

การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์เพื่ออ่านค่าจากสัญญาณเรดาร์
บนโพรโทคอลที่ซีพี/ไอพี

APPLICATION PROGRAM DEVELOPMENT FOR RADAR SIGNAL
DETECTION ON TCP/IP PROTOCOL



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN 974-648-435-4

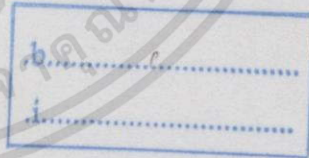
การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์เพื่ออ่านค่าจากสัญญาณเรดาร์
บนโพรโทคอลทีซีพี/ไอพี

APPLICATION PROGRAM DEVELOPMENT FOR RADAR SIGNAL
DETECTION ON TCP/IP PROTOCOL



เกตุ หนุรัตน์
KET NURAT

เลขหม.....
เลขทะเบียน.....41259
วัน, เดือน, ปี 10 ส.ค. 2545



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN 974-648-435-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**APPLICATION PROGRAM DEVELOPMENT FOR RADAR SIGNAL
DETECTION ON TCP/IP PROTOCOL**



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

2001

ISBN 974-648-435-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2001

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์เพื่ออ่านค่าจากสัญญาณเรดาร์บน โพรโตคอล
ทีซีพี/ไอพี
APPLICATION PROGRAM DEVELOPMENT FOR RADAR SIGNAL
DETECTION ON TCP/IP PROTOCOL

ชื่อนักศึกษา นายเกตุ หนูรัตน์
รหัสประจำตัว 41061110
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สุวิพล	สิทธิชีวกาศ
รศ.ดร.ยุทธพงษ์	รังสรรค์เสรี
รศ.สมยศ	จุมณะปิยะ
รศ.ดร.ฟูศักดิ์	ชีวะสุวิทย์
รศ.ดร.กอบชัย	เดชหาญ

วัน/เดือนปี ที่สอบ 28 กันยายน 2544 เวลา 10.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น 4 (ห้อง E12-404)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัคร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 29 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2544

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์เพื่ออ่านค่าจากสัญญาณเรดาร์ บนโพรโตคอลที่ซีพี/ไอพี
นักศึกษา	นายเกตุ หนูรัตน์
รหัสประจำตัว	41061110
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2544
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.กอบชัย เฉลยหาญ

บทคัดย่อ

ระบบเรดาร์ได้ถูกนำมาใช้ในการควบคุมการจราจรทางอากาศของประเทศไทย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการควบคุมการจราจรทางอากาศ วิทยุการบินแห่งประเทศไทยเป็นผู้รับผิดชอบในการกิจควบคุมการจราจรทางอากาศของประเทศไทย และได้ทำการติดตั้งระบบเรดาร์ทั่วทุกภาคของประเทศไทยเพื่อให้ครอบคลุมน่านฟ้าที่รับผิดชอบ แล้วส่งสัญญาณเรดาร์ทั้งหมดจากส่วนกลางและส่วนภูมิภาค ผ่านเครือข่ายดาวเทียม มาประมวลผลที่ศูนย์ควบคุมการจราจรทางอากาศ กรุงเทพฯ เพื่อช่วยเหลือในการปฏิบัติหน้าที่ของเจ้าหน้าที่ควบคุมการจราจรทางอากาศ (Controller) ระบบประมวลผลสัญญาณเรดาร์ที่ใช้ เป็นเครือข่ายมาตรฐานอีเทอร์เน็ต และใช้โพรโตคอลที่ซีพี/ไอพี เป็นโพรโตคอลติดต่อสื่อสาร วิทยานิพนธ์นี้จะเป็นการวิเคราะห์เครือข่ายอีเทอร์เน็ต และการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์เพื่ออ่านค่าจากสัญญาณเรดาร์ บนโพรโตคอลที่ซีพี/ไอพี เพื่อวินิจฉัยการทำงานของระบบประมวลผลสัญญาณเรดาร์ วิเคราะห์ปริมาณการจราจรทางอากาศ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของวิศวกรผู้ดูแลระบบให้ดียิ่งขึ้น พร้อมทั้งนำแพ็คเกจสัญญาณเรดาร์ที่อ่านค่าได้ มาพัฒนาเป็นระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์พร้อมแผนที่ทางการบินบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดยใช้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างสูงที่จะสามารถนำสัญญาณเรดาร์ที่ได้ มาขยายเครือข่ายแสดงผลสัญญาณเรดาร์ไปยังสนามบินส่วนภูมิภาค สำหรับช่วยในงานควบคุมจราจรทางอากาศของประเทศไทยในอนาคต

Thesis Title APPLICATION PROGRAM DEVELOPMENT FOR RADAR
SIGNAL DETECTION ON TCP/IP PROTOCOL

Student Mr. Ket Nurat

Student ID. 41061110

Degree Master of Engineering

Year 2001

Thesis Advisor Assoc. Prof. Dr. Kobchai Dejhan

ABSTRACT

Radar system has been used for Air Traffic Control (ATC) of Thailand for increasing the efficiency and safety. Aerothai (Aeronautical Radio of Thailand) is responsible in air traffic control of country and allocated radar site for responsibility all regions of Thailand and transmits the radar signal via satellite network to Bangkok Air Traffic Control Center (BACC) for controlling the work. The Radar Data Processing (RDP) is Ethernet network and used TCP/IP protocol. Thus this thesis presents a study on Ethernet network using TCP/IP protocol and radar packet capture. This computer network has been used in order to analyze the radar data processing system, the air traffic service quantity and increases the performances of radar engineers and also get radar packet and then develops to radar display system for display radar signal and aviation map on personal computer by windows operating system. Radar display network can more expand to many provincial airport for help in air traffic control of country in the future.

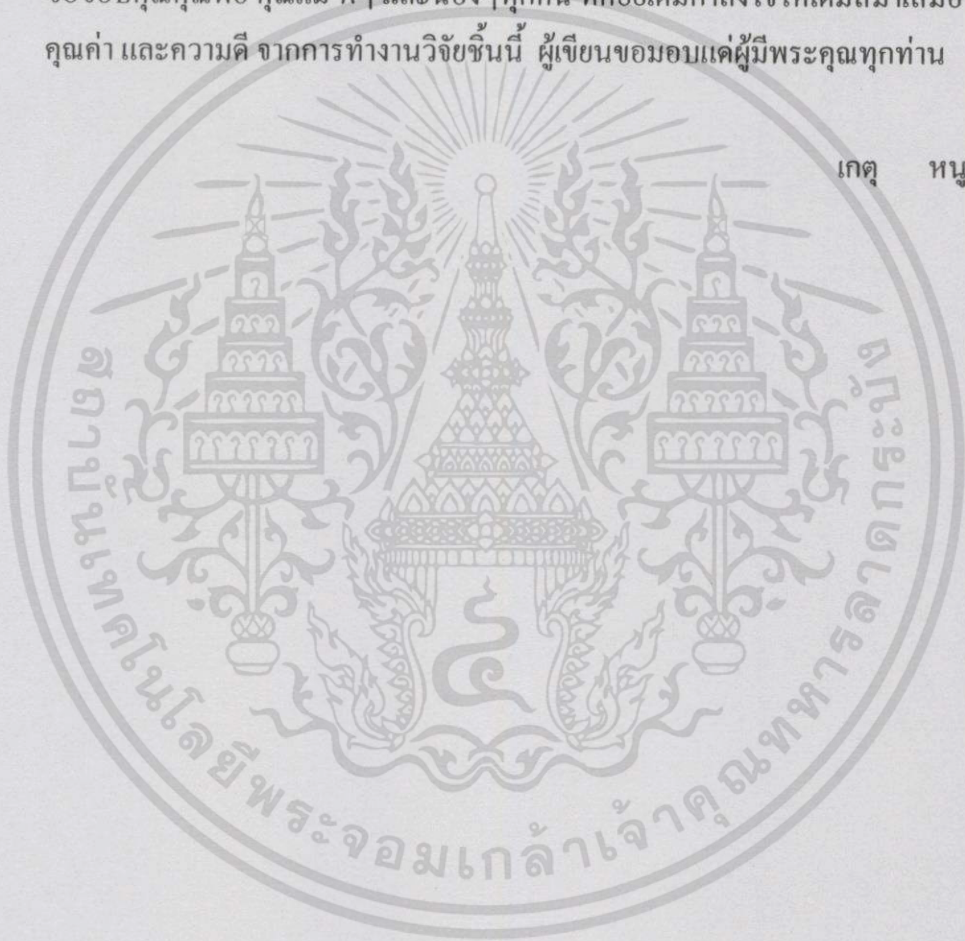
กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือ ให้ความรู้ ให้คำแนะนำ และเอาใจใส่จาก รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ ซึ่งผู้เขียนกราบขอบพระคุณอย่างสูง มา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ คุณศิริ ก้อนทอง คุณวัฒนา จินตนาสมบัติ คุณสุมิตร จักษ์เมธา คุณคมเดช วงศ์สุวรรณ และเพื่อนๆ พี่ๆ กองวิศวกรรมระบบติดตามอากาศยาน วิทยุการบินแห่งประเทศไทย ที่ช่วยเหลือ ให้ข้อมูล และเป็นกำลังใจ ให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จโดยลงด้วยดี

ขอขอบคุณคุณพ่อ คุณแม่ พี่ๆ และน้องๆทุกคน ที่คอยเติมกำลังใจให้เต็มสม่ำเสมอ คุณค่า และความดี จากการทำงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้เขียนขอบอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เกตุ หนูรัตน์



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	V
สารบัญภาพ	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.3 แนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
1.6 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 มาตรฐานเครือข่ายอีเทอร์เน็ต.....	4
2.1 หลักการทำงานของอีเทอร์เน็ต.....	6
2.2 ส่วนประกอบของอีเทอร์เน็ตเฟรม.....	7
บทที่ 3 โพรโตคอล ทีซีพี/ไอพี.....	9
3.1 ชั้นต่างๆของโพรโตคอลทีซีพี/ไอพี.....	9
3.2 ชั้นเชื่อมต่อระบบเครือข่าย.....	10
3.3 ชั้นอินเทอร์เน็ตเวิร์ค.....	11
3.4 ชั้นโฮสทูโฮส.....	15
3.5 ชั้นโปรแกรมประยุกต์.....	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 หลักการทั่วไปในงานควบคุมจราจรทางอากาศ.....	24
4.1 หลักการควบคุมจราจรทางอากาศ.....	24
4.2 ระบบเรดาร์ในงานควบคุมจราจรทางอากาศ.....	25
บทที่ 5 การวิเคราะห์เครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์.....	35
5.1 หลักการทำงานของเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์.....	35
5.2 ลักษณะแพ็คเกจสัญญาณเรดาร์ในงานควบคุมจราจรทางอากาศ.....	38
5.3 การตรวจสอบการติดต่อสื่อสารภายในเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์.....	40
5.4 การเขียนโปรแกรมอ่านค่าจากสัญญาณเรดาร์บน โปรโตคอล ทีซีพี/ไอพี.....	44
บทที่ 6 การพัฒนาระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์ในงานควบคุมจราจรทางอากาศ.....	48
6.1 ระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์.....	48
6.2 แผนที่ในงานควบคุมจราจรทางอากาศ.....	49
6.3 หลักการพัฒนาระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล.....	49
6.4 ส่วนพัฒนาระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และฟังก์ชันพื้นฐานในงานควบคุมจราจรทางอากาศ.....	52
6.5 การออกแบบการขยายเครือข่ายแสดงผลสัญญาณเรดาร์ และการวิเคราะห์เครือข่าย.....	60
บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	65
เอกสารอ้างอิง.....	65
ภาคผนวก.....	66
ภาคผนวก ก.....	67
ภาคผนวก ข.....	69
ภาคผนวก ค.....	70
ประวัติผู้เขียน.....	72

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงมาตรฐาน IEEE 802 ของเครือข่ายคอมพิวเตอร์.....	5
4.1 แสดงประเภทของเรดาร์.....	27
4.2 แสดงชื่อและช่วงความถี่ที่ใช้งานในระบบเรดาร์.....	28
4.3 แสดงโหมคการทำงานของเรดาร์ทุกขุมุมิ.....	31
5.1 แสดงความหมายของฟิลต์ต่างๆ ที่อยู่ในชุดข้อมูลเพ็คเก็ตเรดาร์.....	38
5.2 แสดงรายละเอียดของการส่งสัญญาณเรดาร์ผ่านเลนวงต่างๆ.....	44



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงตัวอย่างอีเทอร์เน็ตประเภทต่างๆ.....	5
2.2 โครงสร้างของเฟรมอีเทอร์เน็ตเฟรม.....	7
3.1 แสดงที่ซีพีไอพีแอสต์เปรียบเทียบเทียบกับมาตรฐานไอเอสไอ.....	9
3.2 แสดงรูปแบบสถาปัตยกรรมของโพรโตคอลที่ซีพีไอพี.....	10
3.3 แสดงรูปแบบไอพีเคทาแกรม.....	12
3.4 แสดงรูปแบบของไอพีแอดเดรส.....	14
3.5 แสดงการแบ่งส่วนของหมายเลขเครือข่าย และหมายเลข โฮสต์ ในแต่ละลำดับชั้นของ เครือข่าย ในคลาส A B C D และ E	15
3.6 แสดงการเอ็นแคปซูลยูคิพี.....	16
3.7 แสดงยูคิพีเคทาแกรม	16
3.8 แสดงหลักการยูคิพีคิมัลติเพล็กซ์ บนพื้นฐานของพอร์ท.....	17
3.9 แสดงการเอ็นแคปซูลที่ซีพี.....	18
3.10 แสดงที่ซีพีเฮคเตอร์.....	19
3.11 แสดงขบวนการต่างๆเรียกใช้โฮสต์โฮสเลเยอร์เพื่อส่งผ่านข้อมูลโดยผ่านหมายเลข พอร์ท.....	21
4.1 แสดงการแบ่งพื้นที่การควบคุมจราจรทางอากาศ.....	25
4.2 แสดงหลักการทำงานพื้นฐานของระบบเรดาร์.....	26
4.3 แสดงหลักการทำงานของระบบเรดาร์ปฐมภูมิ.....	29
4.4 แสดงหลักการทำงานของระบบเรดาร์ทุติยภูมิ.....	30
4.5 แสดงพัลส์ของสัญญาณสอบถามจากสถานีเรดาร์ในระบบเรดาร์ทุติยภูมิ.....	31
4.6 แสดงพัลส์ของสัญญาณตอบจากทรานสปอนเดอร์บนเครื่องบิน.....	31
4.7 แสดงพัลส์ของสัญญาณตอบจากทรานสปอนเดอร์ในโหมด 3/A	32
4.8 แสดงพัลส์ของสัญญาณตอบจากทรานสปอนเดอร์ในโหมด C	32
4.9 แสดงที่ตั้งของสถานีเรดาร์ในงานควบคุมจราจรทางอากาศ.....	33
4.10 แสดงรัศมีครอบคลุมของระบบเรดาร์ในงานควบคุมจราจรทางอากาศ.....	33
4.11 แสดงการแสดงสัญญาณแท้จริงของระบบเรดาร์.....	34

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.1 แสดงระบบประมวลผลสัญญาณเรดาร์.....	36
5.2 แสดงทิศทางของสัญญาณเรดาร์.....	36
5.3 แสดงสถาปัตยกรรมของการประมวลผลแบบ Multi Radar Tracking (MRT).....	37
5.4 แสดงรูปแบบสัญญาณเรดาร์ที่ส่งมาจากสถานีเรดาร์ต่างๆ.....	38
5.5 แสดงรายละเอียดของพีดส์ต่างๆในชุด Plot Records ที่อยู่ในชุดของแพ็คเก็ต สัญญาณเรดาร์	38
5.6 รายละเอียดของพีดส์ต่างๆของ Track Records ที่อยู่ในชุดของแพ็คเก็ตสัญญาณเรดาร์	39
5.7 ตารางแสดงตัวอย่างปริมาณแพ็คเก็ตเรดาร์ในเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์.....	41
5.8 กราฟแสดงตัวอย่างปริมาณแพ็คเก็ตเรดาร์ในเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์.....	42
5.9 แสดงตัวอย่าง ขนาดของอีเทอร์เน็ตแพ็คเก็ตในเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์.....	42
5.10 แสดง Traffic map ของ เครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์.....	43
5.11 แสดงตัวอย่าง รายละเอียดของ Ethernet Packet	43
5.12 แสดงหลักการเขียน โปรแกรมประยุกต์อ่านค่าสัญญาณเรดาร์.....	44
5.13 แสดงสัญญาณเรดาร์จากสถานีเรดาร์ท่าอากาศยานกรุงเทพ.....	45
5.14 แสดงสัญญาณเรดาร์จากสถานีเรดาร์ท่าอากาศยานสุราษฎร์ธานี.....	45
5.15 แสดงสัญญาณเรดาร์จากสถานีเรดาร์ท่าอากาศยานเชียงใหม่.....	46
5.16 แสดงสัญญาณเรดาร์จากสถานีเรดาร์ท่าอากาศยานอุบลราชธานี	46
5.17 แสดงตัวอย่างสัญญาณเรดาร์ทั่วประเทศที่ตรวจจับได้.....	47
6.1 แสดงหลักการพัฒนาระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล.....	48
6.2 แสดงขอบเขตพื้นที่แสดงผลสัญญาณเรดาร์.....	49
6.3 แสดง Boundary layer.....	50
6.4 แสดง Terminal Control Area layer (TMA).....	50
6.5 แสดง Restrict Area layer.....	51
6.6 แสดง Airways layer	51
6.7 แสดงโปรแกรม data management สำหรับการจัดการแผนที่.....	55
6.8 แสดงไฟล์ maps.dat.....	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
6.9 แสดงไฟล์ config.dat.....	56
6.10 แสดงตัวอย่างระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล.....	57
6.11 แสดงตัวอย่าง Function Tracking Zoom Map selection และ Supervisor setting.....	58
6.12 แสดงการขยายเครือข่ายแสดงผลสัญญาณเรดาร์.....	59
6.13 แสดงปริมาณสัญญาณเรดาร์จากสถานีเรดาร์ต่างๆ ณ วันที่ 6 เมษายน 2544.....	60
6.14 แสดงสัญญาณเรดาร์ที่ส่งจากรเรดาร์ค่าเคเวย์.....	60
6.15 แสดงปริมาณสัญญาณแทร็คเรดาร์ต่อแบนด์วิดท์ในเครือข่ายอีเทอร์เน็ต.....	61
6.16 แสดงผังงานการทำงานของ Radar Display.....	61
6.17 แสดงปริมาณแพคเกจสัญญาณเรดาร์ต่อแบนด์วิดท์ในเครือข่ายอีเทอร์เน็ต 10 Base T.....	62
6.18 แสดงปริมาณแพคเกจสัญญาณเรดาร์ต่อประสิทธิภาพการใช้งานเครือข่ายอีเทอร์เน็ต 10 Base T.....	62
6.19 แสดงโครงสร้างของเฟรมอีเทอร์เน็ตที่เข้ารหัสสัญญาณเรดาร์.....	63

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบเรดาร์ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานควบคุมจราจรทางอากาศ ซึ่งส่งผลให้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความมั่นใจในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศให้อยู่ในระดับสูงยิ่งขึ้น ซึ่งแต่เดิมนั้น ในงานควบคุมจราจรทางอากาศจะควบคุมด้วยระบบเสียง (Voice control) ร่วมกับระบบวิทยุเครื่องช่วยในงานควบคุมจราจรทางอากาศเพียงอย่างเดียว

สำหรับในงานควบคุมจราจรทางอากาศของประเทศไทย วิทยุการบินแห่งประเทศไทย เป็นองค์กรที่รับผิดชอบการควบคุมจราจรทางอากาศของประเทศไทย โดยปฏิบัติงานสอดคล้องกับนโยบายกฎข้อบังคับการบินขององค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (International Civil Aviation Organization : ICAO) ซึ่งทำหน้าที่กำหนดมาตรฐานในกิจการการบินและการควบคุมจราจรทางอากาศทั่วโลก

ในการนำระบบเรดาร์มาช่วยเหลือในงานควบคุมจราจรทางอากาศ จำเป็นต้องติดตั้งสถานีเรดาร์ที่ภาคต่างๆของประเทศเพื่อให้ครอบคลุมน่านฟ้าที่รับผิดชอบ แล้วส่งสัญญาณเรดาร์ผ่านเครือข่ายสื่อสาร มาประมวลผลที่ระบบประมวลผลสัญญาณเรดาร์ (Radar, Data Processing System : RDP) ร่วมกันอีกครั้งที่ส่วนกลาง เพื่อส่งสัญญาณเรดาร์ทั้งหมดไปช่วยเหลือในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศ สำหรับที่มาของงานวิจัยชิ้นนี้จึงมีแนวความคิดว่า ปัจจุบันสัญญาณเรดาร์ที่ส่งมาจากสถานีเรดาร์ต่างๆทั่วประเทศ ได้วิ่งอยู่ในเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์แล้ว ทำอย่างไรจึงจะตรวจจับสัญญาณเรดาร์ที่ส่งมาจากสถานีเรดาร์ต่างๆทั่วประเทศได้ พร้อมทั้งนำสัญญาณเรดาร์ที่ตรวจจับได้มาพัฒนาเป็นระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้จะมีประโยชน์ทั้งในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจสอบการทำงานของสถานีเรดาร์ ตรวจสอบการทำงานของเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์ และยังสามารถขยายระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์ไปยังสถานที่ต่างๆ เช่น สนามบินส่วนภูมิภาค โดยที่ไม่ต้องพึ่งพาสถานีงาน (Workstation) ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในราคาที่สูงมาก ซึ่งปัจจุบันการนำระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์มาใช้นี้ ได้ถูกจำกัดการใช้งานอยู่ที่ส่วนกลางและสนามบินภูมิภาคบางแห่งเท่านั้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

สำหรับวัตถุประสงค์ในงานวิจัยชิ้นนี้ประกอบด้วย

1. ศึกษาการรับส่งข้อมูลในเครือข่ายมาตรฐานอีเทอร์เน็ตโดยใช้โพรโทคอลทีซีพี/ไอพี
2. ศึกษาการรับส่งสัญญาณเรดาร์ในเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์ พร้อมทั้งค้นหาหลักการเขียนโปรแกรมเพื่อที่จะตรวจจับสัญญาณเรดาร์จากเครือข่าย
3. ศึกษาการพัฒนาระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

1.3 แนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

เนื่องจากว่าปัจจุบัน สัญญาณเรดาร์ทั้งหมดที่วิ่งอยู่ในเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์โดยใช้โพรโทคอลทีซีพี/ไอพีนี้ หากสามารถวิเคราะห์การรับ-ส่งสัญญาณเรดาร์ในเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์ได้ ค้นหาหลักการเพื่อที่จะตรวจจับสัญญาณเรดาร์จากเครือข่าย พร้อมทั้งสามารถพัฒนาระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์ พร้อมทั้งฟังก์ชันพื้นฐานในงานควบคุมจราจรทางอากาศบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ก็จะเป็นประโยชน์อย่างสูง สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จริงในงานควบคุมจราจรทางอากาศ และปัจจุบันนี้เทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์และการพัฒนาโปรแกรมได้พัฒนาขึ้นมาในระดับสูงแล้ว ควรจะสามารถพัฒนาระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์ขึ้นเองได้โดยไม่ต้องพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศเพียงอย่างเดียว โดยในงานวิจัยนี้ จะพัฒนาโปรแกรมโดยใช้ภาษาวิชวลเบสิก (VISUAL BASIC)

1.4 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตในงานวิจัยชิ้นนี้เป็นการวิเคราะห์เครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์ของบริษัทวิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด เขียนโปรแกรมตรวจจับสัญญาณเรดาร์ที่ส่งมาจากสถานีเรดาร์ต่างๆทั่วประเทศ พัฒนาแผนที่ที่ในงานควบคุมจราจรทางอากาศ พร้อมทั้งพัฒนาระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดยใช้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ โดยนำสัญญาณเรดาร์ทุกสัญญาณประจำท่าอากาศยานเชียงใหม่ ท่าอากาศยานอุบลราชธานี ท่าอากาศยานสุราษฎร์ธานี และท่าอากาศยานกรุงเทพฯ มาแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์

1.5 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

รายละเอียดในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการศึกษา แนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย และขั้นตอนของงานวิจัย

บทที่ 2 มาตรฐานเครือข่ายอินเทอร์เน็ต กล่าวถึงหลักการทำงานของอินเทอร์เน็ต และ ส่วนประกอบของเฟรมอินเทอร์เน็ต

บทที่ 3 โพรโตคอลทีซีพี/ไอพี กล่าวถึงชั้นต่างๆของโพรโตคอลทีซีพี/ไอพี ได้แก่ ชั้นเชื่อมต่อระบบเครือข่าย ชั้นอินเทอร์เน็ต ชั้นโฮสต์ทูโฮสต์ และชั้นโปรแกรมประยุกต์

บทที่ 4 หลักการทั่วไปในงานควบคุมจราจรทางอากาศ กล่าวถึงหลักการการควบคุมจราจรทางอากาศ และระบบเรดาร์ในงานควบคุมจราจรทางอากาศ

บทที่ 5 การวิเคราะห์เครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์ ประกอบด้วย หลักการทำงานของเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์ ลักษณะแพ็คเกจสัญญาณเรดาร์ในงานควบคุมจราจรทางอากาศ การตรวจสอบการติดต่อสื่อสารภายในเครือข่าย และหลักการเขียนโปรแกรมอ่านค่าจากสัญญาณเรดาร์บนโพรโตคอลทีซีพี/ไอพี

บทที่ 6 การพัฒนาระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์ในงานควบคุมจราจรทางอากาศบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล กล่าวถึง ระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์ แผนที่ในงานควบคุมจราจรทางอากาศ หลักการพัฒนาระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และการออกแบบการขยายเครือข่ายแสดงผลสัญญาณเรดาร์และการวิเคราะห์เครือข่าย

บทที่ 7 กล่าวถึงสรุปและข้อเสนอแนะของงานวิจัย

บทที่ 2

มาตรฐานเครือข่ายอีเทอร์เน็ต

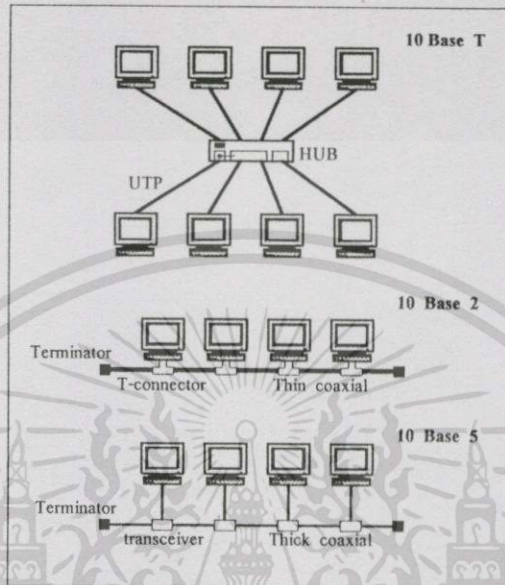
เครือข่ายอีเทอร์เน็ต ได้คิดค้นสำเร็จครั้งแรกในปี ค.ศ. 1973 โดย Bub Metcalfe ที่ศูนย์วิจัย Xerox Palo Alto ในแคลิฟอร์เนีย ต่อมาได้พัฒนาเพิ่มเติมโดยบริษัท Xerox Intel และ Digital Equipment Cooperation (DEC) กำหนดเป็นมาตรฐานอีเทอร์เน็ต (DIX Ethernet) และในภายหลัง สถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Institute Of Electrical and Electronics Engineer : IEEE) ได้นำมาพัฒนาให้เป็นมาตรฐานของ IEEE ซึ่งเป็น มาตรฐานระบบเปิด ซึ่งเครือข่ายอีเทอร์เน็ต ได้นำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญในการใช้งานติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ รวมทั้งการใช้งานข้อมูลข่าวสารร่วมกันทั้งในค่านับสัมคมการทำงาน และวงการการศึกษาวิจัย [4]

เครือข่ายอีเทอร์เน็ตเป็นเทคโนโลยีระบบเครือข่ายท้องถิ่น (Local Area Network) ที่มีการพัฒนา และได้เพิ่มความสามารถใหม่ๆเข้าไปในระบบอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ส่งผลให้เป็นระบบเครือข่ายที่มีความน่าเชื่อถือสูง ราคาต่ำ ง่ายในการติดตั้ง มีเครื่องมือในการบริหารเครือข่ายมากมาย และทำให้เป็นเครือข่ายที่ได้รับความนิยมสูงสุดในปัจจุบันนี้ โดยระบบอีเทอร์เน็ตเริ่มแรกเป็นระบบโคแอกเชียลเคเบิล 10 Mbps และภายหลังพัฒนาความเร็วให้สูงขึ้นเป็น 100 Mbps (Fast Ethernet) และ 1000 Mbps (Gigabit Ethernet) ตามลำดับ

การสื่อสารแบบอีเทอร์เน็ต ที่มีมาตรฐานความเร็วการส่งข้อมูล 10 เมกะบิตต่อวินาที อาจมีโทโพโลยีแบบบัสหรือแบบดาว สามารถเชื่อมต่อเว็คสแตชันต่างๆได้จำนวนมาก จำนวนสูงสุดของเว็คสแตชันที่ต่อได้ ขึ้นอยู่กับชนิดของสายเคเบิลที่ใช้ สายเคเบิลที่ใช้ในระบบอีเทอร์เน็ตแบบบัส IEEE ได้กำหนดมาตรฐานอีเทอร์เน็ตไว้หลายประเภทตามชนิดของสายสัญญาณ เช่น

- 10Base5 อีเทอร์เน็ตโทโพโลยีแบบบัสซึ่งใช้สายโคแอกเชียลแบบหนา (Thick Ethernet) ความยาวของสายในเซกเมนต์หนึ่งๆไม่เกิน 500 เมตร
- 10Base2 อีเทอร์เน็ตโทโพโลยีแบบบัสซึ่งใช้สายโคแอกเชียลแบบบาง (Thin Ethernet) ความยาวของสายในเซกเมนต์หนึ่งๆไม่เกิน 185 เมตร
- 10BaseT อีเทอร์เน็ตโทโพโลยีแบบดาวซึ่งใช้ฮับเป็นศูนย์กลาง สถานีและฮับเชื่อมต่อด้วยสายยูทีพี (Unshield Twisted Pair) ด้วยความยาวของสายไม่เกิน 100 เมตร
- 10BaseF อีเทอร์เน็ตซึ่งใช้เส้นใยนำแสง มีมาตรฐานย่อยคือ 10BaseFL 10BaseFB และ 10BaseFP

ส่วนมาตรฐานอีเทอร์เน็ต 100 เมกะบิตต่อวินาที ที่นิยมใช้ในปัจจุบันได้แก่ 100BaseTX และ 100BaseFX และสำหรับอีเทอร์เน็ตความเร็วสูงแบบกิกะบิตอีเทอร์เน็ตประกอบด้วย 1000BaseT 1000BaseLX และ 1000BaseSX



ภาพที่ 2.1 แสดงตัวอย่างอีเทอร์เน็ตประเภทต่างๆ

ตารางที่ 2.1 แสดงมาตรฐาน IEEE 802 ของเครือข่ายคอมพิวเตอร์

IEEE Standard	มาตรฐานของเครือข่าย
IEEE 802.1	LAN Bridging
IEEE 802.2	Logical Link Control (LLC)
IEEE 802.3	Standardization of Ethernet Technology, Include 100BASE-TX, 100BASE-TF and 100BASE-T4 (Fast Ethernet)
IEEE 802.4	Token Bus standard
IEEE 802.5	Token Ring standard
IEEE 802.6	Metropolitan Area Network (MAN)
IEEE 802.7	Broadband technical advisory
IEEE 802.8	Fiber - optic technical advisory
IEEE 802.9	Integrate Voice/Data
IEEE 802.10	LAN Security
IEEE 802.11	Wireless LAN
IEEE 802.12	100BASE-VG (100VG-AnyLAN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 หลักการทำงานของอีเทอร์เน็ต

หลักการทำงานของอีเทอร์เน็ต จะมีลักษณะการใช้งานโดยเป็นการจัดการช่องการสื่อสารร่วมกันโดยกระจายการควบคุม ซึ่งเรียกว่า CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection) โดยวิธีนี้เองจะไม่มีส่วนจัดการควบคุมส่วนกลางไปยังช่องสัญญาณ (Channel) ต่างๆ และจะไม่มีแบ่งช่องของ Time Slot หรือ Frequency Bands เมื่อสถานีต้องการที่จะส่งข้อมูล มันก็จะร้องขอสิทธิช่วงชิง ในการส่งข้อมูลไปยังส่วนที่ทำหน้าที่กระจายการสื่อสาร (Shared Communication Channel) เมื่อได้รับสิทธิช่วงชิงจากช่องการสื่อสารแล้ว สถานีก็สามารถที่จะส่งข้อมูลแพ็คเกจ (Packet) ออกไปได้ [4]

ในการที่จะได้ช่องการสื่อสารนั้น สถานีจะคอยตรวจสอบเมื่อในเครือข่าย (Network) ยังไม่ว่าง คือมีการรับส่งข้อมูลอยู่ (Carrier Sense) และมันจะรอการส่ง จนกระทั่งช่องการสื่อสารนั้นว่าง มันก็จะทำการเริ่มส่งข้อมูลได้ และในขณะที่กำลังส่งข้อมูลอยู่นั้น มันเองก็ยังคงคอยฟังหรือตรวจสอบว่ามีสัญญาณ Collision การชนกันของข้อมูลหรือไม่ สัญญาณ Collision ที่เกิดขึ้นนั้น จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ ในการเริ่มส่งข้อมูลเท่านั้น ถ้าไม่มีสัญญาณ Collision เกิดขึ้น ผู้ส่งก็สามารถได้รับช่องสัญญาณ และสามารถส่งแพ็คเกจ ออกไปได้ ถ้าในกรณีที่สถานีตรวจพบการชนกันของข้อมูลขึ้น (Collision) การส่งข้อมูลก็ถูกสั่งให้หยุดทำการส่งแพ็คเกจ โดยทันที เพื่อที่จะให้สถานีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องรับรู้การชนกันของข้อมูลขึ้น ซึ่งก็รู้ทันทีว่าเกิดการติดขัดของช่องสัญญาณขึ้น ตัวของสถานีก็จะรับรู้ ถึงการเกิดการชนกันของข้อมูลขึ้น ก็ต้องทำการส่งข้อมูลออกไปใหม่ (Retransmission) การส่งข้อมูลออกไปใหม่ จะใช้เป็นช่วงเวลาของการสุ่ม (Random delay period)

เครือข่ายอีเทอร์เน็ต 10Base5 (Thick Ethernet) ซึ่งเป็นมาตรฐานของเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์ มีคุณลักษณะ คือ

1. จำนวนของเซกเมนต์ที่มีได้ 5 เซกเมนต์
2. ความยาวสูงสุดต่อ 1 เซกเมนต์ คือ 500 เมตร
3. ความยาวรวมของทุกเซกเมนต์เท่ากับ 2500 เมตร
4. ระยะห่างน้อยที่สุดระหว่างเวกสเตรชั่นเท่ากับ 2.5 เมตร
5. จำนวนของเวกสเตรชั่นที่สามารถเชื่อมต่อได้ใน 1 เซกเมนต์ เท่ากับ 100 เวกสเตรชั่น
6. จำนวนของเวกสเตรชั่น สูงสุดที่สามารถเชื่อมต่อได้ เท่ากับ 1024 เวกสเตรชั่น
7. ขนาดความยาวสูงสุดระหว่างเวกสเตรชั่นไปยังทรานซีฟเวอร์ไม่เกิน 50 เมตร
8. ค่าความต้านทานภายใน ภายในสาย Coaxial เท่ากับ 50 โอห์ม
9. อัตราการรับส่งข้อมูลสูงสุด 10 Mbps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ส่วนประกอบของอีเทอร์เน็ตเฟรม

Preamble	Destination Address	Source Address	Type	Data	FCS
----------	---------------------	----------------	------	------	-----

ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของอีเทอร์เน็ตเฟรม

พรีแอมเบิล (Preamble)

มีขนาด 64 บิต ใช้เข้าจังหวะ (Synchronize signal) ระหว่างสถานีส่งและสถานีรับข้อมูล โดยปกติจะใช้พรีแอมเบิลแสดงจุดเริ่มต้นของแพ็คเก็ต หรือเฟรม ด้วยเหตุที่พรีแอมเบิลเป็นสัญญาณที่ใช้สร้างความพร้อมเท่านั้น ดังนั้นภายในจึงประกอบด้วยบิตของข้อมูลที่ไม่มีความหมายต่อเวกสเตรชันผู้รับ

ที่อยู่ปลายทาง (Destination address)

มีขนาด 6 ไบท์ ใช้สำหรับเวกสเตรชันนั้นๆ ในการที่จะส่งแพ็คเก็ต ไปยังเวกสเตรชันอื่น ซึ่งแต่ละเวกสเตรชันจะทำการตรวจสอบฟิลด์นี้ว่า ควรจะรับแพ็คเก็ต นี้หรือไม่ เลขฮาร์ดแวร์แอดเดรสขนาด 6 ไบท์นี้เรียกว่าอีเทอร์เน็ตแอดเดรสหรือแมคแอดเดรส การ์ดเชื่อมต่อระบบเครือข่ายทุกการ์ด จะมีเลข 6 ไบท์นี้ ใช้ออกถึงเลขประจำตัวของการ์ดเชื่อมต่อนั้นๆ ของเวกสเตรชันที่ต้องการส่งข้อมูลไป

ที่อยู่ต้นทาง (Source address)

มีขนาด 6 ไบท์ เป็นแอดเดรสสถานีต้นทางที่ส่งข้อมูล และแอดเดรสนี้จะไม่ซ้ำกันกับอีเทอร์เน็ตแอดเดรสอื่นๆ

ไทป์ (Type)

มีขนาด 2 ไบท์ เป็นข้อมูลที่ระบุชนิดของโพรโตคอลของแพ็คเก็ต เช่น TCP/IP IPX และ XNS เป็นต้น ถ้ามีการใช้งานหลายโพรโตคอลในระดับเดียวกันบนสื่อเดียวกัน จะใช้ค่านี้ออกถึงโพรโตคอลในระดับชั้นบนขึ้นไป

ข้อมูล (Data)

เป็นข้อมูลที่มีขนาดน้อยที่สุด 46 ไบต์ แต่เมื่อรวมกับฟิลด์ต่างๆเข้าด้วยกันแล้ว จะมีขนาดไม่น้อยกว่า 72 ไบต์ ถ้าแพ็คเก็ต ใดๆของอีเทอร์เน็ตมีขนาดเล็กกว่านี้ จะถือว่าเป็นแพ็คเก็ตที่ไม่สมบูรณ์ ขนาดที่ใหญ่ที่สุดคือ 1500 ไบต์

เฟรมซีเอส (Frame Check Sequence : FCS)

มีขนาด 4 ไบต์ ใช้สำหรับตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ภายในฟิลด์จะประกอบด้วย บิตของข้อมูลที่เรียกว่า Cyclic Redundancy Check ที่ได้มาจากการคำนวณฟิลด์อื่นๆในเฟรม เมื่อเว็คเตอร์ได้รับเฟรมแล้วก็จะทำการคำนวณอีกครั้งหนึ่ง โดยเทียบกับข้อมูลที่รับกับค่าที่ได้จากการคำนวณ และเฟรมก็จะทราบว่าเกิดความผิดพลาดขึ้นหรือไม่



บทที่ 3

โพรโทคอล ทีซีพี/ไอพี

โพรโทคอลทีซีพี ได้ถูกตั้งชื่อตามโพรโทคอลหลักที่สำคัญ คือ โพรโทคอลทีซีพี (Transmission Control Protocol : TCP) และโพรโทคอลไอพี (Internet Protocol : IP) เป็นชุดโพรโทคอลที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถใช้ทรัพยากรและบริการฟังก์ชันพื้นฐานต่างๆ สำหรับใช้งานสื่อสารข้อมูลในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ได้ เป็นโพรโทคอลที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากความสามารถในการเชื่อมต่อเครือข่ายที่ใช้ฮาร์ดแวร์ต่างชนิดกันได้อย่างสอดคล้องกลมกลืน

3.1 ชั้นต่างๆของโพรโทคอลทีซีพี/ไอพี

ระบบการสื่อสารข้อมูลในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ประกอบด้วยทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ซับซ้อน การมองภาพของระบบโดยรวมทั้งหมดเป็นหน่วยใหญ่ต่อการทำความเข้าใจ การใช้แบบอ้างอิงที่แบ่งระบบออกเป็นส่วนย่อยจะช่วยลดความซับซ้อนและสร้างความเข้าใจได้ง่ายกว่า เครือข่ายคอมพิวเตอร์มีแบบอ้างอิงที่ใช้เป็นมาตรฐานคือแบบอ้างอิงโอเอสไอ (Open System Interconnection Reference Model : OSI) ในขณะที่ทีซีพี/ไอพี เป็นโพรโทคอลที่กำหนดก่อน โอเอสไอ และมีแบบอ้างอิงเฉพาะดังรูปที่ 3.1

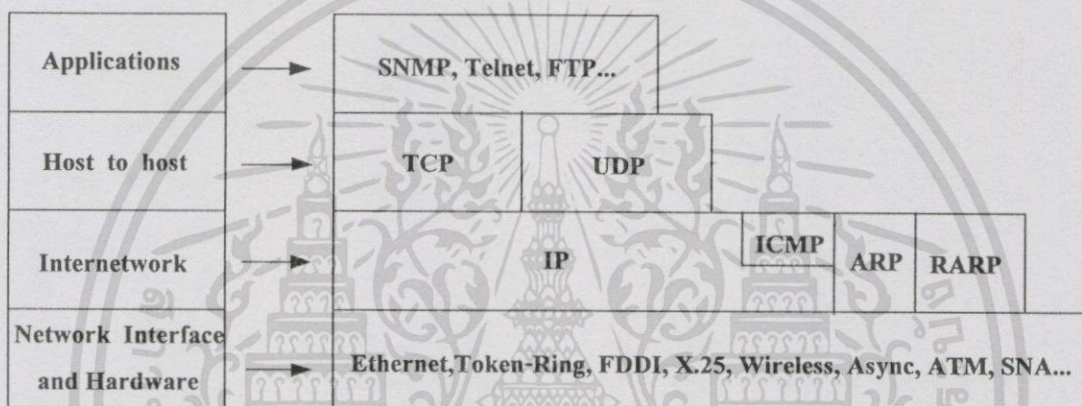
OSI	TCP/IP
APPLICATION	APPLICATION
PRESENTATION	
SESSION	
TRANSPORT	HOST TO HOST
NETWORK	INTERNETWORK
DATALINK	NETWORK
PHYSICAL	INTERFACE

ภาพที่ 3.1 แสดงทีซีพี/ไอพีเสตคเปรียบเทียบกับมาตรฐานโอเอสไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทีซีพี/ไอพีเป็นโพรโทคอลมาตรฐาน ซึ่งมีกลไกการทำงานเป็นชั้นหรือเลเยอร์ (layer) เรียงต่อกัน โดยในแต่ละเลเยอร์จะมีการทำงานเทียบได้กับโมเดลโอเอสไอมาตรฐาน แต่บางเลเยอร์ของโพรโทคอลทีซีพี/ไอพีเทียบได้กับโอเอสไอหลายๆเลเยอร์รวมกัน [1,2] ซึ่งในแต่ละเลเยอร์ของโพรโทคอลทีซีพี/ไอพีจะประกอบด้วย

1. ชั้นเชื่อมต่อระบบเครือข่าย (Network Interface Layer)
2. ชั้นอินเทอร์เน็ต (Internetwork Layer)
3. ชั้นโฮสต์ทู่โฮสต์ (Host to Host Layer)
4. ชั้นโปรแกรมประยุกต์ (Application Layer)



ภาพที่ 3.2 แสดงรูปแบบสถาปัตยกรรมของโพรโทคอลทีซีพี/ไอพี

3.2 ชั้นเชื่อมต่อระบบเครือข่าย (Network Interface Layer)

ชั้นเชื่อมต่อระบบเครือข่าย เป็นชั้นล่างสุดที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับอุปกรณ์สื่อสารต่างๆ ทำงานในชั้นเดียวกับ Physical layer และ Data Link layer ของแบบอ้างอิงโอเอสไอ ทำหน้าที่กำหนดวิธีกำหนดคุณสมบัติทางไฟฟ้า เช่น ความถี่การรับส่งข้อมูลในระดับบิต ว่าเป็นลอจิก 0 หรือ 1 กำหนดระยะเวลาในการส่ง การเริ่มต้นและสิ้นสุดการติดต่อ ลักษณะการติดต่อสื่อสารว่าเป็นทิศทางเดียวหรือสองทิศทาง รวมทั้งกำหนดคุณสมบัติทางกล เช่นมาตรฐานของขั้วต่อและสายเคเบิล

ส่วนหน้าที่ในด้านการเชื่อมต่อข้อมูล (Data Link) ทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลจากชั้นล่าง ตรวจสอบความถูกต้อง แล้วส่งข้อมูลที่ปราศจากข้อผิดพลาดนี้ไปให้ชั้นควบคุมเครือข่าย แบ่งข้อมูลที่มีความยาวมากๆ ออกเป็นกลุ่มข้อมูลย่อยๆ (Data frame) และจะเพิ่มกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล โดยเพิ่มข้อมูลสำหรับการตรวจสอบติดไว้กับข้อมูลทุกๆเฟรม โดยเพิ่มทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านส่วนหัว (Header) และส่วนหาง (Tailer) เมื่อข้อมูลที่รับส่งมีการเสียหาย สูญหาย หรือมีข้อมูลที่ซ้ำซ้อน ในขั้นนี้สามารถตรวจสอบความผิดปกติได้ และกำจัดเฟรมที่ซ้ำออกไป นอกจากนี้โปรแกรมในขั้นนี้ ยังมีหน้าที่รักษาความสมดุลในการรับส่งข้อมูล และการช่วงชิงช่องสื่อสาร

3.3 ชั้นอินเทอร์เน็ตเวิร์ค (Internetwork Layer)

3.3.1 อินเทอร์เน็ตโพรโตคอล

อินเทอร์เน็ตโพรโตคอล เป็นโพรโตคอลหลักในการทำงานของชั้นควบคุมเครือข่าย มีหน้าที่รับผิดชอบการติดต่อรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ในเครือข่ายสื่อสาร ให้เป็นไปได้ด้วยความเรียบร้อย และมีโพรโตคอลสนับสนุนอื่นๆ เช่น ICMP IGMP ARP และ RARP ข้อมูลที่รับส่งเรียกว่า เดตาแกรม (Datagram) ซึ่งจะถูกส่งไปในระบบที่อาจจะเชื่อมต่อกันโดยตรง หรือเชื่อมต่อกันผ่านเครือข่ายสื่อสารอื่นๆ โดยผ่านหมายเลขไอพีแอดเดรส

อินเทอร์เน็ตโพรโตคอล จะมีการทำงานแบบไม่มีการเชื่อมต่อก่อน (Connectionless) เดตาแกรมแต่ละตัวจะถูกจัดเส้นทางในการส่งเป็นอิสระต่อกัน และจะไม่มี การรับประกันความถูกต้อง ความน่าเชื่อถือ หรือแม้แต่การเรียงลำดับเดตาแกรมให้อยู่ในลำดับที่ถูกต้อง

ชุดข้อมูลจะถูกส่งเข้าไปในระบบเครือข่าย โดยแต่ละเครือข่ายจะมีเครื่องที่ทำหน้าที่จัดเส้นทาง (Router) ซึ่งจะดูหมายเลขปลายทางแล้วตัดสินใจว่าจะส่งข้อมูลไปในเส้นทางไหน ตัวจัดเส้นทางนี้อาจจะเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ธรรมดาซึ่งเพิ่มหน้าที่การค้นหาเส้นทางเข้าไป หรือใช้เครื่องที่ทำหน้าที่จัดเส้นทางโดยเฉพาะ กว่าที่ข้อมูลจะไปถึงปลายทาง อาจต้องผ่านตัวจัดเส้นทางของหลายเครือข่าย จึงต้องมีการผนวกหมายเลขของเครื่องต้นทางและเครื่องปลายทางเข้าไปในชุดข้อมูล เพื่อให้เราที่เครื่องรู้ว่าข้อมูลที่ผ่านเข้ามา ต้องการจะไปไหน ถ้าไม่ใช้หมายเลขของเครือข่ายตัวเอง ก็จะส่งต่อไปยังเครือข่ายอื่น แต่ถ้าใช้ก็จะส่งไปให้สมาชิกทั้งหมดของเครือข่าย เครื่องที่อยู่ในเครือข่ายจะตรวจสอบชุดข้อมูลที่ผ่านเข้ามาทั้งหมดว่าเป็นข้อมูลของตัวเองหรือไม่ ถ้าใช่ก็จะรับข้อมูลนั้นไว้ แล้วส่งให้กับส่วนการทำงานในชั้นโฮสทูโฮสอีกทีหนึ่ง

ไอพีเดตาแกรมประกอบด้วยฟิลด์ของเฮดเดอร์และฟิลด์ของข้อมูล แสดงดังภาพที่ 3.3 ประกอบด้วยฟิลด์ต่างๆ ได้แก่

เวอร์ชัน (Version)

ขนาด 4 บิต แสดงรุ่นของโพรโตคอล

ความยาวของเฮดเดอร์ (Internet Header Length : IHL)

ขนาด 4 บิต บอกความยาวของเฮดเดอร์เฉพาะเคทาแกรม .หน่วยนับความยาวจะเป็นจำนวนเท่าของ 4 ไบท์

0		15		16		31	
version	IHL	TOS		total length			
identification				flags	fragment offset		
time to live		protocol		header checksum			
source IP address							
destination IP address							
options				padding			
data							
...							

ภาพที่ 3.3 แสดงรูปแบบไอพีเคทาแกรม

ชนิดของบริการ (Type of service : TOS)

ขนาด 8 บิต ใช้กำหนดรูปแบบการให้บริการตามลักษณะของโพรโตคอลประยุกต์

ความยาวรวม (Total length)

ขนาด 16 บิต บอกความยาวทั้งหมดของเคทาแกรม ทั้งเฮดเดอร์และข้อมูล มีหน่วยนับเป็นไบท์

ไอเดนทิฟิเคชัน (Identification)

ขนาด 16 บิต ใช้กับการแบ่งข้อมูลย่อยเพื่อให้เหมาะสมกับเฟรมระดับเคทาลิงค์ แสดงหมายเลขประจำชิ้นเคทาแกรม หากต้องมีการแฟล็กเมนต์ก็จะใช้เพื่อเป็นค่าเพื่อบอกว่าเป็นเคทาแกรมชุดเดียวกัน สถานีที่สร้างเคทาแกรมจะเพิ่มค่านี้ครั้งละหนึ่งให้แก่ละเคทาแกรมแต่ละชุดใหม่ที่ส่งออกไป

แฟล็ก (Flags)

ขนาด 3 บิต ควบคุมและแสดงรูปแบบของแฟร็กเมนต์

แฟล็กเมนต์ออฟเซต (Fragment offset)

ขนาด 13 บิต ใช้บอกตำแหน่งออฟเซตของข้อมูลในแต่ละแฟร็กเมนต์อ้างอิงจากข้อมูลเดิม

ไทม์ทูลิป (Time to live)

ขนาด 8 บิต ใช้กำหนดอายุของเดตาแกรม ใช้กำหนดจำนวนเราเตอร์ที่เดตาแกรมจะเดินทางผ่านได้ ค่านี้ใช้แก้ปัญหาเดตาแกรมวนรอบในเครือข่าย

โพรโทคอล (protocol)

ขนาด 8 บิต ใช้แสดงชนิดของโพรโทคอลระดับบนที่เอ็นแคปซูลัตในเดตาแกรม

ผลรวมตรวจสอบเฮดเดอร์ (Header Checksum)

ขนาด 16 บิต ใช้ตรวจสอบความผิดพลาดเฉพาะเฮดเดอร์ โดยไม่รวมส่วนของข้อมูล

ไอพีแอดเดรสต้นทาง (source IP address)

ขนาด 32 บิต กำหนดไอพีแอดเดรสต้นทาง

ไอพีแอดเดรสปลายทาง (destination IP address)

ขนาด 32 บิต กำหนดไอพีแอดเดรสปลายทาง

ออปชัน (Option)

ขนาดไม่คงที่ ใช้สำหรับกำหนดข่าวสารเพิ่มเติมเกี่ยวกับเดตาแกรม

แพดดิง (Padding)

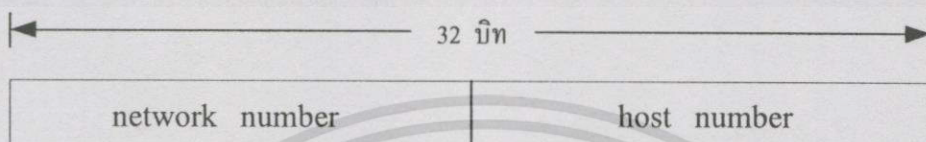
ขนาด 0 ถึง 3 ไบต์ ใช้สำหรับผนวกเพิ่ม เพื่อให้จำนวนไบต์ของ option รวมกับ padding เป็นจำนวนเท่าของ 32 บิต

ข้อมูล (Data)

ขนาดไม่คงที่ เป็นข้อมูลที่รับส่ง

3.3.2 ไอพีแอดเดรส

อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อเข้ากับเครือข่าย ซึ่งอาจจะเป็น โฮสต์ เราเตอร์ หรือเครื่องพิมพ์ เพื่อที่จะสามารถทำงานตามข้อกำหนดของทีซีพี/ไอพีได้ จำเป็นจะต้องมีหมายเลขประจำอุปกรณ์นั้น สำหรับไอพีรุ่นสี่ กำหนดให้มีไอพีแอดเดรสขนาด 32 บิต ประกอบขึ้นจากหมายเลขสองส่วนคือ เลขเครือข่าย (Network number) และ เลขโฮสต์ (Host number) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 แสดงรูปแบบของไอพีแอดเดรส

สำหรับการที่แบ่งไอพีแอดเดรสออกเป็นสองส่วนที่ประกอบด้วยเลขเครือข่าย และเลขโฮสต์ ก็เพื่อประโยชน์ในการดูแลระบบ เราเตอร์จะอาศัยเลขเครือข่ายเพื่อเลือกเส้นทางส่งแพ็กเก็ต โดยอาศัยหลักการต่อไปนี้

- โฮสต์ที่มีเลขเครือข่ายชุดเดียวกันย่อมอยู่ภายในเครือข่ายเดียวกัน และสามารถสื่อสารถึงกันโดยใช้เฟรมเดทาลิงค์โดยไม่ต้องพึ่งพาเราเตอร์
- โฮสต์ที่มีเลขเครือข่ายต่างกัน จะอยู่ต่างเครือข่ายกัน การสื่อสารระหว่างโฮสต์จะอาศัยเราเตอร์ที่เชื่อมเครือข่ายเป็นผู้นำส่งแพ็กเก็ต เราเตอร์อาจจะเชื่อมเครือข่ายที่อยู่ติดกัน หรือส่งแพ็กเก็ตผ่านเราเตอร์อื่นไปยังโฮสต์ปลายทาง

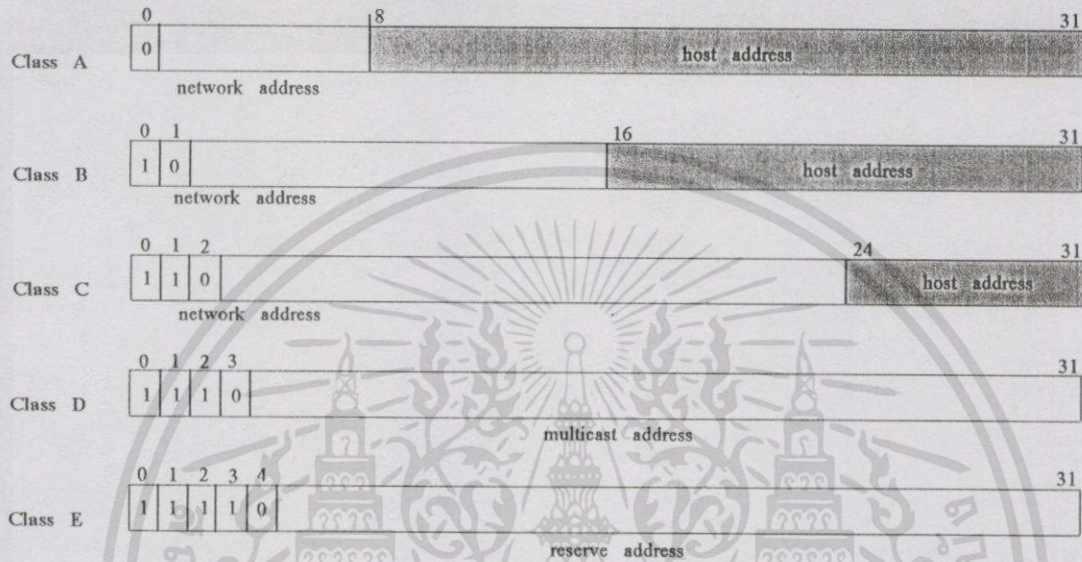
ไอพีแอดเดรสมีการจัดแบ่งออกเป็นกลุ่ม หรือคลาส (class) ซึ่งมีทั้งหมด 5 กลุ่มด้วยกัน คือ คลาส A B C D และ E ซึ่งแสดงโครงสร้างดังภาพที่ 3.5

- คลาส A เป็นหมายเลขไอพีแอดเดรสซึ่งมีบิตแรกเป็น "0" มีหมายเลขไอพีแอดเดรสที่เริ่มตั้งแต่ 0 - 127 กำหนดให้กับเครือข่ายที่มีขนาดใหญ่ สามารถมีหมายเลขเครื่องลูกข่ายได้ 2^{24} หมายเลข (16,777,214 หมายเลข) หมายเลขไอพีแอดเดรสจะมีลักษณะ net.net.host.host

- คลาส B เป็นหมายเลขไอพีแอดเดรสซึ่งมี 2 บิตแรกเป็น "10" มีหมายเลขไอพีแอดเดรสที่เริ่มตั้งแต่ 128 - 191 สามารถมีหมายเลขเครื่องลูกข่ายได้ 2^{16} หมายเลข (65,536 หมายเลข) หมายเลขไอพีแอดเดรสจะมีลักษณะ net.host.host.host

- คลาส C เป็นหมายเลขไอพีแอดเดรสซึ่งมี 3 บิตแรกเป็น "110" มีหมายเลขไอพีแอดเดรสที่เริ่มตั้งแต่ 192 - 223 สามารถมีหมายเลขเครื่องลูกข่ายได้ 2^8 หมายเลข (256 หมายเลข) หมายเลขไอพีแอดเดรสจะมีลักษณะ net.net.net.host

- คลาส D เป็นการกำหนดหมายเลขไอพีแอดเดรส ซึ่งมี 4 บิตแรกเป็น “1110” ตามด้วยหมายเลขกลุ่ม (multicast group ID) อีก 28 บิต ดำรงไว้สำหรับการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์
- คลาส E เป็นการกำหนดหมายเลขไอพีแอดเดรสพิเศษ ซึ่งมี 5 บิตแรกเป็น “11110” ใช้สำหรับงานทดสอบและพัฒนา



ภาพที่ 3.5 แสดงการแบ่งส่วนของหมายเลขเครือข่าย และหมายเลขโฮสต์ ในแต่ละลำดับชั้นของเครือข่าย ในคลาส A B C D และ E

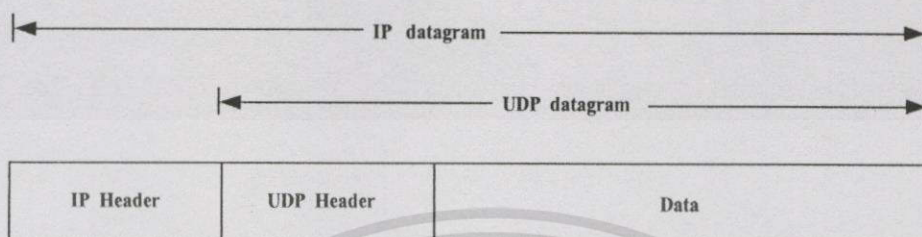
3.4 ชั้นโฮสทูโฮส (Host to Host Layer)

โพรโตคอลที่ทำงานในชั้นโฮสทูโฮสนี้มี 2 โพรโตคอลย่อยคือ ทีซีพี (Transmission Control Protocol : TCP) และ ยูดีพี (User Datagram Protocol : UDP)

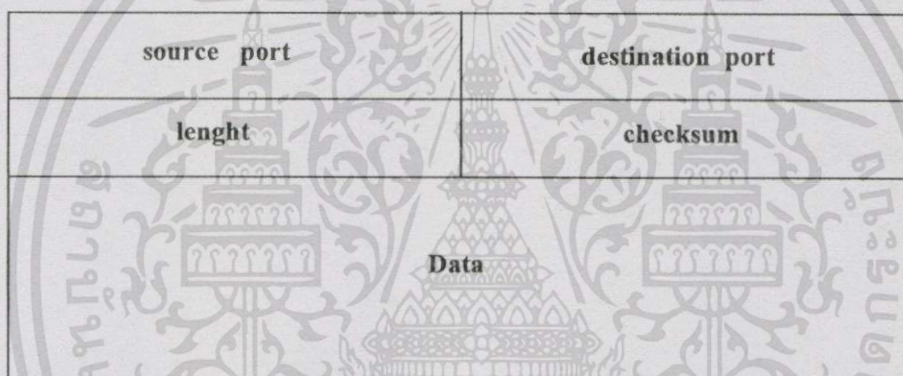
3.4.1 โพรโตคอลยูดีพี

เนื่องจากโพรโตคอลนี้เป็นแบบที่คอมพิวเตอร์ทั้งสองด้านไม่มีความจำเป็นที่ต้องอาศัยช่องทางการเชื่อมต่อกัน (Connectionless) ระหว่างเครื่องเซิร์ฟเวอร์ให้บริการกับเครื่องที่ขอใช้บริการ โดยไม่ต้องแจ้งฝ่ายรับข้อมูลเตรียมรับข้อมูลเหมือนกับโพรโตคอล TCP และไม่มีการตรวจสอบความถูกต้องครบถ้วนในการรับส่งข้อมูลนั้นด้วย เนื่องจากโพรโตคอล UDP ไม่มีสัญญาณสอบทานข้อมูล (Acknowledgement) ในการส่งข้อมูลแต่ละครั้ง [3]

หากมีปัญหาเกิดขึ้นกับยูติพีเคทาแกรม เช่นเคทาแกรมสูญหาย หรือผิดลำดับ หรือมีเคทาแกรมซ้ำกัน ยูติพีจะไม่จัดการกับปัญหาเหล่านี้เนื่องจากไม่มีกลไกที่จะรับประกันความถูกต้องของเคทาแกรม โพรโทคอลประยุกต์ที่ใช้ยูติพีต้องดำเนินการกับปัญหาเหล่านี้เอง



ภาพที่ 3.6 แสดงการเอนแคปซูเลชันยูติพี



ภาพที่ 3.7 แสดงยูติพีเคทาแกรม

หน้าที่ของแต่ละฟิลด์ประกอบด้วย

พอร์ตต้นทาง (Source Port)

ขนาด 16 บิต ทำหน้าที่แสดงหมายเลขพอร์ตสถานีต้นทาง

พอร์ตปลายทาง (Destination Port)

ขนาด 16 บิต ทำหน้าที่แสดงหมายเลขพอร์ตสถานีปลายทาง

ความยาว (Length)

มีขนาด 16 บิต ทำหน้าที่บอกความยาวของเคทาแกรมทั้งเฮดเดอร์และข้อมูล

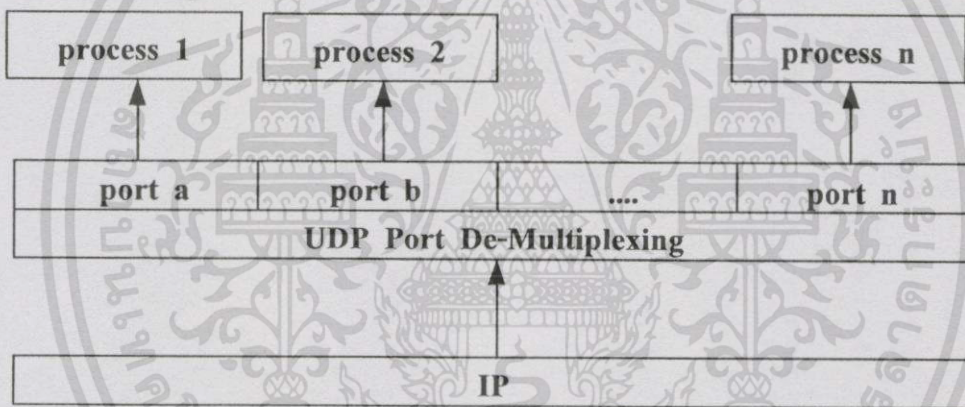
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลรวมตรวจสอบ (Checksum)

มีขนาด 16 บิต ทำหน้าที่แสดงผลรวมตรวจสอบ คำนวณจากผลรวมของเฮกเตอร์และข้อมูล

พอร์ต (port)

พอร์ตเป็นหมายเลข 16 บิต ข้อมูลที่ไอพีลำเลียงมาถึงสถานีปลายทางและส่งผ่านตามลำดับถึงระดับชั้นโสตูโฮส ในไอพีเฮกเตอร์จะระบุชนิดของโพรโตคอลที่ต้องการเรียกใช้บริการที่ซีพีหรือยูดีพี จากนั้นจะส่งข้อมูลไปยังโพรโตคอลระดับบนตามหมายเลขประจำโพรโตคอลนี้หรือพอร์ตอาจเปรียบเสมือนแอดเดรสประจำโพรโตคอลในชั้นประยุกต์ หรือกับโปรแกรมประยุกต์ (process) ซึ่งต้องรับส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ปลายทาง [2]



ภาพที่ 3.8 แสดงหลักการยูดีพีที่มีลิตเพิล็กซ์ บนพื้นฐานของพอร์ต

ที่ซีพี/ไอพีสแกนพอร์ตหมายเลข 1 ถึง 1023 ไว้ใช้ประจำโพรโตคอลประยุกต์โดยเรียกเลขพอร์ตนี้ว่า “well-know ports” ซึ่งใช้เป็นมาตรฐานทุกสถานีหรืออุปกรณ์เครือข่าย และโพรโตคอลประยุกต์หนึ่งๆอาจเรียกใช้บริการได้ทั้งที่ซีพีและยูดีพี โดยใช้หมายเลขพอร์ตเดียวกัน และโปรเซสที่เกิดขึ้นจะเป็นโปรเซสอิสระต่อกัน

ซ็อกเก็ต (socket)

ซ็อกเก็ตเป็นคู่ของไอพีแอดเดรสและพอร์ต ที่ซีพีและยูดีพีจะอาศัยซ็อกเก็ตเป็นตัวแยกแยะโปรเซสต้นทางและปลายทางที่ติดต่อกัน เนื่องจากโพรโตคอลประยุกต์ซึ่งอนุญาตให้

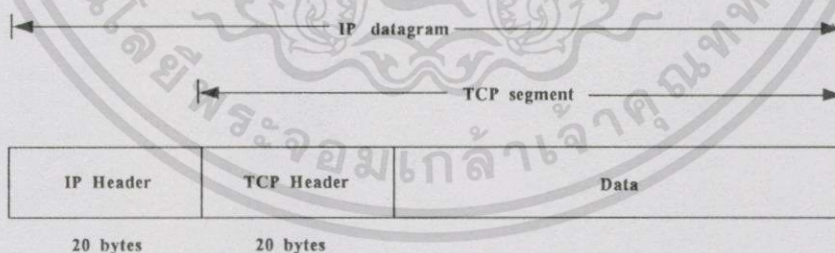
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริการได้หลายเซสชันพร้อมๆกัน จำเป็นต้องแยกแยะเซสชันที่เกิดขึ้นให้ได้ เพื่อให้ข้อมูลส่งถ่าย
ได้ถูกต้องตามคู่ต้นทางและปลายทาง

3.4.2 โพรโตคอลทีซีพี

โพรโตคอลทีซีพี จะมีการติดต่อกันจะเป็นแบบ connection oriented คือต้องมีการสร้างการติดต่อเป็น session ทั้งสองด้านเสียก่อน แล้วจึงจะรับส่งข้อมูลไปได้พร้อมกัน (full duplex) เมื่อแอปพลิเคชันต้องการส่งผ่านข้อมูลจะใช้โพรโตคอลที่เหมาะสมในชั้นโพรโตคอล
ประยุกต์ มีการสร้างช่องส่งข้อมูลผ่านพอร์ตที่กำหนด เพื่อส่งผ่านข้อมูลไปยังโพรโตคอลทีซีพี

โพรโตคอลทีซีพี เป็นโพรโตคอลที่บริการสายข้อมูลแบบไบท์ (byte stream service) หมายถึงการรับส่งจะไม่คำนึงถึงปริมาณข้อมูลที่จะส่งไป แต่จะแบ่งปริมาณข้อมูลออกเป็นส่วน
ย่อยๆก่อน แล้วจึงจะส่งไปยังปลายทางอย่างต่อเนื่องเป็นลำดับข้อมูล จะมีการรับประกันความน่า
เชื่อถือให้ได้ว่าข้อมูลที่นำส่งจะไม่มีข้อผิดพลาดและเรียงอยู่ในลำดับที่ถูกต้อง จะเพิ่มขบวนการ
สอบทานข้อมูลเพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้อง ไม่ผิดพลาด ไปจากเดิม โดยการส่งสัญญาณสอบทานข้อ
มูล (Acknowledgement) และส่งข้อมูลให้ใหม่อีกครั้ง ในกรณีที่ข้อมูลส่วนใดส่วนหนึ่งสูญหายไป
ก็จะส่งข้อมูลส่วนนั้นใหม่อีกครั้งถ้าปลายทางไม่ได้รับหรือเกิดความผิดพลาดขึ้น สำหรับปลายทาง
ก็จะทำหน้าที่จัดเรียงส่วนของข้อมูลเคทาแกรมใหม่ให้ต่อเนื่องกัน และประกอบกลับเป็นข้อมูลทั้ง
หมดได้ ซึ่งจะแยกข้อมูลที่ไม่ถูกต้องออก คั้งนั้นแอปพลิเคชันหรือโปรเซสใดที่อาศัยการส่งผ่านข้อ
มูลด้วยโพรโตคอลทีซีพีจะต้องใช้หน่วยความจำและขนาดของช่องสัญญาณ (Bandwidth) มากกว่ายู
ดีพี และต้องอาศัยทรัพยากรของระบบในการทำงานมากกว่าเช่นกัน แต่ความน่าเชื่อถือของการส่ง
ผ่านข้อมูลโดยใช้โพรโตคอลทีซีพีจะมีมากกว่ายูดีพี



ภาพที่ 3.9 แสดงการเอนแคปซูเลชันทีซีพี

ทีซีพีรับประกันความน่าเชื่อถือโดยทำหน้าที่ตรวจสอบเชกเมนต์ที่ผิดพลาด และจัดส่ง
เชกเมนต์ซ้ำใหม่ รวมทั้งจัดลำดับให้ถูกต้องก่อนส่งไปยังโปรแกรมประยุกต์ระดับบน เซกเตอร์
และข้อมูลของทีซีพี เรียกว่า เชกเมนต์ (Segment) การเอนแคปซูเลชันทีซีพีเชกเมนต์ในไอพีเคทา
แกรมแสดงดังภาพที่ 3.9

source port		destination port	
sequence number			
acknowledgment number			
offset	reserved	code	window size
checksum		urgent pointer	
options + pad			
Data			

ภาพที่ 3.10 แสดงที่ซีพีเฮดเดอร์

ประกอบด้วยฟิลด์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

พอร์ตต้นทาง (Source port)

ขนาด 16 บิต เป็นหมายเลขพอร์ตของสถานีต้นทาง

พอร์ตปลายทาง (Destination port)

ขนาด 16 บิต เป็นหมายเลขพอร์ตของสถานีปลายทาง

หมายเลขลำดับ (Sequence number)

ขนาด 32 บิต เป็นหมายเลขลำดับของชุดข้อมูล ใ้บอกถึงลำดับข้อมูลที่ส่งไป

หมายเลขตอบรับ (Acknowledgment number)

ขนาด 32 บิต ถ้ามีบิตควบคุมของส่วนตอบรับเซตไว้ ข้อมูลในฟิลด์นี้จะมีค่าเป็นหมายเลขลำดับชุดข้อมูลถัดไปที่ผู้ส่งคาดว่าจะได้รับจากอีกฝ่าย

เดทออฟเซต (Data Offset)

เลขขนาด 32 บิตเวิร์ด (bit word) ในส่วนหัวของทีซีพี ซึ่งใช้เป็นตัวชี้ถึงจุดเริ่มต้นของข้อมูล ซึ่งส่วนหัวของทีซีพีจะเป็นจำนวนเท่าของ 32 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สงวนไว้ (Reserved) ขนาด 6 บิต

ฟิลด์นี้ถูกสงวนไว้ใช้ในอนาคต โดยปกติจะมีค่าเป็นศูนย์

คอนโทรลบิต (Code Bits) ขนาด 6 บิต

ประกอบด้วย

ยูอาร์จี (URG)	บิตบ่งบอกฟิลด์เออเจนท์พอยน์เตอร์ (Urgent pointer field)
เอซีเค (ACK)	บิตบ่งบอกฟิลด์ตอบรับ (Acknowledgement field)
พีเอสเอส (PSH)	บิตพ่วงฟังก์ชัน (Push function)
อาร์เอสที (RST)	บิตยุติการเชื่อมต่อ (Reset the connection)
เอสวายเอ็น (SYN)	บิตบอกการชิง โคร ในชั้นหมายเลขลำดับ
เอฟไอเอ็น (FIN)	บิตบอกว่าไม่มีข้อมูลจากผู้ส่ง

วินโดว์ (Window) ขนาด 16 บิต

ใช้ควบคุมการไหลเวียนข้อมูล แสดงค่าที่สามารถรองรับว่าจะรับส่งข้อมูลได้เท่าไร สามารถใช้งาน ได้สองทิศทางพร้อมกัน เนื่องจากทีซีพีสามารถทำงานแบบ full-duplex

ผลรวมตรวจสอบ (Checksum)

เลขข้อมูล 16 บิต มาจากการรวมข้อมูลขนาด 16 บิตเวิร์คในส่วนหัวและส่วนข้อมูล แล้วทำวันคอมพลิเมนต์สองครั้ง ถ้าข้อมูลมีขนาดเป็นเลขคี่ให้เพิ่มอีกอักขระต่อข้างหลัง โดยมีค่าเป็นศูนย์ ก่อนที่จะทำการคำนวณค่าตรวจสอบนี้จะต้องกำหนดค่าให้เป็นศูนย์เสียก่อน ค่าตรวจสอบนี้จะใช้ตรวจสอบ ที่อยู่ผู้ส่ง ที่อยู่ผู้รับ โพรโทคอล ความยาวของทีซีพีเชกเมนต์ ซึ่งเป็นความยาวส่วนหัว รวมกับความยาวของข้อมูลในรูปแบบอักขระ

เออเจนท์พอยน์เตอร์ (Urgent Pointer)

ฟิลด์นี้บ่งบอกถึงค่าปัจจุบันของตัวชี้ ในสภาพเป็นบวกจากหมายเลขลำดับข้อมูลในเชกเมนต์ ซึ่งค่านี้ชี้ถึงลำดับของข้อมูล ที่ต่อจากข้อมูลเออเจนท์ จะมีได้ก็ต่อเมื่อบิตควบคุมยูอาร์จีถูกตั้งค่าไว้เท่านั้น

ออฟชัน (Option)

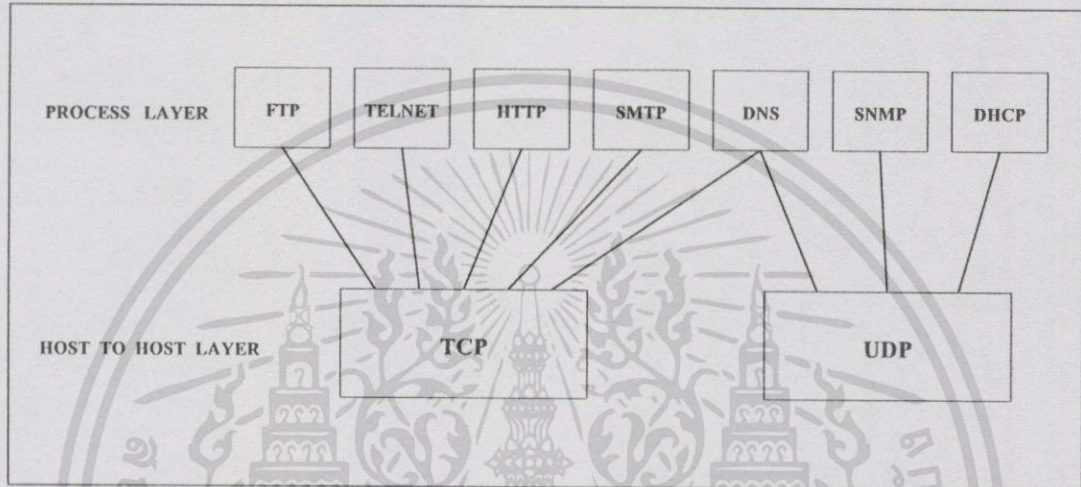
เปรียบเสมือนช่องว่างส่วนท้ายสุดของส่วนหัวทีซีพี มีขนาดเป็นจำนวนเท่าของ 8 บิต ฟิลด์ออฟชันนี้ จะนำมาคิดผลรวมตรวจสอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพดดิ้ง (Padding)

เป็นส่วนที่ใช้เติมค่าศูนย์ เพิ่มลงไป เพื่อให้ส่วนหัวของทีซีพีมีขนาดเป็นจำนวนเท่าของ 32 บิต

3.5 ชั้นโปรแกรมประยุกต์ (Application Layer)



ภาพที่ 3.11 แสดงขบวนการต่างๆจะเรียกใช้ โสตทูโอสเลเยอร์ เพื่อส่งผ่านข้อมูลโดยผ่านหมายเลขพอร์ต

บริการต่างๆ ในระดับโพรโตคอลประยุกต์ ในทีซีพี/ไอพีมีเป็นจำนวนมาก และยังมีผู้พัฒนาโพรโตคอลใหม่ขึ้นมาใช้งานตลอดเวลา จะกล่าวถึงโพรโตคอลประยุกต์บางส่วนที่สำคัญ และใช้งานแพร่หลายในปัจจุบัน ดังนี้

เอสเอ็มทีพี (Simple Mail Transfer Protocol : SMTP)

บริการพื้นฐานที่มีในทุกเครือข่าย ได้แก่บริการไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ เอสเอ็มทีพีเป็นโพรโตคอลที่ทำหน้าที่รับส่งจดหมายระหว่างโอสต์

เอฟทีพี (File Transfer Protocol : FTP)

เอฟทีพีให้บริการถ่ายโอนเพิ่มข้อมูลระหว่างเครื่อง เอฟทีพีช่วยให้ผู้ใช้เข้าถึงโอสและจำกัดขอบเขตการทำงานเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับเพิ่มข้อมูลเช่น สำเนาเพิ่ม ลบเพิ่ม หรือสร้างไคเรททอรี เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทีเอฟทีพี (Trivial File Transfer Protocol : TFTP)

ทีเอฟทีพีทำหน้าที่เป็น โพรโทคอลถ่ายโอนแฟ้มเอฟทีพี แต่ทีเอฟทีพีให้บริการผ่านยูติ ลี ประโยชน์หนึ่งของการใช้ทีเอฟทีพีได้แก่การใช้ในสถานีไร้ดิสก์ (diskless workstation) สถานีไร้ ดิสก์จะบูตระบบด้วย โพรโทคอลบูตพีและใช้ทีเอฟทีพีเพื่อถ่ายโอนระบบปฏิบัติการจากทีเอฟทีพี เซอร์ฟเวอร์

เทลเน็ต (Telecommunication Network : TELNET)

เทลเน็ตเป็นโพรโทคอลสำหรับขอเข้าใช้โฮสต์ระยะไกล หรือเรียกว่า รีโมตล็อกอิน (remote login) เทลเน็ตให้บริการเข้าใช้คอมพิวเตอร์ในเครือข่ายโดยเสมือนกับว่ากำลังทำงานอยู่ที่ เทอร์มินัลของคอมพิวเตอร์เครื่องนั้น เทลเน็ตเซิร์ฟเวอร์ที่คอมพิวเตอร์ปลายทาง จะรอรับการขอ บริการจากเทลเน็ตไคลเอ็นต์ ผู้ขอใช้เทลเน็ตจะต้องมีบัญชีประจำเครื่องที่ให้บริการเทลเน็ต

ดีเอ็นเอส (Domain Name System : DNS)

ดีเอ็นเอสเป็นโพรโทคอลที่ให้บริการสอบถามไอพีแอดเดรสหรือชื่อโดเมน ก่อนการติด ต่อไปยังโฮสต์ใดๆ ชื่อโฮสต์จะถูกส่งไปสอบถามผ่านเซิร์ฟเวอร์ที่ให้บริการดีเอ็นเอสเพื่อขอไอพี แอดเดรสกลับมา นอกจากนี้ยังให้บริการเกี่ยวข้องกับพื้นฐานข้อมูลประจำเครื่อง

เอสเอ็นเอ็มพี (Simple Mail Transfer Protocol : SMTP)

เอสเอ็นเอ็มพีทำหน้าที่เป็นโพรโทคอลช่วยบริหารระบบ เช่น เก็บรวบรวมข้อมูลการ ทำงานของอุปกรณ์และคอมพิวเตอร์ภายในเครือข่าย ตรวจสอบปริมาณข้อมูลที่ไหลเวียนหรือช่วย วิเคราะห์หาข้อผิดพลาดในระบบ เป็นต้น

เอ็นเอฟเอส (Network File System : NFS)

เอ็นเอฟเอสใช้งานในระบบรีโมตดิสก์เพื่อให้คอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่งสามารถใช้แฟ้มข้อ มูลที่เก็บอยู่ในดิสก์ของอีกเครื่องหนึ่งเสมือนว่าเป็นแฟ้มที่อยู่ในดิสก์ของเครื่องนั้น

เอ็นเอ็นทีพี (Network News Transfer Protocol : NNTP)

เอ็นเอ็นทีพีเป็นโพรโทคอลสำหรับใช้แลกเปลี่ยนข่าว คอมพิวเตอร์แม่ข่ายที่ให้บริการ ข่าวจะใช้เอ็นเอ็นทีพีแลกเปลี่ยนข่าวระหว่างกัน ส่วนคอมพิวเตอร์ลูกข่ายจะใช้เอ็นเอ็นทีพีสำหรับ อ่านและส่งข่าวกับเครื่องแม่ข่าย

เฮชทีทีพี (Hypertext Transfer Protocol : HTTP)

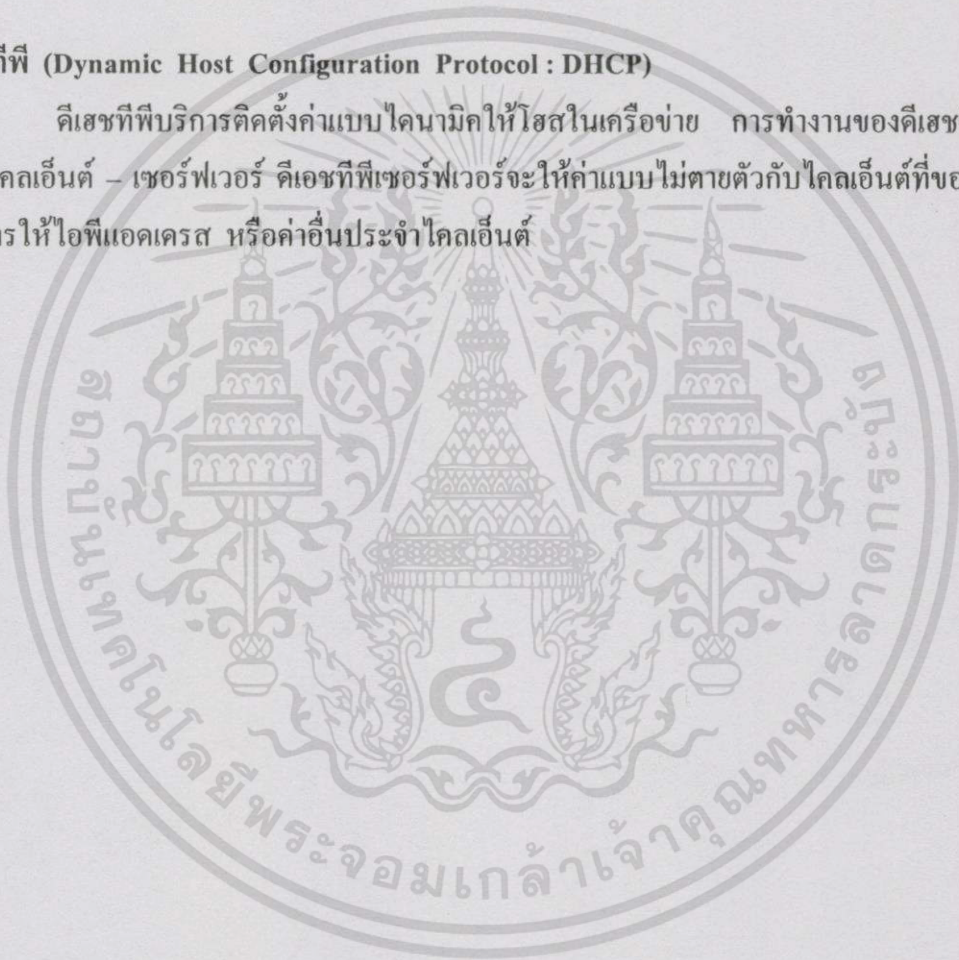
เฮชทีทีพีเป็นโพรโทคอลกำหนดการส่งข้อมูลระหว่างบราวเซอร์และเว็บเซิร์ฟเวอร์ และจัดเป็นโพรโทคอลหนึ่งที่ใช้แพร่หลายในอินเทอร์เน็ต

บูตพี (Bootstrap Protocol : BOOTP)

ให้บริการบูตระบบสำหรับสถานีที่ไม่มีดิสก์ สถานีที่เป็นบูตพีไคลเอ็นท์จะติดต่อกับบูตพีเซิร์ฟเวอร์เพื่อขอถ่ายโอนระบบปฏิบัติการ

ดีเฮชทีทีพี (Dynamic Host Configuration Protocol : DHCP)

ดีเฮชทีทีพีบริการติดตั้งค่าแบบไดนามิกให้โฮสในเครือข่าย การทำงานของดีเฮชทีทีพีเป็นแบบไคลเอ็นต์ - เซิร์ฟเวอร์ ดีเฮชทีทีพีเซิร์ฟเวอร์จะให้ค่าแบบไม่ตายตัวกับไคลเอ็นต์ที่ขอบริการ เช่นการให้ไอพีแอดเดรส หรือค่าอื่นประจำไคลเอ็นต์



บทที่ 4

หลักการทั่วไปในงานควบคุมจราจรทางอากาศ

4.1 หลักการควบคุมจราจรทางอากาศ

ระบบการควบคุมการจราจรทางอากาศ แบ่งพื้นที่การควบคุมการจราจรทางอากาศออกเป็น 3 เขตพื้นที่รับผิดชอบคือ

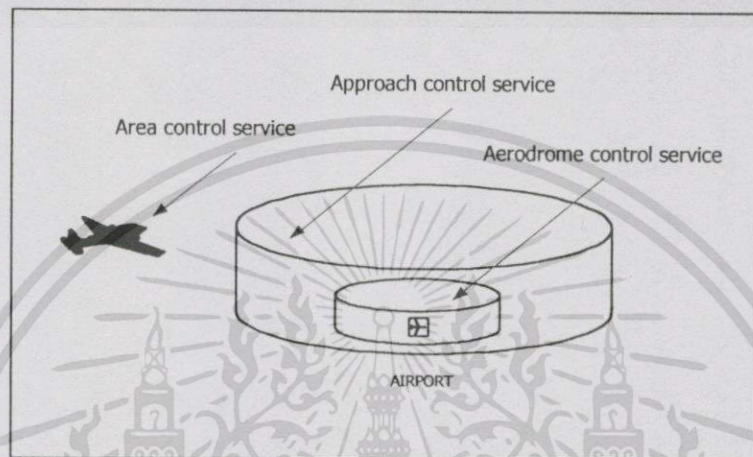
1. พื้นที่ควบคุมเขตสนามบิน (Aerodrome Control Service) คือการควบคุมจราจรทางอากาศบริเวณเขตสนามบิน มีหน้าที่ควบคุมเครื่องบินที่อยู่บนพื้นดิน ที่กำลังจะบินขึ้น และที่กำลังอยู่ในช่วงสุดท้ายของการลง (Final Approach) นอกจากนี้ยังต้องควบคุมขบวน และบุคคลที่เคลื่อนไหวยู่ในบริเวณทางวิ่ง (Runway) และ ทางขับ (Taxiway) โดยทั่วไปหอบังคับการบินจะมีพื้นที่ควบคุมเป็นวงกลมมีรัศมีตั้งแต่ 5 ถึง 15 ไมล์ทะเล (Nautical Mile : NM) จากศูนย์กลางของสนามบิน และมีความสูงจากพื้นดินขึ้นไปประมาณ 2,000 ฟุตและการขึ้นลงที่สนามบิน

2. พื้นที่ควบคุมเขตประชิดสนามบิน (Approach Control Service) คือการควบคุมการจราจรทางอากาศบริเวณใกล้สนามบิน มีหน้าที่รับมอบการควบคุมเครื่องบินที่ยกตัวขึ้นจากทางวิ่งแล้ว จากพื้นที่ควบคุมเขตสนามบิน แล้วให้เรดาร์พาหลบหลีก (Radar Vectoring) เครื่องบินลำอื่นเพื่อตวงเข้าหาเส้นทางบินที่ต้องการ โดยให้อยู่ในเขตรับผิดชอบของตนและได้ไปยังความสูงที่ได้ตกลงกันได้ เมื่อเครื่องบินจับทิศทางของเส้นทางบินนั้นแล้ว จึงจะส่งมอบการควบคุมให้แก่ศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศ ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ใหญ่ที่สุดในงานควบคุมจราจรทางอากาศ และรับมอบการควบคุมเครื่องบินขาเข้าที่ศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศ พลาดความสูงจากชายเขตแดง ข่าวงการบิน หรือ FIR (Flight Information Region) มาส่งให้ที่จุดส่งมอบการควบคุม แล้วพาหลบหลีกเครื่องบินลำอื่น ตวงลดความสูงก่อนที่จะส่งให้พื้นที่ควบคุมเขตสนามบิน

โดยพื้นที่ควบคุมโดยทั่วไปจะเป็นวงกลมมีรัศมีตั้งแต่ 10 ถึง 50 ไมล์ทะเล จากศูนย์กลางของสนามบินโดยมีความสูงตั้งแต่ 700 ฟุตเหนือพื้นดินหรือพื้นน้ำขึ้นไป จนถึงประมาณ 11,000 ฟุต

3. พื้นที่ควบคุมเขตพื้นที่ (Area Control Service) คือการให้บริการควบคุมจราจรทางอากาศสำหรับการบินที่อยู่นอกเหนือ จากที่กำหนดไว้ในข้อ 1 และข้อ 2 คำเนินงานโดยศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศ (Area Control Centre) จะควบคุมการจราจรทางอากาศตามเส้นทางการบิน จนกว่าจะมีการส่งมอบให้กับพื้นที่ควบคุมเขตประชิดสนามบิน พื้นที่ส่วนใหญ่จะอยู่ในรัศมีครอบคลุมของเรดาร์ทุติยภูมิ จะแสดงการแบ่งพื้นที่ควบคุมดังภาพที่ 4.1

เส้นทางบินในเขตแดงข่าวการบินของประเทศไทย หรือ BANGKOK FIR แต่ละเส้นทางจะมีความกว้างไม่เท่ากัน โดยจะมีความกว้างตั้งแต่ 10 ถึง 50 ไมล์ทะเล และเส้นทางบินบางเส้นทางยังมีความกว้างไม่เท่ากันตลอดเส้นทางอีกด้วย ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องช่วยในการเดินอากาศ และนอกจากนี้เส้นทางบินแต่ละเส้นทางยังมีความสูงไม่เท่ากันด้วย โดยมีระดับต่ำสุดตั้งแต่ 3,500 ฟุตขึ้นไปจนถึงระดับสูงสุด 45,000 ฟุต



ภาพที่ 4.1 แสดงการแบ่งพื้นที่การควบคุมจราจรทางอากาศ

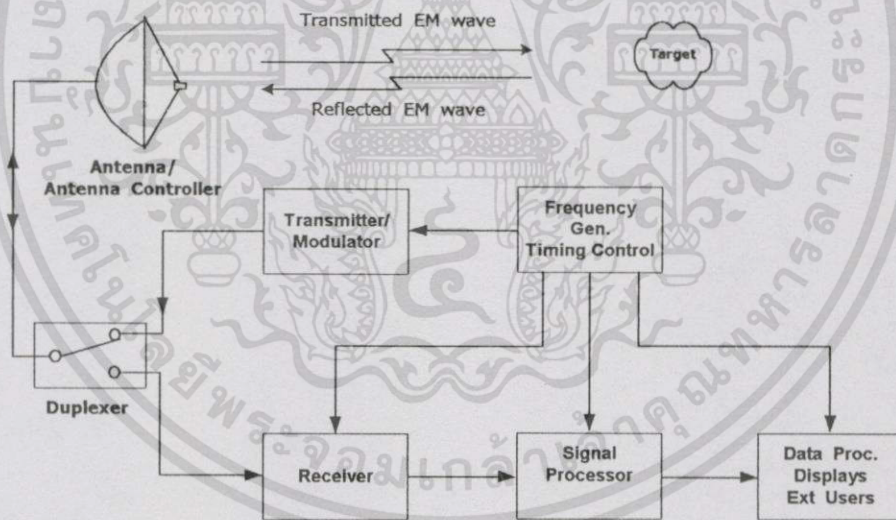
4.2 ระบบเรดาร์ในงานควบคุมจราจรทางอากาศ

ระบบเรดาร์ (Radio detection and ranging : RADAR) เป็นการทำงานของระบบอิเล็กทรอนิกส์โดยการส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ไมโครเวฟออกไป [10] แล้วรับสัญญาณสะท้อนกลับ (Echo signal) จากวัตถุที่ต้องการตรวจหา นำสัญญาณสะท้อนกลับมาประมวลผลหารายละเอียดของเป้าที่ต้องการ ระบบเรดาร์ได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากมาย ทั้งด้านการสื่อสารโทรคมนาคม การขนส่ง การพยากรณ์อากาศ การสำรวจ และการทหาร ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และความต้องการในการนำไปประยุกต์ใช้งาน สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะทฤษฎีเบื้องต้นของระบบเรดาร์ และระบบเรดาร์ในงานควบคุมจราจรทางอากาศของประเทศไทย เพื่อเป็นประโยชน์ในการทำความเข้าใจในงานวิจัยต่อไป

4.2.1 หลักการทำงานของเรดาร์

การทำงานของเรดาร์ประกอบด้วยการตรวจจับหาเป้า การค้นหาตำแหน่งของเป้า และการคำนวณหารายละเอียดของเป้า ประกอบด้วยระยะทาง มุมอะซิมูท ความสูง และความเร็วใน

การเคลื่อนที่ และอาจจะรวมทั้งการตัดสินใจว่าเป้าคืออะไร [7] เรดาร์ทำงานโดยส่งคลื่นวิทยุกำลังสูงออกไป แล้วคอยตรวจจับคลื่นสะท้อนกลับมาประมวลผลหารายละเอียดของเป้า ด้วยอาศัยหลักการมาติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเดินทางด้วยความเร็วแสง (3×10^8 เมตรต่อวินาที) เมื่อส่งผ่านบรรยากาศออกไปกระทบกับวัตถุก็จะเกิดการกระจาย และการหักเหของคลื่น จะมีคลื่นส่วนหนึ่งสะท้อนกลับมายังแหล่งกำเนิด หากตรวจจับคลื่นสะท้อนนี้มาประมวลผลก็จะได้รายละเอียดของวัตถุที่สะท้อนคลื่น ในการส่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า พลังงานจะถูกกำเนิดโดยภาคส่ง (Transmitter) ผ่านคูเพิลเลอร์ (Duplexer) ซึ่งยินยอมให้พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านได้ทั้งสองทิศทางบนสายอากาศตัวเดียวกัน แพร่กระจายออกไปในบรรยากาศด้วยความเร็วแสงโดยสายอากาศ สายอากาศจะบีบพลังงานไปในทิศทางที่หมุน ซึ่งในการหมุนของสายอากาศนี้จะให้ค่าตำแหน่งเชิงมุม (Angular coordinate) โดยวิธีการทำงานร่วมกันทั้งทางอิเล็กทรอนิกส์และทางกล ค่าตำแหน่งนี้จะใช้บอกทิศทางตำแหน่งของเป้า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนกลับจะเหนี่ยวนำผ่านสายอากาศ และถูกขยายให้มีระดับพลังงานที่เหมาะสมโดยภาครับ (Receiver) นำสัญญาณที่ขยายแล้วนี้มาทำการประมวลผลหารายละเอียดต่อไป ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของระบบเรดาร์คือความสามารถที่จะวัดระยะทางของเป้าหมายได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีวิธีอื่นทำได้ดีเท่า [6]



ภาพที่ 4.2 แสดงหลักการทำงานพื้นฐานของระบบเรดาร์

4.2.2 การนำเรดาร์ไปประยุกต์ใช้งาน

ระบบเรดาร์มิได้ถูกนำไปใช้งานครั้งแรกในทางการทหาร ต่อมาได้มีการนำระบบเรดาร์มาใช้ประโยชน์มากมายหลายด้านด้วยกัน ซึ่งในการนำไปประยุกต์ใช้เฉพาะด้านนั้นต้องเลือกคุณสมบัติที่ต้องการให้เหมาะสมกับช่วงความถี่ และชนิดของเรดาร์เป็นหลัก เพื่อให้ได้ผลการตรวจจับที่ดีที่สุด ถูกต้องแม่นยำ และน่าเชื่อถือสูงสุด ซึ่งตารางที่ 4.1 แสดงประเภทของเรดาร์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงประเภทของเรดาร์

เรดาร์	การประยุกต์ใช้งาน
Air traffic control radar	ใช้ในงานควบคุมจราจรทางอากาศ การควบคุมการบินเข้า – ออกจากสนามบิน
Police radar	ใช้ในการตรวจจับความเร็วของยานพาหนะ
Marine radar	ใช้ในกิจการเดินเรือ เช่น การช่วยนำร่อง การตรวจหาแนวชายฝั่ง การป้องกันการชนกันของเรือหรือภูเขาน้ำแข็ง การตรวจหาค่าแห่งของทุ่นที่ลอยในทะเล
Aircraft weather radar	ใช้ในการสำรวจเมฆ และสภาวะอากาศในเส้นทางบิน
Air defence radar	ใช้ในงานต่อต้านอากาศยาน ตรวจจับเป้า และควบคุมการยิง
Missile guidance radar	ใช้ในงานควบคุมการนำวิถีของจรวดไปสู่เป้าหมาย
Terrain radar	ใช้ในงานสำรวจภูมิประเทศ เช่น การตรวจหาภูเขาในเส้นทางบิน
Ground mapping radar	ใช้ในงานสร้างแผนที่ของพื้นผิวโลกจากเครื่องบินหรือดาวเทียม

4.2.3 ย่านความถี่ของเรดาร์

	ในการใช้งานระบบเรดาร์ในแต่ละช่วงความถี่ สามารถสรุปได้ดังนี้
HF	ใช้กับเรดาร์จับวัตถุที่เคลื่อนที่ตามแนวเส้นขอบฟ้า เช่น เครื่องบิน จีปนาวาล และเรือ รวมไปถึงการวัดระยะไกลแต่ให้ความชัดเจนทางรายละเอียดน้อย มักจะใช้ วัดในมหาสมุทร
VHF, UHF	ใช้ในระบบค้นหาระยะไกล (Very – long - range surveillance) ในแนวสายตา (Line of sight) ให้ความแม่นยำในระดับต่ำถึงปานกลาง และปราศจากอิทธิพลของอากาศ
L – Band	วัดการเคลื่อนที่ในระยะไกล (Long - range surveillance) และการควบคุมจราจรทางอากาศ ประสิทธิภาพในการวัดใช้ได้ในสภาพอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก
S – Band	วัดการเคลื่อนที่ระยะใกล้ มีประสิทธิภาพการวัดในสภาพอากาศที่มีปริมาณฝนในระดับสูง หรือมีหิมะตก ใช้ในการควบคุมจราจรทางอากาศ (Enroute traffic control) และนำไปใช้ในระบบต่อสู้อากาศยาน (Surface to air defence)
C – Band	วัดการเคลื่อนที่ระยะใกล้ แต่ตรวจหาวัตถุระยะไกลได้ดี ประสิทธิภาพในการวัดใช้ได้ดีในสภาพอากาศในสภาพอากาศที่มีฝนตกน้อย หรือปานกลาง และนำไปใช้ในระบบต่อสู้อากาศยาน ระบบจรวดนำวิถี และระบบสำรวจสภาวะอากาศบนเครื่องบิน (Airborne weather detection)
X – Band	วัดการเคลื่อนที่ระยะใกล้ ในสภาวะอากาศแจ่มใส หรือฝนตกน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Ku – Band ตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่ในระยะใกล้ ใช้ได้กับทุกสภาพอากาศ ใช้กับภาพถ่ายดาวเทียมที่ให้ความชัดเจนทางรายละเอียดสูง และระบบจรวดนำวิถี
- Ka – Band ใช้กับภาพถ่ายดาวเทียมที่ให้ความชัดเจนทางรายละเอียดสูงมาก ระบบติดตามระยะใกล้ (Short – range tracking) ใช้ในระบบตรวจจับเป้าภาคอากาศสู่อากาศ จรวดนำวิถี
- K – Band ใช้วัดการระเหยของน้ำ และระบบตรวจจับความเร็วของเรลคาร์คาร์วาง
- V, W วัดได้ในระยะใกล้เมื่ออากาศแจ่มใส ถ้ามีฝนตกระยะทางจะถูกจำกัด ใช้ทางด้านทหาร ระบบนำวิถี หรือการสำรวจระยะไกล (Remote sensing)

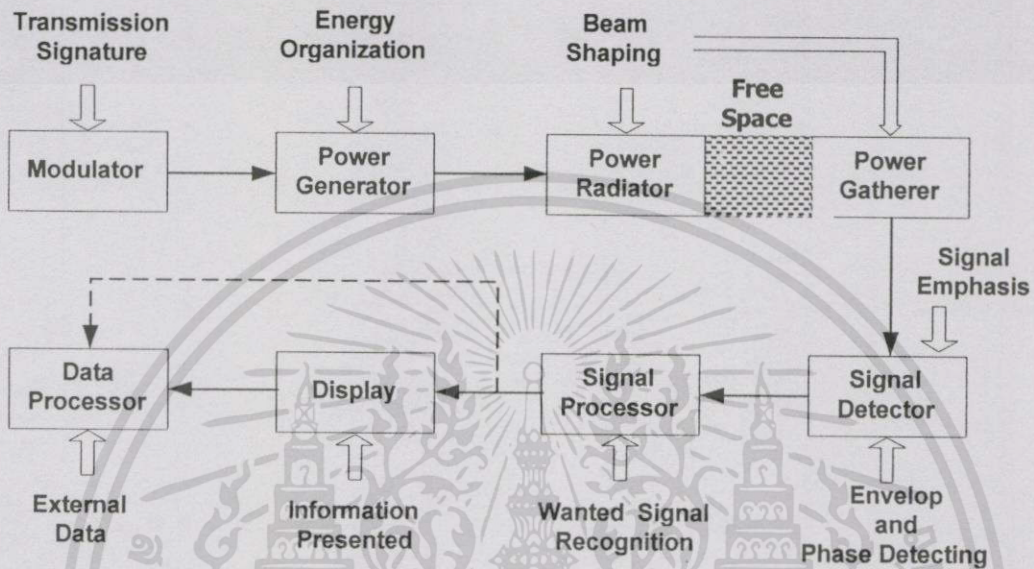
ตารางที่ 4.2 แสดงชื่อและช่วงความถี่ที่ใช้งานในระบบเรลคาร์

ย่านความถี่	ความถี่ (GHz)	ช่วงความถี่ที่ ITU กำหนด
HF	3 - 30 MHz	1.605 – 40 MHz หรือมากกว่า
VHF	30 - 300 MHz	138 - 144 MHz 216 - 255 MHz
UHF	300 - 1,000 MHz	420 - 450 MHz 890 - 982 MHz
L	1.0 - 2.0 GHz	1,215 - 1,400 MHz
S	2.0 - 4.0 GHz	2,300 - 2,500 MHz 2,700 - 3,700 MHz
C	4.0 - 8.0 GHz	5,250 - 5,925 MHz
X	8.0 - 12 GHz	8,500 - 10,680 MHz
K	18 - 27 GHz	13.4 - 14 GHz 15.7 - 17.7 GHz
K	18 - 27 GHz	24.05 - 24.25 GHz
Ka	27 - 40 GHz	33.4 - 36 GHz
V	40 - 75 GHz	59 - 64 GHz
W	75 - 110 GHz	76 - 81 GHz 92 - 100 GHz
mm (Millimeter)	100 - 300 GHz	126 - 142 GHz 144 - 149 GHz 231 - 235 GHz 238 - 248 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ระบบเรดาร์ในงานควบคุมจราจรทางอากาศ

ระบบเรดาร์เมื่อแบ่งตามลักษณะการทำงาน แบ่งออกได้ 2 ชนิดด้วยกัน คือ ระบบเรดาร์ปฐมภูมิ และระบบเรดาร์ทุติยภูมิ ซึ่งเรดาร์ทั้งสองระบบถูกได้นำมาใช้งานร่วมกันในงานควบคุมจราจรทางอากาศของประเทศไทย เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการติดตามอากาศยาน

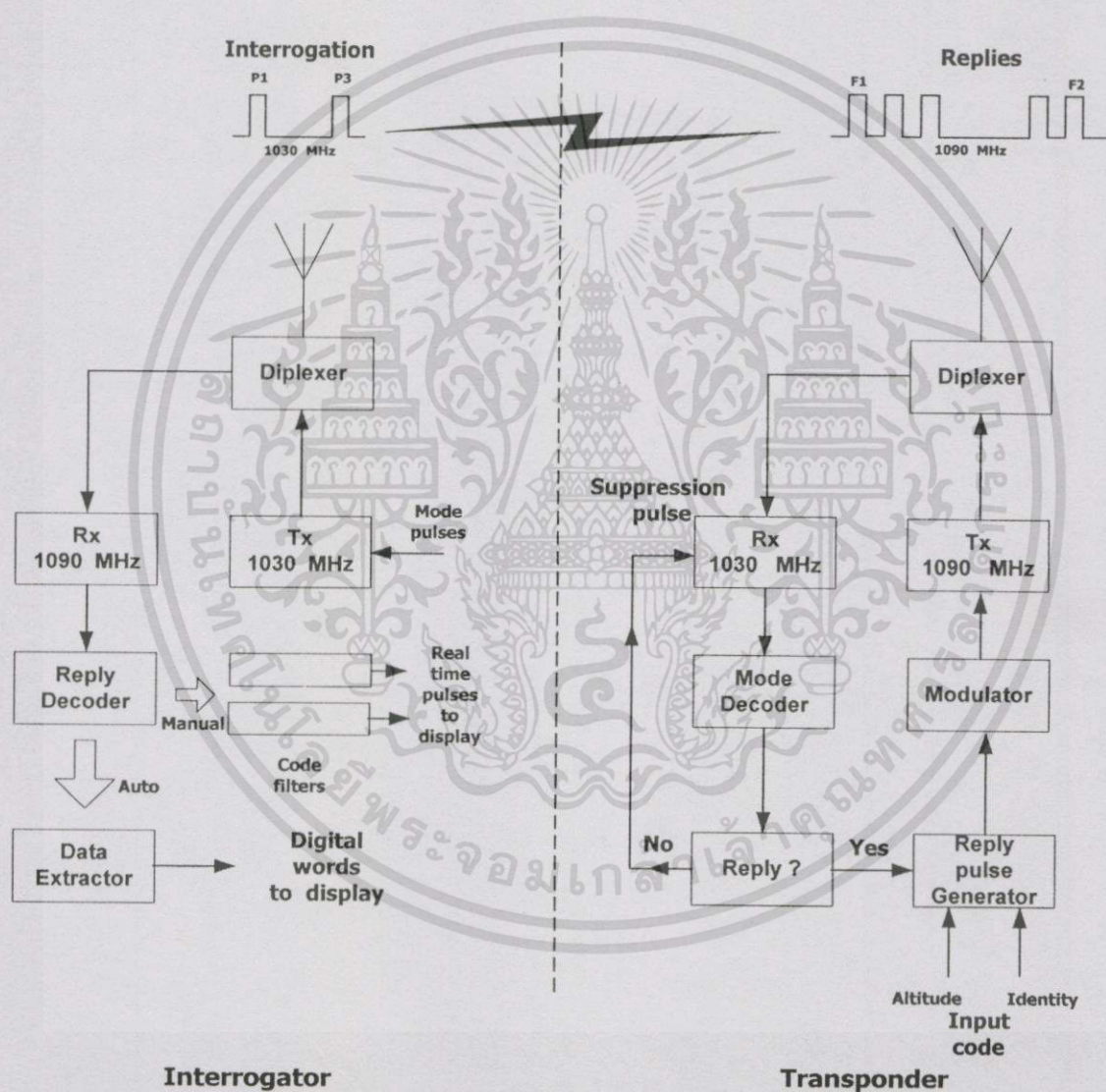


ภาพที่ 4.3 แสดงหลักการการทำงานของระบบเรดาร์ปฐมภูมิ

1. ระบบเรดาร์ปฐมภูมิ (Primary Surveillance Radar : PSR) เป็นเรดาร์ระบบพื้นฐาน โดยใช้หลักการสถานีเรดาร์ภาคส่ง ส่งคลื่นกำลังสูงออกไปเมื่อกระทบกับอากาศยานก็จะสะท้อนกลับมายังภาครับ ภาครับจะทำการประมวลผลสัญญาณที่สะท้อนกลับเข้ามา [8] ระบบเรดาร์ปฐมภูมิเป็นระบบเรดาร์ส่วนใหญ่ ที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับวัตถุได้ในระดับสูงมาก จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆมากมาย เช่น เรดาร์ทหาร เรดาร์ตำรวจ เรดาร์อุตุนิยมวิทยา เรดาร์สำรวจ เรดาร์เรือ เรดาร์เครื่องบิน และเรดาร์สำหรับงานควบคุมจราจรทางอากาศ เป็นต้น

สำหรับเรดาร์งานควบคุมจราจรทางอากาศ เมื่อสถานีเรดาร์ส่งพัลส์กำลังส่งสูงออกไปแล้วประมวลผลสัญญาณที่สะท้อนกลับ สัญญาณแทร็ค (Track) ที่ตรวจจับได้ ได้จะเป็นสัญญาณสองมิติ ประกอบไปด้วย ตำแหน่งของเครื่องบิน และความเร็วของเครื่องบิน แต่เดิมระบบนี้ภาคส่งจะใช้กำลังส่งสูงมาก และปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคนิคการส่งคลื่นแบบใหม่ สามารถใช้กำลังส่งเพียง 10 กิโลวัตต์ โดยรัศมีทำการจะครอบคลุมระยะทางประมาณ 60-80 ไมล์ทะเล สำหรับประเทศไทยได้ทำการติดตั้งระบบเรดาร์ปฐมภูมิ ณ ท่าอากาศยานกรุงเทพฯ ท่าอากาศยานเชียงใหม่ ท่าอากาศยานหาดใหญ่ และท่าอากาศยานภูเก็ต

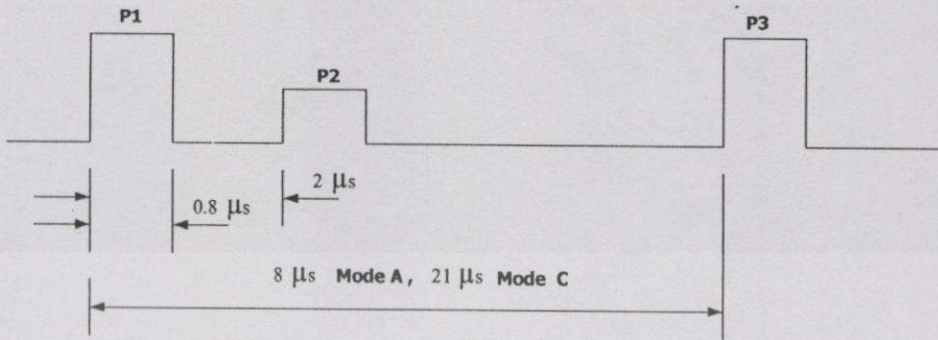
2. ระบบเรดาร์ทุติยภูมิ (Secondary Surveillance Radar : SSR) เป็นระบบเรดาร์ที่ใช้หลักการคือสถานีเรดาร์จะ ส่งคลื่นพัลส์ขึ้นไปสอบถาม (Interrogator) เมื่อทรานสปอนเดอร์ (Transponder) ที่ติดตั้งบนอากาศยานได้รับ ก็จะส่งสัญญาณตอบลงมา (Reply) [9] ด้วยหลักการทำงานเช่นนี้ระบบเรดาร์ทุติยภูมิจึงมีข้อดีกว่าระบบเรดาร์ปฐมภูมิคือ ไม่ต้องการเครื่องส่งกำลังสูง เนื่องจากไม่ต้องการสัญญาณสะท้อนกลับจากเป้า ภาคส่งจึงสามารถใช้กำลังต่ำเพียง 2 กิโลวัตต์ ลดปัญหาเรื่อง Fix clutter และระยะทำการไกลกว่า อยู่ในช่วง 200 – 250 ไมล์ทะเล แต่มีข้อเสียคือบนอากาศยานต้องติดตั้งทรานสปอนเดอร์สำหรับใช้งานไว้ด้วย



ภาพที่ 4.4 แสดงการทำงานของระบบเรดาร์ทุติยภูมิ

การทำงานของเรดาร์ทุติยภูมิแสดงดัง ภาพที่ 4.4 สัญญาณสอบถาม จะส่งด้วยความถี่ 1,030 เมกกะเฮิซซ์ ขึ้นไปยังทรานสปอนเดอร์บนเครื่องบิน (Uplink) และทรานสปอนเดอร์จะเอกลำนี้เป็นเอกลำที่ส่งลงไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกลำทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอบกลับลงมา (Down link) ด้วยความถี่ 1,090 เมกกะเฮิซซ์ ป้อนเข้าสู่ภาครับของสถานีเรดาร์ ภาครับทำการถอดรหัส ประมวลผล แล้วแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์

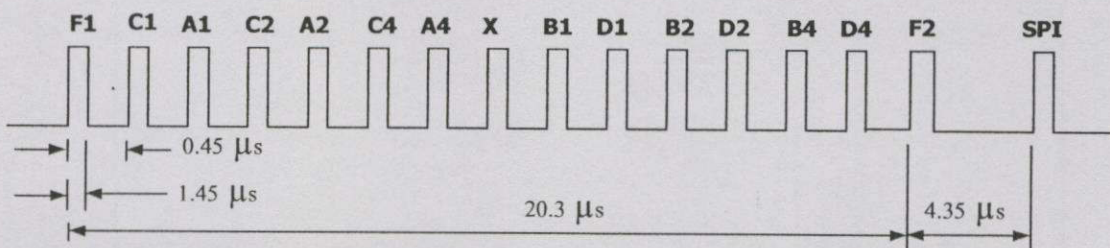


ภาพที่ 4.5 แสดงพัลส์ของสัญญาณสอบตามจากสถานีเรดาร์ในระบบเรดาร์ทุติยภูมิ

ในระบบเรดาร์ทุติยภูมิ จะส่งคลื่นวิทยุเป็นพัลส์ (Pulse modulation) ออกไป แสดงดังภาพที่ 4.5 กำหนดชื่อว่า P1 และ P3 ส่วน P2 เป็นพัลส์ควบคุม ระยะห่างระหว่างพัลส์ P1 และ P3 จะแสดงถึง โหมดการทำงาน มีทั้งหมด 6 โหมด ซึ่งในการทำงานแต่ละโหมดจะต้องการข้อมูลจากเครื่องบินที่แตกต่างกัน [9] แสดงดังตารางที่ 4.3

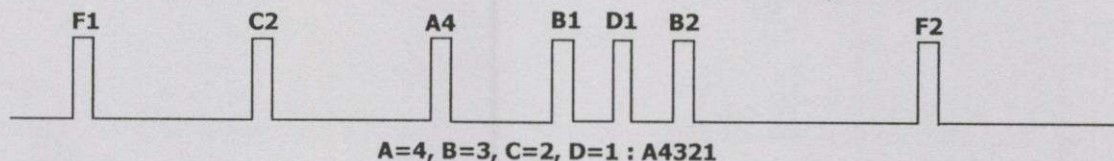
ตารางที่ 4.3 แสดงโหมดการทำงานของเรดาร์ทุติยภูมิ

โหมด	P1 – P3 (microsecond)	การใช้งาน	ข้อมูล
1	3	ทหาร	ทางทหาร
2	5	ทหาร	ทางทหาร
3/A	8	ทหาร/พลเรือน	รหัสเครื่องบิน
B	17	พลเรือน	รหัสเครื่องบิน
C	21	ทหาร/พลเรือน	ความสูง
D	25	พลเรือน	ถ้ำรอง

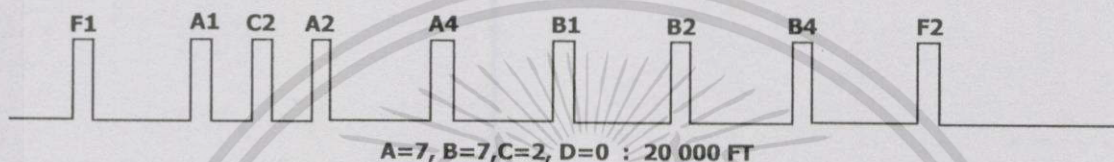


ภาพที่ 4.6 แสดงพัลส์ของสัญญาณตอบจากทรานสปอนเดอร์บนเครื่องบิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 แสดงพัลส์ของสัญญาณตอบจากทรานสปอนเดอร์ในโหมด 3/A



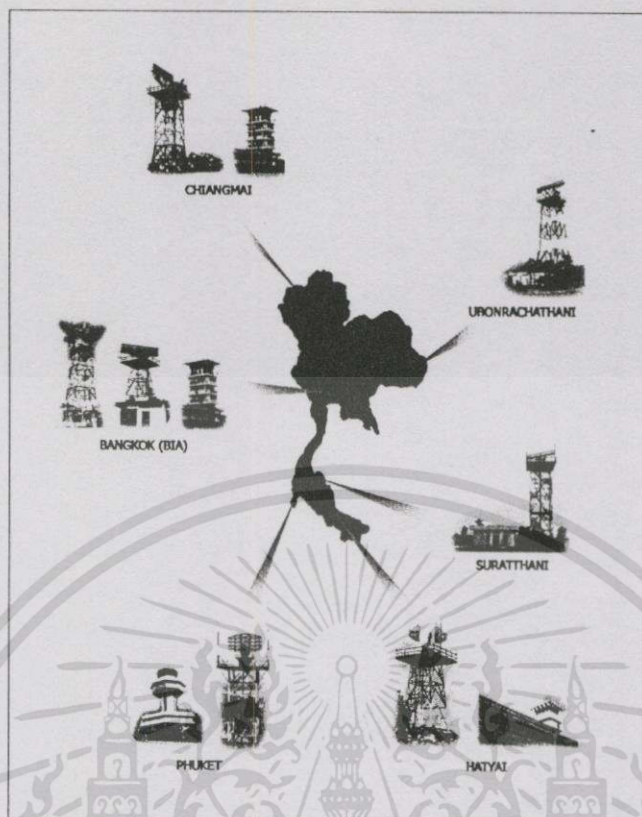
ภาพที่ 4.8 แสดงพัลส์ของสัญญาณตอบจากทรานสปอนเดอร์ในโหมด C

สัญญาณตอบจากทรานสปอนเดอร์ แสดงดังภาพที่ 4.6 F1 และ F2 จะเป็นเฟรมมิ่งพัลส์ (Framing pulse) พัลส์ข้อมูลมี 4 กลุ่ม ประกอบด้วยกลุ่ม A B C และ D แต่ละกลุ่มมี 3 พัลส์ แทนตัวอักษร 1 2 และ 4 จะมีรหัสที่เป็นไปได้ 4096 รหัส สำหรับในการติดต่อสื่อสารแต่ละ โหมดจะใช้จำนวนบิตไม่เท่ากัน สำหรับการติดต่อสื่อสารโหมด 3/A และโหมด C แสดงตัวอย่างดัง ภาพที่ 4.7 และ 4.8 [9]

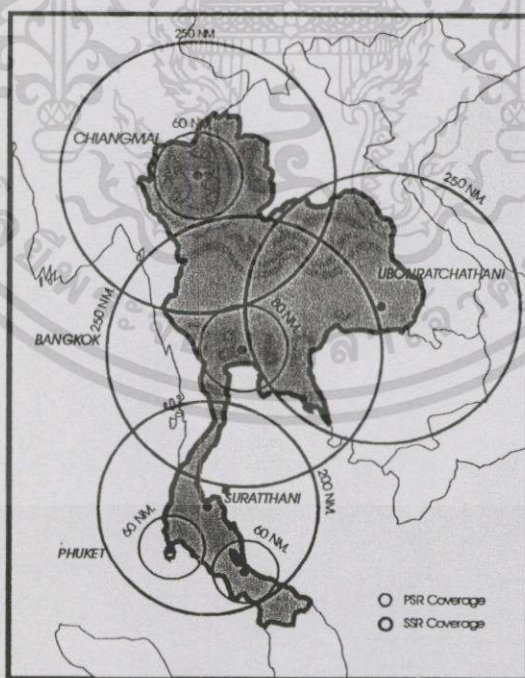
ส่วนพัลส์ SPI (Special Position Identification pulse) ใช้สำหรับยืนยันว่ารหัสถูกต้อง ใช้ในกรณีที่เจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศสอบถามนักบิน นอกจากนี้ยังมีรหัสพิเศษอีก 3 รหัส คือ

- รหัส 7700 สำหรับแสดงว่า สภาวะการติดต่อสื่อสารขัดข้อง (Communication failure)
- รหัส 7600 สำหรับแสดงว่าเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉิน (Emergency)
- รหัส 7500 สำหรับแสดงว่าเกิดเหตุการณ์ Hi jack

สัญญาณที่สถานีเรดาร์ได้รับการตอบจากทรานสปอนเดอร์ จะประมวลผลเป็นสัญญาณแทร็คเรดาร์ จะมี รหัสของเครื่องบิน (Aircraft identity) เป็นสัญญาณสามมิติ ประกอบด้วย ตำแหน่งของเครื่องบิน ความเร็ว และ ความสูง สำหรับประเทศไทยได้ทำการติดตั้งระบบเรดาร์ทุติยภูมิ 4 สนามบิน คือ ท่าอากาศยานกรุงเทพฯ ท่าอากาศยานเชียงใหม่ ท่าอากาศยานอุบลราชธานี และท่าอากาศยานสุราษฎร์ธานี

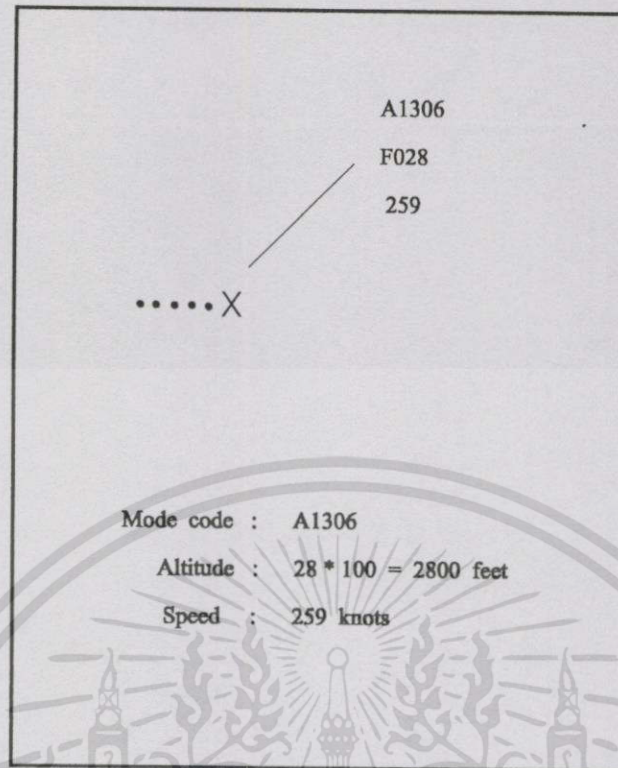


ภาพที่ 4.9 แสดงที่ตั้งของสถานีเรดาร์ในงานควบคุมจราจรทางอากาศ



ภาพที่ 4.10 แสดงรัศมีครอบคลุมของระบบเรดาร์ในงานควบคุมจราจรทางอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 แสดงการแสดงผลสัญญาณเรดาร์ของระบบเรดาร์

บทที่ 5

การวิเคราะห์เครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์

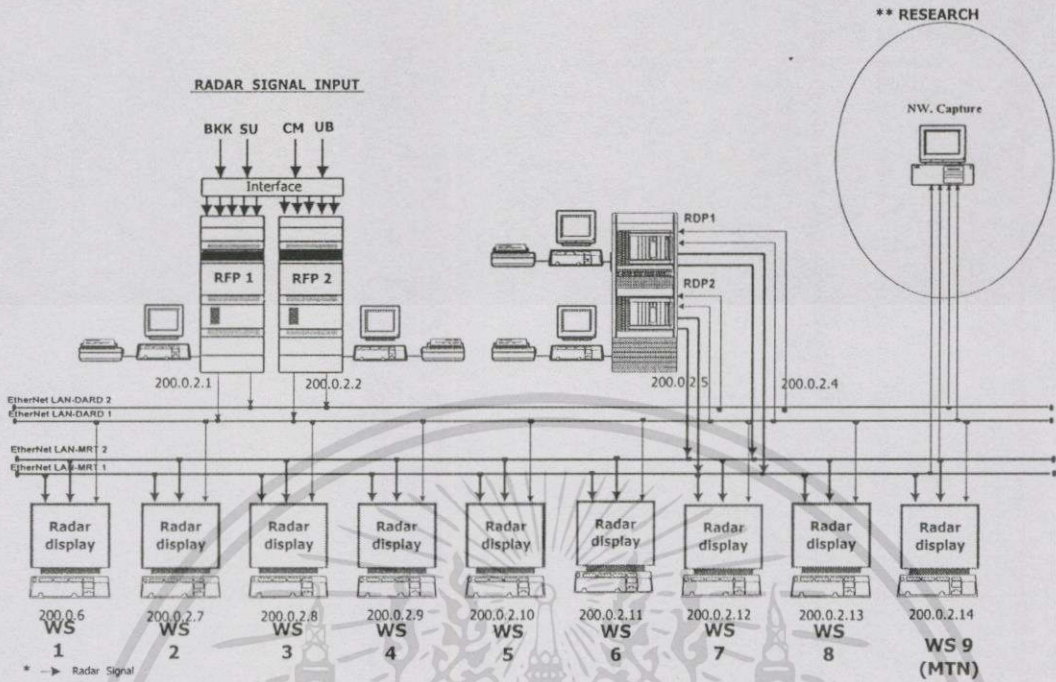
5.1 หลักการทำงานของเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์

ระบบประมวลผลสัญญาณเรดาร์ (Radar Data Processing System) ที่ส่วนกลาง ติดตั้งอยู่ที่บริษัทวิทยุการบินแห่งประเทศไทย ซึ่งเป็นระบบเครือข่ายท้องถิ่น ใช้มาตรฐานอีเทอร์เน็ต และใช้โพรโทคอลทีซีพี/ไอพี เป็นโพรโทคอลติดต่อสื่อสาร โดยจะรับสัญญาณที่ส่งมาจากทุกภาคของประเทศ คือ เรดาร์ปฐมภูมิ และเรดาร์ทุติยภูมิ จากท่าอากาศยานกรุงเทพฯ เรดาร์ปฐมภูมิ และเรดาร์ทุติยภูมิจากท่าอากาศยาน เชียงใหม่ เรดาร์ทุติยภูมิ จากท่าอากาศยาน อุบลราชธานี และเรดาร์ทุติยภูมิ จากท่าอากาศยานสุราษฎร์ธานี เข้ามาประมวลผล ภาพที่ 5.1 จะแสดงเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์

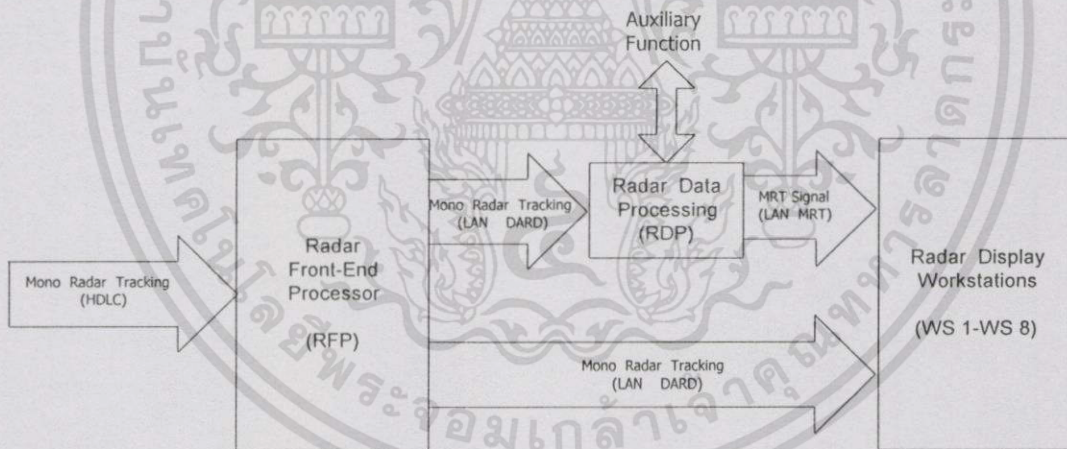
สัญญาณที่รับส่งระหว่างระบบประมวลผลสัญญาณเรดาร์กับสถานีเรดาร์ต่างๆ ประกอบด้วยสัญญาณควบคุมสถานีเรดาร์ (Configuration) สัญญาณแสดงสถานะ สัญญาณควบคุมระยะไกล สัญญาณควบคุมการสื่อสาร และสัญญาณ ที่สถานีเรดาร์ตรวจจับได้ ประกอบด้วย plot และ track ซึ่ง track เกิดจากการนำสัญญาณ plot มาประมวลผลแล้วตัดสินใจว่า plot ที่ได้เป็นเครื่องบินแน่นอน พร้อมทั้งมีรายละเอียด คือ รหัสเครื่องบิน (Mode code) ความสูง (Height) ความเร็ว (Speed) และตำแหน่งของเครื่องบิน

การทำงานของระบบประมวลผลสัญญาณเรดาร์ จากภาพที่ 5.1 จะเห็นว่าสัญญาณเรดาร์จากทุกสถานีเรดาร์จะส่งผ่าน Radar Front-End Processor (RFP) RFP1 และ RFP2 ทำงานในลักษณะ Redundancy เป็นเครื่อง Master และเครื่อง Standby ซึ่งทำหน้าที่ประมวลผลเบื้องต้น และแปลงโพรโทคอล ระหว่างโพรโทคอล HDLC (High-Level Data Link Control) ซึ่งรับส่งสัญญาณกับสถานีเรดาร์ต่างๆ และ โพรโทคอลทีซีพี/ไอพี สำหรับการติดต่อสื่อสารกับเครือข่ายอีเทอร์เน็ต

เซิร์ฟเวอร์ RDP1 และ RDP2 ทำงานในลักษณะ Redundancy ทำหน้าที่ทั้งในด้านการติดต่อสื่อสารกับสถานีเรดาร์ เช่น การกำหนดค่า Configuration ของระบบ การแสดงสถานะต่างๆ ซึ่งสัญญาณส่วนนี้จะติดต่อสื่อสารผ่านแลนวง DARD เข้าสู่ RFP และการบริการฟังก์ชันต่างๆ เช่น ฟังก์ชัน MRT (Multi Radar Tracking) ฟังก์ชันการควบคุมจราจรทางอากาศ การบันทึกสัญญาณเรดาร์ (Record) การแสดงผลย้อนกลับ (Play back) รวมทั้งฟังก์ชันบริหารเครือข่ายต่างๆ สัญญาณส่วนนี้ RDP จะติดต่อสื่อสารกับสถานีงานผ่านแลนวง MRT



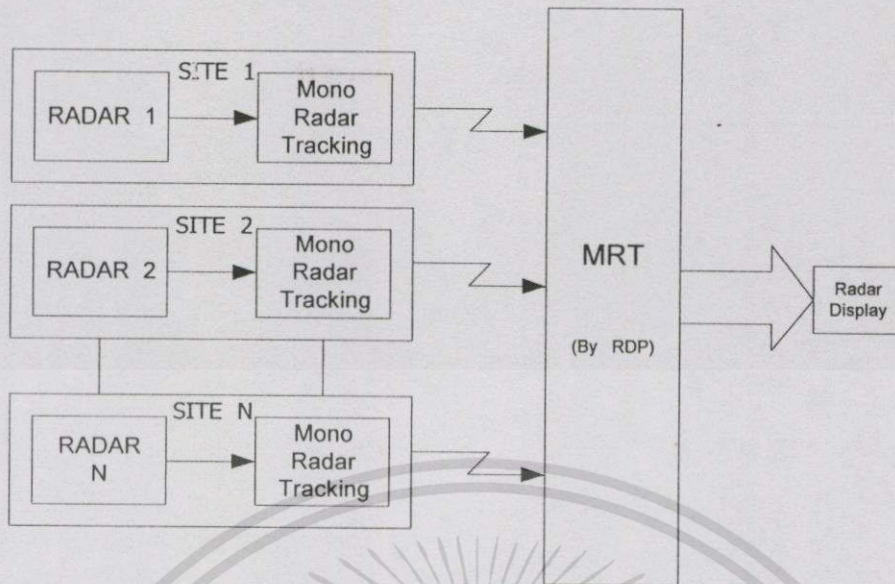
ภาพที่ 5.1 แสดงระบบประมวลผลสัญญาณเรดาร์



ภาพที่ 5.2 แสดงทิศทางของสัญญาณเรดาร์

การทำงานของสถานีงาน (Workstation) WS1 - WS8 จะทำหน้าที่เป็นสถานีงานแสดงผลสัญญาณเรดาร์สำหรับการควบคุมการจราจรทางอากาศของเจ้าหน้าที่ควบคุมการจราจรทางอากาศ (Controller) ซึ่งเป็นการควบคุมการจราจรทางอากาศเขตพื้นที่ (Area Control Service) จะต่อร่วมอยู่กับแลนทั้ง 2 วง สถานีงานแสดงผลสัญญาณเรดาร์นี้ มีการทำงาน 2 โหมด คือ โหมด MRT และ โหมด DARD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.3 แสดงสถาปัตยกรรมของการประมวลผลแบบ Multi Radar Tracking (MRT)

1. การทำงานโหมด MRT (Multi Radar Tracking mode) โหมดนี้จะเป็นสภาวะการทำงานปกติของสถานีงาน โดยจะรับสัญญาณ Multi Radar Tracking จากแขนวง MRT มาแสดงผล รวมทั้งจัดการฟังก์ชันต่างๆ ในการควบคุมการจราจรทางอากาศ
2. การทำงานโหมด DARD (Direct Access Radar Data mode) โหมดนี้จะเป็นโหมดสำรองของสถานีงาน ในกรณีสัญญาณ MRT มีปัญหาไม่สามารถใช้งานได้ สถานีงานจะทำงานในโหมด DARD โดยอัตโนมัติ โดยนำสัญญาณ Mono Radar Tracking ซึ่งประกอบด้วย plot และ track จากแขนวง DARD มาประมวลผลเอง แต่จะเลือกมาเพียงสัญญาณเดี่ยวนั้น ซึ่งจะถูกกำหนดโดยซอฟต์แวร์ และไม่สามารถจัดการฟังก์ชัน ในการควบคุมการจราจรทางอากาศได้หลายๆ ฟังก์ชัน เนื่องจากสัญญาณไม่ได้ถูกนำมาประมวลผลฟังก์ชัน Multi Radar Tracking การทำงานในโหมดนี้จะช่วยแก้ไขปัญหาคารกปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศไปได้ระดับหนึ่ง

สำหรับวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นการนำเสนอการอ่านค่าจากสัญญาณเรดาร์บนเครือข่ายอีเทอร์เน็ต โดยจะอ่านค่าจากสัญญาณเรดาร์ที่แขนวง DARD และแขนวง MRT สำหรับรูปแบบแพ็คเกจเรดาร์ของสถานีเรดาร์ต่างๆ ที่ส่งออกมาจาก Radar Front-End Processor (RFP) นี้จะมีรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

5.2 ลักษณะแพ็คเกจสัญญาณเรดาร์ในงานควบคุมจราจรทางอากาศ

สถานีเรดาร์เมื่อตรวจจับเป้าได้ จะประมวลผลสัญญาณ แล้วส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายดาวเทียมมาประมวลผลอีกครั้ง โดย Radar Front-End Processor (RFP) แล้วส่งเข้าเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยใช้โพรโตคอลที่ซีพี/ไอพี มีรูปแบบแพ็คเกจดังนี้

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	Bit/Word
START								PF	TF	SF	0	SECTER				0
PN								TN								1
PLOT RECORD																2
																...
																...
																...
TRACK RECORD																...
																n

ภาพที่ 5.4 แสดงรูปแบบแพ็คเกจสัญญาณเรดาร์ที่ส่งมาจากสถานีเรดาร์ต่างๆ

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	Bit/Word
TD		EM		0	0	0	0	0	0	0	0	S	0	T	0	0
H																1
X																2
Y																3
MODE				CODE												4

ภาพที่ 5.5 แสดงรายละเอียดของฟิลด์ต่างๆในชุด Plot Records ที่อยู่ในชุดของแพ็คเกจสัญญาณเรดาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	Bit/Word
0	0	0	0	TRN											0	
TD		EM		NF	0	0	0	0	RDA	S	DUP	T	0	0	1	
H																2
X																3
Y																4
VX																5
VY																6
MODE				CODE											7	

ภาพที่ 5.6 รายละเอียดของฟิลด์ต่างๆของ Track Records ที่อยู่ในชุดของแฟ้มเกิดสัญญาณเรดาร์

ตารางที่ 5.1 แสดงความหมายของฟิลด์ต่างๆ ที่อยู่ในชุดข้อมูลแฟ้มเกิดเรดาร์

ฟิลด์	ชื่อฟิลด์	หน้าที่
START	Radar packet Start	กำหนดจุดเริ่มต้นของแฟ้มเกิด
PF	Plot record presence flag	แสดงสถานะ plot ในแฟ้มเกิด
TF	Track record presence flag	แสดงสถานะ track ในแฟ้มเกิด
SF	Sector change flag	แสดงการเปลี่ยน Sector ของ plot และ track
SECT	Sector number	แสดงหมายเลข Sector (1-15)
PN	Plots words number	แสดงจำนวน plot ในแฟ้มเกิด
TN	Tracks word number	แสดงจำนวน track ในแฟ้มเกิด
TD	Target detection	ตรวจสอบชนิดของเป้าในระบบเรดาร์ (PSR,SSR)
EM	Emergency flag	แสดงเหตุการณ์ฉุกเฉินในเครื่องบิน
S	Special position indication	แสดงการแสดงตำแหน่งพิเศษ
T	Test plot	แสดงการทดสอบการบิน
H	Height (Feet)	แสดงความสูงของเครื่องบิน (ฟุต)
X,Y	distance (Nautical mile)	แสดงระยะทางในแนวแกน X และ แกน Y (ไมล์ทะเล)
Mode	SSR Mode	แสดงโหมดการทำงานของระบบเรดาร์ทุติยภูมิ
Code	SSR code	แสดงรหัสของเครื่องบิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

ฟิลด์	ชื่อฟิลด์	หน้าที่
VX,VY	Speed (knots)	ความเร็ว ในแนวแกน X และ แกน Y (น็อต)
RDA	Radar derive altitude	แสดงลักษณะการบินของเครื่องบิน (ขึ้น, ลง, รักษาระดับ)
DUP	Duplicated Mode code	แสดงการเกิด Mode code ซ้ำขึ้นในระบบ เรดาร์

5.3 การตรวจสอบการติดต่อสื่อสารภายในเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์

ในการวิจัยได้ทำการทดสอบเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์ โดยใช้โปรแกรม มอนิเตอร์เครือข่าย เพื่อที่จะศึกษาการรับส่งข้อมูลภายในเครือข่าย และหาหลักการสำหรับพัฒนา โปรแกรมตรวจจับแพ็คเก็ตเรดาร์ โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. ทำการตรวจสอบปริมาณแพ็คเก็ตของเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์ที่ส่งจาก Radar Front - End Processor โดยผลที่ได้แสดงดังภาพที่ 5.7 และภาพที่ 5.8 แสดงตัวอย่าง ปริมาณของแพ็คเก็ตขนาดต่างๆที่ส่งในเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์ ในแลนวง DARD 1 ณ เวลา 11.00 น.-12.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มียุทธการจรวดทางอากาศสูงช่วงหนึ่ง โดยแสดงผลในรูปการติดต่อระหว่างโหนดสองโหนด จำนวนแพ็คเก็ตรวมที่ส่ง และขนาดแพ็คเก็ตรวมมีหน่วยเป็นไบต์ (Byte) และจากข้อมูลทั้งหมด ทำให้ทราบความเร็วเฉลี่ยของสัญญาณใน เครือข่าย ซึ่งจากกรณีตัวอย่าง ความเร็วในเครือข่าย ที่แลนวง DARD 1 มีค่าเท่ากับ 22.774 กิโลบิต ต่อวินาที

เมื่อวิเคราะห์จากผลการทดสอบปริมาณแพ็คเก็ตที่รับส่งข้อมูลในเครือข่ายระหว่าง โหนดต่างๆเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าปริมาณแพ็คเก็ตที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุด เป็นการติดต่อสื่อสารระหว่าง IP Address 200.0.2.1 ไปยัง IP Address 224.9.200.252 โดยเป็นการส่งข้อมูลของ Radar Front-End Processor (RFP) IP Address 200.0.2.1 ซึ่งทำงานเป็นเครื่อง Master ในขณะนั้น ส่งข้อมูลไปยัง IP Address 224.9.200.252 ซึ่งหมายเลข IP นี้เป็นการติดต่อสื่อสารแบบ Multicast protocol ใช้ในการกระจายข้อมูลไปยังโหนดหลายๆ โหนดพร้อมกันภายในเครือข่าย

ภาพที่ 5.9 แสดงตัวอย่างของขนาดแพ็คเก็ตในเครือข่ายอีเทอร์เน็ต โดยจะเห็นว่า แพ็คเก็ตที่มี ขนาด 0 – 64 bytes เป็นขนาดแพ็คเก็ตที่มีปริมาณสูงสุด แพ็คเก็ตทั้งหมดที่รับเข้ามานี้

จะมีทั้งแพ็คเก็ตสำหรับควบคุมสถานีเรดาร์ สำหรับการติดต่อสื่อสารในเครือข่าย และแพ็คเก็ตของสัญญาณเรดาร์ที่รับมาจากสถานีเรดาร์ต่างๆ

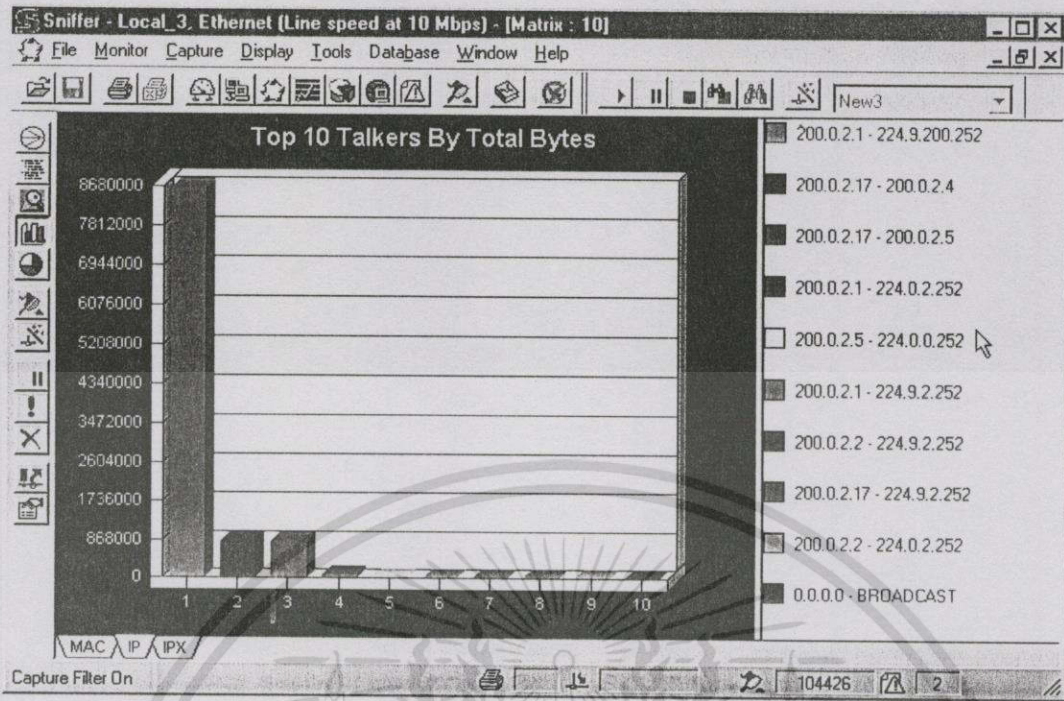
2 . ทำการตรวจสอบการรับส่งแพ็คเก็ตเรดาร์ในเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์ โดยพิจารณาจาก Traffic Map แสดงดังภาพที่ 5.10 โดยจะเห็นว่าแพ็คเก็ต ที่ส่งจาก IP address 200.0.2.1 ส่งไปยัง IP Address 224.9.200.252 มีความถี่ในการส่งแพ็คเก็ตในเครือข่ายสูงสุด

3. ทำการตรวจสอบข้อมูลในแพ็คเก็ตเรดาร์ ว่าให้รายละเอียดข้อมูลสัญญาณเรดาร์ตรงตามความเป็นจริง ซึ่งในเครือข่ายจะใช้โปรโตคอล UDP เป็นโปรโตคอลย่อยในระดับชั้นโฮสทูโฮส รับส่งสัญญาณเรดาร์ ภาพที่ 5.11 แสดง โปรโตคอลที่ใช้ในระบบ และ รายละเอียดใน UDP datagram ซึ่งเป็นข้อมูลของเครื่องบิน ณ เวลานั้น แล้วนำข้อมูลที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับเครื่อง Work station ซึ่งแสดงผลสัญญาณเรดาร์ทั่วประเทศ ซึ่งจากการตรวจสอบ ข้อมูลทั้งหมดผลปรากฏว่าให้รายละเอียดสอดคล้องกับสถานะแวดล้อมจริง และสามารถสรุปหลักการเขียนโปรแกรมอ่านค่าจากสัญญาณเรดาร์ ดังภาพที่ 5.12

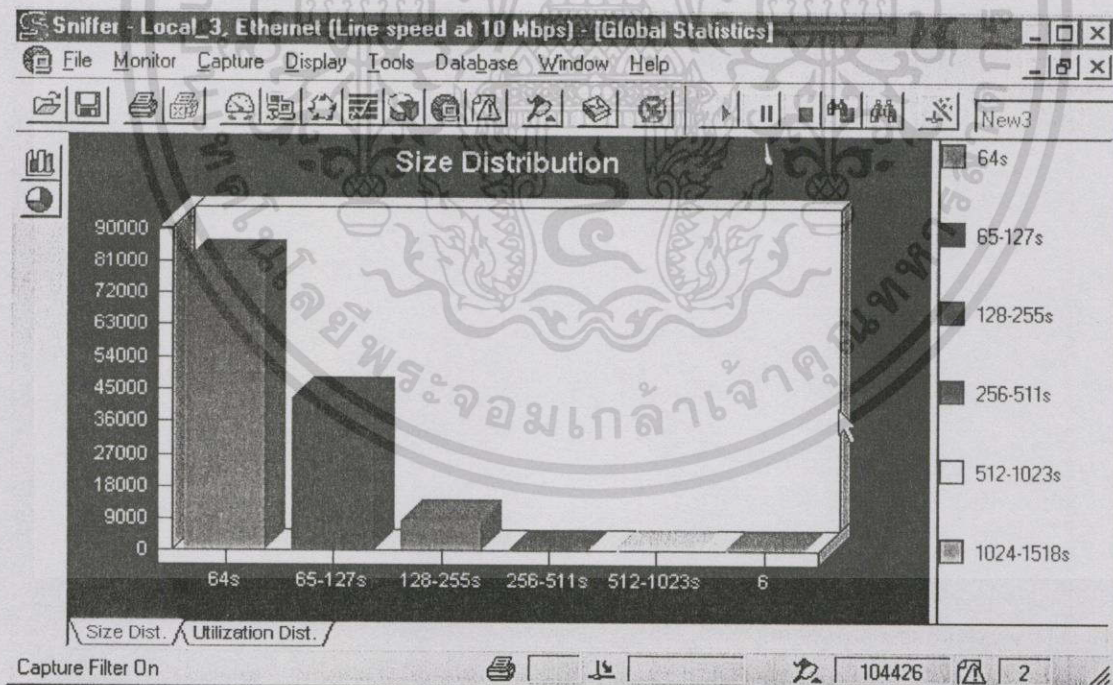
Host 1	Packets	Bytes	Bytes	Packets	Host 2
0.0.0.0	13	4498	0	0	BROADCAST
200.0.2.2	72	4608	0	0	224.0.2.252
200.0.2.17	62	12400	0	0	224.9.2.252
200.0.2.2	60	14520	0	0	224.9.2.252
200.0.2.1	60	14520	0	0	224.9.2.252
200.0.2.5	180	15960	0	0	224.0.0.252
200.0.2.1	542	95448	0	0	224.0.2.252
200.0.2.17	12922	828444	0	0	200.0.2.5
200.0.2.17	12924	828572	0	0	200.0.2.4
200.0.2.1	104426	8675670	0	0	224.9.200.252

ภาพที่ 5.7 ตารางแสดงตัวอย่างปริมาณแพ็คเก็ตเรดาร์ในเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์ ในช่วงเวลา 11.00-12.00 น. ณ วันที่ 2 พฤศจิกายน 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

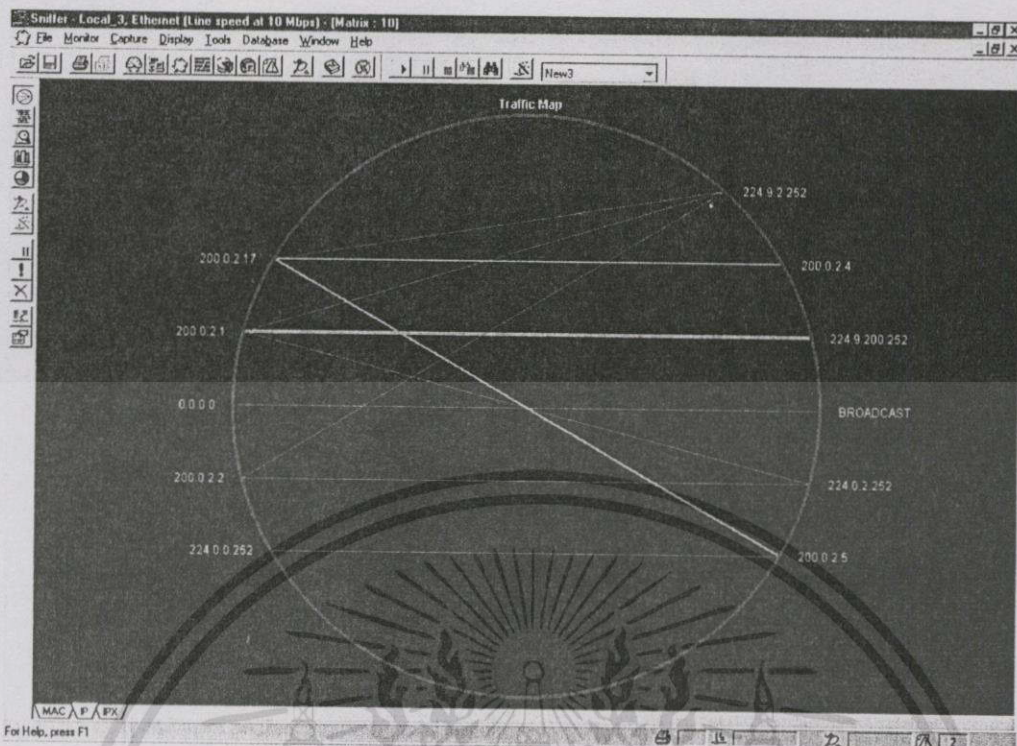


ภาพที่ 5.8 กราฟแสดงตัวอย่างปริมาณแพ็คเก็ตเรดาร์ในเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์
ในช่วงเวลา 11.00-12.00 น. ณ วันที่ 2 พฤศจิกายน 2543

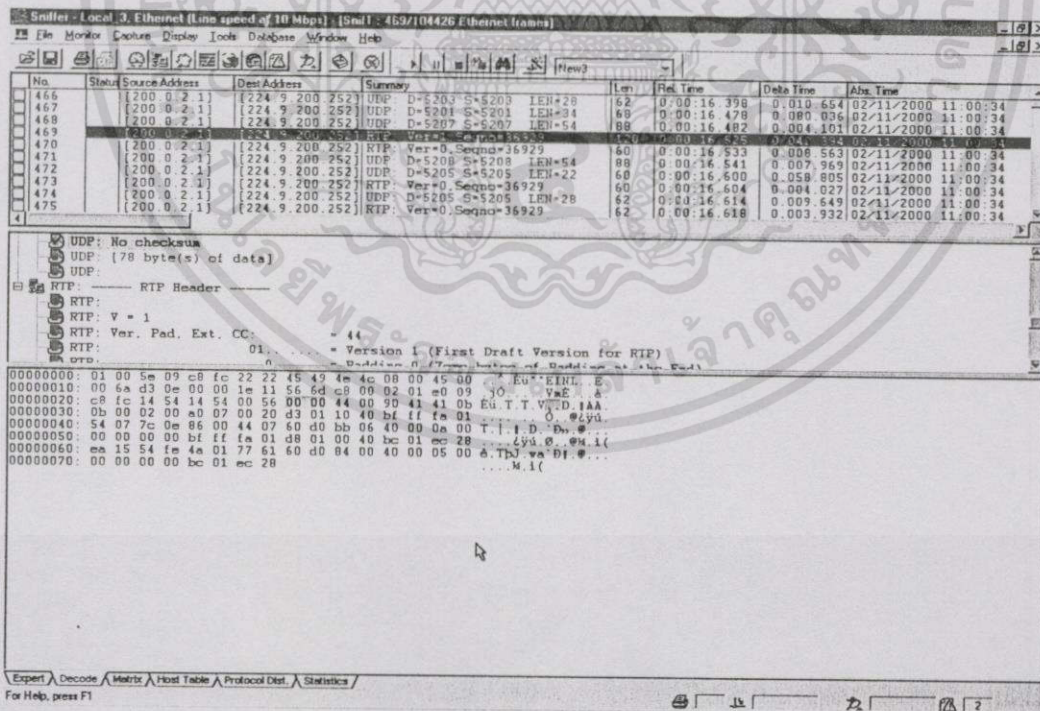


ภาพที่ 5.9 แสดงตัวอย่าง ขนาดของอีเทอร์เน็ตแพ็คเก็ตในเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์
ในช่วงเวลา 11.00-12.00 น. ณ วันที่ 2 พฤศจิกายน 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.10 แสดง Traffic map ของเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์ ในช่วงเวลา 11.00-12.00 น. ณ วันที่ 2 พฤศจิกายน 2543



ภาพที่ 5.11 แสดงตัวอย่าง รายละเอียดของอีเทอร์เน็ตแพ็คเก็ต ในช่วงเวลา 11.00-12.00 น. ณ วันที่ 2 พฤศจิกายน 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

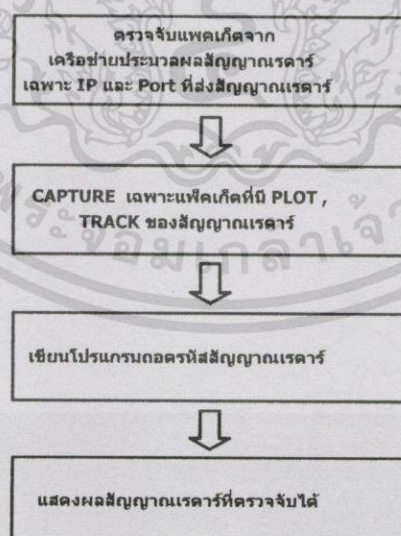
สำหรับสัญญาณที่ส่งจาก RDP จะถูกจัดรูปแบบใหม่แล้วส่งออกมายังเลนวง MRT เมื่อใช้โปรแกรมมอนิเตอร์เครือข่าย โดยอาศัยจากการพิจารณาหลักการเช่นเดียวกันนี้ ได้ทำการตรวจจับสัญญาณเรดาร์จากเลนทั้ง 4 วง สามารถสรุปผลการวิเคราะห์เครือข่ายได้ดังตารางที่ 5.2 ซึ่งจะใช้ข้อมูลนี้ในการเขียนโปรแกรมอ่านค่าจากสัญญาณเรดาร์ต่อไป

ตารางที่ 5.2 รายละเอียดของการส่งสัญญาณเรดาร์ผ่านเลนวงต่างๆ

วงเลน	ชนิดของสัญญาณ	IP Multicast	Port	Protocol
DARD 1	Mono radar tracking	224.9.200.252	5203 5205 5207 5209	UDP
DARD 2	Mono radar tracking	224.9.201.252	5203 5205 5207 5209	UDP
MRT 1	Multi radar tracking	224.9.0.252	5200	UDP
MRT 2	Multi radar tracking	224.9.1.252	5200	UDP

5.4 หลักการเขียนโปรแกรมอ่านค่าจากสัญญาณเรดาร์บนโปรโตคอล ทีซีพี/ไอพี

จากผลสรุปการวิเคราะห์เครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์ สามารถเขียนโปรแกรมได้ดังผังงานต่อไปนี้



ภาพที่ 5.12 แสดงหลักการเขียนโปรแกรมประยุกต์อ่านค่าสัญญาณเรดาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITH & AEROTHAI

Radar Packet

```

11:42:08 ** Aerothai BKK Radar * Modecode A1435 : Xnm 43.81250000 : Ynm 15.19212951 : height 7200 Feet :
speed: 220.69526945 knots : radius 46.37531850 nm : latitude 13'34'56 N : longitude 99'56'11 E

11:42:08 ** Aerothai BKK Radar * Modecode A1431 : Xnm 45.70312500 : Ynm 21.35954078 : height 6300 Feet :
speed: 168.84259972 knots : radius 50.45459602 nm : latitude 13'28'46 N : longitude 99'54'18 E

11:42:08 ** Aerothai BKK Radar * Modecode A1421 : Xnm 26.87500000 : Ynm 10.72661149 : height 8300 Feet :
speed: 205.81227304 knots : radius 28.93946150 nm : latitude 13'39'24 N : longitude 100'13'8 E

11:42:08 ** Aerothai BKK Radar * Modecode A1432 : Xnm 55.79687500 : Ynm 23.77966418 : height 9500 Feet :
speed: 146.55323012 knots : radius 60.65956247 nm : latitude 13'26'21 N : longitude 99'44'12 E

11:42:08 --> Packet 228 : Plot is 0 : Track is 3

11:42:08 ** Aerothai BKK Radar * Modecode A1434 : Xnm 42.90625000 : Ynm 3.06020508 : height 2300 Feet :
speed: 181.45600213 knots : radius 43.01540649 nm : latitude 13'53'12 N : longitude 99'57'6 E

11:42:08 ** Aerothai BKK Radar * Modecode A1462 : Xnm 35.04687500 : Ynm 3.95026595 : height 900 Feet :
speed: 129.62565342 knots : radius 35.26911743 nm : latitude 13'54'5 N : longitude 100'4'57 E

11:42:08 ** Aerothai BKK Radar * Modecode A1423 : Xnm 31.02812500 : Ynm 3.90342405 : height 3300 Feet :
speed: 149.91535575 knots : radius 32.06693515 nm : latitude 13'54'2 N : longitude 100'8'10 E

11:42:09 --> Packet 231 : Plot is 0 : Track is 3

11:42:09 ** Aerothai BKK Radar * Modecode A1425 : Xnm 38.29687500 : Ynm 15.75422269 : height 2400 Feet :
speed: 183.62343959 knots : radius 41.41504034 nm : latitude 14'5'53 N : longitude 100'1'42 E

11:42:09 ** Aerothai BKK Radar * Modecode A1430 : Xnm 39.07812500 : Ynm 16.75349945 : height 8000 Feet :
speed: 193.28674746 knots : radius 42.52277070 nm : latitude 14'6'53 N : longitude 100'0'55 E

11:42:09 ** Aerothai BKK Radar * Modecode A5042 : Xnm 81.78125000 : Ynm 32.64824544 : height 25900 Feet :
speed: 486.74982998 knots : radius 88.06602221 nm : latitude 14'22'47 N : longitude 99'18'13 E

```

SSR DM SU UB CM SITE

Radar/SE. Department

ภาพที่ 5.13 แสดงสัญญาณเรดาร์จากสถานีเรดาร์ท่าอากาศยานกรุงเทพฯ

KMITH & AEROTHAI

Radar Packet

```

11:29:25 ** Aerothai SU Radar * Modecode A3353 : Xnm 7.14062500 : Ynm 224.69674803 : height 31000 Feet :
speed: 454.02241331 knots : radius 224.97272513 nm : latitude 10'5'26 N : longitude 100'32'52 E

11:29:25 ** Aerothai SU Radar * Modecode A7215 : Xnm 28.56250000 : Ynm 257.23569758 : height 4300 Feet :
speed: 250.55872992 knots : radius 259.00161802 nm : latitude 9'32'54 N : longitude 100'11'26 E

11:29:26 --> packet 27 : Plot is 1 : Track is 1

11:29:26 ** Aerothai SU Radar * Modecode A1200 : Xnm 20.93750000 : Ynm 278.42348766 : height 4300 feet :
speed: 124.51997876 knots : radius 279.41057520 nm : latitude 9'11'43 N : longitude 100'19'4 E

11:29:26 --> packet 20 : Plot is 2 : Track is 2

11:29:26 ** Aerothai SU Radar * Modecode A3366 : Xnm 77.48437500 : Ynm 383.88943138 : height 17000 Feet :
speed: 284.47480791 knots : radius 313.82533411 nm : latitude 8'45'15 N : longitude 99'22'31 E

11:29:26 ** Aerothai SU Radar * Modecode A5421 : Xnm 14.46875000 : Ynm 394.04293170 : height 24000 Feet :
speed: 300.58456102 knots : radius 394.59348055 nm : latitude 7'16'5 N : longitude 100'25'32 E

11:29:27 --> packet 30 : Plot is 1 : Track is 1

11:29:27 ** Aerothai SU Radar * Modecode A5426 : Xnm 71.60937500 : Ynm 416.15193005 : height 30900 Feet :
speed: 448.56636151 knots : radius 422.56491562 nm : latitude 6'53'59 N : longitude 99'28'23 E

11:29:27 --> packet 31 : Plot is 1 : Track is 1

11:29:27 ** Aerothai SU Radar * Modecode A5427 : Xnm 121.51562500 : Ynm 368.79557977 : height 41000 feet :
speed: 451.69328444 knots : radius 388.55266828 nm : latitude 7'41'28 N : longitude 98'38'29 E

11:29:29 --> packet 32 : Plot is 1 : Track is 1

11:29:29 ** Aerothai SU Radar * Modecode A3367 : Xnm 111.20312500 : Ynm 281.35886315 : height 37000 Feet :
speed: 464.49757433 knots : radius 302.72690071 nm : latitude 9'8'46 N : longitude 98'40'48 E

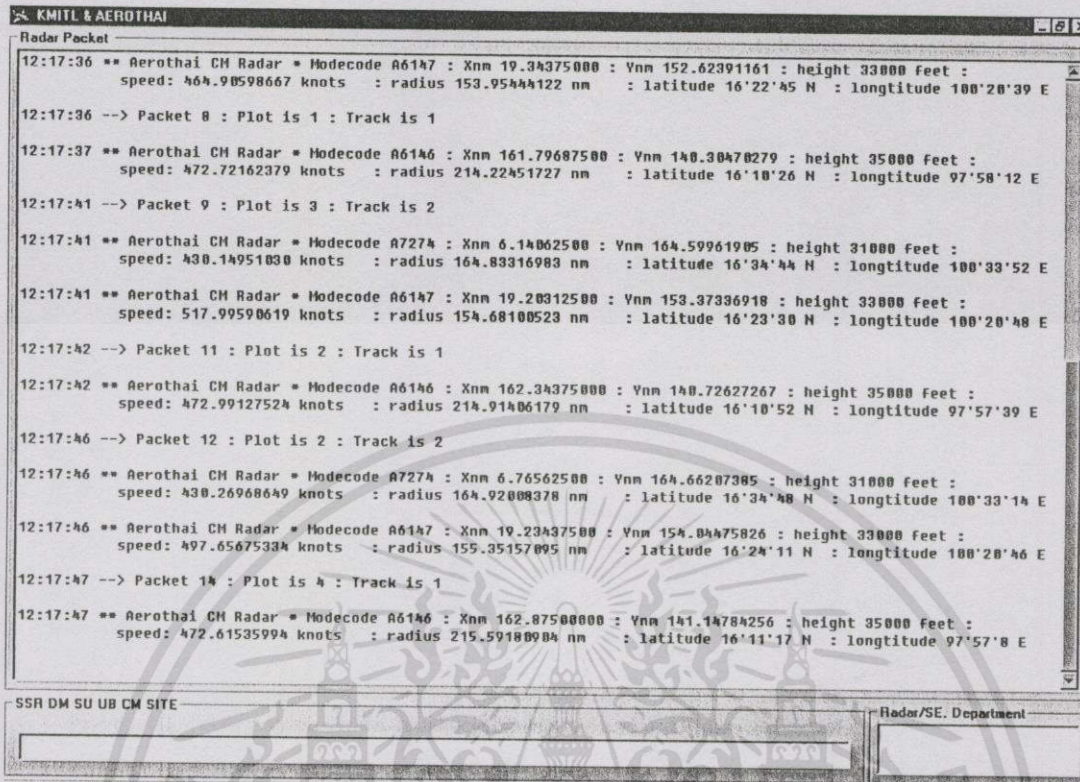
```

SSR DM SU UB CM SITE

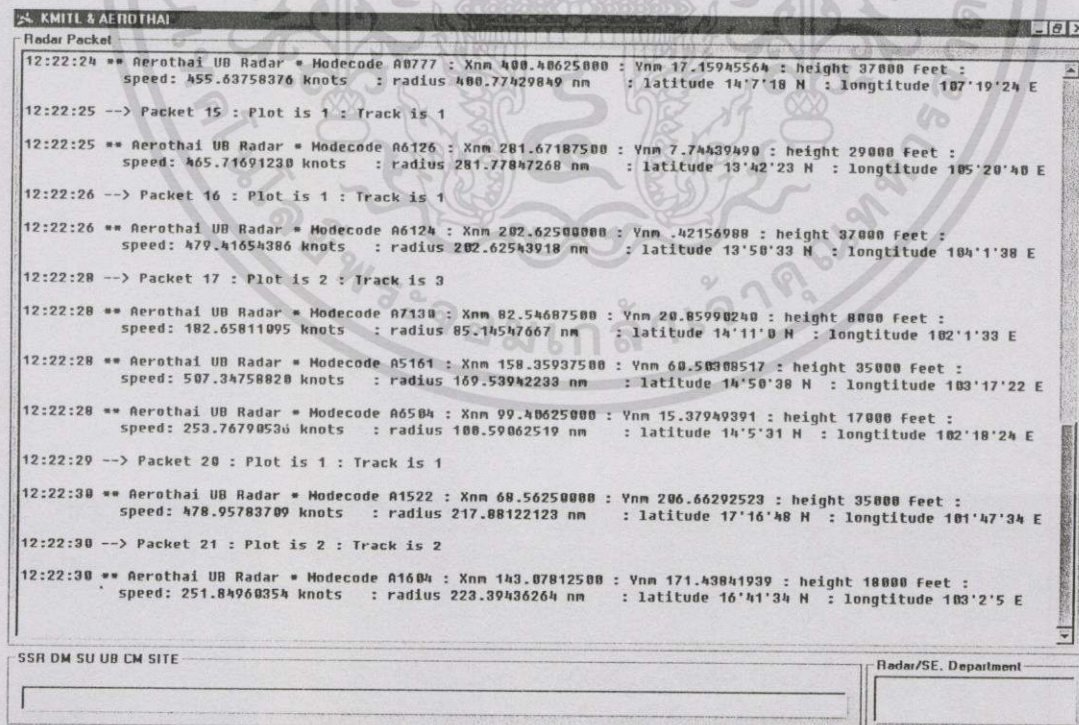
Radar/SE. Department

ภาพที่ 5.14 แสดงสัญญาณเรดาร์จากสถานีเรดาร์ท่าอากาศยานสุราษฎร์ธานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

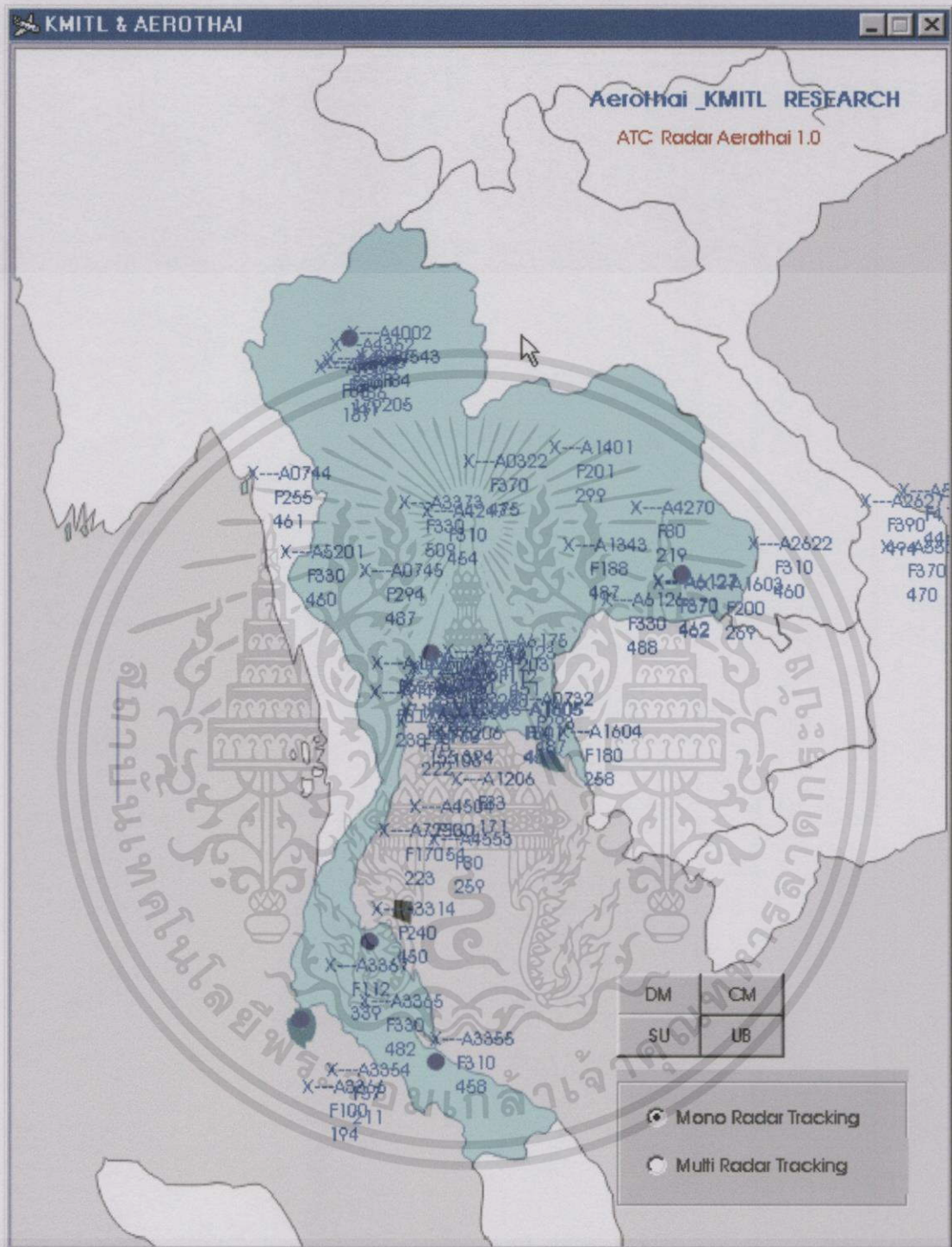


ภาพที่ 5.15 แสดงสัญญาณเรดาร์จากสถานีเรดาร์ท่าอากาศยานเชียงใหม่



ภาพที่ 5.16 แสดงสัญญาณเรดาร์จากสถานีเรดาร์ท่าอากาศยานอุบลราชธานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.17 แสดงตัวอย่างสัญญาณเรดาร์ทั่วประเทศที่ตรวจจับได้

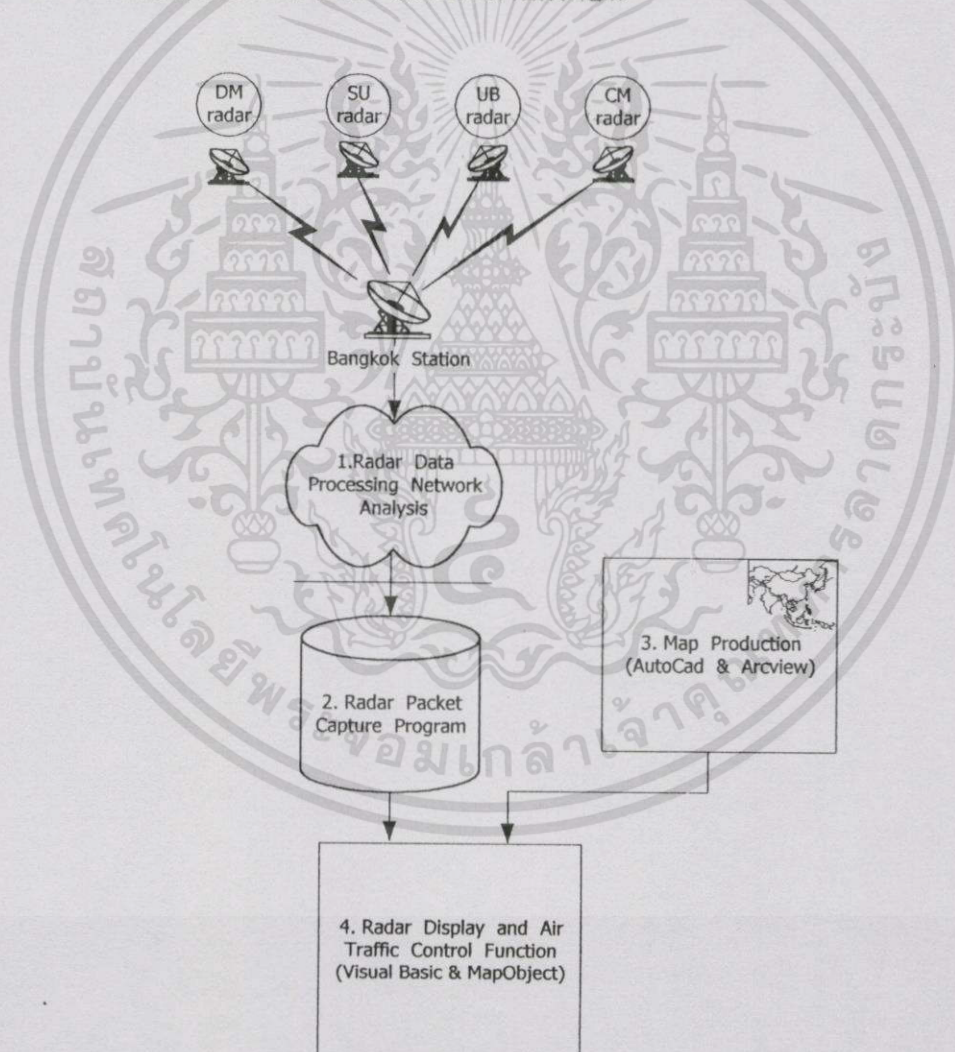
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การพัฒนาาระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์ ในงานควบคุมจราจรทางอากาศ

6.1 ระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

ในการออกแบบระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์ในงานควบคุมจราจรทางอากาศ บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดยตรวจจับสัญญาณเรดาร์จากเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์เรดาร์ มาแสดงผล สำหรับขั้นตอนในการวิจัย แสดงคังภาพต่อไปนี้

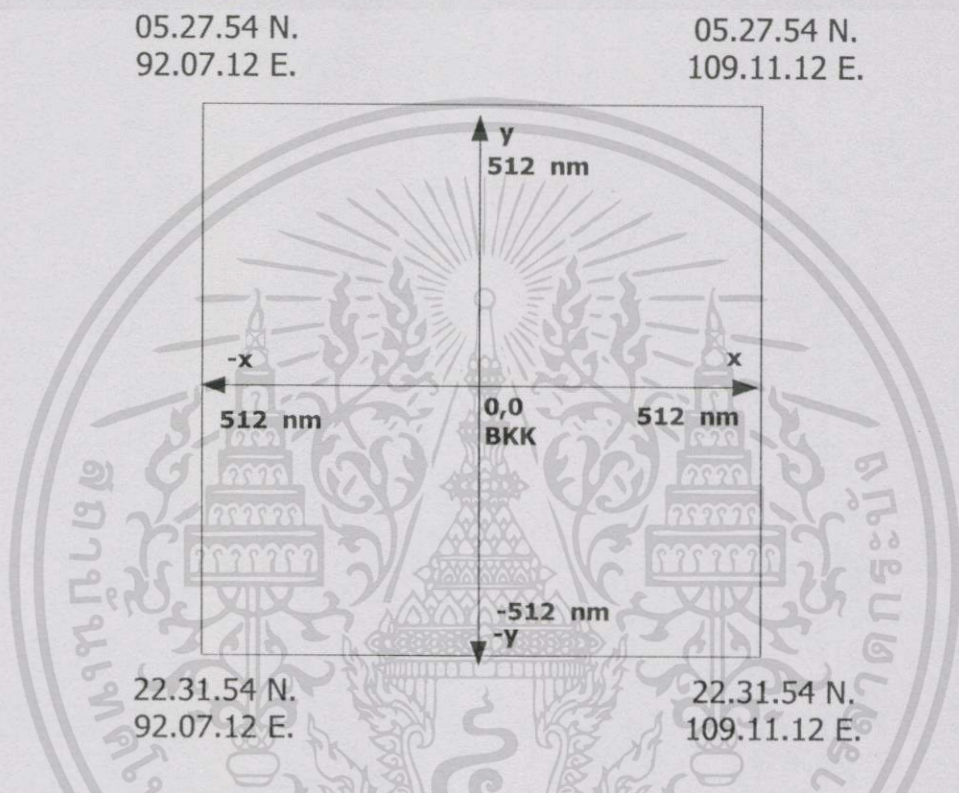


ภาพที่ 6.1 แสดงหลักการพัฒนาระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 แผนที่ในงานควบคุมจราจรทางอากาศ

แผนที่ในงานควบคุมจราจรทางอากาศ ที่แสดงบนจอแสดงผลสัญญาณเรดาร์ จะมีรัศมีขอบเขต 512 ไมล์ทะเล (1 ไมล์ทะเล เท่ากับ 6080 ฟุต) จากศูนย์การควบคุมจราจรทางอากาศ กรุงเทพฯ เพื่อให้ครอบคลุมน่านฟ้าที่ประเทศไทยรับผิดชอบอยู่ แสดงดังภาพนี้

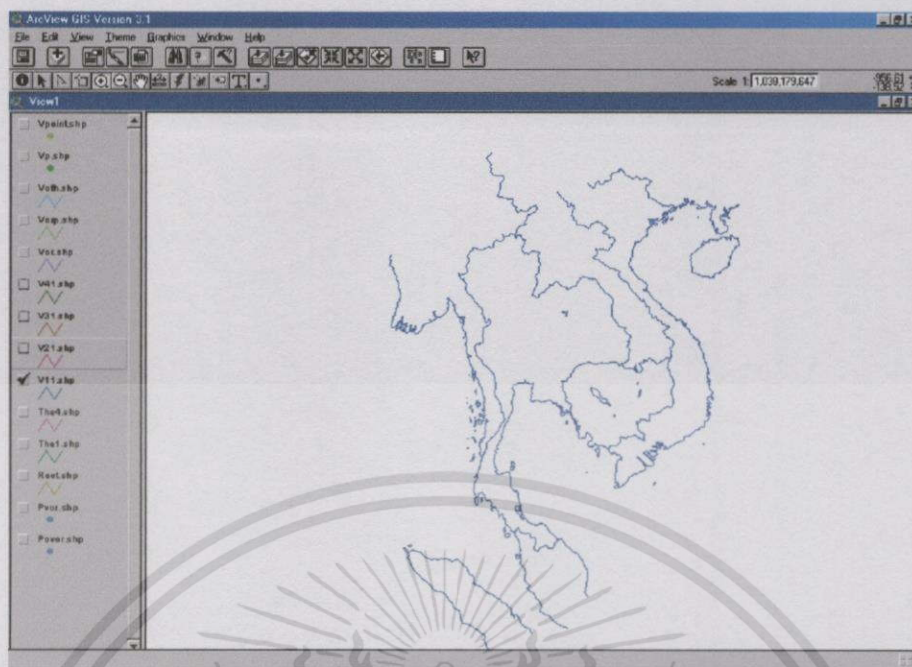


ภาพที่ 6.2 แสดงขอบเขตพื้นที่แสดงผลสัญญาณเรดาร์

6.3 การพัฒนาแผนที่ในงานควบคุมจราจรทางอากาศ

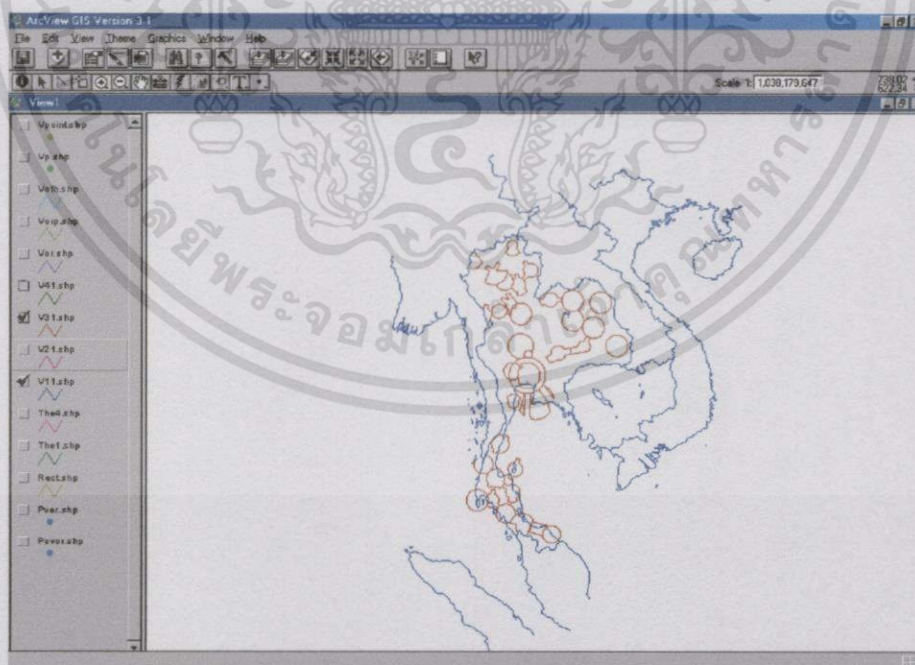
ส่วนงานการพัฒนาแผนที่ในงานควบคุมจราจรทางอากาศ จะใช้โปรแกรม Auto Cad ร่วมกับโปรแกรม Arcview ซึ่งพัฒนาแผนที่ในรัศมีการควบคุมจราจรทางอากาศของประเทศในรัศมี 512 ไมล์ทะเล จากศูนย์กลางกรุงเทพฯ เป็นแผนที่ในลักษณะ Multiple Layer ซึ่งประกอบด้วยเลเยอร์พื้นฐานคือ

1. Boundary layer เป็นชั้นของแผนที่ ที่แสดงขอบเขตของประเทศและ แนวชายฝั่งทะเล ซึ่งแสดงดังภาพที่ 6.3



ภาพที่ 6.3 แสดง Boundary layer

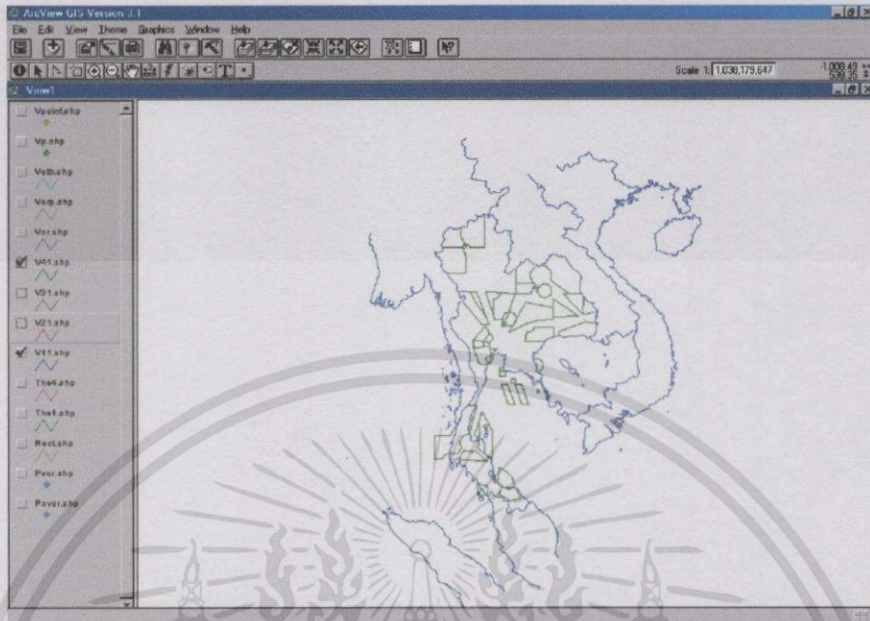
2. Terminal Control Area layer (TMA) layer เป็นชั้นของแผนที่ ที่แสดงขอบเขตของสนามบิน และ พื้นที่ควบคุมการบินของสนามบินต่างๆ



ภาพที่ 6.4 แสดง Terminal Control Area layer (TMA)

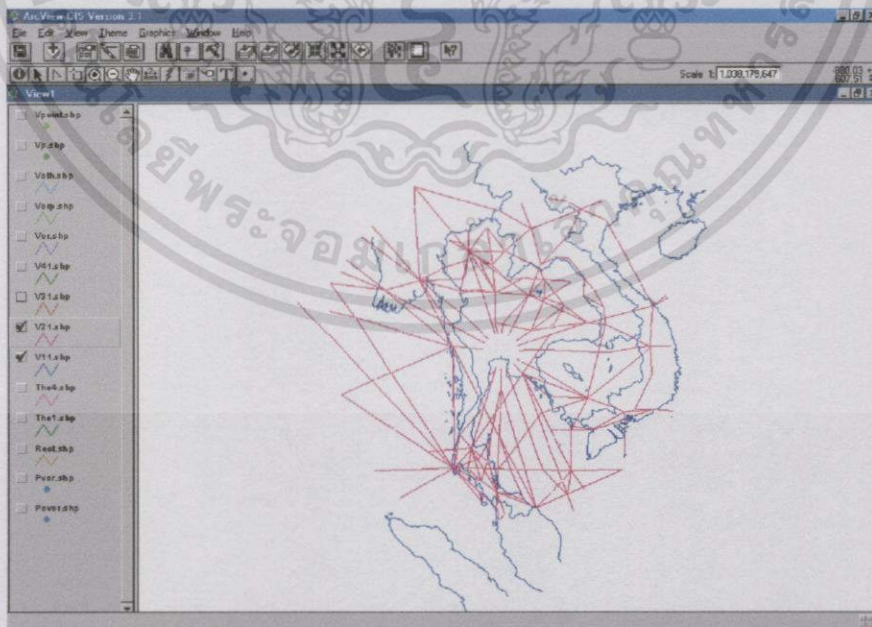
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Restrict Area เป็นชั้นของแผนที่ ที่แสดงขอบเขตของพื้นที่ที่เข้มงวดต่างๆ



ภาพที่ 6.5 แสดง Restrict Area layer

4. Airways layer เป็นชั้นของแผนที่เส้นการบิน พร้อมแสดงจุดรายงานการบิน ซึ่งเมื่อเครื่องบินบินผ่านจุดนี้ จะรายงานให้ศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศทราบทุกครั้ง



ภาพที่ 6.6 แสดง Airways layer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 การพัฒนาระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และ ฟังก์ชันพื้นฐานในงานควบคุมจราจรทางอากาศ

โปรแกรมในส่วนนี้จะใช้ภาษา Visual Basic ร่วมกับ MapObjects ซึ่งเป็นคอนโทรล ActiveX สำหรับสนับสนุนงานด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System) มาประยุกต์พัฒนาเป็นระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์ โดยมีรัศมีขอบเขต 512 ไมล์ทะเลจากศูนย์การควบคุมจราจรทางอากาศกรุงเทพฯ เพื่อให้ครอบคลุมน่านฟ้าที่ประเทศไทยรับผิดชอบอยู่

ในการเขียนโปรแกรมพัฒนาระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์ ประกอบด้วยลำดับขั้นตอนการพัฒนาโครงการ คือ

1. พัฒนาแผนที่ในงานควบคุมจราจรทางอากาศซึ่งอ้างอิงกับตำแหน่งทางภูมิศาสตร์จริง โดยใช้โปรแกรม Autocad และ Arcview
2. ออกแบบโครงสร้างของหน้าจอแสดงผลสัญญาณเรดาร์และปุ่มฟังก์ชันควบคุม
3. สร้างไฟล์ maps.dat ด้วยโปรแกรม data management ที่พัฒนาขึ้นเอง เพื่อความสะดวกในการจัดการแผนที่ของโครงการ
4. สร้างไฟล์ config.dat ด้วย เพื่อเก็บค่าต่างๆที่สำคัญ ในการจัดการระบบแสดงผล
5. ออกแบบและคัดเลือกฟอนท์ (Font) สำหรับแสดงเป็นสัญญาณแท่งเรดาร์ อยู่ในไฟล์ Surveillance1.TTF และ ESRI_3.TTF โดยใช้โปรแกรมสำหรับออกแบบฟอนท์
6. พัฒนาโปรแกรมระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ โดยใช้ภาษาวิซวลเบสิก ร่วมกับไฟล์ต่างๆที่สร้างขึ้น รวมทั้งกับการเขียนโปรแกรมติดต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เพื่อรับสัญญาณเรดาร์มาจากเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์มาประมวลผล โดยใช้หลักการเขียนโปรแกรมผ่าน Windows socket

ในการพัฒนาระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์จะประกอบด้วยฟังก์ชันการควบคุมจราจรทาง อากาศพื้นฐาน ระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์ประกอบด้วยฟังก์ชันต่างๆแสดงดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ฟังก์ชัน Radar Tracking

ใช้แสดงตำแหน่งสัญญาณเรดาร์ ซึ่งเป็นลักษณะของเป้าเคลื่อนที่ (Moving target) บนแผนที่ที่อ้างอิงตำแหน่งทางภูมิศาสตร์จริง

2. ฟังก์ชัน Barometric pressure (QNH)

ค่าความกดบรรยากาศ ใช้คำนวณ Altitude correction flight level โดยนำค่าความสูงที่ได้จากทรานสปอนเดอร์ มาชดเชยด้วยค่ากดบรรยากาศนี้ เพื่อให้ได้ค่าความสูงที่แม่นยำยิ่งขึ้น (แสดงคั่ง ผนวก ก.)

3. ฟังก์ชัน Map selection

ใช้ควบคุมการแสดงผลของแผนที่สำหรับงานควบคุมจราจรทางอากาศ ให้แสดงเลเซอร์ที่ต้องการ

4. ฟังก์ชัน Zoom in

ใช้ในการ Zoom map

5. ฟังก์ชัน Range scaling

ใช้ควบคุมรัศมีการแสดงผลของแผนที่

6. ฟังก์ชัน Center map

ใช้กำหนดจุดศูนย์กลางเริ่มต้นของแผนที่บนหน้าจอแสดงผลคอมพิวเตอร์

7. ฟังก์ชัน Off Center

ใช้กำหนดจุดศูนย์กลางเริ่มต้นใหม่ ของแผนที่บนหน้าจอแสดงผลคอมพิวเตอร์

8. ฟังก์ชัน Range and Baring measurment (R & B)

ใช้วัดระยะทางและมุมแบริง (Bairing) ระหว่างตำแหน่ง 2 ตำแหน่ง ซึ่งมุมแบริงนี้จำเป็นมากสำหรับการเดินอากาศ และการเดินเรือทะเล สำหรับการอ้างอิงตำแหน่งของอากาศยานและเรือเดินทะเล ซึ่งจะเปรียบเทียบกับแนวมุมอะซิมุท (Azimuth)

9. ฟังก์ชัน Clear Range and Baring measurment (Clear R & B)

ใช้สำหรับยกเลิกการวัดระยะทางและมุมแบริง

10. ฟังก์ชัน Pan

ใช้ในการ Pan Map

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ฟังก์ชัน Transaction flight level

ใช้ตั้งระดับความสูงในการควบคุมของเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศ

12. ฟังก์ชัน Time

ใช้แสดงค่าเวลาสากล (Universal time coordinate : UTC) บนหน้าจอแสดงผลคอมพิวเตอร์

13. ฟังก์ชัน Supervisor

ใช้ควบคุมค่าต่างๆในระบบแสดงผล เช่นค่าความกดบรรยากาศ (QNH) ค่า Quickey 1, ค่า Quickey 2

14. ฟังก์ชัน Label

ใช้ควบคุมการแสดงผลชื่อของสัญญาณแทร์กเรดาร์

15. ฟังก์ชัน Dot history selection

ใช้ในการเลือกการแสดงผล Dot History ของสัญญาณแทร์กเรดาร์ มีค่า 0 ถึง 9 จุด

16. ฟังก์ชัน Speed vector

ใช้ในการแสดง Speed vector ในการแสดงตำแหน่งของสัญญาณแทร์กสว่างหน้า

17. ฟังก์ชันเรดาร์อินพุท (Input)

ใช้สำหรับเลือกสัญญาณเรดาร์อินพุท ว่าต้องการแสดงสัญญาณเรดาร์จากสถานีเรดาร์ไหน

18. ฟังก์ชัน Quick Key

ใช้สำหรับแสดงตำแหน่งพิกัดที่จุดใดๆบนแผนที่อย่างรวดเร็ว จะใช้เพื่อเพิ่มความสะดวกในการเข้าถึงตำแหน่งที่ต้องใช้บ่อยๆ

Data Management Version 0.4 [X]

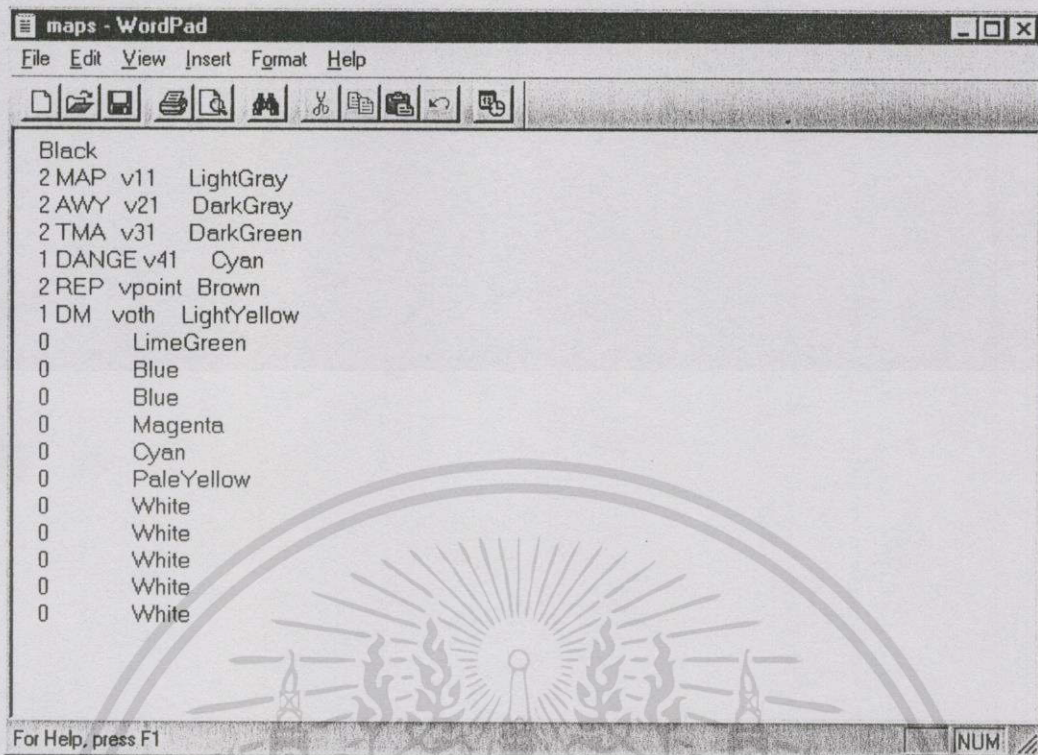
Background color: [v]

[SAVE]

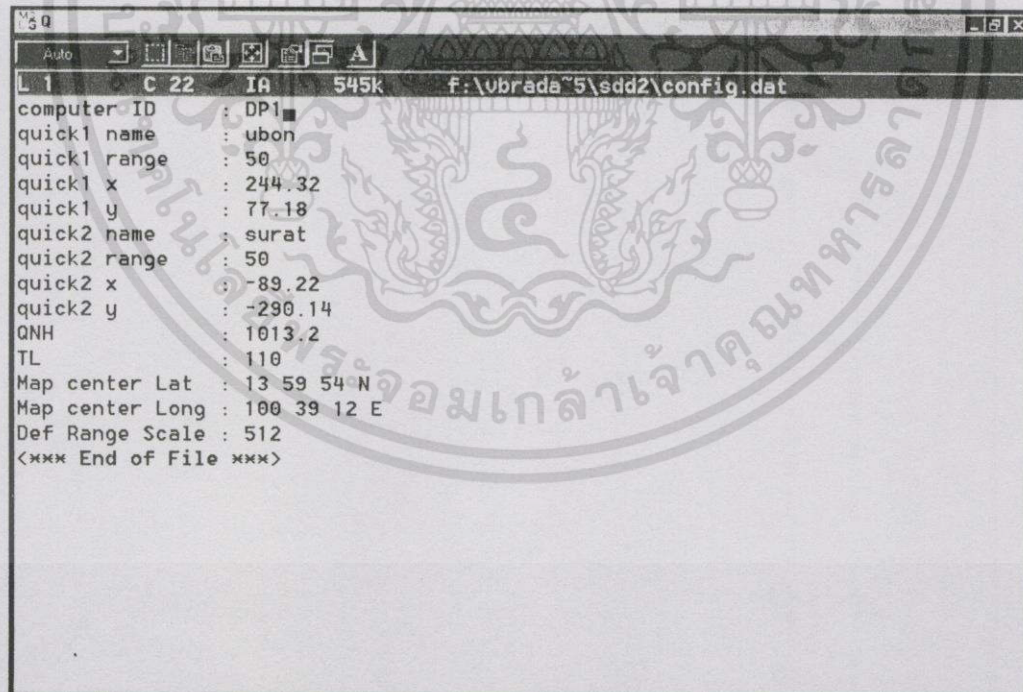
Map	Status	Map name	File name	Map color
Map 0	<input type="radio"/> ON <input checked="" type="radio"/> Display <input type="radio"/> OFF	MAP	v11	LightGray
Map 1	<input type="radio"/> ON <input checked="" type="radio"/> Display <input type="radio"/> OFF	AWY	v21	DarkGray
Map 2	<input type="radio"/> ON <input checked="" type="radio"/> Display <input type="radio"/> OFF	TMA	v31	DarkGreen
Map 3	<input checked="" type="radio"/> ON <input type="radio"/> Display <input type="radio"/> OFF	DANGE	v41	Cyan
Map 4	<input type="radio"/> ON <input checked="" type="radio"/> Display <input type="radio"/> OFF	REP	vpoint	Brown
Map 5	<input checked="" type="radio"/> ON <input type="radio"/> Display <input type="radio"/> OFF	DM	voth	LightYellow
Map 6	<input type="radio"/> ON <input type="radio"/> Display <input checked="" type="radio"/> OFF			LimeGreen
Map 7	<input type="radio"/> ON <input type="radio"/> Display <input checked="" type="radio"/> OFF			Blue
Map 8	<input type="radio"/> ON <input type="radio"/> Display <input checked="" type="radio"/> OFF			Blue
Map 9	<input type="radio"/> ON <input type="radio"/> Display <input checked="" type="radio"/> OFF			Magenta
Map 10	<input type="radio"/> ON <input type="radio"/> Display <input checked="" type="radio"/> OFF			Cyan
Map 11	<input type="radio"/> ON <input type="radio"/> Display <input checked="" type="radio"/> OFF			PaleYellow
Map 12	<input type="radio"/> ON <input type="radio"/> Display <input checked="" type="radio"/> OFF			White
Map 13	<input type="radio"/> ON <input type="radio"/> Display <input checked="" type="radio"/> OFF			White
Map 14	<input type="radio"/> ON <input type="radio"/> Display <input checked="" type="radio"/> OFF			White
Map 15	<input type="radio"/> ON <input type="radio"/> Display <input checked="" type="radio"/> OFF			White
Map 16	<input type="radio"/> ON <input type="radio"/> Display <input checked="" type="radio"/> OFF			White

ภาพที่ 6.7 แสดงโปรแกรม data management สำหรับการจัดการแผนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

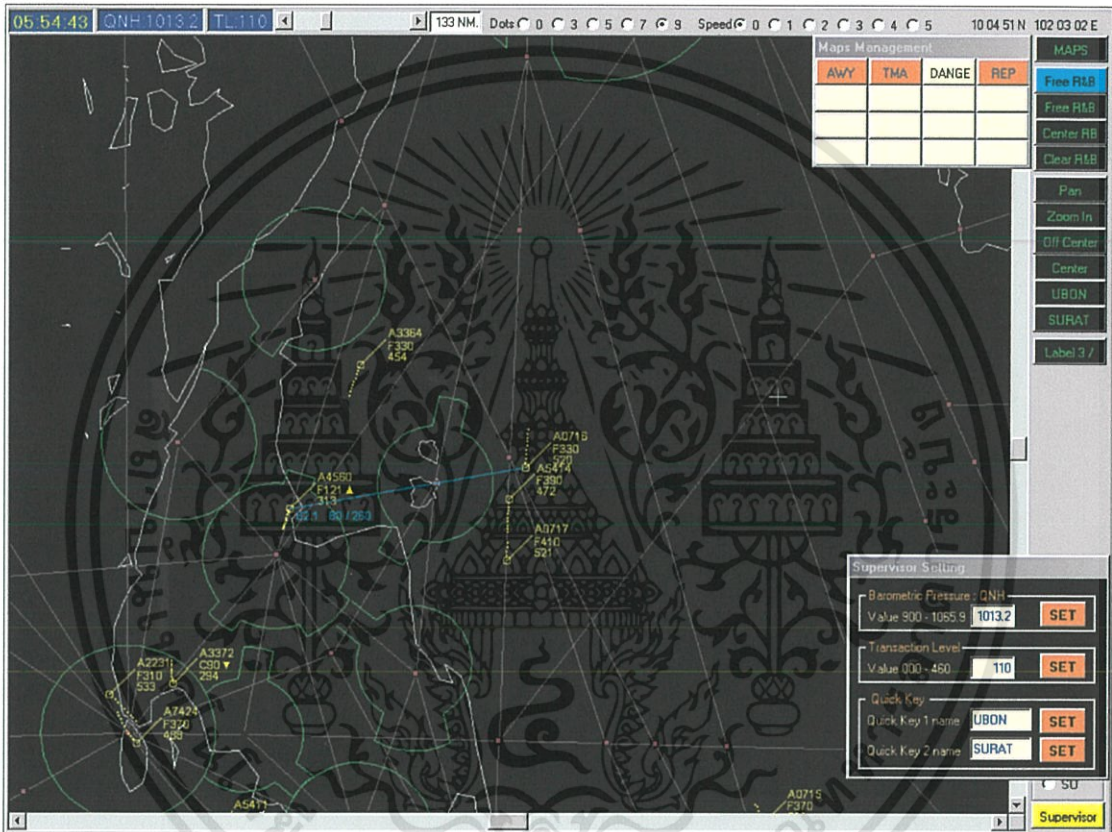


ภาพที่ 6.8 แสดงไฟล์ maps.dat



ภาพที่ 6.9 แสดงไฟล์ config.dat

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

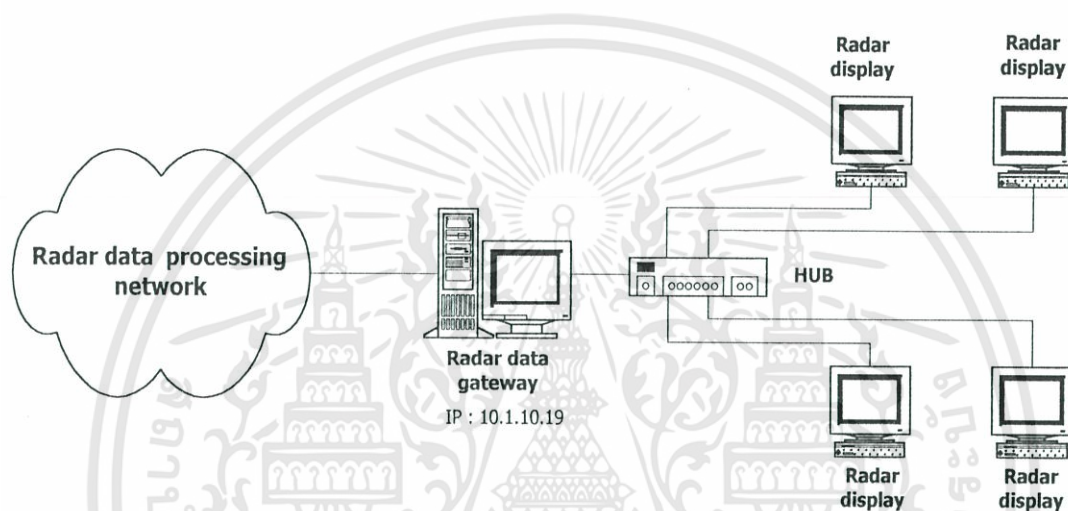


ภาพที่ 6.11 แสดงตัวอย่างฟังก์ชัน Radar Tracking, Zoom , Map selection , Range and Baising และ Supervisor setting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 การออกแบบการขยายเครือข่ายแสดงผลสัญญาณเรดาร์และการวิเคราะห์เครือข่าย

ในการขยายเครือข่ายแสดงผลสัญญาณเรดาร์ ได้ออกแบบระบบดังภาพที่ 6.12 โดยมี Radar Data Gateway ทำการอ่านค่าสัญญาณมาจากเครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์ แล้วส่งสัญญาณเรดาร์ที่อ่านค่าได้ออกไปยังคอมพิวเตอร์แสดงผลต่างๆ โดยได้เลือกเฉพาะค่าที่สำคัญของสัญญาณเรดาร์คือ Mode Code ความเร็ว และความสูง มาแสดงผล พร้อมทั้งทำการแปลงฟอร์แมตสัญญาณให้เหมาะสม ซึ่งมีรูปแบบ ผนวก ข.

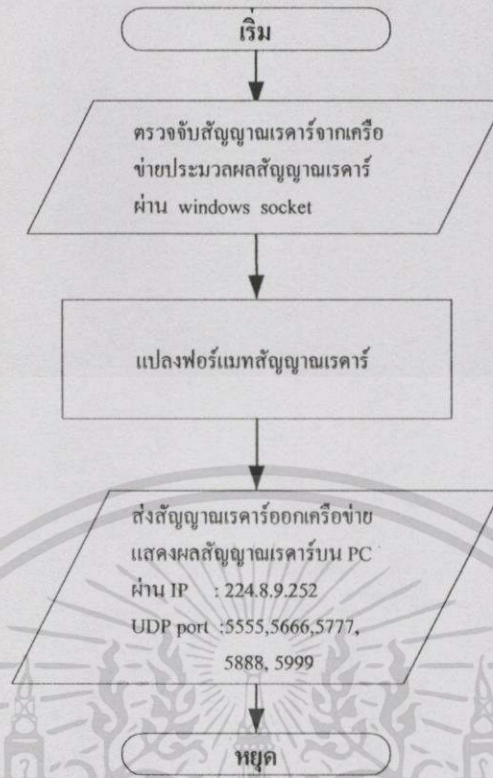


ภาพที่ 6.12 แสดงการขยายเครือข่ายแสดงผลสัญญาณเรดาร์

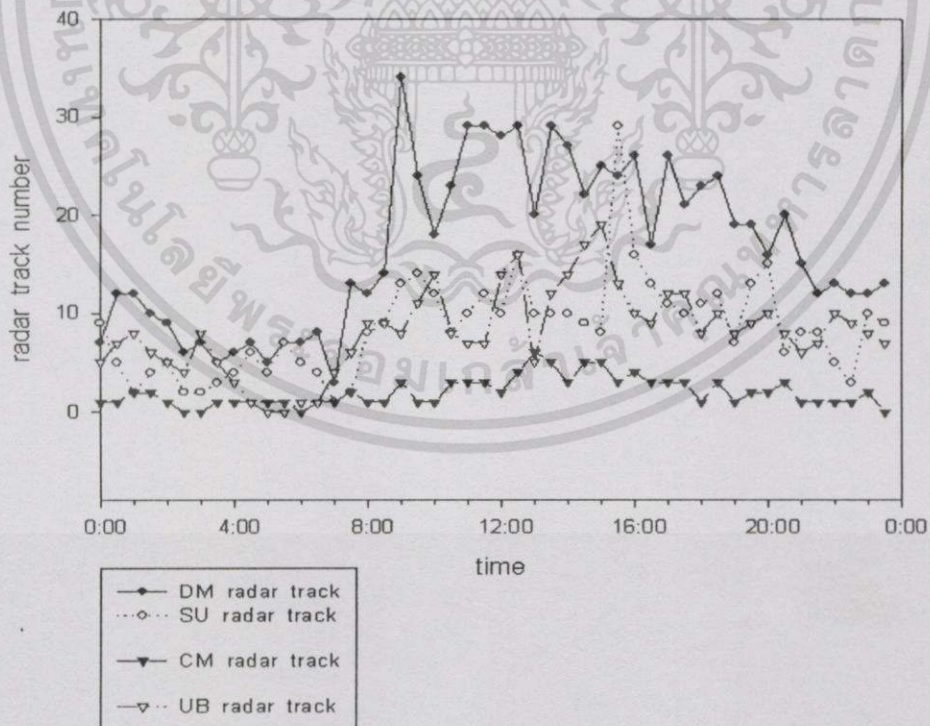
Radar Data Gateway ทำหน้าที่ตรวจจับเฉพาะสัญญาณเรดาร์ที่ส่งมาจากสถานีเรดาร์ต่างๆ เลือกเฉพาะสัญญาณเรดาร์ แล้วทำการแปลงรูปแบบให้เหมาะสม เพื่อให้มีเฉพาะรายละเอียดของสัญญาณเรดาร์ที่จำเป็นมากที่สุด แล้วส่งออกมายังเครือข่ายภายนอกผ่านฮับ ซึ่งเป็นเครือข่ายมาตรฐาน 10 Base T โดยใช้โปรโตคอลยูติลิทิมัลติคาสท์ มีผังงานการทำงานแสดงดังภาพที่ 6.13

ในการตรวจวัดปริมาณสัญญาณเรดาร์ที่ส่งมาจากสถานีเรดาร์ต่าง ๆ นั้น โดยการเขียนโปรแกรมเก็บข้อมูลเป็นสถิติ แสดงผลลัพธ์ที่ได้ดังภาพที่ 6.14 ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในด้านการตรวจสอบปริมาณการจราจรทางอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ

Radar Display ทำหน้าที่แสดงผลสัญญาณเรดาร์ของเครือข่าย โดยนำสัญญาณเรดาร์ที่ถูกแปลงรูปแบบแล้ว ซึ่งส่งมาจาก Radar Data Gateway มาแสดงผล ซึ่งมีผังงานการทำงานแสดงดังภาพที่ 6.16



ภาพที่ 6.13 แสดงผังงานการทำงานของ Radar Data Gateway



ภาพที่ 6.14 แสดงปริมาณสัญญาณเรดาร์จากสถานีเรดาร์ต่างๆ ณ วันที่ 6 เมษายน 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sniffer - Local, Ethernet (Line speed at 100 Mbps) - [Gateway1.cap : 40/379 Ethernet frames]

File Monitor Capture Display Tools Database Window Help

No.	Status	Source Address	Dest Address	Summary	Len	Rel. Time
40		[10.1.10.19]	[224.8.9.252]	UDP: D=5777 S=5333 LEN=78	112	0:00:01
41		[10.1.10.19]	[224.8.9.252]	UDP: D=5777 S=5333 LEN=78	112	0:00:01
42		[10.1.10.19]	[224.8.9.252]	UDP: D=5777 S=5333 LEN=78	112	0:00:01
43		[10.1.10.19]	[224.8.9.252]	UDP: D=5777 S=5333 LEN=78	112	0:00:01
44		[10.1.10.19]	[224.8.9.252]	UDP: D=5999 S=5333 LEN=78	112	0:00:01
45		[10.1.10.19]	[224.8.9.252]	UDP: D=5999 S=5333 LEN=78	112	0:00:02
46		[10.1.10.19]	[224.8.9.252]	UDP: D=5999 S=5333 LEN=78	112	0:00:02
47		[10.1.10.19]	[224.8.9.252]	UDP: D=5999 S=5333 LEN=78	112	0:00:02
48		[10.1.10.19]	[224.8.9.252]	UDP: D=5999 S=5333 LEN=78	112	0:00:02

UDP: UDP Header

- UDP: Source port = 5333
- UDP: Destination port = 5777
- UDP: Length = 78
- UDP: Checksum = CEE1 (correct)
- UDP: [70 byte(s) of data]

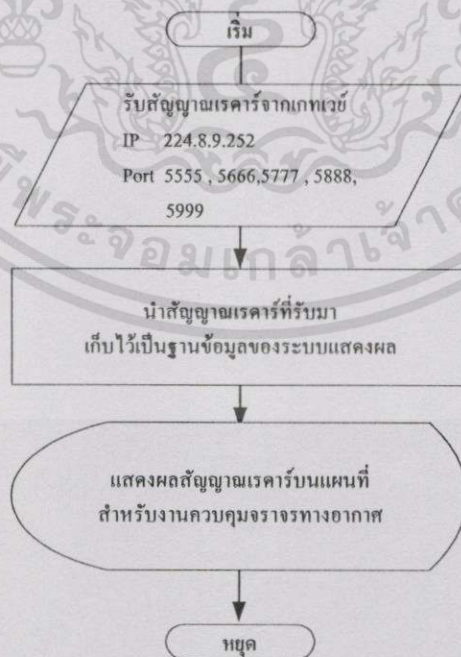
```

00000000: 01 00 5e 08 09 fc 00 20 78 03 9e 1b 08 00 45 00  .u.x...E.
00000010: 00 62 f5 45 00 00 01 11 c6 2d 0a 01 0a 13 e0 08  bE...E...
00000020: 09 fc 14 d5 16 91 00 4e ce e1 32 33 32 34 30 33  uO...NI&232403
00000030: 47 57 31 44 50 41 54 4b 30 31 39 34 32 31 36 20  GWIDPATK0194216
00000040: 20 20 20 20 20 20 2d 33 38 2e 39 32 20 20 2d   -38.92 -
00000050: 31 33 35 2e 39 38 20 33 35 30 4d 34 39 33 2d 33  135.98 350M493-3
00000060: 2e 32 39 20 2d 37 2e 35 33 20 30 30 30 44 50 41  .29 -7.53 000DPA
    
```

Expert Decode Matrix Host Table Protocol Dist. Statistics

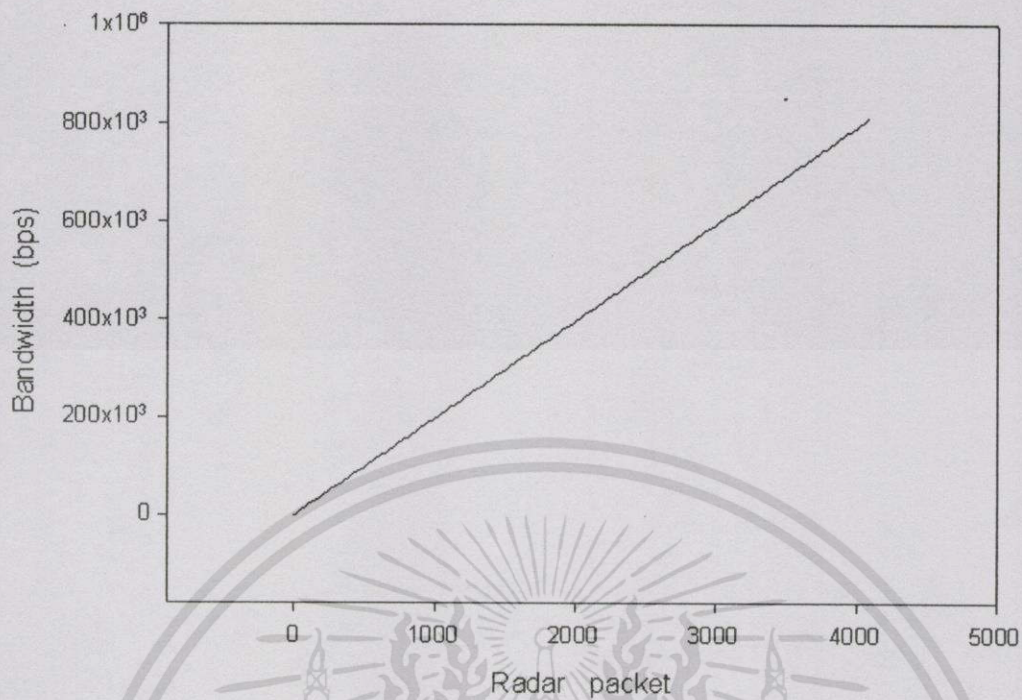
For Help, press F1

ภาพที่ 6.15 แสดงสัญญาณเรดาร์ที่ส่งจาก Radar Data Gateway

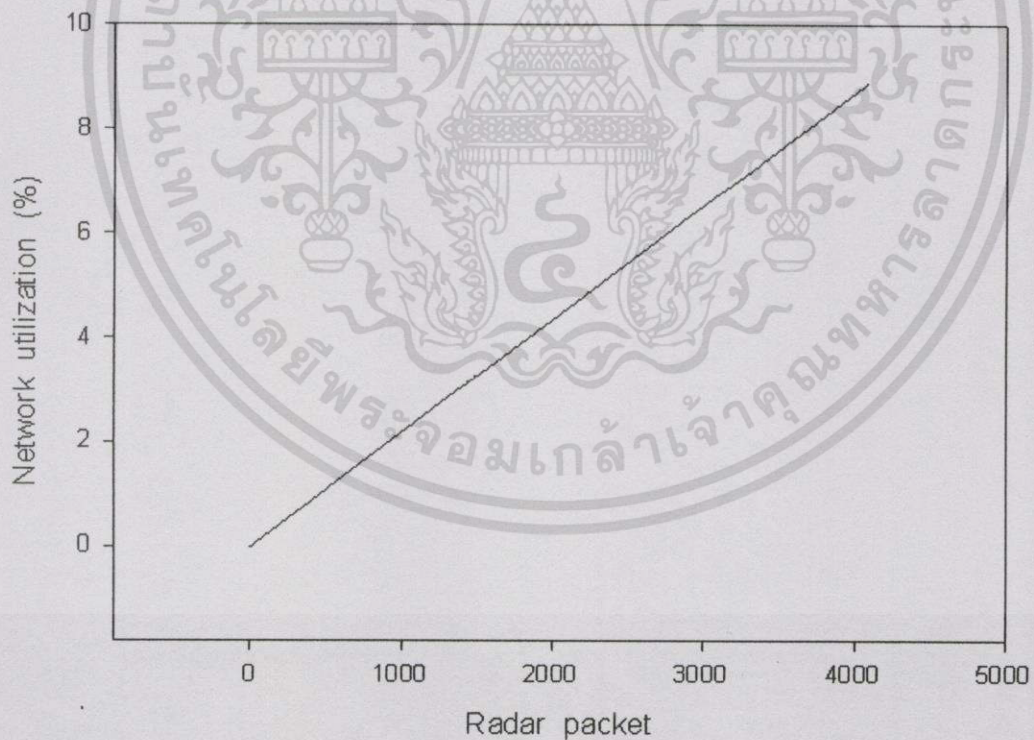


ภาพที่ 6.16 แสดงผังงานการทำงานของ Radar Display

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.17 แสดงปริมาณแพ็คเกจสัญญาณเรดาร์ต่อแบนด์วิธในเครือข่ายอีเทอร์เน็ต 10 Base T



ภาพที่ 6.18 แสดงปริมาณแพ็คเกจสัญญาณเรดาร์ต่อประสิทธิภาพการใช้งานเครือข่ายอีเทอร์เน็ต 10 Base T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขยายเครือข่ายแสดงผลสัญญาณเรดาร์ โดยใช้มาตรฐานอีเทอร์เน็ต 10 Base T และ โพรโตคอลยูคิพีนั้น ในการคำนวณหาแบนด์วิธของเครือข่ายเปรียบเทียบกับปริมาณสัญญาณ แทร็คเรดาร์ แสดงผลเชิงกราฟได้ดังภาพที่ 6.17 จะเห็นว่า ปริมาณแบนด์วิธค่อนข้างต่ำมาก เนื่องจากสัญญาณเรดาร์ในงานควบคุมจราจรทางอากาศ จะเป็นสัญญาณลักษณะของกลุ่มข้อความ (Message based) ไม่ใช่สัญญาณภาพ (Image based) และแพ็คเก็ตสัญญาณเรดาร์มีความถี่ 1 แทร็ค ต่อ 5 วินาที ดังนั้นจะเห็นว่าที่สัญญาณแทร็คเรดาร์ 100 แพ็คเก็ต เมื่อคำนวณเปรียบเทียบกับรูปแบบของเฟรมอีเทอร์เน็ต ซึ่ง 1 เฟรมมีขนาด 124 ไบท์ จะมีความถี่ของจำนวนเฟรมสูงสุดในเครือข่ายเท่ากับ 9191 เฟรมต่อวินาที และสามารถคำนวณหาแบนด์วิธได้จากสมการที่ 6.1

Preamble	Destination Address	Source Address	Type	IP Header	UDP Header	Radar Data	Frame Check Sequence
8 bytes	6 bytes	6 bytes	2 bytes	20 bytes	8 bytes	70 bytes	4 bytes

ภาพที่ 6.19 แสดงโครงสร้างของเฟรมอีเทอร์เน็ตที่เอ็นแคปซูลสัญญาณเรดาร์

$$\text{bit rate (bps)} = \frac{\text{frames number} \times \text{frame size} \times 8 \times \text{frequency} / \text{hour}}{3600 \text{ Seconds} / \text{hour}} \quad (6.1)$$

เมื่อ frames number เป็นจำนวนแพ็คเก็ตสัญญาณเรดาร์
 frame size เป็นขนาดของแพ็คเก็ตสัญญาณเรดาร์ เท่ากับ 124 ไบท์
 frequency/hour เป็นปริมาณของแพ็คเก็ตสัญญาณเรดาร์ใน 1 ชั่วโมง เท่ากับ 720 แพ็คเก็ต

และสามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการใช้งานเครือข่ายที่เฟรมขนาด 124 ไบท์ ได้จาก

$$\text{Network utilization (\%)} = \frac{\text{bit rate}}{9117664} \times 100 \quad (6.2)$$

เมื่อแทนค่าสมการที่ 6.1 จะได้แบนด์วิธเพียง 19,840 บิตต่อวินาที หรือ ประสิทธิภาพการใช้งานเครือข่าย (network utilization) เพียง 0.21 เปอร์เซ็นต์ของแบนด์วิธสูงสุด หรือเมื่อคำนวณที่ปริมาณสัญญาณแทร็คสูงสุดในระบบซึ่งมีค่า 4096 แทร็ค จะใช้แบนด์วิธเพียง 812,646 บิตต่อวินาที หรือ ประสิทธิภาพการใช้งานเครือข่าย 8.91 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการรับส่งสัญญาณเรดาร์ เพื่อขยายเครือข่ายแสดงผลผ่านเครือข่ายอีเทอร์เน็ต จะไม่มีปัญหาเรื่องแบนด์วิธที่ไม่เพียงพอ

บทที่ 7

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์เครือข่ายประมวลผลสัญญาณเรดาร์ ซึ่งเป็นเครือข่ายมาตรฐานอีเทอร์เน็ต พบว่าระบบประมวลผลสัญญาณเรดาร์ใช้โพรโทคอลที่ซีพี/ไอพี โดยมีโพรโทคอลยูดีพี เป็นโพรโทคอลย่อยในระดับชั้นโฮสต์โฮสต์ (Host to Host) ซึ่งโพรโทคอลนี้ ให้การถ่ายโอนข้อมูลเป็นไปด้วยความรวดเร็ว มีค่าโอเวอร์เฮด (Overhead) ที่ดี การติดต่อสื่อสารระหว่างเซิร์ฟเวอร์ และสถานีงาน เป็นแบบมัลติคาสต์ ซึ่งเหมาะสมมากสำหรับการประมวลผล ที่ต้องการส่งข้อมูลไปยังสถานีงานต่างๆด้วยความรวดเร็ว

จากการสามารถตรวจจับสัญญาณเรดาร์ที่ส่งมาจากสถานีเรดาร์ต่างๆทั่วประเทศได้แล้ว ออกแบบระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลโดยใช้ภาษา Visual Basic ร่วมกับซอร์ฟแวร์ MapObjects ซึ่งเป็นคอนโทรล ActiveX สำหรับสนับสนุนงานด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และจากการสร้างฟังก์ชันพื้นฐานสำหรับงานควบคุมการจราจรทางอากาศผลปรากฏว่าสามารถตอบสนองงานด้านระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์ได้ในระดับดี

จากการทดสอบ และคำนวณค่าแบนด์วิธที่ใช้ในการรับส่งสัญญาณเรดาร์ผ่านเครือข่ายแสดงผลสัญญาณเรดาร์บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดยใช้มาตรฐานอีเทอร์เน็ต พบว่าจะใช้แบนด์วิธต่ำมาก เนื่องจากว่าการรับส่งสัญญาณเรดาร์ในงานด้านการควบคุมจราจรทางอากาศ จะเป็นสัญญาณเป่าเคลื่อนที่ (Moving target) เป็นลักษณะของกลุ่มข้อความเท่านั้น ไม่ใช่ลักษณะของกลุ่มภาพ ซึ่งจะใช้แบนด์วิธต่างกันหลายเท่า ทำให้ไม่มีปัญหาด้านแบนด์วิธที่ไม่เพียงพอ

ผลจากการที่สามารถตรวจจับแพ็คเก็ตเรดาร์ที่ส่งมาจากสถานีเรดาร์ทั่วประเทศได้แล้ว พัฒนาเป็นระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้ จะมีประโยชน์อย่างสูงช่วยให้วิศวกรผู้ดูแลระบบวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ และสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานจริงในการกิจควบคุมการจราจรทางอากาศของประเทศ ซึ่งจะเป็นการให้ทรัพยากรที่มีอยู่แล้วอย่างคุ้มค่าสูงสุด และเครือข่ายที่พัฒนาขึ้นนี้จะไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบเดิมเลย เนื่องจากเป็นการพอร์ตข้อมูลมาประมวลผลในทิศทางเดียว

สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ สามารถนำมาพัฒนาต่อเนื่องได้อีกเช่น การนำสัญญาณเรดาร์ที่ได้พัฒนาเป็นระบบแสดงผลสัญญาณเรดาร์สามมิติ หรือออกแบบพัฒนาเครือข่ายสำหรับงานควบคุมจราจรทางอากาศขึ้น โดยเขียนโปรแกรมเพิ่มเติมฟังก์ชันต่างๆที่จำเป็นสำหรับงานควบคุมจราจรทางอากาศ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Douglas E. Comer and David L. Stevens. **Internetworking with TCP/IP**.
New Jersey : Prentice – Hall
- [2] Sidnie Feit. 1996. **TCP/IP : architecture, protocols, and implementation with IP6** .
2nd ed. New York : McGraw – Hill.
- [3] Martin W. Murhammer, et. al. 1998. **TCP/IP Tutorial and Technical Overview**. 6th ed.
New Jersey : Prentice – Hall.
- [4] Charles E. Spurgeon. 2000. **Ethernet : The Definitive Guide**. O'Reilly
- [5] Gilbert Hel. 1996. **LAN performance : Issue and Answer**. 2nd ed. Gerogia :
John Wiley and son.
- [6] Byron Edde. 1993. **Radar : principles, technology, applications** . New Jersey :
Prentice – Hall
- [7] Allan W. Scott. 1993. **Understanding Microwave**. Singapore. John Wiley and son.
- [8] Henry W. Cole. 1985. **Understanding Radar**. London :
Collins Professional and Technical Book.
- [9] Michael C. 1988. Stevens. **Secondary Surveillance Radar**. USA ; Artech house.
- [10] Skolnik. 1962. **Introduction to Radar Systems**. Tokyo: McGraw – Hill.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ตารางค่า Barometric pressure (QNH) ซึ่งจะนำมาใช้คำนวณชดเชยค่าความผิดพลาดของค่าความสูงที่ส่งมาจากทรานสปอนเดอร์ของเครื่องบินในระบบเรดาร์ทุติยภูมิ เพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำยิ่งขึ้น

QNH	Correction (x100 feet)
900-902	-31
903-906	-30
907-910	-29
911-913	-28
914-917	-27
918-921	-26
922-924	-25
925-928	-24
929-931	-23
932-935	-22
936-939	-21
940-942	-20
943-946	-19
947-949	-18
950-953	-17
954-957	-16
958-960	-15
961-964	-14
965-968	-13
969-971	-12
972-975	-11
976-979	-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

980-982	-9
983-986	-8
987-989	-7
990-993	-6
994-996	-5
997-1000	-4
1001-1004	-3
1005-1007	-2
1008-1011	-1
1012-1015	0
1016-1018	+1
1019-1022	+2
1023-1026	+3
1027-1029	+4
1030-1033	+5
1034-1037	+6
1038-1040	+7
1041-1044	+8
1045-1048	+9
1049-1052	+10
1053-1056	+11
1057-1059	+12
1060-1063	+13
1064-1065	+14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

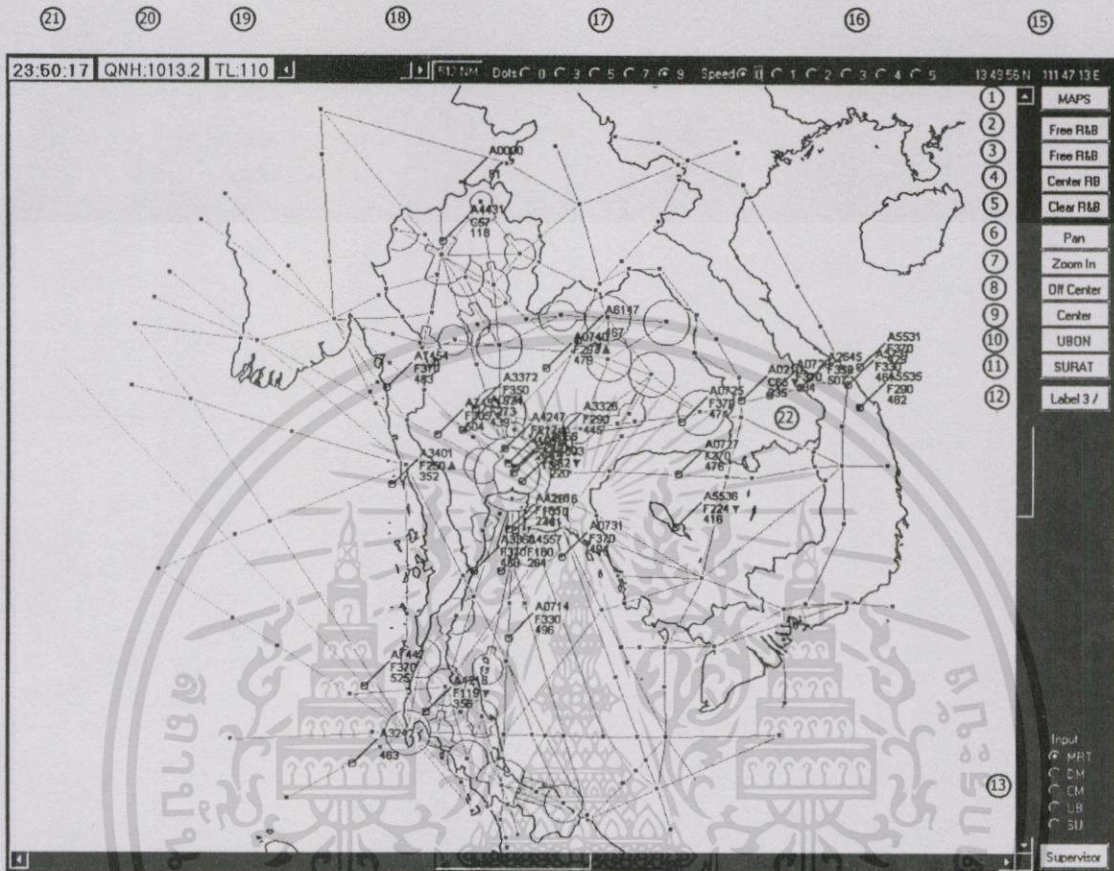
แสดงรูปแบบของแพ็คเกจสัญญาณเรดาร์ของเครือข่ายแสดงผลสัญญาณเรดาร์บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่พัฒนาขึ้น

header						information											
hh	mm	ss	GW1	DPA	TK	Trn no	SSR code	Callsign	X pos	Y pos	A F L	C D M	T A S	V X Y	V X Y	C F L	T I D

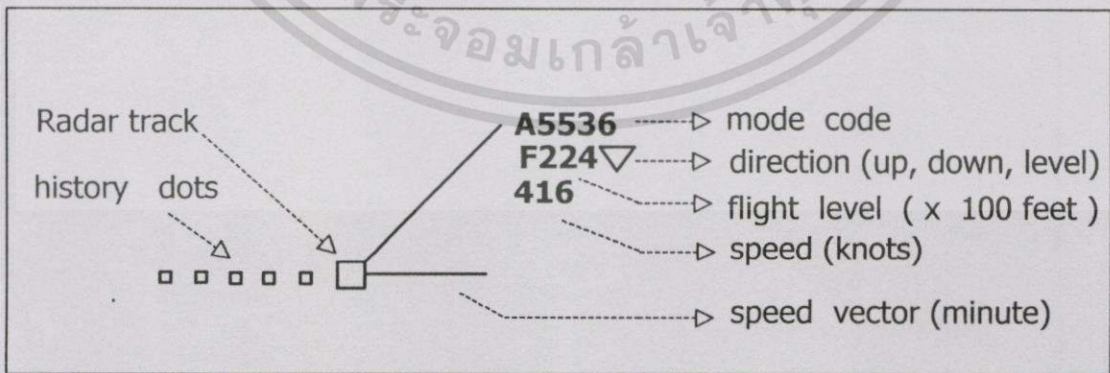
ฟิลด์	ขนาด (ไบต์)	หน้าที่
hh	2	แสดงชั่วโมง
mm	2	แสดงนาที
ss	2	แสดงวินาที
GW1	3	แสดงชื่อเกตเวย์
DPA	3	แสดงกลุ่มคอมพิวเตอร์ปลายทาง
TK	2	แสดงสัญญาณแทร็ค
Trn no	3	แสดง Track number
SSR code	4	แสดง SSR code
Callsign	8	แสดง Callsign
X pos	7	แสดงตำแหน่งในแนวแกน X
Y pos	7	แสดงตำแหน่งในแนวแกน Y
AFL	3	แสดงค่าความสูง
CDM	1	แสดงลักษณะการบิน
TAS	3	แสดงความเร็ว
VX	6	แสดงความเร็วในแนวแกน X
VY	6	แสดงความเร็วในแนวแกน Y
CFL	3	แสดงค่าความสูงปลายทางสำหรับการควบคุม
TID	3	แสดง Track Identifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.



ภาพแสดงรายละเอียดของหน้าจอแสดงผลสัญญาณเรดาร์บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล



ภาพแสดงรายละเอียดสัญญาณแทร์กเรดาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงรายละเอียดของหน้าจอแสดงผลสัญญาณเรดาร์บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

ตำแหน่ง	ชื่อ
1	Map management
2	Range and bearing measurement 1
3	Range and bearing measurement 2
4	Center Range and bearing measurement 1
5	Cancel measurement
6	Pan map
7	Zoom map
8	Off center
9	Center
10	Hot key 1
11	Hot key 2
12	Label display control
13	Radar input selection (MRT, DM, SU, CM, UB)
14	Configuration
15	Latitude - longitude value
16	Speed vector display (minute)
17	History dots display
18	Range scaling
19	Transaction flight level
20	Barometric pressure (QNH)
21	Universal time coordinate (UTC)
22	Radar track symbol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายเกตุ หนูรัตน์ เกิดเมื่อวันที่ 6 กันยายน 2512 ที่จังหวัดนราธิวาส สำเร็จการศึกษาดุษฎีบัณฑิตกิตติมศักดิ์ สาขาเทคโนโลยีโทรคมนาคม (เกียรตินิยมอันดับสอง) จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2534 และประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (อิเล็กทรอนิกส์) จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคใต้

ปี พ.ศ. 2532 ถึง พ.ศ. 2535 เข้าทำงานในตำแหน่ง ช่างโทรคมนาคม ระดับ 2 ศูนย์โทรคมนาคมภาคใหญ่ จังหวัดสงขลา และกองเทเล็กซ์ การสื่อสารแห่งประเทศไทย

ปี พ.ศ. 2535 เข้าทำงานในตำแหน่ง วิศวกรระบบ ระดับ 3 กองช่างระบบสื่อสารการบิน ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง วิศวกรระบบอาวุโส ระดับ 7 กองวิศวกรรมระบบติดตามอากาศยาน บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด สังกัดกระทรวงคมนาคม

