

การหาจุดบกพร่องของการวางเซลล์เต้านของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลPCT

The examination of disadvantages of the cell station installation in Personal
Communication Telephone System



โดย

นายบำรุง

จันทร์บุรี

นายภัทรพงษ์

ผาสุกกิจ

นายภารตะ

เพ็ชศรี

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 42137

วัน, เดือน, ปี 1.3 พ.ค. 2545

.b.....

.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

การหาจุดบกพร่องของการวางเซลล์เตชั้นของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลPCT

The examination of disadvantages of the cell station installation in Personal
Communication Telephone System



โดย
นายบำรุง จันทะบุรี 41013017
นายภัทรพงษ์ ผาสุกกิจ 41013021
นายภาวตะ เพ็ชศรี 41013022

อาจารย์ที่ปรึกษา
อ. พิเชฐ ม่วงนวล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การหาจุดบกพร่องของการวางเซลล์เคลื่อนที่ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลPCT

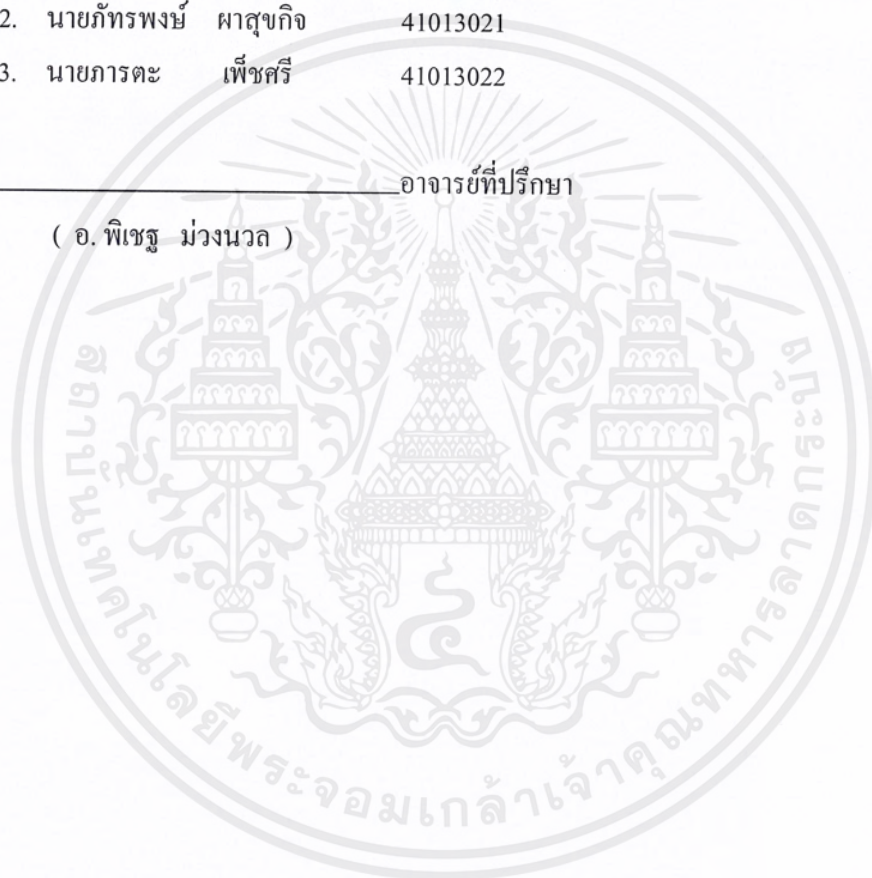
**The examination of disadvantages of the cell station installation in Personal
Communication Telephone System**

ผู้จัดทำ

- | | | |
|----------------|-----------|----------|
| 1. นายบำรุง | จันทะบุรี | 41013017 |
| 2. นายภัทรพงษ์ | ผาสุขกิจ | 41013021 |
| 3. นายภาวตะ | เพ็ชศรี | 41013022 |

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. พิเชฐ ม่วงนวล)



การหาจุดบกพร่องของการวางเซลล์เคลื่อนที่ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลPCT
The examination of disadvantages of the cell station installation in Personal
Communication Telephone System

โดย	นายบำรุง	จันทะบุรี	41013017
	นายภัทรพงษ์	ผาสุขกิจ	41013021
	นายการตะ	เพ็ชศรี	41013022
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์พิเชฐ	ม่วงนวล	

บทคัดย่อ

โครงการฉบับนี้ได้นำเสนอการพัฒนาระบบการตรวจสอบระดับสัญญาณของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที (PCT : Personal Communication Telephone) ที่แพร่กระจายจากเซลล์เคลื่อนที่ (Cell Station :CS) โดยทำการศึกษาการทำงานเครื่องมือวัด LEADER PHS Field Analyzer LF 960 เพื่ออินเตอร์เฟสเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วเก็บเป็นข้อมูลทุกระยะทางที่กำหนดโดย การใช้โปรแกรมVisual Basic, Microsoft Excel, Assemblyและไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 89C51 เป็นตัวควบคุมซึ่งรับพัลส์จาก Sensor วัดความเร็วรอบของรถยนต์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการแสดงผลในรูปของกราฟ ซึ่งผลที่ได้รับสามารถที่จะตรวจสอบความเข้มของสัญญาณในแต่ละพื้นที่ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ รวมทั้งสามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงการวางตำแหน่งเซลล์เคลื่อนที่ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมกับการใช้งานในประเทศไทย เพื่อให้คุณภาพที่ดีที่สุดสำหรับการให้บริการในพื้นที่สาธารณะในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

Abstract

This project is presents the development of the signal strength testing system which propagate from cell station Personal Communication Telephone . The study utilizable for LEADER PHS Field Analyzer LF 960 and interface equipment with the computer , so the storage data about determinate distance . Addition the Visual basic , Microsoft Excel and Assembly program including with Microcontroller family 89C51 is controlled by pulses from speed sensor in engine , respective to get data from experiment result shown in graphic display , the result from signal intensity testing in each area and high efficiency can be adjusted set cell station location , suitable with environment in Thailand , The best quality for service used for public in Personal Communication Telephone (PCT) .

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	5
2.1 ระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลในปัจจุบัน	5
2.2 ระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลแบบดิจิทัล	7
2.2.1 ระบบ CT-2	8
2.2.2 ระบบ DECT	9
2.2.3 ระบบ PACS	12
2.2.3.1 โครงสร้างโครงข่ายของระบบ PACS	13
2.2.3.2 การเชื่อมต่อของระบบ PACS	14
2.2.4 ระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS	15
2.2.4.1 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS	16
2.2.4.2 การใช้งานแถบความถี่ในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS	17
2.2.4.3 ลักษณะการทำงานของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS	17
2.3 การเปรียบเทียบระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลดิจิทัล	18
2.4 โครงสร้างของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที	20
2.4.1 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ	22
2.4.2 โครงข่ายอจฉริยะ	22
2.5 คุณสมบัติทางเทคนิคของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที	23
2.5.1 มาตรฐานการเชื่อมต่อ	23
2.5.2 ความถี่ใช้งาน	23
2.5.3 เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณเสียงและการมัลติเพล็กซ์ของสัญญาณ	24
2.5.4 วิธีการมอดูเลตสัญญาณ	25
2.5.5 การข้ามเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที	25
2.5.6 ระบบโปรโตคอลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที	27
2.5.7 รายละเอียดของเซลล์เดชั่นและเครื่องลูกข่าย (เครื่อง PS)	28
2.6 กรรณวิธีในการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที	32
2.7 วิธีการคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของเซลในระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีที	34
2.7.1 วิธีการของ COST-231/Walfish/Ikegami	34
2.7.2 วิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณโดยใช้หลักการ Ray tracing หลักการ อิมเมจและหลักการ UTD	36
2.7.2.1 วิธี GTD/UTD	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7.2.2 สนามของคลื่นทางตรง (Direct Field)	43
2.7.2.3 สนามของคลื่นสะท้อน (Reflected Field)	43
2.7.2.4 สนามการหักเหที่เกิดจากขอบ (Edge-Diffracted Field)	44
2.8 การหาตำแหน่งเพื่อวางเซลล์เตชันที่เหมาะสมของระบบโทรศัพท์พื้นฐาน พกพาส่วนบุคคลพีซีที	45
2.8.1 วิธีการที่ใช้ในการหาค่าการลดทอนของสัญญาณ	45
2.8.2 การปรับปรุงสมการการลดทอนของสัญญาณให้เหมาะสมกับสภาพ แวดล้อมและการใช้งานในประเทศไทย	46
2.8.3 การกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบ	52
2.8.4 การคำนวณขนาดพื้นที่ครอบคลุมเซลล์ของเซลล์เตชันขนาดต่างๆ	54
2.8.5 การเลือกขนาดของเซลล์เตชันให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน	54
2.8.5.1 การเลือกใช้งานเซลล์เตชันแต่ละขนาดและลักษณะการติดตั้งให้เหมาะสม กับพื้นที่เขตชานเมือง	55
2.8.5.2 การเลือกใช้งานเซลล์เตชันแต่ละขนาดและลักษณะการติดตั้งให้เหมาะสม กับพื้นที่เขตถนนไฮเวย์	56
2.8.5.3 การเลือกใช้งานเซลล์เตชันแต่ละขนาดและลักษณะการติดตั้งให้เหมาะสม กับพื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่ง หรือย่านธุรกิจ	57
2.8.6 การพิจารณาผลกระทบจากสภาพแวดล้อมต่อการใช้งานโทรศัพท์	58
2.8.6.1 การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากอาคารสิ่งก่อสร้างต่างๆ	59
2.8.6.2 การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากใบไม้และต้นไม้	59
2.9 ความรู้เบื้องต้นของพอร์คชนาน	61
2.10 การสื่อสารแบบอนุกรม	70
2.11 การเขียนโปรแกรมเพื่อใช้งาน พอร์คอนุกรม	85
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	94
3.1 หลักการเบื้องต้นของวงจรควบคุมและแสดงผล	94
3.1.1 วงจรรับสัญญาณจากเซนเซอร์	94
3.1.2 วงจรสวิตช์ควบคุม	96
3.1.3 ส่วนของวงจรแสดงผล	96
3.1.4 ส่วนของวงจรอินเตอร์เฟสกับเครื่องคอมพิวเตอร์	97
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	98

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1 ขั้นตอนการทดลองที่ 1 วงจรเซนเซอร์	98
4.2 ขั้นตอนการทดลองที่ 2 วงจรแสดงผล	101
4.3 ขั้นตอนการทดลองที่ 3 การทดสอบส่งผ่านข้อมูลทางพอร์ตอนุกรมและ พอร์ตนาน	104
4.4 ขั้นตอนการทดลองที่ 4 การเก็บผลของสัญญาณจากเซลล์ชั้นแต่ละตัว	106
บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป	110
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
บรรณานุกรม	



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงแบบจำลองของโครงข่าย FPLMTS ที่มีอินเตอร์เฟส 4 รูปแบบ	6
รูปที่ 2.2 แสดงแถบความถี่ใช้งานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับอนาคต FPLMTS และความถี่ในย่านใกล้เคียง	7
รูปที่ 2.3 แสดงการส่งสัญญาณในรูปแบบของ WLL โดยใช้ระบบ DECT	10
รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างเฟรมของระบบ DECT	11
รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายในระบบ DECT	12
รูปที่ 2.6 โครงสร้างโครงข่ายของระบบ PACS	13
รูปที่ 2.7 ลักษณะของไทม์สล็อตและโครงสร้างของเฟรมของระบบ PACS	14
รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พหุพาสส่วนบุคคล PHS	15
รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างโครงข่ายของระบบโครงข่ายโทรศัพท์พหุพาสส่วนบุคคล PHS	17
รูปที่ 2.10 การเปรียบเทียบของระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล	19
รูปที่ 2.11 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาสส่วนบุคคลพีซีที	21
รูปที่ 2.12 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ	21
รูปที่ 2.13 เปรียบเทียบการทำงานระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะธรรมดากับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะที่ทำงานร่วมกับโครงข่ายอัญริยะ	22
รูปที่ 2.14 แสดงแสดงรายละเอียดการเชื่อมต่อ	23
รูปที่ 2.15 แสดงบล็อกไดอะแกรมการเข้ารหัสแบบ ADPCM สำหรับเสียงพูด	24
รูปที่ 2.16 แสดงการจัดช่องสัญญาณแบบ TDMA-TDD	24
รูปที่ 2.17 แสดงการแฮนด์โอเวอร์ทั้ง 3 แบบ ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาสส่วนบุคคลพีซีที	26
รูปที่ 2.18 แสดงระดับของสัญญาณที่ใช้ในการแฮนด์โอเวอร์ข้ามเซลล์หนึ่งไปอีกเซลล์หนึ่ง	26
รูปที่ 2.19 แสดงระดับชั้นของโปรโตคอลสำหรับสัญญาณควบคุมหมายเลข 7 และรายละเอียดของสัญญาณควบคุม	27
รูปที่ 2.20 ลำดับการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาสส่วนบุคคลพีซีที	28
รูปที่ 2.21 แสดงโปรโตคอลของการแฮนด์โอเวอร์จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง	29
รูปที่ 2.22 แสดงโปรโตคอลของการกลับมาใช้เซลล์เดิมเมื่อทำการแฮนด์โอเวอร์ไม่สำเร็จ	30
รูปที่ 2.23 แสดงเซลล์สถานะของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาสส่วนบุคคลพีซีที	31
รูปที่ 2.24 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเซลล์สถานะของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาสส่วนบุคคลพีซีที	31
รูปที่ 2.25 แสดงเครื่อง PS ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาสส่วนบุคคลพีซีที	32
รูปที่ 2.26 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเครื่อง PS ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาสส่วนบุคคลพีซีที	32
รูปที่ 2.27 แสดงสายอากาศแบบ 2 dBi 4 dBi 7 dBi และ 9 dBi	33

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.28 แสดงเส้นทางการเชื่อมโยงสัญญาณเมื่อมีการเรียกเข้าและออกจากโทรศัพท์พื้นฐาน พหุภาพส่วนบุคคลพีซีที	33
รูปที่ 2.29 เส้นทางการเดินทางของคลื่น	36
รูปที่ 2.30 เส้นทางของคลื่นทั้ง 3 แบบที่ติดต่อกันระหว่างตัวส่งและรับ	41
รูปที่ 2.31 การแพร่กระจายคลื่นแบบ Ray tube	42
รูปที่ 2.32 ค่าความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ของการลดทอนสัญญาณ $A(f,d)$	47
รูปที่ 2.33 ค่าแฟกเตอร์ $G_{(AREA)}$ ที่ใช้ในการแก้ไขการลดทอนในพื้นที่ต่างๆ ของพารามิเตอร์ $A(f,d)$	47
รูปที่ 2.34 แสดงลักษณะการลดทอนของสัญญาณในเขตพื้นที่ย่านชานเมือง บริเวณถนนอ่อนนุช	48
รูปที่ 2.35 แสดงกราฟของการลดทอนของสัญญาณจากสมการการลดทอนของสัญญาณที่ได้ทำ การปรับปรุงขึ้น	51
รูปที่ 2.36 แสดงการเปรียบเทียบกราฟของการลดทอนของสัญญาณระหว่างสมการการลดทอน ของสัญญาณใน Free space, สมการของ Hata, สมการที่ได้ทำการปรับปรุงขึ้น ค่าที่วัด ได้จริง	51
รูปที่ 2.37 แสดงลักษณะการติดตั้งเซลล์เสตชันขนาด 20 mW	52
รูปที่ 2.38 แสดงลักษณะการติดตั้งเซลล์เสตชันขนาด 200 mW	52
รูปที่ 2.39 แสดงลักษณะการใช้งานเซลล์เสตชันและลักษณะวางเซลล์สำหรับให้บริการในพื้นที่เขต ชานเมือง	56
รูปที่ 2.40 แสดงลักษณะการใช้งานเซลล์เสตชันและลักษณะวางเซลล์สำหรับให้บริการในพื้นที่เขต ถนนไฮเวย์	57
รูปที่ 2.41 แสดงลักษณะการใช้งานเซลล์เสตชันและลักษณะวางเซลล์สำหรับให้บริการในพื้นที่เขต ที่มีการจราจรคับคั่ง	58
รูปที่ 2.42 คุณลักษณะของสภาพแวดล้อมของต้นไม้	59
รูปที่ 2.43 การสูญเสียเนื่องจากใบไม้ในเขตชานเมือง	60
รูปที่ 2.44 แสดงไดอะแกรมเวลาของการส่งข้อมูลไปยังเครื่องพิมพ์	62
รูปที่ 2.45 แสดงระบบบัสภายในของพอร์ตขนาน	63
รูปที่ 2.46 วงจรภายในของพอร์ต Data	65
รูปที่ 2.47 แสดงวงจรภายในของพอร์ตแสดงสถานะ	66
รูปที่ 2.48 แสดงวงจรภายในของพอร์ต Control	67
รูปที่ 2.49 รูปแบบอย่างง่ายที่สุดของข้อมูลอนุกรม	70
รูปที่ 2.50 รูปแบบอย่างง่ายที่สุดของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส	71
รูปที่ 2.51 การจัดขาของคอนเน็กเตอร์พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 ทั้ง DB-9, DB-25	74

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.52 การต่ออุปกรณ์ภายนอกกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ในลักษณะต่างๆ	75
รูปที่ 2.53 ไดอะแกรมการทำงานภายในของพอร์ตอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์	78
รูปที่ 2.54 ไดอะแกรมแสดงโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของพอร์ตอนุกรม	84
รูปที่ 2.55 หน้าต่างของโปรแกรม DEBUG แสดงตำแหน่งของพอร์ตอนุกรม	86
รูปที่ 2.56 แสดงตำแหน่งของพอร์ตอนุกรมบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 95/98	86
รูปที่ 2.56 หน้าต่างแสดงรายละเอียดของพอร์ตอนุกรมบนวินโดวส์ 95/98	87
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุม	94
รูปที่ 3.2 เซนเซอร์ที่ใช้จับความเร็วรอบ	95
รูปที่ 3.3 ส่วนรับสัญญาณจากเซนเซอร์	95
รูปที่ 3.4 ส่วนของวงจรวงจรสวิทช์	96
รูปที่ 3.5 ส่วนของวงจรแสดงผล	97
รูปที่ 3.6 ส่วนของวงจรอินเตอร์เฟสกับเครื่องคอมพิวเตอร์	97
รูปที่ 4.1 แสดงการต่อวงจรรับสัญญาณจากเซนเซอร์	98
รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากเซนเซอร์ก่อนต่อเข้ากับวงจรรูปที่ 4.1	98
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากเซนเซอร์ก่อนต่อเข้ากับวงจรรูปที่ 4.1	99
รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณเอาต์พุตเทียบกับสัญญาณอินพุตที่ตัวเซนเซอร์ ณ.ความถี่ 5 Hz	99
รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณเอาต์พุตเทียบกับสัญญาณอินพุตที่ตัวเซนเซอร์ ณ.ความถี่ 10 Hz	100
รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณเอาต์พุตเทียบกับสัญญาณอินพุตที่ตัวเซนเซอร์ ณ.ความถี่ 20 Hz	100
รูปที่ 4.7 แสดงการต่อวงจรแสดงผล	101
รูปที่ 4.8 การทดสอบการทำงานระหว่างเครื่องมือวัด ของ Leader PHS Field Analyzer LF 961 กับเครื่องคอมพิวเตอร์	104
รูปที่ 4.9 ผลการ RUN โปรแกรมที่เครื่องคอมพิวเตอร์ การทดสอบการทำงานระหว่างเครื่องมือวัดของLeader PHS Field Analyzer LF 961 กับเครื่องคอมพิวเตอร์	105
รูปที่ 4.10 การทดสอบการทำงานระหว่างเครื่องทดสอบกับเครื่องคอมพิวเตอร์	106
รูปที่ 4.11 แสดงอุปกรณ์ของระบบทั้งหมด	107
รูปที่ 4.12 แสดงการพล็อตกราฟแต่ละเซลล์เตชันตามระยะทางที่ทำการทดสอบ	108

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคล	2
ตารางที่ 2.1	แสดงคุณสมบัติของระบบ CT-2	9
ตารางที่ 2.2	แสดงคุณสมบัติของระบบ DECT	9
ตารางที่ 2.3	แสดงคุณสมบัติต่างๆ ของระบบ PACS	14
ตารางที่ 2.4	แสดงการใช้งานความถี่ของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS	18
ตารางที่ 2.5	แสดงคุณสมบัติของเซลล์สเตชันที่ใช้สำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที	53
ตารางที่ 2.6	แสดงคุณสมบัติของเครื่องลูกข่ายที่ใช้สำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที	53
ตารางที่ 2.7	แสดงการใช้งานและลักษณะการติดตั้งเซลล์สเตชันแต่ละขนาดสำหรับพื้นที่เขตชานเมือง	55
ตารางที่ 2.8	แสดงการใช้งานและลักษณะการติดตั้งเซลล์สเตชันแต่ละขนาดสำหรับพื้นที่เขตถนนไฮเวย์	56
ตารางที่ 2.9	แสดงการใช้งานและลักษณะการติดตั้งเซลล์สเตชันแต่ละขนาดสำหรับพื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่ง	58
ตารางที่ 3.0	สัญญาณสำคัญของพอร์ตขนานที่ใช้ติดต่อกับเครื่องพิมพ์	62
ตารางที่ 3.1	แสดงสัญญาณทั้งหมดที่อยู่บนพอร์ตขนาน	64
ตารางที่ 3.2	แสดงแอดเดรสของพอร์ตขนาน	67
ตารางที่ 3.2	แสดงบิตพาริตีของข้อมูล	72
ตารางที่ 3.3	แสดงข้อมูลในแอดเดรส 0000:0411H ที่ใช้แจ้งจำนวนพอร์ตอนุกรม	85

บทที่ 1

บทนำ

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ (Cellular Mobile System) จะมีการวางเซลล์ให้ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการ โดยขนาดการครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์จะถูกลดขนาดลงเรื่อยๆ จากเซลล์ที่มีขนาดใหญ่มาก มีรัศมีการให้บริการมากกว่า 100 กิโลเมตร จนมีขนาดเล็กเพียง 2-3 กิโลเมตรเท่านั้น สาเหตุอันเนื่องมาจากเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น การใช้ความถี่ที่สูงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้เกิดการรบกวนของสัญญาณสูงขึ้น ปริมาณของผู้ใช้งานมีจำนวนที่เพิ่มขึ้น ทำให้จำนวนช่องสัญญาณต่อพื้นที่ของเซลล์ที่มีอยู่ไม่เพียงพอต่อการใช้งาน จึงจำเป็นที่จะต้องลดขนาดของเซลล์ลง เมื่อขนาดของเซลล์ในระบบเซลลูลาร์มีขนาดเล็กมากๆ ทำให้การลงทุนเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากต้องใช้สถานีฐานจำนวนมาก เทคโนโลยีของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์จึงเปลี่ยนแปลงไป การวางเซลล์จะเลือกวางเฉพาะในที่ๆ ต้องการใช้งานเท่านั้น เช่น ตามถนน ในตึกหรืออาคารต่างๆ ซึ่งเป็นที่มาของระบบ PCS (Personal Communication System) หรือระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล เป็นระบบที่กำลังได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากการติดต่อสื่อสารกระทำได้โดยไม่ขึ้นอยู่กับเวลาและสถานที่ ระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลที่กำลังได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบันได้แก่ ระบบ PACS (Personal Access Communication System) ระบบ DECT (Digital European Cordless Telephone) ระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลพีเอชเอส (PHS : Personal Handy-phone System) เป็นต้น มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

ในประเทศไทยได้มีการนำระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลพีเอชเอส ซึ่งเป็นเทคโนโลยีจากประเทศญี่ปุ่น มาทำการปรับปรุงเป็นบริการเสริมให้โทรศัพท์พื้นฐาน (Fixed line phone) สามารถใช้งานได้ทุกสถานที่ทุกเวลาและเปลี่ยนชื่อเป็น ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที (PCT : Personal Communication Telephone) โดยองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทยได้อนุมัติให้บริษัทเทเลคอมเอเชีย คอปอเรชั่น จำกัด(มหาชน) (TA) เป็นผู้ดำเนินการในการให้บริการระบบ ในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล และบริษัทไทยเทเลโฟนแอนด์เทเลกราฟ (TT&T) เป็นผู้ดำเนินการให้บริการในเขตต่างจังหวัด ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีนี้ จะใช้คลื่นความถี่ย่าน 1900 MHz (1895-1918 MHz) โดยระบบที่ทำการปรับปรุงขึ้นจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลพีเอชเอส เดิม 3 ประการคือ

1. หมายเลขของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที จะเป็นเลขเดียวกับโทรศัพท์พื้นฐานเพื่อให้ง่ายต่อการจดจำและเป็นขั้นแรกของการพัฒนาไปสู่ระบบเลขหมายส่วนบุคคล (Personal Number) โดยการนำโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน (PSTN) โครงข่ายโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลพีเอชเอส และโครงข่ายอิน (IN) มาทำงานร่วมกันเพื่อให้เกิดฟังก์ชันดังกล่าว

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคล

Parameters	PHS	DECT	PACS	CT-2
ประเทศเจ้าของเทคโนโลยี	ญี่ปุ่น	ยุโรป	อเมริกา	อเมริกา
ย่านความถี่	1895 ~ 1918MHz	1880 ~ 1900MHz	1850 ~ 1910MHz(Up) 1930 ~ 1990MHz(Down)	864.05 ~ 868.05MHz
ความกว้างของแถบความถี่ที่ใช้งาน	23MHz	20MHz	120MHz	4MHz
ประสิทธิภาพในการใช้ความถี่	สูง	สูง	ต่ำ	สูง
จำนวนการมัลติเพล็กซ์	4ch/CS(77 Carriers) *สำหรับความหนาแน่นประชากรใดๆ (ต่ำถึงสูงสุด)	12ch/CS(10 Carriers) *สำหรับความหนาแน่นประชากรสูง	8ch/CS(200 Carriers) สำหรับความหนาแน่นประชากรค่อนข้างสูง	1 ch , 100kHz (40 carriers)
ลักษณะการทำงาน	TDMA/TDD	TDMA/TDD	TDMA/FDD	TDMA/TDD
การเข้ารหัสและการถอดรหัสสัญญาณเสียง	32Kbps ADPCM	32Kbps ADPCM	32Kbps ADPCM	32Kbps ADPCM
เทคนิคการผสมสัญญาณ	$\pi/4$ QPSK	GMSK/GFSK	$\pi/4$ QPSK	GMSK/GFSK
สมรรถนะการใช้ความถี่	300 kHz, 4ch (75 kHz/ch)	1,728 kHz, 12ch (144 kHz/ch)	300 kHz x 2.8ch (75 kHz/ch)	100 kHz, 1ch (100 kHz/ch)
ความเร็วในการส่งข้อมูล	384 kbps	1,152 kbps	384 kbps	72 kbps
กำลังงานเอาต์พุตของ CS	500mW Ave. (4W) 20mW Ave. (160mW) 10mW Ave. (80mW)	10mW Ave. (250mW)	100mW Ave. (800mW)	5mW Ave. (10mW)
กำลังงานเอาต์พุตของ PS	10mW Ave. (80mW)	10mW Ave. (250mW)	25mW Ave. (200mW)	5mW Ave. (10mW)
เฟรม TDMA	5 ms	10 ms	2.5 ms	2 ms
การจัดช่องสัญญาณ	แบบ Dynamic (จัดความถี่อัตโนมัติ)	แบบ Dynamic (จัดความถี่อัตโนมัติ)	แบบ Fixed or QSAFA (แบบตายตัวหรือ- -กึ่งอัตโนมัติ)	แบบ Dynamic (จัดความถี่อัตโนมัติ)
รัศมีคลื่นวิทยุ	100 ~ 500m	50 ~ 150m	300 ~ 500m	50 ~ 150m
การเคลื่อนที่	ความเร็วของรถยนต์ ในย่านธุรกิจ	ความเร็วในการเดิน	ความเร็วของรถยนต์ ในย่านธุรกิจ	อยู่กับที่
รูปแบบการติดต่อ	แบบสองทาง (โทรเข้าและโทรออกได้)	แบบสองทาง (โทรเข้าและโทรออกได้)	แบบสองทาง (โทรเข้าและโทรออกได้)	แบบทางเดียว (เฉพาะโทรออก)
ความสามารถในการขยายแถบความถี่	สามารถขยายแถบความถี่ออกไปได้ (TDD)	สามารถขยายแถบความถี่ออกไปได้ (TDD)	มีข้อจำกัดในการขยายแถบความถี่ (FDD)	สามารถขยายแถบความถี่ออกไปได้ (TDD)
ปีที่วางมาตรฐาน	1993/12	1992/10	1995/4-6	?
ปีที่ให้บริการสาธารณะ	1995/7 ทดลองใช้ที่ - ซัปโปโร ในปี 1993 - โตเกียว และฮ่องกง ในปี 1994	1996/? ทดลองใช้ที่ - ฟินแลนด์ นอร์เวย์ ในปี 1994	1997/? ยังไม่มีบริการทดลองใช้จริง (1996)	? ใช้ในไทยแล้ว
ผู้ผลิต	Motorola, NEC, Fujitel Mitsubishi, Panasonic Oki, Toshiba, ect. (23 ผู้ผลิต)	Phillips*, Ericson*, Siemens*, Nokia*, Alcatel* (*PABX Type) (5 ผู้ผลิต)	Motorola, NEC, Hughes, Panasonic, Hitachi (5 ผู้ผลิต)	Motorola ?
การประเมินผล	1.ระบบมีความสมดุลย์ (เหมาะสำหรับใช้ในที่สาธารณะ ในออฟฟิศ หรือใช้ตามบ้าน) 2.สามารถขยายแถบความถี่ออกไปได้อีกมาก 3.ใช้การกำหนดช่องสัญญาณแบบ Dynamic (เลือกความถี่อัตโนมัติ)	1.ส่วนใหญ่ใช้ในออฟฟิศ (เหมาะสำหรับรับสายอัตโนมัติที่มีการใช้งานมาก) 2.การจัดเฟรมขนาดใหญ่ ทำให้ค่า Delay spread มีมาก	1.มีข้อจำกัดในการขยายช่องสัญญาณวิทยุ(FDD) 2.การจัดช่องสัญญาณถูกกำหนดตามสถานีฐาน (ใช้การกำหนดช่องสัญญาณแบบกึ่งอัตโนมัติ)	1.ไม่สะดวกในการใช้งานเพราะโทรออกได้ทางเดียว 2.ย่านความถี่นี้ขยายอีกไม่ได้เพราะใกล้กับระบบเซลลูลาร์

2. การครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์ชั้นในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที จะใหญ่กว่าระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลพีเอชเอส เพื่อลดการขาดหายของเสียง (Muting time) ในขณะที่มีการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ และทำให้สามารถใช้งานโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล

พีซีทีเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลพีเอชเอส โดยเคลื่อนที่ได้ที่ความเร็วสูงประมาณ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

3. เพิ่มความจุช่องสัญญาณต่อพื้นที่ โดยใช้เทคนิค 2 แครียร์ต่อพื้นที่คือหนึ่งพื้นที่จะสามารถติดต่อกับเซลล์ชั้น 2 เซลล์ในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะช่วยลดการโทรแล้วหลุด (Call drop) ลง

จากคุณสมบัติดังกล่าว รวมทั้งสภาพแวดล้อมในประเทศไทยซึ่งมีอากาศร้อน และมีฝนตกบ่อย ทำให้สภาพอากาศมีการเปลี่ยนแปลงมาก รวมทั้งสภาพอาคารสิ่งก่อสร้างซึ่งจะมีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นแตกต่างไปจากประเทศญี่ปุ่น ทำให้หลักการและวิธีการวางตำแหน่งเซลล์ชั้นเดิมที่ใช้กับระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลพีเอชเอส ไม่สามารถนำมาใช้เพื่อวางตำแหน่งเซลล์ชั้นระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาสส่วนบุคคลพีซีที ในประเทศไทยได้

1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

ศึกษาการแพร่กระจายคลื่นในย่านความถี่ 1900 MHz ของเซลล์ชั้นในสภาพแวดล้อมต่างๆของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล เพื่อมาใช้เป็นข้อมูลในการหาระยะเพื่อวางตำแหน่งเซลล์ชั้นที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากการแพร่กระจายคลื่นในสภาพแวดล้อมต่างๆและปริมาณการใช้งานในแต่ละพื้นที่ เพื่อให้การบริการของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาสส่วนบุคคลพีซีที มีคุณภาพการบริการที่ดี โดยเซลล์ชั้นที่ใช้ นั้นจะมีโครงสร้างเซลล์แบบนาโนเซลล์ที่มีขนาดการครอบคลุมพื้นที่ที่เล็กมาก การแพร่กระจายคลื่นมีระยะทางเพียงไม่กี่ร้อยเมตรเท่านั้น การคำนวณหาการครอบคลุมพื้นที่เซลล์ที่ผิดพลาดจะทำให้คุณภาพการบริการของระบบเสียไป ในกรณีที่วางเซลล์ห่างกันมากเกินไปก็จะทำให้เกิดจุดบอดของสัญญาณหรือเกิดบริเวณที่ทำให้มีการขาดหายของสัญญาณเครื่องโทรศัพท์พีซีทีไม่สามารถใช้งานได้ หรือกรณีที่วางเซลล์ใกล้กันมากเกินไปก็ต้องใช้เซลล์ชั้นจำนวนมากทำให้สิ้นเปลืองรวมทั้งต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการลงทุน ดังนั้นถ้าเราสามารถหาสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการวางตำแหน่งเซลล์ตามสภาพแวดล้อมและสภาพการใช้งานจริง ก็จะทราบถึงการครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์ในแต่ละบริเวณ เพื่อจะได้ติดตั้งเซลล์ในตำแหน่งที่เหมาะสม ทำให้ระบบมีคุณภาพการบริการที่ดีประหยัดค่าใช้จ่ายในการลงทุนและค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง

1.3. แนวความคิดที่ใช้ในโครงการ

โดยทั่วไปการหาทางการแพร่กระจายคลื่นของเซลล์ชั้นเพื่อพิจารณาระดับความแรงของสัญญาณเพื่อนำมาออกแบบการวางเซลล์ชั้น จะใช้วิธีการคาดคะเน ขนาดของเซลล์ใกล้เคียงกับความจริงมากที่สุด ซึ่งมีหลายๆแบบได้แก่ การคาดคะเนแบบพื้นที่ต่อพื้นที่ การคาดคะเนแบบจุดต่อจุด (Point-to-Point) ระยะทางที่คลื่นแพร่กระจายออกไปจากเซลล์ชั้นจะขึ้นอยู่กับกำลังส่งและสภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิดการสูญเสีย สามารถคำนวณได้จากทฤษฎีการทำนายการแพร่กระจายคลื่นซึ่งมีการนำเสนอหลายๆทฤษฎี เช่น สมการของ Okumura สมการของ Hata , สมการ Ibrahim-Parsons, สมการของ Walfish/Ikegami สมการของ W.C.Y Lee สมการ COST-231 และสมการที่ใช้ในการทำนายของ ITU

เป็นต้น แต่หลักการดังกล่าวจะพิจารณาตัวแปรที่ทำให้เกิดการลดทอนที่แตกต่างกันออกไปตามสภาพแวดล้อมและความถี่ใช้งาน ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้กับสภาพแวดล้อมของประเทศไทยได้เนื่องจากมีหลายๆตัวแปรที่แตกต่างเช่น สภาพสิ่งปลูกสร้าง อุณหภูมิ เป็นต้น ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอวิธีการสร้างสมการในการคาดคะเนการแพร่กระจายคลื่นที่ย่านความถี่ 1900 MHz ในประเทศไทย เพื่อนำมาหาระยะทางเพื่อใช้ในการวางตำแหน่งเซลล์ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาฬิชาติที่เหมาะสมต่อใช้งานในประเทศไทย เนื่องจากระบบดังกล่าว จะวางเซลล์เตชั่นไว้ริมถนนทั่วไปโดยทางไฟฟ้ากำหนดให้ติดตั้งที่ความสูง 4.5 เมตรจากพื้น ฉะนั้นการสื่อสารระหว่างตัวลูก กับเซลล์เตชั่น จึงอาจถือได้ว่าไม่มีสิ่งกีดขวางมากนัก การศึกษากระทำโดยการทดลองโดยติดตั้งเซลล์เตชั่นเพื่อส่งคลื่นในสภาพแวดล้อมต่างๆ และวัดระดับสัญญาณจากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ เพื่อวิเคราะห์หาผลกระทบที่ทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณ สมการที่ได้จึงมีความเหมาะสมกับการใช้งานจริงและง่ายต่อผู้ที่ทำการติดตั้งเซลล์เตชั่นสามารถนำไปหาตำแหน่งที่ติดตั้งเซลล์ในพื้นที่ต่างๆได้โดยง่าย การครอบคลุมพื้นที่ของระบบมีประสิทธิภาพในการให้บริการที่ดี



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ในปัจจุบันระบบ PCS หรือระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล เป็นระบบที่ได้รับความนิยมอย่างมาก โดยเป้าหมายสำคัญของระบบก็คือ การใช้งานที่เป็นส่วนตัว หรือการใช้งานภายในหน่วยงาน นอกจากนี้ตัวเครื่องโทรศัพท์ยังมีขนาดเล็กพกพาได้สะดวก สามารถสื่อสารแบบ 2 ทิศทางได้ รวมทั้งมีการวางสถานีฐานที่ไม่ยุ่งยากมากนัก การพัฒนาระบบ PCS นั้นมีพื้นฐานมาจากระบบ CT-1 และ CT-2 (Cordless Telephone) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีจากกลุ่มประเทศในแถบยุโรป ที่มีข้อดีตรงที่มีการใช้งานในช่วงความถี่ที่สูงและมีแถบความถี่ที่กว้างมาก ทำให้สามารถจัดสรรช่องสัญญาณได้อย่างเพียงพอต่อความต้องการ สำหรับย่านความถี่ที่ใช้ตามมาตรฐานที่กำหนดโดย FCC (Federal Communications Commission) จะมีการใช้งานอยู่ 2 ช่วงคือ ช่วงแรกจะใช้ความถี่ช่วง 1,850-1,910 MHz ในการรับสัญญาณ และใช้ความถี่ช่วง 1,930-1,990 MHz ในการส่งสัญญาณ มีช่วงความถี่ที่ใช้งานได้ถึงด้านละ 60 MHz มีจำนวนช่องสัญญาณถึง 2,000 ช่อง สำหรับช่วงความถี่ที่ 2 จะใช้งานความถี่ช่วง 2,130-2,150 MHz ในการรับสัญญาณ และใช้ความถี่ช่วง 2,180-2,200 MHz ในการส่งสัญญาณ มีช่วงความถี่ใช้งานด้านละ 20 MHz ทำให้สามารถใช้ช่องสัญญาณได้ถึง 666 ช่องสัญญาณ นอกจากนี้ในแถบความถี่ของระบบ PCS ยังได้ถูกแบ่งออกเป็นแถบความถี่ย่อยๆ ช่วงละ 5-15 MHz เพื่อความสะดวกสำหรับการแบ่งการใช้งานในรูปแบบต่างๆ เช่น การใช้งานเป็น Cordless Telephone การใช้งานแบบ Wireless PABX การใช้งานแบบ Wireless Local Loop หรือการใช้งานในรูปแบบของโทรศัพท์เคลื่อนที่ และยังสามารถให้บริการได้หลายๆผู้ให้บริการ แต่การใช้งานที่ใช้ช่วงความถี่ที่สูงมากของระบบ PCS ซึ่งใกล้เคียงกับความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารดาวเทียม จึงทำให้ขนาดพื้นที่ครอบคลุมเซลล์แต่ละเซลล์ในระบบ PCS จะมีขนาดเล็กมาก

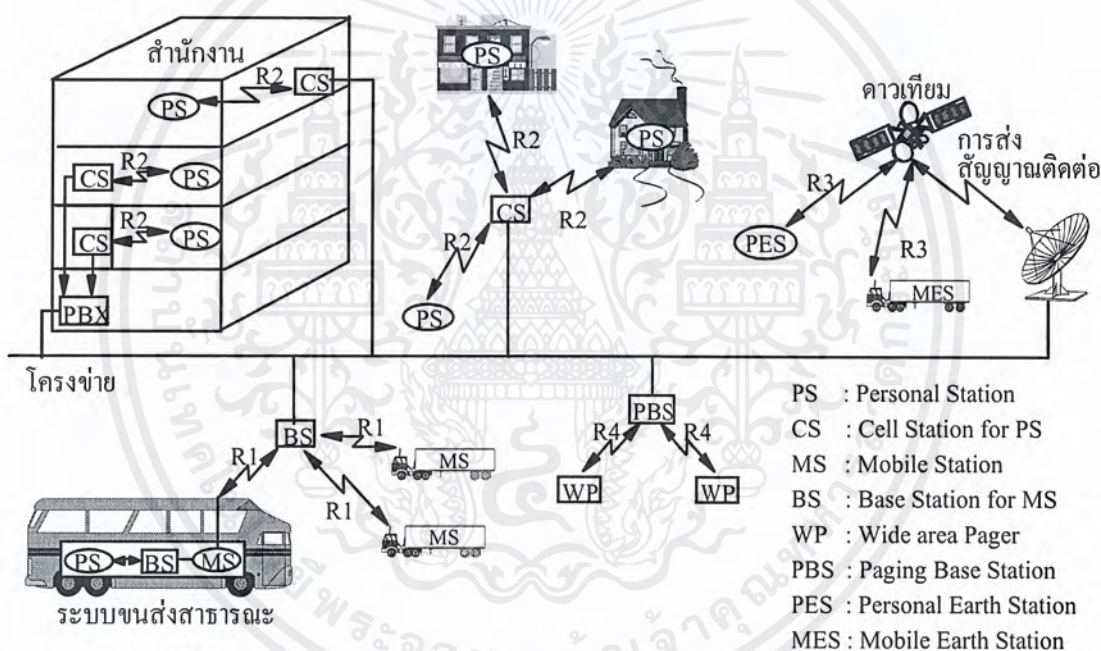
2.1 ระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลในปัจจุบัน

ได้มีการนำเอาระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลมาใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ดังนั้นในปี พ.ศ. 2528 ทาง ITU (International Telecommunication Union) ได้กำหนดรูปแบบและคุณสมบัติการใช้งานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่สาธารณะสำหรับอนาคต ที่เรียกกันย่อๆ ว่า FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunication System) และได้มีการประชุมกันเรื่อยมาจนกระทั่งสำเร็จเป็นมาตรฐานในปี พ.ศ. 2535 โดยกำหนดความถี่ในการใช้งานไว้เป็น 2 ช่วงสำหรับการส่งและรับสัญญาณในแบบ 2 ทิศทางไว้ที่ความถี่ 1,885 - 2,025 MHz และ 2,010 - 2,200 MHz ซึ่งที่ย่านความถี่นี้แม้ว่าจะเป็นย่านใกล้เคียงกับการสื่อสารผ่านดาวเทียม แต่ก็จำเป็นที่จะต้องนำมาใช้เนื่องจากความถี่ในย่านต่ำถูกใช้ไปหมดแล้ว

สำหรับวัตถุประสงค์ของการใช้งานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่สาธารณะสำหรับอนาคต ที่ถูกกำหนดโดย ITU คือ

1. ต้องการให้ระบบ FPLMTS เป็นเป้าหมายของการพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในอนาคต ที่ให้ประสิทธิภาพสูงในการใช้งาน มีราคาถูก และเป็นการใช้งานความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัดอย่างคุ้มค่า
2. มีการใช้เทคโนโลยีใหม่ เช่น CDMA เพื่อการบริการที่สมบูรณ์มากขึ้น

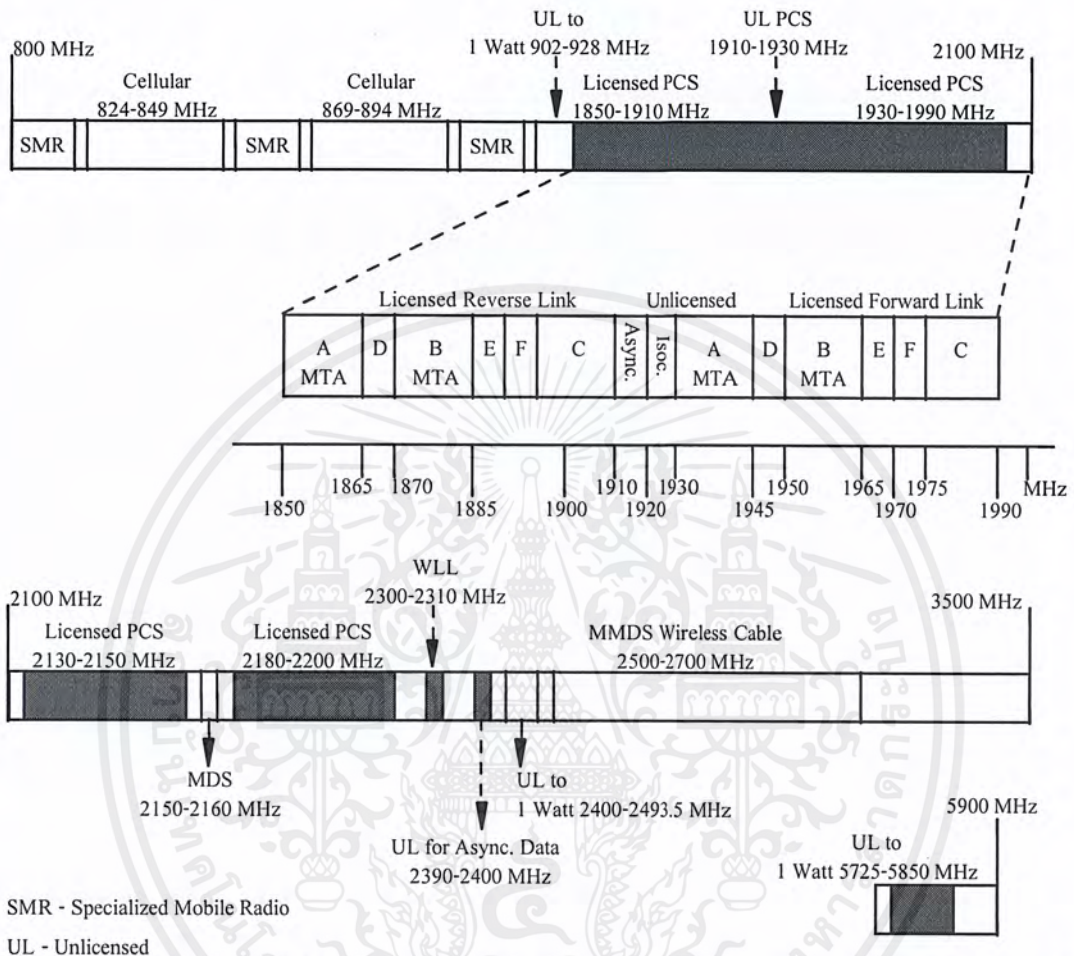
3. ระบบสามารถให้บริการในรูปแบบการใช้งานส่วนบุคคล นั่นคือเครื่องโทรศัพท์จะต้องมีขนาดเล็ก และสามารถพกพาได้สะดวก
4. ระบบมีความยืดหยุ่นสูง สามารถใช้โครงข่ายหลัก เช่น โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน ทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงสัญญาณร่วมกับระบบที่ใช้คลื่นวิทยุ
5. ความเร็วของสัญญาณมีความยืดหยุ่นสูง ไม่ว่าจะเป็น 64 kbps หรือ 2.048 Mbps เพื่อรองรับโครงข่ายภาคพื้นดินในอนาคต
6. โครงสร้างจะต้องเป็นลักษณะเปิด (open system) เพื่อการต่อเชื่อมกับระบบใดก็ได้
7. สามารถให้บริการภายในอาคารต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่มีข้อจำกัดในเรื่องโครงสร้างของอาคาร
8. การใช้งานภายนอกอาคารเทียบเท่ากับโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั่วไป
9. การใช้งานในยานพาหนะสามารถทำงานได้ดีแม้ว่าจะใช้ในความถี่สูงขึ้น



รูปที่ 2.1 แสดงแบบจำลองของโครงข่าย FPLMTS ที่มีอินเตอร์เฟส 4 รูปแบบ

ลักษณะทั้ง 9 ประการนี้เป็นการกำหนดรูปแบบการใช้งานของ FPLMTS ให้อย่างกว้างๆ ซึ่งสามารถแสดงรูปแบบจำลองได้ดังรูปที่ 2.1 โดยมีรูปแบบของอินเตอร์เฟสที่ใช้กันอยู่ 4 รูปแบบ คือ R1-R4 การอินเตอร์เฟสแบบ R1 นั้นจะเป็นอินเตอร์เฟสที่ต่อเชื่อมด้วยคลื่นวิทยุระหว่าง MS (Mobile Station) และ BS (Base Station) ซึ่งเป็นการใช้งานในลักษณะเดียวกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั่วไป แบบ R2 เป็นการต่อเชื่อมด้วยคลื่นวิทยุระหว่าง PS (Personal Station) กับ CS (Cell Station) แบบ R3 เป็นการต่อเชื่อมด้วยคลื่นวิทยุระหว่างดาวเทียมกับเครื่องให้บริการภาคพื้นดิน โดยแบ่งจะเป็น 3 แบบคือ ติดต่อกับ PES (Personal Earth Station) MES (Mobile Earth Station) และ Gateway ของสถานีดาวเทียม แบบ R4 เป็นการต่อเชื่อมด้วยคลื่นวิทยุระหว่าง PBS (Paging Base Station) กับ WP (Wide area Pager) ปัจจุบันได้มี

ระบบที่ใช้งานอยู่แล้ว 4 ระบบ ได้แก่ (1)ระบบ PHS ใช้ย่านความถี่ 1,895-1,918 MHz (2)ระบบ DECT ใช้ย่านความถี่ 1,880 - 1,990 MHz (3). ระบบ PACS ใช้ความถี่ย่าน 1850 - 1,910 MHz และ 1,930 - 1,990 MHz ระบบที่ 4 เป็นระบบ PCS ที่มีความถี่



รูปที่ 2.2 แสดงแถบความถี่ใช้งานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับอนาคต FPLMTS และความถี่ในย่านใกล้เคียง

สูงในย่าน 2,130-2,150 MHz และ 2,180-2,200 MHz สำหรับในกรณีที่ใช้ความถี่เพียงช่วงเดียวนั้นจะเป็นการใช้ช่องสัญญาณในการส่งและรับสัญญาณที่ความถี่เดียวกัน โดยใช้เทคนิคการสลับเวลาในการรับ-ส่ง ส่วนกรณีที่มีความถี่ 2 ช่วงจะเป็นการส่ง 1 ชุดและรับอีก 1 ชุด ดังแสดงในรูปที่ 2.2

2.2 ระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลแบบดิจิทัล

การพัฒนากระบวนสื่อสารแบบไร้สายนั้น หลายๆระบบได้พัฒนาจากระบบอนาล็อกสู่ระบบดิจิทัล เพื่อให้สามารถใช้งานในรูปแบบมัลติมีเดียร่วมกับโครงข่ายอินเทอร์เน็ต ระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลแบบดิจิทัลจะมีพื้นที่ครอบคลุมน้อยกว่าระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ รวมทั้งมีขนาดเครื่องโทรศัพท์ที่เล็กเพื่อสะดวกในการพกพา ถึงแม้ว่าจะมีข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่ให้บริการ แต่ด้วยคุณภาพของการใช้งานที่เทียบเท่ากับโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ จึงได้มีการนำเทคนิคการใช้ขนาดเล็กมาใช้ เพื่อขยายพื้นที่การให้

บริการ และพัฒนาไปสู่ระบบการสื่อสารส่วนบุคคล ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัลที่เป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันซึ่งจะมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 ระบบ CT-2

เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายที่ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศอังกฤษ เพื่อใช้งานในย่านที่อยู่อาศัย ย่านธุรกิจ และใช้งานในแบบ Tele-point หรือที่ในประเทศไทยได้เคยมีการให้บริการในชื่อ Phone-point โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการของโทรศัพท์พื้นฐาน ในส่วนของสถานีฐานของระบบ CT-2 จะมีการติดตั้งในบริเวณสถานีรถไฟ สนามบิน และศูนย์การค้า สำหรับการใช้งานระบบ CT-2 ในย่านธุรกิจและย่านที่อยู่อาศัยจะสามารถใช้งานได้ทั้งการเรียกเข้าและเรียกออก แต่ในการให้บริการในแบบ Tele-point หรือ Phone-point จะถูกจำกัดให้มีแต่การเรียกออกเท่านั้น การทำงานของระบบ CT-2 จะใช้เทคนิค FDMA (Frequency Division Multiple Access) เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการรบกวนกันในขณะที่เริ่มดำเนินการเรียก อีกทั้งเพื่อให้สามารถรองรับการมัลติเพล็กซ์แบบหลายๆ ช่องสัญญาณหรือการเสนอข้อได้ ดังนั้นการใช้เทคนิค FDMA/TDD (Frequency Division Multiple Access/Time Division Duplex) จึงเหมาะสม ในแบบ 1 ช่องสัญญาณต่อ 1 ผู้ใช้ และยังง่ายต่อการวัดกำลังของสัญญาณจากช่องความถี่ที่ตัวรับและตัวส่ง ระบบ CT-2 จะมีการใช้งานแถบความถี่กว้าง 4 MHz ในช่วง 864.10-868.10 MHz ซึ่งจะแบ่งเป็น 40 ช่องๆ ละ 100 kHz โดยในแต่ละช่องสัญญาณของสถานีฐานและเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สลับกันส่งชุดข้อมูลโดยใช้เทคนิค TDD (Time Division Duplex) ในการส่งสัญญาณโดยใช้เทคนิค TDD นั้น สถานีฐานกับเครื่องโทรศัพท์ไร้สายจะสลับกันส่งและรับข้อมูลครั้งละ 1 ms สำหรับการใช้งานช่องสัญญาณ เครื่องโทรศัพท์จะทำการเลือกใช้งานช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนน้อยที่สุด โดยเครื่องจะมีการเปลี่ยนแปลงความถี่อย่างรวดเร็ว ถ้าค่า BER (Bit Error Rate) ของช่องสัญญาณที่เลือกไม่อยู่ในขอบเขตที่สามารถยอมรับได้ ในส่วนของโครงสร้างของสัญญาณในระบบนั้นจะประกอบไปด้วยข้อมูลขนาด 72 kbps โดยแต่ละ 72 บิตของข้อมูลจะเป็นสัญญาณเสียงพูด สัญญาณควบคุม และสัญญาณซิงโครไนส์ ระหว่างสถานีฐานกับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ นอกจากนี้ยังมี Guard time ระหว่างชุดข้อมูลเพื่อให้ผู้ส่งข้อมูลหยุดการส่งข้อมูลและเปลี่ยนมาเป็นการรับข้อมูล สำหรับ Guard time นี้จะมีความยาวประมาณ 4 บิต ทั้งสองด้านของการเชื่อมต่อ ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าผู้รับสามารถถอดรหัสของสัญญาณชุดแรกและชุดต่อๆ มา ได้อย่างแน่นอน

การมอดูเลชันของระบบ CT-2 จะใช้เทคนิค GFSK (Gaussian Filtered Binary Frequency-Shift Keying) มีค่าประสิทธิภาพการใช้งานความถี่เท่ากับ 0.72 bps/Hz ซึ่งเป็นครึ่งหนึ่งของระบบ GSM การเข้ารหัสสัญญาณเสียงพูดจะเป็นแบบ ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulator) ที่ 32 kbps สำหรับคุณสมบัติของระบบ CT-2 แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของระบบ CT-2

พารามิเตอร์	คุณสมบัติ
ความถี่	864.10-868.10 MHz
ความกว้างของความถี่ใช้งาน	4 MHz
จำนวนการมัลติเพล็กซ์	1 ch, 100 kHz (40 carriers)
ลักษณะการทำงาน	FDMA/TDD
การเข้ารหัสและการถอดรหัสสัญญาณเสียง	32 kbps ADPCM
เทคนิคการผสมสัญญาณ	GMSK/GFSK
ความเร็วในการส่งข้อมูล	72 kbps
กำลังงานเอาต์พุตของสถานีฐาน	5 mW Ave. (10 mW)
เฟรม TDMA	2 ms
รัศมีคลื่นวิทยุ	50 ~ 100 m
รูปแบบการติดต่อ	แบบทางเดียว (เฉพาะการโทรออก)

2.2.2 ระบบ DECT

เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายที่ถูกพัฒนาโดย European Telecommunications Standards Institute (ETSI) เพื่อให้เป็นระบบที่สามารถรองรับการสื่อสารข้อมูลที่มีความหนาแน่นของการจราจรโทรศัพท์สูง มีระยะในการสื่อสารสั้นๆ และครอบคลุมทุกสภาพการใช้งานและทุกสภาพแวดล้อม สำหรับการให้บริการทั้งเสียงและข้อมูลในระบบ DECT นั้นถือว่ามีความสูงมาก โดยมีรูปแบบของการให้บริการหลัก คือการใช้งานภายในอาคารสำนักงานร่วมกับตู้ชุมสายโทรศัพท์อัตโนมัติ และสามารถรองรับการใช้งานแบบ Tele-point ได้เป็นอย่างดี โดยระบบจะมีมาตรฐานตาม OSI (Open System Interconnection) ทำให้สามารถที่จะทำการเชื่อมต่อกับโครงข่ายโทรศัพท์ต่างๆ หรือโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เช่น ISDN (Integrated Service Digital Network) หรือ GSM (Global System Mobile) ได้ สำหรับคุณสมบัติของระบบ DECT แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของระบบ DECT

พารามิเตอร์	คุณสมบัติ
ความถี่	1880-1900 MHz
จำนวนการมัลติเพล็กซ์	12 ช่องสัญญาณ ต่อ 1 เซล (10 คลื่นพาหะ)
ความกว้างของช่องสัญญาณ	1.728 MHz
ลักษณะการทำงาน	TDMA/TDD 24 สล็อต ต่อ เฟรม
การเข้ารหัสสัญญาณเสียง	32 kbps ADPCM
กำลังงานเฉลี่ยในการส่งสัญญาณ	10 mW
เฟรม TDMA	10 ms
อัตราการส่งสัญญาณต่อ 1 ช่องสัญญาณ	1152 kbps

อัตราการส่งข้อมูล	32 kbps สำหรับช่องส่งสัญญาณ 6.2 kbps สำหรับช่องสัญญาณควบคุม
การเข้ารหัสช่องสัญญาณ	CRC 16 (Cyclic Redundancy Check 16)
การกำหนดช่องสัญญาณ	แบบชั่วคราว
การมอดูเลชัน	GFSK (BT = 0.3)
รัศมีคลื่นวิทยุ	50-150 เมตร
การเคลื่อนที่	ความเร็วในการเดิน

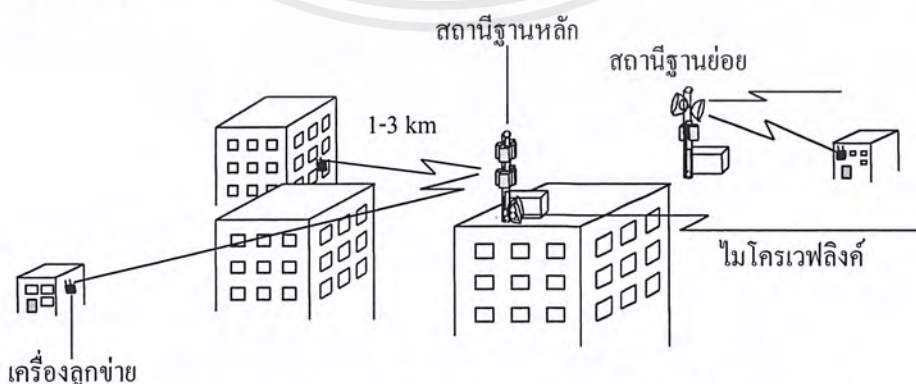
เทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายด้วยระบบ DECT นั้น เกิดขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์คือ

1. สามารถส่งสัญญาณเสียงที่มีความเร็วของสัญญาณ 32 kbps โดยใช้เทคนิคของ ADPCM ทำให้การสนทนามีความชัดเจนใกล้เคียงกับโทรศัพท์แบบใช้สาย แต่ในการใช้งานจะมีพื้นที่การครอบคลุมของสถานีฐานในรัศมีประมาณ 100 เมตรเท่านั้น

2. สามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์อินเทอร์เน็ตไร้สายแบบดิจิทัลด้วยความเร็วสูงถึง 1,152 kbps นั่นก็หมายความว่า สามารถใช้ระบบ DECT เป็นโครงข่ายในการส่งสัญญาณให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นในการใช้งานคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่อยู่ภายในห้องเดียวกัน หรือในสำนักงานเดียวกัน เมื่อต่อกับเครื่อง DECT แล้วจะสามารถโยกย้ายเปลี่ยนตำแหน่งได้ โดยไม่มีปัญหาใดๆ เหมือนกับที่เป็นปัญหาในระบบโทรศัพท์แบบใช้สาย

3. จำนวนช่องสัญญาณต่อหนึ่งเซลล์ของระบบ DECT มี 12 ช่องสัญญาณต่อแคเรียร์ โดยใช้เทคนิคของ TDD ดังนั้นในการติดตั้งเซลล์ในระบบ DECT 1 เซลล์ต่อ 1 ห้องทำงาน จึงสามารถทำให้พอเพียงกับความต้องการ โดยไม่ต้องเพิ่มเซลล์ แต่อย่างไรก็ตามการมีจำนวนช่องสัญญาณมากๆ นั้นทำให้ราคาเครื่อง DECT ค่อนข้างสูง อาจจะมีราคาใกล้เคียงกับโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลล์ลาร์

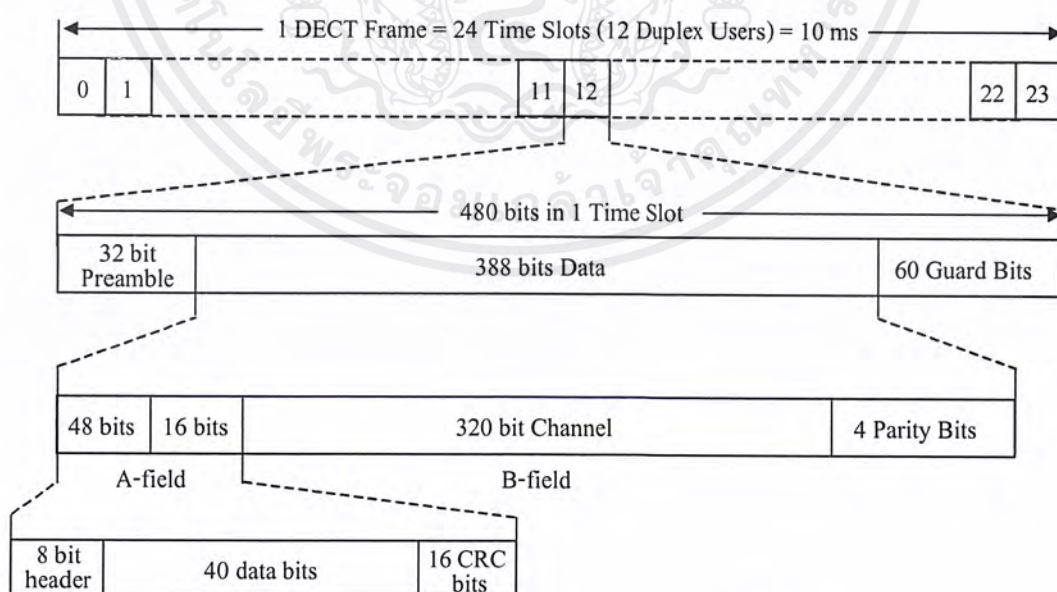
4. สามารถสร้างโครงข่ายแบบ WLL (Wireless Local Loop) ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยการใช้สายอากาศแบบบีมพิเศษ ทำให้สามารถสื่อสารได้ระยะไกล อาจจะได้ 1-3 กิโลเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งจะช่วยให้ลดการวางโครงข่ายสายลงได้ในบริเวณที่การวางโครงข่ายสาย ทำได้ลำบาก เช่น ข้ามฝั่งแม่น้ำ หรือข้ามถนน เป็นต้น



รูปที่ 2.3 แสดงการส่งสัญญาณในรูปแบบของ WLL โดยใช้ระบบ DECT

โครงสร้างของระบบ DECT มีมาตรฐานตาม OSI โดยระบบถูกออกแบบมาเพื่อให้ใช้งานในแบบเรดิโอโลคัลลูป (radio local loop) หรือ เพื่อใช้งานในเขตเมือง แต่ก็สามารถที่จะใช้งานในบริเวณจุดเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารไร้สายแบบอื่นๆ เช่น GSM ได้ สำหรับระบบ DECT นั้นจะใช้ช่องสัญญาณที่มีความกว้าง 1,728 KHz ซึ่งถือว่ามีความกว้างมาก และเมื่อรวมความถี่ของการการ์ดแบนด์ (Guard band) แล้ว จะต้องใช้แถบความถี่ที่มีความกว้างถึง 2 MHz ดังนั้นความถี่ของระบบ DECT ที่มีแถบความถี่ทั้งหมด 20 MHz จะได้ช่องความถี่ได้เพียง 10 ช่องเท่านั้น ซึ่งแต่ละช่องจะแบ่งได้ 12 ช่องเวลาแบบ TDMA จึงทำให้ช่องสัญญาณรวมของระบบทั้งหมดมีได้เพียง 120 ช่องสัญญาณเท่านั้น สำหรับโครงสร้างเฟรมของระบบ DECT จะแสดงดังรูปที่ 2.4

โครงสร้างของโครงข่ายจะประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ ดังรูปที่ 2.5 โดยส่วนแรกเป็นส่วนของแฮนด์เซ็ทที่มีขนาดเท่ามือถือทั่วๆ ไป ซึ่งในทางทฤษฎีแล้วจะสามารถใช้งานในขณะที่เคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วที่ต่ำมาก คือ ไม่เกิน 8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง[10] ทั้งนี้เนื่องจากอัตราความเร็วของการส่งข้อมูลมีความเร็วที่สูงมาก จึงทำให้โอกาสที่ข้อมูลเกิดผิดพลาดเนื่องมาจากผลของการเฟดดิ้ง (ผลรวมของคลื่นที่สะท้อนมาจากรอบๆ ตัว) มีค่าสูง เมื่อมีการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว ส่วนที่สองจะเป็นส่วนของสถานีฐานเรียกว่า RBS (Radio Base Station) ซึ่งมีกำลังส่งขนาด 20 mW และสามารถรับสัญญาณได้ 12 ช่องสัญญาณ โดยสามารถต่อพ่วงขยายออกได้ถึง 3 RBS ต่อหนึ่งกลุ่ม ซึ่งจะอำนวยความสะดวกให้การใช้งานในสถานที่ที่มีประชากรหนาแน่น ส่วนที่สามจะเป็นส่วนของชุมสาย ซึ่งเรียกว่า RDU (Radio Distribution Unit) ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยชุมสายของ DECT ระบบปฏิบัติงานและบำรุงรักษา หรือ OMS (Operation and Maintenance System) และส่วนของการบริหารโครงข่าย TMN (Telecommunication Management Network)



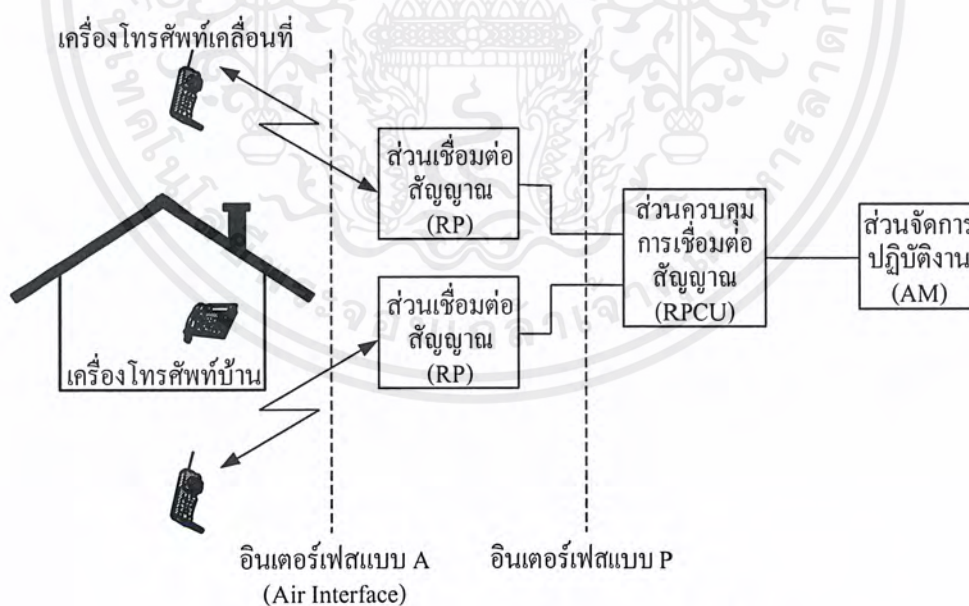
รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างเฟรมของระบบ DECT

พัฒนาหลักการของ PACS และ LECs โดยใช้ชื่อ Wireless Access Communication System (WACS) และเมื่อ FCC (Federal Communications Commission) ได้มีการแนะนำความถี่ในช่วง PCS มาตรฐาน WACS จึงได้เปลี่ยนมาเป็น PACS

2.2.3.1 โครงสร้างโครงข่ายของระบบ PACS

มาตรฐานของระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับการใช้งานในหลายๆ รูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นการสื่อสารส่วนบุคคลหรือใช้งานในรูปของโทรศัพท์สาธารณะ ซึ่งมีการให้บริการในย่านความถี่ PCS ระบบ PACS อาจจะมีการเชื่อมต่อเข้ากับตู้ชุมสายอัตโนมัติ (PBX: Private Branch Exchange) หรือเชื่อมต่อกับชุมสายโทรศัพท์ (CENTREX: Central Office Exchange Service) และอาจจะให้บริการเป็นชุมสายโทรศัพท์ในพื้นที่ที่เป็นที่อยู่อาศัยได้อีกด้วย

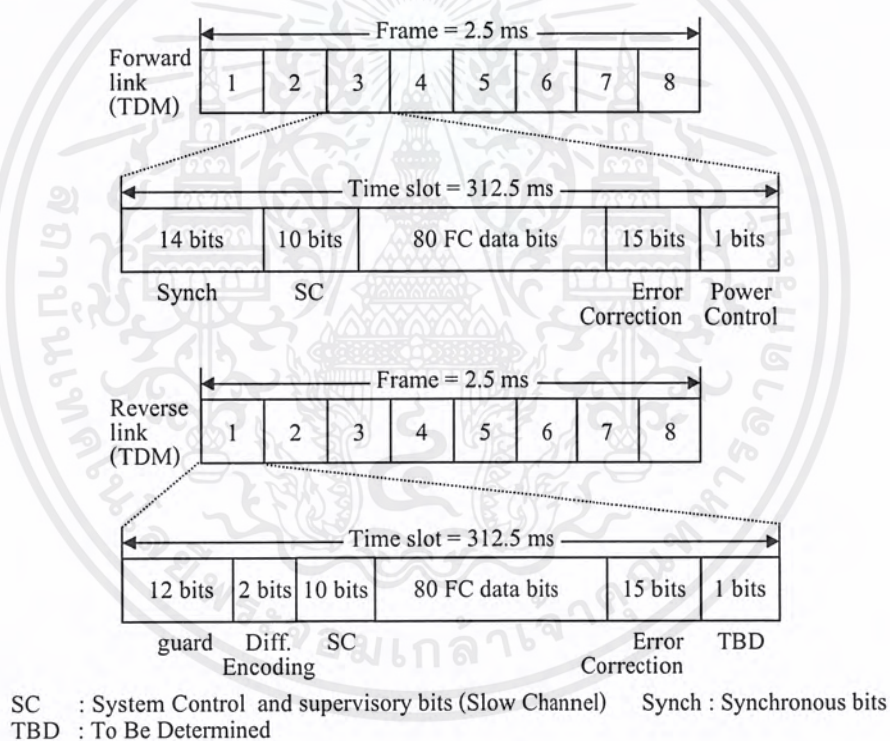
โครงสร้างโครงข่ายของระบบ PACS จะประกอบไปด้วย เครื่องของผู้ใช้บริการ (SU: Subscriber Unit) ซึ่งอาจจะเป็นโทรศัพท์พื้นฐานหรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็ได้ ส่วนเชื่อมต่อสัญญาณ (RP: Radio Ports) ซึ่งจะเชื่อมต่อกับส่วนควบคุมการเชื่อมต่อสัญญาณ (RPCU: Radio Ports Control Unit) และส่วนจัดการปฏิบัติงาน (AM: Access Manager) สำหรับโครงสร้างโครงข่ายของระบบ PACS แสดงดังรูปที่ 2.6 ซึ่งจากรูป Interface A จะเป็น Air Interface ที่เชื่อมต่อกับ SU และ RP และ Interface P จะเป็นโปรโตคอลในการร้องขอการเชื่อมต่อ SU ผ่านทาง RP ไปยัง RPCU และเชื่อมต่อ RPCU กับ RP โดยใช้ Embedded Operations Channel (EOC) ในการเชื่อมต่อ



รูปที่ 2.6 โครงสร้างโครงข่ายของระบบ PACS

2.2.3.2 การเชื่อมต่อของระบบ PACS

ในระบบ PACS นั้น จะใช้แถบความถี่ที่มีความกว้าง 80 MHz สำหรับลักษณะการทำงานของระบบ PACS นั้น จะใช้เทคนิค TDMA/TDD โดยในแต่ละช่องความถี่จะมีความกว้าง 300 kHz ต่อหนึ่งช่องและจะแบ่งออกเป็น 8 ช่องสัญญาณ (4 คู่สนทนา) โดยแต่ละช่องสัญญาณสามารถส่งสัญญาณเสียงที่มีความเร็วของสัญญาณดิจิทัลขนาด 32 kbps หรือสามารถส่งสัญญาณอื่นๆ ที่เป็นข้อมูลดิจิทัลด้วยความเร็วสูงถึง 384 kbps นั่นก็หมายความว่าสามารถใช้งานในรูปแบบของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถทำงานได้ดีเหมือนกับระบบ PHS และดีกว่าระบบ DECT หลายเท่าตัว สำหรับการถ่ายโอนข้อมูลจากเซลล์หนึ่งไปอีกเซลล์หนึ่งของระบบ PACS นั้น สามารถกระทำได้ในเวลาเพียง 0.3 ms และส่วนหนึ่งยังเป็นผลอันเนื่องมาจากการใช้สายอากาศแบบสองต้นคู่ (Diversity) สำหรับลักษณะของโหม้สล็อตและโครงสร้างของเฟรมของระบบ PACS นั้น แสดงดังรูปที่ 2.7 และในตารางที่ 2.3 จะเป็นการแสดงคุณสมบัติต่างๆ ของระบบ PACS



รูปที่ 2.7 ลักษณะของโหม้สล็อตและโครงสร้างของเฟรมของระบบ PACS

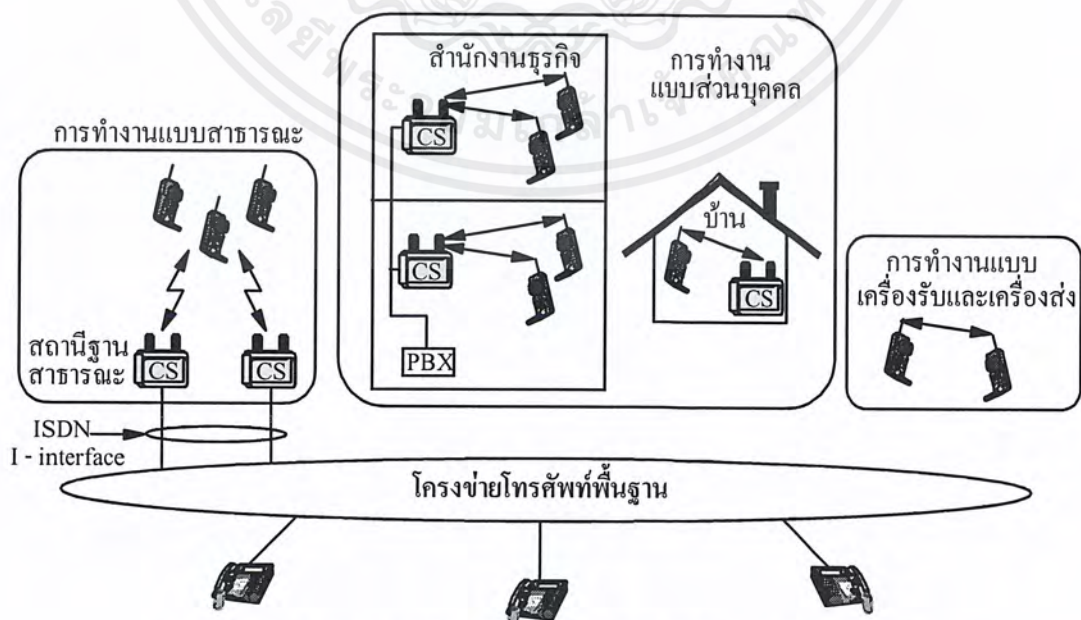
ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติต่างๆ ของระบบ PACS

พารามิเตอร์	คุณสมบัติ
ย่านความถี่	1850-1910 MHz (Up) 1930-1990 MHz (Down)
ความกว้างของแถบความถี่ใช้งาน	120 MHz

จำนวนการมัลติเพล็กซ์	8 ch/CS (200 Carriers) สำหรับความหนาแน่นของประชากรค่อนข้างสูง
ลักษณะการทำงาน	TDMA/ FDD
การเข้ารหัสและการถอดรหัสสัญญาณเสียง	32 kbps ADPCM
การมอดูเลชัน	$\pi/4$ QPSK
สมรรถนะการใช้ความถี่	300 kHz x 2, 8 ch (75 kHz/ch)
กำลังงานเอาต์พุตของ CS	100 mW Ave. (800mW)
กำลังงานเอาต์พุตของ PS	25 mW Ave. (200mW)
เฟรม TDMA	2.5 ms
จำนวนไทม์สล็อตต่อเฟรม	5
การจัดช่องสัญญาณ	แบบตายตัวหรือแบบกึ่งอัตโนมัติ
รัศมีคลื่นวิทยุ	500 m
การเคลื่อนที่	ความเร็วของรถยนต์ในย่านธุรกิจ
รูปแบบการติดต่อ	แบบสองทิศทาง (โทรเข้าและ โทรออกได้)

2.2.4 ระบบโทรศัพท์พหุภาคส่วนบุคคล PHS

เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัลที่สามารถใช้งานได้ทั้งที่บ้าน ที่ทำงาน เขตพื้นที่ชุมชน ย่านธุรกิจ และพื้นที่สาธารณะต่างๆ ในระบบโทรศัพท์พหุภาคส่วนบุคคล PHS สถานีฐานจะเรียกว่า สถานีเซลล์หรือเซลล์สเตชัน CS (Cell Station) และเครื่องลูกข่ายจะเรียกว่า เครื่อง PS (Personal Station) สำหรับเซลล์จะมีขนาดเล็กในระดับไมโครเซลล์ มีรัศมีการให้บริการเพียง 100-300 เมตร เท่านั้น โดยทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มความจุของระบบ และเป็นการประหยัดพลังงานเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของแบตเตอรี่เครื่อง PS ทั้งยังเป็น การลดราคาของเซลล์สเตชัน



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พหุภาคส่วนบุคคล PHS

จากรูปแสดงลักษณะการทำงานของระบบโทรศัพท์พหุพาสส่วนบุคคล PHS โดยระบบโทรศัพท์พหุพาสส่วนบุคคล PHS[12] เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัล สามารถใช้งานแบบโทรศัพท์ไร้สายได้ทั้งที่บ้านและที่ทำงาน ซึ่งการใช้งานในลักษณะนี้เรียกว่าเป็นการใช้งานในแบบ Private Mode ใช้งานร่วมกับ Hone Base Unit หรือในลักษณะ Wireless PABX ร่วมกับตู้ชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติในสำนักงานที่เชื่อมต่ออยู่กับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน PSTN เมื่อมีการใช้งานเครื่อง PS ภายนอกบ้าน หรือนอกสำนักงาน เครื่อง PS ก็จะทำการติดต่อกับเซลล์สเตชันที่ตั้งในพื้นที่สาธารณะ ซึ่งการใช้งานในลักษณะนี้เรียกว่าแบบ Public Mode โดยเมื่อผู้ใช้บริการต้องใช้งานในแบบ Public Mode ก็จะทำการกดหมายเลขไปยังเครื่อง PS ซึ่งในแต่ละเครื่องจะประกอบไปด้วยหมายเลขของผู้ใช้บริการจำนวน 10 หมายเลข โดยในแต่ละเซลล์สเตชันจะมีการเชื่อมต่อกับระบบโทรศัพท์ ISDN (Integrated Services Digital Network) นอกจากนี้ในระบบโทรศัพท์พหุพาสส่วนบุคคล PHS ยังสามารถทำการติดต่อสื่อสารโดยตรงระหว่างเครื่อง PS ด้วยกันได้ ซึ่งการใช้งานในลักษณะนี้เรียกว่าแบบ Transceiver Mode โดยสำหรับการใช้งานในโหมดนี้จะสามารถใช้งานได้ก็ต่อเมื่อเครื่อง PS อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน และสำหรับการเลือกใช้งานในแต่ละโหมดนั้น ผู้ใช้บริการสามารถเลือกใช้งานได้โดยพิจารณาตามสภาพแวดล้อมที่จะทำการใช้งาน คุณสมบัติของระบบคือ

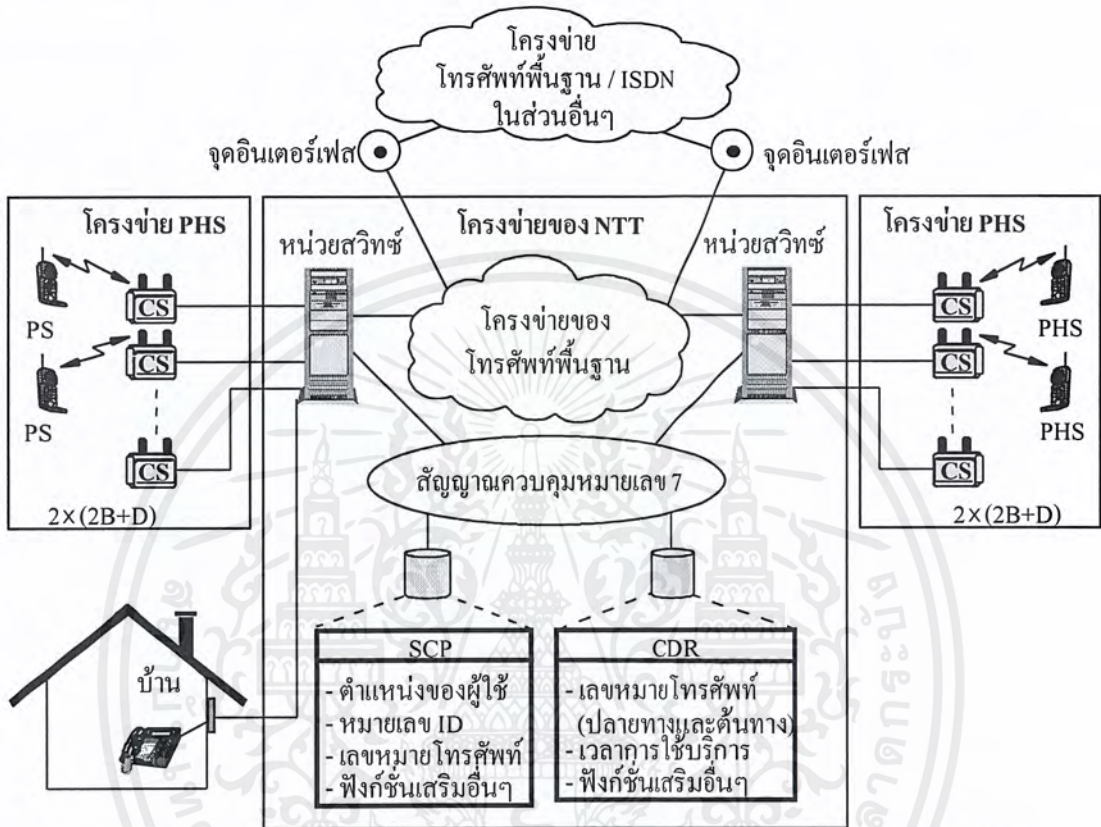
1. มีคุณภาพของสัญญาณเสียงและความปลอดภัยในการสื่อสารข้อมูลสูง
2. มีความจุของช่องสัญญาณสูง เนื่องมาจากการใช้เซลล์ในแบบไมโครเซลล์ และใช้เทคนิคการจัดช่องสัญญาณแบบชั่วคราว (Dynamic Channel Assignment)
3. สามารถให้บริการมัลติมีเดีย ซึ่งมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงถึง 64 kbps
4. การจัดการแถบความถี่ใช้งานมีการจัดช่องสัญญาณแบบชั่วคราว

2.2.4.1 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พหุพาสส่วนบุคคล PHS

เป็นโครงข่ายที่มีการใช้งานร่วมกับระบบโทรศัพท์พื้นฐาน ดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยผู้ให้บริการโครงข่ายของระบบโทรศัพท์พหุพาสส่วนบุคคล PHS จะเป็นเพียงผู้จัดการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์สเตชันกับเครื่อง PS นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ดูแลเซลล์สเตชัน และฐานข้อมูลของผู้ใช้บริการ สำหรับเซลล์สเตชันในพื้นที่ต่างๆ จะถูกเชื่อมต่อกับชุมสายท้องถิ่น โดยมีการเชื่อมต่อแบบ ISDN ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อแบบ I-interface ที่เพิ่มการจัดการที่มีความคล่องตัวมากขึ้น และลักษณะทางฟิสิกคอลของช่องสัญญาณจะทำการส่งข้อมูลโดยใช้ช่องสัญญาณ B ในแต่ละเซลล์สเตชันจะสามารถรองรับได้ 4 ช่องสัญญาณ โดยใช้สายที่มีการเชื่อมต่อแบบ ISDN I'-interface 2 เส้น เชื่อมต่อเซลล์สเตชันกับชุมสายท้องถิ่น สำหรับข้อมูลต่างๆ ของผู้ใช้บริการ เช่น การดูแลการเปลี่ยนแปลงข้อมูล ข้อมูลของผู้ใช้บริการหรือหมายเลขของผู้ใช้บริการ จะถูกเก็บไว้ในส่วนควบคุมการให้บริการ SCP (Service Control Point) และการบันทึก ข้อมูลการเรียกของผู้ใช้บริการ CDR (Call Detail Record) เช่น หมายเลขโทรศัพท์ที่ทำการเรียก หมายเลขโทรศัพท์ที่ถูกเรียก และเวลาในการสนทนา ข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งผ่านไปยัง SS7 (Signaling System No.7)

2.2.4.2 การใช้งานแถบความถี่ในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS

ช่องสัญญาณในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS แบ่งออกเป็น 77 ช่องสัญญาณ แต่ละช่องสัญญาณกว้างช่องละ 300 kHz โดยจะใช้งานในช่วงความถี่ 1895.15-1917.95 MHz (ความกว้างของความถี่ 22.8 MHz) สำหรับการใช้งานในแต่ละช่องสัญญาณแสดงดังตารางที่ 2.4



รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างโครงข่ายของระบบโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS

2.2.4.3 ลักษณะการทำงานของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS

คุณสมบัติการทำงานของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS เปรียบเทียบกับระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิทัลแบบอื่นๆ เช่น ระบบ DECT และระบบ CT-2 โดยในระบบ CT-2 จะใช้งานความถี่ 800 MHz และระบบ PHS และระบบ DECT จะใช้งานความถี่ 1.9 GHz ซึ่งความถี่ที่ใช้ในระบบ PHS และระบบ DECT จะมีการเหลื่อมล้ำกันตามมาตรฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในอนาคต FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunication Systems) ที่กำหนดโดย WARC-92 (World Administrative Radio Conference-92) ซึ่งในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS จะใช้เทคนิคการมอดูเลชันแบบ $\pi/4$ QPSK เพื่อให้ระบบมีความจุของสัญญาณสูง และเพื่อลดผลกระทบแบบไม่เป็นเชิงเส้นที่ส่วนขยายสัญญาณของตัวส่งสัญญาณ

ในการปฏิบัติงานจะใช้ช่องสัญญาณซึ่งมีมอดูเลชันแบบ TDMA/TDD จำนวน 4 ช่องสัญญาณ และสำหรับการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS จะใช้เทคนิค ADPCM 32 kbps ซึ่งมีคุณภาพเท่ากับเทคนิค PCM 64 kbps โดยเฟรม TDMA/TDD ที่ใช้งานมีความยาว

5 ms ทำให้มีช่วงเวลาดีเลย์สั้น และเนื่องจากเซลล์ในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS มีขนาดเล็กในระดับของไมโครเซลล์ ดังนั้นค่าดีเลย์สูงสุดของการกระจายสัญญาณจึงน้อยมากเมื่อเทียบกับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลล์ลาร์

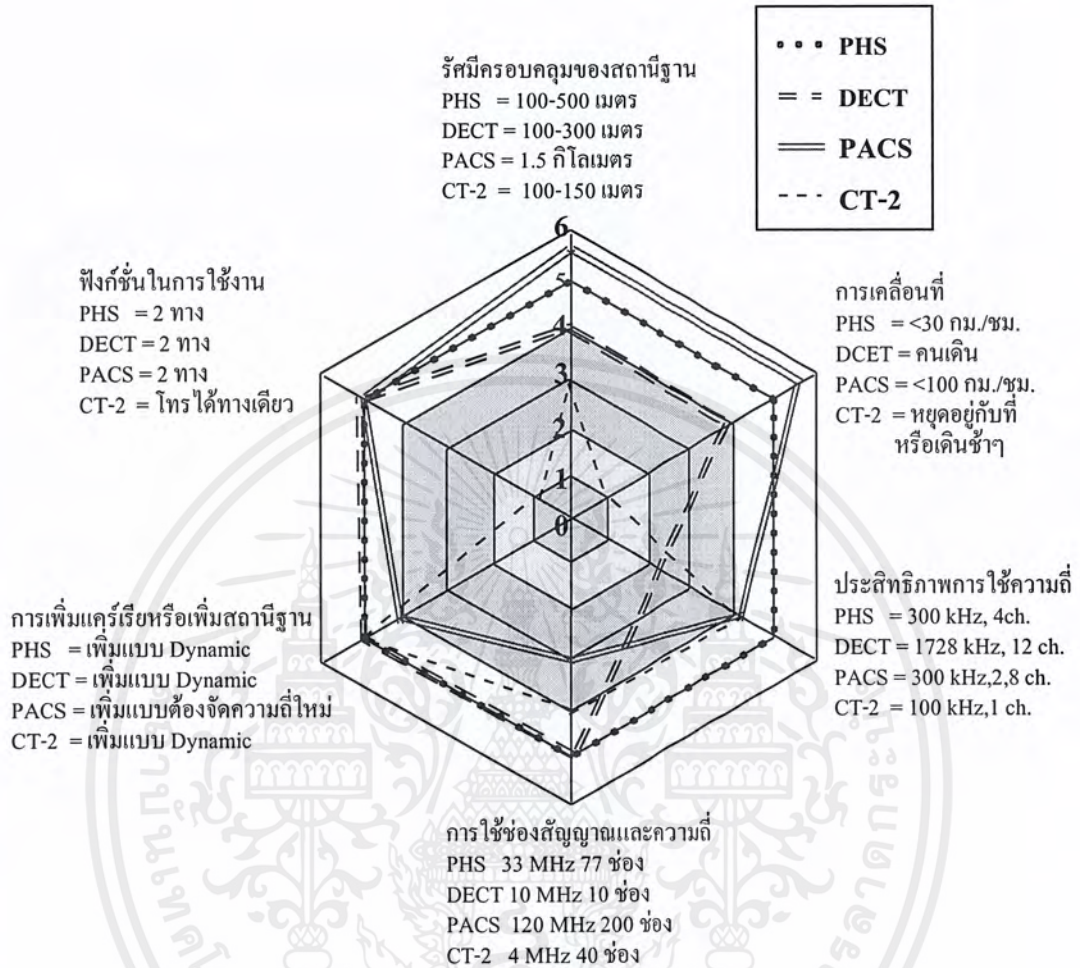
ตารางที่ 2.4 แสดงการใช้งานความถี่ของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS

ช่องสัญญาณที่	ความถี่ (MHz)	ลักษณะการใช้งาน
1	1895.150	ใช้งานในลักษณะเป็นเครื่องรับเครื่องส่งวิทยุ (Transceiver mode: PS → PS) และใช้งานในลักษณะการสื่อสารส่วนบุคคล (Private mode)
-	-	
10	1897.850	
11	1898.150	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารส่วนบุคคล (Private mode)
12	1898.450	เป็นช่องสัญญาณควบคุมสำหรับการสื่อสารส่วนบุคคล
13	1898.750	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารส่วนบุคคล (Private mode)
-	-	
17	1899.950	
18	1900.250	เป็นช่องสัญญาณควบคุมสำหรับการสื่อสารส่วนบุคคล
19	1900.550	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารส่วนบุคคล (Private mode)
-	-	
37	1905.950	
38	1906.250	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารในพื้นที่สาธารณะ(Public mode: สามารถใช้งานกับสถานีฐานที่ใช้พลังงานสูงและพลังงานต่ำ)
-	-	
53	1910.750	
54	1911.050	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารในพื้นที่สาธารณะ(Public mode: สามารถใช้งานกับสถานีฐานที่ใช้พลังงานต่ำเท่านั้น)
-	-	
69	1915.550	
70	1915.850	Guard Channel
71	1916.150	เป็นช่องสัญญาณควบคุม (สำรอง)
72	1916.450	Guard Channel
73	1916.750	เป็นช่องสัญญาณควบคุม ช่องที่ 1
74	1917.050	Guard Channel
75	1917.350	เป็นช่องสัญญาณควบคุม ช่องที่ 2
76	1917.650	Guard Channel
77	1917.950	เป็นช่องสัญญาณควบคุม ช่องที่ 3

2.3 การเปรียบเทียบระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลดิจิทัล

การเปรียบเทียบกับระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลแบบต่างๆ คือ ระบบ PHS ระบบ DECT ระบบ PACS (Personal Advance Cordless System) และระบบ CT-2 (Cordless Telephone version 2) โดยทั้ง 4 ระบบนั้นจะเห็นว่าคุณสมบัติแบ่งแยกออกเป็น 2 กลุ่ม คือสามแบบแรกจะเป็นแบบสื่อสาร 2 ทาง แต่แบบ

ที่ 4 จะเป็นการสื่อสารทางเดียวจึงไม่ได้รับความ นิยมเท่าที่ควร ในสามแบบแรกก็ยังมีส่วนที่แตกต่างกัน บ้างนิยมเท่าที่ควร ในสามแบบแรกก็ยังมีส่วนที่แตกต่างกันบ้างโดยระบบ



รูปที่ 2.10 การเปรียบเทียบของระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล

PHS และระบบ DECT จะมีวิธีการจัดสรรแถบความถี่แบบไดนามิก (Dynamic assign) ซึ่งเป็นการจัดความถี่โดยอัตโนมัติ เมื่อมีการติดตั้งเซลล์ใหม่ผู้ติดตั้งไม่จำเป็นต้องทราบความถี่ที่มีในเซลล์เดิม เซลล์ใหม่จะตรวจสอบรอบๆ ว่ามีการใช้ความถี่ใดไปบ้าง แล้วเลือกความถี่ที่ยังไม่มีการใช้งานมาใช้ ส่วนในระบบ PACS จะเป็นระบบที่มีลักษณะคล้ายกับระบบเซลล์ลูลาร์ มีการจัดสรรความถี่แบบตายตัว ผู้วางโครงข่ายจำเป็นต้องบริหารจัดการความถี่ไม่ให้เกิดการรบกวน

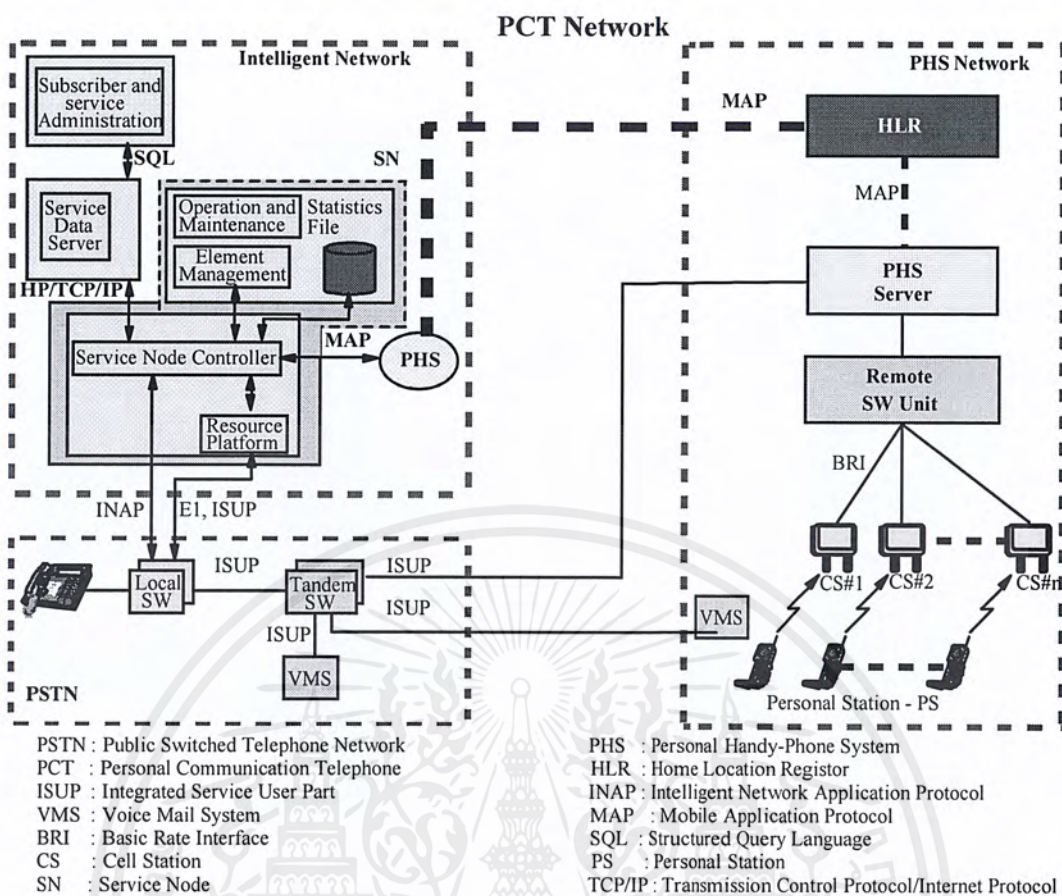
การครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์หรือสถานีฐาน ระบบ PACS จะมีการใช้เซลล์คล้ายกับระบบเซลล์ลูลาร์จะมีการครอบคลุมพื้นที่มากกว่าระบบ PHS และ DECT ส่วนระบบ CT-2 มีการครอบคลุมพื้นที่ น้อยที่สุด ดังแสดงในรูป 2.10 ฉะนั้นระบบ PACS จะเคลื่อนที่ได้ต่ำกว่า 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ระบบ PHS จะเคลื่อนที่ได้ต่ำกว่า 30 ชั่วโมง ส่วนระบบ DECT และ CT-2 จะเคลื่อนที่ได้ช้าเท่ากับการเดิน ส่วนจำนวนช่องสัญญาณต่อเซลล์ ระบบ DECT จะมีจำนวน 12ช่องแต่ละช่องมีแบนด์วิดท์ 1728 kHz รองลงมาเป็น

ระบบ PHS จะมีจำนวน 4 ช่องแต่ละช่องมีแบนด์วิดท์ 300 kHz ส่วนระบบ PACS จะมีจำนวน 2 หรือ 8 ช่องขึ้นอยู่กับพื้นที่แต่ละช่องมีแบนด์วิดท์ 300 kHz และ CT-2 จะมีเพียง 1 ช่องมีแบนด์วิดท์ 100 kHz

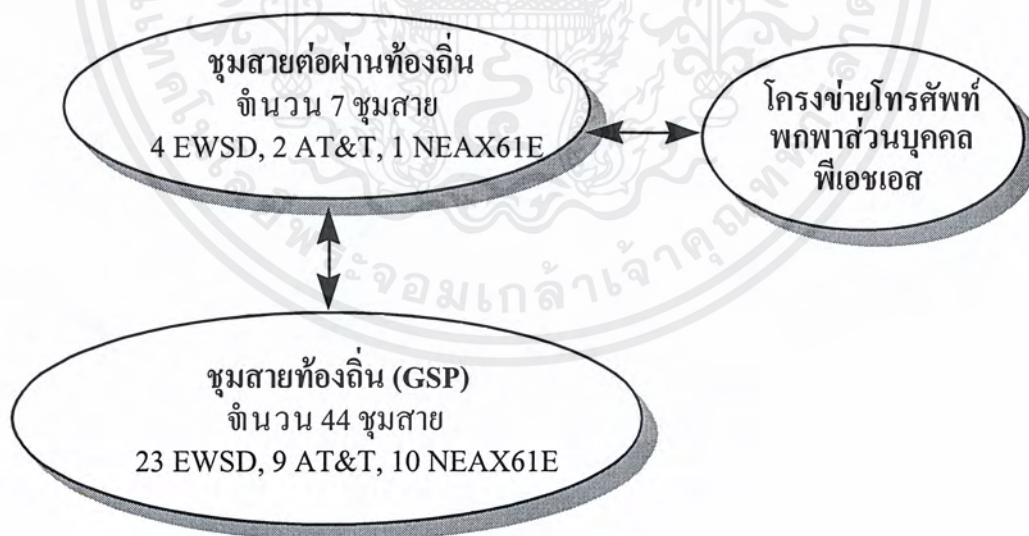
ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายที่องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย (TOT : Telephone Organization of Thailand) และบริษัท เทเลคอมเอเชีย คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) ได้ทำการพัฒนาจากระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสของประเทศญี่ปุ่น ได้เริ่มให้บริการเชิงพาณิชย์ในประเทศไทยในปี 2540 ในลักษณะบริการเสริมของโทรศัพท์พื้นฐานแบบใช้สายให้สามารถใช้งานโทรศัพท์ไร้สายได้ทุกที่ทุกเวลาที่เรียกว่า “การสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล” ไม่ว่าจะเป็นที่บ้าน พื้นที่สาธารณะ หรือแม้กระทั่งในรถยนต์ที่มีความเร็วไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การใช้บริการผู้เรียกสามารถเลือกติดต่อได้ทั้งเครื่องโทรศัพท์พื้นฐานและเครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที ทำให้ไม่พลาดการติดต่อ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานโทรศัพท์ ให้สูงขึ้น

2.4 โครงสร้างของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

โครงสร้างของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลจะเป็นการรวมโครงข่าย 3 โครงข่าย คือ โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ (PSTN) ซึ่งเป็นโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานที่มีอยู่เดิม โครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส (PHS) และโครงข่ายอัจฉริยะ (IN) ดังแสดงในรูปที่ 2.11 โดยโครงข่ายอัจฉริยะที่นำมาใช้ในโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที จะให้บริการเสริมในรูปแบบของบริการหมายเลขเดียว (One number service) ทำให้เลขหมายของเครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีเป็นหมายเลขเดียวกับเครื่องโทรศัพท์บ้าน ส่วนของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสจะเป็นส่วนให้บริการในรูปแบบการสื่อสารไร้สาย รวมทั้งปรับปรุงระดับสัญญาณที่ใช้ในการแฮนด์โอเวอร์ให้มีขนาดลดลง เพื่อให้ขนาดพื้นที่ครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์ให้กว้างขึ้น เพื่อประโยชน์ในการติดต่อสื่อสารภายในยานพาหนะที่มีความเร็วสูงขึ้นถึง 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นความเร็วปกติบนท้องถนนในกรุงเทพมหานคร เนื่องจากสภาพการจราจรในกรุงเทพมหานครค่อนข้างติดขัด มีความต้องการใช้งานโทรศัพท์ค่อนข้างมาก ทั้งยังมีการใช้เทคนิค 2 แครเรียร์ต่อพื้นที่เพื่อเพิ่มปริมาณช่องสัญญาณต่อพื้นที่ในบริเวณที่มีการใช้งานสูง



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที



GSP : Group Switching Processor

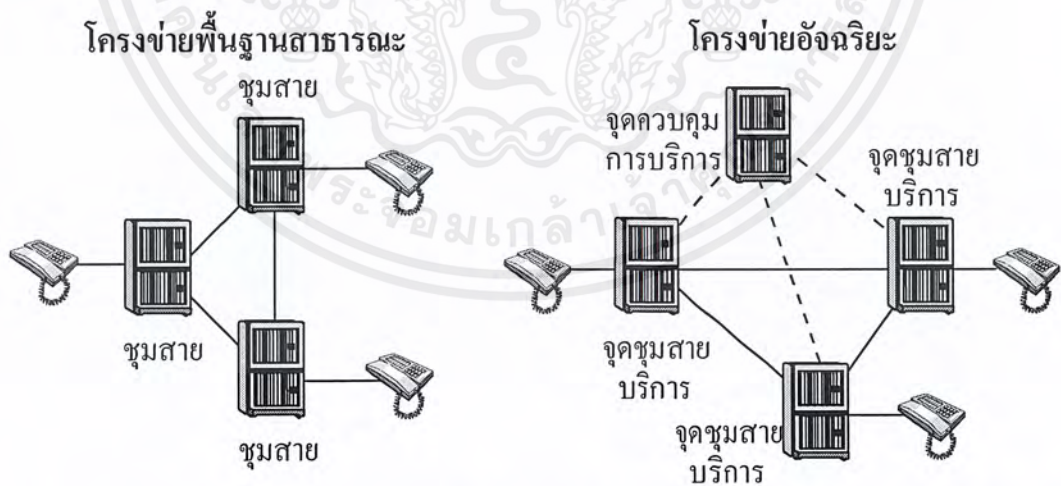
รูปที่ 2.12 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ

2.4.1 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ จะเป็นการใช้งานโครงข่ายโทรศัพท์โทรศัพท์พื้นฐานเดิมของบริษัท เทเลคอมเอเชีย คอร์ปอเรชั่น จำกัด ที่มีการให้บริการอยู่แล้วดังแสดงในรูป 2.12 โดยประกอบไปด้วย ขุมสายโทรศัพท์ 2 ระดับ คือ

- ขุมสายท้องถิ่น (Local Exchange) ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของขุมสายปฏิบัติการ (GSP : Group Switching Processor) ทั้งหมด 44 ขุมสาย แบ่งเป็น ขุมสายของ EWSD (Siemens) 23 ขุมสายขุมสายของ AT&T (Lucent) 9 ขุมสายและขุมสายของ NEAX61E (NEC) 10 ขุมสาย โดยทุกขุมสายติดต่อถึงกันหมด (Mesh connection)

- ขุมสายต่อผ่านท้องถิ่น (Transit Exchange หรือ Tandem Exchange) ซึ่งประกอบด้วยขุมสายของ EWSD (Siemens) 4 ขุมสาย ขุมสายของ AT&T (Lucent) 2 ขุมสายและขุมสายของ NEAX61E(NEC) 1 ขุมสาย โดยขุมสายท้องถิ่นทั้ง 44 ขุมสายจะติดต่อกับขุมสายต่อผ่านท้องถิ่นทั้งหมด (Mesh connection) ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุภาพส่วนบุคคลพีซีที ขุมสายต่อผ่านท้องถิ่นจะต่อกับโครงข่ายโทรศัพท์พหุภาพส่วนบุคคลพีเอชเอส ดังแสดงในรูปที่ 2.12

2.4.2 โครงข่ายอัจฉริยะ โครงข่ายอัจฉริยะ เป็นส่วนที่เพิ่มเติมเข้าไปในโครงข่าย เพื่อเพิ่มความสามารถของโครงข่ายในด้านต่าง เช่น การให้บริการรูปแบบใหม่ หรือการให้บริการเสริมกับโครงข่าย ซึ่งกระทำโดยการต่อระบบคอมพิวเตอร์เข้ากับโครงข่ายและทำการเชื่อมต่อเข้ากับระบบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการให้บริการเสริม โดยเป็นการแยกฟังก์ชันในการควบคุมการเรียก (Call control function) ออกจากฟังก์ชันของการให้บริการ (Service control function) ส่งผลให้ผู้ให้บริการโครงข่ายสามารถที่จะพัฒนาโครงข่ายเพื่อให้บริการได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.13 เปรียบเทียบการทำงานระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะธรรมดา กับ โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะที่ทำงานร่วมกับโครงข่ายอัจฉริยะ

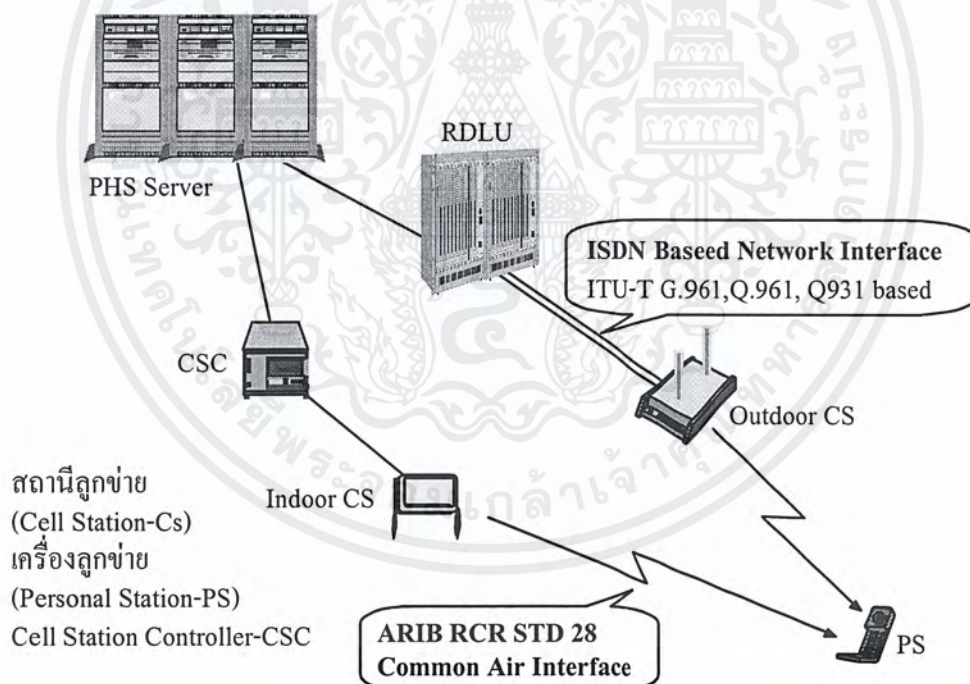
จากรูป 2.13 ถ้าผู้เรียกต้องการใช้บริการของโครงข่ายอัจฉริยะ จุดชุมสายบริการก็จะส่งเลขหมายไปที่จุดควบคุมการบริการซึ่งเป็นฮาร์ดแวร์ของโครงข่ายอัจฉริยะที่แยกออกต่างหากจากระบบเครื่องชุมสาย

โดยจุดควบคุมการบริการจะทำหน้าที่เลือกเส้นทางและหาตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย หลังจากนั้นจึงสั่งให้อุปกรณ์ชุมสายทำการสร้างเส้นทางในการเรียกไปยังปลายทางที่ต้องการต่อไป

2.5 คุณสมบัติทางเทคนิคของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาสส่วนบุคคลพีซีที

2.5.1 มาตรฐานการเชื่อมต่อ

การเชื่อมโยงระหว่างเซลล์เดชันกับโครงข่าย (Network Interface) โทรศัพท์พื้นฐานพหุพาสส่วนบุคคลพีซีทีจะใช้มาตรฐาน JT-Q921-b, JT-Q931-b, JT-Q1218, JT-Q1218-a, JT-Q932-a, JT-1460, JT-1430 และ JT-1961 ของ Telecommunications Technology Committee (TTC) และสำหรับมาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศ (Air Interface) จะใช้มาตรฐาน RCR STD 28 V.2 ของ ARIB (The Association of Radio Industries and Businesses)[] ซึ่งตามข้อกำหนดนี้โครงสร้างโครงข่ายของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาสส่วนบุคคลพีซีทีจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.14 โดยสัญญาณที่เชื่อมโยงระหว่างเซลล์เดชันกับเซิร์ฟเวอร์ จะเป็นแบบดิจิทัลความเร็ว 32 kbps มีการเข้ารหัสแบบ ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulator) ส่วนสัญญาณที่เชื่อมโยงระหว่าง PCT Switch จะใช้ความเร็ว 384 kbps



รูปที่ 2.14 แสดงแสดงรายละเอียดการเชื่อมต่อ

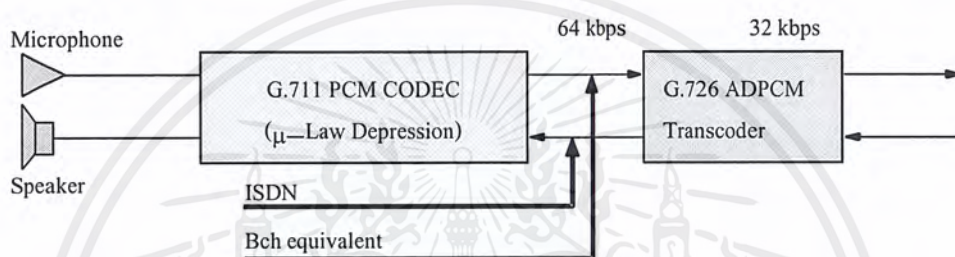
2.5.2 ความถี่ใช้งาน

ความถี่ที่ใช้สำหรับโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาสส่วนบุคคลพีซีทีจะเหมือนกับระบบโทรศัพท์พหุพาสส่วนบุคคลพีเอชเอส แสดงดังตารางที่ 2.4 ซึ่งจะแบ่งความถี่ออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มของความถี่ที่ใช้สำหรับการสื่อสารส่วนบุคคล เช่น การใช้งานในลักษณะอินเตอร์คอม คือการสื่อสารระหว่างเครื่อง PS ด้วยกัน โดย

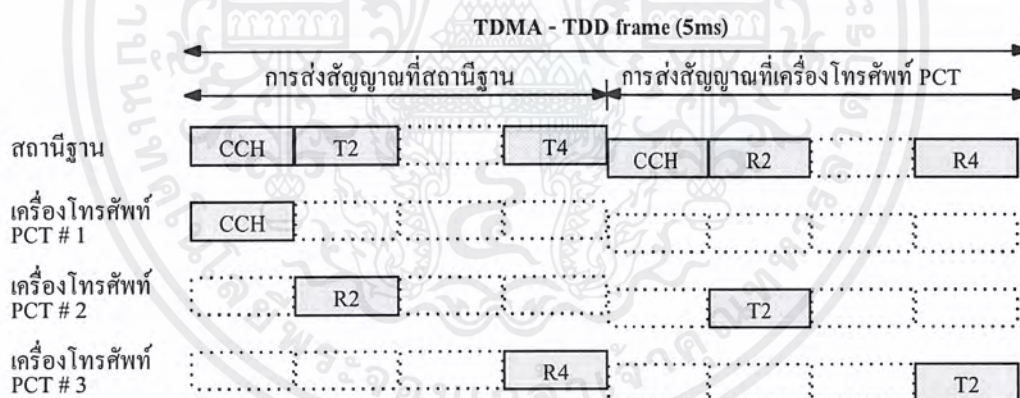
ไม่มีเซลล์เคลื่อนเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งจะใช้ความถี่ในช่องที่ 1-10 สำหรับการใช้งานส่วนบุคคลภายในสำนักงานหรือที่อยู่อาศัยต่างๆ ในรูปแบบของ Wireless PABX จะใช้งานความถี่ตั้งแต่ช่องที่ 11-37 โดยมีช่องสัญญาณควบคุมในช่องที่ 12, 18, 30 และ 36 ตามลำดับ และอีกกลุ่มหนึ่งเป็นความถี่ที่ใช้สำหรับการติดต่อสื่อสารในพื้นที่สาธารณะ ซึ่งจะใช้ความถี่ตั้งแต่ช่องที่ 38 - 69 โดยมีช่องสัญญาณควบคุมในช่องที่ 70-77 โดยบริษัทเทเลคอมเอเชียจะใช้ช่องที่ 75

2.5.3 เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณเสียงและการมัลติเพล็กซ์ช่องสัญญาณ

การเข้ารหัสสัญญาณเสียงของระบบ จะใช้วิธีการเข้ารหัสสัญญาณแบบ ADPCM ตามมาตรฐาน G.711 และ G.726 ของ ITU-T [14] ซึ่งมีรายละเอียดดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงบล็อกไดอะแกรมการเข้ารหัสแบบ ADPCM สำหรับเสียงพูด



CCH : ช่องสัญญาณควบคุม
T2, T4 : ช่องสัญญาณสำหรับการส่งสัญญาณ
R2, R4 : ช่องสัญญาณสำหรับการรับสัญญาณ
เครื่องโทรศัพท์ PCT # 1 : พร้อมสำหรับการส่งสัญญาณ
เครื่องโทรศัพท์ PCT # 2 : ทำการเรียกในช่วงเวลาที่ 2
เครื่องโทรศัพท์ PCT # 3 : ทำการเรียกในช่วงเวลาที่ 4

: ช่วงเวลาที่ส่งสัญญาณ
 : ช่วงเวลาที่รับสัญญาณ
 : ช่วงเวลาว่าง

รูปที่ 2.16 แสดงการจัดช่องสัญญาณแบบ TDMA-TDD

จากรูป 2.16 แสดงการจัดช่องสัญญาณของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที ใน 1 ช่องสัญญาณในการติดต่อจะแบ่งเป็น 4 ช่วงเวลา โดยการใช้เทคนิคแบบ TDMA/TDD (Time Division Multiple Access/Time Division Duplex) ช่วงเวลาส่งจะมี 4 ช่อง (มี 1 ช่องสัญญาณควบคุม) และช่วงเวลารับ 4 ช่อง (มี 1 ช่องสัญญาณควบคุม) ในการทำงานปกติจะใช้ 1 ช่องส่ง และ 1 ช่องรับ ดังนั้นใน 1 เซล

ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะสามารถทำการติดต่อได้พร้อม ๆ กัน 3 คู่สนทนา นั่นคือ เซลล์แต่ละชั้น 1 ตัว จะใช้เครื่องลูกข่ายได้ 3 ตัวพร้อม ๆ กัน

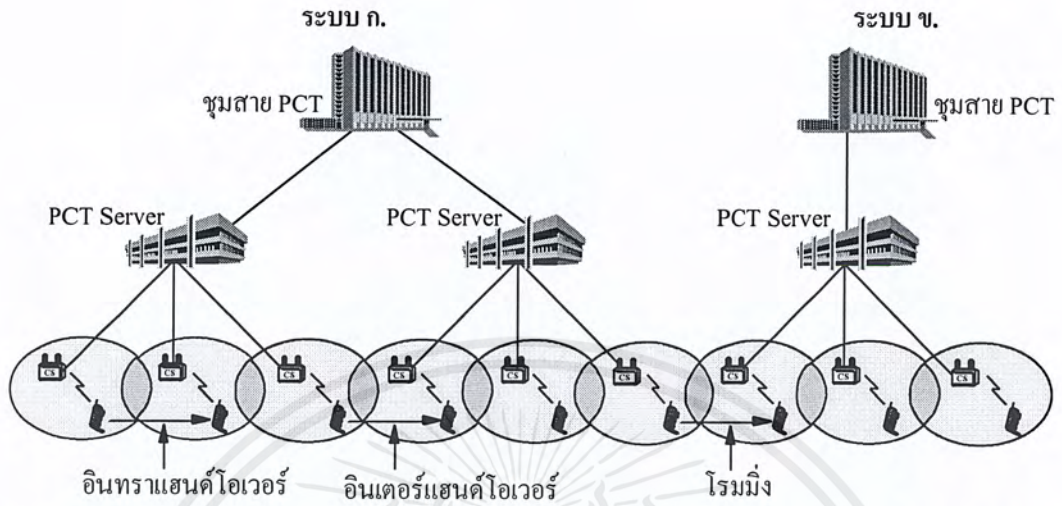
2.5.4 วิธีการมอดูเลตสัญญาณ

ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีนั้นเป็นระบบโทรศัพท์แบบดิจิทัล ข้อมูลที่ออกมาจากเครื่องลูกข่ายจะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้เทคนิคการแปลงสัญญาณแบบ ADPCM และใช้เทคนิคการมอดูเลตสัญญาณแบบ $\pi/4$ QPSK ($\pi/4$ Quadrature Phase Shift Keying) ซึ่งเป็นเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณที่ปรับปรุงมาจากการมอดูเลตแบบ QPSK โดยเทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณแบบ $\pi/4$ QPSK สามารถใช้ได้กับการเข้ารหัสสัญญาณทั้งแบบ Absolute phase encoding และแบบ Differential phase encoding

2.5.5 การข้ามเซลล์ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

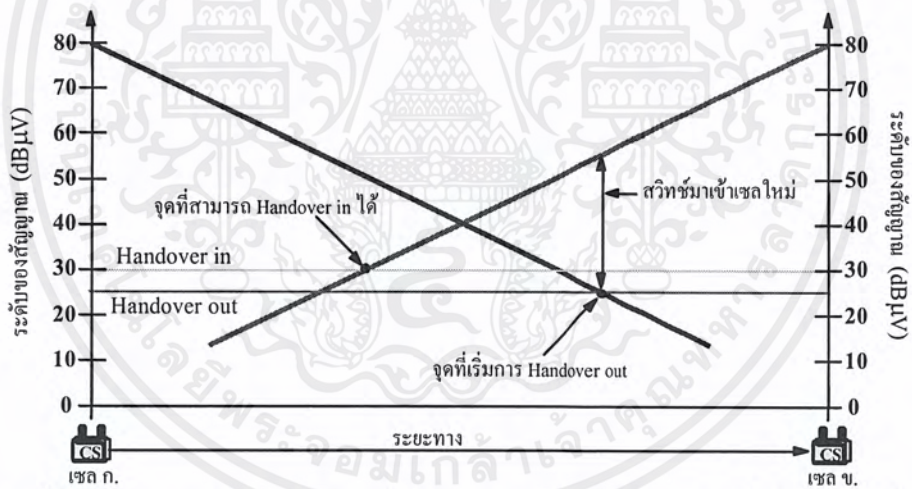
การข้ามเซลล์ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที จะใช้เทคนิคการแฮนด์โอเวอร์ (Handover) เนื่องจากเซลล์มีขนาดเล็กมาก ระดับไมโครเซลล์ มีรัศมีครอบคลุมการให้บริการใน 1 เซลล์ ประมาณ 300 - 500 เมตร เท่านั้น การติดต่อสื่อสารในลักษณะที่มีการเคลื่อนที่จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง ไม่สามารถใช้เทคนิคการแฮนด์ออฟ (Hand-off) ในการข้ามเซลล์เหมือนในโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลล์ลาร์ทั่วๆ ไป เพราะเทคนิคการแฮนด์ออฟจำเป็นต้องมีการส่งถ่ายข้อมูลของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลล์ลาร์จากเซลล์หนึ่งไปอีกเซลล์หนึ่ง เพื่อทำการจัดเตรียมช่องสัญญาณเอาไว้รองรับล่วงหน้า ซึ่งจะต้องใช้เวลาในการถ่ายโอนข้อมูลพอสมควร ในกรณีที่เซลล์มีขนาดเล็กจะไม่มีเวลาเพียงพอสำหรับการถ่ายโอนข้อมูล การแฮนด์โอเวอร์จะมีความหมายคือ เมื่อสัญญาณที่รับได้จากเครื่อง PS มีระดับของสัญญาณต่ำลงจนถึงระดับ 25 dB μ V เครื่อง PS ก็จะทำการตรวจหาสัญญาณจากเซลล์ข้างเคียง โดยจะเลือกเซลล์ที่มีสัญญาณแรงที่สุด แต่ในกรณีที่ช่องสัญญาณของเซลล์ที่มีสัญญาณแรงที่สุดเต็ม เครื่อง PS ก็จะเปลี่ยนไปเลือกเซลล์ที่สัญญาณแรงเป็นอันดับ 2 แทน และเมื่อหาเซลล์ใหม่ที่มีสัญญาณแรงที่สุดได้แล้ว เครื่อง PS ก็จะทำการยกเลิกการสื่อสารในเซลล์เดิมและเปลี่ยนไปใช้ช่องสัญญาณในเซลล์ใหม่ เพื่อทำการสื่อสารต่อไป สำหรับในช่วงเวลาที่มีการข้ามเซลล์นี้ เครื่อง PS จะส่งสัญญาณควบคุมไปจับช่องสัญญาณควบคุมในเซลล์ใหม่ โดยไม่สนใจการติดต่อสื่อสารในช่วงเวลานั้น ซึ่งจะส่งผลให้ผู้ที่ใช้เครื่อง PS อยู่ในช่วงเวลาที่มีการข้ามเซลล์ จะไม่ได้ยินเสียงการสนทนาหรือที่เรียกว่า Muting เป็นเวลาประมาณ 2-3 วินาที สำหรับการใช้งานโทรศัพท์ พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีเมื่อมีการเคลื่อนที่ โดยทั่วไปจะสามารถใช้งานได้ด้วยความเร็วไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงเท่านั้น ในรูปที่ 3.7 แสดงการแฮนด์โอเวอร์ ซึ่งการแฮนด์โอเวอร์สามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบคือ แบบที่ 1 เรียกว่า อินทราแฮนด์โอเวอร์ เป็นการข้ามเซลล์ในกลุ่มของ PCT Server เดียวกัน แบบที่ 2 เรียกว่า อินเตอร์แฮนด์โอเวอร์ เป็นการข้ามเซลล์ที่อยู่ต่าง PCT Server กัน และในแบบที่ 3 เรียกว่า การโรมมิ่ง (Roaming) คือการข้ามเซลล์ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีที่ต่างผู้ให้บริการกัน ในการข้ามเซลล์ด้วยวิธีการแฮนด์โอเวอร์แต่ละแบบนี้จะใช้เวลาไม่เท่ากัน โดยสังเกตได้จากเหตุการณ์การ Muting ขณะที่ส่งสัญญาณควบคุมในการข้ามเซลล์ ซึ่งจะประมาณ 2, 3 และ 4 วินาที

ตามลำดับ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องวางรูปแบบของเซลล์ให้มีการข้ามเซลล์อยู่ในกลุ่มเซลล์ของ PCT Server เดียวกัน เพื่อลดเวลาในการ Muting ให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้



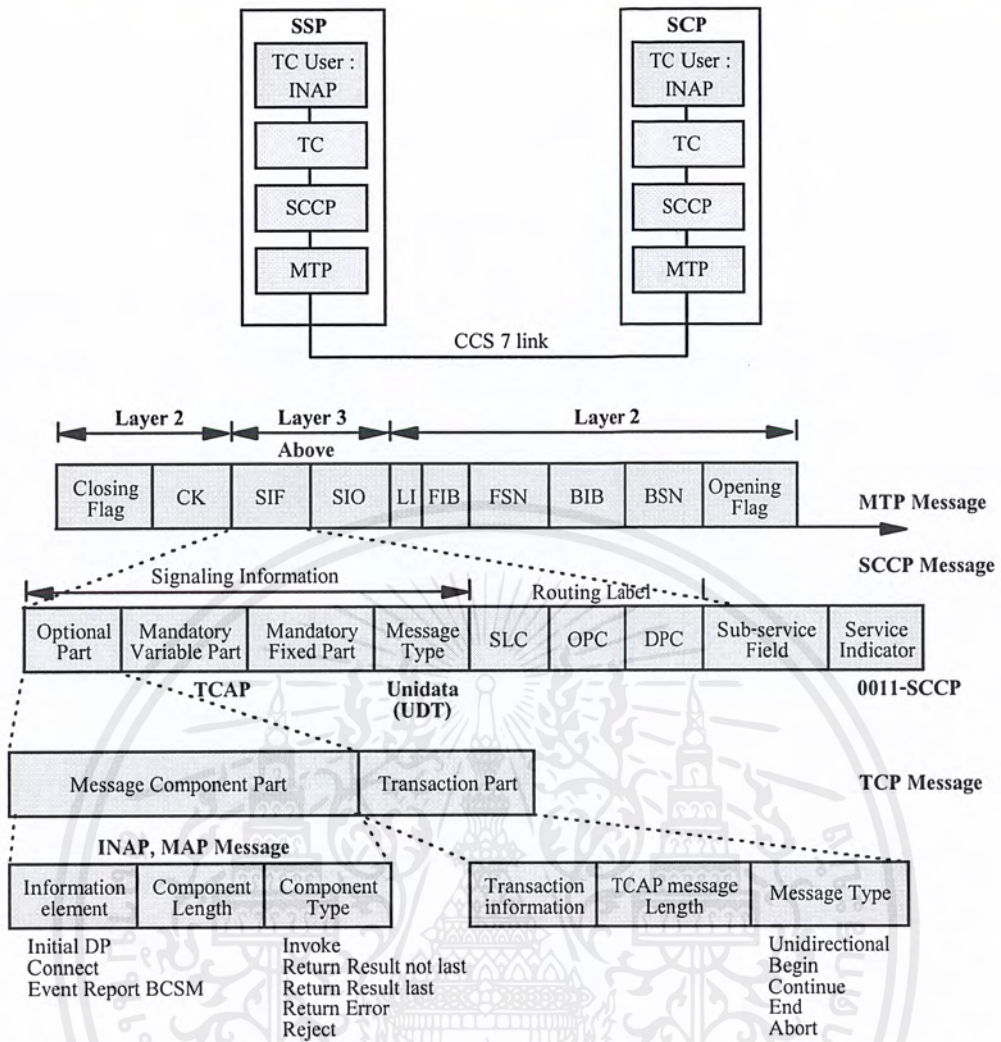
PCT : โทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล (Personal Communication Telephone) CS : สถานีเซลล์ (Cell Station)

รูปที่ 2.17 แสดงการแซนด์โอเวอร์ทั้ง 3 แบบ ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที



รูปที่ 2.18 แสดงระดับของสัญญาณที่ใช้ในการแซนด์โอเวอร์ข้ามเซลล์หนึ่งไปอีกเซลล์หนึ่ง

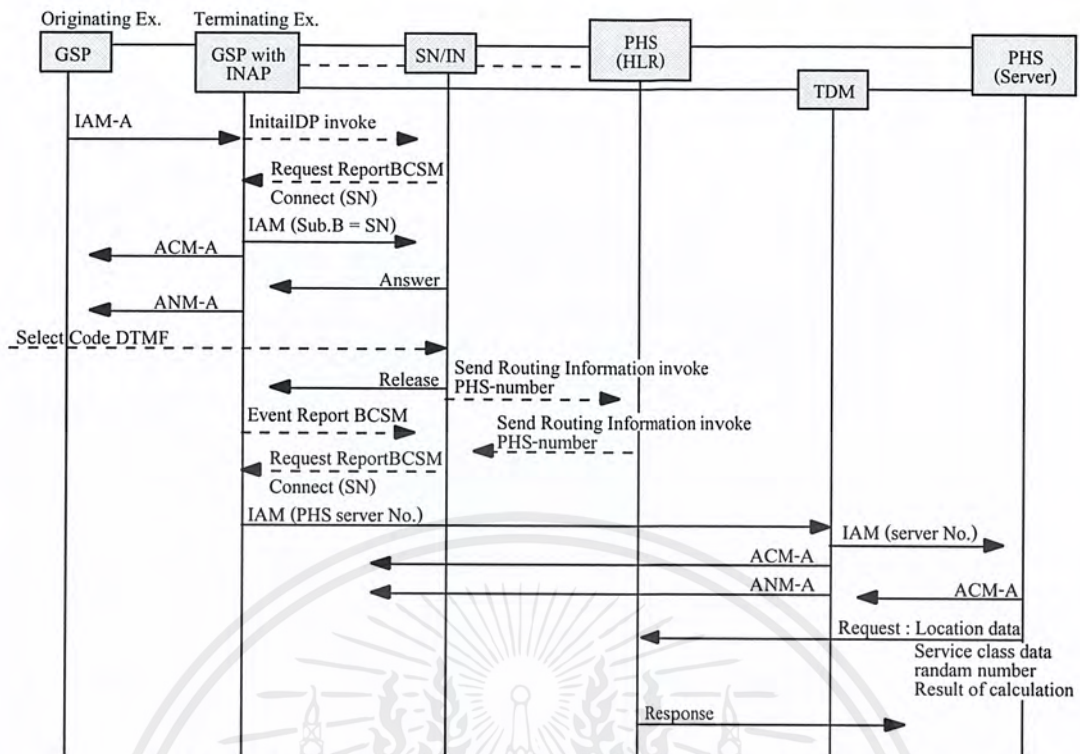
สำหรับการข้ามเซลล์ด้วยการใช้เทคนิคการแซนด์โอเวอร์นั้นจะใช้ระดับของสัญญาณเป็นตัวกำหนด โดยระดับของสัญญาณที่เครื่อง PS เริ่มทำการแซนด์โอเวอร์ เราเรียกว่า ระดับสัญญาณแซนด์โอเวอร์เอาต์ (Handover out : 25 dBμV) และระดับสัญญาณของอีกเซลล์หนึ่งที่มีารองรับการแซนด์โอเวอร์เข้ามาในเซลล์ใหม่ เรียกว่า ระดับสัญญาณแซนด์โอเวอร์อิน (Handover in : 30 dBμV) ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.19 แสดงระดับชั้นของโปรโตคอลสำหรับสัญญาณควบคุมหมายเลข 7 และรายละเอียดของสัญญาณควบคุม

2.5.6 ระบบโปรโตคอลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุส่วนบุคคลพีซีที

โปรโตคอลที่ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุส่วนบุคคลพีซีที ใช้สำหรับการติดต่อระหว่างชุมสาย (SSP : Service Switching Point) กับส่วนของการควบคุมการให้บริการ (SCP : Service Control Point) นั้น จะใช้ฟังก์ชันของการทำงานในระบบควบคุมสัญญาณหมายเลข 7 (CCS No.7) โดยระดับของโปรโตคอล และเฟรมของสัญญาณควบคุมจะแสดงดังในรูปที่ 2.19 สำหรับลำดับขั้นของการติดต่อสื่อสารจะแสดงดังรูปที่

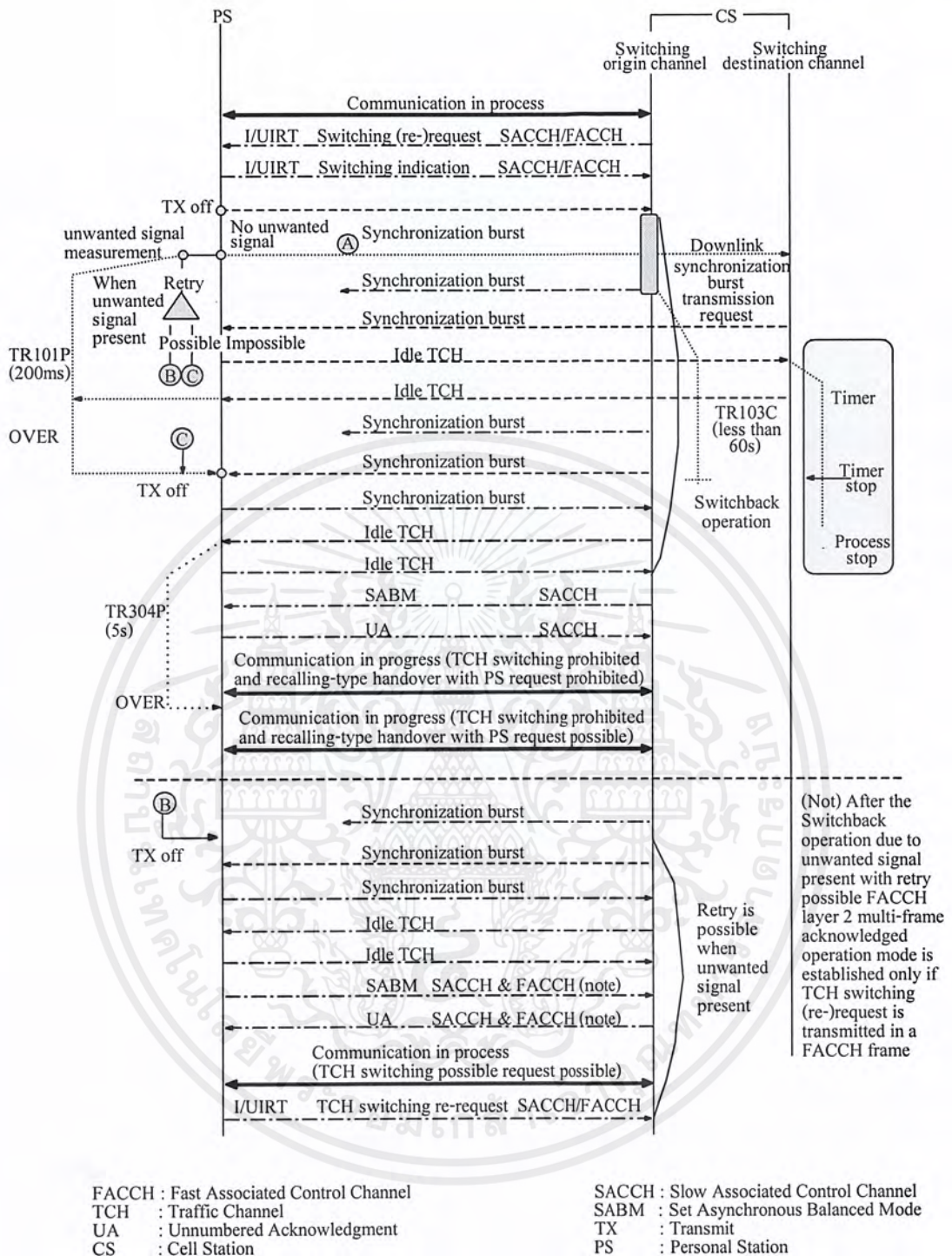


รูปที่ 2.20 ลำดับการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

สำหรับโปรโตคอลที่ใช้ในการแฮนด์โอเวอร์สำหรับระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะแสดงดังรูปที่ 2.21 และรูปที่ 2.22 โดยในรูปที่ 2.21 แสดงโปรโตคอลของการแฮนด์โอเวอร์จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง และในกรณีที่ไม่สามารถทำการแฮนด์โอเวอร์ได้สำเร็จตามขั้นตอนในรูปที่ 2.21 ก็จะทำให้การสวิตช์เครื่อง PS ให้พยายามใช้เซลล์เดิมไปก่อน ซึ่งมีลำดับขั้นตอนการทำงานตามรูปที่ 2.22 โดยในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่อง PS และ CS นั้น จะเป็นไปตามมาตรฐาน Air-interface RCR-28

2.5.7 รายละเอียดของเซลล์เคลื่อนที่และเครื่องลูกข่าย (เครื่อง PS)

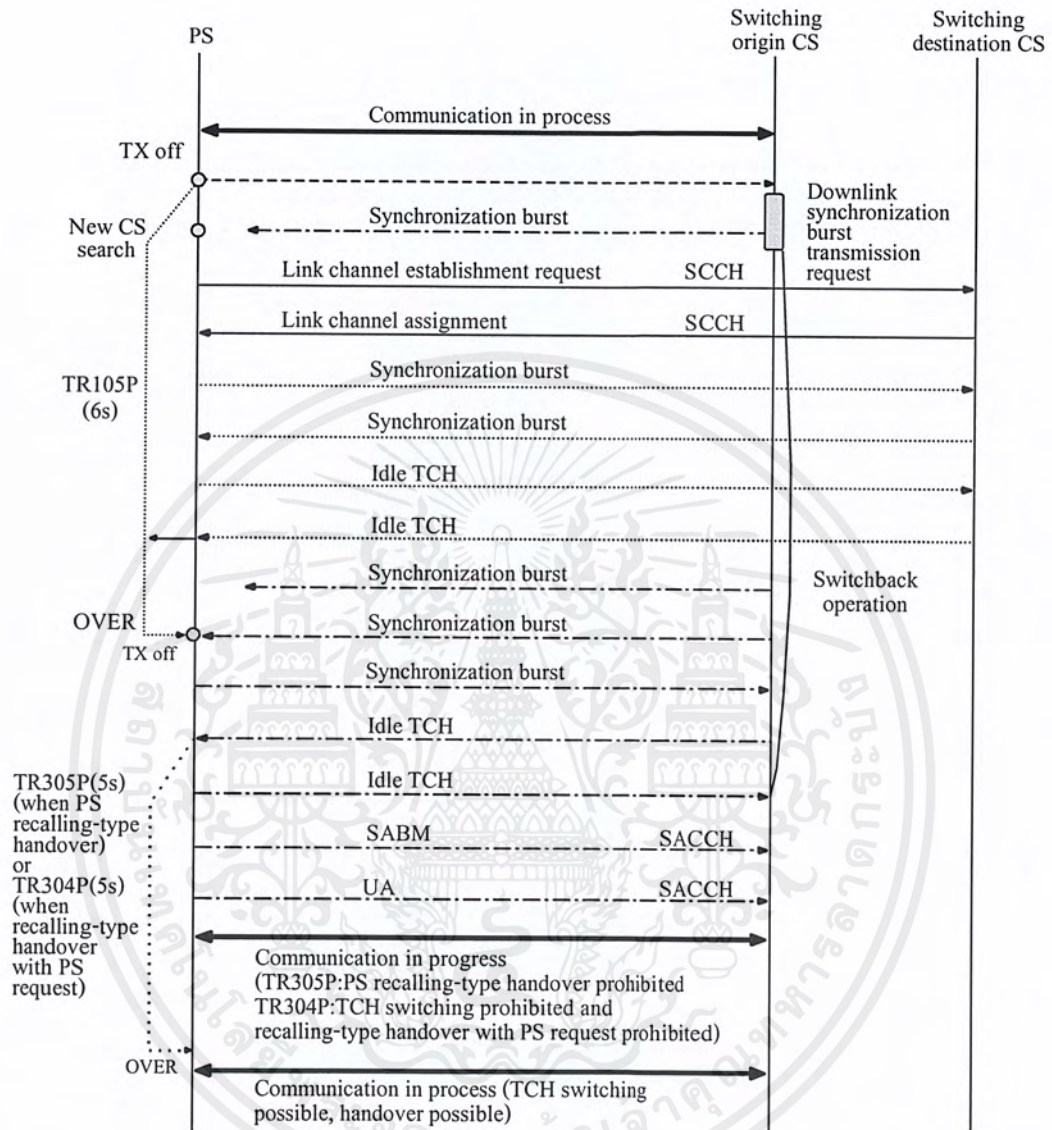
เซลล์เคลื่อนที่ที่นำมาใช้ในโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะมีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดติดตั้งภายในตัวอาคาร โดยจะมีกำลังส่ง 10 mW และชนิดติดตั้งนอกอาคาร มีกำลังส่งขนาด 20 mW และ 200 mW และ 500mW สำหรับลักษณะของเครื่องลูกข่าย หรือเครื่อง PS ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะมีลักษณะคล้ายกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั่วๆ ไป หรืออาจจะมีขนาดเล็กกว่าเนื่องจากใช้ความถี่ในย่านสูงกว่าปกติ คือ ประมาณ 1.9 GHz น้ำหนักของเครื่องจะ



รูปที่ 2.21 แสดงโปรโตคอลของการแฮนด์โอเวอร์จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง

อยู่ประมาณ 90-150 กรัม ขนาดของเครื่องประมาณ 40 W x 120H x 15D มิลลิเมตร และมีแบตเตอรี่ที่สามารถชาร์จได้ (Ni-Cd, Ni-MH, Lithium Ion) ซึ่งสามารถเปิดเครื่องรอรับสายได้นานถึง 500 ชั่วโมงขึ้นไป ถึง 600 ชั่วโมง และสามารถใช้งานสนทนาได้นานถึง 5 ชั่วโมงขึ้นไป จึงทำให้การใช้งานสะดวกไม่ต้องกังวลในการพกพาแบตเตอรี่สำรอง มีข้อดีสำหรับการให้บริการข้อมูลแบบดิจิทัล เช่น FAX, Data

terminal ฯลฯ ลักษณะของเซลล์ต้น CS และเครื่อง PS แสดงในรูปที่ 2.23 และ 2.25 ตามลำดับ ในส่วนการทำงานของเซลล์ต้น และเครื่อง PS แสดงดังรูปที่ 2.24 และ 2.26



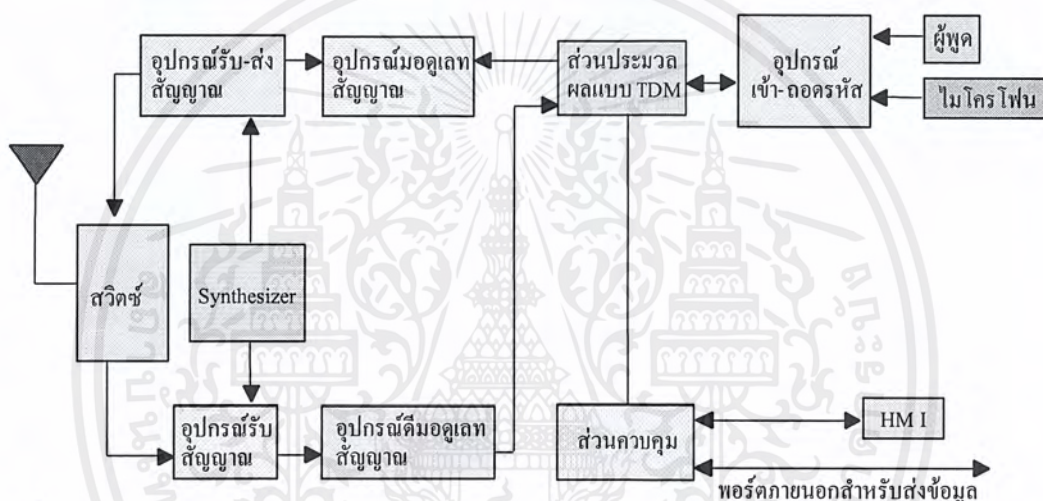
SACCH : Slow Associated Control Channel
TCH : Traffic Channel
PS : Personal Station
CS : Cell Station

SABM : Set Asynchronous Balanced Mode
UA : Unnumbered Acknowledgment
TX : Transmit

รูปที่ 2.22 แสดงโปรโตคอลของการกลับมาใช้เซลล์เดิมเมื่อทำการแฮนด์โอเวอร์ไม่สำเร็จ



รูปที่ 2.25 แสดงเครื่อง PS ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที



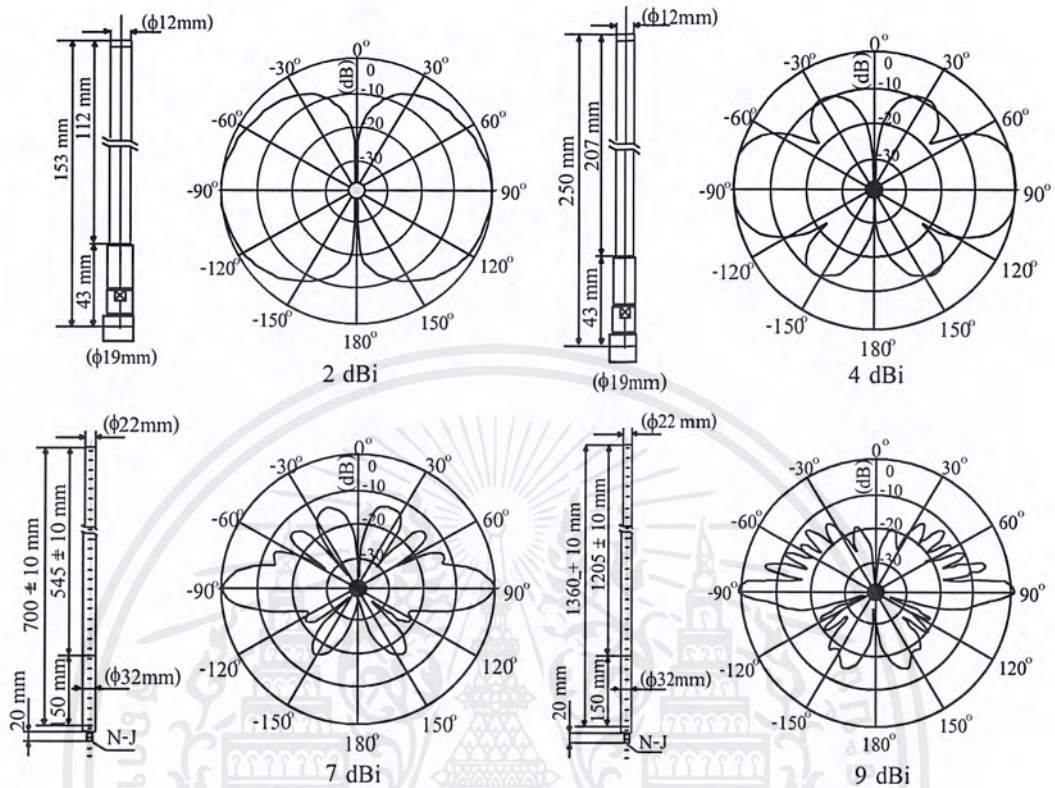
รูปที่ 2.26 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเครื่อง PS ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

สายอากาศของเซลล์เด็คซ์ที่ติดตั้งในประเทศไทยจะใช้สายอากาศที่มีค่าเกน 4 แบบ มีลักษณะดังรูปที่ 2.27 คือ 2 dBi 4 dBi 7 dBi และ 9 dBi โดยสายอากาศที่มีค่าเกนต่างๆ จะเห็นว่าสายอากาศที่มีค่าเกนสูง จะสามารถกระจายคลื่นในแนวนอนได้ดีถึงแม้ว่าในแนวตั้งจะมีปัญหาบ้าง เพราะมีไซด์โลบมาก ซึ่งจะเป็นผลให้การกระจายคลื่นไปยังอาคารสูงทำได้ไม่ดีเท่าที่ควร

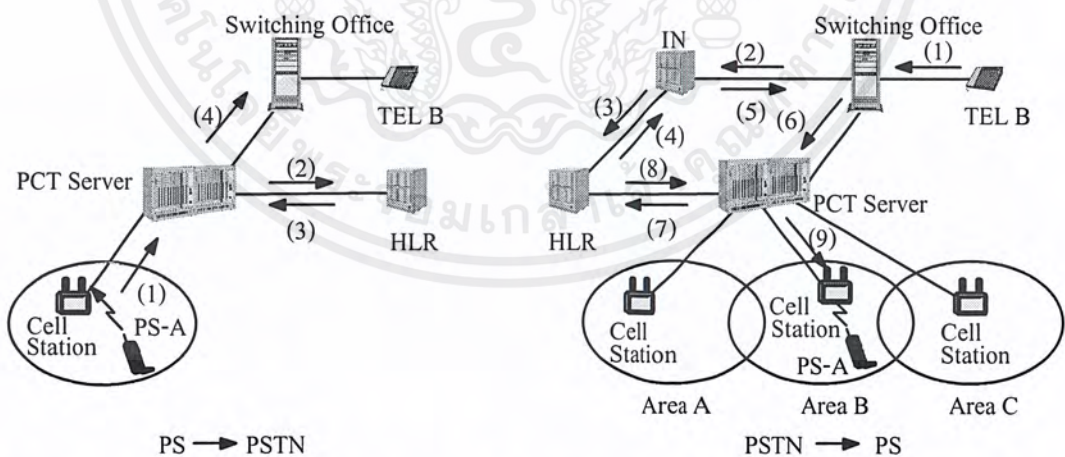
2.6 กรรมวิธีในการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

เมื่อมีการเรียกจากเครื่อง PS ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที เข้ามายัง PCT Server ข้อมูลของเครื่อง PS จะถูกส่งไปยัง HLR (Home Location Register) เพื่อทำการตรวจสอบว่า เป็นผู้ใช้บริการที่ถูกต้องหรือไม่ ถ้าถูกต้อง PCT Server ก็จะทำการเชื่อมต่อไปยังชุมสายปลายทาง ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ในทำนองเดียวกัน เมื่อมีผู้เรียกจากโทรศัพท์พื้นฐานมายังโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที ข้อมูลที่ส่งมายัง PCT Server ก็จะถูกส่งไปตรวจสอบยัง HLR ว่า เป็นผู้ใช้บริการที่ถูกต้องหรือไม่ ถ้าถูกต้องก็

จะส่งมายัง PCT Server ให้ทำการเรียกหาใน Paging Area ต่างๆ จนสามารถเรียกเครื่อง PS ในระบบ โทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที ได้



รูปที่ 2.27 แสดงสายอากาศแบบ 2 dBi 4 dBi 7 dBi และ 9 dBi



รูปที่ 2.28 แสดงเส้นทางการเชื่อมโยงสัญญาณเมื่อมีการเรียกเข้าและออกจากโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

2.7 วิธีการคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์ในระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีที

วิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณในระบบการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุ จะสามารถอธิบายได้ 2 ลักษณะ อันได้แก่ การอธิบายโดยการอาศัยการวิเคราะห์ (Analytical Method) การลดทอนของสัญญาณและการอธิบายโดยวิธีการสังเกต (Empirical Method) โดยสามารถนำมาใช้ในการอธิบายร่วมกันได้ ซึ่งการอธิบายโดยวิธีการสังเกต จะใช้หลักการที่เรียกว่า “Fitting curves” และการอธิบายโดยวิธีการวิเคราะห์ จะสามารถทำได้โดยการวัดระดับความแรงของสัญญาณ และทำการรวบรวมไว้เป็นข้อมูลทางสถิติ หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลทางสถิตินำมาวิเคราะห์ เมื่อนำทั้งสองวิธีมารวมกัน ก็สามารถที่จะหาแฟคเตอร์เบื้องต้นของการลดทอนของสัญญาณได้

2.7.1 วิธีการของ COST-231/Walfish/Ikegami

วิธีการของ COST-231/Walfish/Ikegami เป็นวิธีการหาค่าสมการการลดทอนที่ใช้อาศัยทั้งการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งรูปแบบของสมการการลดทอนของสัญญาณจะประกอบไปด้วยค่าการลดทอนผ่านสูญญากาศ การลดทอนเนื่องจากการหักเห และการลดทอนเนื่องจากระดับความสูงที่แตกต่างกันระหว่างหลังคาของอาคารสิ่งกีดขวางรอบๆตัวเครื่องโทรศัพท์ โดยวิธีการดังกล่าวได้พัฒนามาจากวิธีการของ Walfish วิธีการของ Bertoni และวิธีการของ Ikegami ซึ่งได้มีการทดลองเพิ่มเติมและเปรียบเทียบกับค่าระดับของสัญญาณที่วัดได้จริงในตัวเมือง โดยมีสถานะเบื้องต้น ดังนี้

1. ความถี่ในการใช้งานอยู่ในช่วง 800 MHz ถึง 2000 MHz
2. ความสูงของสายอากาศส่ง (H_b) 4 ถึง 50 เมตร
3. ความสูงของสายอากาศรับหรือตัวเครื่องโทรศัพท์ (H_m) 1 ถึง 3 เมตร
4. ระยะทาง (d) 0.02 กิโลเมตรถึง 5 กิโลเมตร
5. กำหนดให้ความสูงของหลังคาตึกเป็น H_{roof} มีหน่วยเป็นเมตร
6. กำหนดให้ความกว้างของถนนเป็น w มีหน่วยเป็นเมตร
7. กำหนดให้ระยะห่างระหว่างตึกเป็น b มีหน่วยเป็นเมตร
8. กำหนดให้การจัดเรียงของถนนตามเส้นทางของคลื่นในแนวระดับเป็น Φ

วิธีการของ COST-231/Walfish/Ikegami ประกอบด้วยสมการการลดทอนของสัญญาณใน 2 เส้นทางคือเส้นทางการมองเห็นในระดับสายตาและในเส้นทางที่มีสิ่งกีดขวางบดบัง ซึ่งสมการการลดทอนของสัญญาณสำหรับเส้นทางที่มีสิ่งกีดขวาง จะแสดงดังนี้

$$L_b = L_f + L_{rst} + L_{msd} \quad (2.1)$$

โดย L_f เป็นการลดทอนของสัญญาณเมื่อผ่านอากาศ มีค่าดังสมการ

$$L_f = 32.44 + 20 \log d + 20 \log f \quad (2.2)$$

L_{rts} เป็นการลดทอนของสัญญาณจากการหักเหและการกระเจิงจากหลังคาตึก

$$L_{rts} = -16.9 - 10 \log w + 10 \log f + 20 \log (H_r - H_m) + L_{cri} \quad (2.3)$$

L_{cri} เป็นการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากการจัดเรียงของถนน

$$L_{cri} = -10 + 0.35\phi \quad 0 \leq \phi \leq 35 \text{ องศา} \quad (2.4)$$

$$L_{cri} = 2.5 + 0.075(\phi - 35) \quad 35 \leq \phi \leq 55 \text{ องศา} \quad (2.5)$$

$$L_{cri} = 4 + 0.114(\phi - 55) \quad 55 \leq \phi \leq 90 \text{ องศา} \quad (2.6)$$

L_{msd} เป็นการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากการหักเหของหลายๆหน้าคลื่น (Multiscreen diffraction loss ซึ่งเป็นวิธีของ Walfish) แสดงได้ดังสมการ

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_d + k_d \log d + k_f \log f - 9 \log b \quad (2.7)$$

$$L_{bsh} = -18 \log (1 + H_b - H_{roof}) \quad H_b > H_{roof} \quad (2.8)$$

$$L_{bsh} = 0 \quad H_b \leq H_{roof} \quad (2.9)$$

$$k_a = 54 \quad H_b > H_{roof} \quad (2.10)$$

$$k_a = 54 - 0.8(H_b - H_{roof}) \quad d \geq 0.5 \text{ และ } H_b \leq H_{roof} \quad (2.11)$$

$$k_a = 54 - 0.8(H_b - H_{roof})(d/0.5) \quad d < 0.5 \text{ และ } H_b \leq H_{roof} \quad (2.12)$$

$$k_d = 18 \quad H_b > H_{roof} \quad (2.13)$$

$$k_d = 18 - 15(H_b - H_{roof})/H_{roof} \quad H_b \leq H_{roof} \quad (2.14)$$

$$k_f = -4 + 0.7\left(\frac{f}{925} - 1\right) \quad (2.15)$$

สำหรับตัวเมืองขนาดเล็กและบริเวณศูนย์กลางปริมาณพลที่มีต้นไม้พอประมาณ

$$k_f = -4 + 1.5\left(\frac{f}{925} - 1\right) \quad (2.16)$$

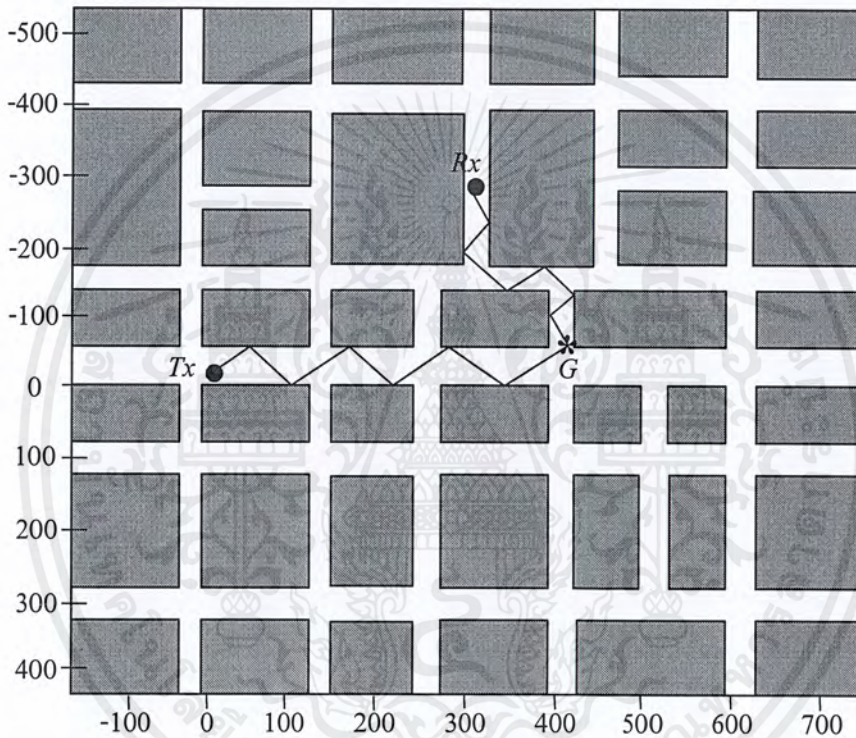
สำหรับศูนย์กลางของตัวเมือง

ในเส้นทางการมองเห็นในระดับสายตา จะมีสมการการลดทอนของสัญญาณ ดังนี้

$$L_{LOS} = 42.6 + 26 \log d + 20 \log f \quad (2.17)$$

2.7.2 วิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณโดยใช้หลักการ Ray tracing หลักการอิมเมจและหลักการ UTD

ในรูปที่ 2.29 จะแสดงเส้นทางการเดินทางของคลื่นที่ได้กำหนดขึ้น โดยตำแหน่งของสายอากาศส่งสัญญาณ (T_x) จะติดตั้งไว้ที่ความสูง h_t เมตรเหนือพื้นผิวดินและมีระยะห่างจากผนังตึกที่ใกล้ที่สุดเป็น X_0 เมตร ส่วนสายอากาศรับสัญญาณหรือตัวเครื่องโทรศัพท์ (R_x) จะมีความสูงเป็น h_r เมตรเหนือพื้นผิวดิน โดยตำแหน่งของ R_x จะมีการเคลื่อนที่ไปตามถนนสายหลักและถนนสายรองที่ตั้งฉากและขนานกับถนนสายหลัก ซึ่งตำแหน่งต่างๆซึ่งประกอบด้วยค่าแอมพลิจูดตามแนวตั้งและค่าเฟสของค่าความแรงของสัญญาณจะนำไปหาค่ากำลังงานของสัญญาณ



รูปที่ 2.29 เส้นทางการเดินทางของคลื่น

จากรูปที่ 2.29 แสดงเส้นทางการเดินทางของคลื่น โดยคลื่นจะเดินทางผ่านเส้นทางที่เกิดการสะท้อนเนื่องจากพื้นผิวดินเพียงครั้งเดียว กำหนดให้ $T_1, T_2, T_3, \dots, T_i, T_i^G, T_{i+1}, \dots, T_j$ เป็นจุดอิมเมจอันเนื่องมาจากการเกิดการสะท้อนจากเส้นทางการเดินทางของสัญญาณ โดยสัญลักษณ์ตัวห้อยจะแสดงให้เห็นว่าจุดอิมเมจเกิดขึ้นเป็นครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ตามลำดับต่อไปเรื่อยๆ และ T_i^G จะแสดงจุดอิมเมจอันเนื่องมาจากการสะท้อนของพื้นผิวดินหลังจากที่มีการสะท้อนจากผนังมาแล้ว i ครั้งจาก T_x กำหนดให้ใช้สัญลักษณ์

$$T_m = [X_m, Y_m, h_t] \quad \text{สำหรับ } m \leq i \text{ และ } T_i^G = [X_i, Y_i, -h_t]$$

และ $T_m = [X_m, Y_m, -h_t]$ สำหรับ $m = i+1, i+2, \dots, j$

เมื่อ j เป็นจำนวนครั้งที่เกิดการสะท้อนเนื่องจากผนัง

$[X_m, Y_m]$ เป็นตำแหน่งของอิมเมจบนแผนที่ซึ่งหาได้โดยใช้หลักการอิมเมจ

ในการหา $T_1, T_2, T_3, \dots, T_i, T_i^G, T_{i+1}, \dots, T_j$ จากตำแหน่ง $[X_m, Y_m]$ เราจะต้องทำการอธิบายลำดับของการสะท้อน เช่น ตำแหน่งใดเป็นตำแหน่งที่เกิดการสะท้อน อันเนื่องมาจากพื้นผิวถนน เป็นต้น ซึ่งจุดอิมเมจ $T_1, T_2, T_3, \dots, T_i, T_i^G, T_{i+1}, \dots, T_j$ ต่างๆเหล่านี้ เป็นจุดอิมเมจที่เกิดจากแหล่งกำเนิดคลื่นเดียวกันสำหรับการสะท้อนหลายๆครั้งที่ผนังและพื้นผิวถนน

สำหรับการหักเหที่เกิดขึ้นบริเวณมุมตึก สามารถอธิบายได้ด้วยวิธีผ่านการสะท้อนหลายๆครั้ง ก่อนที่จะเกิดการหักเหที่จุด BC จากกฎของการหักเห เมื่อคลื่นตกกระทบบนสิ่งกีดขวาง จะทำให้เกิดการหักเหและคลื่นใหม่ที่เกิดขึ้นก็มีจำนวนมากเป็นอินฟินิตี้ ซึ่งการเดินทางของคลื่นที่เกิดขึ้นเหล่านี้ไปยัง R_X จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของ R_X ซึ่งมีความสัมพันธ์ T_j และ BC จุดที่เกิดการหักเหอย่างแท้จริง หรือจุด Q_e ที่มุมตึก BC จะสามารถอธิบายได้โดยการใช้ทฤษฎีเบื้องต้นของ Fermat

ในกรณีที่มีการหักเหของคลื่นเกิดขึ้นระหว่างจุด S หรือจุดอิมเมจ T_j และจุด P หรือ R_X เมื่อลากเส้นระหว่าง 2 จุดแล้วจะได้เส้นโค้งที่มีจุดหักเหอยู่ที่บริเวณที่มีการหักเหของคลื่น กำหนดให้ $Q_e = [X_e, Y_e, Z_e]$ โดย Z_e เป็นตัวแปรในการอธิบายความสูงของตำแหน่งที่มีการหักเหบริเวณ BC ค่าของ X_e และ Y_e จะรู้ได้โดยการบอกตำแหน่งของ BC สำหรับค่า Z_e สามารถอธิบายได้โดยการเขียนระยะห่างระหว่างจุด S และจุด P ด้วยจุดเพียงจุดเดียวบน BC ในเทอมของ Z_e เช่น $D_{SP}(Z_e) = SQ_e(Z_e) + Q_eP(Z_e)$ โดยค่าราก (Derivative) ของ D_{SP} ที่สัมพันธ์กับ Z_e มีค่าเท่ากับ 0 ดังนั้นจึงสามารถหาค่าของ Z_e ได้ ในทางกลับกันจุดที่เกิดการหักเห Q_e ก็สามารถหาได้โดยกฎของการหักเห สำหรับลำดับย่อยของการสะท้อนที่เกิดจากผนังและพื้นผิวถนน หลังจากการหักเห จะใช้ทฤษฎีเบื้องต้นของ Fermat ในการอธิบายจุดที่เกิดการสะท้อนและหักเห

อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบของการสะท้อนและการหักเห จะใช้ในการอธิบายระดับความแรงของสัญญาณที่เกิดขึ้นในถนนรองที่ตั้งฉากและขนานกับถนนสายหลัก เราพบว่าองค์ประกอบของการสะท้อนและการหักเหจะขึ้นอยู่กับ ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งกับสี่แยกของถนน นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับความกว้างของถนนสายหลักและถนนสายรองทั้งที่ตั้งฉากและขนานกับถนนสายหลัก ประโยชน์ของหลักการอิมเมจก็คือ สามารถที่จะอธิบายจุดที่เกิดการสะท้อนที่แท้จริงบริเวณผนังและพื้นผิวถนน ในกรณีที่เป็นการหักเห ตำแหน่งของจุดที่มีการหักเหจะอยู่บริเวณขอบของสิ่งกีดขวาง สำหรับการสะท้อนหรือการหักเหที่เกิดขึ้นที่จุด Q กำลังงานของคลื่นตกกระทบบ $E^i(Q)$ จะก่อให้เกิดกำลังงาน $E^{r,d}(s)$ ที่จุด S เมื่อ

$$E^{r,d}(s) = E^i(Q) \cdot H(Q, S) \cdot e^{-jks} \quad (2.18)$$

$$\begin{aligned}
 H(Q, S) &= R.A_s && \text{สำหรับการสะท้อน} \\
 H(Q, S) &= D.A_d && \text{สำหรับการหักเห}
 \end{aligned} \tag{2.19}$$

โดย R เป็นสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนทั้งแนวตั้งและแนวนอน

$$E^r(s) = E^i(Q)R.A_s(s)e^{-jks} \tag{2.20}$$

$$R = R_h e^{i\perp} e^{r\perp} + R_v e^{i\parallel} e^{r\parallel} \tag{2.21}$$

A_s เป็นแฟคเตอร์การแพร่กระจายสำหรับการสะท้อนจากพื้นผิว

k เป็นค่าคงที่ของการแพร่กระจายคลื่น มีค่าเท่ากับ $2\pi/\lambda$

s เป็นระยะทางจากจุด Q ไปยังจุด S

λ เป็นความยาวคลื่น

$$A_s(s) = \frac{\rho}{(s+\rho)} \tag{2.22}$$

$$R_h(\varphi, \varepsilon) = \frac{\sin(\varphi) - \sqrt{\varepsilon - \cos^2(\varphi)}}{\sin(\varphi) + \sqrt{\varepsilon - \cos^2(\varphi)}} \tag{2.23}$$

$$R_v(\varphi, \varepsilon) = \frac{\varepsilon \sin(\varphi) - \sqrt{\varepsilon - \cos^2(\varphi)}}{\varepsilon \sin(\varphi) + \sqrt{\varepsilon - \cos^2(\varphi)}} \tag{2.24}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_r - j60\sigma\lambda \tag{2.25}$$

ρ เป็นรัศมีของเส้นโค้งของหน้าคลื่นที่มีการสะท้อน

$$E^d(s) = E^i(Q)D.A_d(s)e^{-jks} \tag{2.26}$$

A_d เป็นแฟคเตอร์การแพร่กระจายสำหรับการหักเหที่ขอบสิ่งกีดขวาง

$$A_d = \sqrt{\frac{\rho}{s(\rho + s)}} \tag{2.27}$$

D เป็นสัมประสิทธิ์ของการหักเหทั้งแนวตั้งและแนวนอน

$$D = -D_h \beta'_0 \beta_0 - D_v \phi' \phi \quad (2.28)$$

$$D_{v,h}((L, \phi, \phi', \beta_0, n) = D_1 + D_2 + R_{v,h}(D_3 + D_4) \quad (2.29)$$

$$D_1 = \frac{-e^{-j(\pi/4)}}{2n\sqrt{2\pi k \sin(\beta_0)}} \cot \left[\frac{\pi + (\phi - \phi')}{2n} \right] F[kLa^+(\phi - \phi')] \quad (2.30)$$

$$D_2 = \frac{-e^{-j(\pi/4)}}{2n\sqrt{2\pi k \sin(\beta_0)}} \cot \left[\frac{\pi - (\phi - \phi')}{2n} \right] F[kLa^-(\phi - \phi')] \quad (2.31)$$

$$D_3 = \frac{-e^{-j(\pi/4)}}{2n\sqrt{2\pi k \sin(\beta_0)}} \cot \left[\frac{\pi + (\phi + \phi')}{2n} \right] F[kLa^+(\phi + \phi')] \quad (2.32)$$

$$D_4 = \frac{-e^{-j(\pi/4)}}{2n\sqrt{2\pi k \sin(\beta_0)}} \cot \left[\frac{\pi - (\phi + \phi')}{2n} \right] F[kLa^-(\phi + \phi')] \quad (2.33)$$

$$L = \frac{ss'}{(s + s')} \sin^2(\beta_0) \quad (2.34)$$

s เป็นระยะทางจากจุด Q ไปยังจุด S

s' เป็นระยะทางจากแหล่งกำเนิดคลื่นไปยังจุด Q

$$F(x) = \frac{2j\sqrt{x}}{\sqrt{x}} \int_{\sqrt{x}}^{\infty} e^{-ju^2} du \quad (2.35)$$

$$F(x) = F^*(|x|) \quad \text{เมื่อ } x < 0 \quad (2.36)$$

$$a^\pm(\beta^\pm) = 2 \cos^2 \left(\frac{2\pi m N^\pm - \beta^\pm}{2} \right) \quad (2.37)$$

$$\beta^\pm = \phi \pm \phi' \quad (2.38)$$

$N^\pm$ เป็นอินทิกรัลที่เป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$2\pi n N^+ - (\phi \pm \phi') = \pi$$

$$2\pi n N^- - (\phi \pm \phi') = -\pi$$

โดย
$$n = \frac{2\pi - \alpha}{\pi} \quad \text{และ} \quad \alpha = \frac{\pi}{2}$$

สายอากาศส่งและรับสัญญาณ เป็นสายอากาศแบบไดโพล ซึ่งมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นและมีการโพลาไรซ์ คือ $E_i \sin(\theta) \left(\frac{e^{-jkr}}{r} \right) \theta$ โดยกำลังงานที่รับได้ จะแสดงดังสมการ

$$P_r = A S = \frac{\lambda^2 G_r}{4\pi} \left| \frac{E_r}{Z_0} \right|^2 = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \left| \frac{E_r}{E_i} \right|^2 \quad (2.39)$$

เมื่อ

$$E_i = \sqrt{(\eta_0 / 4\pi) P_t G_t}$$

$$\eta_0 = \sqrt{\mu/\epsilon} \approx 120\pi \text{ เป็นค่าความต้านทาน}$$

$P_{t,r}$ เป็นกำลังงานในการส่งและรับสัญญาณ ตามลำดับ

$G_{t,r}$ เป็นค่าเกนหรือกำลังขยายในการส่งและรับสัญญาณ ตามลำดับ

A แอมพลิจูดของสายอากาศ

S พอยน์ทิงเวกเตอร์หรือความหนาแน่นของกำลังงาน

E_r สนามไฟฟ้าที่ตัวรับสัญญาณ R_x

θ มุมโพลาไรซ์

$\sin(\theta)$ เป็นรูปแบบของสายอากาศ

ดังนั้น ค่าการลดทอนของสัญญาณจะสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$L = \frac{P_r}{P_t G_t G_r} = 20 \log \left| \frac{\lambda}{4\pi G_t G_r} \cdot \frac{E_r}{E_i} \right| \quad (2.40)$$

การทำนายการแพร่กระจายคลื่นในสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวาง เป็นปัญหาที่ย่างยากซับซ้อน เทคนิคที่ใช้จะขึ้นอยู่กับความเป็นไปได้ หลายเทคนิคถูกนำมาอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นด้วยโมเดล GTD (Geometrical theory of diffraction), PO (Physical Optic) แต่ไม่บ่อยนัก หลักการที่ถูกต้องได้แก่ IE

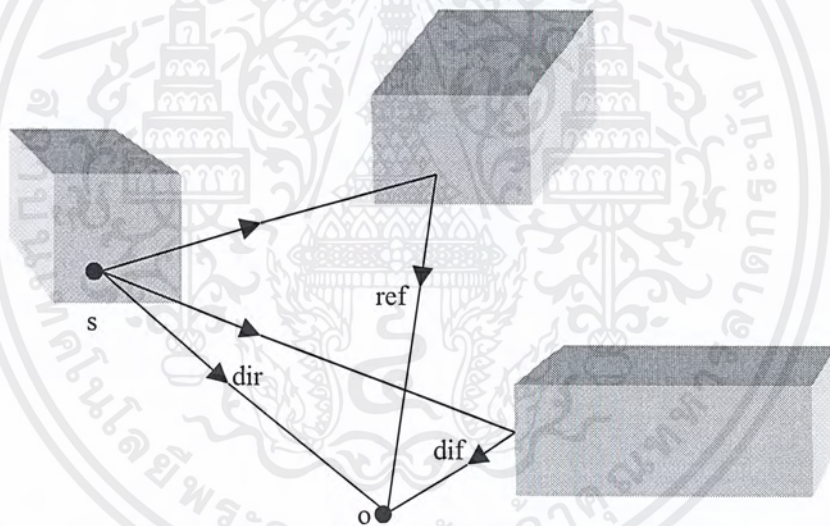
(integral equation) หรือ FDTD (finite-difference time-domain) เป็นการยากที่จะใช้เพราะขนาดของสิ่งกีดขวางแตกต่างกัน ในส่วนที่มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่น จุดสำคัญโมเดลของการแพร่กระจายคลื่น Deterministic และ Semi-deterministic จะขึ้นอยู่กับหลักการเส้นกราฟที่ใกล้กับความถี่สูง ได้แก่ GTD ในรูป UTD (Unifrom theory of diffraction) และ PO

2.7.2.1 วิธี GTD/UTD

สนามไฟฟ้า $\vec{E}_T$ ที่เกิดที่จุดรับ o จากแหล่งกำเนิด s จะหาค่าโดยประมาณได้จาก

$$\vec{E}_T = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i \quad (2.41)$$

เมื่อ $\vec{E}_i$ คือสนามไฟฟ้าที่เกิดแต่ละเส้นทางของ N ระหว่าง s กับ o ในเส้นทางตรง เส้นทางที่หักเห เส้นทางที่ส่ง เส้นทางที่สะท้อน-หักเห เส้นทางที่สะท้อน 2 ครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.30 เป็นโมเดลง่ายๆในสภาพแวดล้อมเมือง คลื่นสะท้อน(ref) คลื่นทางตรง(dir) และคลื่นหักเห(dif) จาก (2.41) สามารถคำนวณโดยใช้สมการ GTD/UTD สนามไฟฟ้ารวมของการแพร่กระจายคลื่นจาก



รูปที่ 2.30 เส้นทางของคลื่นทั้ง 3 แบบที่ติดต่อกันระหว่างตัวส่งและรับ

$$\vec{E}(s) = \vec{E}(0) \sqrt{\frac{\rho_1 \rho_2}{(\rho_1 + s)(\rho_2 + s)}} \exp(-j\beta s) \quad (2.42)$$

เมื่อ $\vec{E}(s)$ คือสนามไฟฟ้าที่จุด s เป็นจุดอ้างอิง($s=0$) $\vec{E}(0)$ คือสนามไฟฟ้าที่จุดอ้างอิงและ $\rho_1 \rho_2$ คือรัศมีความโค้งของรูปแบบคลื่นที่รวมกันที่จุดอ้างอิงซึ่งขึ้นอยู่กับเส้น caustic ดังแสดงในรูปที่ 2.30 จาก (2.42) β คือจำนวนคลื่นในสูญญากาศ (free-space) หาได้จาก

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.43)$$

เมื่อ λ คือความยาวคลื่น ในทางปฏิบัติมี 2 กรณีคือรูปแบบการแพร่ในรูปทรงกลม (Spherical) และ ทรงกระบอก (cylindrical) คลื่นการแพร่ในรูปทรงกลม กรณีนี้จะพบเมื่อเส้น caustic เชื่อมลงที่จุดเดียวกัน ดังนั้นรูปแบบคลื่นเป็นทรงกลม นอกจากนี้ $\rho_1 = \rho_2 = \rho_0$ และสนามไฟฟ้าที่จุด s จาก

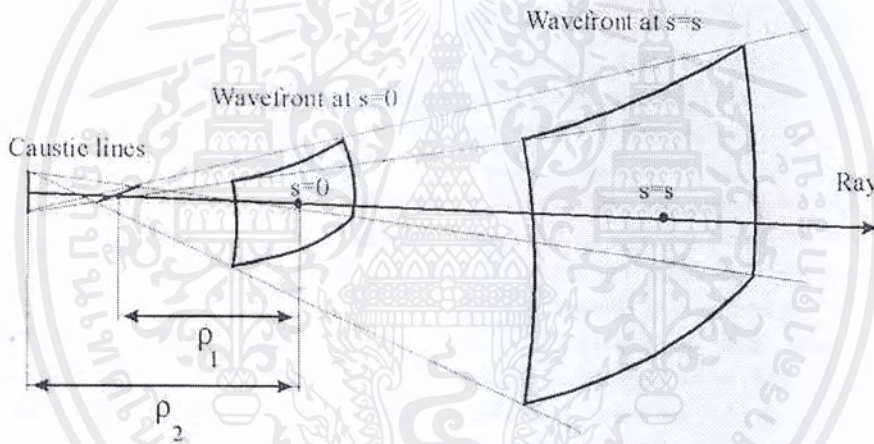
$$\vec{E}(s) = \vec{E}(0) \frac{\rho_0}{\rho_0 + s} \exp(-j\beta s) \quad (2.44)$$

เมื่อจุด caustic ได้จากจุดอ้างอิง จาก (2.44) จะได้

$$\vec{E}(s) = \vec{E}(0) \frac{\exp(-j\beta s)}{s} \quad (2.45)$$

เมื่อ $\vec{E}(0)$ คือเวกเตอร์ที่ดูได้จากแฟกเตอร์การกระจายแบบ Spherical คลื่นการแพร่ในรูปทรงกระบอก ในกรณีนี้ปรากฏเมื่อหนึ่งของเส้น caustic ที่ความยาวอนันต์ $\rho_1 = \infty$ นอกจากนี้รูปคลื่นแบบ Cylindrical ในกรณีนี้สนามไฟฟ้าที่จุด s จาก

$$\vec{E}(s) = \vec{E}(0) \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_2 + s}} \exp(-j\beta s) \quad (2.46)$$



รูปที่ 2.31 การแพร่กระจายคลื่นแบบ Ray tube

เมื่อ จุดสะท้อนที่เส้น caustic จาก (4.6) เขียนใหม่ได้

$$\vec{E}(s) = \vec{E}(0) \frac{\exp(-j\beta s)}{\sqrt{s}} \quad (2.47)$$

จากสมการ คือเวกเตอร์ที่ดูได้จากแฟกเตอร์การกระจายแบบทรงกลม

เมื่อคลื่นแผ่ผ่านสิ่งกีดขวางส่วนที่เกิดการสะท้อน กฎของ PO ของการสะท้อนจะให้คุณสมบัติเส้นสะท้อน : การแพร่กระจายคลื่นในเส้นทางตรง รัศมีที่สำคัญของครึ่งของรูปคลื่นสะท้อนและสนามที่จุดอ้างอิงใหม่ด้วยจุดสะท้อน ดังนั้นการกระจายของคลื่นสะท้อนที่ เมื่อคลื่นชนขอบจำนวนไม่จำกัดของคลื่นหักเห กฎ GTD/UTD ใช้คุณสมบัติของคลื่นสะท้อน

2.7.2.2 สนามของคลื่นทางตรง (Direct Field)

สนามที่ส่งเสริมที่จุด O จากการแผ่ทางตรงหาได้จาก

$$\vec{E}(O) = \vec{E}_t(\theta, \phi) \frac{\exp(-j\beta_s)}{r} \quad (2.48)$$

$$\text{เมื่อ } \vec{E}_t(\theta, \phi) = \sqrt{\frac{\eta Pr G}{2\pi}} \vec{E}_0(\theta, \phi) \quad (2.49)$$

เมื่อ η คือ ค่า free space อิมพีแดนซ์ P_r คือกำลังที่แพร่กระจายจากตัวส่ง G คืออัตราขยายของสายอากาศตัวส่ง และ $\vec{E}_0(\theta, \phi)$ คือรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นทั่วไปของสายอากาศส่งพิกัดทรงกลม (r, θ, ϕ) ของจุดรับ O ตามการอ้างอิงพิกัดของระบบที่รอบๆสายอากาศ โดยปกติพารามิเตอร์ทางเรขาคณิตจะเป็นการอ้างอิงระบบที่ต่างกัน การแปลงพิกัดระหว่างเรขาคณิตและระบบสายอากาศที่ได้จากการคำนวณ จากสมการ (2.48) และ (2.49) จะใช้เมื่อ จุดรับอยู่ในสนามไกลของสายอากาศของสายอากาศซึ่งเป็นแบบหนึ่งของระบบสื่อสารเคลื่อนที่ อย่างไรก็ตามเหล่านี้ไม่เป็นจริงถ้าอากาศหรือสายอากาศไฟฟ้าใหญ่ที่ใช้ สองกรณีเหล่านี้ จะประกอบด้วยหลายๆ เฟสเซนเตอร์ สนามที่เกิดจากสายอากาศที่ N เฟสเซนเตอร์หาได้จาก

$$\vec{E}(O) = \sum_{i=1}^N \sqrt{\frac{\eta P_{ri} G_i}{2\pi}} \vec{E}_0(\theta_i, \phi_i) \frac{\exp(-j\beta r_i)}{r_i} \quad (2.50)$$

2.7.2.3 สนามของคลื่นสะท้อน (Reflected Field)

สนามการสะท้อนเมื่อคลื่นชนพื้นผิว จะสามารถหาโดยวิธี GO สิ่งเหล่านี้ใช้ทั้งพื้นผิวสูงต่ำและเรียบของไมโครเซล สมมุติว่าสิ่งกีดขวางไม่มีพื้นผิวที่ไม่เรียบและการประยุกต์ใช้ GO ที่สำคัญ การคำนวณหาการกระจายสนามของคลื่นสะท้อนโดยใช้ทฤษฎีการจำลอง และสัมประสิทธิ์ Fresnelของการสะท้อนแทนด้วย GO ทั่วไป ทฤษฎีการจำลองแบ่งได้เป็น กฎของ GO เมื่อพื้นผิวเป็นพื้นราบ ทั้งสองหลักการจะได้ผลที่เหมือนกัน เมื่อพิจารณาการประยุกต์ทฤษฎีการจำลองปัญหาการสะท้อนแสดงการสะท้อนจะขึ้นอยู่กับรูปร่าง เพอร์มิทิวตี้ ค่าความนำ และ permeability จะแสดงโดยพารามิเตอร์ ϵ, σ และ μ แพทเทิร์นการแพร่กระจายของสายอากาศ $\vec{E}_0(\theta, \phi)$ คือแกนที่แสดงดังรูป เฟสเซนเตอร์ (S) ซึ่งสมวางอยู่ที่จุดกำเนิดจากรูปแสดงเส้นทาง SPO จะได้ระยะทางที่สั้นที่สุด

$$\vec{E}_r = \vec{\Gamma} \vec{E}_i \quad (2.51)$$

เมื่อ $\vec{E}_i$ และ $\vec{E}_r$ หาได้จากส่วนง่ายและยากโดยเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} E_s^r \\ E_h^r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Gamma_s & 0 \\ 0 & \Gamma_h \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_s^i \\ E_h^i \end{bmatrix} \quad (2.52)$$

$$\vec{E}_r(O) = \left[\begin{array}{l} \Gamma_h(\theta_I) E_{\theta_f}(\pi - \theta_I, \phi_I) \hat{\theta}_I \\ + \Gamma_s(\theta_I) E_{\phi_f}(\pi - \theta_I, \phi_I) \hat{\phi}_I \end{array} \right] \frac{\exp(-j\beta r_I)}{r_I} \quad (2.53)$$

เมื่อ r_I, θ_I, ϕ_I คือ พิกัดทรงกลมของจุดรับในระบบจำลองแบบคงที่ (image-fixed) ตามประติบัติ Frenel หาได้จาก

$$\Gamma_h(\theta) = \frac{\varepsilon_r \cos(\theta) - \sqrt{\varepsilon_r - \sin^2(\theta)}}{\varepsilon_r \sin(\theta) + \sqrt{\varepsilon_r - \sin^2(\theta)}} \quad (2.54)$$

$$\Gamma_s(\theta) = \frac{\cos(\theta) - \sqrt{\varepsilon_r - \sin^2(\theta)}}{\sin(\theta) + \sqrt{\varepsilon_r - \sin^2(\theta)}} \quad (2.55)$$

เมื่อ คี่มุมของรูปแบบทางตรงจากเส้นทางตรงและเวกเตอร์พื้นทางเหมือนเพชร ข้อสังเกต θ เท่ากับ θ_I และ ε_r คือค่าคงที่ของฉนวน

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon - j\frac{\sigma}{\omega}}{\varepsilon_0} \quad (2.56)$$

สนามของการสะท้อนที่จุดรับสามารถคำนวณโดยวงจรเสมือนของสายอากาศที่จุดจำลอง I ซึ่งรูปแบบการแพร่กระจายโดยระบบจำลองแบบคงที่

$$\vec{E}_I(r_I, \theta_I, \phi_I) = \vec{E}_{II}(\theta_I, \phi_I) \frac{\exp(-j\beta r_I)}{r_I} \quad (2.57)$$

เมื่อ

$$\vec{E}_{II}(\theta_I, \phi_I) = \Gamma_h(\theta_I) E_{\theta_f}(\pi - \theta_I, \phi_I) \hat{\theta}_I + \Gamma_s(\theta_I) E_{\phi_f}(\pi - \theta_I, \phi_I) \hat{\phi}_I \quad (2.58)$$

$$h > \frac{\lambda}{8 \cos \theta} \quad (2.59)$$

$$\rho = \exp \left[-8 \left(\frac{\pi \sigma_h \cos \theta}{\lambda} \right)^2 \right] \quad (2.60)$$

2.7.2.4 สนามการหักเหที่เกิดจากขอบ (Edge-Diffracted Field)

สนามการหักเหที่เกิดจากขอบ (Edge-Diffracted Field) หาได้จาก

$$\vec{E}^d(s) = \vec{E}^i(Q_d) \bar{D} \sqrt{\frac{\rho_e^i}{s(\rho_e^i + s)}} e^{-j\beta s} \quad (2.61)$$

เมื่อ $\bar{E}^i(Q_d)$ คือคลื่นที่ตกกระทบที่จุดทำให้เกิดการหักเห (Q_d), $\bar{D}$ เป็นสัมประสิทธิ์การหักเห และ s เป็นระยะทางระหว่างจุดรับ O และจุดหักเห การประยุกต์ (4.22) สนามคลื่นทางตรงที่เป็นผลมาจาก ระบบพิกัดขอบคงที่ การกระจายของสนามคำนวณจากผลรวมของสนามที่แผ่มายังจุด O ในสภาพ แวกล่อม

2.8 การหาตำแหน่งเพื่อวางเซลล์เดชั่นที่เหมาะสมของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

ในการวางตำแหน่งเซลล์เดชั่นในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที เพื่อให้บริการในพื้นที่ สาธารณะนั้น จะทำการติดตั้งเซลล์เดชั่นตามถนนในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล โดยในการหาตำแหน่ง เพื่อวางเซลล์ที่เหมาะสมเพื่อให้ระบบมีการให้บริการที่ดี ระยะห่างระหว่างเซลล์เดชั่นจะมีผลต่อการบริการ จะส่งผลทำให้เกิดพื้นที่ที่จุดบอดและเกิดการรบกวนของสัญญาณจากเซลล์ข้างเคียง สำหรับการหาค่าระยะ ทางระหว่างเซลล์เดชั่นที่เหมาะสมนั้น จะใช้วิธีการคำนวณจาก สมการการลดทอนจากการแพร่กระจาย คลื่นของสัญญาณที่ได้จากผลการวัด เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในประเทศไทย

2.8.1 วิธีการที่ใช้ในการหาค่าการลดทอนของสัญญาณ

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะทำออกแบบโปรแกรมในการคำนวณหาพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์ในระบบ โทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที โดยใช้หลักการ Ray tracing หลักการอิมเมจและหลักการ UTD ซึ่งสมการการลดทอนของสัญญาณจะสามารถเขียนได้ดังนี้

$$L = \frac{P_r}{P_t G_t G_r} = 20 \log \left| \frac{\lambda}{4\pi G_t G_r} \cdot \frac{E_r}{E_i} \right| \quad (2.62)$$

$$E_r^d(s) = E^i(Q) \cdot H(Q, S) \cdot e^{-jks} \quad (2.63)$$

$$H(Q, S) = R \cdot A_s \quad (2.64)$$

$$H(Q, S) = D \cdot A_d \quad (2.65)$$

เมื่อ E_i เป็นกำลังงานของสายอากาศส่ง หรือกำลังส่งของเซลล์เดชั่น และค่า E_r เป็นกำลังงานรวมทั้ง หมดที่สายอากาศรับหรือกำลังงานรวมที่ตัวเครื่องโทรศัพท์รับได้ โดยเป็นผลรวมกันแบบเวกเตอร์ของ กำลังงานทั้งหมดที่ได้จากรัศมี (Ray) ในทิศทางต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นกำลังงานของรัศมีที่ได้จากการสะท้อน ของคลื่น ($E_r^d(s) = E^i(Q) \cdot H(Q, S) \cdot e^{-jks}$) หรือกำลังงานของรัศมีที่ได้จากการหักเห ของคลื่น ($E^d(s) = E^i(Q) D \cdot A_d(s) e^{-jks}$) ค่า s เป็นระยะทางระหว่างจุดที่เกิดการหักเหไปยังจุดใดๆ ค่าคงที่ k เป็นค่าคงที่ของการแพร่กระจายคลื่น สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (R) ค่าสัมประสิทธิ์การหักเห (D) แฟกเตอร์การแพร่กระจายคลื่นสำหรับการสะท้อนจากพื้นผิว (A_s) และแฟกเตอร์การแพร่กระจายคลื่น สำหรับการหักเหที่สิ่งกีดขวาง (A_d) และกำหนดค่าพารามิเตอร์ไว้ดังนี้

1. ใช้ความถี่ในย่าน 1900 MHz
2. ความสูงของเซลล์เสตชันเท่ากับ 5 เมตร
3. ความสูงของตัวเครื่องโทรศัพท์เท่ากับ 1.5 เมตร
4. ค่าเพอิมิตติวิตี (ϵ) และค่าการนำไฟฟ้า (σ) เท่ากับ 15 และ 7 ตามลำดับ

2.8.2 การปรับปรุงสมการการลดทอนของสัญญาณให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและการใช้งานในประเทศไทย

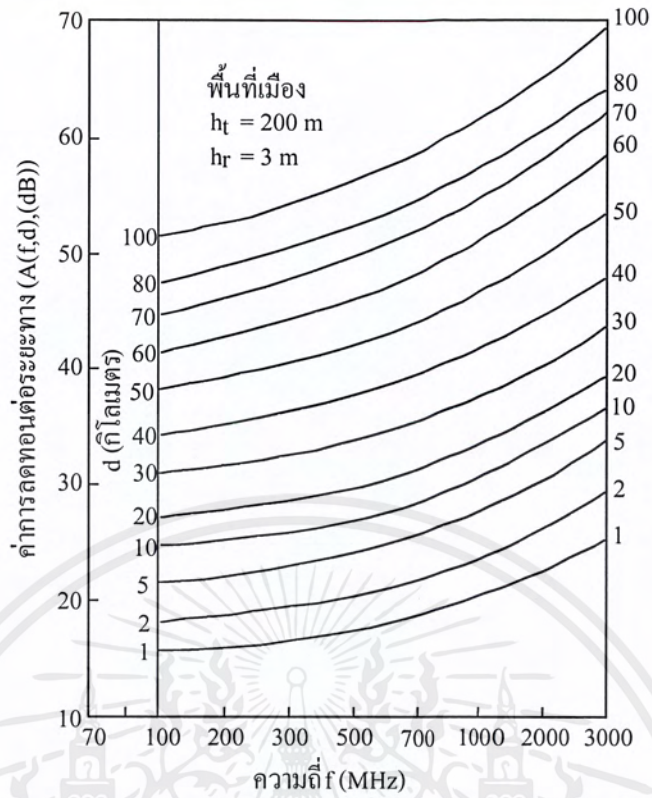
การวางเซลล์สำหรับให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในพื้นที่สาธารณะนั้น จะทำการติดตั้งเซลล์เสตชันไว้บริเวณริมถนนทั่วทั้งกรุงเทพฯ และปริมณฑล จึงถือได้ว่าเป็นสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวางอยู่ไม่มากนัก[21][22][23]

ดังนั้นในการปรับปรุงสมการการลดทอนของสัญญาณให้มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและการใช้งานโทรศัพท์ในประเทศไทย เพื่อให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในพื้นที่สาธารณะ จึงได้นำสมการการลดทอนของสัญญาณใน Free space ดังแสดงในสมการที่ 3.1 ซึ่งพิจารณาในกรณีที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง กับเคิร์ฟของ Okumura และสมการการลดทอนของสัญญาณของ Hata ดังแสดงในรูปที่ 2.33 รูปที่ 2.34 และสมการที่ 3.2 ซึ่งเป็นเคิร์ฟและสมการที่ใช้ทดลองในประเทศไทย โดยนำค่าความสูงของสายอากาศมาทำการพิจารณาด้วย มาใช้เป็นสมการพื้นฐานในการปรับปรุงสมการการลดทอนของสัญญาณให้มีความเหมาะสมกับประเทศไทย

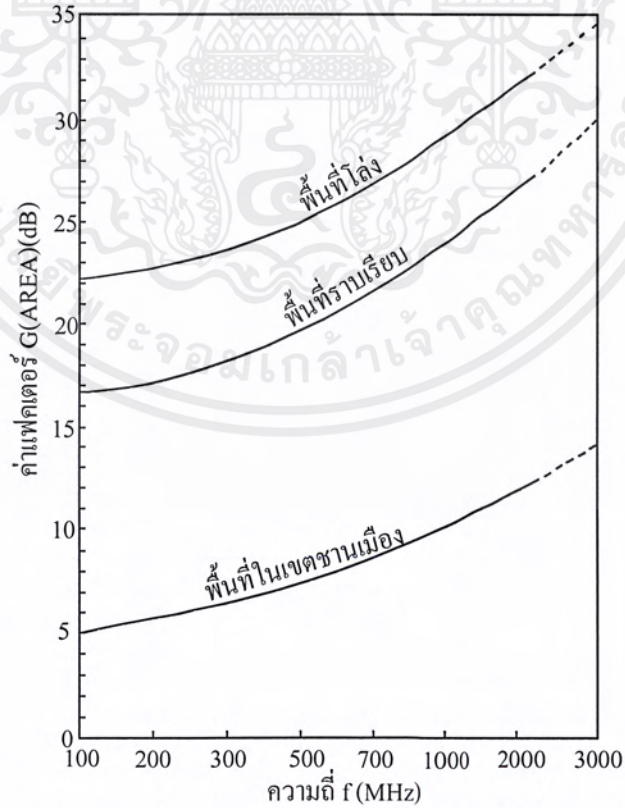
$$L_p(\text{dB}) = 32.44 + 20\log_{10}f_c + 20\log_{10}d \quad (2.66)$$

$$L_p(\text{dB}) = 69.55 + 26.16\log_{10}f_c + (44.9 - 6.55\log_{10}h_b)\log_{10}d - 13.82\log_{10}h_b - a(h_m) \quad (2.67)$$

โดยที่ $a(h_m)$ เป็นพารามิเตอร์สำหรับแก้ไขสายอากาศของโทรศัพท์เคลื่อนที่เทียบกับสภาพพื้นฐานที่เป็นเขตพื้นที่ตัวเมือง



รูปที่ 2.32 ค่าความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ของการลดทอนสัญญาณ $A(f,d)$



รูปที่ 2.33 ค่าแฟกเตอร์ $G(\text{AREA})$ ที่ใช้ในการแก้ไขการลดทอนในพื้นที่ต่างๆ ของพารามิเตอร์ $A(f,d)$

ในเขตเมืองขนาดเล็ก-กลาง

$$a(h_m) = [1.1\log_{10}f_c - 0.7]h_m - [1.56\log_{10}f_c - 0.8] \tag{2.68}$$

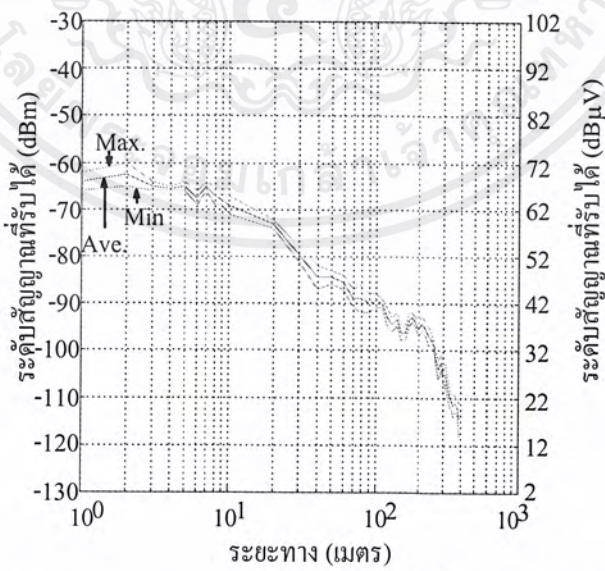
ในเมืองขนาดใหญ่

$$a(h_m) = 8.29[\log_{10}1.5h_m]^2 - 1.1 \quad ; \quad f_c \leq 200 \text{ MHz} \tag{2.69}$$

$$a(h_m) = 3.2[\log_{10}11.75h_m]^2 - 4.97 \quad ; \quad f_c \leq 400 \text{ MHz} \tag{2.70}$$

- โดยที่ L_{pf} เป็นการสูญเสียของสัญญาณใน free space
 L_p เป็นการสูญเสียของสัญญาณในพื้นที่ชานเมืองจากสมการของ Hata
 f_c เป็นความถี่แคเรียร์
 h_b เป็นความสูงของเซลล์เสตชัน
 h_m เป็นความสูงของเครื่องโทรศัพท์
 d เป็นระยะทางที่ห่างจากเซลล์เสตชันมีหน่วยเป็นกิโลเมตร

สำหรับขั้นตอนในการปรับปรุงสมการการลดทอนของสัญญาณนั้น ขั้นแรกจะต้องทำการศึกษาถึงลักษณะของการลดทอนของสัญญาณที่เกิดขึ้นจริงในประเทศไทย[24] โดยทำการวัดค่าการลดทอนของสัญญาณในเขตพื้นที่ชานเมือง บริเวณถนนอ่อนนุช ดังแสดงในรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 แสดงลักษณะการลดทอนของสัญญาณในเขตพื้นที่ชานเมือง บริเวณถนนอ่อนนุช

หลังจากได้ทำการวัดค่าการลดทอนของสัญญาณที่เกิดขึ้นจริงในประเทศไทยแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการนำค่าการลดทอนของสัญญาณที่ได้มาใช้ในการปรับปรุงสมการการลดทอนของสัญญาณ โดยทำการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์บางตัวให้มีความเหมาะสมกับสภาพการลดทอนของสัญญาณในประเทศไทย ซึ่งใช้สมการการลดทอนของสัญญาณใน Free space สมการการลดทอนของสัญญาณของ Hata และเคิร์ฟของ Okumura เป็นสมการพื้นฐานในการปรับปรุง

ในสมการที่ 2.66 ซึ่งเป็นสมการการลดทอนของสัญญาณใน Free space จะประกอบด้วย 3 เทอมคือ เทอมแรกเป็นค่าเริ่มต้นการสูญเสียของสัญญาณใน Free space เท่ากับ 32.44 dB เทอมที่สองเป็นค่าการสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากความถี่ และเทอมที่สามเป็นค่าการสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากระยะทาง

สำหรับสมการที่ 2.67 เป็นสมการการลดทอนของสัญญาณของ Hata จะมีองค์ประกอบคล้ายกับสมการการลดทอนของสัญญาณใน Free space แต่มีการนำค่าความสูงของสายอากาศมาพิจารณาด้วย ดังนั้นในสมการการลดทอนของสัญญาณของ Hata เทอมแรกจะเป็นค่าเริ่มต้นการสูญเสียของสัญญาณสำหรับพื้นที่ในเขตตัวเมือง มีค่าเท่ากับ 69.55 dB เทอมที่สองเป็นค่าการสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากความถี่ในช่วง 150-1500 MHz เทอมที่สามเป็นค่าการสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากระยะทางในช่วง 1-20 กิโลเมตร และเทอมที่สี่จะเป็นพารามิเตอร์สำหรับแก้ไขของสายอากาศเทียบกับสภาพพื้นฐานที่เป็นเขตพื้นที่ตัวเมือง ซึ่งในสมการการลดทอนของสัญญาณของ Hata จะพิจารณาที่ความสูงของสายอากาศที่เซลสเตชันในช่วง 30 – 200 เมตร และความสูงของสายอากาศที่เครื่องโทรศัพท์ เท่ากับ 1.5 เมตร

จากสมการการลดทอนของสัญญาณใน Free space และสมการการลดทอนของสัญญาณของ Hata จะพบว่าองค์ประกอบพื้นฐานของสมการการลดทอนของสัญญาณเพื่อนำค่าความสูงของสายอากาศมาทำการพิจารณาด้วยจะประกอบไปด้วย 4 เทอมด้วยกัน คือ

1. ค่าเริ่มต้นการสูญเสียของสัญญาณ
2. ค่าการสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากความถี่
3. ค่าการสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากระยะทาง
4. ค่าพารามิเตอร์สำหรับแก้ไขของสายอากาศ

และเมื่อทราบถึงองค์ประกอบพื้นฐานของสมการการลดทอนของสัญญาณแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการปรับปรุงองค์ประกอบพื้นฐานในแต่ละเทอมของสมการการลดทอนของสัญญาณ เพื่อให้ได้เป็นสมการการลดทอนของสัญญาณที่มีความเหมาะสมกับลักษณะการลดทอนของสัญญาณ ที่เกิดขึ้นจริงในประเทศไทย ซึ่งจะนำไปใช้ในการออกแบบการวางเซลล์สำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุภาคส่วนบุคคลพีซีที

โดยในเทอมแรกซึ่งเป็นค่าเริ่มต้นของการสูญเสียของสัญญาณ จะใช้ค่าเริ่มต้นของการสูญเสียของสัญญาณที่ 38.4 dB (ประมาณ 93.6 dBμV) ซึ่งเป็นค่าระดับสัญญาณที่ส่งออกจากเซลสเตชัน เมื่อระยะทางเป็น 1 เมตร

เทอมที่สองเป็นค่าการสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากความถี่ ซึ่งในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะทำการติดตั้งเซลล์ขึ้นไว้บริเวณริมถนนทั่วไป จึงอาจถือได้ว่ามีสิ่งกีดขวางไม่มากนัก ดังนั้นในเทอมนี้จึงเลือกใช้ค่าการสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากความถี่จากสมการการลดทอนของสัญญาณใน Free space ซึ่งมีค่าเท่ากับ $20\log_{10}f_c$

เทอมที่สามเป็นค่าการสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากระยะทาง จะใช้ค่าแอมมาสโลป เท่ากับ 30.5 ซึ่งเป็นค่าที่ใช้สำหรับบริเวณชานเมืองในประเทศไทย

และเทอมที่สี่เป็นค่าพารามิเตอร์สำหรับแก้ไขของสายอากาศ ซึ่งสำหรับพื้นที่ในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑลแล้ว จะใช้ค่าพารามิเตอร์สำหรับแก้ไขของสายอากาศในเขตเมืองขนาดเล็ก-กลาง จากสมการการลดทอนของสัญญาณของ Hata

เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เรียบร้อยแล้ว จะทำให้ได้สมการการลดทอนของสัญญาณเป็นดังสมการที่ 2.71

$$L(\text{dB}) = 38.4 + 20\log_{10}f_c + (30.5 - 6.55\log_{10}h_b)\log_{10}d - 13.82\log_{10}h_b - a(h_m) \quad (2.71)$$

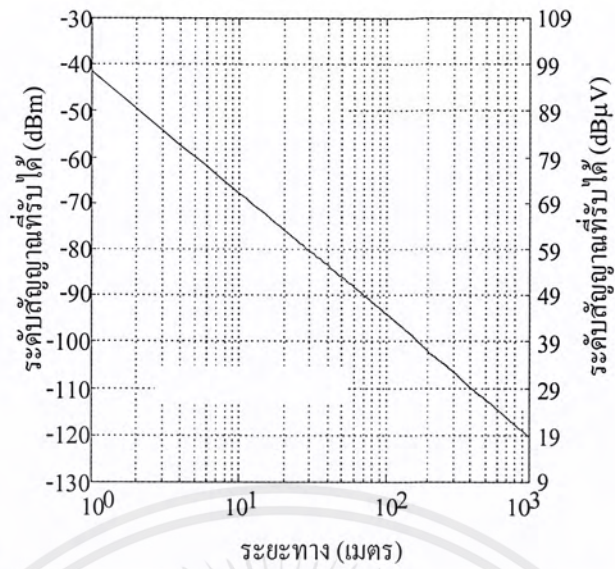
เมื่อ

$$a(h_m) = [1.1\log_{10}f_c - 0.7]h_m - [1.56\log_{10}f_c - 0.8]$$

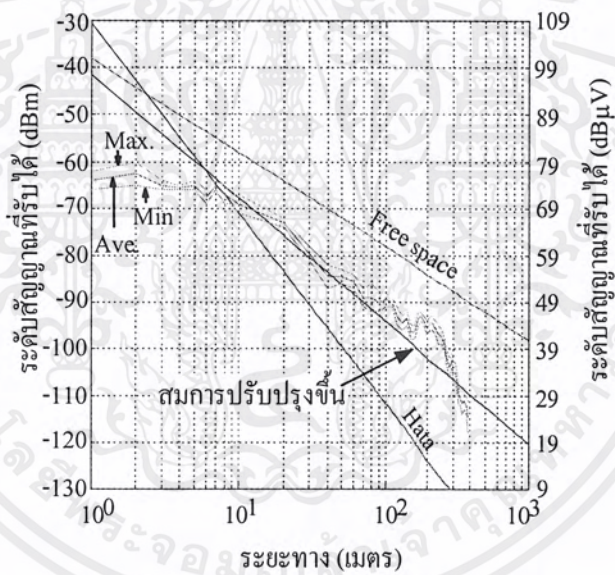
จากสมการการลดทอนของสัญญาณที่ได้ทำการปรับปรุงขึ้น จะได้ผลลัพธ์การลดทอนของสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 2.35 ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าการลดทอนของสัญญาณที่ได้ทำการวัดจากพื้นที่จริงในประเทศไทย และเปรียบเทียบกับสมการการลดทอนของสัญญาณใน Free space และสมการการลดทอนของสัญญาณของ Hata แล้ว ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 2.36

จากรูปที่ 2.36 จะพบว่า สมการการลดทอนของสัญญาณที่ได้ทำการปรับปรุงขึ้น มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้ในพื้นที่จริง ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้ในการออกแบบการวางเซลล์สำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในประเทศไทย

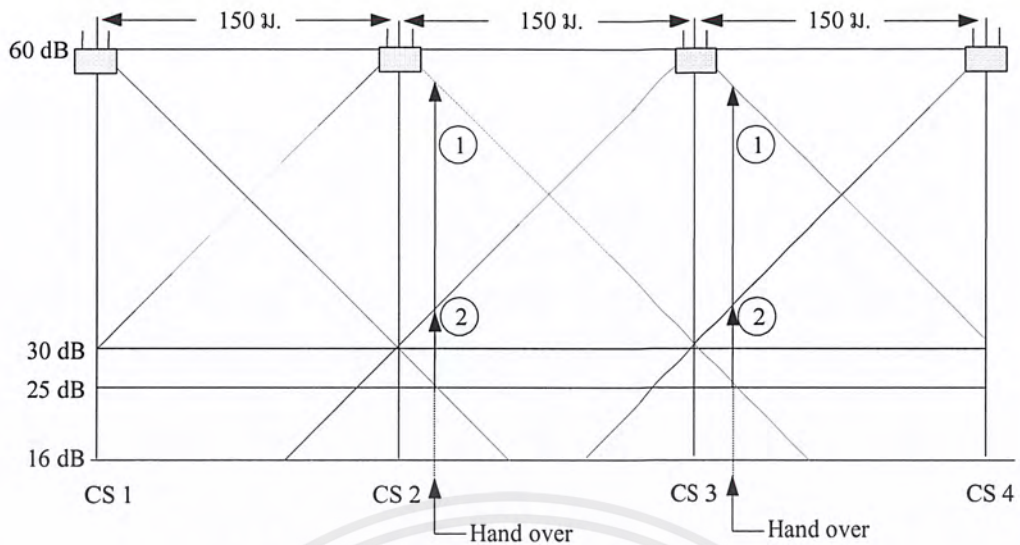
และเมื่อกำหนดให้มีการเผดิงของสัญญาณไม่เกิน 10 dB ตามข้อกำหนดของ Rayleigh fading และแทนค่าการลดทอนของสัญญาณเท่ากับ $30 \text{ dB}\mu\text{V}$ ซึ่งเป็นระดับสัญญาณที่เครื่อง PCT สามารถทำการข้ามเซลล์ได้ (Handover) และแทนค่าความถี่ (f_c) = 1910 MHz ความสูงของเซลล์เสตชัน (h_b) = 4.5 เมตร ความสูงของเครื่อง PS (h_m) = 1.5 เมตร เมื่อแทนค่าในสมการที่ 2.38 จะได้ระยะห่างระหว่างเซลล์เสตชันเท่ากับ 300 เมตร สำหรับเซลล์เสตชัน ขนาด 200 mW และเซลล์เสตชันขนาด 20 mW จะได้ระยะห่างระหว่างเซลล์เสตชันเท่ากับ 150 เมตร สำหรับลักษณะการติดตั้งเซลล์เสตชัน ทั้งขนาด 20 mW และ 200 mW จะแสดงดังรูปที่ 2.37 และรูปที่ 2.38 ตามลำดับ



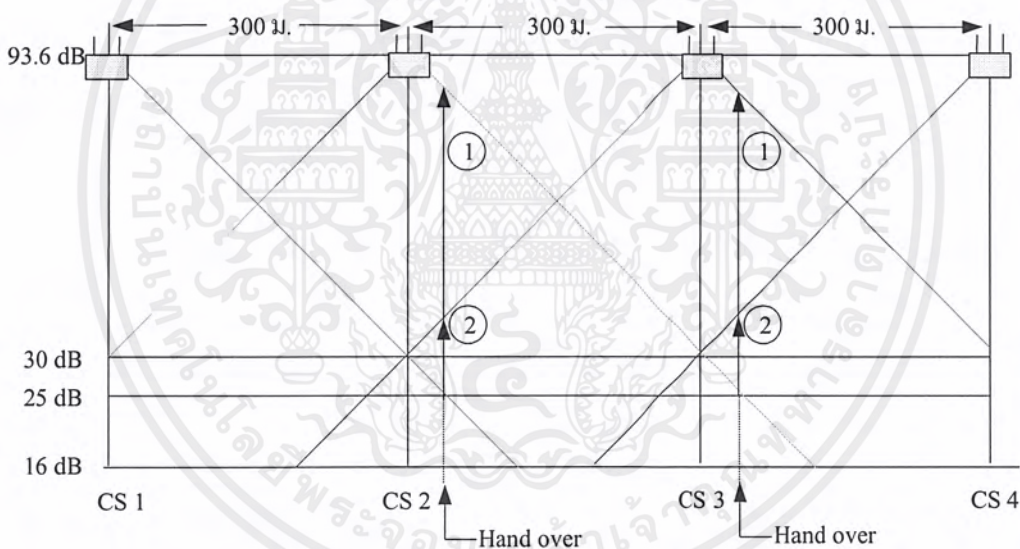
รูปที่ 2.35 แสดงกราฟของค่าการลดทอนของสัญญาณจากสมการการลดทอนของสัญญาณที่ได้ทำการปรับปรุงขึ้น



รูปที่ 2.36 แสดงการเปรียบเทียบกราฟของค่าการลดทอนของสัญญาณระหว่างสมการการลดทอนของสัญญาณใน Free space, สมการของ Hata, สมการที่ได้ทำการปรับปรุงขึ้น กับค่าที่วัดได้จริง



รูปที่ 2.37 แสดงลักษณะการติดตั้งเซลล์เคลื่อนที่ขนาด 20 mW



รูปที่ 2.38 แสดงลักษณะการติดตั้งเซลล์เคลื่อนที่ขนาด 200 mW

2.8.3 การกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบ

ในโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพหุภาคส่วนบุคคลพีซีทีนั้น เซลล์เคลื่อนที่ เป็นอุปกรณ์ที่มีบทบาทอย่างสูงในการบ่งบอกถึงระดับคุณภาพของการบริการ เนื่องจากเซลล์เคลื่อนที่นั้น เป็นเหมือนประตูที่เครื่องลูกข่ายของผู้ใช้บริการจะใช้ในการเข้าสู่ระบบ หากเซลล์เคลื่อนที่เกิดความเสียหายหรือมีการทำงานที่ผิดปกติ นั่นก็หมายถึงในพื้นที่ให้บริการของเซลล์เคลื่อนที่นั้นจะไม่สามารถใช้งานได้ ดังนั้นในการให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุภาคส่วนบุคคลพีซีทีนอกจากจะต้องมีระบบการบริหารและจัดการโครงข่ายสำหรับใช้ดูแลและบำรุงรักษาให้เซลล์เคลื่อนที่มีความสมบูรณ์ในการใช้งานมากที่สุดแล้ว เซลล์เคลื่อนที่และเครื่องลูกข่าย

ที่ใช้ในการให้บริการก็ต้องมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ให้ถูกต้องด้วย จึงได้คุณภาพที่ดีที่สุดในการให้บริการ

โดยเซลล์เตชั่นที่ใช้สำหรับให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีใน พื้นที่สาธารณะในประเทศไทยนั้น จะมีอยู่ 2 ขนาดด้วยกันคือ ขนาด 200 mW และ 20 mW ซึ่งสำหรับเซลล์เตชั่นในแต่ละขนาดนั้นจะมีคุณสมบัติของพารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.5 และในส่วนของคุณสมบัติต่างๆ เครื่องลูกข่ายจะแสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติของเซลล์เตชั่นที่ใช้สำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

พารามิเตอร์	คุณสมบัติ	
	20 mW	200 mW
กำลังในการส่งสัญญาณ	ประมาณ 20 mW (+ 20 – 50%)	ประมาณ 200 mW (+ 20 – 50%)
Adjacent channel power	800 nW หรือน้อยกว่า (600 kHz detuned) 250 nW หรือน้อยกว่า (900 kHz detuned)	
Carrier off – time leakage power	80 nW หรือต่ำกว่า	
Spurious emission	Inband : 250 nW หรือต่ำกว่า Outband : 2.5 μ W หรือต่ำกว่า	
Allowance for occupied bandwidth	288 kHz	
Frequency stability	$\pm 3 \times 10^{-6}$ kHz หรือต่ำกว่า	
Modulation accuracy	12.5 % หรือต่ำกว่า	
Transmission Rate accuracy	$\pm 5 \times 10^{-6}$ kHz หรือต่ำกว่า	
Cabinet radiation	2.5 μ W หรือต่ำกว่า	

ตารางที่ 2.6 แสดงคุณสมบัติของเครื่องลูกข่ายที่ใช้สำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

พารามิเตอร์	คุณสมบัติ
Sensitivity	12 dB μ V หรือต่ำกว่า
Adjacent channel selectivity	50 dB μ V หรือมากกว่า
Intermodulation performance	47 dB μ V หรือมากกว่า
Spurious response immunity	47 dB μ V หรือมากกว่า
Conducted spurious component	4 nW หรือต่ำกว่า
Cabinet radiation	NW หรือต่ำกว่า

2.8.4 การคำนวณขนาดพื้นที่ครอบคลุมเซลล์ของเซลล์เตชันขนาดต่างๆ

สำหรับขนาดของพื้นที่ครอบคลุมเซลล์ของเซลล์เตชันขนาดต่างๆ นั้น จะแตกต่างกันตามขนาดกำลังส่งของเซลล์เตชัน ซึ่งในการให้บริการในพื้นที่สาธารณะของระบบโทรศัพท์พื้นฐาน พกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะมีการใช้เซลล์เตชันอยู่ 2 ขนาดคือ ขนาด 200 mW และ 20 mW โดยที่เซลล์เตชันขนาด 200 mW จะสามารถแพร่กระจายคลื่นได้ไกลประมาณ 300 เมตร มีพื้นที่ครอบคลุมเซลล์ประมาณ 0.2826 ตารางกิโลเมตร และเซลล์เตชันขนาด 20 mW จะสามารถแพร่กระจายคลื่นได้ไกลประมาณ 150 เมตร ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ 0.0314 ตารางกิโลเมตร แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมต่างๆ ด้วย ถ้าในบริเวณนั้นมีอาคาร ต้นไม้ และสิ่งแวดลอมอื่นๆ ที่มีผลทำให้สัญญาณเกิดการเฟดดิ้งก็จะทำให้ระยะการแพร่กระจายคลื่นน้อยลงด้วย

2.8.5 การเลือกขนาดของเซลล์เตชันให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน

การวางเซลล์สำหรับให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในพื้นที่สาธารณะของประเทศไทย จะทำการติดตั้งเซลล์เตชันบริเวณเสาไฟฟ้าที่อยู่ริมถนนทั่วทั้งกรุงเทพฯ และปริมณฑล สำหรับเซลล์เตชันแต่ละขนาดนั้นจะมีการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยในการให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในพื้นที่สาธารณะนั้น จะใช้งานเซลล์เตชันขนาด 200 mW เป็นหลัก ทั้งนี้ก็เพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ให้ได้มากที่สุด ส่วนเซลล์เตชันขนาด 20 mW จะใช้ในพื้นที่ขนาดเล็ก ซึ่งหากใช้เซลล์เตชันขนาด 200 mW ก็จะเป็นการสิ้นเปลือง และอาจจะทำให้เกิดการรบกวนของสัญญาณระหว่างเซลล์ข้างเคียงขึ้นได้ นอกจากนี้ในพื้นที่ที่เป็นจุดอับของสัญญาณก็สามารถนำเซลล์เตชันขนาด 20 mW มาใช้เพื่อแก้ปัญหาพื้นที่ที่เป็นจุดอับของสัญญาณได้

และเนื่องจากในแต่ละพื้นที่ของการให้บริการจะมีลักษณะของพารามิเตอร์บางตัวที่แตกต่างกัน เช่น ปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ที่แตกต่างกัน ความเร็วในการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ เป็นต้น ดังนั้นในการวางเซลล์จึงต้องมีการเลือกขนาดของเซลล์เตชันที่จะนำมาใช้งานในแต่ละพื้นที่ให้มีความเหมาะสม เพื่อให้ได้คุณภาพที่ดีที่สุดในการให้บริการ

สำหรับพื้นที่ในการให้บริการของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 พื้นที่ คือ

1. พื้นที่เขตชานเมือง เป็นเขตพื้นที่ที่มีปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ไม่มากนัก และยานพาหนะมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่สูงมากนัก
2. พื้นที่เขตถนนไฮเวย์ เป็นเขตพื้นที่ที่ยานพาหนะมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง
3. พื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่ง เป็นเขตพื้นที่ในเมืองหรือย่านธุรกิจที่มีปริมาณของการใช้งานโทรศัพท์สูง

สำหรับหลักในการเลือกใช้งานเซลล์เตชันแต่ละขนาดในแต่ละพื้นที่นั้นจะต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของการให้บริการเป็นสำคัญ ซึ่งในการบริการ โทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในพื้นที่สาธารณะนั้น การให้บริการหลักจะเป็นพื้นที่ต่างๆ ที่อยู่ภายนอกอาคาร โดยมุ่งเน้นการให้บริการในพื้นที่ที่อยู่ริมถนนสายต่างๆ ในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล ซึ่งจากลักษณะพื้นที่การให้บริการทั้ง 3 พื้นที่ คือ

พื้นที่เขตชานเมือง พื้นที่เขตถนนไฮเวย์ และพื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่ง การเลือกใช้งานเซลล์สเตชันแต่ละขนาดและลักษณะการติดตั้งให้เหมาะสมกับลักษณะพื้นที่ให้บริการจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

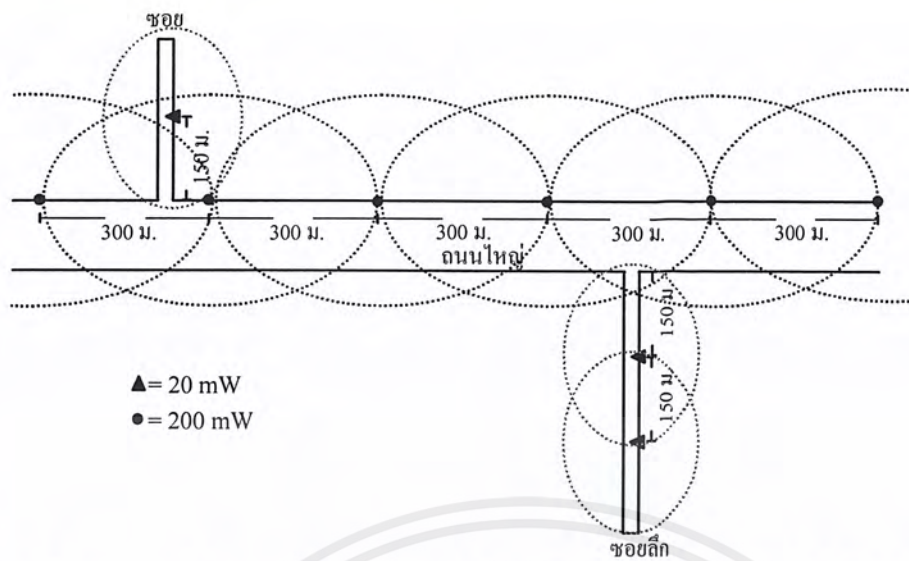
2.8.5.1 การเลือกใช้งานเซลล์สเตชันแต่ละขนาดและลักษณะการติดตั้งให้เหมาะสมกับพื้นที่เขตชานเมือง

ในตารางที่ 2.7 แสดงลักษณะการใช้งานเซลล์สเตชันแต่ละขนาดสำหรับพื้นที่ให้บริการเขตชานเมือง ซึ่งมีการใช้งานเซลล์สเตชันทั้งขนาด 200 mW และ 20 mW โดยในการติดตั้งเซลล์สเตชัน ขนาด 200 mW จะต้องติดตั้งเซลล์สเตชันให้ห่างกันประมาณ 300 เมตร ในบริเวณถนนสายหลักต่างๆ ที่มีขนาดตั้งแต่ 4 ช่องจราจร ขึ้นไป ทั้งนี้เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ของการให้บริการ และในการติดตั้งเซลล์สเตชันจะต้องทำการวางเซลล์สเตชันให้อยู่ฝั่งถนนเดียวกัน หรืออาจจะย้ายฝั่งเป็นช่วงๆ ได้ตามความเหมาะสม เพื่อให้เกิดความต่อเนื่องของพื้นที่ให้บริการ

สำหรับเซลล์สเตชันขนาด 20 mW นั้น จะนำมาใช้เฉพาะในกรณีที่พื้นที่ให้บริการเป็นพื้นที่ขนาดเล็ก หรือเป็นถนนแคบๆ เช่น ถนนที่มีซอยย่อยๆ ซึ่งหากใช้เซลล์สเตชันขนาด 200 mW ใน พื้นที่ดังกล่าว ก็จะเป็นการสิ้นเปลืองโดยไม่จำเป็น และอาจจะทำให้เกิดการรบกวนของสัญญาณระหว่างเซลล์ข้างเคียงขึ้นได้ โดยในการติดตั้งเซลล์สเตชันขนาด 20 mW จะต้องติดตั้งเซลล์สเตชันห่างกันประมาณ 150 เมตร และสำหรับการติดตั้งเซลล์สเตชันในถนนที่มีซอยย่อยๆ นั้น ไม่ควรที่จะติดตั้งเซลล์สเตชันในบริเวณปากซอย เพราะจะซ้อนทับกับเซลล์ในถนนหลัก สำหรับลักษณะการใช้งาน เซลล์สเตชันและลักษณะวางเซลล์ สำหรับให้บริการในพื้นที่เขตชานเมือง แสดงดังรูปที่ 2.39

ตารางที่ 2.7 แสดงการใช้งานและลักษณะการติดตั้งเซลล์สเตชันแต่ละขนาดสำหรับพื้นที่เขตชานเมือง

ลักษณะพื้นที่ให้บริการ	ขนาดเซลล์สเตชัน	ลักษณะการติดตั้ง
เขตชานเมือง	200 mW	ใช้ติดตั้งบริเวณเสาไฟฟ้าที่อยู่ริมถนนสายหลัก โดยติดตั้งเซลล์สเตชันห่างกันประมาณ 300 เมตร
	20 mW	ใช้ติดตั้งบริเวณเสาไฟฟ้าที่อยู่ริมถนนที่เป็นตรอก ซอย โดยติดตั้งเซลล์สเตชันห่างกันประมาณ 150 เมตร



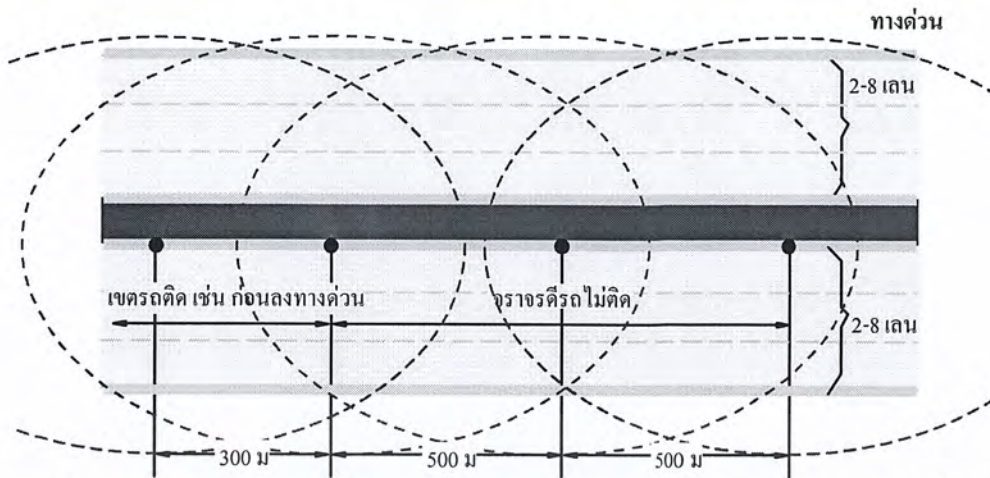
รูปที่ 2.39 แสดงลักษณะการใช้งานเซลล์เคลื่อนที่และลักษณะวางเซลล์สำหรับให้บริการในพื้นที่เขตชานเมือง

2.8.5.2 การเลือกใช้งานเซลล์เคลื่อนที่แต่ละขนาดและลักษณะการติดตั้งให้เหมาะสมกับพื้นที่เขตถนนไฮเวย์

ในการให้บริการโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลที่ติดตั้งในพื้นที่เขตถนนไฮเวย์นั้นจะมีการใช้งานเซลล์เคลื่อนที่ขนาด 200 mW เพียงขนาดเดียวเท่านั้น โดยจะทำการติดตั้งเซลล์เคลื่อนที่ห่างกัน 300 เมตร ในบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น เช่น บริเวณทางขึ้นหรือลงทางด่วน และจะติดตั้ง เซลล์เคลื่อนที่ห่างกัน 500 เมตร ในบริเวณที่มีการจราจรที่ไม่หนาแน่น และสำหรับการติดตั้ง เซลล์เคลื่อนที่จะต้องทำการติดตั้งให้อยู่ในแนวเดียวกันหรืออยู่บนฝั่งถนนเดียวกัน หรืออาจจะย้ายฝั่งเป็นช่วงๆ ได้ตามความเหมาะสม สำหรับลักษณะการใช้งานเซลล์เคลื่อนที่และลักษณะวางเซลล์สำหรับให้บริการในพื้นที่เขตถนนไฮเวย์ แสดงดังรูปที่ 2.40

ตารางที่ 2.8 แสดงการใช้งานและลักษณะการติดตั้งเซลล์เคลื่อนที่แต่ละขนาดสำหรับพื้นที่เขตถนนไฮเวย์

ลักษณะพื้นที่ให้บริการ	ขนาดเซลล์เคลื่อนที่	ลักษณะการติดตั้ง
เขตถนนไฮเวย์	200 mW	ใช้ติดตั้งบริเวณริมถนนไฮเวย์ โดยติดตั้งเซลล์เคลื่อนที่ห่างกันประมาณ 300-500 เมตร
	20 mW	-



รูปที่ 2.40 แสดงลักษณะการใช้งานเซลล์และลักษณะวางเซลล์สำหรับให้บริการในพื้นที่เขตถนนไฮเวย์

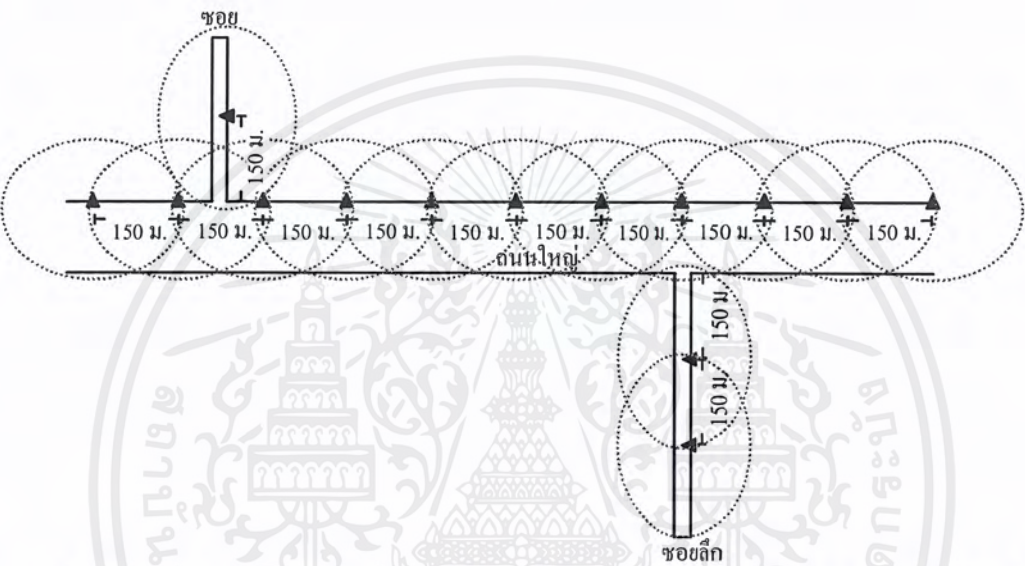
2.8.5.3 การเลือกใช้งานเซลล์แต่ละขนาดและลักษณะการติดตั้งให้เหมาะสมกับพื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่ง หรือย่านธุรกิจ

ในการติดตั้งเซลล์สำหรับให้บริการในพื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่งนั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงมากที่สุดอย่างหนึ่งก็คือ ปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ เนื่องจากในพื้นที่เขตนี้เป็นบริเวณที่นอกจากจะมีการจราจรที่คับคั่งแล้วยังเป็นเขตพื้นที่ที่มีปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ที่สูงกว่าในบริเวณอื่นๆ ด้วยเหตุนี้ในการวางเซลล์สำหรับให้บริการก็จะต้องทำการติดตั้งเซลล์ให้สามารถรองรับปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ที่หนาแน่นในพื้นที่เหล่านี้ได้ ซึ่งใน 1 เซลล์ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะสามารถรองรับการใช้งานได้ 3 คู่สนทนาพร้อมกัน ถ้าหากทำการติดตั้งเซลล์ขนาด 200 mW ในพื้นที่บริเวณนี้ ก็จะไม่สามารถรองรับปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ในพื้นที่ในบริเวณนี้ได้ เพราะการใช้เซลล์ขนาด 200 mW จะทำได้แค่เพียงสามารถครอบคลุม พื้นที่ให้บริการด้วยการใช้เซลล์จำนวนน้อยๆ ทำให้จำนวนช่องสัญญาณสำหรับให้บริการในพื้นที่เหล่านี้ไม่เพียงพอกับความต้องการ ดังนั้นเพื่อให้สามารถรองรับปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ในปริมาณที่สูง จึงต้องทำการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณสำหรับให้บริการในพื้นที่เหล่านี้ให้มากขึ้น

ดังนั้นการใช้งานเซลล์สำหรับให้บริการในพื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่ง ที่มีปริมาณการใช้งานโทรศัพท์สูงๆ ควรจะเลือกใช้งานเซลล์ขนาด 20 mW เพื่อเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณในการให้บริการให้มากขึ้น และในส่วนของการติดตั้งเซลล์ขนาด 20 mW จะทำการติดตั้งเซลล์ห่างกัน 150 เมตร สำหรับลักษณะการใช้งานเซลล์และลักษณะวางเซลล์สำหรับให้บริการในพื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่งแสดงดังรูปที่ 2.41

ตารางที่ 2.9 แสดงการใช้งานและลักษณะการติดตั้งเซลล์เสตชันแต่ละขนาดสำหรับพื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่ง

ลักษณะพื้นที่ให้บริการ	ขนาด เซลล์เสตชัน	ลักษณะการติดตั้ง
เขตที่มีการจราจรคับคั่ง	200 mW	-
	20 mW	ใช้ติดตั้งบริเวณเสาไฟฟ้าที่อยู่ริมถนน โดยติดตั้งเซลล์เสตชันห่างกันประมาณ 150 เมตร



รูปที่ 2.41 แสดงลักษณะการใช้งานเซลล์เสตชันและลักษณะวางเซลล์สำหรับให้บริการในพื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่ง

2.8.6 การพิจารณาผลกระทบจากสภาพแวดล้อมต่อการใช้งานโทรศัพท์

ปัญหาการลดทอนของสัญญาณในเขตพื้นที่ในเมือง หรือชานเมืองนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นปัญหาในเรื่องของพื้นที่ที่เป็นจุดบอดหรือจุดอับของสัญญาณและการสะท้อน ซึ่งเกิดขึ้นจากอาคารบ้านเรือนและต้นไม้ และเมื่อพิจารณาถึงสภาพแวดล้อมของระบบโทรศัพท์ไร้สาย สัญญาณที่มาถึงเครื่องโทรศัพท์ในแต่ละทิศทางจะมีขนาดของแอมพลิจูดและเฟสของสัญญาณที่ต่างกัน นอกจากนี้ในแต่ละทิศทางของสัญญาณที่มาถึงเครื่องโทรศัพท์ยังมีการดีเลย์ของสัญญาณที่แตกต่างกัน การที่จะกำหนดรูปแบบที่แน่นอนของสัญญาณที่รับได้นั้นจึงไม่สามารถทำได้ สำหรับการให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในพื้นที่สาธารณะนั้น สภาพแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อการใช้งานโทรศัพท์จะมีอยู่ด้วยกัน 2 ประการใหญ่ๆ คือ การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากอาคารสิ่งก่อสร้างต่างๆ และการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากใบไม้และต้นไม้ต่างๆ โดยลักษณะการลดทอนของสัญญาณในแต่ละรูปแบบจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

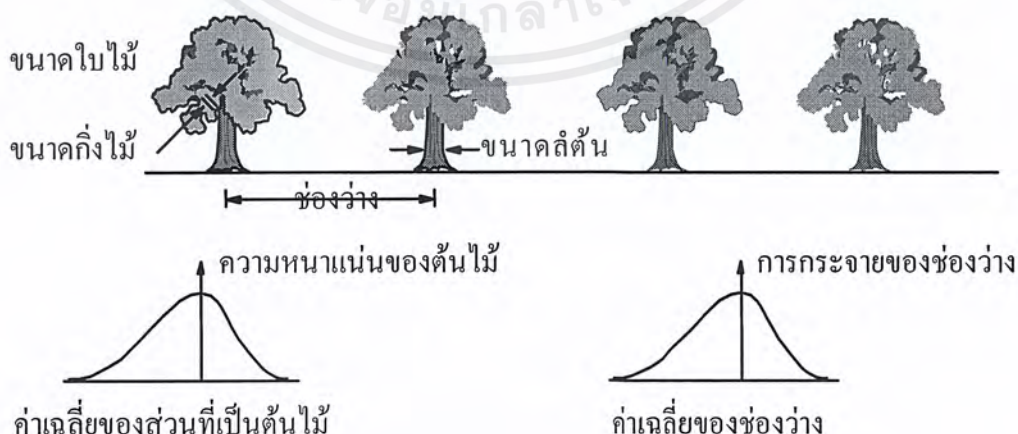
2.8.6.1 การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากอาคารสิ่งก่อสร้างต่างๆ

การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากสภาพแวดล้อมสำหรับพื้นที่ในเมือง ส่วนใหญ่จะเกิดจากการสะท้อนของสัญญาณกับอาคารสิ่งก่อสร้างต่างๆ โดยอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากขนาด ความสูง ทิศทางของอาคาร หรือเส้นทางที่มีลักษณะพิเศษ เป็นต้น ซึ่งจะทำให้เกิดพื้นที่ที่เป็นจุดบอด หรือ จุดอับของสัญญาณ ที่มีค่าระดับสัญญาณที่รับได้ค่อนข้างเบาบางหรือมีการลดทอนของสัญญาณสูง ความแรงของสัญญาณที่มีการสะท้อนจะถูกกำหนดโดยความสูงและความกว้างของอาคารที่มีอยู่โดยรอบเครื่องโทรศัพท์และอาคารที่คลื่นไปตกกระทบหรืออาคารที่คลื่นสะท้อนเดินทางไปถึง นอกจากนี้ยังขึ้นกับลักษณะในการสะท้อนคลื่นของพื้นผิว เช่น ชนิดของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง ขนาด รูปทรง และทิศทางของอาคาร

ในกรณีของพื้นที่ที่เป็นเนิน แพลตฟอร์มที่มีผลกระทบต่อแอมพลิจูดและบีมวิธของพื้นที่ที่มีการสะท้อนของสัญญาณจะประกอบไปด้วย ขนาด รูปทรง ทิศทางของอาคาร และค่าสัมประสิทธิ์ของการสะท้อน ซึ่งในบางพื้นที่อาจจะมีผลกระทบจากใบไม้หรือต้นไม้ต่างๆ หรือการเคลื่อนที่ของยานพาหนะเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

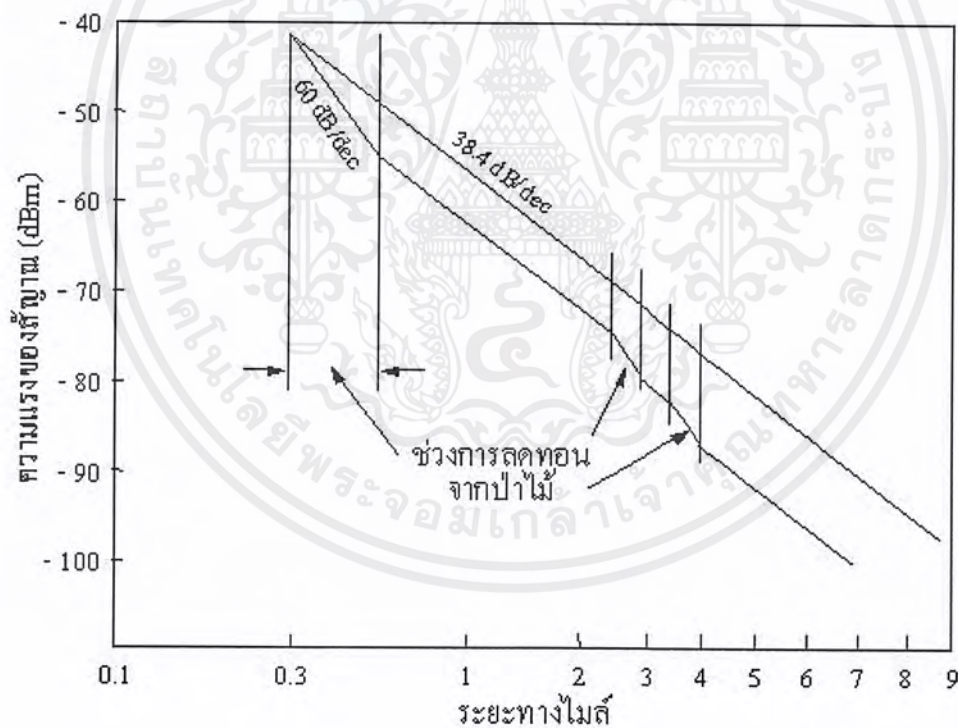
2.8.6.2 การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากใบไม้และต้นไม้

การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากใบไม้เป็นเรื่องที่ซับซ้อนมาก เนื่องจากมีพารามิเตอร์และการเปลี่ยนแปลงมากมาย เช่น ขนาด ความหนาแน่นและการกระจายของใบไม้ กิ่งไม้ และ ลำต้น อีกทั้งความสูงของต้นไม้ที่สัมพันธ์กับความสูงของสายอากาศ ซึ่งพารามิเตอร์ทั้งหมดนี้จะต้องถูกนำมาพิจารณา การแสดงถึงปัญหานี้จะแสดงดังรูปที่ 2.42 การลดทอนของสัญญาณนี้จะมีอยู่ 3 ระดับ คือ ลำต้น กิ่งและใบ โดยในแต่ละระดับจะนำเรื่องของขนาดของลำต้น กิ่ง ใบ ความหนาแน่น และช่องว่างระหว่างลำต้น กิ่งและใบ ระยะห่างระหว่างต้นไม้ที่อยู่ใกล้เคียงกัน ความหนาแน่นและความหนาของใบไม้มาพิจารณาดู ซึ่งเป็นเรื่องที่ซับซ้อนอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตามสำหรับการออกแบบการวางเซลล์ การคาดคะเนระดับสัญญาณที่จะรับได้เนื่องจากการสูญเสียจากใบไม้นี้ ไม่จำเป็นที่จะต้องได้ค่าที่เที่ยงตรงและแน่นอนเสมอไป



รูปที่ 2.42 คุณลักษณะของสภาพแวดล้อมของต้นไม้

ในการคาดการณ์ถึงค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากใบไม้ที่เปลี่ยนแปลงนี้ การคาดคะเนแบบคร่าวๆ ก็เพียงพอสำหรับที่จะใช้ในการออกแบบการวางเซลล์ โดยในการคาดคะเนการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากใบไม้และต้นไม้ นั้น เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศในเขตร้อน ขนาดของใบไม้จะใหญ่และหนามาก ทำให้สัญญาณทะลุทะลวงผ่านไปได้ยากมาก และสัญญาณจะแพร่กระจายจากยอดไม้และหักเหสู่เครื่องรับ ซึ่งสำหรับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากใบไม้และต้นไม้ สามารถคิดแบบไวน์ไลน์ลอส (Wire line loss) มีหน่วยเป็นเดซิเบลต่อฟุต หรือเดซิเบลต่อเมตร สำหรับระบบโทรศัพท์พื้นฐาน พกพาส่วนบุคคลพีซีที ซึ่งมีรัศมีการแพร่กระจายคลื่นที่สั้นประมาณ 300 – 400 เมตร จึงสามารถพิจารณาได้ว่า ใบไม้หนาแน่นและมีรูปแบบที่แน่นอน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากใบไม้และต้นไม้จะเกิดขึ้นเทียบได้กับความถี่กำลังสี่ (f^{-4}) ซึ่งจะเห็นได้ว่า การที่มีใบไม้อยู่ใกล้กับเครื่องส่งจะทำให้ค่าระดับสัญญาณที่รับได้มีค่าต่ำมาก ดังนั้นการติดตั้งเซลล์เคลื่อนที่ควรจะอยู่ห่างจากบริเวณที่มีต้นไม้ และถ้าหากในบางพื้นที่ที่จะทำการติดตั้งเซลล์เคลื่อนที่อยู่ใกล้บริเวณที่มีต้นไม้หนาแน่น ก็จะต้องมีการคำนวณหาค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากใบไม้และต้นไม้ในบริเวณนั้น เพื่อนำมาใช้ในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการติดตั้งเซลล์เคลื่อนที่ให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่บริเวณนั้นๆ ต่อไป



รูปที่ 2.43 การสูญเสียเนื่องจากใบไม้ในเขตชนเมือง

2.9 ความรู้เบื้องต้นของพอร์ตนาน

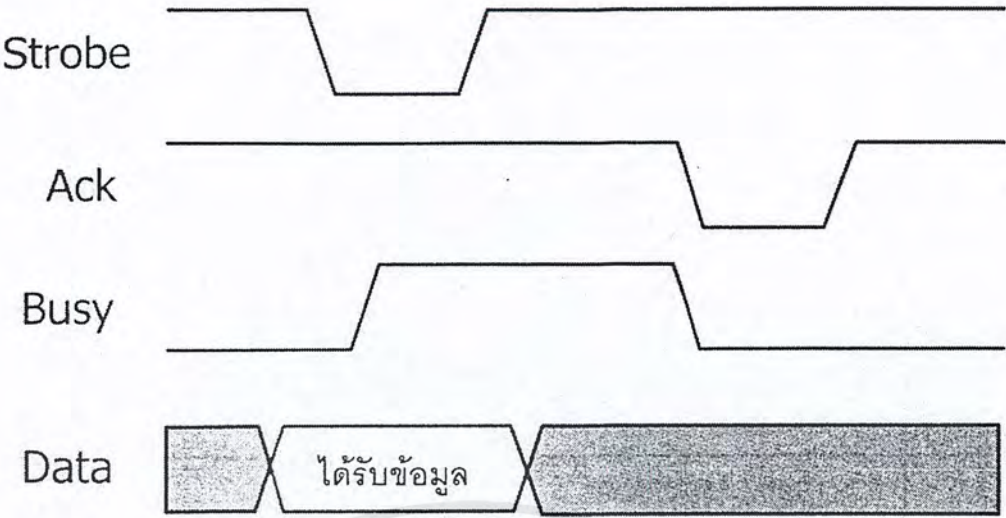
พอร์ตนาน (Parallel port) สาเหตุที่มีชื่อนี้ เนื่องจากการถ่ายทอดข้อมูลของพอร์ตนี้นี้เป็นแบบขนาน สำหรับชื่อเรียกอีกชื่อของพอร์ตนานคือ พอร์ตเครื่องพิมพ์ (Printer port) เนื่องจากพอร์ตนี้นี้ใช้สำหรับต่อเครื่องพิมพ์นั่นเอง

ด้วยการถ่ายทอดข้อมูลแบบขนานนี้เอง ทำให้พอร์ตนานมีอัตราการถ่ายทอดข้อมูลสูงกว่าการถ่ายทอดข้อมูลแบบอนุกรมประมาณ 8-10 เท่า และการประมวลผลข้อมูลส่วนใหญ่จะมีขนาด 8 บิต ดังนั้นพอร์ตนานจึงสามารถรองรับการถ่ายทอดข้อมูล 8 บิต ได้โดยไม่ต้องต่อส่วนเพิ่มเติมใดๆ

ลักษณะทางกายภาพของพอร์ตนาน

เพื่อให้เข้าใจถึงการนำเอาพอร์ตนานไปใช้งาน ก่อนอื่นต้องมาทำความเข้าใจก่อนว่า ปกตินั้น การส่งพิมพ์งานจากคอมพิวเตอร์ไปยังพอร์ตนานนั้นมีรูปแบบการทำงานภายในอย่างไร ในรูปที่ 2.44 แสดงไคอะแกรมเวลาของติดต่อระหว่างพอร์ตนานกับเครื่องพิมพ์ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีสัญญาณที่ใช้งานจริง ๆ มีไม่มาก เริ่มจากสัญญาณพอร์ต Data ถูกส่งออกไปยังเครื่องพิมพ์ พร้อมทั้งส่งสัญญาณ Strobeออกไปด้วย เพื่อให้เครื่องพิมพ์รับรู้ว่าการส่งข้อมูลใหม่มาที่ขา Data แล้ว จากนั้นคอมพิวเตอร์จะต้องรอการตอบกลับจากเครื่องพิมพ์ นั่น คือเครื่องพิมพ์จะสร้างสัญญาณ Busy หรือ เพื่อบอกว่าเครื่องพิมพ์ยังไม่พร้อมที่จะรับข้อมูลใหม่ จนกระทั่งเมื่อเครื่องพิมพ์พร้อม เครื่องพิมพ์จะสร้างสัญญาณ ACK ส่งไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแจ้งว่า พร้อมที่จะรับข้อมูลใหม่แล้ว

สัญญาณข้อมูลขนาด 8 บิต, สัญญาณ Strobe และสัญญาณ ACK(acknowledge) เป็นสัญญาณที่สำคัญในการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังเครื่องพิมพ์ นอกจากสัญญาณทั้งสามแล้วส่วนใหญ่การติดต่อกับเครื่องพิมพ์ยังต้องมีสัญญาณอื่น ๆ ร่วมด้วย เนื่องจากเครื่องพิมพ์ต้องทำหน้าที่ถึง 3 อย่างด้วยกันคือ รับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ , พิมพ์ข้อมูลที่รับเข้ามา และตอบสนองต่อการใช้งานของผู้ใช้ เช่น การเปลี่ยนฟอนต์ เป็นต้น บางครั้งอาจเกิดเหตุการณ์ที่ไม่ปกติ เช่น บัฟเฟอร์ สำหรับรับข้อมูลเต็ม (เนื่องจากเครื่องพิมพ์เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานทางกลย่อมทำงานได้ช้ากว่าการส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์) เครื่องพิมพ์จะต้องแจ้งไปยังคอมพิวเตอร์ว่าให้หยุดส่งข้อมูลชั่วคราว เนื่องจากไม่สามารถรับข้อมูลมากกว่านี้ได้แล้ว สัญญาณที่ส่งจากเครื่องพิมพ์ไปยังคอมพิวเตอร์คือ สัญญาณ Busy และเมื่อเครื่องพิมพ์เกิดข้อผิดพลาด เช่น กระดาษติด เครื่องพิมพ์จะต้องแจ้งไปยังคอมพิวเตอร์เช่นกัน โดยสัญญาณที่แจ้งไปยังคอมพิวเตอร์เรียกว่าสัญญาณ Error นอกจากนี้เมื่อคอมพิวเตอร์ต้องการรีเซ็ตเครื่องพิมพ์ คอมพิวเตอร์จะต้องส่งสัญญาณ Reset ไปยังเครื่องพิมพ์เพื่อรีเซ็ตเครื่องพิมพ์ด้วย สามารถสรุปหาสัญญาณที่จำเป็นสำหรับการติดต่อดังในตารางที่ 3.0



รูปที่ 2.44 แสดงไคอะแกรมเวลาของการส่งข้อมูล ไปยังเครื่องพิมพ์

ตารางที่ 3.0 สัญญาณสำคัญของพอร์ตขนานที่ใช้ติดต่อกับเครื่องพิมพ์

สัญญาณ	หน้าที่การทำงาน	ทิศทาง
ข้อมูล 8 บิต	ข้อมูลที่ส่งจากคอมพิวเตอร์ไปยังเครื่องพิมพ์	คอมพิวเตอร์
Strobe	แจ้งเครื่องพิมพ์ถึงข้อมูลที่ส่งมาใหม่	คอมพิวเตอร์
Acknowledge	เครื่องพิมพ์แจ้งมายังคอมพิวเตอร์ว่าได้รับข้อมูลแล้ว	เครื่องพิมพ์
Busy	แจ้งสถานะว่าเครื่องพิมพ์ไม่ว่างที่จะรับข้อมูลใหม่	เครื่องพิมพ์
Error	แจ้งสถานะว่าเครื่องพิมพ์เกิดข้อผิดพลาด	เครื่องพิมพ์
Reset	รีเซ็ตเครื่องพิมพ์	คอมพิวเตอร์

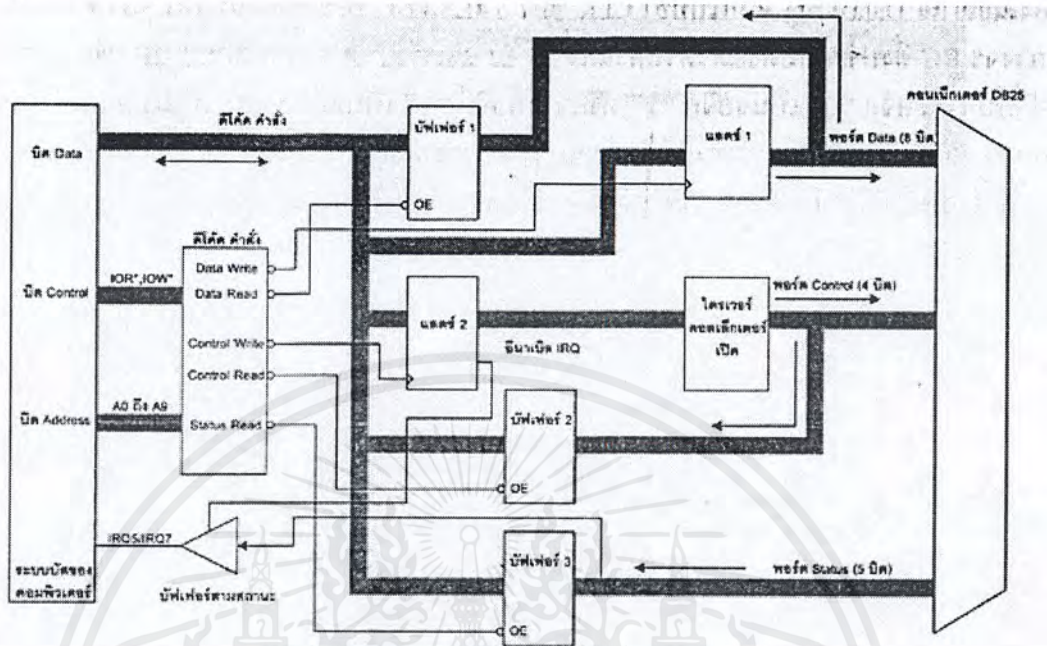
จากตารางที่ 3.0 จะเห็นได้ว่าพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์ยังแยกย่อยออกเป็นอีก 3 พอร์ต ได้แก่ พอร์ตเอาต์พุตที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังเครื่องพิมพ์ พอร์ตเอาต์พุตสำหรับสัญญาณ Strobe และ Reset พอร์ตอินพุตสำหรับการอ่านค่าสัญญาณ Acknowledge, Busy และสัญญาณ Error จากเครื่องพิมพ์

โดยปกติพอร์ตขนานออกแบบมาให้มีสายสัญญาณอยู่ทั้งหมด 17 เส้น สายสัญญาณเหล่านั้นจะมีรีจิสเตอร์ 3 ตัวควบคุมการทำงาน ดังนี้

1. พอร์ตเอาต์พุตสำหรับสัญญาณข้อมูล 8 เส้น มีรีจิสเตอร์ Data ควบคุม
2. พอร์ตอินพุตสำหรับการอ่านค่าสถานะต่าง ๆ จากภายนอกมีอยู่ด้วยกัน 5 เส้น ใช้รีจิสเตอร์ Status ในการควบคุม
3. พอร์ตเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณควบคุมไปยังอุปกรณ์ภายนอก มีอยู่ด้วยกัน 4 เส้น ใช้รีจิสเตอร์ Control ในการควบคุม

บล็อกไคอะแกรมในรูปที่ 2.45 แสดงระบบบัสของคอมพิวเตอร์สำหรับการติดต่อกับพอร์ตขนาน สัญญาณเอาต์พุตจากพอร์ตขนานจะถูส่งไปยังคอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 สำหรับคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่

ในปัจจุบันพอร์ตนานจะมีมาพร้อมกับเมนบอร์ด ไม่จำเป็นต้องใช้การ์ดเสียบเพิ่มเติมเหมือนในอดีต พร้อมทั้งมีฟังก์ชันการทำงานที่ซับซ้อนขึ้น แต่ยังคงสนับสนุนการทำงานของพอร์ตนานในรูปแบบมาตรฐาน (SPP)อยู่



รูปที่ 2.45 แสดงระบบบัสภายในของพอร์ตนาน

เมื่อดูจากรูปที่ 2.44 เทียบการทำงานโดยทั่วไปกับการเชื่อมต่อผ่านการ์ดที่เสียบลงในสล็อตของคอมพิวเตอร์แล้ว พอร์ตนานจะมีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยการติดต่อกับพอร์ตนานจะต้องมีการอ้างแอสสำหรับเป็นตัวเลือกว่าต้องการอ่านหรือเขียนรีจิสเตอร์ตัวใด จากการ์ดคิโด้แอดเดรส A0-A9 นี้เองทำให้ได้สัญญาณออกมาเพื่อไปควบคุมหรืออินาเบลวงจรบัฟเฟอร์ต่างๆ ดังนี้

Data Write สัญญาณอินาเบลสำหรับนำข้อมูลที่อยู่ในบัส Data ไปออกที่ขา Data ของพอร์ตนาน

DataRead สัญญาณอินาเบลสำหรับอ่านข้อมูลจากขา Data ของพอร์ตนานมาเก็บไว้ในบัส Data

Control Write สัญญาณอินาเบลสำหรับนำข้อมูลที่อยู่ในบัส Data ไปออกที่ขา Control ของพอร์ตนาน สำหรับพอร์ตนานนอกจากจะส่งข้อมูลออกไปยังพอร์ตนานแล้ว ยังทำหน้าที่อินาเบลการอินเตอร์รัปต์ของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่พอร์ต Status อีกด้วย

ControlRead สัญญาณอินาเบลสำหรับอ่านข้อมูลจากขา Control มาเก็บไว้ในบัส Data

Status Read สัญญาณอินาเบลสำหรับอ่านข้อมูลจากพอร์ต Status มาเก็บไว้ในบัส Data ตารางที่ 3.1 แสดงชื่อและหน้าที่การทำงานของตำแหน่งขาต่างๆ บนพอร์ตนาน ส่วนในตารางที่ 3.2 แสดงแอดเดรสของพอร์ตนาน ซึ่งกำหนดไว้ 3 ตำแหน่งคือ LPT1, LPT2 และ LPT 3

พอร์ตดาต้า (Data Port)

จากรูปที่ 2.46 แสดงให้เห็นว่าพอร์ต Data ประกอบไปด้วย บัฟเฟอร์ 1 ตัวและไอซีแลตช์อีก 1 ตัว เมื่อคอมพิวเตอร์ต้องการส่งข้อมูลไปยังเครื่องพิมพ์ คอมพิวเตอร์จะเขียนข้อมูลไปยังไอซีแลตช์ 1 ทั้ง 8 บิต เอาต์พุตของไอซีแลตช์ 1 คือ D0-D7 ซึ่งเอาต์พุตนี้จะไปปรากฏอยู่ที่พอร์ตขนานในตำแหน่งขา 2 ถึงขา 9 และที่ขาเอาต์พุตนี้สัญญาณ Data จะส่งกลับไปเป็นอินพุตของบัฟเฟอร์ 1 ด้วย ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถอ่านค่าสถานะปัจจุบันที่เกิดขึ้นกับพอร์ต Data ได้

เมื่อคอมพิวเตอร์ส่งข้อมูล ข้อมูลจะถูกส่งมาจากบัสข้อมูลของคอมพิวเตอร์ผ่านไปยังไอซี 74LS374 ซึ่งเป็นไอซีแลตช์ข้อมูล และเมื่อต้องการให้ข้อมูลปรากฏที่เอาต์พุต คอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณ Data Write ออกไปที่ขา CLK ของ 74LS374 เอาต์พุตจาก 74LS374 จะถูกกรองด้วยวงจร RC ซึ่งประกอบด้วยตัวต้านทานค่า $27\ \Omega$ และตัวเก็บประจุ $0.0022\ \mu\text{F}$ เพื่อให้ช่วงเวลาที่เปลี่ยนจากลอจิก “0” เป็นลอจิก “1” หรือจากลอจิก “1” เป็นลอจิก “0” เป็นไปอย่างช้า ๆ เนื่องจากการเปลี่ยนแรงดันที่รวดเร็วทำให้เกิดสัญญาณรบกวนเหนี่ยวนำข้ามไปยังข้อมูลบิตอื่น ๆ ได้ ทำให้ข้อมูลที่ส่งออกไปมีข้อผิดพลาด จากค่าตัวต้านทานและตัวเก็บประจุในวงจรทำให้เกิดการหน่วงเวลาไปประมาณ 60 นาโนวินาที จากวงจรในรูปที่ 2.46 ทำให้เอาต์พุตของพอร์ต Data มีคุณสมบัติดังนี้

- กระแสซิงค์สูงสุด 24 mA
- กระแสซอร์สสูงสุด 2.6 mA
- ระดับแรงดันของลอจิก “1” ต่ำสุดเท่ากับ 2.4 V
- ระดับแรงดันสูงสุดสำหรับลอจิก “0” เท่ากับ 0.5 V

สำหรับบัฟเฟอร์สำหรับการอ่านข้อมูลกลับได้แก่เบอร์ 74LS244 ซึ่งเมื่อต้องการอ่านค่าคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณ DataRead ออกมาเพื่ออีนาเบิลไอซี 74LS244 สำหรับพอร์ตขนานแบบมาตรฐาน (Standard Parallel Port :SPP) พอร์ต Data จะต้องใช้เพื่อการส่งค่าออกเอาต์พุตเท่านั้น แต่สำหรับพอร์ตขนานที่มีการสื่อสารสองทิศทาง (Bidirectional Parallel Port) สามารถอ่านค่าจากพอร์ต Data ได้ด้วย แต่ก่อนที่จะอ่านค่าต้องจำไว้เสมอว่าจะต้องป้อนค่าเอาต์พุตให้มีค่าลอจิก “1” ทั้งหมดก่อน

ตารางที่ 3.1 แสดงสัญญาณทั้งหมดที่อยู่บนพอร์ตขนาน

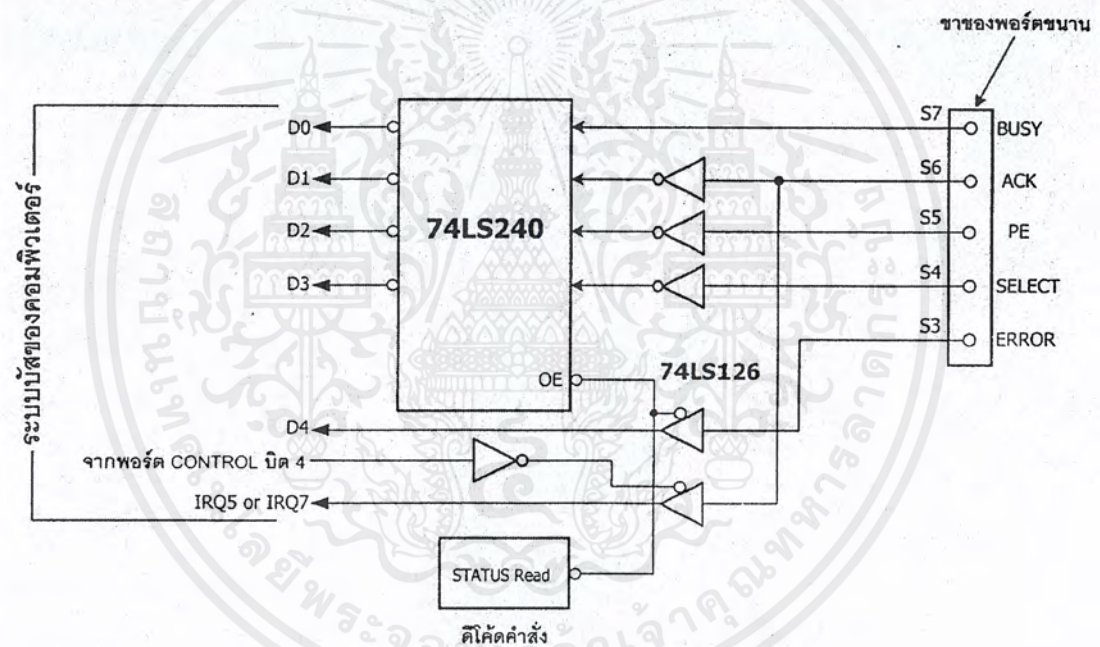
DB-25	รีจิสเตอร์	ทิศทาง	ตำแหน่งบิต	ชื่อขาสัญญาณ	หน้าที่การทำงาน
1	Control	Out	$\overline{\text{CD}}$	$\overline{\text{STROBE}}$	แอกทีฟ “0” ส่งค่าออกไปเพื่อบอกว่าที่ขาด้านนี้มีข้อมูลแล้ว
2-9	Data	Out	D1-D8	DATA1-DATA8	สำหรับพอร์ตขนานมาตรฐานเดิม ขานี้ทำหน้าที่เป็นขาส่งข้อมูลเอาต์พุตเท่านั้นสำหรับในปัจจุบันขานี้รับข้อมูลอินพุตได้ด้วย
10	Status	In	S6	nACK	เป็นพัลส์ลอจิก “0” ที่ส่งมาจากเครื่องพิมพ์เพื่อบอกว่าได้รับข้อมูลที่ส่งไปแล้ว

การนำพอร์ตนานไปใช้งาน

สำหรับพอร์ตนานแบบมาตรฐาน ผู้ใช้งานสามารถนำพอร์ตอินพุต 5 บิต (พอร์ต Status) พอร์ตเอาต์พุต 4 บิต (พอร์ต Control) และพอร์ตเอาต์พุตอีก 8 บิต (พอร์ต Data) ไปใช้งานได้โดยตรง โดยที่ 4 บิตของพอร์ตเอาต์พุตหรือพอร์ต Control นั้นสามารถดัดแปลงให้ใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตขนาด 4 บิตได้ด้วย ดังนั้นผู้ใช้งานสามารถนำสัญญาณจากพอร์ตนานที่มีมากถึง 17 เส้นไปใช้งานในการควบคุม โดยใช้ระดับสัญญาณ TTL

การเขียนโปรแกรมติดต่อกับพอร์ตนาน

พอร์ตนานของคอมพิวเตอร์จะมีลักษณะเช่นเดียวกับอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตตัวอื่น ๆ คือ เมื่อต้องการติดต่อจะต้องกำหนดแอดเดรสที่ต้องการติดต่อด้วย ตารางที่ 3.2 แสดงแอดเดรสของพอร์ตนาน โดยแบ่งออกเป็น 3 ตำแหน่ง คือ แอดเดรสของรีจิสเตอร์ Data, รีจิสเตอร์ Status และรีจิสเตอร์ Control โดยแอดเดรสนี้จะมีอยู่ทั้งหมด 3 ชุด สำหรับพอร์ตนาน 3 ชุดคือ LPT1, LPT2 และ LPT3



รูปที่ 2.48 แสดงวงจรภายในของพอร์ต Control

ตารางที่ 3.2 แสดงแอดเดรสของพอร์ตนาน

ชื่อพอร์ต	LP1:		LP2:		LP3:	
	ฐานสิบ	ฐานสิบหก	ฐานสิบ	ฐานสิบหก	ฐานสิบ	ฐานสิบหก
DATA	888	378H	956	3BCH	632	278H
STATUS	889	379H	957	3BDH	633	279H
CONTROL	890	37AH	958	3BEH	634	27AH

เมื่อต้องการติดต่อกับพอร์ตขนานในตำแหน่งใด ก็ให้ส่งค่าข้อมูลออกไปที่พอร์ตขนานในตำแหน่งนั้น ๆ ยกตัวอย่างการเขียนโปรแกรมด้วย QBASIC เพื่อส่งค่าลอจิก “1” ออกไปทุกบิตของพอร์ต Data ของ LPT 1 จะต้องเขียนโปรแกรมดังนี้

OUT &H378, &HFF

โดยที่

เครื่องหมาย &H ที่แสดงนั้นหมายถึงตัวเลขฐานสิบหก

คำสั่ง OUT เป็นการส่งค่าข้อมูลออกเอาต์พุตของพอร์ตอินพุตเอาต์พุต

ค่า 378 เป็นแอดเดรสของรีจิสเตอร์ Data สำหรับ LPT1

ค่าข้อมูล FF เป็นข้อมูลเลขฐานสิบหกซึ่งหมายถึงการให้บิตทุกบิตของรีจิสเตอร์ Data มีลอจิกเป็น “1” นั่นเอง

ส่วนการอ่านค่าจากพอร์ตขนานมายังคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต Status ของ LPT1 สามารถเขียนโปรแกรมด้วย QBASIC ได้ดังนี้

Temp = INP (&H379)

โดยที่

คำสั่ง INP () เป็นคำสั่งสำหรับการอ่านค่าข้อมูล

ค่า 379 เป็นตำแหน่งแอดเดรสของรีจิสเตอร์ STATUS สำหรับ LPT1 ในตัวเลขฐานสิบหก

ตัวแปร Temp เป็นตัวแปรที่ใช้เก็บข้อมูลที่อ่านได้จากพอร์ตขนาน

สำหรับโปรแกรมอื่น ๆ เช่น แอสเซมบลี, เทอร์โบปาสคาล หรือเทอร์โบซี จะมีรูปแบบการเขียนโปรแกรมที่แตกต่างกันบ้างดังนี้

แอสเซมบลี

การส่งค่าข้อมูลออกไปยังพอร์ตขนาน

mov dx,378 h

mov al, ffh

out dx,al

การอ่านข้อมูลจากพอร์ตขนาน

mov dx, 379h

in al, dx

การเขียนโปรแกรมติดต่อกับพอร์ตขนานด้วย Visual BASIC

การเขียนโปรแกรมด้วย Visual BASIC ชุดคำสั่งส่วนใหญ่จะมีรูปแบบใกล้เคียงกับ QBASIC แต่ Visual BASIC จะไม่มีคำสั่งสำหรับการติดต่อกับพอร์ตโดยตรงคือ คำสั่ง Inp () และคำสั่ง Out เหมือนกับ QBASIC ดังนั้นเพื่อให้สามารถติดต่อกับพอร์ตขนานได้จึงจำเป็นต้องเพิ่มโปรแกรมบางตัวเข้าไป โดยโปรแกรมที่เพิ่มเข้าไปนี้จะอยู่ในรูปของ DLL (Dynamic Linked Library)

ไฟล์ DLL นี้จะมีอยู่ 2 ไฟล์คือ inpout.dll และ inpout32.dll โดย inpout.dll นั้นใช้สำหรับระบบปฏิบัติการ 16 บิตหรือวินโดวส์ 3.1 นั้นเอง ส่วน inpout 32.dll จะใช้สำหรับระบบปฏิบัติการที่เป็น 32 บิตซึ่งก็คือวินโดวส์ 95 หรือวินโดวส์ 98

สำหรับตำแหน่งที่ใช้เก็บไฟล์ inpout.dll หรือ inpout32.dll นั้นจะต้องเก็บไว้ที่ไดเรกทอรี SYSTEM ซึ่งอยู่ภายในไดเรกทอรีที่เก็บโปรแกรมวินโดวส์ โดยส่วนใหญ่จะมีชื่อเป็น Windows

การกำหนดค่าในโปรแกรมเพื่อเรียกใช้งานไฟล์ DLL มีรูปแบบการกำหนดค่าดังนี้
สำหรับระบบปฏิบัติการ 16 บิต

```
Declare Function Inp% Lib "Inpout.dall" Alias "Inp16" (ByVal PortAddress%)
```

```
Declare Sub Out Lib "Inpout.Dll" Alias "Out 16" (Byval PortAddress%, ByVal ByteToWrite%)
```

สำหรับระบบปฏิบัติการ 32 บิต

```
Public Declare Function Inp Lib "inpout32.dll" _
```

```
Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Integer) As Integer
```

```
Public Declare Sub Out Lib "inpout32.dll" _
```

```
Alias "out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal Value As Integer)
```

ในกรณีที่มีการใช้งานโปรแกรมทั้ง 2 ระบบปฏิบัติการ สามารถเพิ่มเติมคำสั่ง IF เข้าไปเพื่อตรวจสอบระบบปฏิบัติการก่อนที่จะเลือกใช้งาน DLL ตัวที่ต้องการ โดยสามารถเขียนโปรแกรมได้ดังนี้

```
#If Win32 Then
```

```
'Declare Inp and Out for port I/O
```

```
Public Declare Function Inp Lib "inpout32.dll"
```

```
Alias "out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal Value As Integer)
```

```
#Else
```

```
Declare Function Inp Lib "Inpout.DLL" (ByVal Port%) As Integer
```

```
Declare Sub Out Lib "Inpout.DLL" (ByVal Port%,ByVal Value%)
```

```
#End If
```

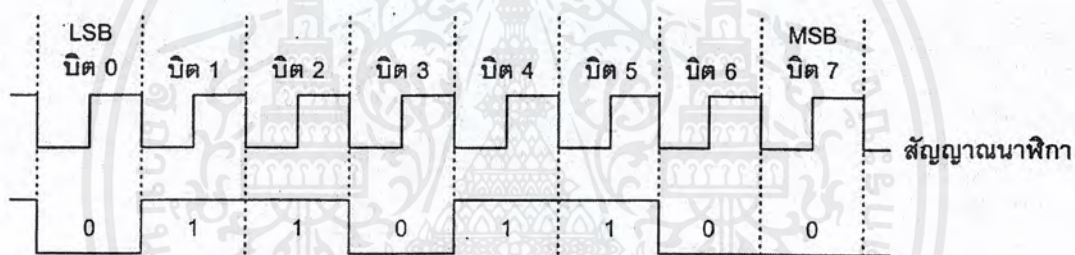
แต่การกำหนดในสองรูปแบบหลังนี้จะสามารถใช้งานได้กับ Visual BASIC ตั้งแต่เวอร์ชัน 4 ขึ้นไปเท่านั้น

เมื่อมาถึงตรงนี้ อาจเกิดคำถามขึ้นว่า ทำไมไมโครซอฟต์ผู้พัฒนาซอฟต์แวร์ Visual BASIC จึงไม่รวมคำสั่ง Inp และคำสั่ง Out ไว้ในโปรแกรม Visual BASIC เนื่องจากการเขียนและอ่านข้อมูลไปยังพอร์ตหรือหน่วยความจำโดยตรงนั้นอาจทำให้เกิดมีปัญหาแย่งกันหรือทำงานผิดพลาดได้ และ Visual BASIC เป็นระบบปฏิบัติการที่ทำงานบนวินโดวส์ซึ่งมีการทำงานแบบมัลติทาสกิ้ง (multi tasking) มีโปรแกรมหลายๆ ตัวทำงานอยู่พร้อมกัน ดังนั้นเมื่อเกิดความเสียหายกับโปรแกรมตัวหนึ่งก็อาจจะส่งผลให้โปรแกรมที่ทำงานอยู่ทั้งหมดเสียหายได้ นอกจากนี้การเขียนข้อมูลโดยตรงไปยังพอร์ต อาจจะไปทับซ้อนกับโปรแกรมอื่นๆ ที่มีการเขียนข้อมูลไปยังพอร์ตเช่นเดียวกัน ส่งผลให้โปรแกรมทำงานผิดพลาด

สำหรับวินโดว 95 นอกจากจะสามารถใช้งาน DLL ในการติดต่อกับพอร์ตโดยตรงแล้ว ยังสามารถใช้งานโปรแกรมประเภท Visual Device Driver (Vxd) ในการติดต่อกับอุปกรณ์อินพุต เอาต์พุต โดย Vxd จะตัดปัญหาเรื่องการเข้าถึงพอร์ตพร้อมกันของโปรแกรมหลาย ๆ ตัวได้ แต่สำหรับโปรแกรมสั้น ๆ เช่น โปรแกรมอ่านค่าอุณหภูมิ โปรแกรมควบคุมอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตปกติ ซึ่งไม่มีการติดต่อกับพอร์ตอยู่ตลอดเวลา คำสั่ง Inp และ Out ใน DLL ก็ยังทำงานได้ดีและมีรูปแบบการใช้งานที่ง่ายกว่า

2.10 การสื่อสารแบบอนุกรม

การสื่อสารแบบอนุกรมนั้นจะแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือการสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครไนซ์ และการสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครไนซ์ การสื่อสารแบบซิงโครไนซ์จะมีสัญญาณนาฬิกา ร่วมอยู่กับการรับและส่งสัญญาณด้วย ตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบซิงโครไนซ์ ก็คือคีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ ซึ่งสายเส้นหนึ่งจะเป็นสายของสัญญาณนาฬิกา ส่วนสายอีกเส้นจะเป็นสายของข้อมูล ดังนั้นการติดต่อกันแบบซิงโครไนซ์นี้จะต้องใช้สายในการเชื่อมต่ออย่างน้อยที่สุด 3 เส้นคือ สัญญาณนาฬิกา, ข้อมูลและกราวด์ รูปที่ 2.49 แสดงให้เห็นถึงไทม์ไคอะแกรมของการส่งข้อมูลแบบซิงโครไนซ์



รูปที่ 2.49 รูปแบบอย่างง่ายที่สุดของข้อมูลอนุกรม

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครไนซ์

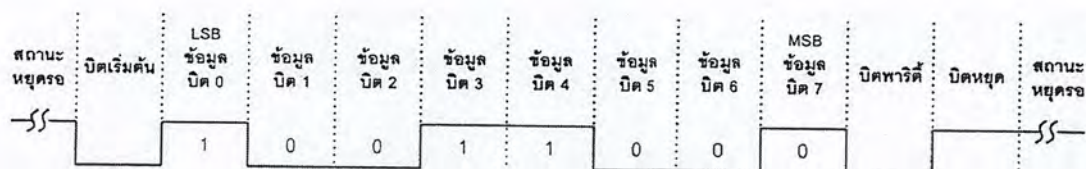
การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครไนซ์ คือการรับและส่งข้อมูลไปในสายโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกา ร่วมด้วยเหมือนกับการรับส่งข้อมูลแบบซิงโครไนซ์ แต่จะใช้การกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาทั้งภาครับและภาคส่งให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดค่าให้ภาครับและภาคส่งนี้ว่า อัตราการถ่ายทอดข้อมูล หรือ บอดเรต (baudrate) มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที (bit per secone:bps)

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครไนซ์ประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ

1. บิตเริ่มต้น (Start Bit) ซึ่งจะมีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรมจะมีขนาด 5,6,7 หรือ 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี (Parity Bit) จะมีขนาด 1 บิตหรือไม่มี
4. บิตปิดท้าย (Stop Bit) จะมีขนาด 1,1.5 หรือ 2 บิต

รูปที่ 2.50 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครไนซ์ ซึ่งเมื่อไม่มีข้อมูลที่จะส่ง ขา DATA จะมีสถานะลอจิก “1” ซึ่งจะเรียกสถานะนี้ว่าสถานะหยุดรอ (waiting stage) การเริ่มต้นส่ง

ข้อมูลจะเริ่มจากการให้ค่า DATA มีลอจิก “0” ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต ซึ่งจะเรียกบิตนี้ว่าบิตเริ่มต้น จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไป โดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด (LSB) ก่อนซึ่งข้อมูลในไบต์ที่จะส่ง อาจจะมีจำนวนบิต 5, 6, 7 หรือ 8 บิตก็ได้ จากนั้นจะตามด้วยบิตพาริตี ซึ่งใช้เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่งคือบิตปิดท้าย ซึ่งจะให้ขาดค่ามีสถานะลอจิก 1 อีกครั้งด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 บิต, 1.5 บิต หรือ 2 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว



รูปที่ 2.50 รูปแบบอย่างง่ายที่สุดของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

อุปกรณ์พิเศษที่ได้รับการออกแบบมาสำหรับการรับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสเรียกว่า **Universal Asynchronous Receiver/Transmitter หรือ UART** อัตราความเร็วในการรับและส่งข้อมูลของการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสคือ ก่าบอดเรต ซึ่งก็คือค่าจำนวนบิตต่อวินาทีที่ใช้ในการรับและส่งข้อมูล บอดเรตมาตรฐานที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232 ได้แก่ 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 และ 19200 บิตต่อวินาที และมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์ซึ่งการรับส่งแบบอนุกรมโดยไม่ผ่านโมเด็มอาจจะสามารถกำหนดค่าบอดเรตได้สูงถึง 115200 บิตต่อวินาที เนื่องจากบอดเรตคือจำนวนบิตของข้อมูลที่สามารถถ่ายทอดได้ภายใน 1 วินาที ยกตัวอย่างข้อมูลอนุกรมถูกส่งในลักษณะ 8 บิต ไม่มีการตรวจสอบพาริตี มีบิตเริ่มต้น 1 บิตและบิตปิดท้าย 1 บิต ความยาวของข้อมูลที่ได้รับนี้เท่ากับ 10 บิต ถ้าใช้บอดเรตในการส่งข้อมูลเท่ากับ 9600 บิตต่อวินาที ก็จะสามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 960 ไบต์ต่อวินาที และถ้ามีการใช้พาริตีความเร็วในการรับส่งข้อมูลจะเหลือเป็น 872 ไบต์ต่อวินาที

การตรวจสอบพาริตีสามารถกำหนดให้เป็นแบบคี่ (odd) , แบบคู่(even) หรือไม่มีการตรวจสอบพาริตีก็ได้ การตรวจสอบพาริตีเป็นการตรวจสอบจำนวนรวมของบิตที่เป็นลอจิก “1” ภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบต์ ว่ามีจำนวนรวมเป็นเลขคู่หรือเลขคี่โดยดั่งรวมบิตพาริตีเข้าไปด้วย ยกตัวอย่างข้อมูลที่จะทำการส่งมีขนาด 8 บิต และมีค่าเท่ากับ 99 ฐานสิบหก หรือ 10011001 ฐานสอง จะเห็นว่าข้อมูลในไบต์นี้มีจำนวนลอจิก “1” จำนวน 4 ตัวซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้นถ้ากำหนดค่าพาริตีเป็นคู่ ค่าในบิตพาริตีจะต้องมีลอจิกเป็น “0” แต่ถ้าพาริตีเป็นคี่ ค่าที่บิตพาริตีจะต้องเป็น “1” เพื่อให้ข้อมูล 1 ไบต์รวมทั้งบิตพาริตีมีจำนวนบิตที่เป็นลอจิก “1” มีจำนวนรวมกันเป็นเลขคี่ ในตารางที่ 3.2 แสดงตัวอย่างของบิตพาริตีในการรับส่งข้อมูลอนุกรม

บิตพาริตีถูกสร้างขึ้นจากภาคส่งข้อมูลของ UART ซึ่งทางภาครับจะต้องทำการกำหนด คุณสมบัติการตรวจสอบพาริตีให้ตรงกันว่าจะตรวจสอบพาริตีคี่หรือพาริตีคู่ จากนั้นภาครับของ UART จะทำการตรวจสอบค่าพาริตีที่เกิดขึ้นว่าเป็นคู่หรือเป็นคี่ โดยการนับจำนวนลอจิก “1” ทั้งหมดรวมทั้งบิตพา

ริตีด้วย ถ้ากำหนดพาริตีไว้เป็นคู่แต่อ่านค่าตัวเลขในการนับออกมาได้ตัวเลขที่เป็นคี่ ทางภาครับจะแสดงข้อผิดพลาดออกมาให้ผู้ไ้ทราบ นับเป็นการตรวจสอบความผิดพลาดที่

ตารางที่ 3.2 แสดงบิตพาริตีของข้อมูล

ข้อมูล	บิตพาริตีคู่	บิตพาริตีคี่
00000000	0	1
00000001	1	0
00000010	1	0
00000011	0	1
00000100	1	0
11111110	0	1
11111111	1	0

เกิดขึ้นในการถ่ายทอดข้อมูลที่ยาวที่สุด แต่จะเชื่อถือได้เมื่อมีบิตข้อมูลทำการส่งผิดพลาดเพียงบิตเดียวเท่านั้น ถ้าข้อมูลทำการส่งมีบิตที่ผิดพลาดมากกว่า 1 บิต การตรวจสอบด้วยวิธีนี้จะไม่ได้ผล สำหรับการตั้งพาริตีบิตเป็น NONE นั้นทั้งภาครับและภาคส่ง จะไม่มีการตรวจสอบพาริตี

คอมพิวเตอร์ในรุ่น AT เกือบทั้งหมดจะใช้ UART เบอร์ 16450 และ 16550 ส่วนคอมพิวเตอร์ในรุ่น XT ใช้ UART เบอร์ 8250 UART ชิพเหล่านี้มีระดับแรงดันเป็นแบบทีทีแอล (0 และ +5 V) แต่เพื่อให้มีแรงดันเป็นไปตามมาตรฐาน RS-232 และเพื่อให้การรับส่งข้อมูลสามารถทำได้ในระยะทางไกลมากขึ้น ระดับแรงดันทีทีแอลจะถูแปลงเป็นระดับแรงดันที่สูงขึ้น โดยลอจิก “0” มีระดับแรงดัน +3V ถึง +12V ในขณะที่ลอจิก “1” มีระดับแรงดัน -3V จนถึง -12V

มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS-232 ในอดีตนั้นถูกออกแบบมาเพื่อการส่งผ่านข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มเพียงอย่างเดียว เพื่อที่จะนำข้อมูลจากโมเด็มนี้สื่อสารผ่านสายโทรศัพท์ไปยังคอมพิวเตอร์อีกชุดซึ่งอยู่ห่างไกลกัน โดยคณะกรรมการที่เรียกว่าสมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association : EIA) ได้วางมาตรฐานที่มีชื่อเรียกกันว่า EIA RS-232 มาตรฐานนี้ในช่วงแรกจะใช้คอนเน็กเตอร์เป็นแบบ DB-25 โดยกำหนดความยาวสูงสุดของสายสัญญาณไว้ที่ 50 ฟุต มีระดับสัญญาณ ตั้งแต่ -3V ถึง -12V แสดงว่ามีข้อมูล (Mark) และ +3 ถึง +12V แสดงว่าเป็นช่องว่าง (Space)

มาตรฐาน RS-232 ได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment : DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating : DCE) ไว้ว่า อุปกรณ์ DTEจะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัวเช่นไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถ

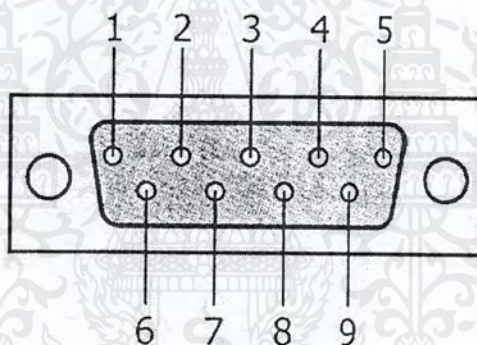
ในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCEจะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น โดยการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองจะกระทำผ่านมาตรฐาน RS232

ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งที่เราเห็นได้ชัดคือ คอนเน็กเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็กเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเน็กเตอร์ที่อยู่โมเด็มจะเป็นแบบ DCE

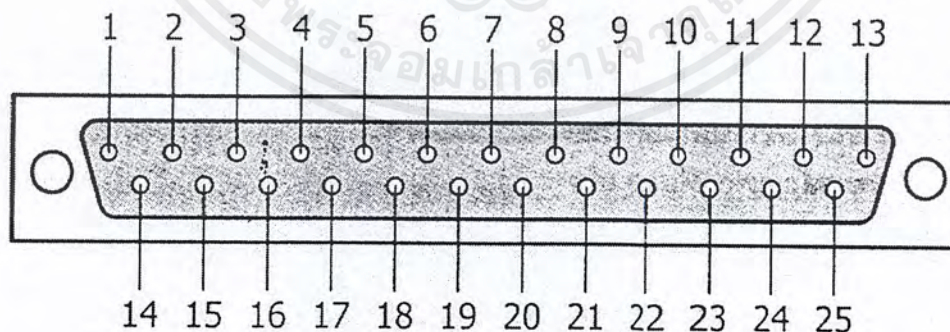
สำหรับการใช้งานบนคอมพิวเตอร์ พอร์ตอนุกรม RS-232 มักถูกใช้เชื่อมต่อกับโมเด็มหรือเมาส์ โดยสามารถรับส่งข้อมูลได้ที่ความยาวของสายสัญญาณสูงสุดถึง 20 เมตร

คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS -232 จะใช้คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 ตัวผู้หรือ DB-9 ตัวผู้ซึ่งคอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 จะมีขาต่อใช้งานเพียง 9 เส้นเช่นเดียวกับคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 เนื่องจากขาอื่น ๆ ที่เคยใช้งานในอดีต ปัจจุบันมีการใช้งานไม่มากนัก จึงถูกยกเลิกไป โดยแสดงรูปร่างและตำแหน่งขาในรูปที่ 2.51



(ก) คอนเน็กเตอร์อนุกรม 9 ขาหรือแบบ DB-9 (มองจากด้านหลังคอมพิวเตอร์)



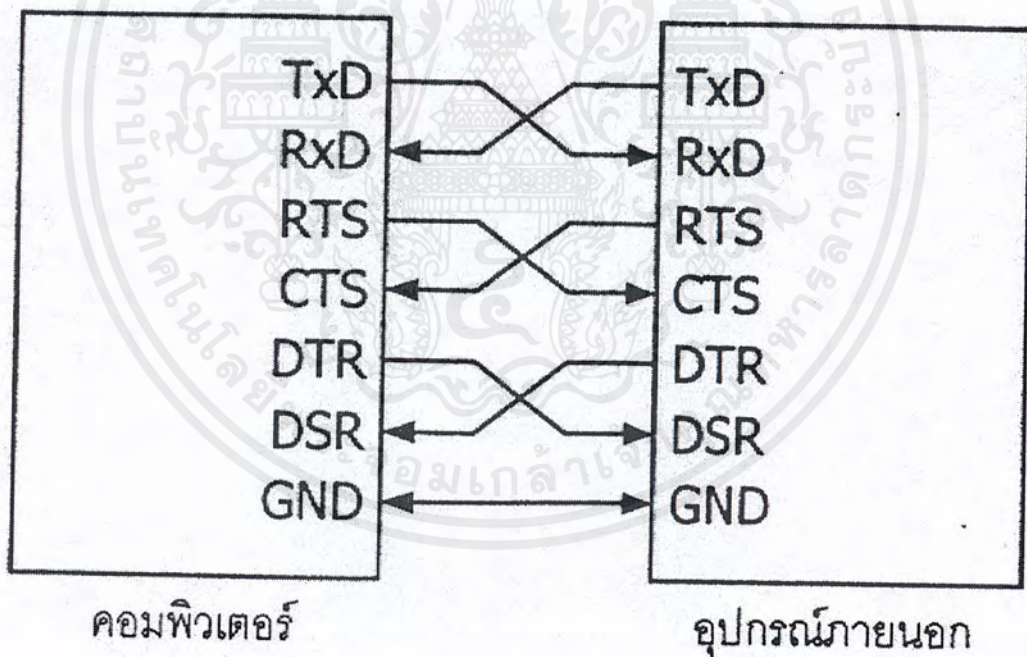
(ข) คอนเน็กเตอร์อนุกรม 25 ขาหรือแบบ DB-25 (มองจากด้านหลังคอมพิวเตอร์)

คอนเน็กเตอร์ DB-9	คอนเน็กเตอร์ DB-25	ชื่อของสายสัญญาณ	ชนิดของสายสัญญาณ
1	8	Data Carrier Detect :DCD	อินพุต
2	3	Received Data :RxD	อินพุต

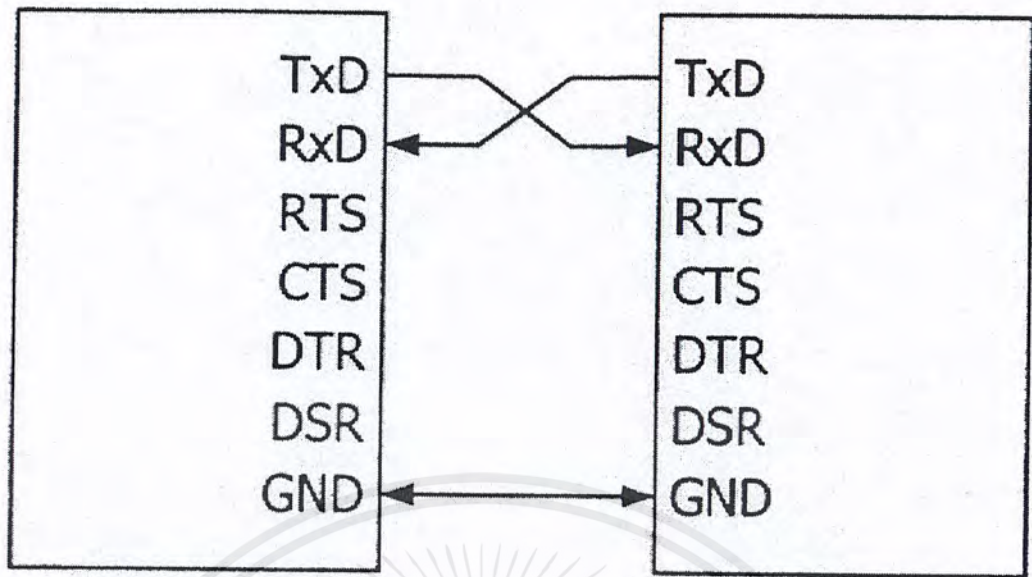
3	2	Transmitted Data :TxD	เอาต์พุต
4	20	Data Terminal Ready:DTR	เอาต์พุต
5	7	Signal Ground :GND	-
6	6	Data Set Ready : DSR	อินพุต
7	4	Request To Send :RTS	เอาต์พุต
8	5	Clear To Send :CTS	อินพุต
9	22	Ring Indicator :RI	อินพุต

รูปที่ 2.51 การจัดขาของคอนเน็กเตอร์พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232ทั้ง DB-9, DB-25

สำหรับการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกแสดงดังในรูปที่ 2.53 ลูกศรในรูปแสดงถึงทิศทางของข้อมูล ในรูปที่ 2.53 (ก) เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null modem หรือการเชื่อมต่อโดยตรงโดยไม่ต้องผ่านโมเด็ม โดยมีการตรวจสอบหรือแฮนด์เช็กเต็มรูปแบบ ส่วนในรูปที่ 2.53 (ข) เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null Modem ในลักษณะที่ใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้น โดยเส้นหนึ่งสำหรับส่งข้อมูล อีกเส้นสำหรับรับข้อมูล และเส้นสุดท้ายเป็นกราวด์ สำหรับรายละเอียดหน้าที่การทำงานในแต่ละขาของพอร์ตอนุกรม RS-232 มีดังนี้



(ก) การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์แบบ Null modem



คอมพิวเตอร์

อุปกรณ์ภายนอก

(ข) การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์แบบ RS-232 โดยใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้น

รูปที่ 2.52 การต่ออุปกรณ์ภายนอกกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ในลักษณะต่างๆ

- **Data Carrier Detect: DCD** หรืออาจเรียกว่า Carrier Detect : CD ขานี้จะแอกทีฟเมื่อมีการส่งสัญญาณพาห้จากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล เช่น โมเด็ม สำหรับการใช้งานปกติ ขานี้จะไม่ได้ถูกใช้งานมากนัก

- **Receive Data : RD หรือ RxD** ขานี้ใช้เพื่อรับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่อ่านได้เก็บไว้ในรีจิสเตอร์ บัฟเฟอร์

- **Transmitted Data : TD หรือ TxD** ขานี้ใช้เพื่อส่งข้อมูลออกจากคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลส่งออกไป

- **Data Terminal Ready : DTR** เป็นขาสัญญาณที่ส่งออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ ว่า ต้องการติดต่อด้วย โดยขา DTR นี้จะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของอุปกรณ์ปลายทางและขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทางจะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของคอมพิวเตอร์ ถ้าใช้การเชื่อมต่อเป็นแบบ Null Modem ซึ่งใช้สายในการเชื่อมต่อเพียง 3 เส้น จะต้องต่อขา DTR และ DSR ของตัวมันเองเข้าด้วยกันและต้องต่อกับขา DCD ด้วยในกรณีที่โปรแกรมสื่อสารที่ใช้มีการตรวจจับสัญญาณพาห้

- **Signal Ground : GND** ขากราวด์ของระบบ

- **Data Set Ready : DSR** ขานี้จะใช้คู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาสำหรับรับข้อมูลจากภายนอกซึ่งถูกส่งมาจากขา DTR

- **Request To Send : RTS** เป็นขาสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้ทางอุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมายังคอมพิวเตอร์ โดยขาที่รับสัญญาณ RTS ก็คือขา CTS ในกรณีที่ใช้การเชื่อมต่อแบบ Null

modem 3 สาย จะต้องเชื่อมต่อขา RTS และ CTS ของตัวมันเองเข้าด้วยกัน เพื่อให้การรับและส่งข้อมูลสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา

- **Clear To Send : CTS** ขานี้จะคอยรับสัญญาณจากขา RTS เมื่อรับสัญญาณได้ ข้อมูลที่ขา TxD จะถูกส่งออกไป ดังนั้นขานี้จึงถูกใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่

- **Ring Indicator : RI** ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ปกติในการสื่อสารโดยทั่วไปสายนี้จะไม่ถูกใช้งาน จะใช้งานก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมต่อกับโมเด็มและโปรแกรมมีการตรวจสอบสัญญาณนี้เท่านั้น

UART

UART มาจากคำว่า **Universal Asynchronous Receiver Transmitter** ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสนั่นเอง สำหรับการสื่อสารอนุกรมบนคอมพิวเตอร์แล้ว UART ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของการสื่อสารอนุกรม

หน้าที่หลักของ UART คือทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบขนานจากคอมพิวเตอร์ให้อยู่ในรูปแบบอนุกรมแบบอะซิงโครนัส แล้วส่งออกไป และทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนุกรมแบบอะซิงโครนัสที่ป้อนเข้ามายัง UART ให้เป็นแบบขนานก่อนที่จะส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์ ซึ่งนอกจาก UART จะส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์แล้ว ยังแจ้งข้อมูลอื่น ๆ ให้คอมพิวเตอร์รับทราบด้วย เช่น อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล (บอดเรต), รูปแบบการส่งข้อมูล, ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล (ผิดพลาดจากพาริตี, เฟรมข้อมูล, โอเวอร์รัน) เป็นต้น

ภายใน UART จะมีส่วนของวงจรสร้างบอดเรตแบบโปรแกรมได้ (programmable baudrate generator) โดยการกำหนดค่าตัวหารให้กับสัญญาณนาฬิกาของ UART โดยตัวหารนี้มีขนาด 16 บิต ดังนั้นจึงสามารถกำหนดตัวหารอยู่ในช่วง 1-65,535 UART สามารถรับส่งข้อมูลได้ทั้งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (half duplex) และฟูลดูเพล็กซ์ (full duplex) โดยการส่งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์เป็นการส่งแบบทิศทางเดียว ส่วนการส่งแบบฟูลดูเพล็กซ์นั้นสามารถรับและส่งข้อมูลได้ในคราวเดียวกัน

ชนิดของ UART

ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปมี UART ที่ใช้งานกันอยู่ 2 เบอร์คือ 8250 ซึ่งเป็น UART มาตรฐานที่มีใช้กันมาช้านาน UART เบอร์นี้จะมีบัฟเฟอร์สำหรับรับและส่งข้อมูลตำแหน่งเดียวกัน ทำให้การรับและส่งข้อมูลถูกจำกัดความเร็วอยู่ที่ 57.6 กิโลบิตต่อวินาที เท่านั้น แต่ UART เบอร์นี้ก็ถือว่าเป็นต้นแบบของ UART ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ โดยคอมพิวเตอร์ทุก ๆ รุ่นจะต้องสนับสนุนการทำงานตามรูปแบบของ UART เบอร์นี้

UART อีกเบอร์หนึ่งคือ 16450 มีความสามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 115,200 บิตต่อวินาที และเพิ่มรีจิสเตอร์สำหรับพักข้อมูลสำหรับ UART นอกจากนั้นยังเพิ่มส่วนของชิพรีจิสเตอร์แบบ FIFO (First in First Out) ขนาด 16 ไบต์เข้าไป ทำให้สามารถสนับสนุนความเร็วในการรับส่งข้อมูล

256 กิโลบิตต่อวินาทีได้ โดยคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันใช้ UART เบอร์นี้หรือใหม่กว่า เช่น เบอร์ TL16C750 ซึ่งมีรีจิสเตอร์แบบ FIFO ขนาด 64 ไบต์ ทำงานได้ที่ระดับแรงดัน +5V และ +3V มีโหมดประหยัดพลังงาน สามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 1 เมกะบิตต่อวินาที เมื่อใช้สัญญาณนาฬิกา 16 MHz

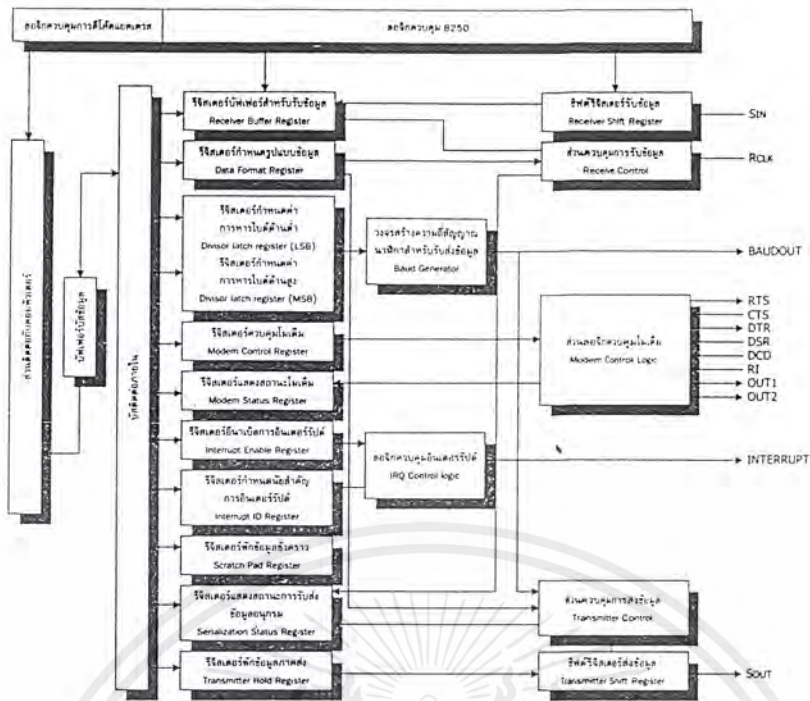
อย่างไรก็ตาม ความเร็วในการส่งข้อมูลที่มากมายของ UART เบอร์ใหม่ ๆ ก็ไม่ได้ช่วยให้การรับส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์เร็วขึ้น เนื่องจากว่าคอมพิวเตอร์ยังใช้ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาในการแปลงข้อมูลเพียง 1.8432 MHz เท่านั้น

วงจรภายในและรีจิสเตอร์ของพอร์ตอนุกรม RS-232

เครื่องคอมพิวเตอร์โดยทั่วไปสามารถต่อพอร์ตอนุกรม RS-232 สูงสุดได้ 4 พอร์ต ซึ่งจะมีชื่อเรียกเป็น COM1, COM2, COM3 และ COM4 ซึ่งพอร์ตอนุกรมแต่ละตัวต่างก็ใช้งาน UART ภายในคอมพิวเตอร์ในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกเช่นเดียวกัน

ในรูปที่ 2.54 แสดงไดอะแกรมการทำงานภายในของพอร์ตอนุกรม ซึ่งประกอบไปด้วย รีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต 8 ตัวที่ใช้งานร่วมกับ UART แอแดปเตอร์ของรีจิสเตอร์ภายในพอร์ตอนุกรม สามารถคำนวณได้จากค่ารีจิสเตอร์พื้นฐานของพอร์ตอนุกรม ยกตัวอย่าง พอร์ตอนุกรม COM1 มีแอดเดรสอยู่ที่ 3F8H ตำแหน่งของรีจิสเตอร์ต่าง ๆ จะเป็นตำแหน่งที่บวกเข้าไปกับค่า 3F8H โดยรีจิสเตอร์ที่ใช้งานกับพอร์ตอนุกรมมีดังนี้

- 00H เป็นรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับเก็บข้อมูลที่รับเข้ามาหรือเตรียมข้อมูลก่อนที่จะส่งออกไป
- 01H รีจิสเตอร์อินทรีปการอินเตอร์รัปต์ ใช้ในการเซตโหมดการอินเตอร์รัปของพอร์ต
- 02H รีจิสเตอร์แสดงโหมดการอินเตอร์รัปต์ ใช้เพื่อตรวจสอบโหมดของการอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการอินเตอร์รัปต์เกิดขึ้น
- 03H รีจิสเตอร์กำหนดรูปแบบของข้อมูล
- 04H รีจิสเตอร์ควบคุมโมเด็ม ใช้ตรวจสอบบิตสำหรับติดต่อกับโมเด็ม เช่น RTS หรือ DTR
- 05H รีจิสเตอร์แสดงสถานะการรับและการส่งข้อมูลแบบอนุกรม
- 06H รีจิสเตอร์แสดงสถานะของโมเด็ม ซึ่งจะแสดงสถานะของขา DCD,RI,DSR และ CTS
- 07H รีจิสเตอร์สำหรับการเก็บข้อมูลชั่วคราว



รูปที่ 2.53 โค้ดแอมแกรมการทำงานภายในของพอร์ตอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์

รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 00H : รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์

เป็นรีจิสเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลที่ได้รับเข้ามาและข้อมูลที่จะส่งออกไป โดยการติดต่อกับรีจิสเตอร์นี้เพื่อเก็บข้อมูลที่ต้องการจะส่งจะต้องกำหนดให้บิต DLAB ในรีจิสเตอร์กำหนดรูปแบบข้อมูล (03H) จะต้องมีสถานะเป็น 0 ซึ่งการเขียนข้อมูลมายังแอดเดรสนี้ เป็นการส่งข้อมูลไปยังรีจิสเตอร์ส่งข้อมูลและข้อมูลจะถูกส่งออกไปแบบอนุกรม สำหรับการรับข้อมูล หลังจากมีการอ่านรีจิสเตอร์นี้ออกไปรีจิสเตอร์นี้จะถูกเคลียร์ และเตรียมพร้อมสำหรับการรับข้อมูลในไปต์ต่อไป

รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 01H : รีจิสเตอร์อีนามิการอินเตอร์รัปต์

เป็นรีจิสเตอร์สำหรับการอีนามิการอินเตอร์รัปต์ ซึ่งเป็นการกำหนดให้ UART สร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์ขึ้นมา ฟังก์ชันการทำงานในแต่ละบิตของรีจิสเตอร์นี้มีดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	0	SINP	ERBK	TBE	RxRD

บิต 4-7 บิตเหล่านี้ไม่ถูกใช้งาน กำหนดให้เท่ากับ "0"

SINP

อีนามิการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนสถานะที่ขาอินพุต CTS, DSR, DCD หรือขา RI

"1" อีนามิการอินเตอร์รัปต์

"0" ไม่มีการใช้อินเตอร์รัปต์รูปแบบนี้หรือดิสเอเบิล

ERBK

อีนามิการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากเกิดความผิดพลาดขึ้นด้วยสาเหตุจากพาริตี, โอเวอร์รัน, เฟรมข้อมูล หรือการเบรกข้อมูล

	“1”	อินาเบิลการอินเตอร์รัปต์
	“0”	ไม่มีการใช้อินเตอร์รัปต์รูปแบบนี้หรือคิสเอเบิล
TBE		อินาเบิลการอินเตอร์รัปต์เมื่อรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลว่าง
	“1”	อินาเบิลการอินเตอร์รัปต์
	“0”	ไม่มีการใช้อินเตอร์รัปต์รูปแบบนี้หรือคิสเอเบิล
RxRD		อินาเบิลการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ได้รับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว
	“1”	อินาเบิลการอินเตอร์รัปต์
	“0”	ไม่มีการใช้อินเตอร์รัปต์รูปแบบนี้หรือคิสเอเบิล

รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 02H : รีจิสเตอร์แสดงโหมดและสถานะการอินเตอร์รัปต์

มีรายละเอียดของแต่ละบิตดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	0	0	ID1	ID0	PND

- บิต 3-7 ไม่ได้ใช้งาน อ่านค่าได้เท่ากับ “0”
- ID1,ID0 ใช้งานร่วมกันเพื่อแจ้งสาเหตุของการเกิดอินเตอร์รัปต์
 - “00” เกิดการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของขาอินพุตขึ้น การอินเตอร์รัปต์แบบนี้มีนัยสำคัญเป็นอันดับ 4
 - “01” เกิดการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ส่งข้อมูลว่างขึ้น การอินเตอร์รัปต์แบบนี้มีนัยสำคัญเป็นอันดับ 3
 - “10” เกิดการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากข้อมูลเก็บลงในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ สำหรับรับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว การอินเตอร์รัปต์แบบนี้มีนัยสำคัญเป็นอันดับ 2
 - “11” เกิดการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากความผิดพลาดในการถ่ายทอดข้อมูลหรือเกิดการเบรก (break : เกิดการหยุดถ่ายทอดข้อมูลกระทันหัน) การอินเตอร์รัปต์แบบนี้มีนัยสำคัญเป็นอันดับ 1 หรือมีนัยสำคัญสูงสุด
- PND ใช้แสดงสถานะของการเกิดอินเตอร์รัปต์
 - “1” แสดงว่าไม่มีการอินเตอร์รัปต์
 - “0” แสดงว่ามีการอินเตอร์รัปต์เกิดขึ้น

เมื่อมีการสร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์ขึ้น จะต้องมีการเคลียร์ค่าก่อนที่จะให้เกิดอินเตอร์รัปต์ครั้งต่อไป โดยสามารถทำได้ดังนี้คือ

- ถ้าเกิดอินเตอร์รัปต์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของขาอินพุตจะต้องอ่านค่าจากรีจิสเตอร์ แสดงสถานะของโมเด็ม (รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 06H) เพื่อเคลียร์ค่าการอินเตอร์รัปต์

- ถ้าเกิดการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากบัฟเฟอร์ส่งข้อมูลว่าง จะต้องเขียนข้อมูลไปยังรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ส่งข้อมูล (รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 00H) หรืออ่านค่ารีจิสเตอร์แสดงสถานะอินเตอร์รัปต์ (รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 02H) เพื่อเคลียร์ค่าการอินเตอร์รัปต์
- ถ้าเกิดการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากการเก็บข้อมูลลงในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูลเรียบร้อย จะต้องเคลียร์ค่าอินเตอร์รัปต์โดยการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์
- ถ้าเกิดอินเตอร์รัปต์เนื่องจากความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลหรือเกิดการเบรก จะต้องเคลียร์ค่าอินเตอร์รัปต์โดยการอ่านค่ารีจิสเตอร์แสดงสถานะการรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรม

รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 03H : รีจิสเตอร์กำหนดรูปแบบของข้อมูล

มีรายละเอียดหน้าที่ของแต่ละบิตดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
DLAB	BRK	PAR2	PAR1	PAR0	STOP	DAB1	DAB0

DLAB ใช้ในการกำหนดหน้าที่การทำงานของรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ (00H)

“1” เป็นการเข้าสู่โหมดการหารค่าบอดเรต

“0” เป็นการเข้าถึงรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ (รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 00H) และรีจิสเตอร์สำหรับอีนابلการอินเตอร์รัปต์ (รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 01H) เมื่อบิตDLAB เป็น “1” รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ (00H) และรีจิสเตอร์อีนابلการอินเตอร์รัปต์ (01H) จะใช้สำหรับโหนดค่าการหารความถี่สำหรับกำหนดค่าบอดเรต โดยรีจิสเตอร์ 00H เก็บค่าตัวหารไบต์ต่ำ ส่วนรีจิสเตอร์ 01H ใช้เก็บค่าตัวหารไบต์สูง การหาค่าบอดเรตสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{บอดเรต} = 115200 / \text{ค่าตัวหาร 16 บิต}$$

ค่าตัวเลข 115200 มาจากความถี่ของคริสตอลในวงจร UART ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยคริสตอลที่ใช้มีความถี่ 1.8432 MHz วงจรภายใน UART จะทำการหารค่าความถี่นี้ด้วย 16 ทำให้ได้ค่าความถี่ 115200 Hz ออกมา

$$\text{ค่าตัวหาร 16 บิต} = \text{ข้อมูลในรีจิสเตอร์ 00H} + (256 \times \text{ข้อมูลในรีจิสเตอร์ 01H})$$

สมมติว่าต้องการค่าบอดเรตเท่ากับ 9600 ค่าตัวหารที่ใช้จะต้องมีค่าเท่ากับ 12 ซึ่งค่านี้จะต้องถูกโหนดลงในรีจิสเตอร์ 00H และโหนดค่า 0 ลงไปในรีจิสเตอร์ 01H ค่าตัวหารที่ทำให้เกิดค่าบอดเรตสูงสุดที่ 115200 บิตต่อวินาที คือ ค่า 0001 นั่นคือรีจิสเตอร์ 00H มีค่าเท่ากับ 1 และรีจิสเตอร์ 01H มีค่าเท่ากับ 0

BRK ใช้ควบคุมการหยุดถ่ายทอดข้อมูล

“1” สามารถหยุดหรือเบรกได้

“0” ไม่มีการหยุดหรือเบรกได้

PAR2,PAR1,PAR0 ใช้เพื่อกำหนดบิตพาริตี

“000” ไม่ใช่บิตพาริตี

“001” กำหนดพาริตีคู่

“011” กำหนดพาริตีคู่

“101” มาร์ก (mark)

“111” ช่องว่าง (space)

STOP ใช้กำหนดจำนวนบิตปิดท้าย

“1” มีบิตปิดท้าย 2 บิต

“0” มีบิตปิดท้าย 1 บิต

DAB1,DAB0 ใช้ร่วมกันในการกำหนดจำนวนบิตของข้อมูลที่ต้องการถ่ายทอด

“00” จำนวนบิตข้อมูลเท่ากับ 5 บิต

“01” จำนวนบิตข้อมูลเท่ากับ 6 บิต

“10” จำนวนบิตข้อมูลเท่ากับ 7 บิต

“11” จำนวนบิตข้อมูลเท่ากับ 8 บิต

รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 04H: รีจิสเตอร์ควบคุมโมเด็ม

มีรายละเอียดหน้าที่ของแต่ละบิตดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	LOOP	OUT2	OUT1	RTS	DTR

บิต 5-7 ไม่มีการใช้งาน อ่านค่าได้เท่ากับ 0

LOOP “1” อินาเบิลการส่งค่ากลับ

“0” ดิสเอเบิล

OUT1,OUT2 “1”อินาเบิลการใช้งานภายใน

“0” ดิสเอเบิล

RTS ใช้ควบคุมการทำงานของขา RTS (Ready To Send)

“1” อินาเบิล

“0” ดิสเอเบิล

DTR ใช้ควบคุมการทำงานของขา DTR (Data Terminal Ready)

“1” อินาเบิล

“0” ดิสเอเบิล

รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 05H: รีจิสเตอร์แสดงสถานะการรับและส่งข้อมูลอนุกรมของ UART

ใช้งานร่วมกับรีจิสเตอร์แสดงโหมดและสถานะของการอินเทอร์รัปต์ (รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 02H) เพื่อแสดงสาเหตุของการเกิดอินเทอร์รัปต์ มีรายละเอียดหน้าที่ของแต่ละบิตดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	TXE	TBE	BREK	FRME	PARE	OVFE	RxRD

- TXE (Transmitter Empty)

“1” แสดงว่ารีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลว่าง

“0” แสดงว่ายังมีข้อมูล 1 ไบต์เก็บอยู่ในรีจิสเตอร์ บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล
- TBE (Transmitter Buffer Empty)

“1” รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลว่าง

“0” ยังคงมีข้อมูล 1 ไบต์เก็บอยู่ในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล
- BREK (Break)

“1” UART ตรวจพบการเบรก

“0” ไม่มีการเบรก
- FRME(Frame Error)

“1” UART ตรวจพบความผิดพลาดด้านเฟรมข้อมูล

“0” ไม่พบความผิดพลาดด้านเฟรมข้อมูล
- PARE (Parity Error)

“1” UART ตรวจพบความผิดพลาดทางพาริตี

“0” ไม่พบความผิดพลาดทางพาริตี
- OVRE (Overrun Error)

“1” UART ตรวจพบความผิดพลาดแบบโอเวอร์รัน

“0” ไม่พบความผิดพลาดแบบโอเวอร์รัน
- RxRD (Received Data Ready)

“1” มีการรับข้อมูลมาเก็บไว้ในบัฟเฟอร์

“0” ไม่มีข้อมูล

รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 06H: รีจิสเตอร์แสดงสถานะของโมเด็ม

ใช้เพื่อกำหนดสถานะสัญญาณอินพุต ของพอร์ตอนุกรม RS-232 ซึ่งได้แก่ สัญญาณ DCD, DSR, CTS และ RI สำหรับการเชื่อมต่อใช้งานแบบอนเนกประสงค์ ดังมีรายละเอียดหน้าที่ของแต่ละบิตต่อไปนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
DCD	RI	DSR	CTS	DDCD	DRI	DDSR	DCTS

- DCD

ใช้แสดงสถานะของขา DCD

“1” แสดงว่าที่ขา DCD เป็นลอจิก “1”

“0” แสดงว่าที่ขา DCD เป็นลอจิก “0”

RI ใช้แสดงสถานะของขา RI
 “1” แสดงว่าที่ขา RI เป็นลอจิก “1”
 “0” แสดงว่าที่ขา RI เป็นลอจิก “0”

DSR ใช้แสดงสถานะของขา DSR
 “1” แสดงว่าที่ขา DSR เป็นลอจิก “1”
 “0” แสดงว่าที่ขา DSR เป็นลอจิก “0”

DCTS (Delta Clear To Send) ใช้แจ้งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของบิต CTS
 “1” แสดงว่าบิต CTS (Clear To Send) เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบจาก การอ่านค่าครั้งที่แล้ว
 “0” แสดงว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับการอ่านค่าครั้งที่แล้ว

DDSR (Delta Data Set Ready) ใช้แจ้งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของบิต DSR
 “1” แสดงว่าบิต DSR (Data Set Ready) เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบจาก การอ่านค่าครั้งที่แล้ว
 “0” แสดงว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับการอ่านค่าครั้งที่แล้ว

DRI (Delta Ring Indicator) ใช้แจ้งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของบิต RI
 “1” แสดงว่าบิต RI (Ringing Indicator) เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบจาก การอ่านค่าครั้งที่แล้ว
 “0” แสดงว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับการอ่านค่าครั้งที่แล้ว

DDCD (Delta Data Carrier Detect) ใช้แจ้งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของบิต DDCD
 “1” แสดงว่าบิต CTS (Clear To Send) เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบจาก การอ่านค่าครั้งที่แล้ว
 “0” แสดงว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับการอ่านค่าครั้งที่แล้ว

DCTS (Delta Clear To Send) ใช้แสดงสถานะของขา CTS
 “1” แสดงว่าที่ขา CTS เป็นลอจิก “1”
 “0” แสดงว่าที่ขา CTS เป็นลอจิก “0”

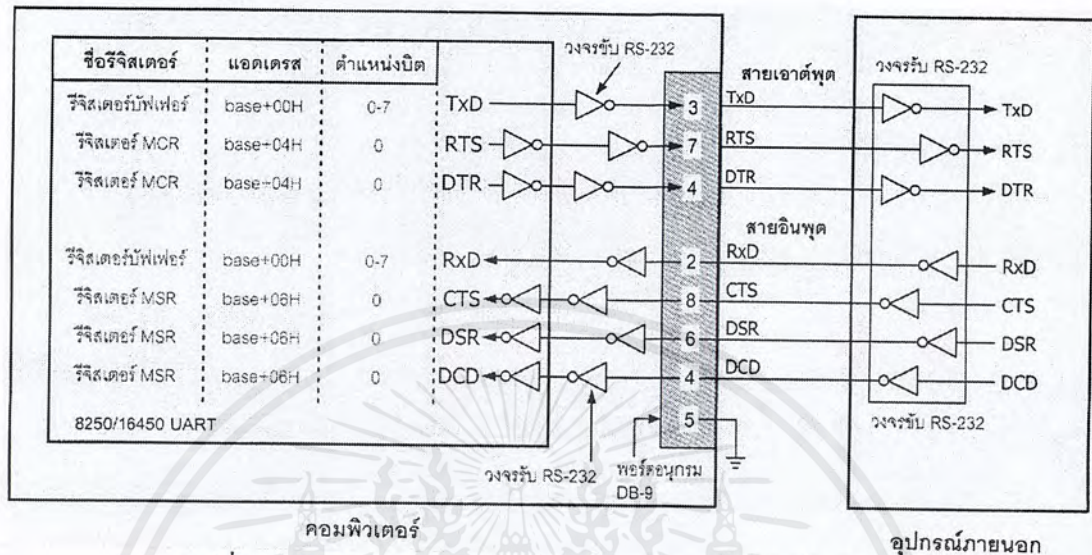
รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 07H : รีจิสเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลชั่วคราว

ทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำแรมขนาด 1 ไบต์ การอ่านและเขียนข้อมูลที่รีจิสเตอร์ตัวนี้ไม่ส่งผลใด ๆ ต่อการใช้งาน UART

ลักษณะสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของพอร์ต RS-232

สัญญาณเอาต์พุตที่ใช้ควบคุม (RTS และ DTR) และสัญญาณแสดงสถานะอินพุต (CTS, DSR และ DCD) ของพอร์ตอนุกรม RS-232 จะถูกกลับสถานะภายในตัว UART ส่วนสัญญาณข้อมูลทั้งภาคส่งและรับจะไม่ถูกกลับสถานะ UART จึงต้องส่งเข้าสู่วงจรขับเพื่อปรับระดับแรงดันให้ได้ระดับ

สัญญาณเป็นไปตามมาตรฐาน RS-232 ก่อนส่งออกไปจากคอมพิวเตอร์ สำหรับอุปกรณ์ต่อเชื่อมปลายทางก็จะต้องมีวงจรขับในลักษณะนี้เช่นเดียวกัน เพื่อให้ได้ระดับสัญญาณในระดับเดียวกัน แต่วงจรขับที่ใช้ทั้งภายในคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่อเชื่อมปลายทางนั้นจะถูกกลับสถานะ ดังแสดงเป็นบล็อกไโคแกรม ในรูปที่ 2.54



รูปที่ 2.54 ไโคแกรมแสดงโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของพอร์ทอนุกรม

แอดเดรสของพอร์ทอนุกรม

แอดเดรสพื้นฐานของพอร์ทอนุกรมมี 4 ตำแหน่งดังนี้คือ

COM1 : 3F8H

COM2 : 2F8H

COM3: 3E8H

COM4 : 2E8H

เมื่อเริ่มเปิดเครื่องเพื่อใช้งานคอมพิวเตอร์ ไบออสภายในคอมพิวเตอร์จะทำการตรวจสอบแอดเดรสของพอร์ทอนุกรมทั้งหมด ถ้าไบออสตรวจพบแอดเดรสของพอร์ทอนุกรม ไบออสจะนำแอดเดรสที่ตรวจพบไปเก็บไว้ในหน่วยความจำขนาด 2 ไบต์ สำหรับพอร์ทอนุกรม COM1 จะเก็บไว้ที่แอดเดรส 0000:0400H และ 0000:0401H ส่วนตำแหน่งอื่น ๆ มีรายละเอียดดังนี้

COM2=0000:0402H – 0000:0403H

COM3=0000:0404H – 0000: 0405H

COM4=0000:0406H – 0000:0407H

นอกจากนี้ที่หน่วยความจำแอดเดรส 0000: 0411H ยังใช้สำหรับแสดงจำนวนของพอร์ทอนุกรมที่มีใ้ช้อยู่ในคอมพิวเตอร์อีกด้วยโดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงข้อมูลในแอดเดรส 0000:0411H ที่ใช้แจ้งจำนวนพอร์ตอนุกรม

บิต 3	บิต 2	บิต 3	จำนวนพอร์ต
0	0	0	ไม่มีพอร์ตอนุกรม
0	0	1	มีพอร์ตอนุกรม 1 พอร์ต
0	1	0	มีพอร์ตอนุกรม 2 พอร์ต
0	1	1	มีพอร์ตอนุกรม 3 พอร์ต
1	0	0	มีพอร์ตอนุกรม 4 พอร์ต

2.11 การเขียนโปรแกรมเพื่อใช้งาน พอร์ตอนุกรม

การหาค่าตำแหน่งแอดเดรสของพอร์ตอนุกรม

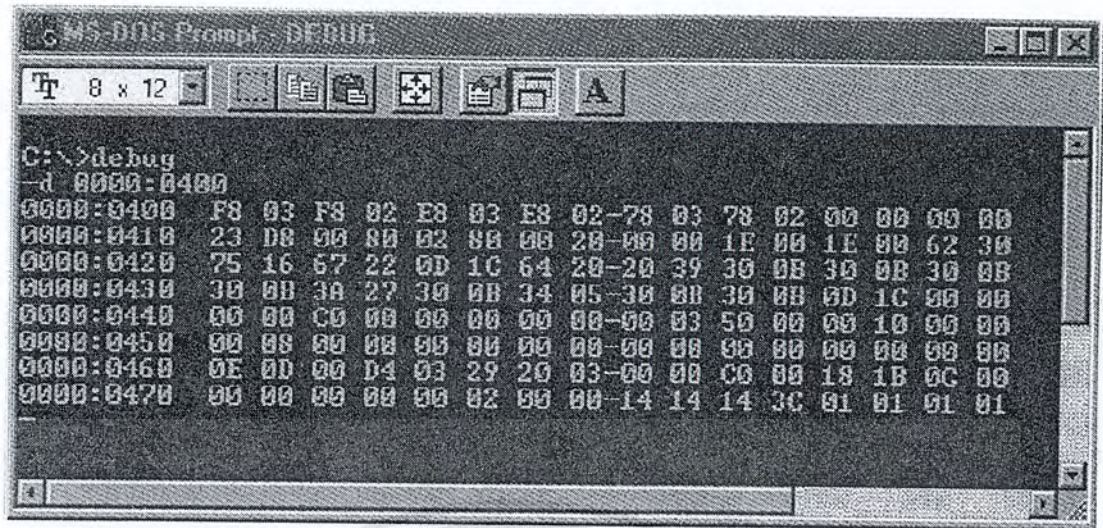
การหาค่าตำแหน่งแอดเดรสของพอร์ตอนุกรมสามารถทำได้หลายวิธี

วิธีที่ 1 โดยการโปรแกรม Debug ไปดูค่าตำแหน่งแอดเดรสที่ตำแหน่ง 0000:0400H โดยใช้พิมพ์คำสั่งที่คอสมพร้อมพดั่งแสดงในรูปที่ 2.55

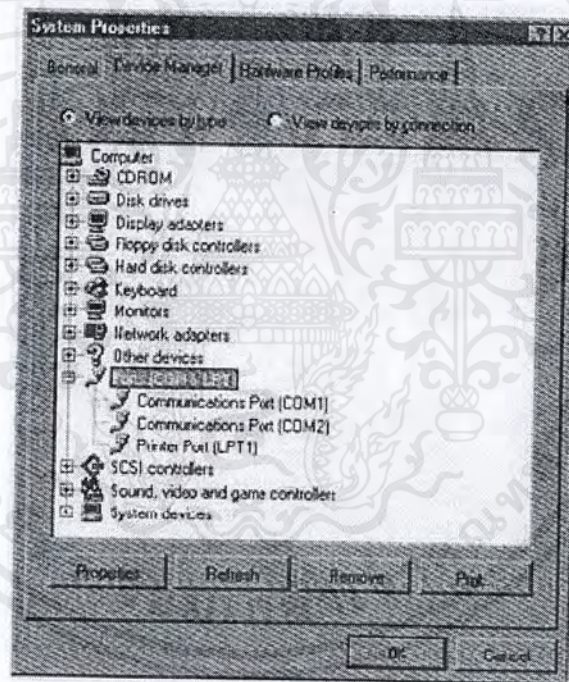
ค่าที่เห็นในรูปแสดงว่า พอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์เครื่องนี้มีถึง 4 พอร์ต มีตำแหน่งแอดเดรสไล่เรียงกันตั้งแต่หน่วยความจำตำแหน่งที่ 0000:0400H – 0000:0407H ตัวอย่างเช่น ที่ตำแหน่งหน่วยความจำ 0000:0400H – 0000:0401H แสดงตัวเลข F8 03 ซึ่งหมายความว่าแอดเดรสของพอร์ต COM1 คือ 03F8Hนั่นเอง สำหรับจำนวนของพอร์ตอนุกรมที่ระบุอยู่ที่หน่วยความจำตำแหน่ง 0000: 0411H มีค่าเท่ากับ D8H ซึ่งเมื่อแปลงเป็นเลขฐานสองจะได้ค่าเป็น 11011000 บิตที่ 1-3 มีค่าเท่ากับ 100 หมายความว่าจำนวนพอร์ตอนุกรมทั้งหมด 4 พอร์ตดังที่ได้กล่าวไปแล้วตอนต้น

วิธีที่ 2 สามารถดูได้จากวินโดวส์ 95 โดยไปที่ Control Panel เรียก System => Device Manager => Ports (COM & LPT) จากนั้นเลือกพอร์ตอนุกรมที่ต้องการดูค่าแล้วดั่งแสดงในรูปที่ 2.56 แล้วเลือก Properties =>Resources ซึ่งในหน้าต่างนี้จะแสดงทั้งตำแหน่งแอดเดรสของพอร์ตอนุกรมนั้น ๆ รวมถึงตำแหน่งของอินเตอร์รัปต์ที่ใช้ด้วย

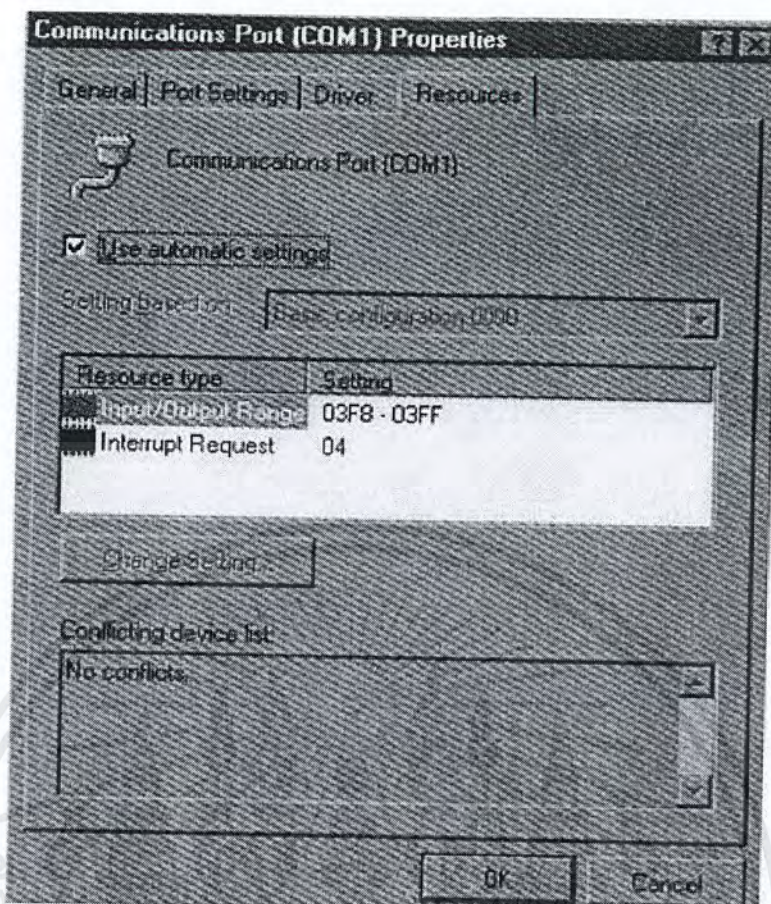
วิธีที่ 3 การเขียนโปรแกรมเพื่ออ่านค่า โดยสามารถใช้โปรแกรมภาษาใด ๆ ก็ได้เพื่ออ่านค่า แต่ในตัวอย่างนี้จะใช้ QBASIC ในการแสดงค่าแอดเดรสของพอร์ตอนุกรม โดยจะใช้คำสั่ง PEEK ซึ่งเป็นคำสั่งที่ใช้อ่านค่าจากหน่วยความจำ นอกจากนี้ยังอ่านค่าจำนวนของพอร์ตอนุกรมออกมาโดยใช้คำสั่งเดียวกัน แต่จะใช้คำสั่ง AND เข้าช่วยเพื่อเลือกเฉพาะบิตที่ต้องการอ่านค่าเท่านั้น จากนั้นก็ทำการเลื่อนบิตไปทางขวา 1 บิต โดยใช้วิธีการหารด้วย 2 เพื่อให้บิตที่ต้องการไปอยู่ด้านขวามือสุดและแสดงค่าจำนวนพอร์ตที่แท้จริงออกมา คำสั่ง HEX \$ ช่วยให้การแสดงผลตำแหน่งแอดเดรสของพอร์ตอนุกรมที่ออกมาเป็นค่าเลขฐานสิบหก ส่วนการคูณค่าด้วย 100H นั้นก็เพื่อที่จะเลื่อนบิตไปด้านหน้า 1 ไบต์ทำให้เมื่อเวลานำมาบวกแล้วจะได้ค่าเป็น 2 ไบต์พอดี



รูปที่ 2.55 หน้าต่างของโปรแกรม DEBUG แสดงตำแหน่งของพอร์ตอนุกรม



รูปที่ 2.56 แสดงตำแหน่งของพอร์ตอนุกรมบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 95/98



รูปที่ 2.56 หน้าต่างแสดงรายละเอียดของพอร์ตอนุกรมบนวินโดวส์ 95/98

การกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับพอร์ตอนุกรม

ก่อนการใช้งานพอร์ตอนุกรมนั้นจะต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับตัวมันก่อน ซึ่งก็คือการกำหนดจำนวนบิตข้อมูลที่ต้องการส่ง, จำนวนบิตปิดท้าย, ชนิดของพาริตีที่ใช้ และบอดเรต

การกำหนดสามารถทำได้หลายวิธี วิธีแรกเป็นการกำหนดจากคอสพรีมพ์ โดยใช้คำสั่ง MODE

ตัวอย่าง MODE COM1 : 9600, n, 8, 1 จะเป็นการกำหนดให้พอร์ตอนุกรม COM1 มีบอดเรตเท่ากับ 9,600 บิตต่อวินาที ไม่มีการตรวจสอบพาริตี รับส่งข้อมูลแบบ 8 บิตและมีบิตปิดท้าย 1 บิต

วิธีที่ 2 เป็นการกำหนดโดยใช้อินเตอร์รัปต์ของคอส ตำแหน่งที่ 14 H ซึ่งการใช้งานจะต้องกำหนดค่าต่าง ๆ ลงในรีจิสเตอร์ด้วย โดยจะต้องกำหนดให้รีจิสเตอร์ AH มีค่าเท่ากับ 0 รีจิสเตอร์ DX เก็บค่าของพอร์ตอนุกรมที่ต้องการกำหนดค่าเริ่มต้น โดย

DX = 0 จะกำหนดให้พอร์ตอนุกรม COM1

DX = 1 จะกำหนดให้กับพอร์ตอนุกรม COM2

DX = 2 จะกำหนดให้กับพอร์ตอนุกรม COM3

DX = 3 จะกำหนดให้กับพอร์ตอนุกรม COM4

รีจิสเตอร์ AL ซึ่งมีขนาด 8 บิต ใช้เก็บค่าเริ่มต้นต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้

บิต7	บิต6	บิต5	บิต 4	บิต3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
BD2	BD1	BD0	PAR1	PAR0	STOP	DA1	DA0

BD2,BD1,BD0 ใช้สำหรับกำหนดค่าบอดเรต

“111” บอดเรตเท่ากับ	9,600	บิตต่อวินาที
“110” บอดเรตเท่ากับ	4,800	บิตต่อวินาที
“101” บอดเรตเท่ากับ	2,400	บิตต่อวินาที
“100” บอดเรตเท่ากับ	1,200	บิตต่อวินาที
“011” บอดเรตเท่ากับ	600	บิตต่อวินาที
“010” บอดเรตเท่ากับ	300	บิตต่อวินาที
“001” บอดเรตเท่ากับ	150	บิตต่อวินาที
“000” บอดเรตเท่ากับ	110	บิตต่อวินาที

ตัวอย่างโปรแกรมย่อยเทอร์โบปาสคาลสำหรับการกำหนดค่าให้กับพอร์ตอนุกรม โดยกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับพอร์ตอนุกรม COM1 มีอัตราบอดเท่ากับ 9600 ไม่มีการตรวจสอบพาริตี บิตข้อมูล 8 บิต และบิตปิดท้าย 1 บิตเขียนได้ดังนี้

PAR1,PAR0 ใช้กำหนดค่าพาริตีโดย

“00” หรือ “10” ไม่มีการตรวจสอบพาริตี
 “01” พาริตีคู่
 “11” พาริตีคี่

STOP ใช้กำหนดจำนวนของบิตปิดท้าย

“1” มีบิตปิดท้ายเท่ากับ 2 บิต
 “0” มีบิตปิดท้ายเท่ากับ 1 บิต

DA1, DA0 ใช้กำหนดความยาวของข้อมูลโดย

“10” ความยาวข้อมูลเท่ากับ 7 บิต
 “11” ความยาวข้อมูลเท่ากับ 8 บิต

การรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรม

มีหลากหลายวิธีในการรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 เช่น ใช้คำสั่งพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ เรียกอินเตอร์พรีตของไบออสหรือของดอส การเขียนหรืออ่านไปยังแอดเดรสของพอร์ตโดยตรง วิธีสุดท้ายเป็นวิธีที่มีความยืดหยุ่นในการใช้งานที่สุด ยกตัวอย่าง ถ้าต้องการส่งข้อมูลไปยังพอร์ตอนุกรม COM1 สามารถเขียนข้อมูลโดยตรงไปที่รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล (แอดเดรส 3F8H) โดยใช้คำสั่งภาษา QBASIC ง่าย ๆ ดังนี้

OUT &H3F8,X

ค่า X ในที่นี้หมายถึงข้อมูลที่ต้องการส่ง มีขนาด 8 บิต