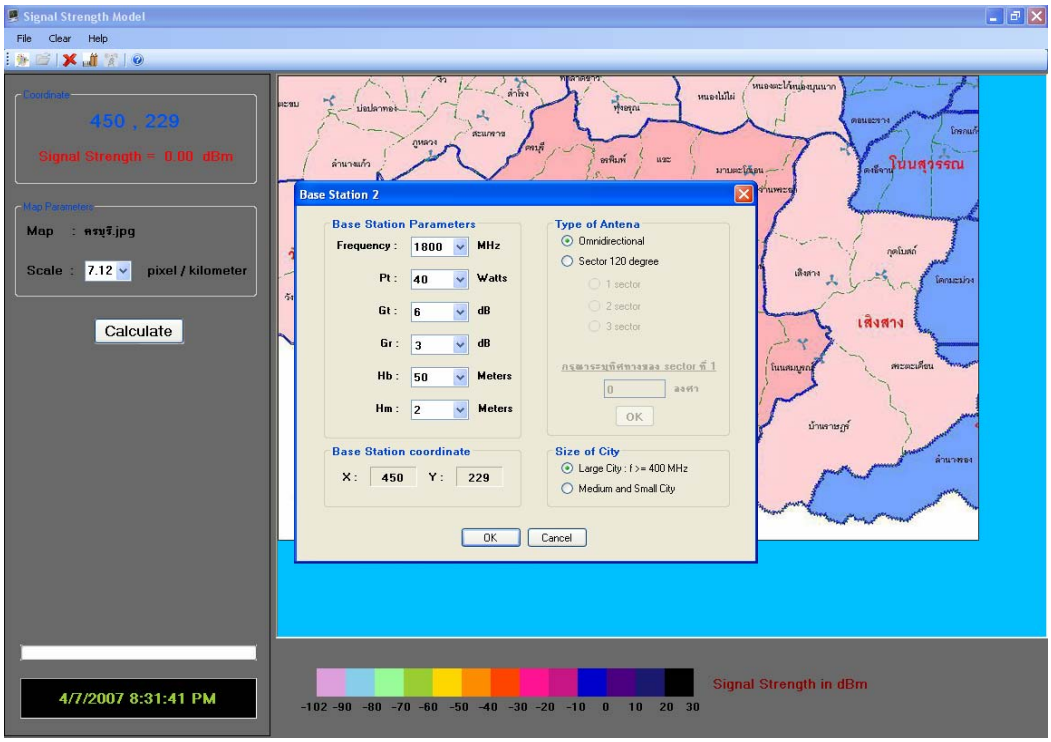
4.1**ตัวอย่างที่1** เลือกใช้สายอากาศแบบกระจายรอบทิศทาง(Omni directional antenna) โดยมีสภาพแวดล้อมเป็นเมืองใหญ่และวางสถานีฐาน 3 สถานีฐาน แต่ละสถานีฐานมีพารามิเตอร์ ดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของสถานีฐานที่ 1, 2, 3 โดยใช้สายอากาศแบบ Omni directional

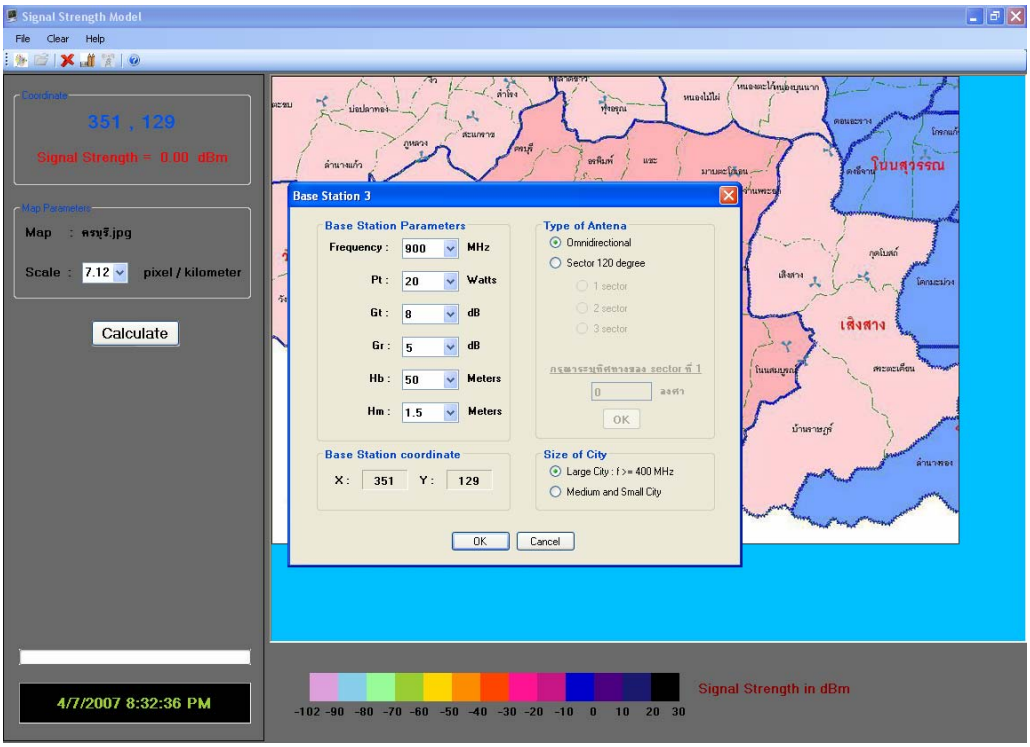
สถานีฐาน	Frequency (MHz)	Pt (W)	Gt (dB)	Gr (dB)	Hb (m)	Hm (m)
1	900	50	8	3	45	1.5
2	1800	40	6	3	50	2
3	900	20	8	5	50	1.5



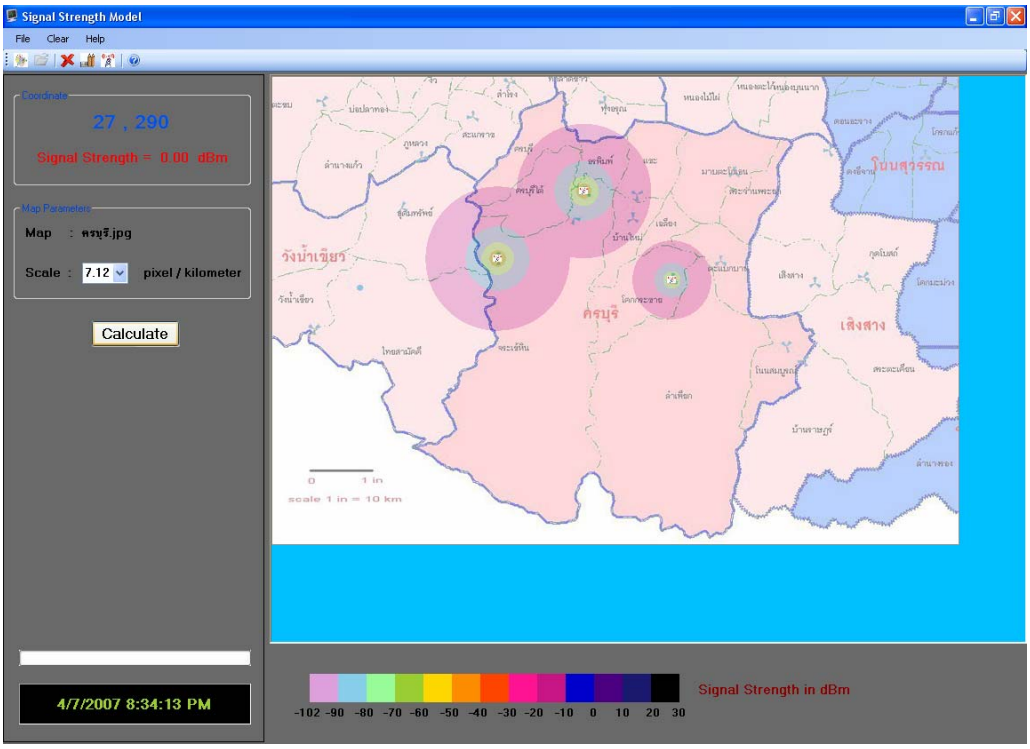
รูปที่ 4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สายอากาศแบบ Omni directional ของสถานีฐานที่ 1



รูปที่ 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สายอากาศแบบ Omni directional ของสถานีฐานที่ 2



รูปที่ 4.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สายอากาศแบบ Omni directional ของสถานีฐานที่ 3

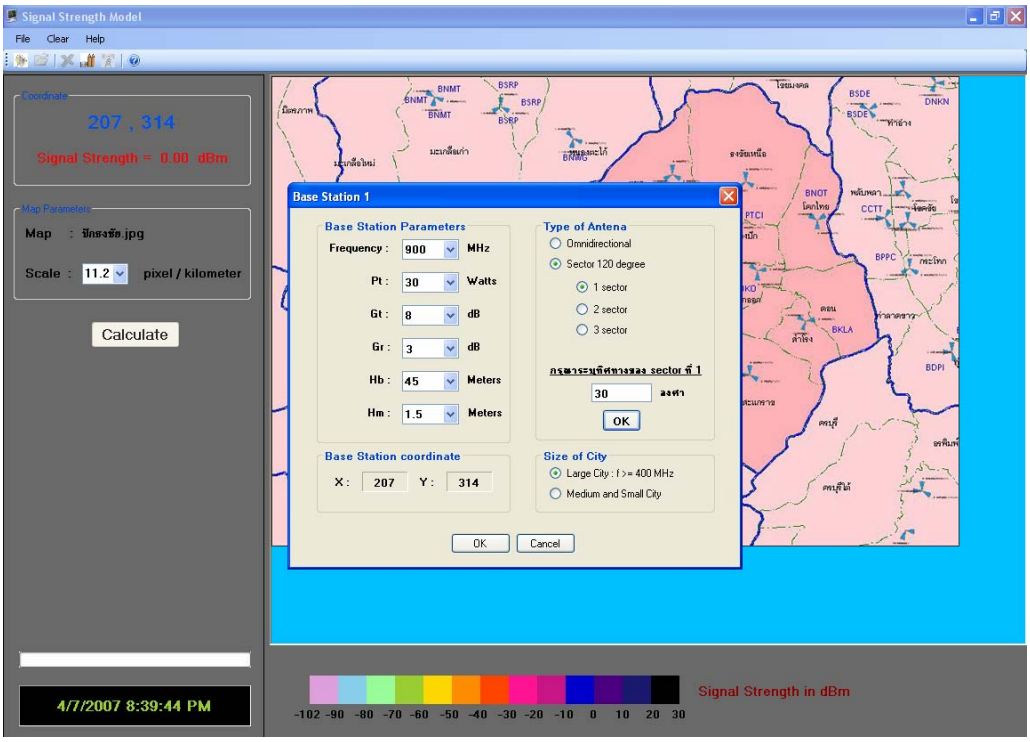


รูปที่ 4.4 **โปรแกรมทำการประมวลผล แสดงระดับครอบคลุมของสัญญาณที่ได้รับ ใช้สายอากาศแบบ** Omni directional

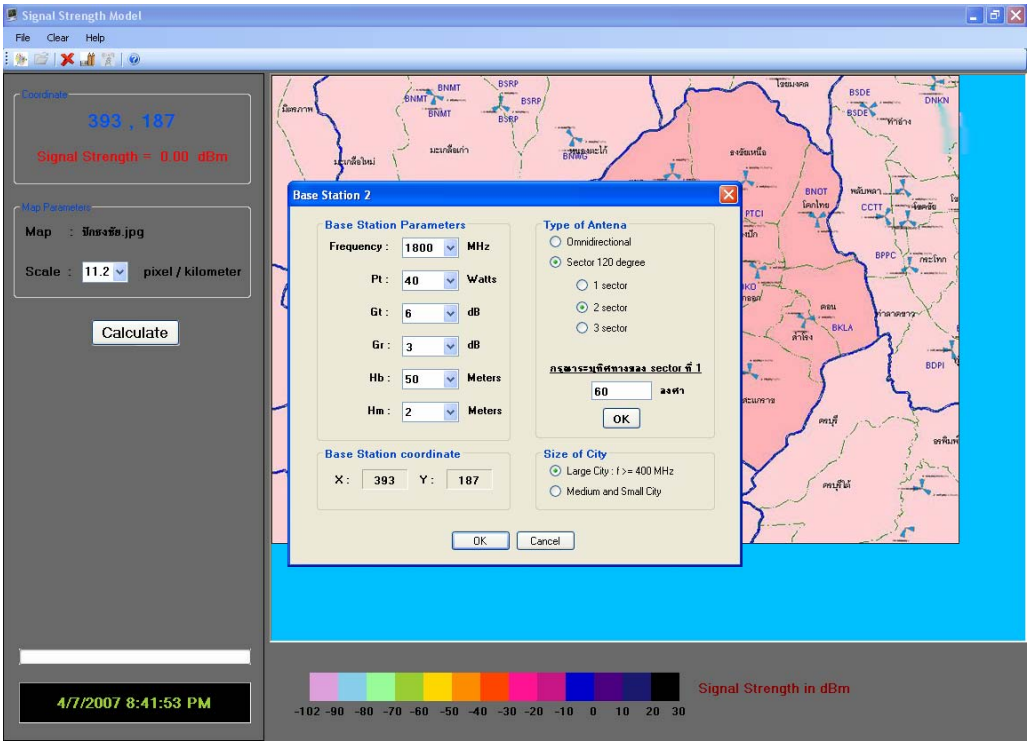
4.2**ตัวอย่างที่2** เลือกใช้สายอากาศแบบเจาะจงทิศทาง(Directional antenna) โดยมีสภาพแวดล้อมเป็นเมืองใหญ่วางสถานีฐาน 3 สถานีฐาน แต่ละสถานีฐานมีพารามิเตอร์ ดังนี้

ตารางที่ 4.2 **แสดงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของสถานีฐานที่** 1, 2, 3 **โดยใช้สายอากาศแบบ** Sector 120 **องศา**

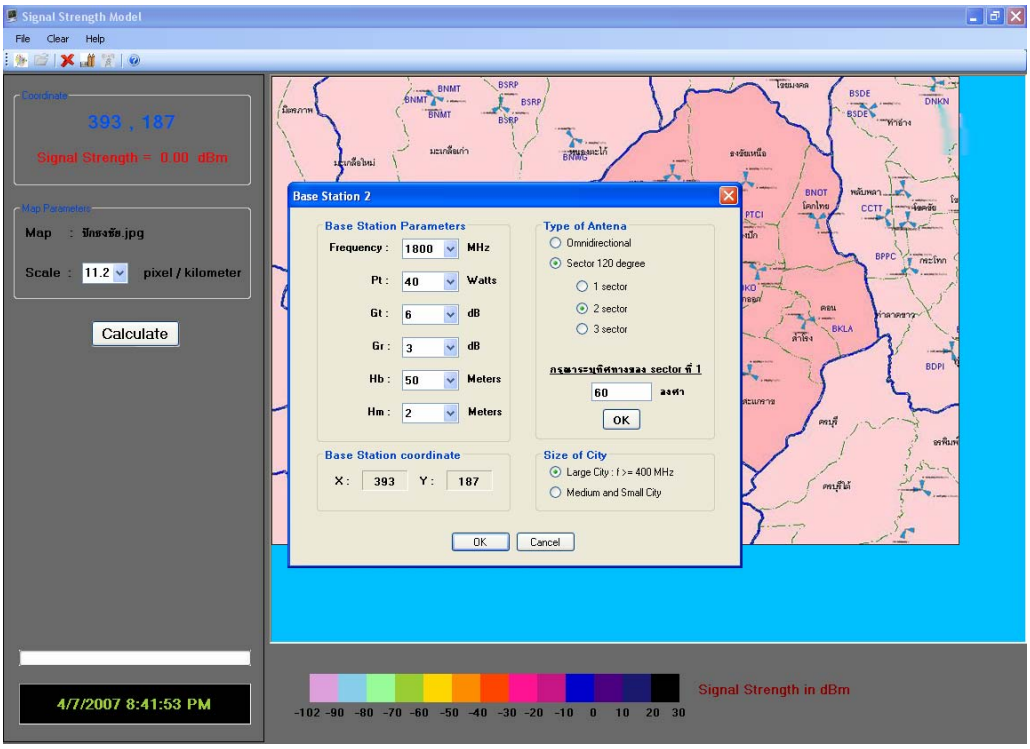
สถานีฐาน	**รูปแบบสายอากาศ**	Frequency (MHz)	Pt (W)	Gt (dB)	Gr (dB)	Hb (m)	Hm (m)
1	วาง 1 sector เริ่มต้นที่ 30 องศา	900	30	8	3	45	1.5
2	วาง 2 sector เริ่มต้น ที่ 60 องศา	1800	40	6	3	50	2
3	วาง 3 sector เริ่มต้น ที่ 90 องศา	900	20	13	3	50	1.5



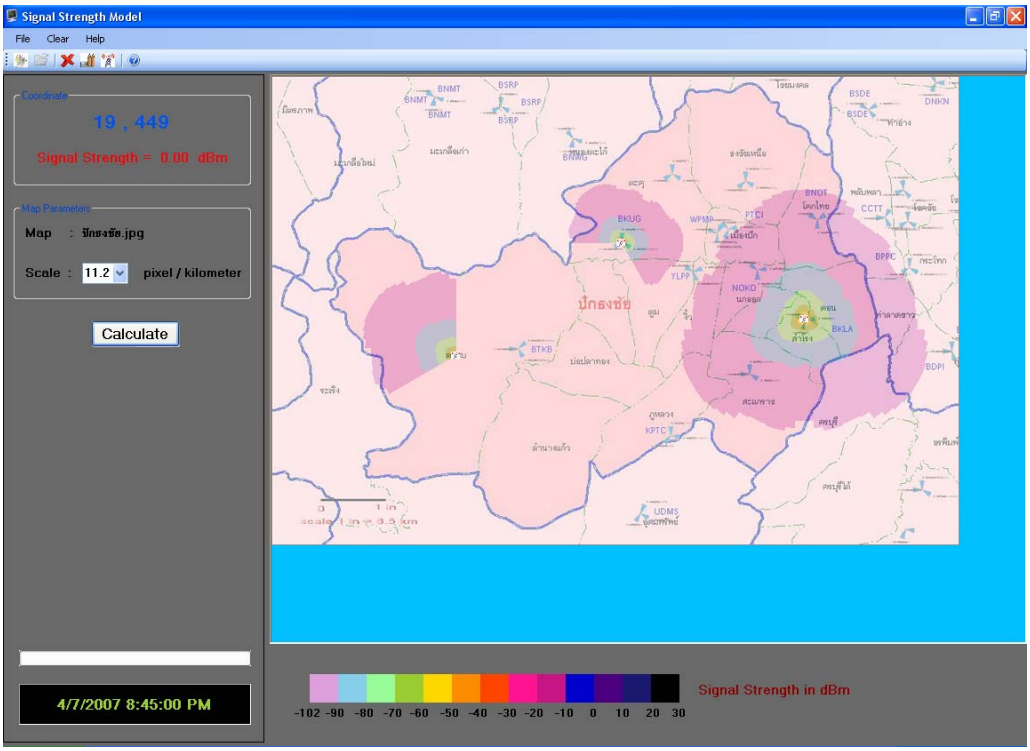
รูปที่ 4.5 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สายอากาศแบบ Directional ของสถานีฐานที่ 1



รูปที่ 4.6 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สายอากาศแบบ Directional ของสถานีฐานที่ 2

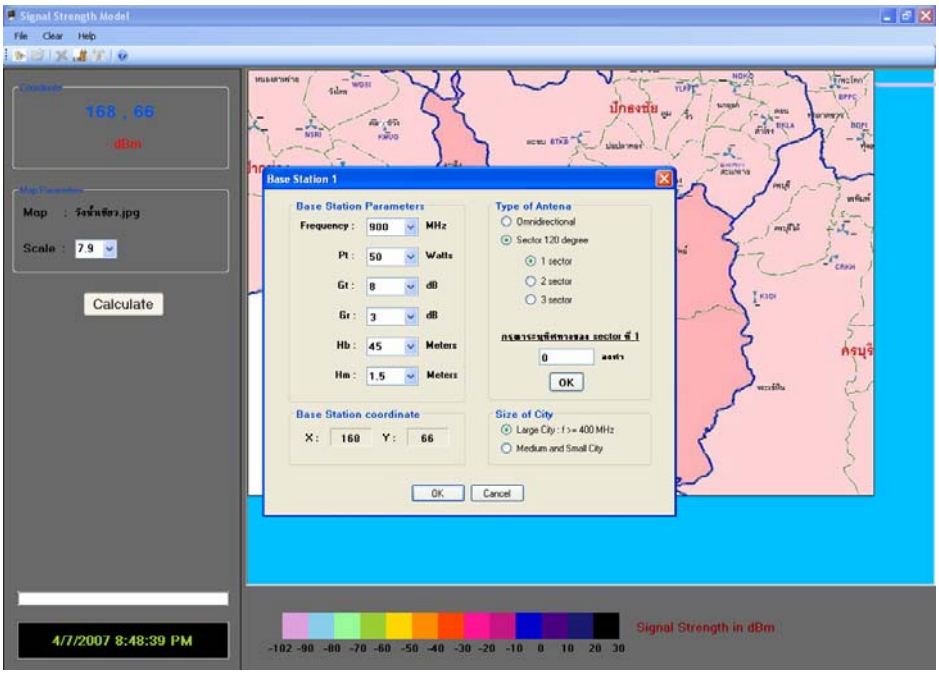


รูปที่ 4.7 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สายอากาศแบบ Directional ของสถานีฐานที่ 3

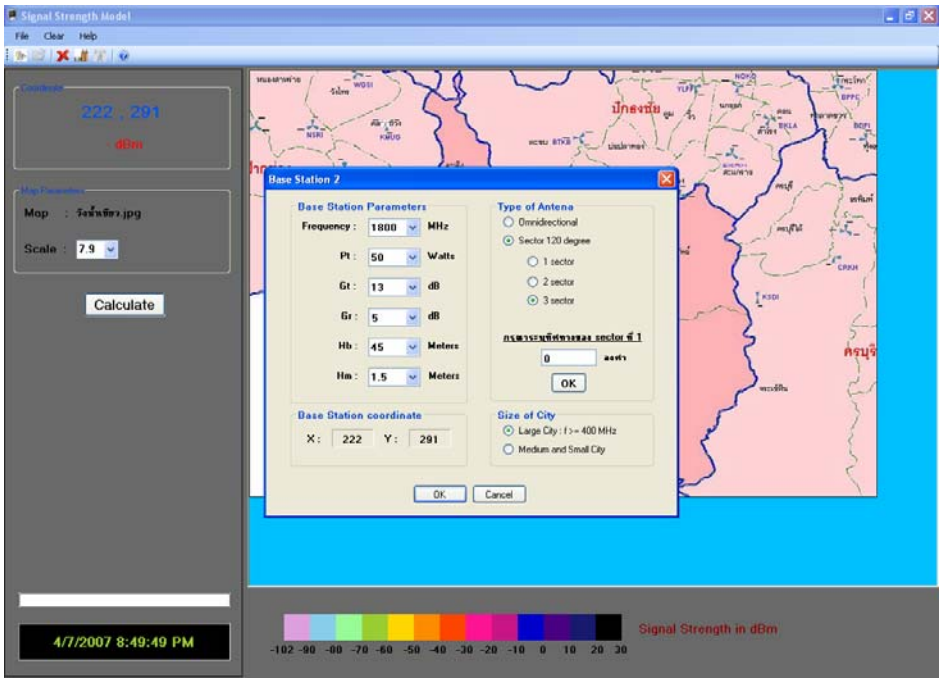


รูปที่ 4.8 โปรแกรมทำการประมวลผล แสดงระดับครอบคลุมของสัญญาณที่ได้รับ ใช้สายอากาศแบบ Directional

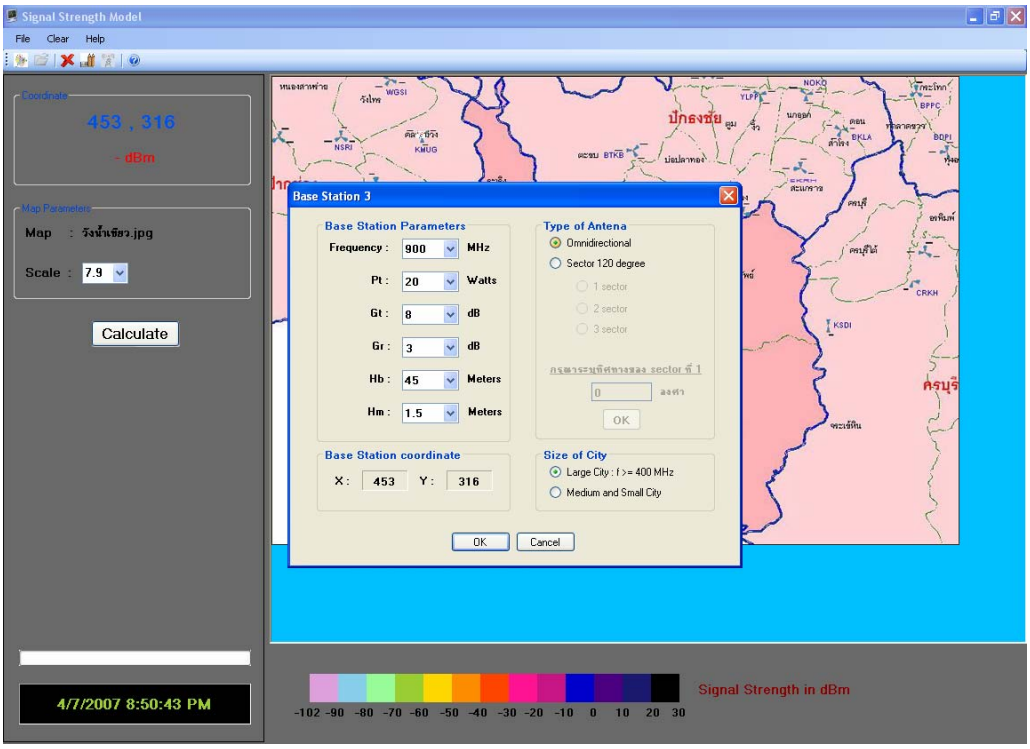
4.3**ตัวอย่างที่3** เลือกใช้สายอากาศแบบกระจายรอบทิศทาง(Omni directional antenna) และเลือกใช้สายอากาศแบบเจาะจงทิศทาง (Directional antenna) โดยสภาพแวดล้อมเป็นเมืองใหญ่



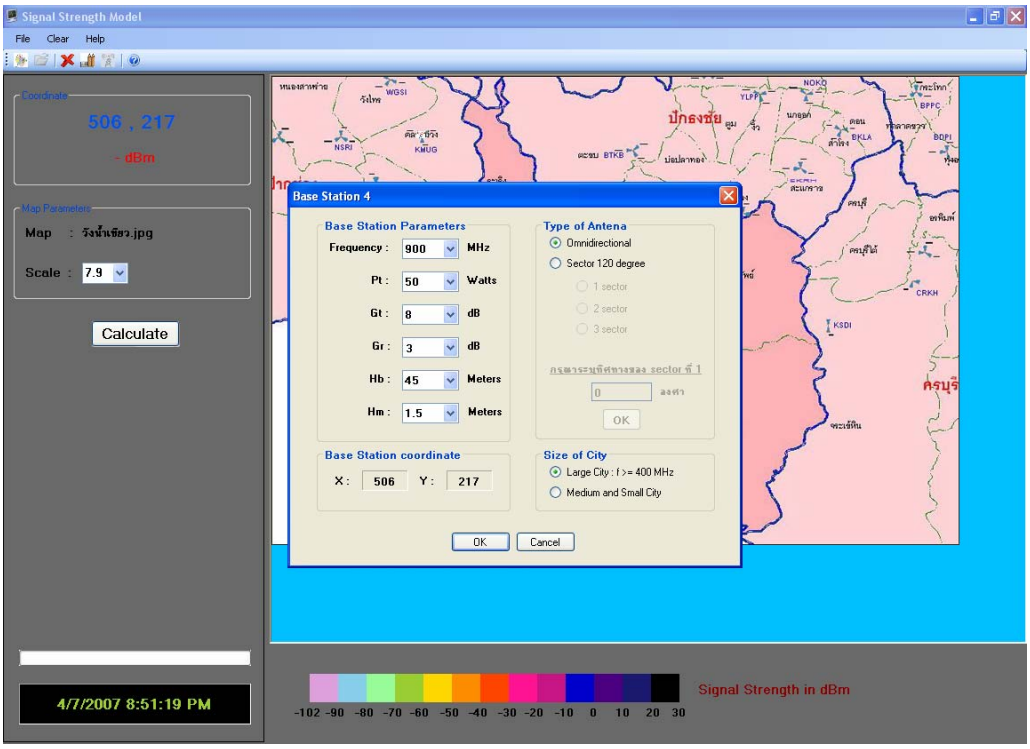
รูปที่ 4.9 **แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สายอากาศแบบ** Omni directional **และใช้สายอากาศแบบ** Directional **ของสถานีฐานที่** 1



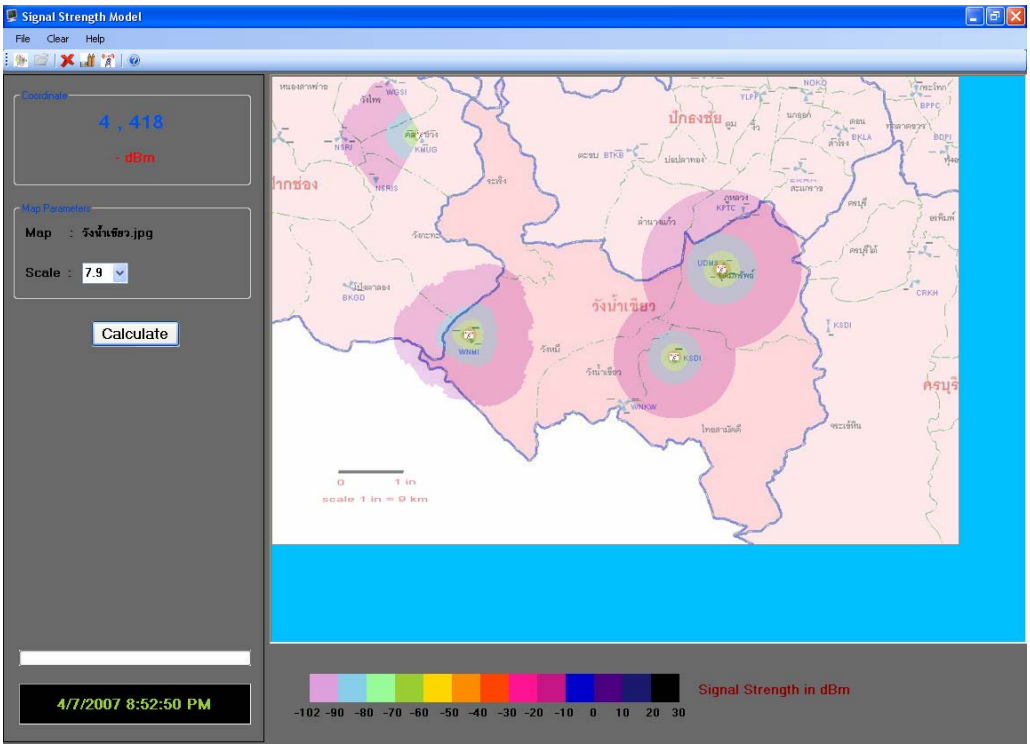
รูปที่ 4.10 **แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สายอากาศแบบ** Omni directional **และใช้สายอากาศแบบ** Directional **ของสถานีฐานที่** 2



รูปที่ 4.11 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สายอากาศแบบ Omni directional และใช้สายอากาศแบบ Directional ของสถานีฐานที่ 3



รูปที่ 4.12 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สายอากาศแบบ Omni directional และใช้สายอากาศแบบ Directional ของสถานีฐานที่ 4



รูปที่ 4.13 โปรแกรมทำการประมวลผล แสดงระดับครอบคลุมของสัญญาณที่ได้รับ ใช้สายอากาศแบบ Omni directional และใช้สายอากาศแบบ Directional

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

ปัจจุบันระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่มีบทบาทต่อวิถีการดำรงชีวิตประจำวัน สังคม การทำงาน การติดต่อธุรกิจ การส่งผ่านข่าวสาร มากขึ้นและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีและครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการ ตำแหน่งที่ต่างกันส่งผลระยะห่างระหว่างผู้ใช้กับอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณต่างกัน ทำให้คุณภาพของสัญญาณ ณ ตำแหน่งที่ต่างกันไม่เท่ากัน การรู้ว่าตำแหน่งที่สัญญาณครอบคลุมถึงและความแรงของสัญญาณ ณ ตำแหน่งที่ต่างกันจึงเป็นสิ่งสำคัญ โครงงานนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษา วิเคราะห์แบบจำลอง ขอบเขตบริเวณที่สัญญาณครอบคลุมถึง ณ ตำแหน่งที่ต่างกัน ซึ่งสามารถแสดงค่าความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) โดยทำการป้อนอินพุท คือ ค่าพารามิเตอร์ของสถานีฐาน (Base Station) รวมถึงจำนวนของ Base Station แล้วทำการประมวลผลโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์และจำลองขอบเขตการครอบคลุมของสัญญาณของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งจากการทำโครงงานสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. สามารถนำ Path Loss Model มาทำการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ในการกระจายการครอบคลุมของสัญญาณในระบบเซลลูลาร์ให้เป็นไปตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ของโครงงานได้ และสามารถเขียนโปรแกรม Visual Basic เพื่อทำการอินเตอร์เฟสตัวโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ลงบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งสามารถทำได้เป็นไปตาม จุดประสงค์ของโครงงานนี้
2. ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์สัญญาณโดยใช้สายอากาศแบบกระจายรอบทิศทาง(Omni directional antenna) สามารถนำโปรแกรมมาทำการวิเคราะห์ความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ได้
3. ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์สัญญาณโดยใช้สายอากาศแบบเจาะจงทิศทาง(Sector antenna) สามารถนำโปรแกรมมาทำการวิเคราะห์ความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) และสามารถกำหนดทิศทางเริ่มต้นของสายอากาศsectorที่1ได้
4. สามารถนำโปรแกรมที่ออกแบบขึ้น เพื่อทำการวิเคราะห์ความแรงของสัญญาณ โดยที่สามารถลดเวลาในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งสถานีฐาน ได้ดี เนื่องจากว่าการหาตำแหน่งที่เหมาะสมโดยที่ไม่ได้ใช้โปรแกรมต้องใช้เวลานานพอสมควรในการวัดสัญญาณ และในกรณีที่ได้สัญญาณในแต่ละจุดไม่เหมาะสมนั้นก็อาจจะต้องทำการวัดสัญญาณทดสอบใหม่ไปเรื่อย ๆ

แต่สำหรับตัวโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบขึ้นนี้สามารถทำการหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งสถานีฐาน ได้ในระยะเวลาน้อยกว่าการหาตำแหน่งโดยการวัดสัญญาณเป็นอย่างมาก

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

1. ทางคณะผู้จัดทำโครงงานมีความรู้พื้นฐานในการเริ่มเขียนโปรแกรมไม่มากนักทำให้การเริ่มศึกษาการเขียนโปรแกรมนั้นต้องใช้เวลาอย่างมากในการทำความเข้าใจกับโปรแกรม Visual Basic ซึ่งแก้ไขโดยการศึกษาจากหนังสือต่าง ๆ ข้อมูลทางอินเตอร์เน็ต และขอคำปรึกษาจากผู้ที่ความรู้ในด้านการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ
2. หนังสือที่สอนเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรม Visual Basic นั้นผู้แต่งส่วนใหญ่ทั้งตำราภาษาไทยและ ต่างประเทศไม่ได้เจาะลึกถึงรายละเอียดปลีกย่อยต่าง ๆ มากนักทำให้ในการเขียนโปรแกรมบาง Module ทางผู้จัดทำโครงการต้องใช้เวลาในการค้นหาพอสมควรจึงสามารถที่จะเขียนโปรแกรมออกมาเป็นผลสำเร็จได้
3. ในช่วงของการเขียนและทดลองโปรแกรมนั้นทางผู้จัดทำโครงงานได้พบกับปัญหาต่าง ๆ มากมาย อย่างเช่น ปัญหาของ Bug ในตัวโปรแกรม ซึ่งทำให้ผู้จัดทำโครงงานเสียเวลาอย่างมากในการที่จะแก้ไขให้โปรแกรมออกมาสมบูรณ์ในแต่ละ Module
4. เนื่องจากว่าในช่วงของการทำโครงงาน ทางคณะผู้จัดทำโครงงานมีภาระหน้าที่ในการเรียนอยู่ด้วยทำให้การวิจัยและทดลองโครงงานไม่ต่อเนื่องในบางช่วง ซึ่งมีผลทำให้การทำโครงงานออกมาสำเร็จล่าช้า

5.3 ขีดจำกัดของโครงงาน

1. ถึงแม้ว่าตัวโปรแกรมในการออกแบบนี้จะสามารถช่วยให้ผู้ใช้งานทำการออกแบบการติดตั้งสถานีฐานได้ง่ายและสะดวกขึ้น แต่ภาพแผนที่ที่นำมาใช้ในโปรแกรมนั้น ถ้าไม่ใช่แผนที่ที่มีอยู่ในโปรแกรมนี้ ผู้ใช้งานจะต้องทำการปรับขนาดของภาพแผนที่ให้มีขนาดไม่เกินขนาดของหน้าจอแสดงภาพ ผู้ใช้งานจะต้องทราบอัตราส่วนของแผนที่และระยะทางจริงจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งในภาพแผนที่นั้น เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับขนาดที่เป็นพิกเซลของโปรแกรม
2. โปรแกรมนี้ไม่สามารถแก้ไขค่าพารามิเตอร์ของสถานีฐานที่วางลงไปแล้วได้ ต้องทำการวางสถานีฐานที่ตำแหน่งเดิมอีกครั้ง
3. โปรแกรมนี้สามารถวางสถานีฐานได้ไม่เกิน 20 สถานีฐาน ต่อการประมวลผลในแต่ละครั้ง
4. โปรแกรมนี้สามารถใช้สายอากาศภาคส่งที่สถานีฐานได้ไม่เกิน 3 sectors โดยแต่ละ sector จะมีขนาด sector ละ 120 องศา และไม่สามารถกำหนดทิศทางของ sector ที่ 2 และ sector ที่ 3

ได้ โดยทิศทางของ sector ที่ 2 และ sector ที่ 3 จะหมุนตามทิศทางของ sector ที่ 1 และแต่ละ sector จะห่างกัน 120 องศา

5. การคำนวณหาการกระจายของกำลังส่งสัญญาณ (สถานีฐาน)หรือกำลังของสัญญาณภาครับ (เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่) จะพิจารณาการสูญเสียเนื่องจากระยะทางเท่านั้น โดยละเลยการคิดการสะท้อนของสัญญาณจากทิศทางต่าง ๆ(multi path fading หรือsmall-scale fading) ละเลยชาโดว์อิง (shadowing หรือ large-scale fading) เกิดจากการที่สัญญาณบางส่วนถูกบดบังไปชั่วขณะจากสิ่งแวดล้อมรอบข้าง และละเลยการสูญเสียเนื่องจากสิ่งกีดขวาง

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. Model และ Algorithm ต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวโปรแกรมนี้ อาจจะมี Model และ Algorithm อื่น ๆ ที่ดีกว่ามาแทนได้ โดยสามารถแก้ไขได้โดยการแก้ตัวโปรแกรมในส่วนของ Module ในการคำนวณ
2. การปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และการเลือกใช้ Algorithm ในการคำนวณที่ดีอาจจะทำให้การประมวลผลของตัวโปรแกรมมีความเร็วสูงขึ้น
3. ควรพัฒนาโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์หาความแรงของสัญญาณ ที่คำนึงถึงการลดทอนของสิ่งกีดขวางด้วย เนื่องจากในโครงงานคำนึงถึงการลดทอนเนื่องจากระยะทาง เท่านั้น
4. ควรพัฒนาโปรแกรมให้สามารถเลือกใช้สายอากาศภาคส่งที่สถานีฐานได้เกิน 3 sectors และสามารถกำหนดขนาดมุม(องศา) ของแต่ละsectorได้ด้วย
5. ควรพัฒนาโปรแกรมให้ผู้ใช้สามารถแก้ไขค่าพารามิเตอร์ของสถานีฐานที่วางไปแล้วได้
6. ควรพัฒนาโปรแกรมให้ผู้ใช้สามารถวางสถานีฐานได้ไม่จำกัดสถานีฐาน ต่อการประมวลผลในแต่ละครั้ง
7. ควรสามารถพัฒนาโปรแกรมนี้เพื่อวิเคราะห์และคำนวณสัญญาณสำหรับระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์ ที่ติดตั้งภายในอาคาร

บรรณานุกรม

[1] ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ. **หลักการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่**. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 2546.

[2] สัจจะ จรัสรุ่งรวีวร. **คู่มือ** Visual Basic 2005 **ฉบับสมบูรณ์**. นนทบุรี : ไอดีซีฯ, 2549.

[3] นันทนี แขวงโสภา, ชัชวาล ศุภเกษม. **อินไซท์** Visual Basic **และ** VB.Net : **ฉบับ** database. กรุงเทพฯ : โปรวิชั่น, 2544

[4] จำลอง ครูอุตสาหะ, กิตติ ภักดีวัฒนะกุล. VB.NET **ฉบับโปรแกรมเมอร์**. กรุงเทพฯ : เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์, 2545

[5] ชัชวาล ศุภเกษม. **คัมภีร์การใช้** Visual Basic.NET **ฉบับสมบูรณ์**. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2545

[6] ผศ.ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์. **เอกสารประกอบการเรียนวิชาวิศวกรรมสายอากาศ**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา. 2547.

ประวัติผู้เขียน

นางสาวฐาปนี ไทยวิโรจน์ เกิดเมื่อวันพุธที่ 8 สิงหาคม พ.ศ. 2527 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนกู่สวนแตงพิทยาคม อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์ เมื่อปี พ.ศ. 2545 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
โทร 085 -779-9837

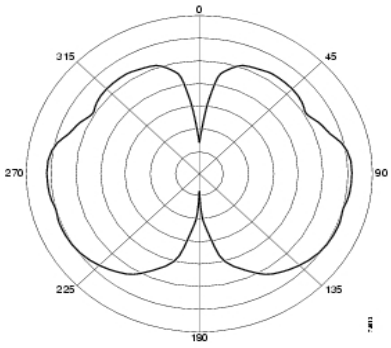
นางสาวศิริภิญญา อาสา เกิดเมื่อวันศุกร์ที่ 29 มิถุนายน พ.ศ. 2527 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลสำโรง อำเภออุทุมพรพิสัย จังหวัดศรีสะเกษ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนกำแพงอำเภออุทุมพรพิสัย จังหวัดศรีสะเกษ เมื่อปี พ.ศ. 2545 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
โทร 089-284-5825

นางสาวศิวพร ศิริรัตนาพานิชย์ เกิดเมื่อวันจันทร์ที่ 24 กันยายน พ.ศ. 2527 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนสุรนารีวิทยา อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2545 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
โทร 087-227-9675

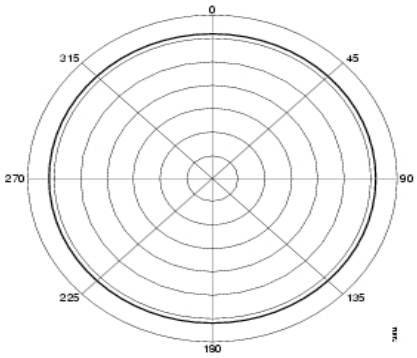
ภาคผนวก ก.

Antenna Pattern

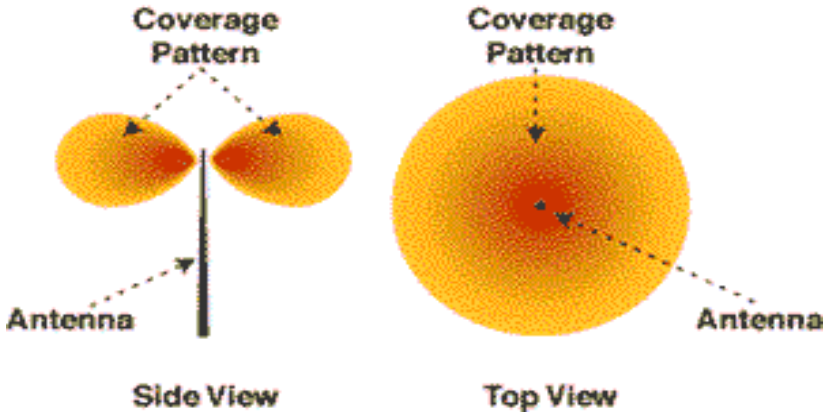
- Omni directional Pattern



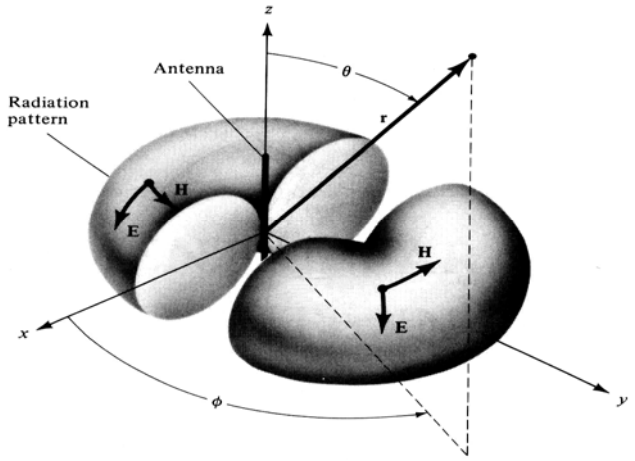
Side View (ทิศทางแนวตั้ง)



Top View (ทิศทางแนวนอน)

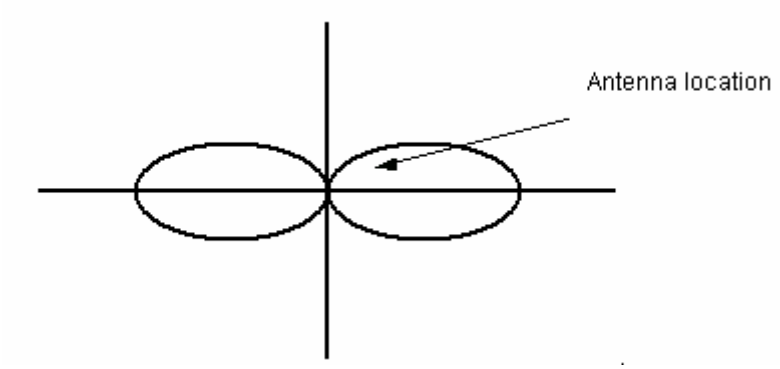


Omni directional Antenna and Coverage Patterns

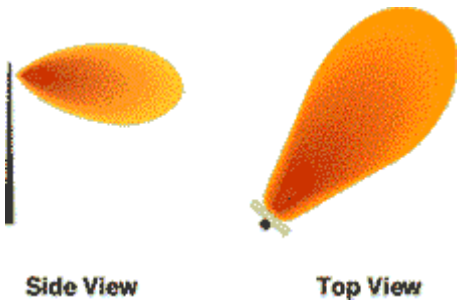


แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแบบรอบตัวในระนาบเดี่ยว

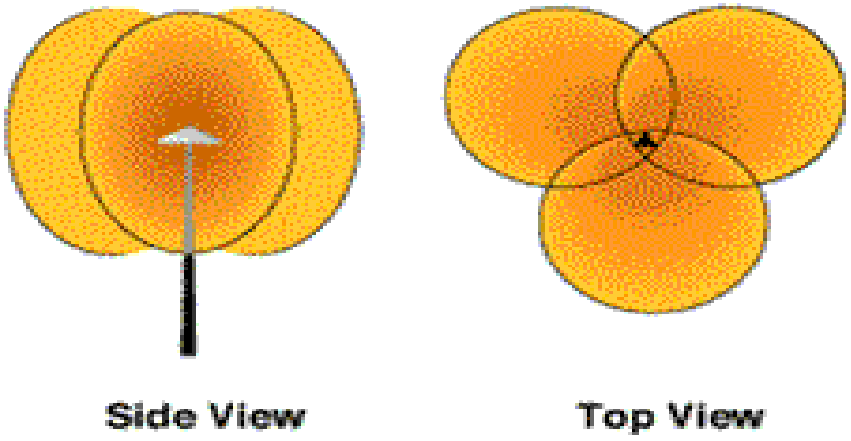
- Directional and Sector Pattern



แบบรูปการแผ่กำลังงานแบบมีทิศทาง

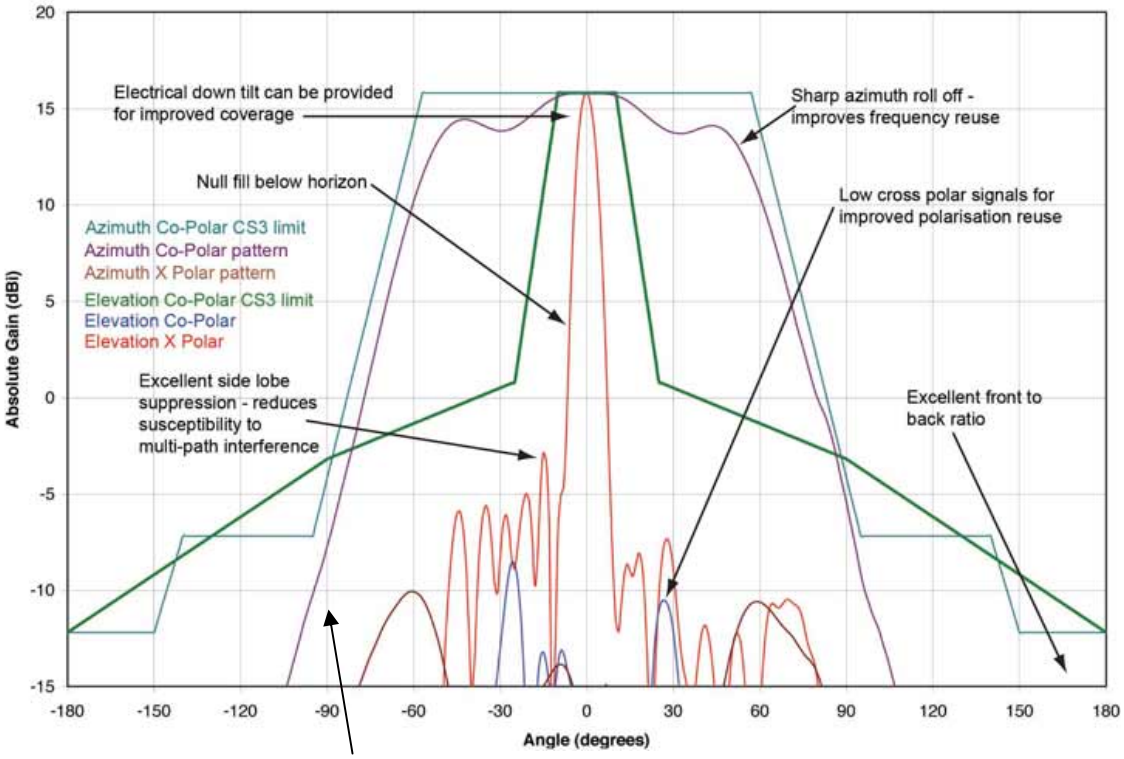


Directional Antenna and Coverage Patterns



Sector Antenna and Coverage Patterns

- **อัตราการขยายของสายอากาศแบบเจาะจงทิศทาง**



ค่าอัตราการขยายของสายอากาศ แบบ sector ละ120 องศา

แสดงค่าอัตราการขยายของสายอากาศแบบเจาะจงทิศทางที่นำมาใช้ในการคำนวณ

ภาคผนวก ข.

อธิบายโปรแกรม

**หมายเหตุ เครื่องหมาย Underscore (_) แสดงให้เห็นว่าคำสั่งยังไม่จบให้ไปต่อในบรรทัดต่อไป

เครื่องหมาย (') คือ การ Comment

1. การประกาศตัวแปร

```
Dim WithEvents DoIt As New DoStuffClass()
Public Shared re As DialogResult
Public Shared Hm, Hb, aHm, Pt, loss, dist, scalepix, distshow,_ prr(20, 852, 641), prr1(20, 852, 641),_
PTT(20, 852, 641), gain(20, 852,_ 641), zeta(20, 852, 641), DEG(20, 852, 641) As Double
Public Shared Gt, Gr, freq, base, base1, nbase, i, j, x1, y1, X_click1, Y_Click1, num1 As Integer
Public Shared Drawflag As Boolean ' ตัวแปรนี้ ถ้าค่าเป็น True จะอยู่ในโหมดวาด
Public Shared pic(20) As Object
Public Shared theGraphics As Graphics
Public Shared n As Integer = 20
'ตัวแปรการหามุมของ sector
Public Shared ang(20, 852, 641), sec2(20, 852, 641), ang1(20, 852,641), ang2(20, 852, 641), _
ang3(20, 852, 641), sec3(20, 852, 641) As Single
Public Shared G( ) As Double = {0, 0, -0.2, -0.5, -1, -2, -2.2,_  -2.2, -2, -2, -2.5, -3.5, -4}
```

** หมายเหตุ Public Shared เป็นการประกาศตัวแปรที่สามารถเรียกใช้ได้ตลอดทั้ง form

2. นาฬิกาบอกเวลาและวันที่ปัจจุบัน

```
Private Sub Timer1_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles_
Timer1.Tick
    Label7.Text = DateAndTime.Now
  End Sub
```

3. FORM LOAD

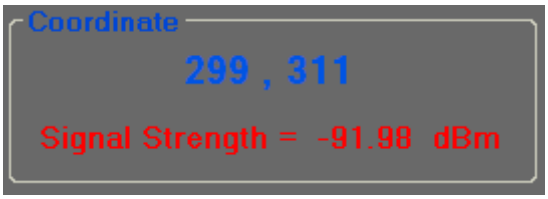
```
Private Sub Form1_Load(ByVal sender As Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Me.Load
        pic(1) = Pic1
        pic(2) = Pic2
        pic(3) = Pic3
        pic(4) = Pic4
        pic(5) = Pic5
        pic(6) = Pic6
        pic(7) = Pic7
        pic(8) = Pic8
        pic(9) = Pic9
        pic(10) = Pic10
        pic(11) = Pic11
        pic(12) = Pic12
        pic(13) = Pic13
        pic(14) = Pic14
        pic(15) = Pic15
```

ส่วนนี้เป็นการเก็บ Base station ที่ 1- 20 ไว้ในอาร์เรย์ 1 มิติที่มีสมาชิก 20 ตัว

```
        pic(16) = Pic16
        pic(17) = Pic17
        pic(18) = Pic18
        pic(19) = Pic19
        pic(20) = Pic20
        bntcalculate.Enabled = False
        bntOpenMapfile.Enabled = False
        bntClearAllBase.Enabled = False
        ClearAllBaseToolStripMenuItem.Enabled = False
        bntruler.Enabled = False
        bntbase.Enabled = False
        PictureBox1.Enabled = False
        mnuOpenMapFile.Enabled = False
      End Sub
```

** **หมายเหตุ** คำสั่ง .enabled เป็น even ที่กำหนดให้ object นั้นทำงานหรือไม่ทำงาน

4. แสดง Coordinate และความแรงของสัญญาณ




```
Private Sub PictureBox1_MouseMove(ByVal sender As Object, ByVal e As_
System.Windows.Forms.MouseEventArgs) Handles PictureBox1.MouseMove
        Dim X_axis, Y_axis As Integer
        X_axis = e.Location.X.ToString
        Y_axis = e.Location.Y.ToString
        Label1.Text = X_axis & " , " & Y_axis
        Dim prr1 As Double
        prr1 = prr(0, e.X, e.Y)
        If prr1 >= -102 And base > 0 Then
            Label2.Text = "Signal Strength =  " &_
prr1.ToString("#,##0.00") & "  dBm"
        Else : Label2.Text = " - dBm"
        End If
      End Sub
```

5. เมื่อ Click ปุ่ม Open new map

```
Private Sub bntOpenNewMap_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e_
As System.EventArgs) Handles bntOpenNewMap.Click

    OpenFileDialog2.InitialDirectory = "C:\Signal strength\Map"
    If OpenFileDialog2.ShowDialog() = Windows.Forms.DialogResult.OK Then
            PictureBox1.Enabled = True
            PictureBox1.Refresh()
            Me.Cursor = Cursors.WaitCursor
            PictureBox1.Image = New Bitmap(OpenFileDialog2.FileName)
            ' ส่วนนี้จะเป็นการ Clear  Base บนแผนที่เดิมก่อนเปิดแผนที่ใหม่
            If base > 0 Then
                For n = 1 To base
                    pic(n).visible = False

                    For i = 0 To PictureBox1.Width
                        For j = 0 To PictureBox1.Height
                            prr(n, i, j) = -100000000000
                            prr(0, i, j) = -100000000000
                            Label6.Text = " "
                        Next
                    Next
                Next
                base = 0
            End If

    Dim file_name As String = OpenFileDialog2.FileName
     file_name = file_name.Substring(file_name.LastIndexOf("\") + 1)
            SaveFileDialog2.FileName = OpenFileDialog2.FileName
            Label4.Text = file_name
            bntruler.Enabled = True
            bntbase.Enabled = True
       End If
       Me.Cursor = Cursors.Default


 'ส่วนนี้เป็นการกำหนดขนาดของไฟล์แผนที่..ที่เปิดขึ้นมา ถ้าขนาดเกิน panel จะให้เปิดรูปใหม่
     If PictureBox1.Enabled = True Then
 If PictureBox1.Image.Height > 641 Or PictureBox1.Image.Width > 852 Then
      re = MessageBox.Show("แผนที่มีขนาดใหญ่เกินพื้นที่แสดงผล กรุณาเลือกแผนที่ใหม่",_
"Warning", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Warning)
                If re = Windows.Forms.DialogResult.OK Then
                    PictureBox1.Image = New Bitmap(50, 50)
                    PictureBox1.Enabled = False
                    Label1.Text = ""
                    Label2.Text = ""
                    If PictureBox1.Enabled = False Then
                        bntruler.Enabled = False
                        bntbase.Enabled = False
                    End If
                End If
            End If
       Else
       End If

       End Sub
```

6. เมื่อ Click ปุ่ม Ruler

```
Private Sub bntruler_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As_
System.EventArgs) Handles bntruler.Click
        bntruler.Enabled = False
End Sub


Private Sub PictureBox1_MouseDown(ByVal sender As Object, ByVal e As_
System.Windows.Forms.MouseEventArgs) Handles PictureBox1.MouseDown
        PictureBox1.Refresh()
        If bntruler.Enabled = False Then
            If e.Button = Windows.Forms.MouseButtons.Left Then
            'ตรวจสอบว่าได้กดเมาส์ปุ่มซ้ายหรือเปล่า
                PictureBox1.Cursor = Cursors.UpArrow
                Drawflag = True     'ถ้ากดปุ่มเมาส์ซ้ายเริ่มวาดเส้นได้
                x1 = e.X  'กำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของเส้นตรงที่วาดเป็นตำแหน่งที่กดปุ่มเมาส์
                y1 = e.Y
            Else
                Drawflag = False         'ถ้าไม่กดปุ่มเมาส์ซ้าย วาดเส้นไม่ได้
            End If
        End If
End Sub


Private Sub PictureBox1_MouseUp(ByVal sender As Object, ByVal e As_
System.Windows.Forms.MouseEventArgs) Handles PictureBox1.MouseUp
        PictureBox1.Cursor = Cursors.Default
        If bntruler.Enabled = False Then
            scalepix = ComboBox1.Text
            distshow = CSng(Sqrt((((x1 - e.X) / scalepix) ^ 2) + ((y1 -
e.Y) / scalepix) ^ 2))
            MessageBox.Show("ระยะทาง = " & distshow.ToString("#,##0.00")_
& "  กิโลเมตร", "Distance",
MessageBoxButtons.OK,MessageBoxIcon.Information)
            bntruler.Enabled = True
        End If
End Sub
```

หมายเหตุ **MouseDown : เมื่อเริ่มกดเมาส์

MouseUp : เมื่อปล่อยเมาส์

7. เมื่อ Click ปุ่ม และวางลงบนแผนที่

```
Private Sub bntbase_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As_
System.EventArgs) Handles bntbase.Click
        ' เมื่อ click ปุ่มเบสจะเป็นการนับจำนวน base
         bntbase.Enabled = False
         base += 1
         nbase = base
         num1 = base
End Sub


Private Sub PictureBox1_MouseClick(ByVal sender As Object, ByVal e As_
System.Windows.Forms.MouseEventArgs) Handles PictureBox1.MouseClick

      If bntbase.Enabled = False Then
            If e.Button = Windows.Forms.MouseButtons.Right Then
                MessageBox.Show("กรุณา click mouse ซ้ายเพื่อทำการวาง  Base_
Station", "Worning", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Warning)
            Else
              X_click1 = e.X
              Y_Click1 = e.Y
              pic(base).visible = True
              pic(base).Location = New Point(X_click1 - 5, Y_Click1 - 4)
```

หาตำแหน่งที่เมาส์ click และแสดงสถานีฐานที่ตำแหน่งนั้น เมื่อได้ตำแหน่งของสถานีฐานจะเริ่มคำนวณองศาจาก code ข้างล่างนี้

```
For i = 0 To PictureBox1.Width
      For j = 0 To PictureBox1.Height
        zeta(base, i, j) = CDbl(Atan((j - Y_Click1) / (i - X_click1)))
        DEG(base, i, j) = (180 / PI) * zeta(base, i, j)
        If i < X_click1 And j <= Y_Click1 Then
           ang(base, i, j) = DEG(base, i, j)
        ElseIf i >= X_click1 And j <= Y_Click1 Then
           ang(base, i, j) = 180 + DEG(base, i, j)
        ElseIf i >= X_click1 And j >= Y_Click1 Then
           ang(base, i, j) = 180 + DEG(base, i, j)
        ElseIf i <= X_click1 And j >= Y_Click1 Then
           ang(base, i, j) = 360 + DEG(base, i, j)
        ElseIf i = X_click1 And j <= Y_Click1 Then
           ang(base, i, j) = 180 + DEG(base, i, j)
        End If
      Next
Next
```

เมื่อวางสถานีฐานแล้วจะเข้าสู่กระบวนการคำนวณต่าง ๆดังนี้

```
If pic(base).visible = True Then
   DBS.ShowDialog()
```
*** ดู code ส่วนนี้ได้ในข้อ 8

```
If DBS.RadioButton1.Checked = True Then
          scalepix = CDbl(ComboBox1.Text)
          freq = Int(DBS.freq(Form1.base))
          Pt = CDbl(10 * Log10((DBS.Pt(Form1.base) / 0.001)))
          Gt = CDbl(DBS.Gt(Form1.base))
          Gr = CDbl(DBS.Gr(Form1.base))
          Hb = CDbl(DBS.Hb(Form1.base))
          Hm = CDbl(DBS.Hm(Form1.base))

      If DBS.RadioButton4.Checked = True Then
         aHm = CDbl(3.2 * ((Log10(11.75 * Hm)) ^ 2) - 4.97)
      ElseIf DBS.RadioButton5.Checked = True Then
         aHm = CDbl((((1.1 * (Log10(freq))) - (0.7)) * Hm) - ((1.56 *_
(Log10(freq))) - 0.8))
      End If

      For i = 0 To PictureBox1.Width
         For j = 0 To PictureBox1.Height

            dist = Sqrt(((DBS.X(Form1.base) - i) / scalepix) ^ 2 +_
((DBS.Y(Form1.base) - j) / scalepix) ^ 2)

            loss = CDbl(69.55 + (26.16 * (Log10(freq))) + ((44.9 -(6.55_
* (Log10(Hb)))) * (Log10(dist))) - (13.82 * (Log10(Hb))) - (aHm))

            prr(base, i, j) = CDbl(Pt - loss + Gt + Gr)
         Next

      Next
```

ส่วนนี้คือส่วนของการคำนวณความแรงของสัญญาณของสายอากาศแบบ Omni directional โดยรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆมาจาก Dialog DBS (ข้อ 8) และเก็บค่าที่ได้จากการคำนวณไว้ในตัวแปรชื่อ

prr(base, i, j)

โดย

base คือ สถานีฐานที่วางปัจจุบัน เช่น base =1 จะได้ prr(1, i, j)

i , j คือ ตำแหน่งพิกัดต่าง ๆบนแผนที่

ส่วนของการใช้สายอากาศแบบ sector

```
ElseIf dbs.RadioButton2.Checked = True Then
        scalepix = CDbl(ComboBox1.Text)
        freq = Int(dbs.freq(Form1.base))
        Pt = CDbl(10 * Log10((dbs.Pt(Form1.base) / 0.001)))
        Gt = CDbl(dbs.Gt(Form1.base))
        Gr = CDbl(dbs.Gr(Form1.base))
        Hb = CDbl(dbs.Hb(Form1.base))
        Hm = CDbl(dbs.Hm(Form1.base))
If dbs.RadioButton4.Checked = True Then
     aHm = CDbl(3.2 * ((Log10(11.75 * Hm)) ^ 2) - 4.97)
ElseIf dbs.RadioButton5.Checked = True Then
     aHm = CDbl((((1.1 * (Log10(freq))) - (0.7)) * Hm) - ((1.56 *_
(Log10(freq))) - 0.8))
End If
```

ส่วนการคำนวณทิศทางการวางตัวของ soctor ที่ 1,2,3

```
For i = 0 To PictureBox1.Width
      For j = 0 To PictureBox1.Height
         ang1(base,i,j)= Abs(CDbl(dbs.ongsa(Form1.base))-ang(base,i,j))

         sec2(base, i, j) = CDbl(dbs.ongsa(Form1.base)) + 120
If CDbl(dbs.ongsa(Form1.base)) > 180 And (dbs.ongsa(Form1.base)) <= 360_
Then
If sec2(base, i, j) > 360 Then
         sec2(base, i, j) = sec2(base, i, j) - 360
End If
End If

         sec3(base, i, j) = CDbl(dbs.ongsa(Form1.base)) + 240
If CDbl(dbs.ongsa(Form1.base)) > 120 And (dbs.ongsa(Form1.base)) <= 360_
Then
If sec3(base, i, j) > 360 Then
         sec3(base, i, j) = sec3(base, i, j) - 360
End If
End If

         ang2(base, i, j) = Abs(sec2(base, i, j) - ang(base, i, j))
If CDbl(dbs.ongsa(Form1.base)) >= 180 And (dbs.ongsa(Form1.base))<= 300_
Then
If ang2(base, i, j) > 60 Then
         ang2(base, i, j) = 360 - ang2(base, i, j)
End If
End If

         ang3(base, i, j) = Abs(sec3(base, i, j) - ang(base, i, j))
If CDbl(dbs.ongsa(Form1.base)) >= 60 And (dbs.ongsa(Form1.base)) <= 180_
Then
If ang3(base, i, j) > 60 Then
         ang3(base, i, j) = 360 - ang3(base, i, j)
End If
End If
```

```
If CDbl(dbs.ongsa(Form1.base)) >= 0 And (dbs.ongsa(Form1.base)) <= 60_
Then
If ang1(base, i, j) > 60 Then
       ang1(base, i, j) = 360 - ang1(base, i, j)
End If

ElseIf CDbl(dbs.ongsa(Form1.base)) >= 300 And (dbs.ongsa(Form1.base))<=_
360 Then

If ang1(base, i, j) > 60 Then
       ang1(base, i, j) = 360 - ang1(base, i, j)
End If
End If

      Next
Next
```

***หมายเหตุ ang1(base, i, j) คือ ทิศทางของสายอากาศ sector ที่ 1

ang2(base, i, j) คือ ทิศทางของสายอากาศ sector ที่ 2

ang3(base, i, j) คือ ทิศทางของสายอากาศ sector ที่ 3

เมื่อวาง 1 sector

```
If dbs.bnt1.Checked = True Then

For i = 0 To PictureBox1.Width
      For j = 0 To PictureBox1.Height
      If ang1(base, i, j) >= 0 And ang1(base, i, j) <= 5 Then
              gain(base, i, j) = G(0)
      ElseIf ang1(base, i, j) >= 5 And ang1(base, i, j) <= 10 Then
              gain(base, i, j) = G(1)
      ElseIf ang1(base, i, j) >= 10 And ang1(base, i, j) <= 15 Then
              gain(base, i, j) = G(2)
      ElseIf ang1(base, i, j) >= 15 And ang1(base, i, j) <= 20 Then
              gain(base, i, j) = G(3)
      ElseIf ang1(base, i, j) >= 20 And ang1(base, i, j) <= 25 Then
              gain(base, i, j) = G(4)
      ElseIf ang1(base, i, j) >= 25 And ang1(base, i, j) <= 30 Then
              gain(base, i, j) = G(5)
      ElseIf ang1(base, i, j) >= 30 And ang1(base, i, j) <= 35 Then
              gain(base, i, j) = G(6)
      ElseIf ang1(base, i, j) >= 35 And ang1(base, i, j) <= 40 Then
              gain(base, i, j) = G(7)
      ElseIf ang1(base, i, j) >= 40 And ang1(base, i, j) <= 45 Then
              gain(base, i, j) = G(8)
      ElseIf ang1(base, i, j) >= 45 And ang1(base, i, j) <= 50 Then
              gain(base, i, j) = G(9)
      ElseIf ang1(base, i, j) >= 50 And ang1(base, i, j) <= 55 Then
              gain(base, i, j) = G(10)
      ElseIf ang1(base, i, j) >= 55 And ang1(base, i, j) <= 60 Then
              gain(base, i, j) = G(11)
      Else : gain(base, i, j) = -1000000000000
 End If
```

ส่วนการเปรียบเทียบค่า gain กับค่ามุมองศา

```
PTT(base, i, j) = Pt + gain(base, i, j)

dist = Sqrt(((dbs.X(Form1.base) - i) / scalepix) ^ 2 +_
((dbs.Y(Form1.base) - j) / scalepix) ^ 2)

loss = CDbl(69.55 + (26.16 * (Log10(freq))) + ((44.9 - (6.55 *
(Log10(Hb)))) * (Log10(dist))) - (13.82 * (Log10(Hb))) - (aHm))

prr(base, i, j) = CDbl(PTT(base, i, j) - loss + Gt + Gr)
      Next
Next
```

เมื่อวาง 2 sector

```
ElseIf dbs.bnt2.Checked = True Then
For i = 0 To PictureBox1.Width
      For j = 0 To PictureBox1.Height
      If ang1(base, i, j) >= 0 And ang1(base, i, j) <= 5 Then
              gain(base, i, j) = G(0)
      ElseIf ang1(base, i, j) >= 5 And ang1(base, i, j) <= 10 Then
              gain(base, i, j) = G(1)
      ElseIf ang1(base, i, j) >= 10 And ang1(base, i, j) <= 15 Then
              gain(base, i, j) = G(2)
      ElseIf ang1(base, i, j) >= 15 And ang1(base, i, j) <= 20 Then
              gain(base, i, j) = G(3)
      ElseIf ang1(base, i, j) >= 20 And ang1(base, i, j) <= 25 Then
              gain(base, i, j) = G(4)
      ElseIf ang1(base, i, j) >= 25 And ang1(base, i, j) <= 30 Then
              gain(base, i, j) = G(5)
      ElseIf ang1(base, i, j) >= 30 And ang1(base, i, j) <= 35 Then
              gain(base, i, j) = G(6)
      ElseIf ang1(base, i, j) >= 35 And ang1(base, i, j) <= 40 Then
              gain(base, i, j) = G(7)
      ElseIf ang1(base, i, j) >= 40 And ang1(base, i, j) <= 45 Then
              gain(base, i, j) = G(8)
      ElseIf ang1(base, i, j) >= 45 And ang1(base, i, j) <= 50 Then
              gain(base, i, j) = G(9)
      ElseIf ang1(base, i, j) >= 50 And ang1(base, i, j) <= 55 Then
              gain(base, i, j) = G(10)
      ElseIf ang1(base, i, j) >= 55 And ang1(base, i, j) <= 60 Then
              gain(base, i, j) = G(11)

'----sector 2------

      ElseIf ang2(base, i, j) >= 0 And ang2(base, i, j) <= 5 Then
              gain(base, i, j) = G(0)
      ElseIf ang2(base, i, j) >= 5 And ang2(base, i, j) <= 10 Then
              gain(base, i, j) = G(1)
      ElseIf ang2(base, i, j) >= 10 And ang2(base, i, j) <= 15 Then
              gain(base, i, j) = G(2)
      ElseIf ang2(base, i, j) >= 15 And ang2(base, i, j) <= 20 Then
              gain(base, i, j) = G(3)
      ElseIf ang2(base, i, j) >= 20 And ang2(base, i, j) <= 25 Then
              gain(base, i, j) = G(4)
      ElseIf ang2(base, i, j) >= 25 And ang2(base, i, j) <= 30 Then
              gain(base, i, j) = G(5)
      ElseIf ang2(base, i, j) >= 30 And ang2(base, i, j) <= 35 Then
              gain(base, i, j) = G(6)
```

```
        ElseIf ang2(base, i, j) >= 35 And ang2(base, i, j) <= 40 Then
                gain(base, i, j) = G(7)
        ElseIf ang2(base, i, j) >= 40 And ang2(base, i, j) <= 45 Then
                gain(base, i, j) = G(8)
        ElseIf ang2(base, i, j) >= 45 And ang2(base, i, j) <= 50 Then
                gain(base, i, j) = G(9)
        ElseIf ang2(base, i, j) >= 50 And ang2(base, i, j) <= 55 Then
                gain(base, i, j) = G(10)
        ElseIf ang2(base, i, j) >= 55 And ang2(base, i, j) <= 60 Then
                gain(base, i, j) = G(11)
        Else : gain(base, i, j) = -1000000000000
        End If

        PTT(base, i, j) = Pt + gain(base, i, j)

        dist = Sqrt(((dbs.X(Form1.base) - i) / scalepix) ^ 2 +_
        ((dbs.Y(Form1.base) - j) / scalepix) ^ 2)

        loss = CDbl(69.55 + (26.16 * (Log10(freq))) + ((44.9 - (6.55 *_
        (Log10(Hb)))) * (Log10(dist))) - (13.82 * (Log10(Hb))) - (aHm))

        prr(base, i, j) = CDbl(PTT(base, i, j) - loss + Gt + Gr)
        Next
Next
```

เมื่อวาง 3 sector

```
ElseIf DBS.bnt3.Checked = True Then

For i = 0 To PictureBox1.Width
        For j = 0 To PictureBox1.Height
        If ang1(base, i, j) >= 0 And ang1(base, i, j) <= 5 Then
                gain(base, i, j) = G(0)
        ElseIf ang1(base, i, j) >= 5 And ang1(base, i, j) <= 10 Then
                gain(base, i, j) = G(1)
        ElseIf ang1(base, i, j) >= 10 And ang1(base, i, j) <= 15 Then
                gain(base, i, j) = G(2)
        ElseIf ang1(base, i, j) >= 15 And ang1(base, i, j) <= 20 Then
                gain(base, i, j) = G(3)
        ElseIf ang1(base, i, j) >= 20 And ang1(base, i, j) <= 25 Then
                gain(base, i, j) = G(4)
        ElseIf ang1(base, i, j) >= 25 And ang1(base, i, j) <= 30 Then
                gain(base, i, j) = G(5)
        ElseIf ang1(base, i, j) >= 30 And ang1(base, i, j) <= 35 Then
                gain(base, i, j) = G(6)
        ElseIf ang1(base, i, j) >= 35 And ang1(base, i, j) <= 40 Then
                gain(base, i, j) = G(7)
        ElseIf ang1(base, i, j) >= 40 And ang1(base, i, j) <= 45 Then
                gain(base, i, j) = G(8)
        ElseIf ang1(base, i, j) >= 45 And ang1(base, i, j) <= 50 Then
                gain(base, i, j) = G(9)
        ElseIf ang1(base, i, j) >= 50 And ang1(base, i, j) <= 55 Then
                gain(base, i, j) = G(10)
        ElseIf ang1(base, i, j) >= 55 And ang1(base, i, j) <= 60 Then
                gain(base, i, j) = G(11)
```

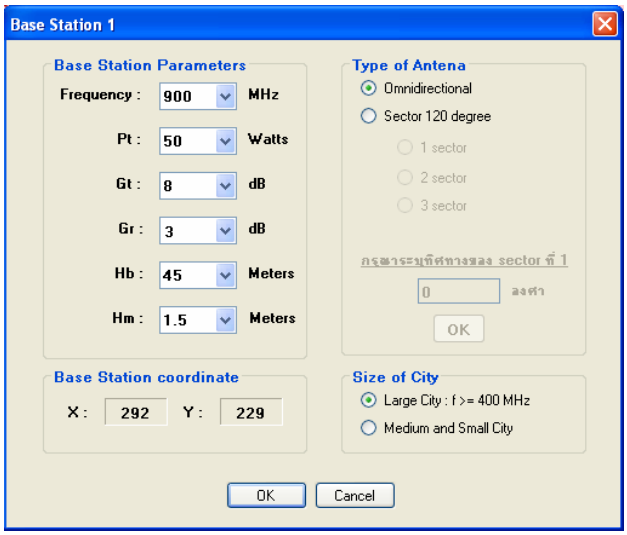
```
'----sector 2------

ElseIf ang2(base, i, j) >= 0 And ang2(base, i, j) <= 5 Then
        gain(base, i, j) = G(0)
ElseIf ang2(base, i, j) >= 5 And ang2(base, i, j) <= 10 Then
        gain(base, i, j) = G(1)
ElseIf ang2(base, i, j) >= 10 And ang2(base, i, j) <= 15 Then
        gain(base, i, j) = G(2)
ElseIf ang2(base, i, j) >= 15 And ang2(base, i, j) <= 20 Then
        gain(base, i, j) = G(3)
ElseIf ang2(base, i, j) >= 20 And ang2(base, i, j) <= 25 Then
        gain(base, i, j) = G(4)
ElseIf ang2(base, i, j) >= 25 And ang2(base, i, j) <= 30 Then
        gain(base, i, j) = G(5)
ElseIf ang2(base, i, j) >= 30 And ang2(base, i, j) <= 35 Then
        gain(base, i, j) = G(6)
ElseIf ang2(base, i, j) >= 35 And ang2(base, i, j) <= 40 Then
        gain(base, i, j) = G(7)
ElseIf ang2(base, i, j) >= 40 And ang2(base, i, j) <= 45 Then
        gain(base, i, j) = G(8)
ElseIf ang2(base, i, j) >= 45 And ang2(base, i, j) <= 50 Then
        gain(base, i, j) = G(9)
ElseIf ang2(base, i, j) >= 50 And ang2(base, i, j) <= 55 Then
        gain(base, i, j) = G(10)
ElseIf ang2(base, i, j) >= 55 And ang2(base, i, j) <= 60 Then
        gain(base, i, j) = G(11)

'----sector 3------

ElseIf ang3(base, i, j) >= 0 And ang3(base, i, j) <= 5 Then
        gain(base, i, j) = G(0)
ElseIf ang3(base, i, j) >= 5 And ang3(base, i, j) <= 10 Then
        gain(base, i, j) = G(1)
ElseIf ang3(base, i, j) >= 10 And ang3(base, i, j) <= 15 Then
        gain(base, i, j) = G(2)
ElseIf ang3(base, i, j) >= 15 And ang3(base, i, j) <= 20 Then
        gain(base, i, j) = G(3)
ElseIf ang3(base, i, j) >= 20 And ang3(base, i, j) <= 25 Then
        gain(base, i, j) = G(4)
ElseIf ang3(base, i, j) >= 25 And ang3(base, i, j) <= 30 Then
        gain(base, i, j) = G(5)
ElseIf ang3(base, i, j) >= 30 And ang3(base, i, j) <= 35 Then
        gain(base, i, j) = G(6)
ElseIf ang3(base, i, j) >= 35 And ang3(base, i, j) <= 40 Then
        gain(base, i, j) = G(7)
ElseIf ang3(base, i, j) >= 40 And ang3(base, i, j) <= 45 Then
        gain(base, i, j) = G(8)
ElseIf ang3(base, i, j) >= 45 And ang3(base, i, j) <= 50 Then
        gain(base, i, j) = G(9)
ElseIf ang3(base, i, j) >= 50 And ang3(base, i, j) <= 55 Then
        gain(base, i, j) = G(10)
ElseIf ang3(base, i, j) >= 55 And ang3(base, i, j) <= 60 Then
        gain(base, i, j) = G(11)
Else : gain(base, i, j) = -1000000000000
End If
```

```
        PTT(base, i, j) = Pt + gain(base, i, j)

        dist = Sqrt(((DBS.X(Form1.base) - i) / scalepix) ^ 2 +_
        ((DBS.Y(Form1.base) - j) / scalepix) ^ 2)

        loss = CDbl(69.55 + (26.16 * (Log10(freq))) + ((44.9 - (6.55 *_
        (Log10(Hb)))) * (Log10(dist))) - (13.82 * (Log10(Hb))) - (aHm))

        prr(base, i, j) = CDbl(PTT(base, i, j) - loss + Gt + Gr)
        Next
Next


                    End If
                End If
            End If
End If
                bntbase.Enabled = True
                bntcalculate.Enabled = True
                ClearAllBaseToolStripMenuItem.Enabled = True
                bntClearAllBase.Enabled = True
```

ถ้า click cancel หมายถึง ยกเลิกการวางสถานีฐาน

```
If DBS.DialogResult = System.Windows.Forms.DialogResult.Cancel Then
                    pic(base).Visible = False
                    If base > 0 Then
                        base = base - 1
                    End If
                    bntbase.Enabled = True
                End If
            End If

    End Sub
```

8. ส่วนของ Base Station Dialog



```
Public Class DBS
    Public Shared Pt(20), freq(20), Gt(20), Gr(20), Hb(20), Hm(20),_
X(20), Y(20), ongsa(20) As Double
    Public Shared txt(20) As String

Sub defalt()
        ComboBox1.Text = 900
        ComboBox2.Text = 50
        ComboBox3.Text = 8
        ComboBox4.Text = 3
        ComboBox5.Text = 45
        ComboBox6.Text = 1.5
        TextBox1.Text = 0
        Label15.Text = Form1.X_Click1
        Label16.Text = Form1.Y_Click1
        RadioButton1.Checked = True
        If RadioButton1.Checked = True Then
            bnt1.Checked = False
            bnt2.Checked = False
            bnt3.Checked = False
        End If
        RadioButton4.Checked = True

        If Form1.base > 0 Then
            Me.Text = txt(Form1.base)
        End If
End Sub

Private Sub DBS_Load(ByVal sender As Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Me.Load
        txt(1) = "Base Station 1"
        txt(2) = "Base Station 2"
        txt(3) = "Base Station 3"
        txt(4) = "Base Station 4"
        txt(5) = "Base Station 5"
        txt(6) = "Base Station 6"
        txt(7) = "Base Station 7"
        txt(8) = "Base Station 8"
        txt(9) = "Base Station 9"
        txt(10) = "Base Station 10"
        txt(11) = "Base Station 11"
        txt(12) = "Base Station 12"
        txt(13) = "Base Station 13"
        txt(14) = "Base Station 14"
        txt(15) = "Base Station 15"
        txt(16) = "Base Station 16"
        txt(17) = "Base Station 17"
        txt(18) = "Base Station 18"
        txt(19) = "Base Station 19"
        txt(20) = "Base Station 20"
        Call defalt()
End Sub
```

กำหนดค่า Default ของพารามิเตอร์

เมื่อ Form dialog ปรากฏขึ้น จะแสดงค่า default และแสดงว่าสถานีฐานที่วางปัจจุบันคือสถานีฐานที่เท่าไหร่

เมื่อกด OK จะทำการส่งค่าพารามิเตอร์ไปยัง ข้อ 7

```
Private Sub OK_Button_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As_
System.EventArgs) Handles OK_Button.Click
        freq(Form1.base) = ComboBox1.Text
        Pt(Form1.base) = ComboBox2.Text
        Gt(Form1.base) = ComboBox3.Text
        Gr(Form1.base) = ComboBox4.Text
        Hb(Form1.base) = ComboBox5.Text
        Hm(Form1.base) = ComboBox6.Text
        ongsa(Form1.base) = TextBox1.Text
        X(Form1.base) = Label15.Text
        Y(Form1.base) = Label16.Text
        Me.DialogResult = System.Windows.Forms.DialogResult.OK
        Me.Close()
End Sub
```

เมื่อกด cancel แสดงว่ายกเลิกการวางสถานีฐาน

```
Private Sub Cancel_Button_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles Cancel_Button.Click
        Me.DialogResult = System.Windows.Forms.DialogResult.Cancel
        Me.Close()
End Sub
```

ส่วนของการ check ว่าเลือกสายอากาศแบบใด

```
Private Sub RadioButton1_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object,_
 ByVal e As System.EventArgs) Handles RadioButton1.CheckedChanged
        Button1.Enabled = False
        TextBox1.Enabled = False
        Label17.Enabled = False
        Label18.Enabled = False
        bnt1.Enabled = False
        bnt2.Enabled = False
        bnt3.Enabled = False
End Sub

Private Sub RadioButton2_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object,_
ByVal e As System.EventArgs) Handles RadioButton2.CheckedChanged
        Button1.Enabled = True
        TextBox1.Enabled = True
        Label17.Enabled = True
        Label18.Enabled = True
        bnt1.Enabled = True
        bnt2.Enabled = True
        bnt3.Enabled = True
End Sub
```

ส่วนของการกำหนดทิศทางของสายอากาศ sector ที่ 1 ซึ่งจะส่งค่าไปคำนวณในข้อ 7

```
Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As_
System.EventArgs) Handles Button1.Click
    Dim sec2, sec3 As Double
    If RadioButton2.Checked = True Then
        ongsa(Form1.base) = TextBox1.Text
        sec2 = ongsa(Form1.base) + 120
        sec3 = sec2 + 120
         If sec2 > 360 Then
            sec2 = sec2 - 360
         End If
         If sec3 > 360 Then
            sec3 = sec3 - 360
         End If
         If ongsa(Form1.base) >= 0 And ongsa(Form1.base) <= 360 Then
             If bnt2.Checked = True Then
                MessageBox.Show("ทิศทางของ sector 2 คือ   " & sec2 & "  องศา",_
"information", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
             ElseIf bnt3.Checked = True Then
                MessageBox.Show("ทิศทางของ sector 2 คือ   " & sec2 & "  องศา" &_
vbCrLf & "ทิศทางของ sector 3 คือ   " & sec3 & "  องศา", "information",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
             End If
         Else : MessageBox.Show("กรุณาระบุทิศทางอยู่ในช่วง 0 - 360 องศา", "Worning",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Warning)
            End If
        End If
    End Sub
End Class
```

9. เมื่อ Click ปุ่ม Calculate


```
Private Sub bntcalculate_Click(ByVal sender As System.Object,ByVal e As_
System.EventArgs) Handles bntcalculate.Click
      DoIt.StartValue = 0             'progressbar start at 0
      Dim h As Integer = PictureBox1.Height
      Dim w As Integer = PictureBox1.Width
      Dim nn As New Bitmap(w, h)
      nnsave.ShowDialog()              'show save dialog
      PictureBox1.Refresh()


' เป็นการระบุชื่อ file ที่ต้องการ save ก่อนทำการประมวลผล
If nnsave.DialogResult = System.Windows.Forms.DialogResult.OK And_
nnsave.TextBox1.Text <> "" Then
      bntcalculate.Enabled = False
      Me.Cursor = Cursors.WaitCursor
      MessageBox.Show("file ของคุณจะถูก  save ไว้ที่  " & vbCrLf & "C:\Signal_
strength\ผลการแสดงระดับสัญญาณ\" & nnsave.TextBox1.Text & ".jpg",_
"Information", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
```

ส่วนนี้จะทำการเปรียบเทียบความแรงของสัญญาณจากทุกสถานีฐาน และเก็บค่าที่มากที่สุดว่าใน **prr(0, i, j)** จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบระดับความแรงออกมาเป็นระดับสี

```
For i = 0 To w
    DoIt.CountLoop(i / w * 100)
    For j = 0 To h
         prr(0, i, j) = -1000000000000
            For nbase = 1 To base
               If prr(0, i, j) < prr(nbase, i, j) Then
                     prr(0, i, j) = prr(nbase, i, j)
                End If
             Next

theGraphics = Graphics.FromImage(nn)
    If (prr(0, i, j) >= -102) And (prr(0, i, j) <= -90) Then
theGraphics.FillRectangle(System.Drawing.Brushes.Plum, New_
Rectangle(i,j, 5, 5))
    ElseIf (prr(0, i, j) > -90) And (prr(0, i, j) <= -80) Then
theGraphics.FillRectangle(System.Drawing.Brushes.SkyBlue, New_
Rectangle(i, j, 5, 5))
    ElseIf (prr(0, i, j) > -80) And (prr(0, i, j) <= -70) Then
theGraphics.FillRectangle(System.Drawing.Brushes.PaleGreen, New_
Rectangle(i, j, 5, 5))
    ElseIf (prr(0, i, j) > -70) And (prr(0, i, j) <= -60) Then
theGraphics.FillRectangle(System.Drawing.Brushes.YellowGreen, New_
Rectangle(i, j, 5, 5))
    ElseIf (prr(0, i, j) > -60) And (prr(0, i, j) <= -50) Then
theGraphics.FillRectangle(System.Drawing.Brushes.Gold, New_
Rectangle(i, j, 5, 5))
    ElseIf (prr(0, i, j) > -50) And (prr(0, i, j) <= -40) Then
theGraphics.FillRectangle(System.Drawing.Brushes.DarkOrange, New_
Rectangle(i, j, 5, 5))
    ElseIf (prr(0, i, j) > -40) And (prr(0, i, j) <= -30) Then
theGraphics.FillRectangle(System.Drawing.Brushes.OrangeRed, New_
Rectangle(i, j, 5, 5))
    ElseIf (prr(0, i, j) > -30) And (prr(0, i, j) <= -20) Then
theGraphics.FillRectangle(System.Drawing.Brushes.DeepPink, New_
Rectangle(i, j, 5, 5))
    ElseIf (prr(0, i, j) > -20) And (prr(0, i, j) <= -10) Then
theGraphics.FillRectangle(System.Drawing.Brushes.MediumVioletRed, New_
Rectangle(i, j, 5, 5))
    ElseIf (prr(0, i, j) > -10) And (prr(0, i, j) <= 0) Then
theGraphics.FillRectangle(System.Drawing.Brushes.MediumBlue, New_
Rectangle(i, j, 5, 5))
    ElseIf (prr(0, i, j) > 0) And (prr(0, i, j) <= 10) Then
theGraphics.FillRectangle(System.Drawing.Brushes.Indigo, New_
Rectangle(i, j, 5, 5))
    ElseIf (prr(0, i, j) > 10) And (prr(0, i, j) <= 20) Then
theGraphics.FillRectangle(System.Drawing.Brushes.MidnightBlue, New_
Rectangle(i, j, 5, 5))
    ElseIf (prr(0, i, j) > 20) And (prr(0, i, j) <= 30) Then
theGraphics.FillRectangle(System.Drawing.Brushes.Black, New_
Rectangle(i, j, 5, 5))
    Else : theGraphics.FillRectangle(System.Drawing.Brushes.White, New_
Rectangle(i, j, 5, 5))
    End If
      Next
Next
```

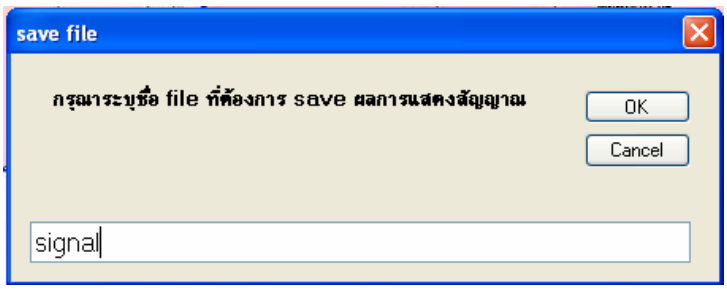
ส่วนนี้จะทำให้แผนที่เป็น Transparent เมื่อทำการเปรียบเทียบระดับสีแล้วจะทำการวาดภาพ bitmap เก็บไว้ใน C:\File.jpg เพื่อเรียกมากำหนดความโปร่งใสของสี

```
nn.Save("c:\File.jpg",System.Drawing.Imaging.ImageFormat.Bmp)
        Dim imagePath As String = "C:\File.jpg"
        Dim aa As Integer = 50
        Dim img As Image = Image.FromFile(imagePath)
        Dim iii As ImageAttributes = New ImageAttributes
        Dim c As ColorMatrix = New ColorMatrix
        PictureBox1.Refresh()
        c.Matrix33 = aa / 100
        iii.SetColorMatrix(c)
        PictureBox1.CreateGraphics.DrawImage(img, New Rectangle(0, 0, w,_
h), 0, 0, img.Width, img.Height, GraphicsUnit.Pixel, iii)
```

ส่วนของการ save ผลการแสดงระดับสัญญาณ

```
        Dim ggg As Bitmap = CaptureControl(PictureBox1)
        ggg.Save("C:\Signal strength\ผลการแสดงระดับสัญญาณ\"_
&nnsave.TextBox1.Text & ".jpg")
            ggg.Dispose()

            bntcalculate.Enabled = True
         Else
MessageBox.Show("กรุณาระบุชื่อ save file ก่อนทำการทำนวณ" & vbCrLf & "** กดปุ่ม Calcucat อีก_
ครั้ง", "Information", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
            bntcalculate.Enabled = True
         End If

         Me.Cursor = Cursors.Default
         mnuOpenMapFile.Enabled = True
         bntOpenMapfile.Enabled = True
         bntcalculate.Enabled = True

         MyProgressBar.Value = 0
        End Sub
```

10. ส่วนของ Save dialog



```
Public Class nnsave
    Private Sub OK_Button_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e_
As System.EventArgs) Handles OK_Button.Click
        Me.DialogResult = System.Windows.Forms.DialogResult.OK
        Me.Close()
    End Sub
    Private Sub Cancel_Button_Click(ByVal sender As System.Object,ByVal_
e As System.EventArgs) Handles Cancel_Button.Click
        Me.DialogResult = System.Windows.Forms.DialogResult.Cancel
        Me.Close()
    End Sub
End Class
```

11. Progressbar แสดงระยะเวลาในการประมวลผล

```
Private Sub UpdateProgressBar(ByVal MyCountInteger As Integer) Handles_
DoIt.OnProgress
        MyProgressBar.Value = MyCountInteger
End Sub
```

12. เมื่อ Click ปุ่ม Clear all base

```
Private Sub bntClearAllBase_Click(ByVal sender As Object, ByVal e As_
System.EventArgs) Handles bntClearAllBase.Click
        Dim Res As DialogResult
        Res = MessageBox.Show("คุณต้องการลบ base ทั้งหมดหรือไม่", "Clear All_
Base", MessageBoxButtons.OKCancel, MessageBoxIcon.Question,
MessageBoxDefaultButton.Button1)
        PictureBox1.Refresh()
        If Res = Windows.Forms.DialogResult.OK Then
            Me.Cursor = Cursors.WaitCursor
            For n = 1 To base
                pic(n).visible = False

                For i = 0 To PictureBox1.Width
                    For j = 0 To PictureBox1.Height
                        prr(n, i, j) = -100000000000
                    Next
                Next
            Next
            base = 0
            If base = 0 Then
                For i = 0 To PictureBox1.Width
                    For j = 0 To PictureBox1.Height
                        prr(0, i, j) = -100000000000
                        Label6.Text = " "
                    Next
                Next
            End If
            bntcalculate.Enabled = False
            bntClearAllBase.Enabled = False
            ClearAllBaseToolStripMenuItem.Enabled = False
        Else
        End If
        Me.Cursor = Cursors.Default
End Sub
```

13. เมื่อ Click ปุ่ม Open map file

```
Private Sub bntOpenMapfile_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles bntOpenMapfile.Click
        OpenFileDialog1.InitialDirectory = "C:\Signal strength\ผลการแสดง
ระดับสัญญาณ"
        If OpenFileDialog1.ShowDialog() = Windows.Forms.DialogResult.OK
Then
            PictureBox1.Enabled = True
            PictureBox1.Refresh()
            Me.Cursor = Cursors.WaitCursor
            PictureBox1.Image = New Bitmap(OpenFileDialog1.FileName)


            ส่วนนี้จะเป็นการ Clear  Base บนแผนที่เดิมก่อนเปิดแผนที่ใหม่
            If base > 0 Then
                For n = 1 To base
                    pic(n).visible = False

                    For i = 0 To PictureBox1.Width
                        For j = 0 To PictureBox1.Height
                            prr(n, i, j) = -100000000000
                            prr(0, i, j) = -100000000000
                            Label6.Text = " "
                        Next
                    Next
                Next
                base = 0
            End If

           Dim file_name As String = OpenFileDialog1.FileName
           file_name = file_name.Substring(file_name.LastIndexOf("\")+1)
           SaveFileDialog1.FileName = OpenFileDialog1.FileName
           Label4.Text = file_name
           bntruler.Enabled = True
           bntbase.Enabled = True
       End If
        Me.Cursor = Cursors.Default
       End Sub
```

14. Help

```
Private Sub bntHelp_Click(ByVal sender As Object, ByVal e As_
System.EventArgs) Handles bntHelp.Click
        PictureBox1.Refresh()
        dlghelp.ShowDialog() 'เรียก dialog help
End Sub
```

ส่วนของ Help dialog

```
Public Class dlghelp
    Public Shared n1 As Integer = 0
    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As_
System.EventArgs) Handles Button1.Click
        n1 += 1
        'MessageBox.Show(n1)
        If n1 > 0 Then
            Button2.Enabled = True
        End If
        If n1 = 1 Then
            PictureBox1.ImageLocation = "C:\Signal strength\help\h2.bmp"
            Label1.Text = "page 2"
        ElseIf n1 = 2 Then
            PictureBox1.ImageLocation = "C:\Signal strength\help\h3.bmp"
            Label1.Text = "page 3"
        ElseIf n1 = 3 Then
            PictureBox1.ImageLocation = "C:\Signal strength\help\h4.bmp"
            Label1.Text = "page 4"
        ElseIf n1 = 4 Then
            PictureBox1.ImageLocation = "C:\Signal strength\help\h5.bmp"
            Label1.Text = "page 5"
        ElseIf n1 = 5 Then
            PictureBox1.ImageLocation = "C:\Signal strength\help\h6.bmp"
            Label1.Text = "page 6"
        ElseIf n1 = 6 Then
            PictureBox1.ImageLocation = "C:\Signal strength\help\h7.bmp"
            Label1.Text = "page 7"
            Button1.Enabled = False
        End If
    End Sub


    Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As_
System.EventArgs) Handles Button2.Click
        If n1 > 0 Then
            n1 = n1 - 1
        End If
        If n1 = 1 Then
            PictureBox1.ImageLocation = "C:\Signal strength\help\h2.bmp"
            Label1.Text = "page 2"
            Button1.Enabled = True
        ElseIf n1 = 2 Then
            PictureBox1.ImageLocation = "C:\Signal strength\help\h3.bmp"
            Label1.Text = "page 3"
            Button1.Enabled = True
        ElseIf n1 = 3 Then
            PictureBox1.ImageLocation = "C:\Signal strength\help\h4.bmp"
```

```
            Label1.Text = "page 4"
            Button1.Enabled = True
        ElseIf n1 = 4 Then
            PictureBox1.ImageLocation = "C:\Signal strength\help\h5.bmp"
            Label1.Text = "page 5"
            Button1.Enabled = True
        ElseIf n1 = 5 Then
            PictureBox1.ImageLocation = "C:\Signal strength\help\h6.bmp"
            Label1.Text = "page 6"
            Button1.Enabled = True
        ElseIf n1 = 0 Then
            PictureBox1.ImageLocation = "C:\Signal strength\help\h1.bmp"
            Label1.Text = "page 1"
            Button2.Enabled = False
            Button1.Enabled = True
        End If
    End Sub

   End Class
```

15. ลบครั้งละ base station

```
Private Sub Pic1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As_
System.EventArgs) Handles Pic1.Click
    PictureBox1.Refresh()
    base1 = 1
    re = MessageBox.Show("คุณต้องการลบ Base Station " & base1 & " ใช่หรือไม่", "Question",_
MessageBoxButtons.YesNo, MessageBoxIcon.Question)
    If re = Windows.Forms.DialogResult.Yes Then
            Pic1.Visible = False
            For i = 0 To PictureBox1.Width
                For j = 0 To PictureBox1.Height
                    prr(base1, i, j) = -100000000000
                Next
            Next
        End If
        num1 = num1 - 1
        If num1 = 0 Then
            bntcalculate.Enabled = False
            bntClearAllBase.Enabled = False
            ClearAllBaseToolStripMenuItem.Enabled = False
        End If
End Sub
```