

# 目 錄

第四章 監視 (SURVEILLANCE) 基礎建設 .....	4-1
4.1 簡介.....	4-1
4.2 國際航空監視基礎建設之發展趨勢.....	4-2
4.2.1 目前使用的監視技術.....	4-2
4.2.1.1 初級搜索雷達 (PSR) .....	4-2
4.2.1.2 次級搜索雷達 (SSR) .....	4-7
4.2.1.3 S 模式次級搜索雷達 (Mode S SSR) .....	4-9
4.2.2 新興的監視資料格式- ASTERIX .....	4-10
4.2.3 新興的監視技術.....	4-17
4.2.3.1 多接收站相依監視 (MDS) .....	4-18
4.2.3.2 定址式自動回報監視 (ADS-A) .....	4-20
4.2.3.3 廣播式自動回報監視 (ADS-B) .....	4-25
4.2.4 未來監視技術可能使用的資料鏈路.....	4-28
4.2.4.1 S 模式 (Mode-S) .....	4-28
4.2.4.2 衛星通訊(SATCOM).....	4-29
4.2.4.3 S 模式廣播 (Mode-S extended squitter) .....	4-30
4.2.4.4 通用存取發送器(UAT, Universal Access Transmitter).....	4-31
4.2.4.5 第四模式特高頻數位鏈(VDL-4, VHF Digital Link - Mode 4) ..	4-32
4.2.4.6 S 模式廣播、 UAT、 及 VDL-4 在 ADS-B 應用的評估 .....	4-33
4.2.5 未來多重監視資料的融合.....	4-39
4.2.5.1 即時品質控制(RTQC) .....	4-40
4.2.5.2 目標物追蹤(target tracking).....	4-40
4.2.6 國外監視設備/策略規劃及相關計劃介紹 .....	4-45
4.2.6.1 國外監視設備/策略規劃 .....	4-45
4.2.6.2 世界各國監視計劃介紹.....	4-48
4.3 我國航空監視基礎建設建置策略.....	4-56
4.3.1 台灣目前監視現況.....	4-56
4.3.1.1 現行環境.....	4-56

4.3.1.2 台北飛航情報區.....	4-58
4.3.1.3 民航雷達分布及涵蓋範圍.....	4-60
4.3.1.4 航管自動化系統.....	4-70
4.3.2 監視建置策略研究.....	4-72
4.3.2.1 雷達建置策略研究.....	4-72
4.3.2.2 ADS-A 建置策略研究 .....	4-79
4.3.2.3 ADS-B 建置策略研究.....	4-89
4.4 結論.....	4-99
4.5 參考文獻.....	4-100

## 圖目錄

圖 4-1: 脈波式雷達 .....	4-3
圖 4-2: 雷達脈波發射示意圖 .....	4-3
圖 4-3: 脈波時間間隔示意圖 .....	4-4
圖 4-4: 同步用信號資料格式 .....	4-5
圖 4-5: 初級搜索雷達 CD-2 資料格式 .....	4-6
圖 4-6: 次級搜索雷達運作示意圖 .....	4-8
圖 4-7: 主脈波與多餘脈波判斷圖示 .....	4-8
圖 4-8: 次級搜索雷達 CD-2 資料表示格式 .....	4-9
圖 4-9: ASTERIX 資料區塊格式 .....	4-13
圖 4-10: ASTERIX 的五種資料欄位表示格式 .....	4-16
圖 4-11: ASTERIX 「紀錄」詳細內容範例 .....	4-16
圖 4-12: 多接收站相依監視示意圖 .....	4-18
圖 4-13: 定址自動回報監視環境示意圖 .....	4-20
圖 4-14: ADS-A 陸空通訊資料傳輸使用的協定 .....	4-21
圖 4-15: 飛機進行 AFN 登入示意圖 .....	4-22
圖 4-16: 「飛航服務登錄」交換訊息格式 .....	4-22
圖 4-17: 「飛航服務登錄」交換訊息範例 .....	4-23
圖 4-18: 飛機登出入「飛航服務登錄」示意圖 .....	4-23
圖 4-19: 登出「飛航服務登錄」所使用的信息格式 .....	4-23
圖 4-20: 「定址自動回報監視報告」流程示意圖 .....	4-24
圖 4-21: 「定址自動回報監視報告」訊息交換格式 .....	4-24
圖 4-22: 「定址自動回報監視」上傳下載內容範例 .....	4-24
圖 4-23: 廣播自動回報監視環境示意圖 .....	4-26
圖 4-24: Immarsat 衛星涵蓋區域 .....	4-30
圖 4-25: S 模式廣播脈波位置調變技術(PPM) .....	4-31
圖 4-26: UAT 的 ADS-B 訊息格式 .....	4-32
圖 4-27: 未來聯合初級搜索雷達、次級搜索雷達、ADS-A、及 ADS-B 的 監視環境.....	4-38

圖 4-28: 整合多重監視信號的航管系統顯示功能示意圖 .....	4-41
圖 4-29: 不同監視設備位置精確度比較圖 .....	4-44
圖 4-30: 整合多重監視信號的航跡追蹤狀態轉換圖 .....	4-44
圖 4-31: 監視應用規劃目標 .....	4-45
圖 4-32: 美國主要監視系統轉換時程 .....	4-46
圖 4-33: 歐洲的監視策略時程 .....	4-48
圖 4-34: NEAN 在高度 30000 尺的涵蓋範圍 .....	4-51
圖 4-35: NEAN 計劃的飛行航線 .....	4-51
圖 4-36: FARWAY II 其 ADS 網路的涵蓋範圍 .....	4-52
圖 4-37: MEDUP 涵蓋範圍 .....	4-53
圖 4-38: NAAN 計劃 ADS-B 架構涵蓋範圍 .....	4-54
圖 4-39: 中國大陸提供 ADS/CPDLC 航線 .....	4-55
圖 4-40: 亞太地區八大城市地理位置示意圖 .....	4-57
圖 4-41: 台北飛航情報區 (TAIPEI FIR) 示意圖 .....	4-59
圖 4-42: 台北飛航情報區 (TAIPEI FIR) 終端管制區域圖 .....	4-60
圖 4-43: 初級搜索雷達於平均海平面高度 24000 呎時，視覺直線涵蓋範圍示意圖 .....	4-63
圖 4-44: 初級搜索雷達於平均海平面高度 10000 呎時，視覺直線涵蓋範圍示意圖 .....	4-64
圖 4-45: 初級搜索雷達於平均海平面高度 5000 呎時，視覺直線涵蓋範圍示意圖 .....	4-65
圖 4-46: 次級搜索雷達於平均海平面高度 30000 呎時，視覺直線涵蓋範圍示意圖 .....	4-66
圖 4-47: 次級搜索雷達於平均海平面高度 20000 呎時，視覺直線涵蓋範圍示意圖 .....	4-67
圖 4-48: 次級搜索雷達於平均海平面高度 10000 呎時，視覺直線涵蓋範圍示意圖 .....	4-68
圖 4-49: 次級搜索雷達於平均海平面高度 5000 呎時，視覺直線涵蓋範圍示意圖 .....	4-69
圖 4-50: 航管自動化系統架構圖 .....	4-71



圖 4-51: ASDE-3 雷達位置示意圖 .....	4-75
圖 4-52: 傳統場面監視雷達所顯示的資訊 .....	4-76
圖 4-53: 整合傳統場面監視雷達與 MDS 的監視信號所得之資訊 .....	4-76
圖 4-54: ASDE-X 系統架構圖 .....	4-77
圖 4-55: ASDE-X 在機場運作示意圖 .....	4-78
圖 4-56: VISION 計劃中系統的監視畫面 .....	4-79
圖 4-57: 中國大陸提供 ADS/CPDLC 航線 .....	4-81
圖 4-58: 香港飛航情報區 ADS/CPDLC 試驗示意圖 .....	4-81
圖 4-59: 日本飛航情報區示意圖 .....	4-82
圖 4-60: 日本境內的航路圖 .....	4-83
圖 4-61: 香港終端轉換航路圖 .....	4-84
圖 4-62: ADS-A/ADS-B 應用環境示意圖 .....	4-90
圖 4-63: 澳洲 TAAATS 航管系統的雷達軌跡示意圖 .....	4-97
圖 4-64: 澳洲 TAAATS 航管系統的 ADS-B 軌跡示意圖 .....	4-98
圖 4-65: 澳洲 TAAATS 航管系統的 ADS-A 軌跡示意圖 .....	4-98
圖 4-66: 澳洲 TAAATS 航管系統的飛行計劃軌跡示意圖 .....	4-98
圖 4-67: 監視基礎建設之技術趨勢 .....	4-99



## 表 目 錄

表 4-1: 初級搜索雷達在不同頻帶的監視範圍和更新頻率 .....	4-4
表 4-2: 航路監視雷達(ARSR)、機場監視雷達(ASR)、機場場面偵測雷達(ASDE)比較表.....	4-5
表 4-3: 詢問脈波模式及其應用範圍 .....	4-8
表 4-4: ASTERIX 目前已定義的應用(Category)列表 .....	4-11
表 4-5: ASTERIX 標準應用目前新版本及修訂日期 .....	4-12
表 4-6: 「monoradar 目標物回報」應用所包含的資料項目 .....	4-12
表 4-7: ASTERIX 第 48 應用的使用者應用程式對應表(UAP).....	4-14
表 4-8: CD-2 和 ASTERIX 資料表示範圍及精確度比較 .....	4-17
表 4-9: 機場平面偵測設備與多接收站相依監視效能比較 .....	4-19
表 4-10: 機場場面監視需求規格與使用 Mode S, Mode A 之多接收站相依監視效能比較.....	4-19
表 4-11: 自動回報監視在不同環境的效能需求規格 .....	4-27
表 4-12: 「廣播自動回報監視」空對空應用的效能需求規格 .....	4-28
表 4-13: 2015 年在歐洲中心，三種資料鏈路對 SF21 評估項目的模擬結果..	4-35
表 4-14: 2015 年在歐洲中心，三種資料鏈路對 EuroControl 評估項目的模擬結果 .....	4-36
表 4-15: 2020 年在路易斯安那區，三種資料鏈路對 SF21 評估項目的模擬結果 .....	4-36
表 4-16: 2020 年路易斯安那區，三種資料鏈路對 EuroControl 評估項目的模擬結果.....	4-37
表 4-17: 在低密度地區，三種資料鏈路對 SF21 及 EuroControl 評估項目的模擬結果.....	4-38
表 4-18: 不同監視設備的回報頻率、使用的座標系統、以及所回報的資訊	4-43
表 4-19: ADS/CPDLC 發展現況 .....	4-56
表 4-20: 亞太地區八大城市間平均航行時間 .....	4-57
表 4-21: 中華民國雷達系統摘要 .....	4-61
表 4-22: 2002 年 3 月台閩地區各機場流量統計數字 .....	4-74
表 4-23: 台北飛航情報區 ADS/CPDLC 測試 (test) 資料統計.....	4-87

表 4-24: 日本 ADS/CPDLC 試驗 (phase I), CPDLC 上傳 (uplink) 統計數據	4-88
表 4-25: 日本 ADS/CPDLC 試驗 (phase I), CPDLC 下載 (downlink) 統計數據	4-88
表 4-26: 日本 ADS/CPDLC 試驗 (phase I), ADS 上傳 (uplink) 統計數據	4-89
表 4-27: 日本 ADS/CPDLC 試驗 (phase I), ADS 下載 (downlink) 統計數據	4-89
表 4-28: ADS-B 資料鏈路 VDL-4、UAT、Mode S extended squitter 規格比較圖	4-91

## 第四章 監視 (SURVEILLANCE) 基礎建設

本章說明 CNS/ATM 中的監視 (Surveillance)。4.1 節先簡介監視的意義及應用環境，4.2 節說明監視目前技術及國際未來發展的趨勢，4.3 節說明台灣目前監視的建設現況，並依照國際發展趨勢提出符合我國需求的監視建置策略。本章所有內容會在 4.4 節做一個總結，而所有的參考文獻則列在 4.5 節。

### 4.1 簡介

監視的目的是讓管制中心了解在空中或機場場面哪裡有飛機或車輛，以便做安全隔離；當管制中心了解飛機或車輛的位置之後，若進一步有能力識別飛機或車輛的身份，則管制中心可以對飛機或車輛排程，以提高交通流量、增加飛航運輸效率。EuroControl 將監視技術分成了三類：獨立監視 (independent surveillance)、合作監視 (cooperative surveillance)、自動回報監視 (automatic dependent surveillance)。獨立監視代表管制中心並不需飛機或車輛裝置任何航電設備，便可以監視飛機或車輛的位置，其中初級搜索雷達 (PSR, Primary Surveillance Radar) 像機場搜索雷達 (ASR, Airport Surveillance Radar)、航路搜索雷達 (ARSR, Air Route Surveillance Radar) 及機場平面偵測設備 (ASDE, Airport Surface Detection Equipment) 便屬於此類的監視設備。合作監視則需要飛機或車輛裝有收發器 (transponder) 管制中心才得以進行監視，其中次級搜索雷達 (SSR, Secondary Surveillance Radar)、S 模式次級搜索雷達 (Mode S SSR)、多接收站相依監視 (MDS, Multistatic Dependent Surveillance) 屬於此類的監視設備。自動回報監視則是管制中心完全依靠飛機或車輛自行定位，然後才根據其回報的位置進行監視，其中定址式自動回報監視 (ADS-A, Automatic Dependent Surveillance-Addressable; 或 ADS-C, Automatic Dependent Surveillance - Contract)、和廣播式自動回報監視 (ADS-B, Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) 屬於此類監視技術。

監視設備因其特性的不同，應用的場合也有不同。一般民航的監視場合包括了：航路 (en route)、越洋 (oceanic)、終端 (terminal)、及塔台或機場場面 (tower/airport surface)。目前國際在航路環境普遍使用的監視設備是航路搜索雷達，少部分的航路則是使用新一代的監視技術 ADS-A。在越洋環境目前普遍使

用的是語音位置回報，同樣地，有少些航路也已開始使用 ADS-A 做監視。至於終端環境目前國際普遍使用的監視設備是機場搜索雷達（像 ASR-9 或 ASR-11），有少部分地區使用新一代的監視設備 ADS-B。至於在塔台或機場平面目前較常使用的監視設備是機場平面偵測設備（像 ASDE-3），有少部分地區則開始使用較新的監視技術像：多接收站相依監視（MDS）、或廣播式自動回報監視（ADS-B）。

## 4.2 國際航空監視基礎建設之發展趨勢

在了解監視的意義及應用環境之後，本節將對目前主流的監視技術做一個介紹，其中包括了初級搜索雷達（PSR）、次級搜索雷達（SSR）和 S 模式次級搜索雷達（Mode S SSR）。另外，對於過去沿用的監視資料格式 CD-2（Common Digitizer -2）及未來會採取的新監視資料格式 ASTERIX（All-purpose STructural EuroControl suRveillance Information eXchange）本節也會說明，並且比較這兩種資料格式的優缺點。對於國際新興的監視技術像多接收站相依監視（MDS）、定址式自動回報監視（ADS-A）、及廣播式自動回報監視（ADS-B），及其使用的資料鏈路像 S 模式（Mode-S）、衛星通訊（SATCOM, SATellite COMmunication）、S 模式廣播（Mode-S extended squitter）、通用存取發送器（UAT, Universal Access Transmitter）、及第四模式特高頻數據鏈（VDL-4, Very High Frequency Digital Link Mode 4）也是本節關注的重點。至於未來融合多重監視資料的技術考量及美國、歐洲對監視設備/策略的規劃，以及世界各國有關監視的新計劃則在最後說明。

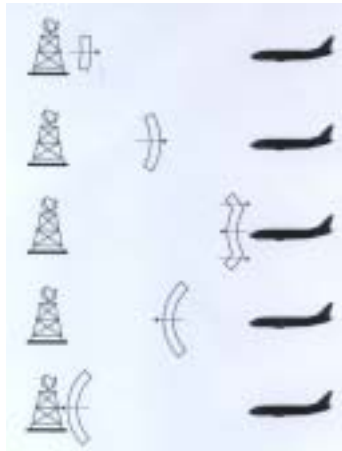
### 4.2.1 目前使用的監視技術

初級搜索雷達主要是用來了解飛機或車輛位置的設備，但因其不能識別飛機或車輛的身分，因此需要次級搜索雷達來輔助。初級搜索雷達/次級搜索雷達一直是目前主要使用的監視技術，本小節將對初級搜索雷達、次級搜索雷達等監視技術做一說明。

#### 4.2.1.1 初級搜索雷達（PSR）

目前的初級搜索雷達以脈衝式雷達(pulse-type radar)為主[4-1]，其運作方式

是雷達先朝目標物發射脈波，然後收集此脈波碰到目標物後所反射的回波，請參閱圖 4-1。



資料來源：[4-1]

圖 4-1:脈波式雷達

雷達利用脈波從發射到收到回波所花的時間來計算目標物的距離(range)，並且以脈波發射角度當成目標物與雷達之間的角度(azimuth)，如此一來雷達便可以用距離(range)及角度(azimuth)來描述目標物的位置。

雷達在發射脈波時，脈波發射管(feedhorn)會向天線發射脈波，藉由天線的反射向目標物送出脈波，此扇型脈波（fan beam）的角度寬不超過 $2^{\circ}$ 、上下不超過 $40^{\circ}$ ，請參閱圖 4-2。

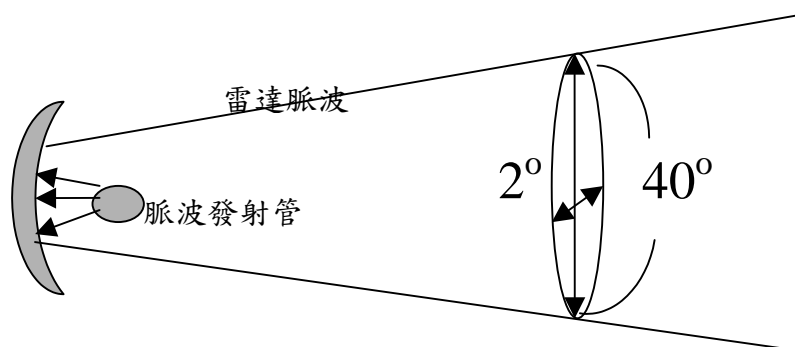
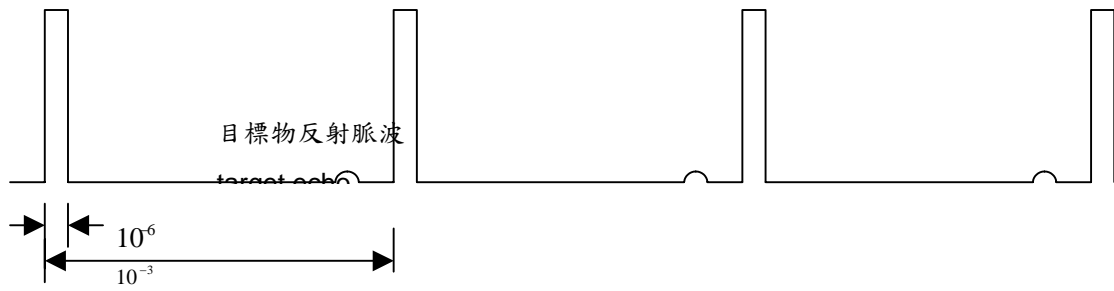


圖 4-2:雷達脈波發射示意圖

在持續發射脈波約 $10^{-6}$ 秒之後，雷達切換電路，利用天線蒐集目標物所反射

的回波，這些動作會在 $10^{-3}$ 秒完成，請參閱圖 4-3。



資料來源：[4-2]

圖 4-3:脈波時間間隔示意圖

接下來便是重複剛才的動作，每秒鐘約 1000 次。其他初級搜索雷達尚包括軍用的 3D 雷達，可以同時發射多個筆型脈波(pencil beam)，在某個角度以整個面偵測目標物，以便得到目標物的位置及高度，但因其價格昂貴，在民航用途不常見。

初級搜索雷達使用的頻率從高頻(HF, High Frequency)到 30 GHz 都有[4-2]，航管較常用的頻帶(frequency band)為 L、S、X、Ku 頻帶。表 4-1 說明不同頻帶的頻率以及初級搜索雷達在各個頻帶的監視範圍及更新頻率。

表 4- 1:初級搜索雷達在不同頻帶的監視範圍及更新頻率

band	frequency	rpm	range(nm)	application
L	1215-1350 MHz	4-5	200-250	en-route, military, long range
S	2.7-3.4 GHz	15	60-100	airport approach
X	8.0-10.5 GHz	60	< 10	precision approach, ground movement
Ku	15.7-17.7 GHz	60	< 10	ground movement

航路用的初級搜索雷達較常使用 L 頻帶，它可以偵測較遠的目標物、涵蓋的高度也較高，不過因為偵測較遠目標物必須花較長的時間等待目標物的反射波，因此其目標物位置更新頻率也較低，一分鐘約 4~5 次 (rpm, revolutions per minute)。至於機場平面監視雷達因為需要高精確度位置回報來監視場面移動，



所以使用的頻帶也較高（例如 Ku 頻帶），再加上偵測的目標物距離不遠（不超過 10 海浬），不用花太多時間等待目標物的反射脈波，因此可以獲得較高的更新頻率。表 4-2 整理了應用在航路、終端及機場平面三種監視環境中，三種不同的初級搜索雷達：航路搜索雷達、機場搜索雷達、機場平面偵測設備之特性及能力，提供參考及比較。

表 4-2:航路搜索雷達(ARSR)、機場搜索雷達(ASR)、機場平面偵測雷達(ASDE)比較表

	航路En-Route (ARSR)	終端Terminal (ASR)	機場表面 Airport Surface (ASDE)
頻率(frequency)	1.2-1.4GHz (L-band)	2.7-2.9GHz (S-band)	9.0-9.2GHz (X-band)
旋轉速率(rotation rate)	4/ 5 轉/分鐘(rpm)	10/ 12/ 15 rpm	60 rpm
涵蓋範圍(range coverage)	250/ 200 海浬NM	100/ 80/ 60 NM	4 NM
範圍解析度(range resolution)	230 公尺m	230 m	15 m
涵蓋角度(Azimuth Coverage)	360°	360°	360°
軌道寬度(Azimuth Beam width)	1.25°	1.4°	0.4°
涵蓋高度(Height Coverage)	100,000/ 80,000 英尺ft	60,000 ft	300 ft
(軌道高度)Elevation Coverage	0°- 30°	0°- 30°	-12°- 5°
(發射器類型/模組) Transmitter Type/ Module	Solid-State; 16/ 8	Solid-State; 16/ 8	Solid-State; 2
高峰脈波功率(Peak Power)	75/ 40 千瓦kW	40/ 20 kW	60 W
數位類比轉換(A/D Conversion)	15-bit	15-bit	15-bit
目標追蹤能力(Target Tracking Capacity)	1,000	1,000	1,000
通訊介面(Communication Interfaces)	Asterix (Serial & Ethernet)	Asterix (Serial & Ethernet)	Asterix (Serial & Ethernet)
平均故障時間(Critical MTBF)	40,000 小時hrs	40,000 hrs	40,000 hrs
平均維修時間 Mean-Time-To-Repair (MTTR)	30 分鐘min	15 min	15 min
可用度Availability	99.999 %	99.999 %	99.95 %

初級搜索雷達在偵測出目標物之後，需要將目標物的位置告知航管系統，目前最常用的資料表示格式是 CD-2(Common Digitizer-2)，它是以 13-bits 為單位來表示資料，並且直接指定資料傳輸時資料使用的同位元檢查(parity check)，此外，訊號同步用的位元圖像(bit stream pattern)，請參閱圖 4-4，也一併在 CD-2 中定義。



圖 4-4: 同步用信號資料格式

航管中心收到雷達資料時，一開始會先找尋信號同步位元圖像，當發現某一

段位元流(bits stream)與同步位元圖像不同時，便知道這是資料部分。CD-2 表示的資料包括了初級搜索雷達目標物回報、次級搜索雷達目標物回報、雷達狀態回報、氣象資料等等。圖 4-5 便是初級搜索雷達的 CD-2 資料格式，共有四組 13 位元。

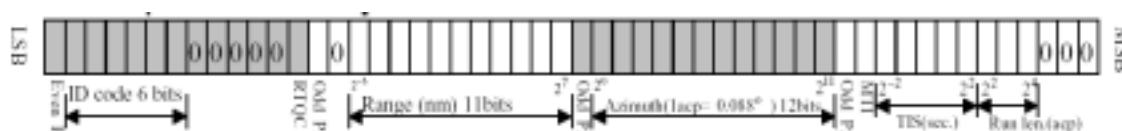


圖 4-5:初級搜索雷達 CD-2 資料格式

在第一組（最左邊）13 位元當中，第一個位元是偶同位檢查位元(even parity check bit)，代表第一組 13 位元當中，1 的個數必須是偶數，若不是的話代表此組資料在傳輸過程當中有錯誤發生，航管系統不可使用此筆資料。在偶同位檢查位元之後的 6 個位元是識別碼(ID code)，用來標明這是初級搜索雷達目標物回報，再下來有五個 0 加上一個「即時品質控制」(RTQC, Real Time Quality Control) 位元。「即時品質控制」位元是用來表示目前這個目標物回報是否只是雷達用來檢查其內部功能是否正常運作的虛擬目標，航管系統可以利用此位元決定是否要針對此目標物回報做追蹤。第二、三組 13 位元代表距離(range)與角度(azimuth)，是目標物相對於雷達的位置，其中距離的最小單位是海浬(nm)，角度的最小單位是 1 acp (azimuth change pulse) =  $0.088^{\circ}$ ，這兩個欄位都是使用奇同位檢查位元(odd parity check bit)，因此在第二、三組 13 位元當中，1 的個數必須是奇數。在第四組 13 位元當中的移動目標物標示(MTI, Moving Target Indicator)位元代表雷達是否有開啟「移動目標物標示」功能，此項功能通常是雷達用來抑制地面的雜訊。儲存時間 (TIS, Time In Storage) 指的是雷達從偵測目標、經過處理、一直到往後傳送之前所花的時間，通常這時間都不會太大（約 0.25 ~ 4 秒），若超過 4 秒鐘，航管系統大都會捨去這筆目標物回報不用。角寬(run length)指的是目標物頭尾所造成的測量角度偏差（4 ~ 16 acp）。

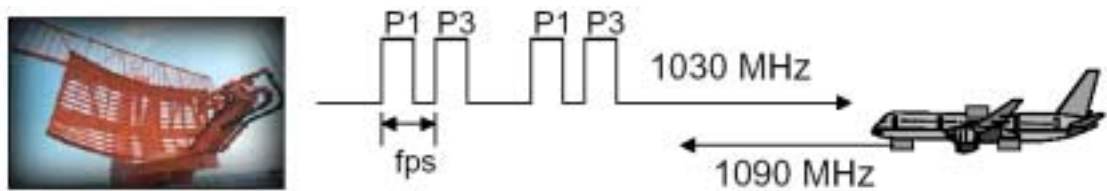
初級雷達的限制包括了：無法識別目標物的身分、屬於直線式的偵測範圍、購買、運作及維護的費用都太高、易受天候影響、並且不能偵測低高度（接近機場場面）的目標物等等。

#### 4.2.1.2 次級搜索雷達 (SSR)

次級搜索雷達通常架設在初級搜索雷達的上方，與初級搜索雷達一起轉[4-1]。其運作的方式是雷達向飛機發射出一對詢問脈波(頻率為 1030 MHz)，請參閱圖 4-6，飛機上的收發器(transponder) 在收到這對詢問脈波之後，會根據這對脈波所定義的模式，請參閱表 4-3，發射回答脈波(頻率為 1090 MHz)告訴次級搜索雷達這飛機使用的電碼(或高度)，請參閱表 4-3。次級搜索雷達在收到飛機的電碼之後，便可以告知航管系統這架飛機的身分。

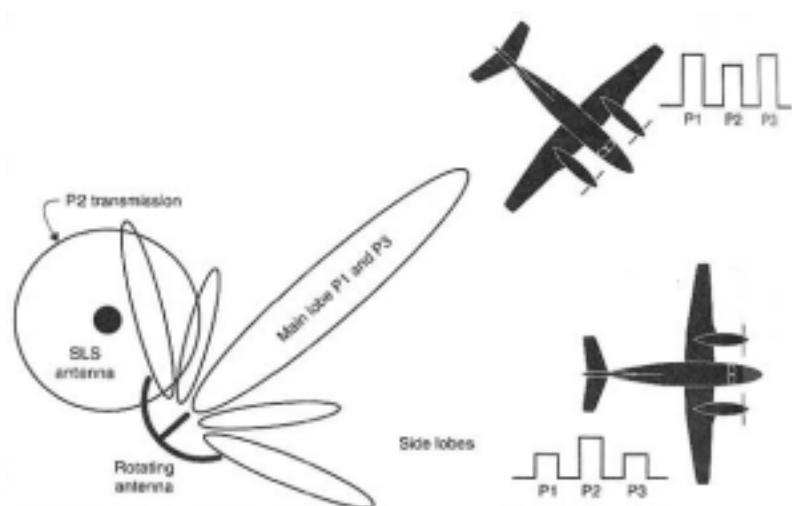
一般來說次級搜索雷達正常運作時，在其天線的 $45^0$ 及 $90^0$ 角方向會有低功率的脈波同時被發射出去，這些多餘的脈波在無線傳輸上是常見的現象，但卻常造成飛機收發器誤判為一般的詢問脈波而發射回答脈波，因此會造成目標物方位角判斷錯誤、或產生多餘目標物(因為同一架飛機的收發器對主脈波及多餘脈波都予以回應)。為了避免此種情況，次級搜索雷達會在主天線附近架設第二個天線(SLS antenna, Side Lobe Supression)，發射無方向性(omidirectional)的參考脈波，由於多餘脈波的功率較低，因此飛機可以比較參考脈波和收到的脈波彼此間相對強度，若收到的脈波強度低於參考脈波，代表飛機收到的是多餘脈波。圖 4-7 便說明此種情況，在上方的飛機收到的脈波(P1, P3)強度與參考脈波(P2)相似(略高)，因此可以判斷是收到真正的詢問脈波；反之，在下方的飛機所收到的脈波(P1, P3)比參考脈波(P2)強度要弱，因此判斷收到的不是真正的詢問脈波，而是多餘脈波，因此不予回應。

目前的監視技術便是使用初級搜索雷達/次級搜索雷達來得知飛機的位置及其身分。次級搜索雷達的好處包括可以利用電碼辨識出飛機的身分，而且使用的功率也比初級搜索雷達低很多，而它的更新頻率則與其坐落的初級搜索雷達相同。不過次級搜索雷達和初級搜索雷達一樣屬於直線式的涵蓋範圍、都有訊號干擾及地形造成錯誤目標回報(false targets)的問題，對於低高度飛機的偵測能力也不好。除此之外，由於它只使用 12 位元來表示電碼，一共只有 4096 種電碼可供飛機使用，目前已嫌不足。



(雷達影像來源 Raytheon)

圖 4-6:次級搜索雷達運作示意圖



資料來源：[4-1]

圖 4-7 主脈波與多餘脈波判斷圖示

表 4-3: 詢問脈波模式及其應用範圍

模式	應用範圍(及回應資訊)	詢問脈波間隔(fps, framing pulse spacing)；單位為百萬分之一秒
1	軍用	3
2	軍用	5
3/A	軍、民用；回應電碼	8
B	(歐洲)民用	17
C	民用；回應（氣壓）高度	21
D	民用	25

圖 4-8 是次級搜索雷達的 CD-2 資料表示格式，同樣以 13 位元為單位（由左至右，由上至下），6 個資料欄位共佔  $13 \times 6 = 78$  個位元。與初級搜索雷達相同，第一組 13 位元是以偶同位(Even Parity)做錯誤檢查，其餘五組 13 位元皆以奇同位(Odd Parity)做錯誤檢查。在第一組 13 位元當中，除了用來標示這是次級搜索雷達目標物回報的識別碼(ID Code)之外，另外 Mode C 位元代表這回報包含了高度，Mode 3/A 位元代表包含電碼(Beacon Code)、IDENT 代表「識別」電碼、RDOF(Radio Off)代表「無線電失效」電碼、EMRG(Emergency)代表「緊急」電碼、RTQC 代表這是雷達自我測試用的虛擬目標回報。第二、三組 13 位元代表距離及角度，是目標物相對於雷達的位置，而 HIJK (Hijack) 代表「劫機」電碼。第四組 13 位元中的 MTI 代表雷達開啟「移動目標物標示」功能，radar reinforce 位元則代表目標物位置是否經過初級搜索雷達和次級搜索雷達校正過（初級搜索雷達和次級搜索雷達對同一目標物所偵測到的位置可能有些差異，因此雷達會校正其位置）。TIS 代表雷達傳送目標物位置前所花的處理時間，Run Length 代表目標物頭尾造成的角度差異。第五組 13 位元的 Mode 3/A 代表電碼，第六組 13 位元的 Mode C 代表飛機的氣壓高度(以百英尺為單位)，其中 sign 位元代表高度為正值或負值。

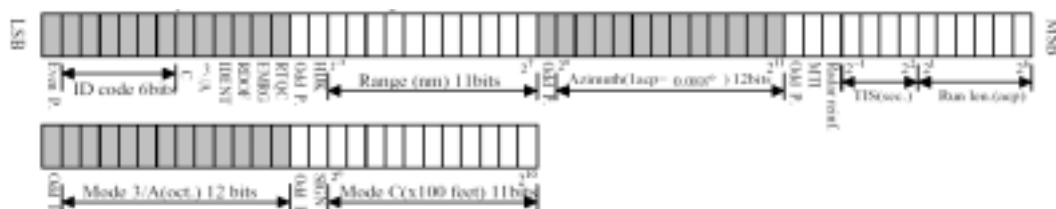


圖 4-8: 次級搜索雷達 CD-2 資料表示格式

#### 4.2.1.3 S 模式次級搜索雷達 (MODE S SSR)

S 模式次級搜索雷達可與第三模式雷達電碼 (Mode 3/A) 收發器、C 模式雷達電碼 (Mode C) 收發器和 S 模式雷達電碼 (Mode S) 收發器相互溝通，因此若飛機裝有 Mode 3/A、Mode C、或 Mode S 收發器，S 模式次級搜索雷達便可以辨識此飛機。此外，因為 Mode S 收發器使用 24 位元定址，因此 S 模式次級搜索雷達可以辨識出  $2^{24}$  種使用 Mode S 收發器的航機，這已可以滿足目前的需求。和初級搜索雷達及一般次級搜索雷達比較起來，S 模式次級搜索雷達是使用

DPSK/PPM 的調變技術，較不會有回波干擾(Echo Garbling)的問題[4-3]，發射器與收發器之間需要溝通的次數也比較少，因此佔用的頻道資源較少[4-4]。另外，它對目標物偵測的位置也較準確，可以提供 99% 以上的可靠性 (reliability)。而其限制包括了屬於直線式的涵蓋範圍、需要飛機裝有收發器才能對航機進行監視、以及擴充性受限（因為傳統使用 1030/1090 頻率的設備尚有傳統的次級搜索雷達、ACAS(Airborne Collision Avoidance System)、S 模式廣播[Mode-S extended squitter]）。

#### 4.2.2 新興的監視資料格式- ASTERIX

目前大部分的雷達在偵測到目標物位置之後，都是以 CD-2 的格式傳送目標物回報到航管中心，航管中心再根據這些目標物回報做航跡追蹤及飛航管制。由於 CD-2 格式並未將資料表示層次(presentation layer)與資料傳輸層次(data link layer)分開，因此航管中心在接收雷達送來的訊號時，必須先判別哪些是同步用訊號、哪些是實際的資料，當解讀實際資料時又必須判斷錯誤檢查碼(奇同位、偶同位檢查碼)，以得知資料是否正確。這些工作其實與航管的功能並無太大關係，純粹只是資料傳輸的問題而已。此外 CD-2 能表示的資料精確度有限，不敷新一代雷達（例如 ASR-11）的需求，再加上 CD-2 以 13 位元為資料表示單位，與目前電腦系統以 8 位元為單位不同，因此航管系統必須以專線的方式與雷達連接（中間透過 Modem），並且做資料轉換。上述 CD-2 的缺點造成航管系統在維護及擴充上的困難。

有鑑於此，EuroControl 提出了一種新的監視資料表示格式 ASTERIX (All-purpose StrucTural EuroControl suRveillance Information eXchange)[4-5]。ASTERIX 是定義在應用及表示層次(Application/presentation layers)的一種協定，以 8 位元為單位表示資料。它具有下述特性：(1) 高度彈性，允許應用程式(雷達、航管系統等等)彼此間交換變動長度的資料；(2) 高度擴充性，可因應未來所需增加資料項目。ASTERIX 在應用層次定義了 256 種應用，第 000 到第 127 屬於標準軍、民用途的應用，第 128 到 240 保留給特殊軍事應用，第 241 到 255 屬於非標準軍、民用途的應用。

表 4-4 列出了所有目前 ASTERIX 所定義的應用，表 4-5 則列出目前標準應用（第 000 到第 127 種應用）最新的版本及修訂日期。根據 ASTERIX 所定義，

每一種應用最多可以包含 256 種資料項目(data items)，每一個資料項目可以用 Innn/AAA 來表示， $n$  代表此資料項目屬於哪一個應用， $A$  表示它是這應用的第幾個資料項目。

表 4-4:ASTERIX 目前已定義的應用(Category)列表

Category	Title	Status	Part
000	Time Synchronization Messages	Reserved for MADAP	-
001	Mono-radar Data Target Reports (Excluding Mode-S and Ground Surveillance)	Released Standard	2a
002	Mono-radar Service Messages	Released Standard	2b
003	Distribution of Synthetic Air Traffic Data	Reserved for MADAP	-
008	Mono-radar Derived Weather Information	Released Standard	3
009	Multi-sensor Derived Weather Information	Reserved for MADAP	-
010	Mono-sensor Surface Movement Data	Working Draft	7
011	A-SMGCS Data	Working Draft	8
017	Mode-S Surveillance Coordination Function Messages	Working Draft	5
018	Mode-S Data Link Function Messages	Working Draft	6
021	ADS-B Messages	Working Draft	12
022	TIS-B Management Messages	Working Draft	13
030	Exchange of Air Situation Pictures	Reserved for ARTAS	-
031	Sensors Information Messages	Reserved for ARTAS	-
032	Information Provided by Users to ARTAS	Reserved for ARTAS	-
034	Next Version of Category 002	Proposed Standard	2b
048	Next Version of Category 001	Proposed Standard	4
061	SDPS Session and Service Control Messages	Working Draft	11
062	System Track Data	Working Draft	9
063	Surveillance Data Processing System (SDPS) Status Data	Working Draft	10
241	Technical Messages	Used by RMCDE/S	-
252	Session and Service Control Messages	Reserved for ARTAS	-
253	Remote Station Monitoring and Control Information	-	-
254	Up-line Memory Dump Information	-	-
255	Down-line Program Load Information	-	-

資料來源：[4-5]

表 4-6 列出了「monoradar 目標物回報」(第 48 種)應用所包含的資料項目，其中包括了 *I048/010* 資料來源：識別(Data Source Identifier)、*I048/040* 偵測到的目標物極座標位置(measured position in slant polar co-ordinates)、*I048/042* 目標物轉換後的平面座標位置(Calculated Position in Cartesian Co-ordinates)、*I048/070* 的 8 進位電碼代號(Mode 3/A Code in Octal Representation)、*I048/140* 目標物偵測時間(Time of Day)等等。這些資料項目不見得全部會被應用程式使用到，應用程式

表 4-5:ASTERIX 標準應用目前新版本及修訂日期

title	category	version	Ed. date
Structure of the ASTERIX format	-	1.28	Dec. 2001
Monoradar service messages	034	1.26	Nov. 2000
Monoradar weather data	008	1.0	Nov. 1997
Monoradar target reports	048	1.14	Nov. 2000
Mode S surv. coord. function msg	017	<i>under design by POEMS</i>	
Mode S data link function message	018	<i>under design by POEMS</i>	
Monoradar surface movement data	010	0.31	Dec. 2001
SMGCS data	011	0.17	Dec. 2001
System track data	062	0.22	Dec. 2001
SDPS status messages	063	0.15	Mach.2001
SDPS session&service ctl msg.	061	0.15	June 2001
ADS-B messages	021	0.16	Dec. 2001
TIS-B management messages	022	0.10	Sep. 2001

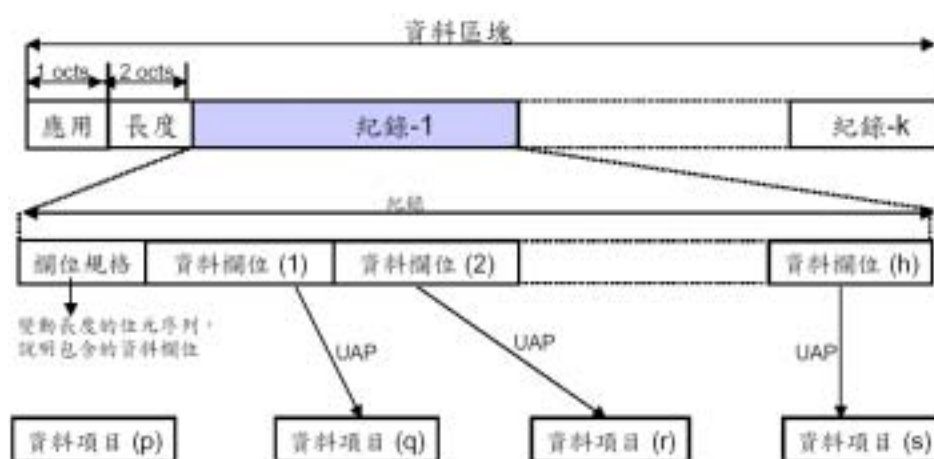
表 4-6: 「monoradar 目標物回報」應用所包含的資料項目

Data Item	Description	System Units	Length in Octets
I048/010	Data Source Identifier	N.A.	2
I048/020	Target Report Descriptor	N.A.	1+
I048/030	Warning/Error Conditions	N.A.	1+
I048/040	Measured Position in Slant Polar Co-ordinates	RHO: 1/256 NM THETA: 360/(2 <sup>16</sup> )	4
I048/042	Calculated Position in Cartesian Co-ordinates	X, Y: 1/128 NM	4
I048/050	Mode-2 Code in Octal Representation	N.A.	2
I048/055	Mode-1 Code in Octal Representation	N.A.	1
I048/060	Mode-2 Code Confidence Indicator	N.A.	2
I048/065	Mode 1 Code Confidence Indicator	N.A.	1
I048/070	Mode-3/A Code in Octal Representation	N.A.	2
I048/080	Mode-3/A Code Confidence Indicator	N.A.	2
I048/090	Flight Level in Binary Representation	1/4 FL	2
I048/100	Mode-C Code and Confidence Indicator	N.A.	4
I048/110	Height Measured by a 3D Radar	25 ft	2
I048/120	Radial Doppler Speed	(2 <sup>9</sup> (-14)) NM/s	1+
I048/130	Radar Plot Characteristics	N.A.	1+1+
I048/140	Time of Day	1/128 s	3
I048/161	Track/Plot Number	N.A.	2
I048/170	Track Status	N.A.	1+
I048/200	Calculated Track Velocity in Polar Representation	Spd: (2 <sup>9</sup> (-14)) NM/s Ang:360/(2 <sup>16</sup> )	4
I048/210	Track Quality	N.A.	4
I048/220	Aircraft Address	N.A.	3
I048/230	Communications / ACAS Capability and Flight Status	N.A.	2
I048/240	Aircraft Identification	N.A.	6
I048/250	Mode S MB Data	N.A.	1+8*n
I048/260	ACAS Resolution Advisory Report	N.A.	7

資料來源：[4-5]



可以視其需要選用這些資料項目，例如：Mode 3/A 次級搜索雷達若使用 ASTERIX 格式傳送目標物回報給航管中心，便不會使用 Mode S MB 這個資料項目（此項資料項目可能會以 NULL 或 0 表示）。當系統彼此間要用 ASTERIX 格式交換資料時，這些資料都會以一或多個資料區塊(Data Block)來表示，其中每一個資料區塊的格式請參閱圖 4-9。在資料區塊中，第 1 個位元組說明此資料區塊屬於哪一種應用(Category)，第 2, 3 個位元組說明這個資料區塊的總長度（包含第 1,2,3 位元組），接下來才是一連串的紀錄(Records)。對於每一個紀錄，開頭會有一個欄位規格(FSPEC, Field Specification)說明此紀錄包含哪些資料欄位，後面才接著連續的資料欄位(Data Field)。紀錄中的每一個資料欄位都只對應到一個資料項目(Data Item)，它們彼此間的對應關係是由使用者應用程式對應表 (UAP, User Application Profile)所定義，請參閱表 4-7，其中 FRN(Field Reference Number) 代表資料欄位的編號。圖 4-11 是圖 4-9 的一個範例。



資料來源：[4-5]

圖 4-9: ASTERIX 資料區塊格式

表 4-7: ASTERIX 第 48 應用的使用者應用程式對應表(UAP)

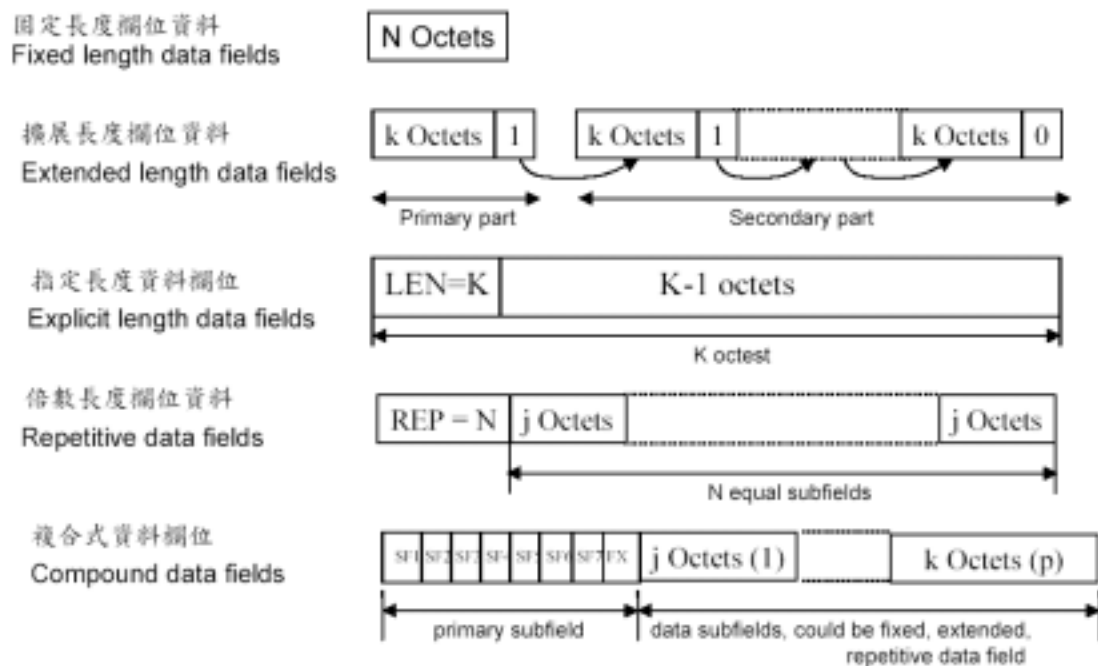
FRN	Data Item	Data Item Description	Length in Octets
1	I048/010	Data Source Identifier	2
2	I048/140	Time-of-Day	3
3	I048/020	Target Report Descriptor	1+
4	I048/040	Measured Position in Slant Polar Coordinates	4
5	I048/070	Mode-3/A Code in Octal Representation	2
6	I048/090	Flight Level in Binary Representation	2
7	I048/130	Radar Plot Characteristics	1+1+
FX	n.a.	Field Extension Indicator	n.a.
8	I048/220	Aircraft Address	3
9	I048/240	Aircraft Identification	6
10	I048/250	Mode S MB Data	1+8*n
11	I048/161	Track Number	2
12	I048/042	Calculated Position in Cartesian Coordinates	4
13	I048/200	Calculated Track Velocity in Polar Representation	4
14	I048/170	Track Status	1+
FX	n.a.	Field Extension Indicator	n.a.
15	I048/210	Track Quality	4
16	I048/030	Warning/Error Conditions	1+
17	I048/080	Mode-3/A Code Confidence Indicator	2
18	I048/100	Mode-C Code and Confidence Indicator	4
19	I048/110	Height Measured by 3D Radar	2
20	I048/120	Radial Doppler Speed	1+
21	I048/230	Communications / ACAS Capability and Flight Status	2
FX	n.a.	Field Extension Indicator	n.a.
22	I048/260	ACAS Resolution Advisory Report	7
23	I048/55	Mode-1 Code in Octal Representation	1
24	I048/50	Mode-2 Code in Octal Representation	2
25	I048/65	Mode-1 Code Confidence Indicator	1
26	I048/60	Mode-2 Code Confidence Indicator	2
27	SP-Data Item	Special Purpose Field	1+1+
28	RE-Data Item	Reserved Expansion Field	1+1+
FX	n.a.	Field Extension Indicator	n.a.

資料來源：[4-5]

ASTERIX 資料欄位(Data Field)的表示格式有三類：標準式、非標準式、保留擴充式。標準式是最常使用的一類，包含有五種格式：固定長度(fixed length)資料欄位、擴展長度(extended length)資料欄位、指定長度(explicit length)資料欄位、倍數長度(Repetitive)資料欄位、複合式(Compound)資料欄位。非標準式

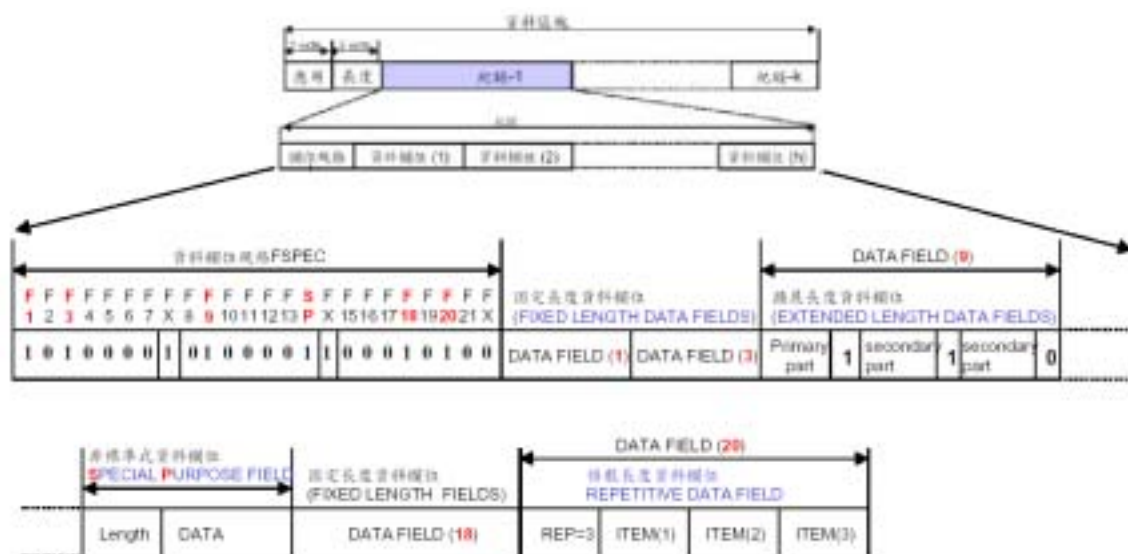
是預留給使用者在標準式的五種格式都不適用時使用(應用程式彼此間協調好共同的格式即可，不過一定要包含 1 個位元指出其長度)，其在 UAP 中以特殊目的位元 (SP-bits, Special Purpose) 標示；而保留擴充格式則是預留給未來擴充或某個應用的中間版本使用，其資料欄位格式(一定要包含 1 個位元指出其長度)必須通過 STFRDE (Surveillance Task Force for Radar Data Exchange) 的認可，此種資料欄位在 UAP 中以保留擴充位元 (RE-bits, Reserved Expansion) 標示。

圖 4-10 是五種資料欄位格式的圖示。固定長度資料欄位所佔的長度在 UAP 中會指定，例如在表 4-7 中，*I048/010* 資料來源：識別 (Data source Identifier) 佔的固定長度為 2 位元組；擴展長度資料欄位包含主部分 (primary part) 及次部分 (secondary part)，主部分 (佔 K 位元組) 的最後一個位元若是 1，代表此資料會由主部分延伸至次部分，次部分可包含多個 k 位元組，至於有多少個 k 位元組則由每個 k 位元組的最後一個位元決定，若是 1 代表會再向後延伸 k 個位元組一直到某個 k 位元組最後一個位元為 0 為止，這觀念與相連串列(linked list)相似；指定長度資料欄位的總長度在第 1 個位元組中指定，應用程式可以據此值知道需再向後讀多少長度的資料；倍數長度資料欄位則會在第 1 個位元組指定要向後延展幾次長度為 j 位元組的資料，其中 j 在 UAP 中定義；複合式資料欄位格式是利用遞迴(recursive)的觀念來延展紀錄資料，在其子資料欄位(data subfields)中，只能使用前述四種資料格式(固定長度、擴展長度、指定長度、倍數長度)，不可再使用複合式子資料欄位，目前複合式資料格式較少被用到。圖 4-11 是紀錄的範例，在本範例的欄位規格中，指明了本紀錄包含第 1, 3, 9, 14, 18, 20 資料欄位 (Data Field)。第 1, 3, 18 欄是固定長度，第 9 欄是擴展長度，第 14 欄使用非標準格式，第 20 欄使用 3 倍數長度。



資料來源：[4-5]

圖 4-10: ASTERIX 的五種資料欄位表示格式



資料來源：[4-5]

圖 4-11: ASTERIX 「紀錄」詳細內容範例

與 CD-2 比較起來，ASTERIX 具有下述的優點：(1) 可以更精確的表示目標物位置，表 4-8 列出了 ASR-9 雷達使用 CD-2 格式以及 ASTERIX 第 48 應用所能表示的範圍及精確度[4-6]，由本表可以看出 ASTERIX 不僅可以表示的範圍較

廣，而且因為 ASTERIX 使用較多位元來表示資料，量化誤差 (quantization error) 小，所以精確度比較好，例如：ASTERIX 距離 (range) 最小精確度可以到 1/256 海哩，而 CD-2 只能到 1/64 海哩；(2) ASTERIX 可以使用不同的傳輸媒介：包括 WAN、LAN、TCP/IP 等，因為它只定義在應用層及表示層，並不限定使用哪一種資料傳輸協定，所以不像 CD-2 必須以專線的方式收送資料；(3) 可以表示變動長度的資料，具有高度的彈性及可擴充性；(4) 使用 ASTERIX 格式可以讓任何的雷達資料讓任何地方的任何人使用。

表 4-8: CD-2 和 ASTERIX 資料表示範圍及精確度比較

Data item	CD-2 used at ASR-9		ASTERIX Cat.048	
	MSB	LSB	MSB	LSB
Range (nmi)	32	1/64	256	1/256
Azimuth(deg)	180	0.0879	360	0.0055
Altitude (ft)	102400	100	204800	25
Speed (kt)	-	-	3600	0.219
Heading(deg)	-	-	180	0.0055

資料來源：[4-6]

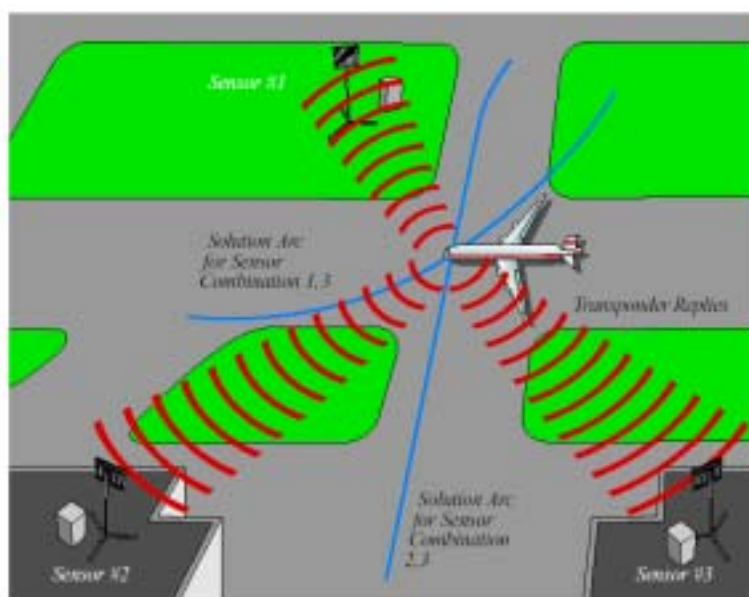
### 4.2.3 新興的監視技術

雖然使用初級搜索雷達/次級搜索雷達可以協助航管系統監視航機的位置，以及辨別其身分，但是因為它們容易受到氣候影響，且有偵測死角的問題(尤其在機場平面偵測設備更是如此)，因此目前有一項新的技術「多接收站相依監視」被發展出來，目的便是要改善這種情況，它可以用較經濟的成本有效提高機場場面的監視效能。此外，雷達受限於可以使用的環境，目前在越洋或航路上，駕駛員仍是以語音回報飛機位置，管制員再根據此位置回報，用程序管制做航機隔離。因為這種方式無法有效利用空域，因此新一代的監視技術——「定址式自動回報監視」便被提出來改善這種情況。另外，為了有效利用目前擁擠的空域，航管系統必須更快、更精確的知道飛機目前的位置，並且了解飛機意圖航向，以便做更好的飛航排程。「廣播式自動回報監視」技術便是可以滿足此需求的新興技術。以下各節分別說明「多接收站相依監視」、「定址式自動回報監視」、和「廣播式

自動回報監視」這三項新的監視技術。

#### 4.2.3.1 多接收站相依監視 (MDS)

「多接收站相依監視」技術是在機場場面裝設幾個(4-5)詢問器及多個接收器，請參閱圖 4-12，詢問器會向飛機發射詢問脈波，飛機收到詢問脈波後其收發器(Mode 3A 或 Mode S 收發器)會發射回答脈波告知飛機的電碼(beacon code)或身分(identification address)，機場場面不同的接收器都會收到回答脈波，「多接收站相依監視」處理工作站便會根據這些脈波被接收到的時間差(TDOA, Time Difference of Arrival)，計算出飛機目前的位置，並且知道飛機的身分。由於接收器成本較低、可以在機場的各個角落裝設，避免雷達死角，因此整體的監視效果很好。目前有二家公司有提供「多接收站相依監視」，分別是 Sensis 和 Ranonch。根據 Sensis 的技術資料，多接收站相依監視可以提供 1 Hz 的更新頻率(最高到 10 Hz)，誤差小於 20 英尺，涵蓋的區域可以向上延伸到 10 海浬，因此不只機場的場面可以使用，它也可以使用在終端空域。多接收站相依監視被視為是在機場場面全面使用廣播式自動回報監視技術前，非常適合的一個中繼監視技術，而且其取得、運作及維護的費用也不高。不過它所使用的技術屬於合作式監視，因此對於未配有收發器的車輛，多接收站相依監視仍無法對其進行監視。



資料來源：Sensis

圖 4-12: 多接收站相依監視示意圖

表 4-9 是機場平面偵測設備與多接收站相依監視的效能比較，多接收站相依監視很明顯可以達到比機場平面偵測設備更好的效能。表 4-10 則是機場平面效能需求與多接收站相依監視的效能列表，此表中的多接收站相依監視列了兩種數據，分別是使用 Mode 3/A 與 Mode S 接收器，數據是 2001 年 9 月 Sensis 在 Dallas Fort Worth 機場所得的測試數據。Mode S 的效能比 Mode A 要好一些，但二種都可以滿足效能的需求。目前 Sensis 已成功將 MDS 安裝在下述機場：London Heathrow, Dallas/Fort Worth, Frankfurt, Detroit, Phoenix, Orlando, Toronto, Honolulu, Tampa, Ft Lauderdale, Chicago (MDW), San Jose, Memphis, San Juan, Raleigh-Durham。至於 Rannoch 則已在 Japan's Haneda, Detroit, Calgary, Barnstaple/Hyannis[4-7] 安裝其系統。

表 4-9: 機場平面偵測設備與多接收站相依監視效能比較

	機場平面偵測設備(ASDE)	多接收站相依監視(MDS)
更新頻率	1 Hz	1 Hz (一般)
彈性更新頻率	無	可，最高到 10Hz
位置誤差	小於 27 英尺	小於 20 英尺
目標物識別	無	可;電碼或 Mode S 身分代碼
涵蓋範圍	向上到 200 英尺	向上到 10 海哩
錯誤警示	多次	一天少於 1 次(使用 Mode S) 小於 2% (使用 Mode A/C)

資料來源：Sensis 公司

表 4-10: 機場場面監視需求規格與使用 Mode S, Mode A 之多接收站相依監視效能比較

規格	需求	使用 Mode A/C 之多接收站相依監視	使用 Mode S 之多接收站相依監視
更新頻率	0.930	0.96	0.977
靜止目標物之均方根誤差(RMS, Root mean Square error)	20 英尺	X: 18.5 英尺 Y: 17.3 英尺	X: 10.3 英尺 Y: 14.7 英尺
移動目標物誤差	20 英尺	13.2 英尺	7.1 英尺
錯誤警示	一天一次	0	0

資料來源：Sensis 公司

#### 4.2.3.2 定址式自動回報監視 (ADS-A)

由於目前雷達的採購以及後續的維護費用仍然偏高，而且在越洋區域也不易架設雷達站，因此目前很多地方仍以程序管制（配合語音回報位置）的方式來做航機隔離，為了克服這些限制，目前發展出了定址式自動回報監視技術。裝載有定址式自動回報監視設備的航機，請參閱圖 4-13，利用導航衛星(Navigation Satellites)得知自己的位置之後，藉由通訊衛星（Communication Satellite）或 VHF 資料鏈路報告自己的位置，地面的接收站將收到的 ADS-A 回報送到管制中心，管制中心再以此回報做飛航管制。

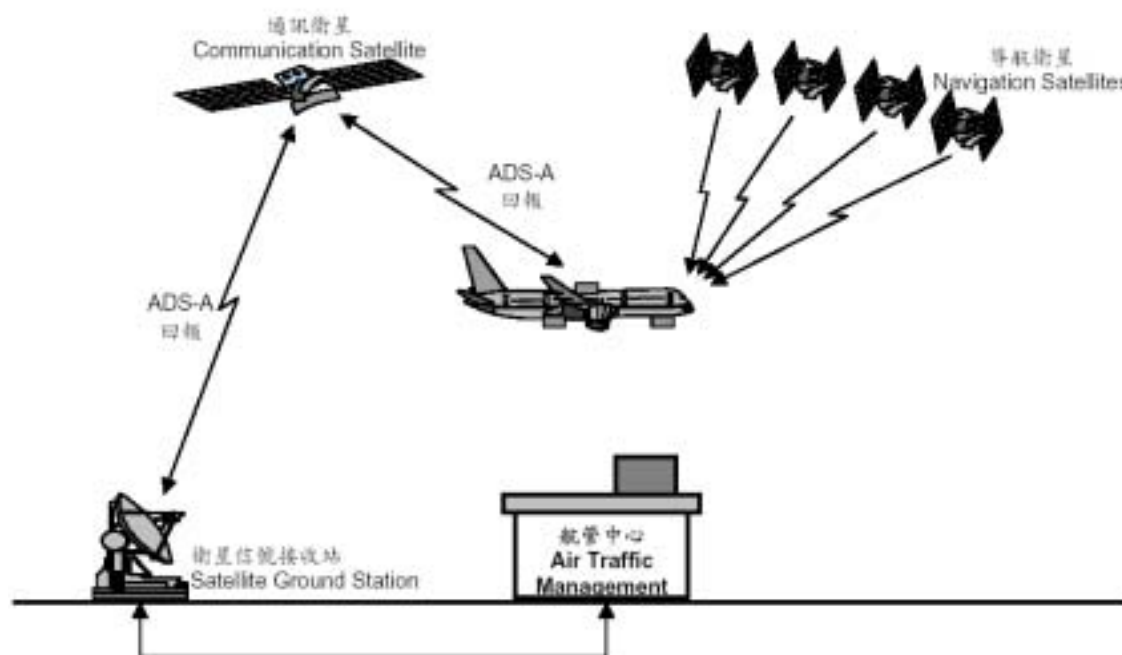


圖 4-13:定址自動回報監視環境示意圖

圖 4-14 是 ADS-A 陸空通訊資料傳輸使用的協定，飛機上不同的航電設備彼



此間是透過 AEEC-619 協定相互溝通資料 (AEEC-429 是較舊的航電設備使用的通訊協定)，而飛機將資料送到地面通訊服務站(Service Provider)時所使用的通訊

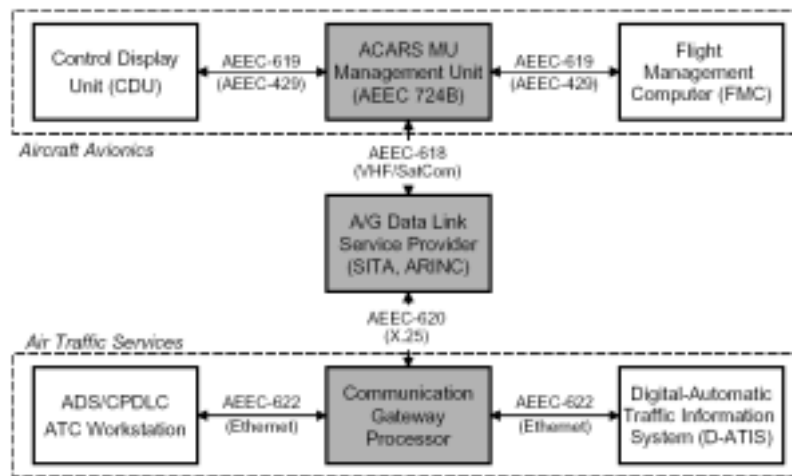


圖 4-14:ADS-A 陸空通訊資料傳輸使用的協定

協定是 AEEC-618，地面通訊服務站透過 AEEC-620 協定將資料送到地面管制中心。管制中心收到資料後必須以 AEEC-622 協定來拆解封包，處理標頭(header)及交握(hand shaking)訊息，然後把資料取出，再將這些資料依不同的應用，例如：自動回報監視(ADS)、管制員駕駛員資料鏈路通訊(CPDLC, Controller Pilot Data Link Communication)等，使用其協定予以解碼。

飛機要做定址式自動回報監視前，必須先進行「飛航服務登錄」(AFN, Air traffic service Facility Notification)登入[4-9]，請參閱圖 4-15，飛機首先向地面管制中心發出「設備通知申請」(1:FN\_CON, Facility Notification Contract)，地面站若同意的話必須在 5 分鐘內 (ATST1, Air Traffic Service Time 1 = 5 min) 回答「設備通知收到」(2:FN\_AK, Facility Notification Acknowledge)，如此便完成「飛航服務登錄」登入。圖 4-16 是登入「飛航服務登錄」使用的訊息格式，其欄位包含有：訊息功能標示 (MFI, Message Function Identifier)、內嵌訊息標示 (IMI, Imbedded Message Identifier)、訊息文字標示(MTI, Message Text Identifier)、循環檢查 (CRC, Cylical Redundancy Check)、應用名稱 (AP Name, Application Name)、版本 (Ver, Version)、應用執行狀態 (reason code) 等，各欄位的詳細說明請參閱[4-9]。圖 4-17 是實際內容的範例 (EX0 是 AFN header, EX1 是 AFN Contract, EX2 是 AFN Acknowledge, 為說明簡單，其中 EX1 和 EX2 已省略了

標頭 EX0)。當飛機要飛離目前管制中心服務區域時，請參閱圖 4-18，管制中心會要求飛機登出「飛航服務登錄」(1:FN\_CAD)，當飛機回應收到之後(2:FN\_RESP)接著會向下一個管制中心要求登入「飛航服務登錄」(3:FN\_CON)，當下一個管制中心回答「設備通知收到」(4:FN\_AK)之後，飛機會告知原來的管制中心完成登出「飛航服務登錄」(5:FN\_COMP)，這時便算完成「飛航服務登錄」登出。圖 4-19 是飛機登出「飛航服務登錄」時使用的訊息格式。

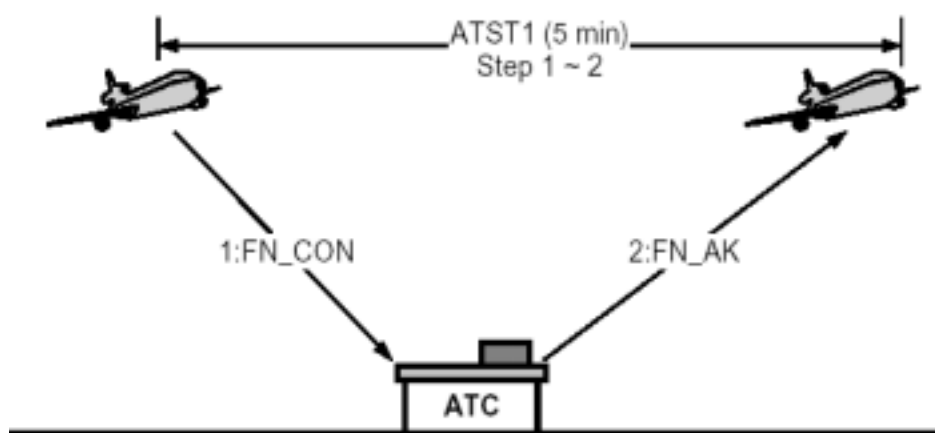


圖 4-15: 飛機進行 AFN 登入示意圖

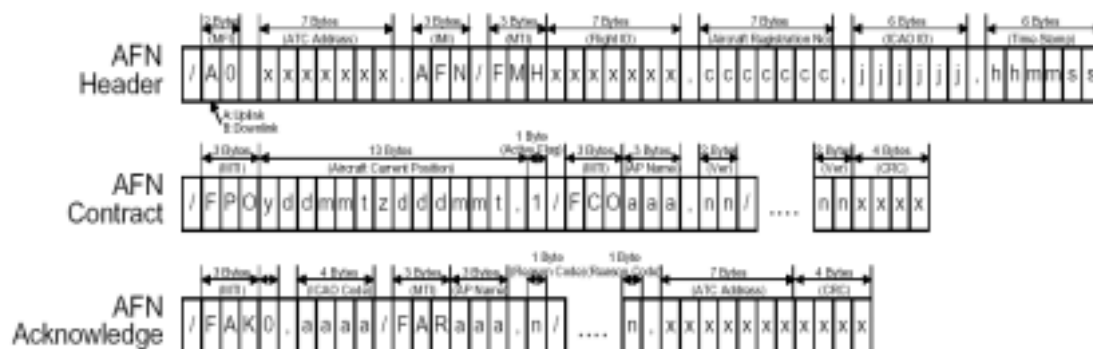


圖 4-16: 「飛航服務登錄」交換訊息格式

EX0 : /A0 TPECAYA.AFN/FMHEVA271,B-16409,,021231  
EX1 (↓): /FPON22330E121235,1/FCOADS,01/FCOATC,01C6A9  
EX2 (↑): /FAK0,RCTP/FARADS,0/FARATC,0,TPECAYA3FCA

圖 4-17: 「飛航服務登錄」交換訊息範例

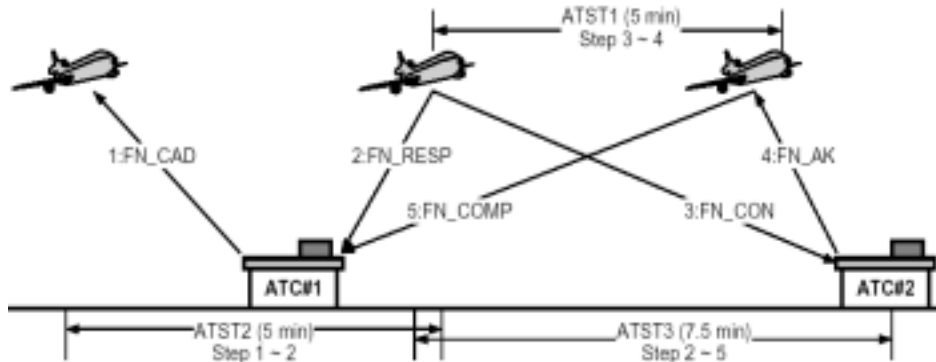


圖 4-18:飛機登出入「飛航服務登錄」示意圖

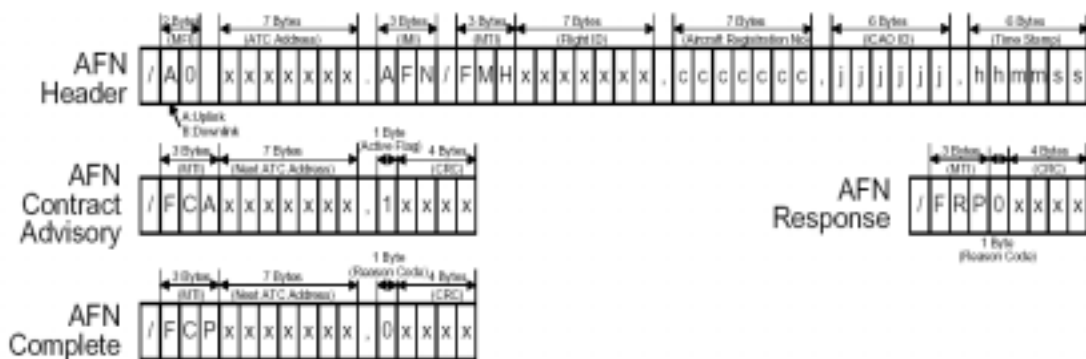


圖 4-19:登出「飛航服務登錄」所使用的信息格式

在飛機完成「飛航服務登錄」登入之後，請參閱圖 4-15，航管中心會向飛機要求做「定址自動回報監視」，請參閱圖 4-20 之 1:Contract Request，接著飛機會回應「收到」，請參閱圖 4-20 之 2:Acknowledge，然後進行「定址式自動回報監視」回報，請參閱圖 4-20 之 3:report，地面航管中心則根據此回報進行飛航管制。當飛機將離開管制中心服務區域時，管制中心會先要求飛機停止定址自動回報監視，請參閱圖 4-20 之 4:Contract Cancel，飛機此時再回應 ADS 斷線，請參閱圖 4-20 之 5:Disconnect。如此飛機便完成向本地航管中心做「定址式自動回報監視」

回報。圖 4-21 是「定址自動回報監視」訊息交換的格式，其中 IMI 是 Imbedded Message Identifier 的縮寫。圖 4-22 則是「定址自動回報監視」上傳下載內容範例，為使說明範例精簡，EX2-EX5 省略了 ATC 位置（TPECAYA）的部分。

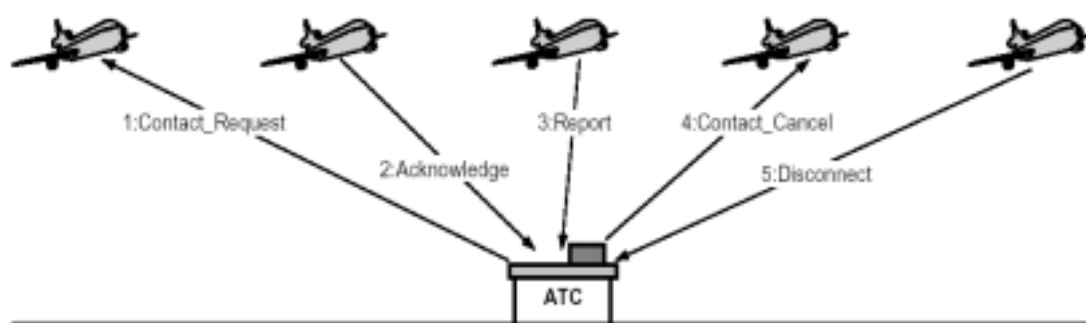


圖 4-20: 「定址自動回報監視報告」流程示意圖

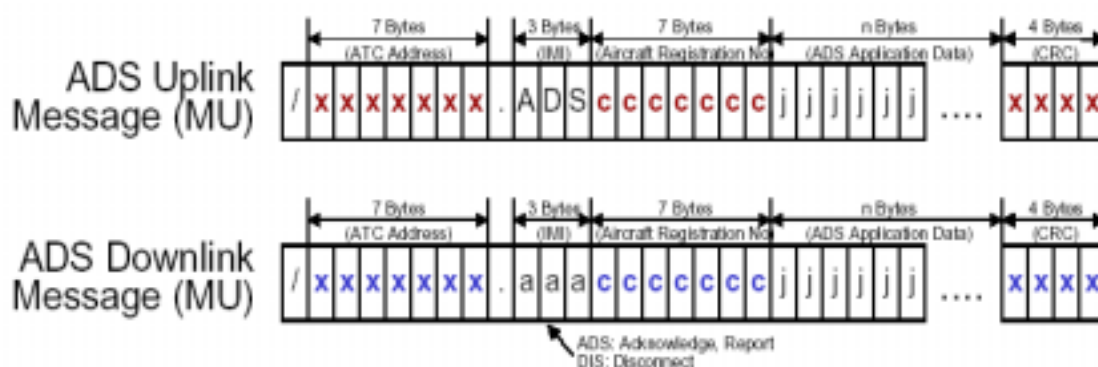


圖 4-21: 「定址自動回報監視報告」訊息交換格式

```

EX1 (↑): /TPECAYA.ADSB-1640907000B98A6EC
EX2 (↓): ADSB-164090301070FABCAB16889858E141D04BA
EX3 (↓): ADSB-16409070EC9D2AF044985979C1D6009
EX4 (↑): /TPECAYA.ADSB-1640901937C
EX5 (↓): DISB-164098013E0

```

圖 4-22: 「定址自動回報監視」上傳下載內容範例

當飛機進行「定址式自動回報監視」回報時，請參閱圖 4-20 之 3:report，可

能是處於四種不同的模式(Modes)做回報：定期 (Periodic Mode)、事件(Event Mode)、命令(Demand Mode)、和緊急(Emergency Mode)。在定期模式下，飛機每隔一段固定的時間  $T=rs$  秒就會自動做一次「定址自動回報監視」回報，其中  $r=1,...,64$  是 rate， $s=1,8,64$  是 scaling factor。由於原來訊息中只使用 8 位元指定時間間隔，最高只能到 255 秒；若利用公式  $T=rs$ ， $r$  佔 6 個位元， $s$  佔 2 個位元的編碼方式，則可以協助應用程式定義出更長的時間，最高到  $64 \times 64 = 4096$  秒。定期模式是最常使用的模式，一般是設定每 5 到 10 分鐘回報一次。在事件模式下，飛機可能在某個事件發生時才會自動回報，例如：當飛機超過某個高度時、或到達某一個定點 (fixed point) 等等。另外，管制中心可能因為某種因素，必須立刻知道飛機目前最新的位置 (或其他資訊)，因此會要求飛機馬上做回報，此時飛機便是在命令模式下做 ADS-A 回報。至於緊急模式，則是因為飛機處於某種緊急狀況，主動向管制中心做回報。在上述所提的四種模式中，飛機並不限定只能使用一種模式做回報[4-8]，例如：飛機可能每隔 10 分鐘報一次位置，而且飛過某個定點時也會做回報。

當飛機做「定址自動回報監視」回報時，其內容可能是基本報告 (basic report) 或詳細報告 (extended report) (管制中心可以要求飛機每隔  $K$  個基本報告便做一次詳細報告，其中  $K=1,...,254$ )。基本報告內容包括：飛行編號 (Flight Identification)、飛機編號 (Aircraft Identification)、經緯度 (Latitude, Longitude)、高度 (Altitude)、報告時間 (time stamp)、導航標幟 (Navigation Flags)、位置精確度 (Position Accuracy)；詳細報告則進一步包括：地面速率、垂直速率、實際航向、風速、風向、溫度、下一/二個軌跡改變點位置 (包括經、緯度及高度) 等等[4-9]。

#### 4.2.3.3 廣播式自動回報監視 (ADS-B)

與定址式自動回報監視不同，廣播自動回報監視不需經過「飛航服務登錄」登入 (圖 4-15)，也不用遵循自動回報監視程序 (ADS procedure) 做回報，請參閱圖 4-20，它是用廣播方式直接報告 ADS-B 內容。飛機或車輛只要裝有 ADS-B 航電設備 (見圖 4-23)，在透過導航衛星知道本身的位置之後，便可以不斷向週遭廣播 ADS-B 內容，管制中心透過 ADS-B 接收站收取報告，並在得知航機或車輛位置後提供航機隔離及其他服務。若飛機或車輛本身裝有 ADS-B 接收器，也

可以自行知道在其週遭有哪些飛機或車輛利用 ADS-B 報它們的位置，因此可以幫助駕駛員提高對環境的了解（Situation Awareness）以方便做避碰（Collision Avoidance）。

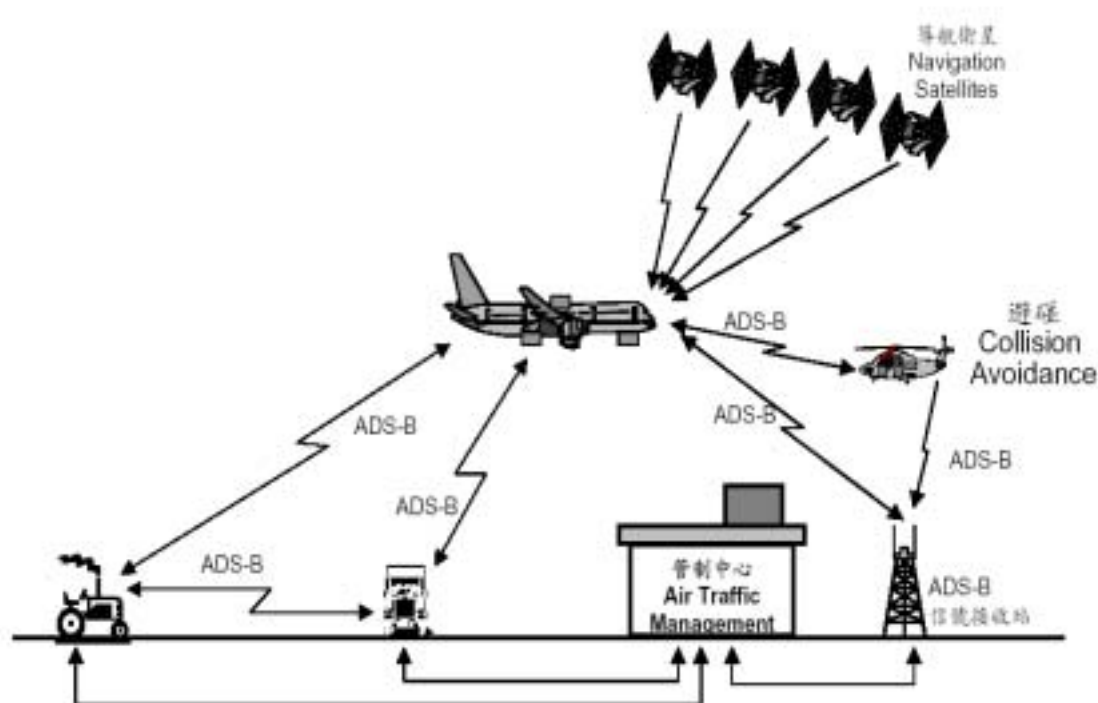


圖 4-23:廣播自動回報監視環境示意圖

ADS-B 所採用的資料鏈路 ICAO 尚未正式決定，目前有三種選擇[4-10]：Mode-S 廣播（extended squitter）、UAT(Universal Access Transmitter)、和 VDL-4(VHF Digital Link- mode 4)，4.2.4 節會對這三種資料鏈路做一個詳細說明。而 ADS-B 所廣播的內容包含有五類[4-11]：「身分」(Identification)、「狀態」(State Vector)、「意圖」(Status Intent Information)、「等級」(Class Code)、「其他」(Other Information)。在「身分」這類包含的內容有：飛行編號(佔 7 位文數字)、飛機編號(佔 24 位元)、種類(輕型、中型、重型等)。「狀態」這類包含：位置(經緯度、氣壓高度、地理高度等)、速度(水平速度、垂直速度)、空中轉向(左、右、無)、導航精確類別(位置精確性、速度精確性)。「意圖」這類包含：緊急/優先狀態(例如：油料達底線、無通訊等)、目前意圖(意圖高度)、軌跡變更意圖(TCP, Trajectory Change Point)。「等級」這類包含：只有廣播功能、具避碰功能等。至於「其他」這類則是預留未來擴展用。表 4-11 和表 4-12 分別說明 ADS-B 在不同環境及不同應用的效能需求規格，其中 TBD 代表未定(To Be

Defined)，fps (feet per second) 代表每秒多少英尺，1 knots 代表每小時 1 海浬。

表 4-11:自動回報監視在不同環境的效能需求規格

	Oceanic/ Remote Area	En-Route	Terminal	Airport Surface	Parallel Approach	Collision Avoidance
Operational System	ADS-A	ADS-B	ADS-B	ADS-B	ADS-B	ADS-B
Data Link Medium	ATN	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD
2-Way Comm	Yes	No	No	No	No	No
Update Period	64 sec/Min 305sec/Ave	12 sec	5 sec	1 sec/motion 30sec/station	1 sec	2.5 sec
Operational Range	Unlimited	200 NM	60 NM	5 NM	10 NM	30 NM
Horizontal Position Error	350 m	388 m	116 m	3 m	9 m	40 m
Altitude Error	30 m	30 m	30 m	18 m	30 m	7.5 m
Horizontal Velocity Error	5 m/s	5 m/s	0.6 m/s	0.3 m/s	0.3 m/s	0.6 m/s
Vertical Rate Error	1 fps	1fps	1 fps	1fps	1fps	1fps

資料來源：[4-11]



表 4-12: 「廣播自動回報監視」空對空應用的效能需求規格

	Airport Surface Operation	Simultaneous Approach	Terminal Station Keeping	Collision Avoidance	Oceanic Cooperative Separation	Free Flight Cooperative Separation
Operational System	ADS-B	ADS-B	ADS-B	ADS-B	ADS-B	ADS-B
Data Link	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD
Reception Range	5 NM	10 NM	10 NM	30 NM	90 NM	30 NM
Update Period	1.5 sec	2 sec	4 sec	2.5 sec	10 sec	3 sec
Update Success Rate	95%	95%	98%	95%	50%	95%
Initial Acquisition Time	< 10 sec	< 10 sec	< 10 sec	< 15 sec	< 60 sec	< 10 sec
Horizontal Position Error	40m w/ tracking 5m w/o tracking	80m w/ tracking 10m w/o tracking	100 m	80m w/ tracking 40m w/o tracking	100 m	100m w/ tracking 40m w/o tracking
Altitude Error	15 m	30 m	30 m	7.5 m	30 m	30 m
Horizontal Velocity Error	0.6 m/s	3m/s w tracking 2m/s w/o tracking	5 knots	0.6 m/s	10 knots	0.6 m/s
Vertical Rate Error	0.61 m/s	0.61 m/s	0.61 m/s	0.61 m/s	0.61 m/s	0.61 m/s

資料來源：[4-11]

## 4.2.4 未來監視技術可能使用的資料鏈路

資料鏈路的種類不少，在本節中我們只針對新的監視技術可能使用的資料鏈路做介紹，其中包括了：Mode-S、衛星通訊、Mode S 廣播（extended squitter）、UAT、和 VDL-4。

### 4.2.4.1 S 模式 (MODE-S)

Mode-S 可以提供地對空、空對地、空對空的通訊，使用的詢答頻率是 1030/1090 MHz。Mode-S 與傳統使用 1030/1090 的次級搜索雷達不同的是它使用 24 位元定址，因此可以解決次級搜索雷達電碼數（4096）不足的問題。其詢問脈波使用的調變技術是 DPSK (Differential Phase Shift Keying)，而回答脈波使用的是脈波位置調變（PPM, Pulse Position Modulation）技術，每個 Mode-S 收發器總資料傳輸速率可達 92.5 Kb/s [4-4]。資料傳輸的格式可以是 56 位元或 112 位元，而在詢答時，Mode S 會使用 24 位元的同位檢查位元做偵錯。Mode-S 基本式監視資料包含有：Mode 3/A 電碼、高度（以 25 英尺為量化單位）、飛行編號（flight id）、mode S 能力狀態位元（capability status bits）等。Mode-S 增強監視



資料則可以將機載上其他航電設備上的資料（DAP, Download Aircraft Parameters）包含進來，這些資料有助於地面管制中心更能掌握航機目前及未來的位置及航向。

Mode-S 的好處[4-3]包括了：（1）ICAO 已針對 Mode-S 在監視及 ADS-B 方面的應用制定標準建議書(SARPS, Standard And Recommendation Practices)，（2）使用的頻率已被認可、保護且目前正在使用中，（3）RTCA 與 EUROCAE 已制定相關的最低效能需求標準(MASPS, Minimum Aviation System Performance Standards)，（4）符合這些標準的航電設備已有產品可購買，（5）是目前可以在 2005 年前，提供「下載飛機資訊」(DAP, Download Aircraft Parameters) 的技術。

Mode-S 的限制包括了其未來擴展能力有限，因為傳統的次級搜索雷達、Mode-S 廣播(extended squitter)和 ACAS 等系統都是使用 1030/1090 這個頻率，因此當許多應用同時使用這個頻道傳輸資料時，將造成其服務品質下降。另外，Mode-S 是直線式傳輸，並且在空對空的應用其傳輸距離只能達到 60-80 海哩。

#### 4.2.4.2 衛星通訊(SATCOM)

衛星通訊屬於點對點的通訊，可以使用「機載通訊定址與回報系統」(ACARS, Aircraft Communication Addressing and Reporting System) 或「航空通信網路」(ATN, Aeronautical Telecommunication Network) 透過 Immarsat 的衛星群讓飛機與地面站進行數據和訊息的交換[4-3]，目前提供服務的廠商為 SITA 與 ARINC。Immarsat 的衛星群共有四個衛星，二個涵蓋大西洋，一個在印度洋，一個在太平洋，請參閱圖 4-24。除了南北緯 80 度以上地區之外，全球的區域都可以被涵蓋到，台灣是被太平洋及印度洋的二個衛星同時涵蓋。

使用衛星通訊的好處是涵蓋範圍廣、較不易受地形限制，因此很適合當 ADS-A 的資料鏈路。而 ICAO 已針對 SATCOM 在監視方面的應用制定標準建議書 SARPS(Standard And Recommendation Practices)，RTCA 與 EUROCAE 也制定了相關的最低效能需求標準(MASPS, Minimum Aviation System Performance Standards)，符合這些標準的航電設備目前也都有產品可購買。

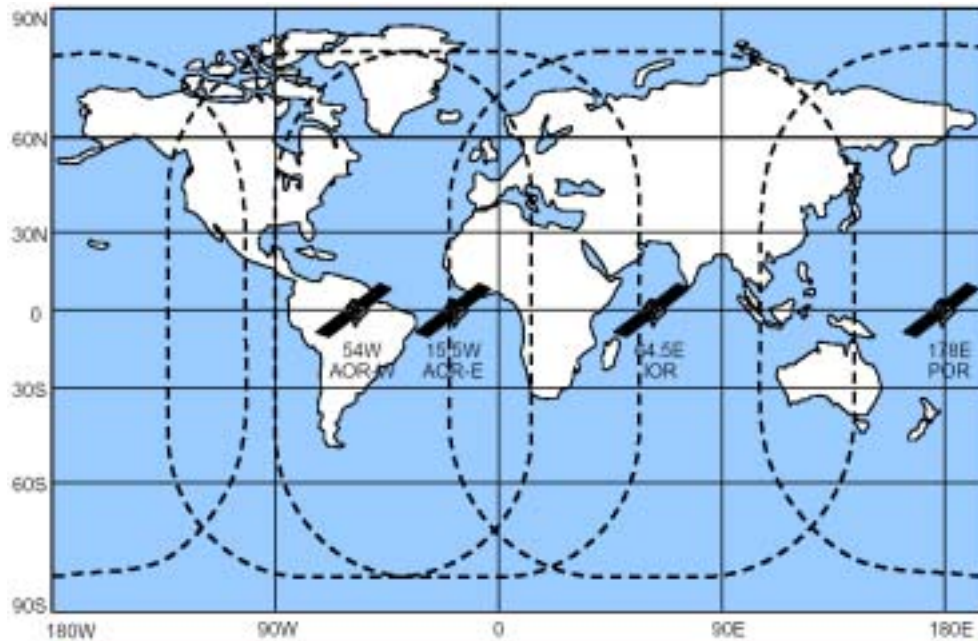


圖 4-24: Immarsat 衛星涵蓋區域

使用衛星通訊的缺點是它無法支援較高回報頻率的應用，例如 ADS-B，因為頻寬一下就會被塞滿了。目前衛星通訊的訊息傳送時間約為 10-15 秒，但中間被延遲的時間可能會超過 200 秒以上，因此使用衛星通訊做監視位置回報的話，航機的隔離距離必須保持在 30 海浬以上。此外，衛星通訊的費用也較高、並且不支援空對空的應用。

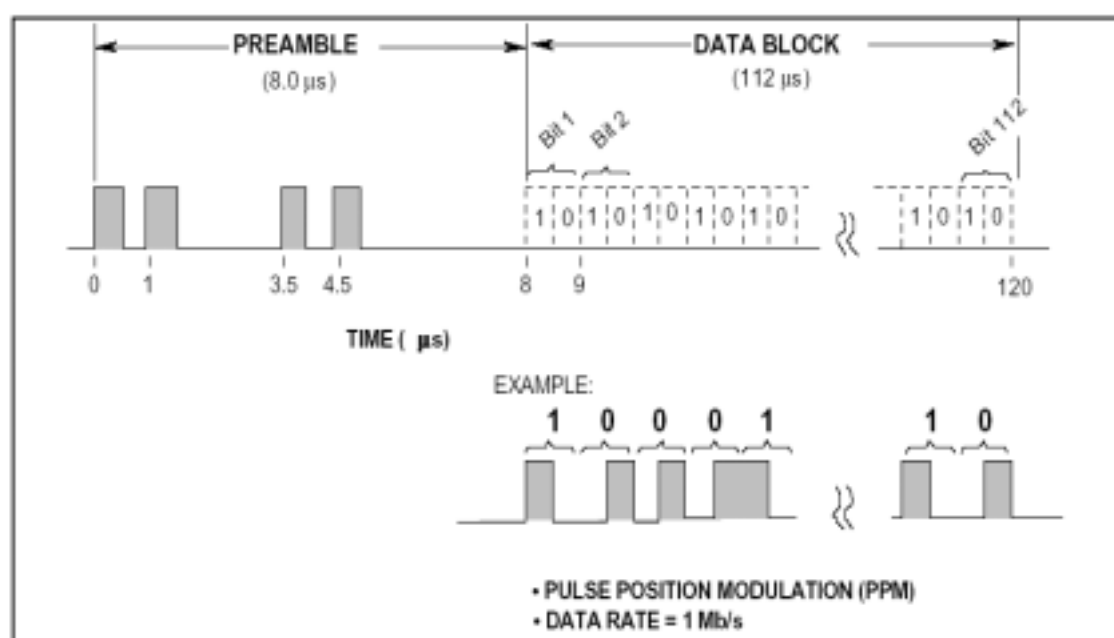
#### 4.2.4.3 S 模式廣播 (MODE-S EXTENDED SQUITTER)

S 模式廣播屬於空對空及空對地的廣播式系統，使用的頻率是 1090 MHz。它使用脈波位置調變(PPM, Pulse Position Modulation)技術，請參閱圖 4-25，資料的傳輸速率可以達到每秒一百萬位元(1 Mb/s)，每筆訊息傳輸的長度為 112 位元，其中包含 24 個同位元檢查[4-12]。此種資料鏈路適用於廣播式自動回報監視。對於在空中或地面移動的飛機/車輛，S 模式廣播可以用每秒 2 次的回報速率報告飛機/車輛的位置及速度，至於飛機身分(identification)、意圖(intent)、狀態(status)等資訊則是每 1.7 秒報一次[4-12]。

S 模式廣播的好處包括了：(1) ICAO 已針對 S 模式廣播在 ADS-B 方面的應用制定標準建議書(SARPS, Standard And Recommendation Practices)，(2) 使用的頻率已被認可、保護且目前正在使用中，(3) RTCA 與 EUROCAE 已制定相

關的最低效能需求標準(MASPS, Minimum Aviation System Performance Standards)，(4) 符合這些標準的航電設備已有產品可購買，(5) 是目前可以在 2005 年前，提供「下載飛機資訊」(DAP, Download Aircraft Parameters) 的技術。

S 模式廣播的限制包括了其未來擴展能力有限，因為傳統的次級搜索雷達、Mode S、和 ACAS 等系統都是使用 1030/1090 這個頻率，因此當許多應用同時使用這個頻道傳輸資料時，將造成其服務品質下降。另外，S 模式廣播與衛星通訊不同，是直線式傳輸，在空對空的應用其傳輸距離約在 60-80 海浬，若要到達 200 海浬的距離，其使用的功率可能要到達 1 千瓦才行。



資料來源：[4-12]

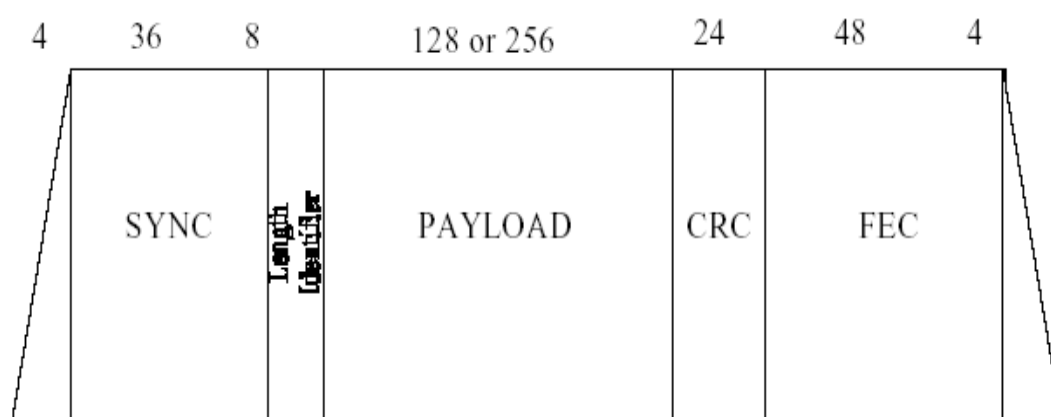
圖 4-25: S 模式廣播脈波位置調變技術(PPM)

#### 4.2.4.4 通用存取發送器(UAT，UNIVERSAL ACCESS TRANSMITTER)

UAT 是美國 MITRE 公司所制定的資料鏈路廣播技術，可以應用在空對空、空對地、地對空的通訊，目前暫時選定的頻率是 966 MHz (在阿拉斯加的 ADS-B 測試是使用 981 MHz)，使用的協定是 TDMA (Time Division Multiplex Access)，傳輸的 ADS-B 訊息長度有兩種：短的是 244 位元 (基本 ADS-B 訊息)，長的是 372 位元 (長 ADS-B 訊息)，格式請參閱圖 4-26，其中 SYNC 是同步用、length

indicator 指明訊息長度、pay load 是實際訊息、CRC(Cyclic Redundancy Check) 是循環檢查碼、而 FEC(Forward Error Correction)碼是用來做錯誤更正用的。UAT 的資料傳輸速率可達每秒一百萬位元 (1 Mb/s)，回報的頻率則是每秒一次。

UAT 的好處是任何頻寬為 1 MHz 的頻率都可以被使用，因此可以選擇不壅塞的頻道給 UAT 使用。當 ADS-B 資料傳輸的頻寬需求增加時，UAT 也不會影響到其他應用程式的效能。UAT 的限制在於目前 ICAO 並未對 UAT 制定監視方面的標準建議書(SARPS)，RTCA 及 EUROCAE 也未對其制定相關的最低效能需求標準(MASPS)。另外它可以達到的空對空通訊範圍為 60-80 海浬。



資料來源：[4-12]

圖 4-26: UAT 的 ADS-B 訊息格式

#### 4.2.4.5 第四模式特高頻數位鏈(VDL-4，VHF DIGITAL LINK - MODE 4)

VDL-4 是瑞典發展的資料鏈路技術，可以提供空對地、空對空的廣播式或點對點式的服務。它使用的是 VHF (Very High Frequency, 118-137 MHz) 頻率，每個頻寬是 25 KHz，使用的調變技術是 GFSK (Gaussian Filtered Frequency Shift Keying)，傳輸速率可達 19.2 Kb/s。VDL-4 使用 STDMA(Self-organizing Time Division Multiplex Access) 協定，在每個頻道中，每秒有 75 個時間間隔(time slots) 可以收送資料，每個時間間隔可以收送的資料長度為 256 位元，以 ADS-B 位置回報來說這長度已足夠，至於其他應用若資料長度較長，則可以使用多個時間間隔來傳輸資料。目前對於 ADS-B 要使用哪一個頻道 ICAO 尚在研議中。VDL-4 可以達到服務品質要求(QoS, Quality of Service)，亦即 VDL-4 可以保證資料收送的順序一樣，且在規定的時間內完成。此外，VDL-4 也可以在 ATN 的架構下使用。

VDL-4 的優點包括了：(1) 可以達到服務品質要求(QoS)，(2) ICAO 已針對 VDL-4 在監視方面的應用制定標準建議書(SARPS)，(3) EUROCAT 已制定 VDL-4 在 ADS 應用的最低效能需求標準(MASPS, Minimum Aviation System Performance Standards)，(4) 功率消耗不大，通訊距離長（可達 200 海浬）。至於缺點則是其使用的頻帶已屬擁擠，而且每個頻道的容量（capacity）有限。此外，空中的頻譜整合（airborne spectrum integration）方面也需再做進一步的研究。

#### 4.2.4.6 S 模式廣播、UAT、及 VDL-4 在 ADS-B 應用的評估

由於目前 ADS-B 可以使用的資料鏈路有：S 模式廣播，UAT，及 VDL-4 三種，因此 FAA 與 EuroControl 便一同擬定計劃共同評估這三種資料鏈路在 ADS-B 應用的適用情況。計劃由 TLAT (Technical Link Assessment Team) 小組負責，並在 2000 年五月開始執行[4-12]。資料鏈路評估的項目包括了：

1. SF21 資料鏈路評估小組（LET, Link Evaluation Team）所制定的評估項目。LET 所定的項目主要是依照兩份文件做為依據，分別是：「自由飛行增強操作的政府/企業聯合計劃」[4-13]、及「ADS-B 最低效能需求標準」[4-11]。TLAT 根據自由飛行增強操作所描述的 9 個項目（請參閱第 4.2.6.2 節第一段），認為 ADS-B 最低效能需求標準中，有關資料鏈路的項目都應列入評估；此外，TLAT 增列了一些有關「交通資訊服務廣播」（TIS-B, Traffic Information Service - Broadcast）及「飛行資訊服務廣播」（FIS-B, Flight Information Service - Broadcast）的評估項目；不過，評估項目排除了資料鏈路在雙向定址通訊（包括空對空）及差分式全球導航衛星系統(DGNSS, Differential Global Navigation Satellite System)的服務能力。
2. EuroControl 所訂定的評估項目。EuroControl 方面建議增加三項評估項目：長程衝突化解(long-range deconfliction)功能、ADS-B 與單脈衝次級搜索雷達(monopulse secondary surveillance radar) 的共用性、及 ADS-B 與 Mode S 增強服務的共用性。
3. TLAT 所增加的其他評估項目。另外，TLAT 增加的其他參考項目(TOR, Terms Of Reference)有：同時使用多種 ADS-B 資料鏈路的能力、資料鏈路與安全有關的相依因素、資料鏈路的擴充能力與容量極限、實作所需

時間、訂定國際標準所需時間、資料鏈路爭取到頻譜所需時間、實作風險與複雜度、與現行系統整合或共存的能力等等。

TLAT 設計了三個模擬場景 (scenarios) 做測試模擬分析：(1) 2020 年的路易斯安那區(LA Basin 2020)，(2) 2015 年歐洲中心(Core Europe 2015)，(3) 低密度地區。TLAT 將 1999 年路易斯安那區的飛機密度增加 50% 當成是 2020 年時的場景；至於 2015 年的歐洲中心則是以 1999 年為標準，增加 73% 的飛機密度；低密度地區則是路易斯安那區的減量，在 400 海哩的範圍內包括了 360 架飛機（高度都在 25000 英尺以上）。表 4-13 到表 4-17 是分析結果的比較圖，其中：(1) 支援(supported)代表符合標準；(2) 未定論(Inconclusive)代表不確定性太大，尚未有結論；(3) 不符合(not supported)代表未符合一或多項評估標準；(4) 未研究(not addressed)代表 TLAT 因為時間因素，未進行模擬測試分析；(5) 不適用(not applicable)代表設計的測試場景並不包括此項評估項目。而表中的狀態向量(SV, State Vector)代表飛機位置及速度等相關訊息、軌跡改變點(TCP, Trajectory Change Point)代表未來飛機將經過的位置、RSC (Regional Signaling Channel) 是區域用信號頻道、CAP (Controller Access Parameters) 是管制員使用資訊、A-SMGCS (Advanced-Surface Movement Guidance and Control System) 是進階機場場面導引與控制系統、ATS (Air Traffic Service) 是航空交通服務、a/g(air-to-ground)是空對地、TMA (Terminal Maneuvering Area) 則是終端區域。

根據 TLAT 的報告，S 模式廣播、UAT、VDL-4 這三種資料鏈路各自都無法符合所有的評估項目，但任二個資料鏈路的組合使用則可以符合所有評估項目。目前 ICAO 傾向同時採用 S 模式廣播和 VDL-4，因為這二個資料鏈路有互補作用，S 模式廣播適用於短程 ADS-B 應用，VDL-4 則適用於中、長程應用。RTCA 與 EUROCAE 目前正共同重新修改 ADS-B 的最低效能需求標準 (MASPS)。

表 4-13: 2015 年在歐洲中心，三種資料鏈路對 SF21 評估項目的模擬結果

	1090 Extended Squitter	UAT	VDL Mode 4
<b>SF21 Performance Criteria<sup>1</sup></b>			
Aid to Visual Acquisition (SV Update Rates to 10 nm)	Supported (by analysis)	Supported (by analysis)	Not supported except in Approach and Climb-out areas <sup>2</sup> (by analysis)
Conflict and Collision Avoidance (SV Update Rates to 20 nm)	Supported	Supported	For ranges above 3nm, supported within RSC and supported outside RSC when below 10000ft
Separation Assurance and Sequencing (SV and 1 TCP Update Rates to 40 nm)	Inconclusive	Supported	SV Updates are supported; Proposed TCP scheme not evaluated
Flight path deconfliction planning (SV and 2 TCP Update Rates to 90 nm)	Not supported	Requirement is met only up to 70 nm	Inconclusive
Airport Surface	Not addressed	Not addressed	Not addressed
Simultaneous approaches (SV Update Rates based upon physical runway separation)	Supported (by analysis)	Supported (by analysis)	3sec SV update req. met (by analysis)

資料來源：[4-12]

表 4-14: 2015 年在歐洲中心，三種資料鏈路對 EuroControl 評估項目的模擬結果

	1090 Extended Squitter	UAT	VDL Mode 4
<b>Additional Eurocontrol Criteria<sup>3</sup></b>			
ATS Surveillance a/g			
TMA (SV and 4 TCP Update Rates to 60 nm)	Met with a 6-sector antenna	Likely to be met (by analysis)	Not supported with one Ground Station <sup>4</sup>
En-Route (SV and 4 TCP Update Rates to 150 nm)	Met up to 100 nm with 6-sector antenna <sup>5</sup>	Not addressed	SV Update Requirement met up to 70 nm with one omnidirectional antenna inside the RSC <sup>6</sup> . TCP update method provided in Appendix E but not evaluated
ATS Enhanced Surveillance a/g	Not addressed for the transmission of CAP information <sup>7</sup>	All parameters were addressed	Not addressed for the transmission of CAP and TCP information <sup>8</sup>
TMA (SV and 4 TCP Update Rates to 60 nm)	Met with a 6-sector antenna	Likely to be met (by analysis)	Not supported with one Ground Station <sup>6</sup>
En-Route (SV and 4 TCP Update Rates to 150 nm)	Met up to 100 nm <sup>5</sup>	Not addressed	SV Update Requirement met up to 70 nm with one omnidirectional antenna inside the RSC <sup>6</sup> .
A-SMGCS			
Taxi (0-5 nm)	Not addressed	Not addressed	Not addressed
Approach (5-10 nm)	Not addressed	Not addressed	Not addressed
Autonomous air to air operations – long range (SV and 4 TCP to 150 nm)	Not supported	Not supported	Not supported

資料來源：[4-12]

表 4-15: 2020 年在路易斯安那區，三種資料鏈路對 SF21 評估項目的模擬結果

	1090 Extended Squitter	UAT	VDL Mode 4
<b>SF21 Performance Criteria<sup>9</sup></b>			
Aid to visual Acquisition (SV Update Rates to 10 nm)	Supported (by analysis)	Supported (by analysis)	Not supported except in Approach and Climbout areas <sup>10</sup> (by analysis)
Conflict and Collision Avoidance (SV Update Rates to 20 nm)	Supported	Supported	Supported beyond 3nm
Separation Assurance and Sequencing (SV and 1 TCP Update Rates to 40 nm)	Unlikely to be met <sup>11</sup>	Supported	SV Updates are supported; Proposed TCP scheme not evaluated
Flight path de-confliction planning (SV and 2 TCP Update Rates to 90 nm)	Not supported	Supported	Inconclusive
Airport Surface	Not addressed	Not addressed	Not addressed
Simultaneous approaches (SV Update Rates based upon physical runway separation)	Supported (by analysis)	Supported (by analysis)	3 sec SV update requirement met (by analysis)

資料來源：[4-12]



表 4-16: 2020 年在路易斯安那區，三種資料鏈路對 EuroControl 評估項目的模擬  
結果

	1090 Extended Squitter	UAT	VDL Mode 4
<b>Additional Eurocontrol Criteria<sup>12</sup></b>			
<b>ATS Surveillance a/g</b>			
TMA (SV and 4 TCP Update Rates to 60 nm)	Not addressed	Likely to be met (by analysis)	Not supported with one Ground Station <sup>13</sup> (by analysis)
En-Route (SV and 4 TCP Update Rates to 150 nm)	Not addressed	Not addressed	At least as good as Core Europe 2015 because of the higher transmission rates used (by analysis)
<b>ATS Enhanced Surveillance a/g</b>			
TMA (SV and 4 TCP Update Rates to 60 nm)	Not addressed	Likely to be met (by analysis)	Not supported with one Ground Station <sup>13</sup> (by analysis)
En-Route (SV and 4 TCP Update Rates to 150 nm)	Not addressed	Not addressed	At least as good as Core Europe 2015 because of the higher transmission rates used (by analysis)
<b>A-SMGCS</b>			
Taxi (0-5 nm)	Not Addressed	Not addressed	Not Addressed
Approach (5-10 nm)	Not Addressed	Not addressed	Not Addressed
Autonomous air to air operations – long range (SV and 4 TCP Update Rates to 150 nm)	Not supported	Not supported	Not supported

資料來源：[4-12]

表 4-17: 在低密度地區，三種資料鏈路對 SF21 及 EuroControl 評估項目的模擬

結果

	1090 Extended Squitter	UAT	VDL Mode 4
<b>SF21 Performance Criteria<sup>14</sup></b>			
Aid to visual Acquisition (SV Update Rates to 10 nm)	Supported (by analysis)	Supported (by analysis)	Not supported (by analysis)
Conflict and Collision Avoidance (SV Update Rates to 20 nm)	Supported (by analysis)	Supported	Not supported (all a/c in scenario are en route and above 10000ft) <sup>15</sup>
Separation Assurance and Sequencing (SV and 1 TCP Update Rates to 40 nm)	Likely to be supported (by analysis)	Supported	SV updates supported in 20 to 40 nm and TMAs; TCP change is likely to be met (by analysis); Acquisition was not evaluated;
Flight path de-confliction planning (SV and 2 TCP Update Rates to 90 nm)	Likely to be supported (by analysis)	Supported	SV updates supported TCP change is likely to be met (by analysis); Acquisition was not evaluated;
Airport Surface	Not applicable	Not applicable	Not applicable
Simultaneous approaches (SV Update Rates based upon physical runway separation)	Not applicable	Not applicable	Not applicable
<b>Additional Eurocontrol Criteria<sup>16</sup></b>			
ATS Surveillance a/g			
TMA (SV and 4 TCP Update Rates to 60 nm)	Not applicable	Not applicable	Not applicable
En-Route (SV and 4 TCP Update Rates to 150 nm)	Not addressed	Not addressed	Not addressed
ATS Enhanced Surveillance a/g	Not applicable	Not applicable	Not applicable
TMA (SV and 4 TCP Update Rates to 60 nm)			
En-Route (SV and 4 TCP Update Rates to 150 nm)			
A-SMGCS	Not applicable	Not applicable	Not applicable
Taxi (0-5 nm)			
Approach (5-10 nm)			
Autonomous air to air operations – long range (SV and 4 TCP to 150 nm)	Unlikely to be met to 150 nm; may be possible to <120 (by analysis)	Supported	SV updates supported TCP change is likely to be met (by analysis); Acquisition was not addressed

資料來源：[4-12]

#### 4.2.5 未來多重監視資料的融合

在未來新舊監視技術並用的環境下，航管中心對於同一架飛機可能會收到多種不同監視設備傳來的目標物回報，請參閱圖 4-27，因此為了有效整合這些監視信號，目前的航管系統必須先對這些監視信號做即時品質控制 (RTQC)，確認監視回報沒問題，然後再對這些回報依照其特性，例如：回報頻率、位置準確性等，選用最佳的回報做航跡追蹤並提供航機飛航服務。此外，當失去最佳信號源的回報時，航管系統必須可以利用下一個最佳目標回報來繼續追蹤航機。此處所謂的資料融合並不是以不同比例加權不同監視設備所回報的目標物位置來做監視，因為每個監視設備的誤差會隨著距離及角度而有所不同，依照 FAA 目前的作業規定，航管系統對於一架飛機在一個時間點只能使用一個監視設備的目標物回報，不過在不同時間點允許使用不同的監視設備回報。本小節便針對「即時品質控制」及「目標物追蹤」二項主題做說明。

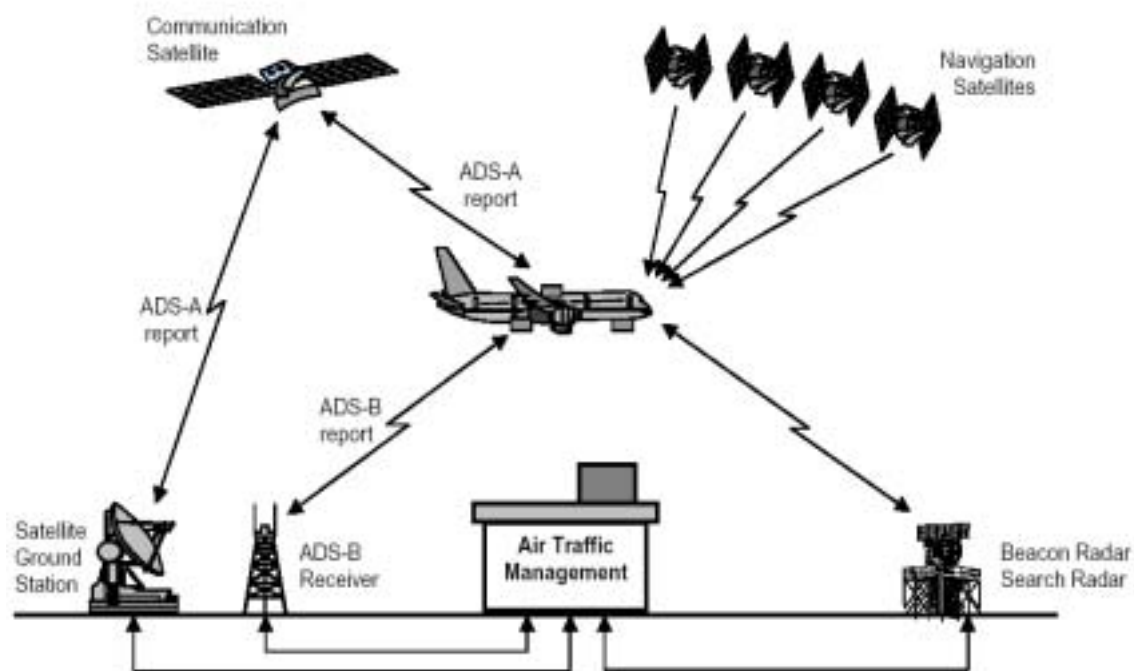


圖 4-27:未來聯合初級搜索雷達、次級搜索雷達、ADS-A、及 ADS-B 的監視環境

#### 4.2.5.1 即時品質控制(RTQC)

「即時品質控制」是應用在雷達系統上，確認回報目標物是正確的。航管系統可以應用相同的觀念控制其他監視設備回報的資料品質。以下便針對「即時品質控制」在雷達應用做說明，其中包括了：(1)「介面訊息流量監視」(interface message monitoring)，(2)雷達測試目標物監視(radar test target monitoring)，(3)永久目標物回應脈波處理(permanent echo processing)，(4)多雷達校調(registration)與主次雷達校調(collimation)。

在「介面訊息流量監視」方面，航管系統必須要監視各個雷達訊息接收介面的資料流量，若發生流量異常的情況，例如資料流量過低，可能是這個介面有問題，航管系統必須切換到其他備援介面，繼續接收資料。在「雷達測試目標物監視」方面，雷達內部會自動產生一個虛擬的目標物回報，利用這個虛擬目標物雷達可以測試其內部軟體功能是否正常，雷達在將虛擬目標物報到航管系統時，此回報的 RTQC 位元會被設為 1，請參閱圖 4-5 和圖 4-8，代表這是雷達測試用的虛擬目標物。在「永久目標物回應脈波處理」方面，會在一個事先計算好的位置架設一個永久目標物，當雷達向目標物發射脈波並且收到此目標物所回應的脈波時，雷達可以計算它所偵測到的位置和實際位置的誤差，這個方式可以同時測試雷達的硬體和軟體功能是否正常。在「多雷達校調方面」，由於不同雷達對同一個目標物所偵測到的位置可能彼此間會有些偏差，因此航管系統會選定某個雷達為基準，讓所有的雷達以此基準進行調整。在「主次雷達校調」方面，因為次級搜索雷達是架在初級搜索雷達上，隨著初級搜索雷達一起轉，理想情況下，兩種雷達對同一個目標物所偵測到的位置應該是一樣，不過實際上可能會有所偏差，主次雷達校調便是要修正此項偏差，修正過後的目標物回報其雷達強化位元(圖 4-8，radar reinforce bit)會被設為 1。

透過即時品質控制，航管系統可以確認監視資料來源：沒有太大的問題，如此它接下來做的航跡追蹤才顯得有意義。

#### 4.2.5.2 目標物追蹤(TARGET TRACKING)

在圖 4-28 中，監視資料來源：包括了：初級搜索雷達、次級搜索雷達、ADS-A、ADS-B、和其他航管中心交管過來的航跡(IFDT, Inter Facility Data

Transfer)。若系統在全運作狀態（Full function system），系統會處理監視資料及飛行資料，並利用監視資料做航跡追蹤；若在緊急模式下（Emergency system），系統會處理監視資料（例如：座標轉換），但不做航跡追蹤。不管系統在何種狀態下，管制員應可以選擇：只用雷達資料做監視、只用 ADS 資料做監視、或整合所有的監視資料做監視。在這三種不同的模式下，管制員可以進一步選擇觀看：一個監視設備回報的資料（single sensor）、所有監視設備回報的資料（no mosaic）或針對不同區域使用不同監視設備回報的資料（mosaic）。選擇只使用一個監視設備資料的好處是管制員可以避免多個監視設備彼此間對同一個目標物的誤差，例如：只使用一個雷達做航機隔離在終端只要 3 海浬，但選擇多個雷達做航機隔離則需要 5 海浬，這是因為多個雷達（監視設備）彼此間會有誤差的關係。在另一方面，選擇觀看所有監視設備資料則可以協助管制員確認航跡，因為若同時有多個監視設備都同時偵測到某個目標物的話，代表此目標物是雜訊的機會不大。在平常的狀態下，管制員應該會選擇在不同的區域使用那個區域最佳的監視設備做監視。

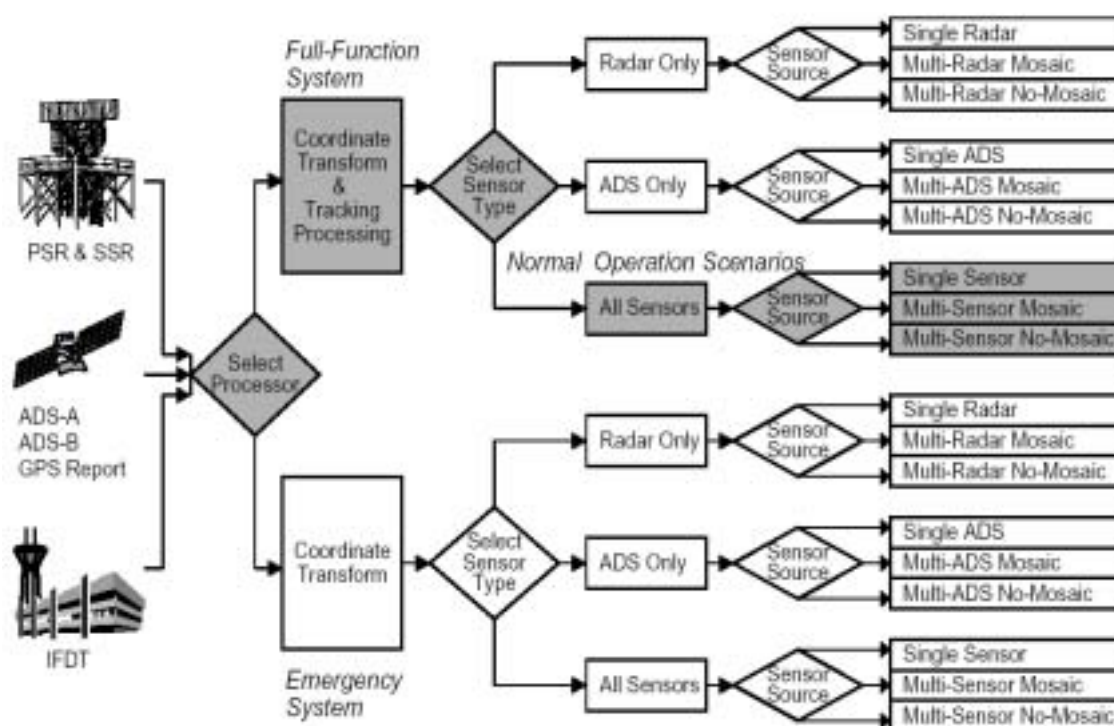


圖 4-28: 整合多重監視信號的航管系統顯示功能示意圖

在整合不同監視設備資料做監視時，首先要面對的問題便是各個監視設備的更新頻率不同，使用的座標系統也不同。例請參閱表 4-18 中，不同監視設備的更新頻率差異非常大，從 1 秒 10 次到 5 分鐘一次都有；而使用的座標系統也包括了極座標、WGS-84、和平面座標（其中不同航管系統使用的平面座標可能也不同）。此外，不同監視設備偵測的位置精確度也都不同，請參閱圖 4-29。當航管系統要整合不同監視設備資料時，這些因素都必須同時加以考慮，然後選擇出最佳的優先使用順序。當同一架飛機在飛行途中可能在不同的時間被不同的多種設備同時偵測到，航管系統也必須考慮在這期間對飛機所提供的飛航服務要能夠很平順的交替著。圖 4-30 是一個航機追蹤狀態範例，此範例中有 7 種不同的航跡類別：search、beacon、accurate、ads、adsSearch、adsBeacon、及 adsAccurate，分別代表飛機被不同的監視設備所偵測到。Search 代表飛機只被初級搜索雷達偵測到，beacon 則代表被次級搜索雷達偵測到、accurate 代表飛機使用 ADS-B 做位置回報、ads 代表飛機使用 ADS-A 做位置回報、adsSearch 代表飛機被初級搜索雷達偵測到並且本身也做 ADS-A 回報、adsBeacon 代表飛機被初級/次級搜索雷達偵測到並且本身也做 ADS-A 回報、adsAccurate 代表飛機同時做 ADS-A 及 ADS-B 回報。這七種不同的航跡彼此間以箭頭相連，箭頭上的文字代表從一種航跡變為另一種航跡的原因（或條件）。當任一種航跡有一段時間都未有任何監視資料回報時，此時這航機會進入失蹤狀態（track coast），若時間再長一點，系統會結束此航跡，代表不再追蹤這個航跡。值得特別注意的是，當系統只收到航機的 ADS-A 位置回報時，必須再進一步預測此航機未來的位置（因為 ADS-A 回報的時間間隔太長），以便做航機安全隔離。

舉例來說，有一航機裝載了 Mode 3/A 收發器以及 ADS-A 航電設備在圖 4-27 的監視環境中飛行。當航機向管制中心完成 AFN 登入並做 ADS-A 回報（ADS logon）時，管制中心的航管系統會初始一個 Ads 航跡。當航機不斷用 ADS-A 設備透過衛星或 VHF 資料鏈路傳送航機位置、高度、航機編號等資訊時，航管中心會透過衛星信號地面接收站或 VHF 信號接收站接收到這些訊息，接著再利用這些訊息建立及追蹤此 Ads 航跡。請注意，由於此航機可能每 10 分鐘才回報一次它的位置，因此航管系統必須能夠預測在這時間之內航機的位置，以便做安全隔離。當經過一段時間，航機飛入初級/次級搜索雷達的涵蓋範圍時，航機的 Mode 3/A 收發器會收到次級搜索雷達的詢問信號，此時收發器會發出飛機的電碼，當

次級搜索雷達接收到航機的電碼，而且初級搜索雷達也偵測到航機的位置時，航機的電碼、位置等訊息就會被傳送至管制中心，此時航管系統會改變此 Ads 航跡為 AdsBeacon，並且同時使用初級/次級搜索雷達及定址自動回報信號來追蹤航跡。當航機飛行一段時間之後，可能因為氣候因素或機載的收發器故障，造成地面端的次級搜索雷達無法收到電碼，若此狀況持續一段時間，此時航跡類別會由 AdsBeacon 變為 adsSearch，代表航管系統改以初級搜索雷達及定址自動回報來追蹤航機。當飛機再飛行一段時間，飛行員可能向管制中心要求登出 ADS-A 及 AFN 服務。在航機登出 AFN 服務之後，航管系統只會收到初級搜索雷達所偵測的航機位置，此時航跡類別將由 AdsSearch 變成 search，同時系統改以初級搜索雷達來追蹤航機。當航機再飛行一段時間，飛機可能飛出初級搜索雷達的涵蓋範圍，此時系統會有一段時間收不到初級搜索雷達所偵測的航機位置，這時航跡會變為失蹤狀態，當再經過一段時間仍未收到初級搜索雷達的位置回報時，此時系統會將航跡由失蹤狀態改成結束狀態，停止追蹤此航機。

表 4-18: 不同監視設備的回報頻率、使用的座標系統、以及所回報的資訊

Source	Update Rate	Coordination	Information
Terminal Radar	Every 4.5 sec	Radar Polar Coordination System	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PSR: Azimuth &amp; Range</li> <li>• SSR: Beacon &amp; Altitude</li> <li>• Weather: from PSR</li> </ul>
En-Route Radar	Every 12 sec	Radar Polar Coordination System	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PSR: Azimuth &amp; Range</li> <li>• SSR: Beacon &amp; Altitude</li> <li>• Weather: from PSR</li> </ul>
ADS-A	Averaged Every 5 min (64 sec - 45 min)	WGS-84	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aircraft ID</li> <li>• Position: 3D Position</li> <li>• Velocity: 3D Velocity</li> </ul>
ADS-B	Every 1 sec	WGS-84	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aircraft ID</li> <li>• Position: 3D Position</li> <li>• Velocity: 3D Velocity</li> </ul>
Military GPS	10 Hertz	WGS-84	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aircraft ID</li> <li>• Position: 3D Position</li> <li>• Velocity: 3D Velocity</li> </ul>
Inter-Facility Hand-Off Track	Event Driven	System Plane	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beacon Code</li> <li>• Position: 3D Position</li> <li>• Velocity: 3D Velocity</li> </ul>

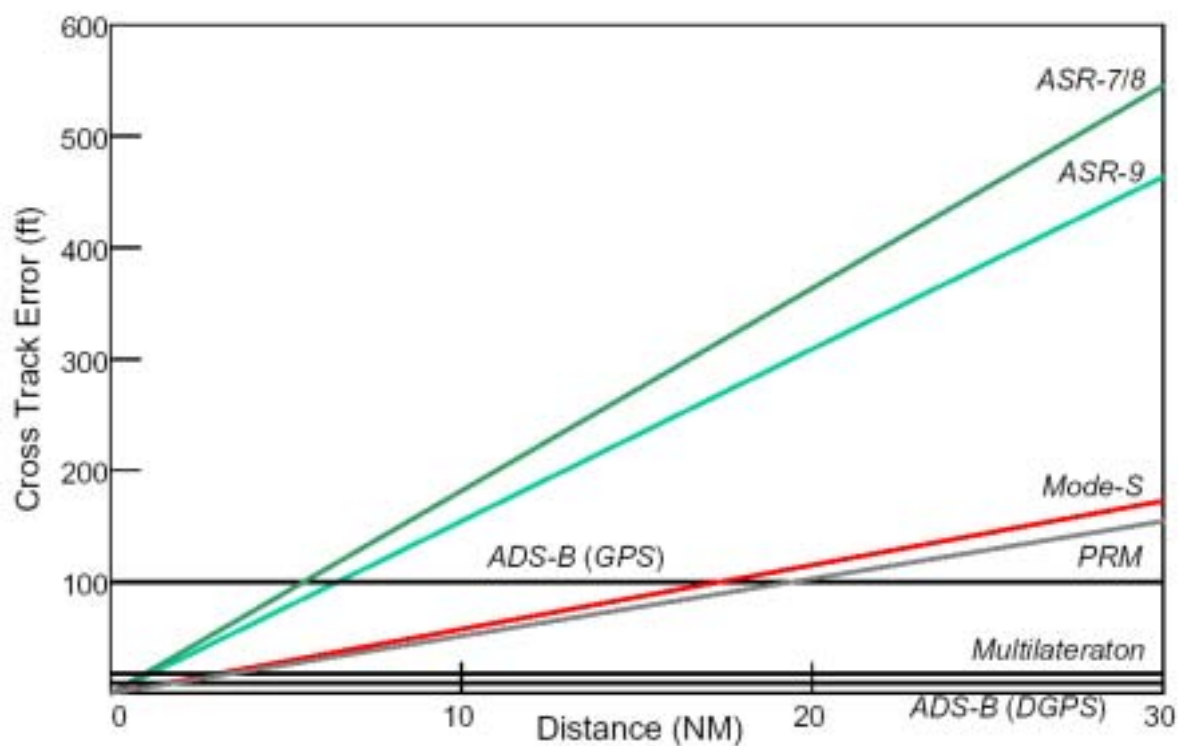


圖 4-29: 不同監視設備位置精確度比較圖

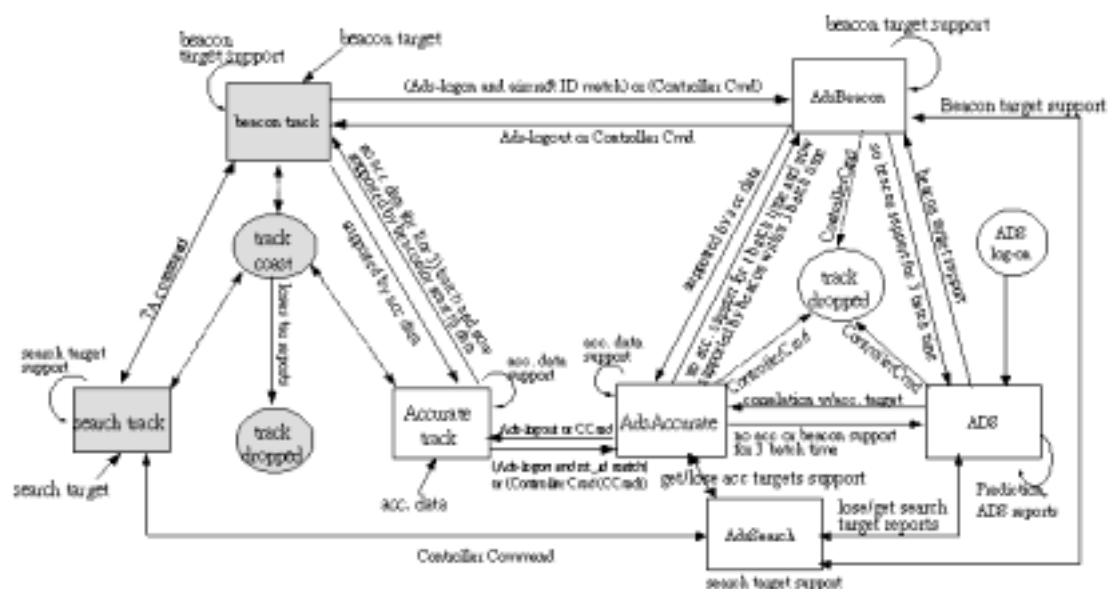


圖 4-30: 整合多重監視信號的航跡追蹤狀態轉換圖



## 4.2.6 國外監視設備/策略規劃及相關計劃介紹

本節將就國外未來在監視方面的策略及時程規劃先做一個說明，然後再介紹世界各國在監視方面的相關計劃。

### 4.2.6.1 國外監視設備/策略規劃

本小節將就美國 NAS(National Airspace System)架構所規劃的監視設備轉換時程做一個說明，另外也會對歐洲方面 EuroControl 對監視技術的策略規劃做介紹。

#### 1. 美國 FAA

美國 FAA 對未來監視能力的規劃請參閱圖 4-31，在空對空監視方面，未來希望由 ADS-B 的技術來達成。而在更換顯示系統（DSR, Display System Replacement）時，規劃讓下一代的氣象雷達（NEXRAD, next-generation weather radars）提供氣象及監視資料給航路管制員，以便讓初級搜索雷達能在航路應用上除役。另外，未來會安裝具選擇性詢答能力（SI, Selective interrogation）的次級搜索雷達來提供基本的空中交通資訊。機場則會安裝新一代的機場搜索雷達及機場平面偵測設備（ASDE）以提高安全性，另外也會安裝下一代多功能機場雷達（MPAR, Multipurpose airport radar），提供氣象及監視方面的資料。ADS 監視技術會應用在越洋上，此外也會增加 ADS 地面站以擴展監視的範圍。利用地面初始廣播通訊（GICB, Ground Initiated Communication Broadcast），次級搜索雷達將能擷取飛機上一些 GPS 的資料以增強航跡追蹤及軌跡預測能力。

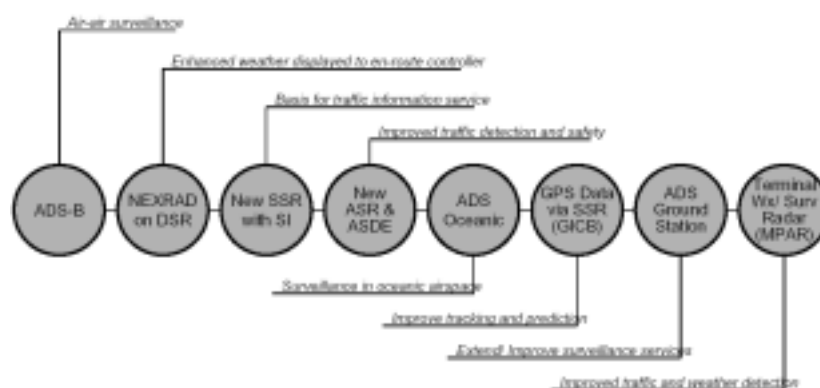
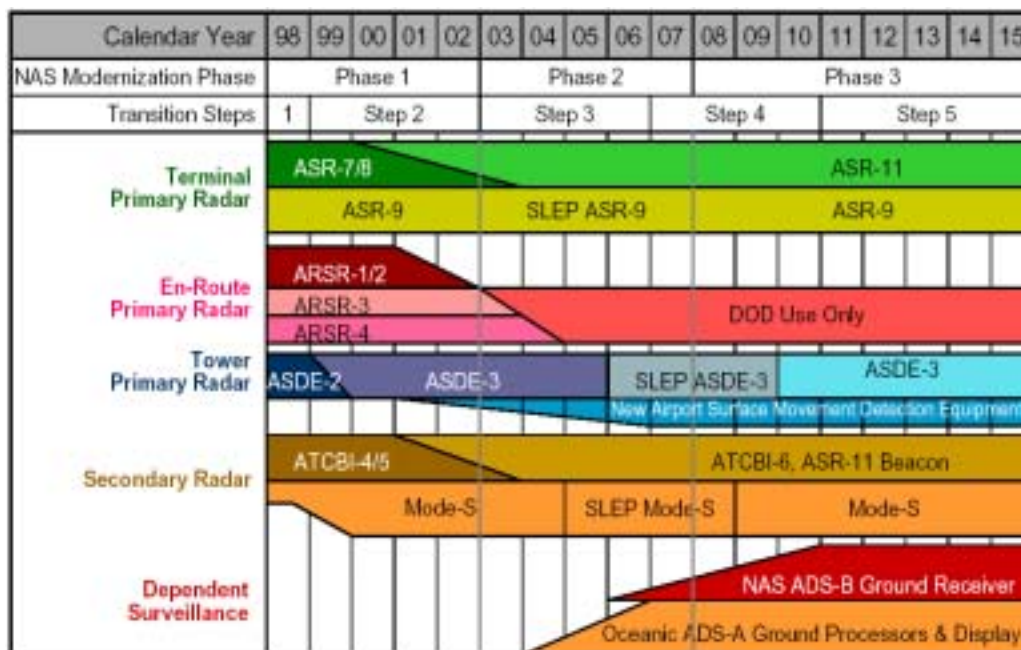


圖 4-31: 監視應用規劃目標

而美國監視設備的更新時程請參閱圖 4-32 所示[4-14]。在終端方面，由於 ASR-7 及 ASR-8 是 1970 年代的設備，因此打算在 2003 年之前完全淘汰，改用較先進的數位式雷達 ASR-11。至於 ASR-9 則計劃延展其使用年限，以做為舊系統到新系統之間的一個銜接，目前是由 FAA 的 SWIS (Surveillance and Weather Integrated Services)小組負責此 SLEP(Service Lift Extension Program)計劃。這項計劃規劃有 4 個時程，分別為 ASR-9 Processor Phase、ASR-9 Antenna Phase、ASR-9 Transmitter Phase、以及 ASR-9/Mode-S/WSP Phase[4-15]。每個階段短期內會先解決零件超過使用年限的問題，之後為了達到最大的成本效益，它們會更新及整合 ASR-9、Mode-S、及 WSP(Weather System Processor)的功能，並且使用 ROSA(Radar Open System Architecture)的方式來完成 SLEP 計劃。

航路方面除了軍方所使用的之外，所有航路用初級搜尋雷達將逐漸除役，改用 ADS-A 做監視。機場場面監視則淘汰 ASDE-2 雷達，並且繼續延長 ASDE-3 雷達的使用年限。此外，FAA 希望藉由 ASDE-X 計劃[4-16]整合多重監視資料(包括：Raytheon 的 ASDE、MDS、ADS-B)，以便達到更好的機場平面監視[4-17]。次級搜索雷達方面，FAA 規劃以 ATCBI-6 取代 ATCBI-4, ATCBI-5，並且用 Mode-S 雷達做監視。至於 ADS-B 則以應用在場面及終端監視上為主。



資料來源：[4-14]

圖 4-32:美國主要監視系統轉換時程

## 2. 歐洲 EuroControl

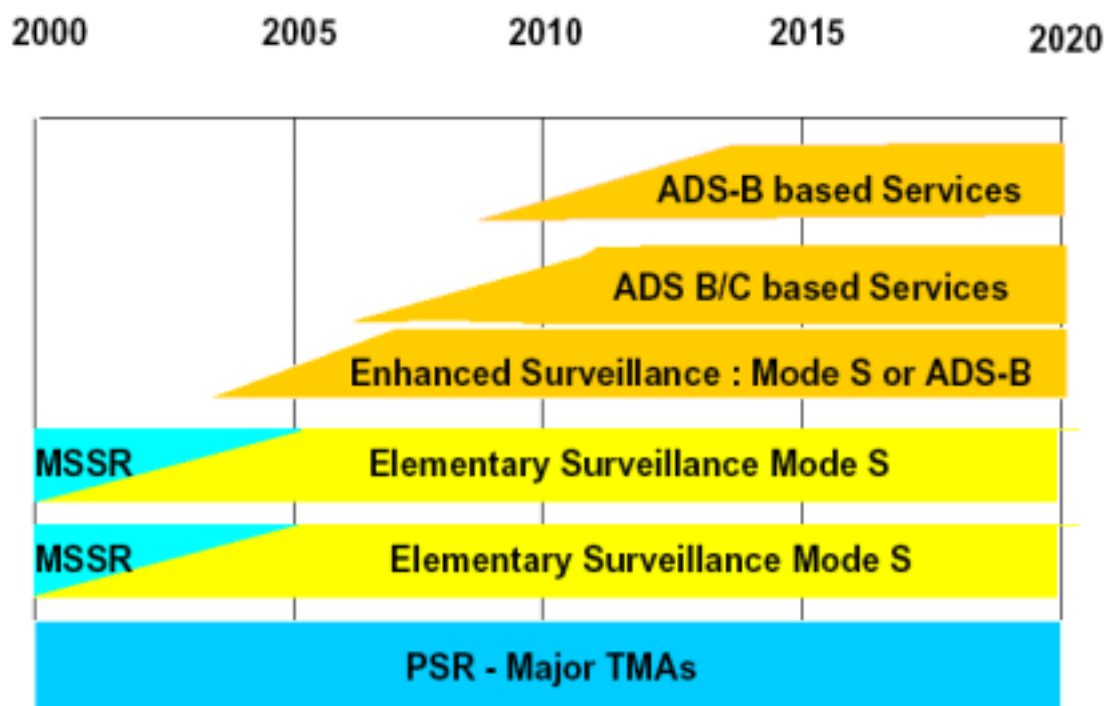
歐洲對監視的發展有二個目標：(1) 隨著交通成長，繼續維護傳統的監視設備；(2) 改進目前航管系統的效能。至於策略規劃方面則分為四個階段：(1) 基本監視 (2) 增強監視 (3) 以飛機意圖為主做航管 (4) 合作式隔離確認[4-3]。

基本監視方面請參閱圖 4-33 的最底線，歐洲還是會使用初級搜索雷達來偵測航機，這可以避免當飛機的航電設備損壞時，航管系統完全無法監視航機。另外，為了擴展監視的範圍，歐洲會增加單脈衝次級搜索雷達(MSSR, Monopulse Secondary Surveillance Radar)，並在越洋或次級搜索雷達不適使用的區域，使用 ADS-A 或 ADS-B 監視航機。至於高人口密度區域，則以 Mode S 基本監視取代傳統的次級搜索雷達。最後，為了符合其監視標準，歐洲會使用雙套的基本監視系統，請參閱圖 4-33 倒數第二、三行，彼此互相備援。

增強監視方面請參閱圖 4-33 第三行，EuroControl 規劃在 2005/6 年使用「下載飛機資訊」(DAP, Download Aircraft Parameters)，目前已初步決定的 DAP 有：磁航向(magnetic heading)、選定高度(selected altitude)、地速(ground speed)、空速(air speed)、垂直速率(vertical rate)等資訊。依據目前的時程規劃，Mode-S 是可以達到此目標的技術之一，在未來地面基礎設施完備之後，ADS-B 的技術同樣也可以達到增強監視的目標。

意圖為主之航管方面請參閱圖 4-33 第二行，使用 ADS-A 技術，配合機載的飛行管理系統(Flight Management System)，飛機可以提供下一個或多個航點(way point)的資訊，航管系統可以根據此資訊提供飛機較有效率的排程服務。當航管系統另外需要其他「下載飛機資訊」(DAP)時，則可以考慮使用 ADS-B 技術。根據 EuroControl 規劃，早期的 ADS-A 及 ADS-B 系統應在 2005 年提供服務。

合作式隔離確認方面請參閱圖 4-33 第一行，未來駕駛員必須與管制員共同分擔航機隔離的責任。這個目標可以藉由 ADS-B 的技術來達成，因為 ADS-B 具有空對空傳輸資料的能力，不過這一個目標也必須所有航機都配備 ADS-B 設備才能達成。目前對於未配備 ADS-B 的航機，是規劃利用 TIS-B(Traffic Information Service-Broadcast)的技術來協助駕駛員在座艙顯示這些航機的位置，以協助駕駛員自行做航機隔離。



資料來源：[4-3]

圖 4-33: 歐洲的監視策略時程

#### 4.2.6.2 世界各國監視計劃介紹

本小節將針對美國 FAA、歐洲 European Commission、澳洲、及亞洲各國家在監視方面的計劃做一個介紹。

##### 1. FAA Safe Flight 21

Safe Flight 21 是美國政府與業界發起，為期三年的計劃[4-18]。目的是展示及驗證新的監視系統在實際環境中的監視能力，其中包含的致能技術有 ADS-B 及 TIS-B，這計劃將利用下列 9 項改良操作：

1. 座艙氣象及其他資訊顯示。
2. 低成本的地形避碰。
3. 增強終端在低能見度時的操作。
4. 增強目視及避碰。
5. 增強航路的空對空操作。
6. 改進對駕駛員的場面導航。

7. 增強管制員對場面的監視能力。
8. 在非雷達空域使用 ADS-B 監視。
9. ADS-B 隔離標準。

來展示 ADS-B 解決有關安全、效能、容量、認證、駕駛員/管制員情況了解、人因(human factors)、頻譜、可負擔性(affordability)議題的能力。這計劃包括了 Ohio River Valley 及 capstone 二部分。

ORV (Ohio River Valley)[4-19] 計劃是要對 ADS-B 的環境做操作評估 (operational evaluation)，焦點放在技術及成本效益的議題上。計劃執行的成果希望能做為 FAA 及業界選擇 CNS 技術的參考。整個計劃分為三個 operational evaluation phases：(1) phase 1 是 July 6, 1999 進行，重點放在短程的座艙交通資訊顯示(CDTI, Cockpit Display Traffic Information)[4-20]，這包括了評估增強目視及避碰、評估增強目視進場、展示機場場面情況了解、展示增強尾隨航機高度爬升及下降能力、展示離場隔離、展示最後進場隔離等；(2) phase 2 是 Oct. 24, 2000 進行，重點放在近程應用好處[4-21]，其中包括了評估目視進場的進場隔離、評估離場隔離、評估最後進場及跑道使用的情況了解、評估機場場面的情況了解、展示儀器進場的進場隔離等；(3) phase 3 在 May 20, 2002, Memphis 機場實行[4-22]，目標包含了發展（及評估）航電設備及程序以支援 SafeFlight 21 主計劃的應用、增強機場場面管理、展示不同設備之間的溝通能力[4-23]。

Capstone Project[4-24][4-25] 分為二個 phases，第一個 phase 從 1999 年到 2001 年，實行的區域在 Bethel/Yukon-Kuskokwim (Y-K) delta 區，本計劃在超過 200 架的商用客機上裝載 GPS 及相關航電配備，並且安裝地面站以提供航管、飛行監視、及飛行服務。在 2000 年的 12 月 31 日已正式使用 Bethel 空域的 ADS-B 監視資訊，提供類似雷達的航管服務。第二個 phase 從 2001 年開始，實行的區域在 Juneau/Southeast (SE) 區，焦點放在「更可用的 IFR 架構」，其中包括：(1) 增強通訊、導航、氣象觀測、及空域設計以建立更低高度的航路、及進/離場路線；(2) 提供控制員有關飛機位置資訊以增強飛機使用 VFR 或 IFR 進/離場；(3) 提供管制員及駕駛員跑道侵入資訊；(4) 提供飛機位置資訊給飛機操作員及 AFSS (Automatic Flight Service Station) 以便搜救。

## 2. EuroControl

NEAN(North Europe ADS-B Network )是由 European Commission(EC)贊助，瑞典 CAA(Civil Aviation Administration)主導的計劃[4-26]，參予計劃的單位尚包括了丹麥、德國和英國的 CAA 等，計劃的執行時間從 1996 年開始到 1998 年。整個計劃的目的是要發展、評估資料鏈路/連結的新技術，並展示 ADS-B 系統的優點。計劃成果包括建立了實驗性的 ADS-B 架構，其中有 17 個互相連接的地面站，通訊範圍涵蓋了歐洲北部，請參閱圖 4-34，整個測試的飛行時數約有 50200 小時，測試的飛行航線請參閱圖 4-35。此外，NEAN 和 NEAP 亦合作展示了利用 STDMA/VDL-4 技術所做的 CNS/ATM 應用，它除了驗證 ADS-B 的觀念之外，也顯示出飛行成本可以被有效的降低。由於 NEAN 通訊架構頗為成功，此架構也提供了後續其他計劃(例如：NEAP, FREER-3, PETAL II )一個測試用的平台。

NEAP (North European CNS/ATM Applications Project) 這項計劃[4-27]同樣是由 European Commission(EC)贊助，瑞典 CAA(Civil Aviation Administration)負責，參與成員包括丹麥 CAA、SAS (Scandinavian Airlines Systems) 等單位，進行的時間是 1997 年 9 月到 1998 年 12 月。計劃的目標是研究（包含：發展、測試及評估）ADS-B 及 STDMA/VDL-4 技術在使用者應用及服務(User applications and services)的可行性。其中的應用及服務包括了：

1. 駕駛員對地面情況的了解(on-ground situation awareness)及使用滑行指引(taxi guidance)。
2. 跑道侵入(Runway incursion)監視。
3. 使用飛行參數下載(down link of aircraft parameters)增強航管監視(enhanced ATC surveillance)。
4. GNSS 在航路及進場的精確導航能力。
5. 駕駛員在飛行時對空中情況的了解(in-flight situation awareness)。
6. 延伸監視(extended surveillance for helicopter operations)在北海(North Sea)飛行的直昇機。



資料來源：[4-29]

圖 4-34: NEAN 在高度 30000 呎的涵蓋範圍



資料來源：[4-29]

圖 4-35: NEAN 計劃的飛行航線

NEAP 成功展現飛機在開至開飛行的任何一個時間都能使用 ADS-B 的資訊，並且得到與雷達相似的服務。

NUP (NEAN Update Programme)[4-28] 是 NEAN 的延伸，一樣由 European Commission (EC)贊助，瑞典 CAA 主導，分為 Phase 1 (1999 - 2001)、Phase 2



(2001-2005)和 Phase 3( 2005-),計劃的目的是要更新 NEAN 所建立的架構,並將地面及空中的 VDL-4 離形設備替換成符合 ICAO(即將認可)標準的設備,更新後的架構將持續(並改進)對其他計劃提供服務[4-29]。在 phase 1 中,主要的工作是定義系統運作的基本條件,發展規格及設備,並且建立認證及管理規章。phase 2 除了繼續 phase 1 的工作之外,另外會大規模驗證 ADS-B 應用服務的可用性,而驗證的方法包括了實機測試、模擬及分析。Phase 3 則是實作的階段,NUP 最大的目標就是要安全且有效的實作出 ADS-B。

FARAWAY II (Fusion of Ads and Radar dat through two WAY data link – II) [4-29] 是由義大利主導,瑞典、法國、德國廠商共同參予,在 1998 年五月開始的計劃。本計劃的功能是處理監視資料以及融合雷達與 ADS-B 資料。它可以改善監視功能,並且拓展 NEAN 所建立的 ADS 網路架構,其架構涵蓋的範圍包括了義大利大部分的空域及歐洲南部一些地區,請參閱圖 4-36,本計劃已於 1998 年 8 月完成。



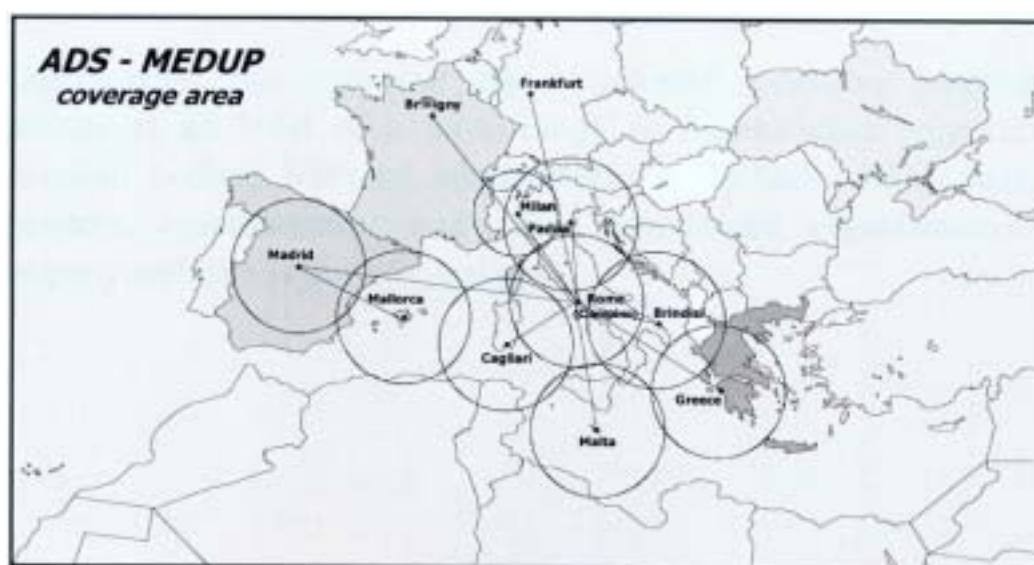
資料來源：[4-29]

圖 4-36: FARAWAY II 其 ADS 網路的涵蓋範圍

MEDUP(Mediterranean Update Program)及 MFF(Mediterranean Free Flight)是由 European Commission 贊助[4-30],義大利負責的計劃,參與的國家及組織包括了:義大利、西班牙、法國、希臘、馬爾他、瑞典、英國、EuroControl 等。MEDUP 計劃將目前的 VDL-4 離形設備替換成符合 ICAO(即將認可) SARPS 標準



的設備，並且在希臘、法國、馬爾他、及西班牙裝設額外的地面站，擴大 ADS 架構的涵蓋範圍，請參閱圖 4-37。至於 MFF [4-30]則是一個五年計劃，目的是要評估地中海地區有關自由飛行的操作程序。計劃分為二個 phases，第一個 phase 將會訂定自由路徑、自由飛行的方案、操作程序、隔離確認等，並且執行到 2002 年底。第二個 phase 則是從 2003 年執行到 2004 年底，主要的工作是測試及驗證整個操作程序。



資料來源：[4-30]

圖 4-37:MEDUP 涵蓋範圍

NAAN(North Atlantic ADS-B Network) 是由丹麥主導的計劃[4-29]，參與的成員包括挪威、冰島、愛爾蘭的 CAA 及其他航空公司。本計劃在格林蘭島、冰島、法羅群島(Faeroe Islands)、蘇格蘭、挪威、丹麥等地架設 VDL-4 地面站，將 ADS-B 離形通訊架構由歐洲擴展到北大西洋區域，請參閱圖 4-38。本計劃的目的是希望能夠提供下述監視方面的功能：

- (1) 駕駛員對情況的了解。
- (2) 提供越洋及群島空中交通管制監視。
- (3) 對飛機開至開的監控。



資料來源：[4-29]

圖 4-38:NAAN 計劃 ADS-B 架構涵蓋範圍

SUPRA(Support for the use of presently unserved airspace) 是 1997 年西班牙主導[4-29]，瑞典、法國、德國廠商共同參與的計劃。本計劃利用 STDMA 技術設備提供 ADS-B 的功能，目的是要驗證低成本的通訊、導航、及監視的技術。在本計劃中進行了下述有關監視方面的應用：

- (1) 在飛機座艙顯示地圖以及飛機目前所在的位置。
  - (2) 在機場控制中心的工作站顯示出飛機的位置。
  - (3) 空中監視；在飛機座艙顯示飛機附近空中裝有 STDMA 儀器的飛機位置。
- 本計劃已於 1997 年 5 月完成。

### 3. 其他

澳洲已著手計劃 ADS-B trial，測試的地區是在 Burnett River 附近的 Bundaberg 及 Queensland[4-31]，這計劃將會安裝一個地面站、在 17 架航機上安裝 ADS-B 設備，並且修改它們的航管系統以處理及顯示 ADS-B 軌跡。計劃預計在 2003 年執行[4-32]。

蘇聯在 1995 年曾在 Magadan ACC (Area Control Center) 進行為期一年的 ADS/CPDLC 的 trials[4-33]，提供裝有不同配備(例如：VHF data link、SATCOM、FANS-1)的飛機各種飛航服務。由於這次試驗頗為成功，因此蘇聯的 FSAT(Federal

Service of Air Transport)在 1999 年十月簽約決定實作民航用 ADS-B，並且使用 VDL-4 當作資料鏈路，其目標是在 2005 年 10 月正式運作，提供完整的服務。整個計劃分為三個時程：(1)1999 第四季到 2000 年第四季，挑選服務提供廠商 (Service provider)及地面站的地點，發展「安裝」、「測試」、「核准」地面/機載設備的文件；(2) 2000 年第四季到 2001 年第二季，進一步試驗及評估 ADS-B 在監視方面的應用，其中包括設備認證、相關航管技術評估、及程序制定；(3)2001 年第三季開始，實作 ADS-B 架構並在 2005 年十月完成。

中國大陸沿海的”廣州—北京”航路原先是以程序管制，但是因為程序管制對空域的使用較沒效率，因此中國大陸在日前採購了 40 個雷達，以後此航路將以 PSR/SSR 做監視[4-34]。至於西部地區，中國大陸委託 ARINC 在昆明、成都、蘭州、烏魯木齊設置八個 ADS/CPDLC 工作站，請參閱圖 4-39，對裝有 FANS 1/A 設備的國外民航飛機使用 ADS 監視 [4-35]。這條航線南與寮國的 sagag-simao-kuqa 相接，北與哈薩克的 Revki 連接，構成了長達 3000 公里的 L888 航線（它連接了亞洲和歐洲之間的 A460 與 B218 航線），與原來的歐亞航線相比（飛經孟加拉灣、印度、和中亞），L888 可以節省約 40 分鐘的航程[4-36]。在未來，中國大陸打算擴大 CNS/ATM 的實作區域，進行跨極航路的監視，並且建置 VHF 資料鏈路網以及使用高頻資料鏈路。至於香港則已於 1997 年 9 月完成 ADS/CPDLC 的試驗[4-37]。



資料來源：中國民航局網站

圖 4-39:中國大陸提供 ADS/CPDLC 航線

日本 1997 年在東京的飛行情報區進行 FANS-1 ADS/CPDLC 的 phase-I trial，蒐集一些 ADS 及 CPDLC 的資料做分析。並且在 1998 年的 11 月進行 Phase 2 的 trial[4-38]。表 4-19 列出了世界各地有關 ADS/CPDLC 目前的發展現況[4-39]。

表 4-19:ADS/CPDLC 發展現況

operating		trial	scheduled
Anchorage, Alaska Auckland, NZ Bangkok, Thailand Brisbane, Australia Fiji Jakarta, Indonesia Johannesburg, South Africa Kuala Lumpur, Malaysia Madras, India Magadan, Russia Myanmar Oakland, California Singapore Stockholm, Sweden Tahiti Tokyo, Japan	Ulan Bator, Mongolia Urumqi, China Lanzhou, China Chengdu, China Kumming, China	Beijing, China Hong Kong Norway (North Sea) Ottawa, Canada Riga, Latvia Tague, South Korea Tehran, Iran United Kingdom (North Sea) Taipei, Taiwan	Calcutta, India Chennai, India Delhi, India Mumbai, India Mauritius Melbourne, Australia North Atlantic Region Viet Nam

### 4.3 我國航空監視基礎建設建置策略

4.2 節詳細介紹了「監視」技術及國際趨勢，其中包括了：目前所使用的監視技術、新興監視資料格式、新興監視技術、新興監視技術可能使用的資料鏈路、國際間監視相關計劃的進展及未來方向等。本節將持續探討台灣在監視方面的現況，並且根據台灣本身的需求及發展條件，研究台灣在未來監視方面的建置策略。

#### 4.3.1 台灣目前監視現況

本小節將說明台灣目前的監視環境，其中包括了：台灣地理位置的重要性、台北飛航情報區、台北飛航情報區內雷達分布及涵蓋範圍、以及目前航管自動化系統現況。

##### 4.3.1.1 現行環境

台灣的地理位置長期被視為是東亞與西太平洋的交通樞紐，以亞洲八大城

市：東京、漢城、台北、香港、上海、新加坡、馬尼拉、雪梨為例，請參閱圖 4-40，在分別計算彼此的飛航時間之後，請參閱表 4-20。

表 4-20: 亞太地區八大城市間平均航行時間

城市	台北	東京	漢城	香港	上海	新加坡	馬尼拉	雪梨
國家	中華民國	日本	韓國	中國大陸		新加坡	菲律賓	澳大利亞
飛航時間 (時'分)	2'55	4'55	4'00	3'05	3'25	4'55	3'30	6'15

資料來源：[4-40]



資料來源：[4-40]

圖 4-40: 亞太地區八大城市地理位置示意圖

我們可看到以台北為中心的平均飛行時間最短，為 2 小時 55 分。另外，除了亞洲地區的交通考量之外，以全球交通經濟效益來看，若以 B747-400 客貨機不落地的最大航程 17,000 公里計算，由台北出發可達的範圍包括了北美洲、大洋洲、及歐洲東半部，其涵蓋範圍廣闊。因此由亞洲及全球的觀點來分析，台灣

的地理位置皆具有其不可忽視的先天優勢[4-40]，在台北飛航情報區提供優良的飛航服務，便是台灣進一步發展所不可忽視的課題。

#### 4.3.1.2 台北飛航情報區

目前的台北飛航情報區（Taipei FIR，Flight Information Region）是在 1953 年 7 月由國際民航組織（ICAO）所劃定，其範圍為下列各點所圍成的區域：北緯 21 度東經 121 度 30 分、北緯 23 度 30 分東經 124 度、北緯 29 度東經 124 度、北緯 29 度東經 117 度 30 分及北緯 21 度東經 117 度 30 分[4-41]。台北飛航情報區東與日本琉球飛航情報區（NAHA FIR）相接，南與馬尼拉飛航情報區（MANILA FIR），西南與香港飛航情報區（HONKNOG FIR）相接。台北飛航情報區的國內航路有：W2、W4、W6、MT2，國際航路則有：A1、A577、B348、B576、B591、G581、G86、G587、M750、N892、R471、R583、R595、R596，請參閱圖 4-41。其中 M750 為區域航行（RNAV，aRea NAVigation）航路，在此航路飛行的航機其航電設備須符合美國聯邦航空總署 90/45A 諮詢公報（FAA AC90/45A）區域航行裝備之規定，並經民航局或航機註冊國核准。台北飛航情報區內包含有下述終端管制區域[4-42]：台北終端管制區域、台中終端管制區域、高雄終端管制區域、花蓮終端管制區域、馬公終端管制區域、台東終端管制區域、金門終端管制區域、馬祖終端管制區域。各終端管制區域的涵蓋範圍請參閱圖 4-42，至於終端管制區域涵蓋的高度則彼此都不大一樣（即使同一終端管制區域其涵蓋的空層在不同地方也不一定相同），一般是在距地面 1200 呎到 20000 呎之間。當飛機在航路飛行時是由台北區管中心負責監視與管制，當飛機由航路下降至終端管制區域時是由各近場管制中心監視，當飛機要降落機場時則由機場塔台監視。在此要特別說明的是金門、馬公終端區域並未設立近場管制中心，而是在台北區管中心設立席位監視，至於馬祖終端管制區域則因為航行量少，因此由台北區管中心的北部席位代為監視。



## TAIPEI AREA CONTROL CENTER SECTORIZATION CHART



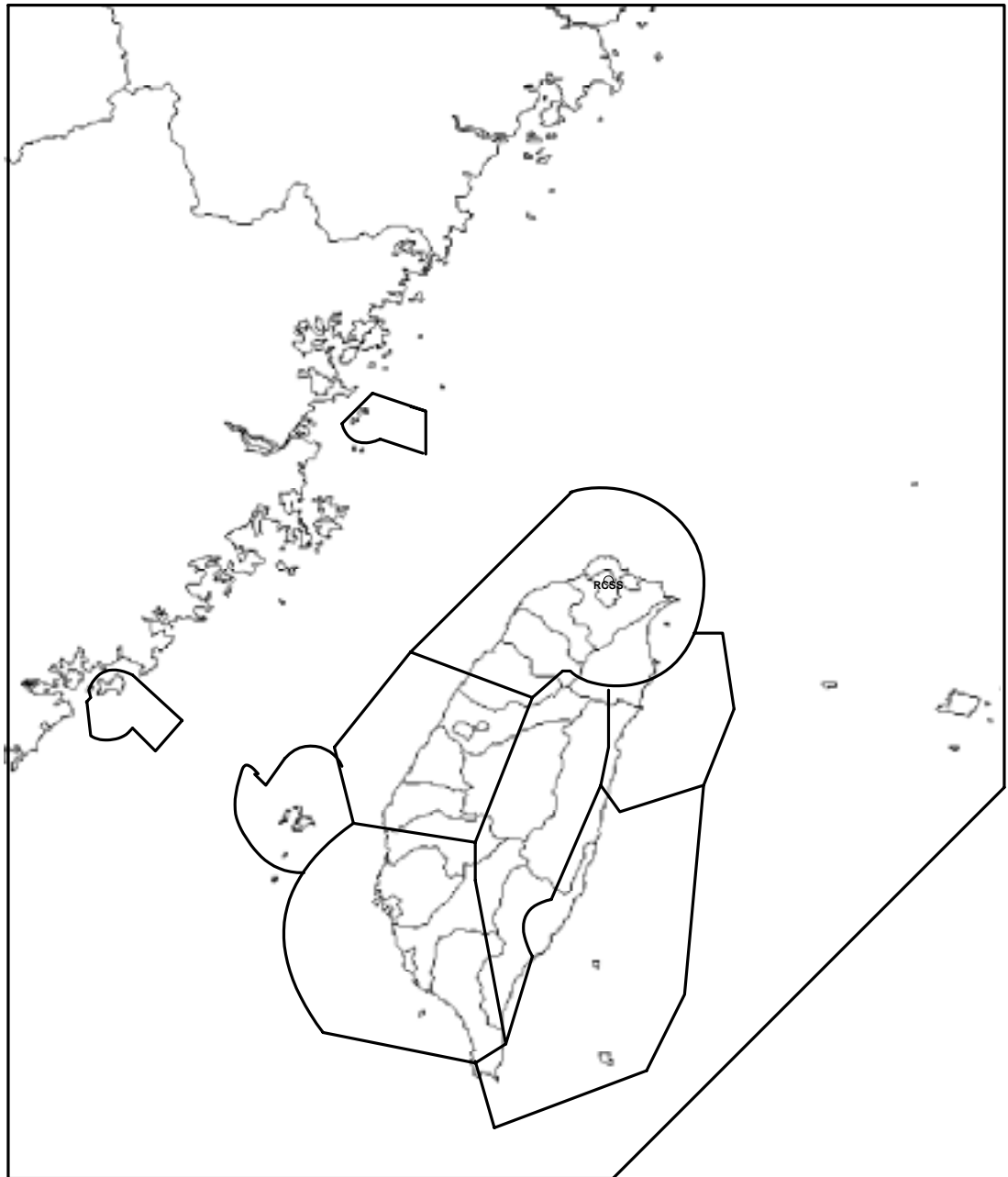


圖 4-42: 台北飛航情報區（TAIPEI FIR）終端管制區域圖

#### 4.3.1.3 民航雷達分布及涵蓋範圍

在台北飛航情報區內民航局目前所管轄的初級搜索雷達共計有 9 座，其中短程雷達有 6 座，分別是松山雷達、中正雷達、台中雷達、高雄雷達、花蓮雷達、台東雷達，其中中正雷達、台中雷達、高雄雷達是 ASR-9 雷達，松山雷達、花蓮雷達、台東雷達則是 ITT ARGOS-73 雷達，這 6 座終端雷達的涵蓋範圍皆約為



60 哩。在馬公有 1 座中程雷達(TRAC 2100)涵蓋範圍約 90 哩，在三貂角及鵝鑾鼻各有一長程雷達 (RAMP) 涵蓋範圍約為 220 哩。除了初級搜索雷達之外，民航局也安裝了次級搜索雷達，涵蓋範圍可達 180 哩或 250 哩 (三貂角及鵝鑾鼻)。表 4-21 整理了目前民航局雷達系統的安裝地點、安裝時間、使用年限等資料。

表 4-21: 中華民國雷達系統摘要

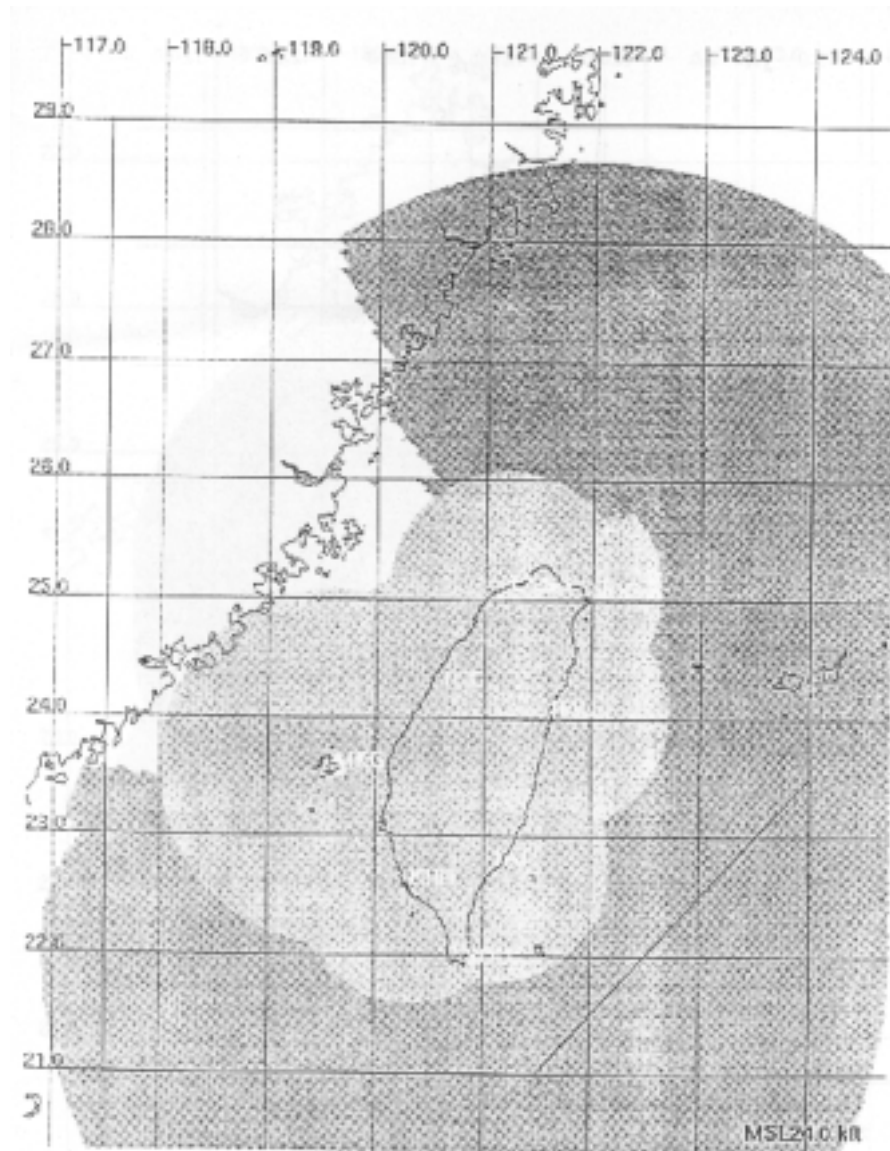
位置	初級搜索雷達 型別 範圍 (哩)	次級搜索雷達 型別範圍 (哩)	安裝時間	使用年限
中正	ASR-9 60	MSSR 180	1994	20
台中	ASR-9 60	MSSR 180	1994	20
高雄	ASR-9 60	MSSR 180	1994	20
松山	ITT ARGOS-73 60	MSSR 180	2000	20
花蓮	ITT ARGOS-73 60	MSSR 180	2000	20
台東	ITT ARGOS-73 60	MSSR 180	2000	20
馬公	TRAC 2100 90	MSSR 180	1990	20
三貂角	ASR-23SS 220	MSSR 250	2001	20
鵝鑾鼻	ASR-23SS 220	MSSR 250	2001	20

資料來源：[4-43]

連接這 9 座雷達再加上軍方的長程雷達，台北區管中心可以監視整個台北飛航情報區 (TAIPEI FIR)，並且提供適當的飛航服務。圖 4-43 到圖 4-49 是台北飛航情報區民航雷達在不同高度預估的涵蓋範圍(視覺直線[Line of Sight])，預估的方式使用了數位地形標高數據(DTED)及四分之三地球半徑之大氣反射模式方式[4-43]。其中較黑的區域表示長程雷達涵蓋的範圍，畫在底層；上層較淺顏色表示短程及中程雷達的涵蓋範圍。圖 4-43 到圖 4-45 表示初級搜索雷達分別於平均海平面高度 24000、10000、5000 呎的視覺涵蓋範圍；圖 4-46 到圖 4-49 表示次級搜索雷達分別於平均海平面高度 30000、20000、10000、5000 呎的視覺涵蓋範圍。由圖 4-43 可以看出在 24000 呎，初級搜索雷達可以達到完全涵蓋的範圍；圖 4-44 則顯示在 10000 呎時，台中與花蓮間因為高山阻隔的關係，有一小塊區域雷達沒有涵蓋；當在 5000 呎時，圖 4-45 顯示在台中、花蓮間有大塊區域沒有雷達涵蓋，另外高雄東北部間因有高山阻擋，所以也有一小塊區域雷達沒有涵

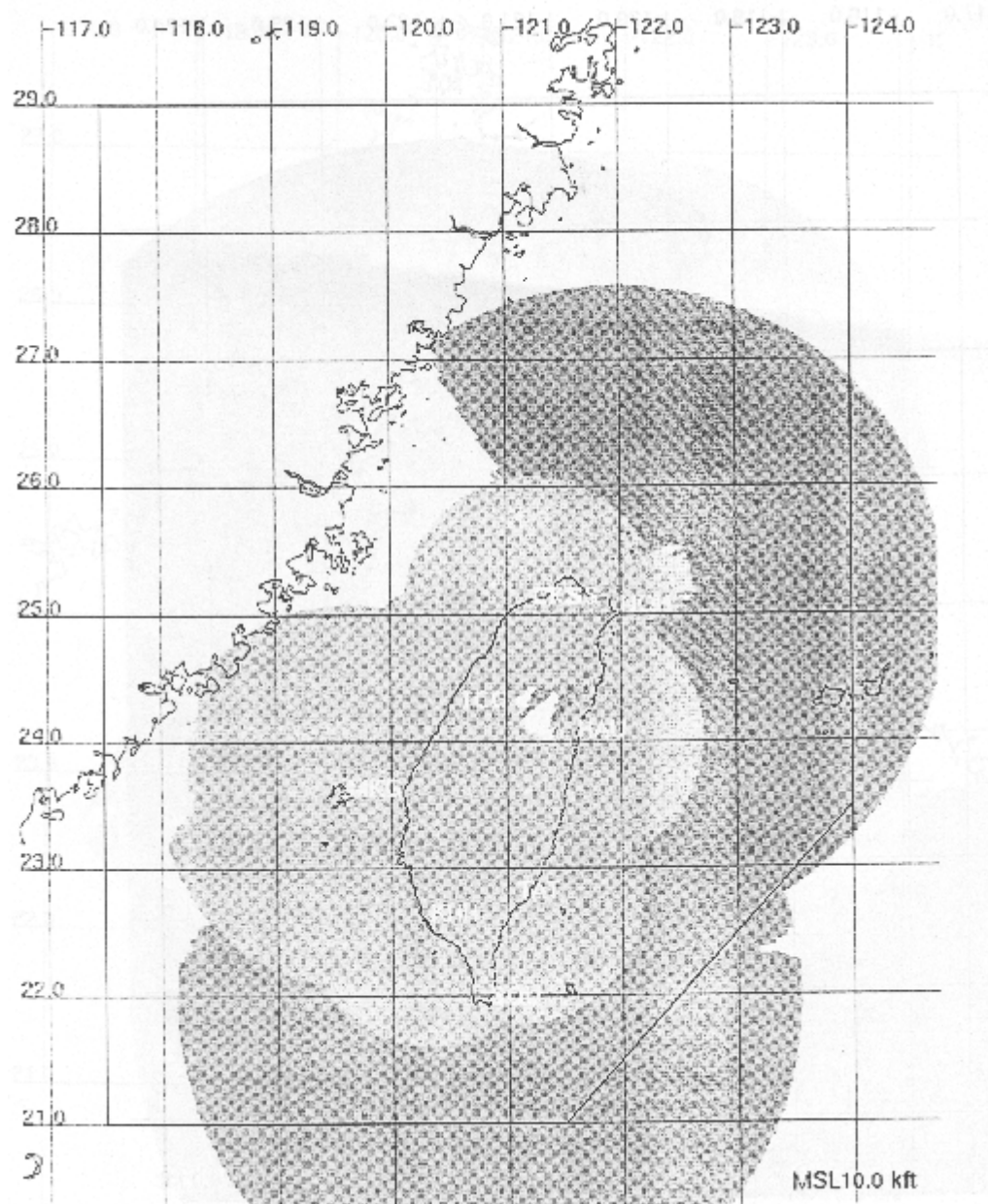
蓋。同樣地，次級搜索雷達也有類似的情況，圖 4-46 及圖 4-47 顯示在平均海平面高度 30000 及 20000 呎時，次級搜索雷達可以達到完全涵蓋；在 10000 呎時，圖 4-48 顯示台中與花蓮間因為高山阻隔的關係，有一小區域雷達沒有涵蓋；當在 5000 呎時，圖 4-49 顯示在台中、花蓮間有大塊區域沒有雷達涵蓋，另外北高雄因有高山阻擋，所以也有一小塊區域雷達沒有涵蓋。

綜合圖 4-43 到圖 4-49，海平面平均高度在 10000 呎時，台中與花蓮間有一小區域雷達沒有涵蓋，但這部分並不在終端管制區域，所以不影響近場管制，而在海平面平均高度 5000 呎時，高雄北部一小區域雷達沒有涵蓋，這部分也不在終端管制區域，所以也不影響近場管制，至於台中、花蓮間雖然有大塊區域沒有雷達涵蓋，但僅有少部分在台北及花蓮終端管制區域內，這少部分區域並未有航路通過（M750 是過境用的，高度在 27000 呎或 3100 呎），所以對近場管制員在飛機的監視及管制上沒有影響。換句話說，利用現有的民航雷達，可以滿足監視台北飛航情報區的需求。



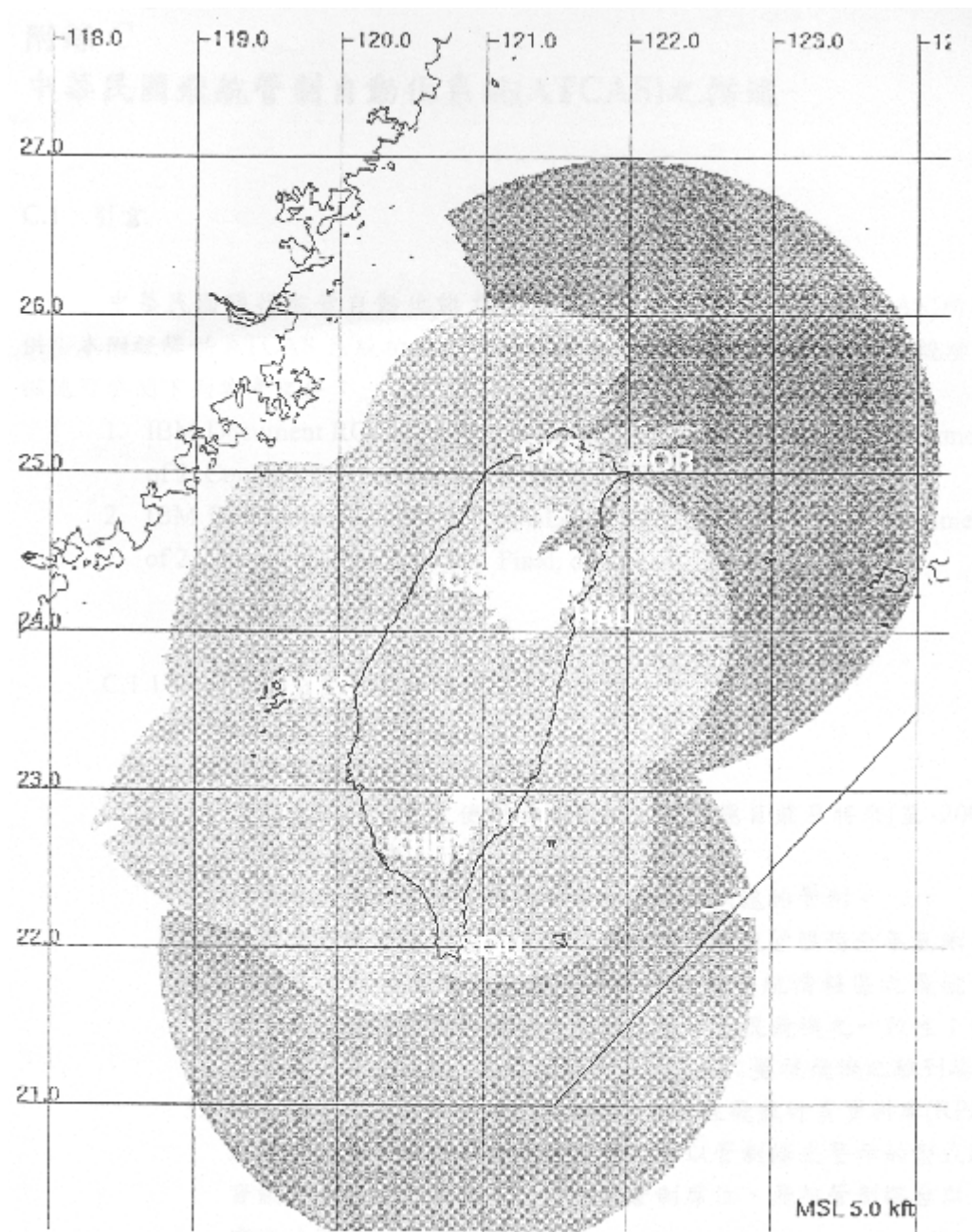
資料來源：[4-43]

圖 4-43: 初級搜索雷達於平均海平面高度 24000 呎時，視覺直線涵蓋範圍示意圖



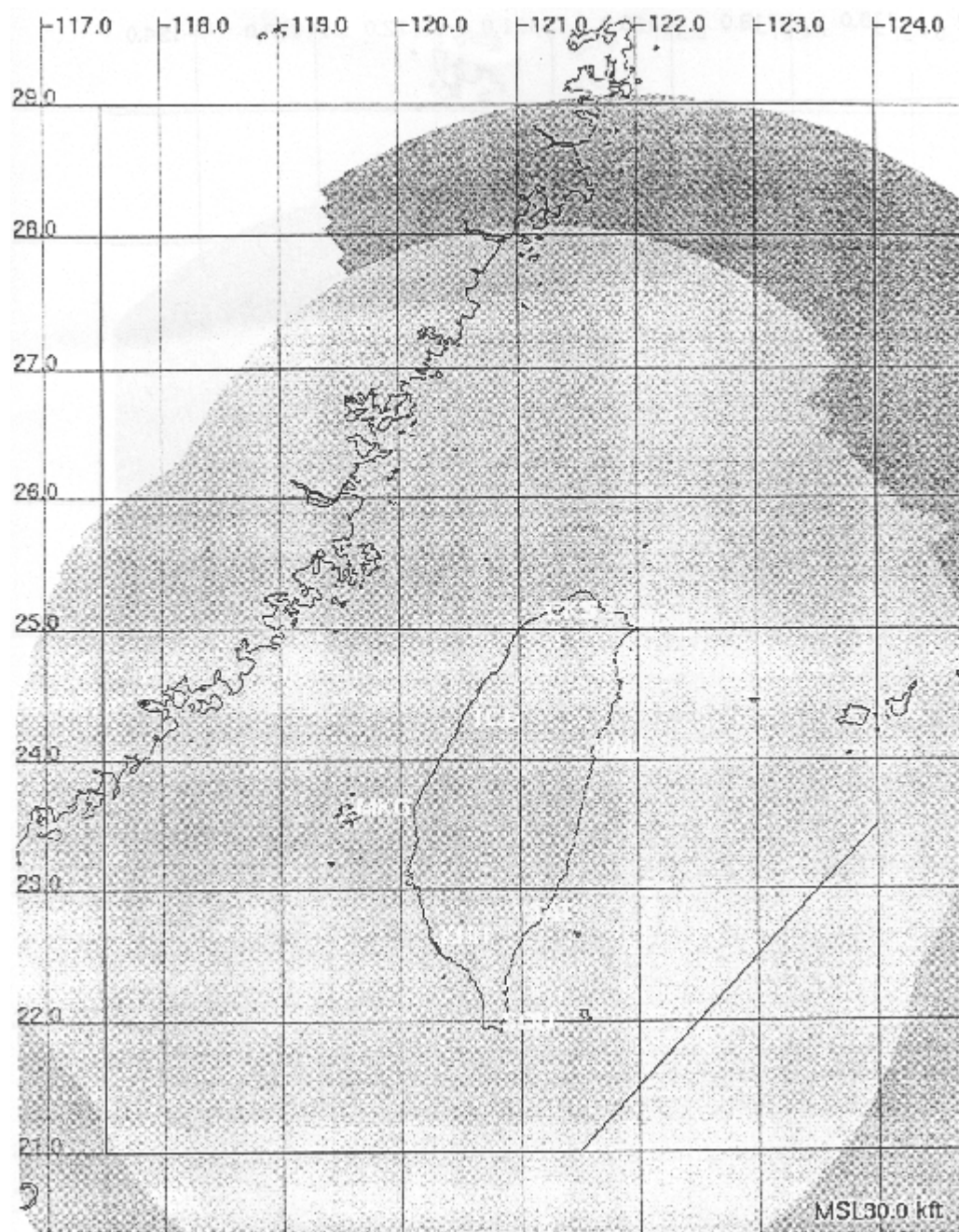
資料來源：[4-43]

圖 4-44: 初級搜索雷達於平均海平面高度 10000 呎時，視覺直線涵蓋範圍示意圖



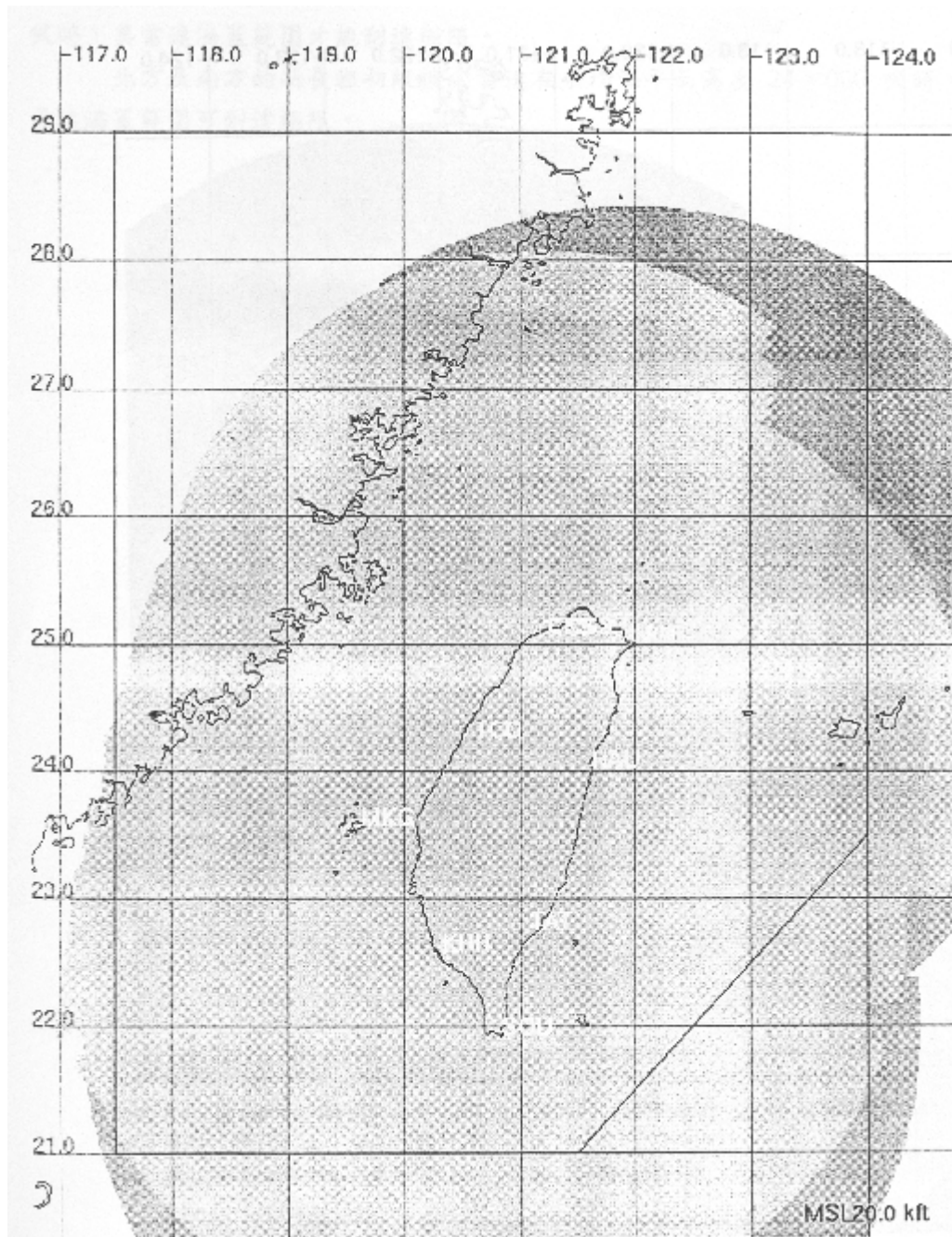
資料來源：[4-43]

圖 4-45: 初級搜索雷達於平均海平面高度 5000 呎時，視覺直線涵蓋範圍示意圖



資料來源：[4-43]

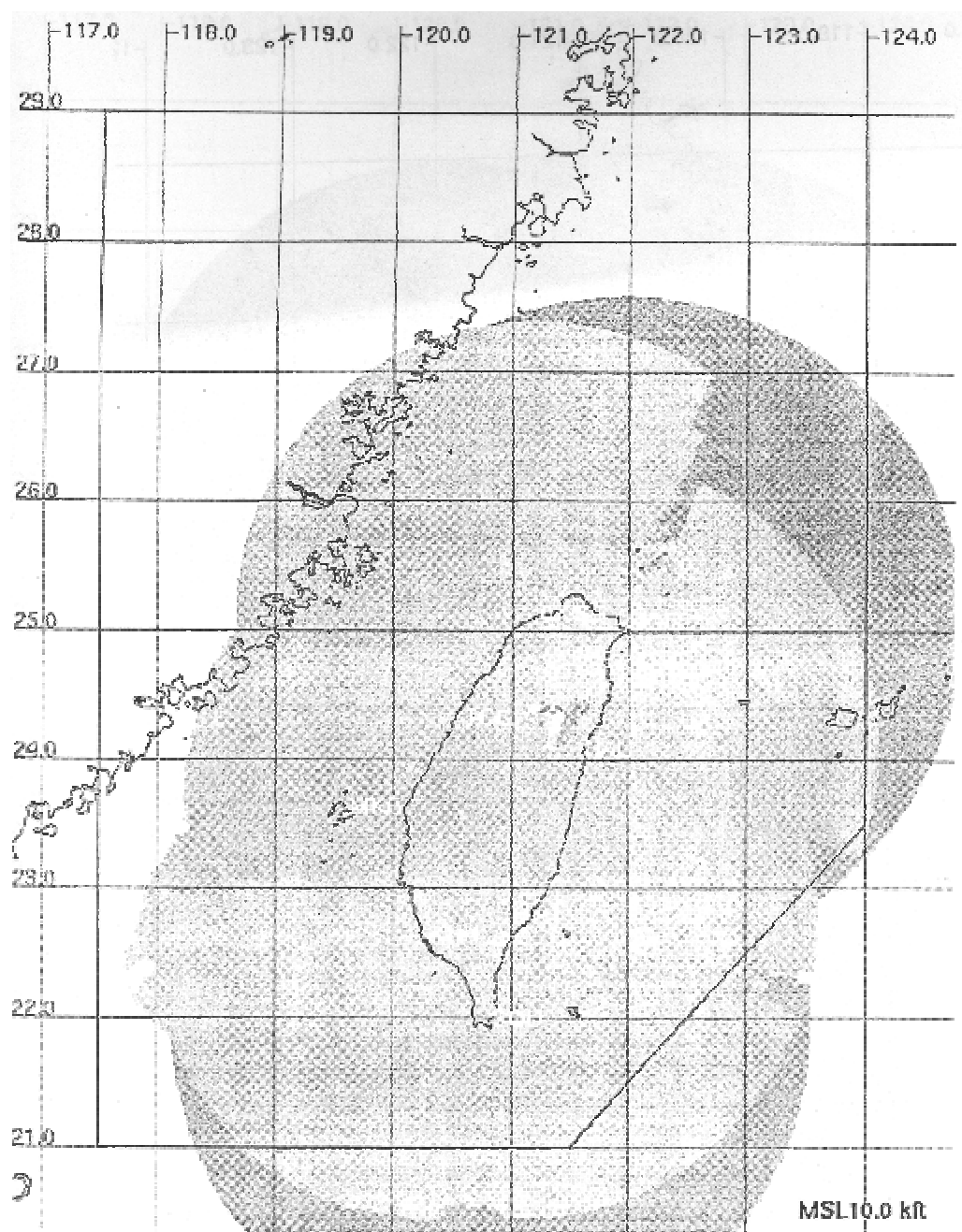
圖 4-46: 次級搜索雷達於平均海平面高度 30000 呎時，視覺直線涵蓋範圍示意圖



資料來源：[4-43]

圖 4-47: 次級搜索雷達於平均海平面高度 20000 呎時，視覺直線涵蓋範圍示意圖

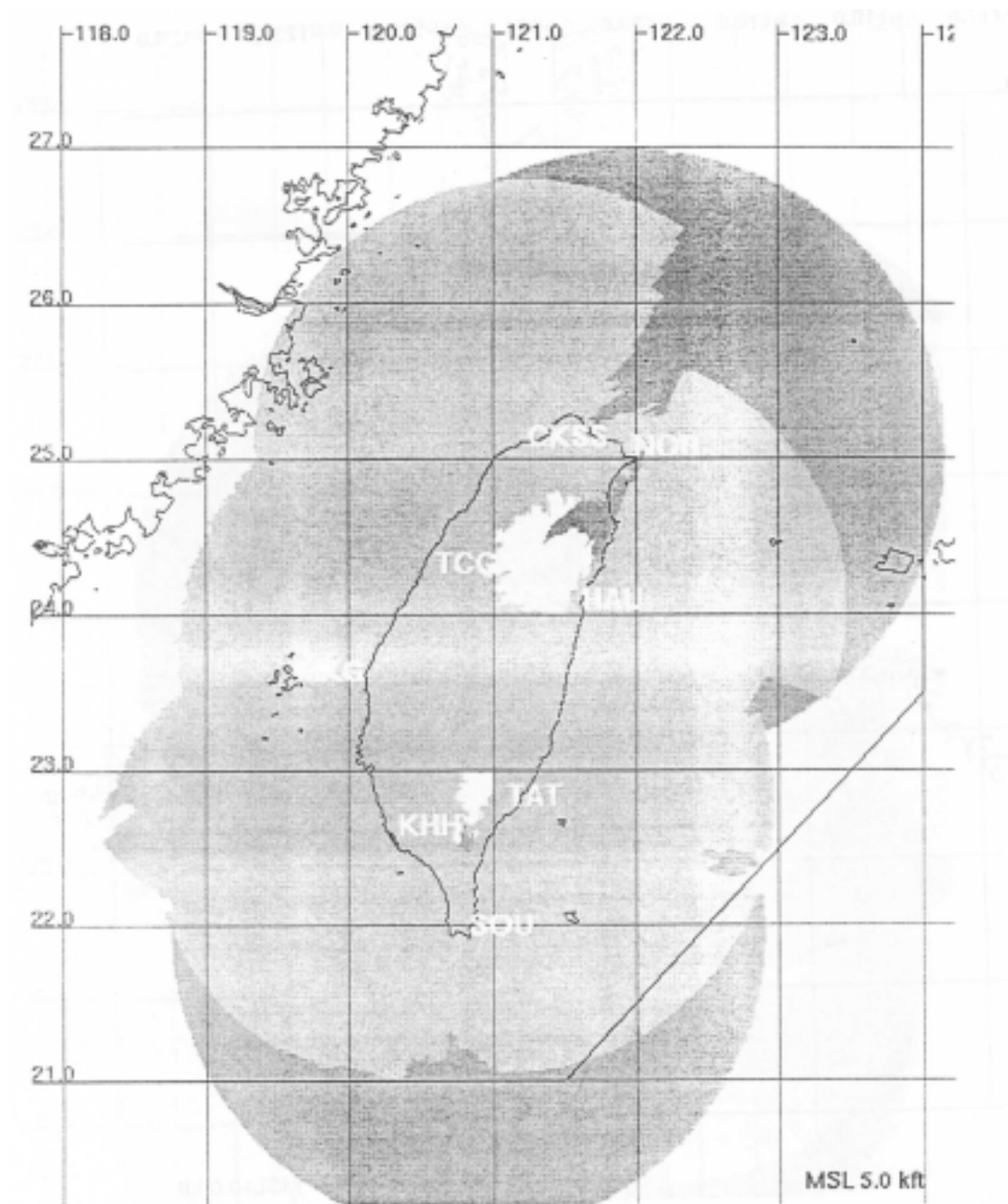




資料來源：[4-43]

圖 4-48: 次級搜索雷達於平均海平面高度 10000 呎時，視覺直線涵蓋範圍示意圖





資料來源：[4-43]

圖 4-49: 次級搜索雷達於平均海平面高度 5000 呎時，視覺直線涵蓋範圍示意圖

#### 4.3.1.4 航管自動化系統

利用前述介紹的民航雷達來偵測飛機位置，再將飛機位置輸入民航局的航管自動化系統(ATCAS, Air Traffic Control Automation System)便可以監視航機，並提供航機飛航服務。民航局的航管自動化系統硬體架構包含了下列幾項[4-44]:

- (1)台北區管中心(TACC, Taipei Area Control Center)的航路自動化系統，
- (2)中正、台中、高雄終端管制中心(TCC, Terminal Control Center)的  
端自動化系統，
- (3)中正、松山、高雄的飛航管制(ATC)自動化塔台，
- (4)花蓮近場管制的終端自動化系統，
- (5)台東近場管制的終端自動化系統及豐年塔台的飛航管制(ATC)自動化  
系統，
- (6)空軍的終端機(RIT, Remote Intelligent Terminal)。

其中台北區管中心的航路自動化系統在 1996 年 7 月 1 日正式啟用，而花蓮、台東近場台的終端自動化系統則於 2000 年 4 月啟用。目前航管自動化系統與雷達連線的架構請參閱圖 4-50，其中航路自動化系統最多可以與 15 座雷達相連，接收的雷達資料格式是 CD-2，而終端自動化系統則可以與 3 座雷達相連，其中中正、台中、高雄終端自動化系統所接收的雷達資料格式是 CD-2，花蓮、台東終端自動化系統(EuroCat 1000)所接收的雷達資料格式則是 ASTERIX。圖 4-50 另外也標示了航路自動化系統與終端自動化系統彼此的連接關係，中正、台中、高雄終端自動化系統有與區管中心的航路自動化系統相連，而花蓮、台東這二個新建置的終端自動化系統則彼此相連，但與西部之航管自動化系統不銜接，僅透過終端機(RIT Remote Intelligent Terminal)及印條機(FSP Flight Strip Printer)擷取並顯示西部航管自動化系統之航機飛航相關資料。除此之外，在松山、中正塔台有高亮度雷達航情顯示器(DBRITE)與中正近場台的系統相連，它可以顯示中正近場台管制航機的雷達信號；高雄塔台的高亮度雷達航情顯示器則與高雄近場台的系統相連，它可以顯示高雄近場台管制航機的雷達信號；豐年塔台則架設與台東近場席相同之雷達航情顯示器，它可以顯示台東近場台管制航機的雷達信號。這些塔台的雷達航情顯示器所顯示的雷達信號只是協助塔台人員做管制作為的參考，塔台人員不使用它們做雷達管制。

台北區管中心的航路自動化系統硬體是由二套 IBM 4381 主機為主體，一套為 primary 另一套為 standby；此外，另有一套 IBM 4381 主機做為維護支援。航路自動化系統執行的軟體包括了：國家空域系統（NAS，National Airspace System）和航管顯示系統（ADS，ATCAS Display System）。國家空域系統主要功能是飛航資料處理及雷達資料處理，本軟體是由 Jovial 語言及 IBM 370 組合語言所寫成的。航管顯示系統是航管自動化系統的人機介面（CHI，Computer Human Interface），本軟體大部分由 Ada 語言寫成的，另有一小部分是由 C 語言寫成的。

至於中正、台中、高雄終端自動化系統的硬體則個別是以兩套 IBM RS6000 工作站為主體，一套為 primary 另一套為 standby。終端自動化系統執行的軟體包括了：航管顯示系統（ADS，ATCAS Display System）和自動雷達終端系統（ARTS，Automatic Radar Terminal System）。

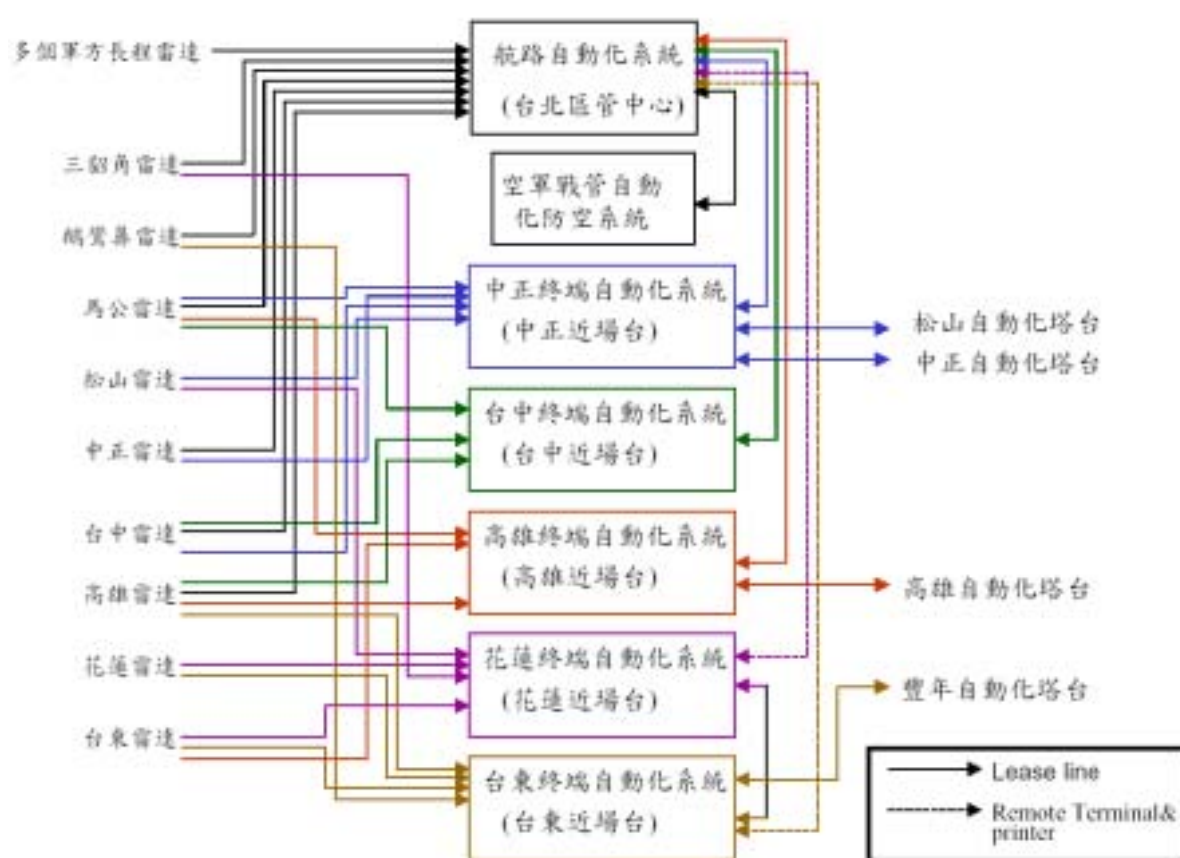


圖 4-50: 航管自動化系統架構圖

### 4.3.2 監視建置策略研究

上一節簡介了台灣的監視建置現況，本節將以這些建置現況做考量，研究台灣未來的監視建置策略。4.3.2.1 節將研究台灣未來雷達的建置策略，4.3.2.2 節則研究 ADS-A 技術建置的方向，4.3.2.3 節則針對 ADS-B 做探討。

#### 4.3.2.1 雷達建置策略研究

4.3.1.3 節已說明了民航雷達的分布現況及涵蓋的範圍，在越洋及航路區域是由三貂角及鵝鑾鼻的二個長程雷達及其他次級搜索雷達來執行監視任務，終端區域是由松山、中正、台中、高雄、馬公、花蓮、台東等七座雷達來監視。此外，民航局也正規劃採購中正機場第二套終端雷達以及中正機場場面監視設備。有關雷達建置策略及其分析如下：

##### 1. 在未來 5-10 年內不需建置新的航路雷達：

由於位於三貂角及鵝鑾鼻的二個長程雷達是新安裝（2001 年）的，距離服役年限（20 年）仍久，而且涵蓋範圍良好（達 220 哩），因此以技術的觀點來考量，越洋及航路的監視方面，短期內並無建置新監視設備的需求。以作業需求的觀點來看，目前三貂角、鵝鑾鼻長程雷達除了提供民航用的監視訊號之外，同時也提供軍方非主要的監視信號，以協助軍方在中、高空層的監視作業的需求，因此以作業需求的角度來看，目前已可以滿足軍、民作業上的需求。以經濟的觀點分析，新購雷達不管在購買或維護的成本（包括金錢及人力）上花費仍相當大，因此美國對於越洋及航路的監視所採取的策略是逐漸淘汰初級搜索雷達（非軍用的）[4-14]，以 ADS-A 取代，請參閱圖 4-32。但歐洲則傾向繼續維護航路初級雷達[4-3]，請參閱圖 4-33。至於台灣方面，目前的經費、人力狀況仍屬可以負擔現有雷達維護的範圍之內，但新購雷達所需之成本會造成其他建設受到排擠，因此以經濟觀點分析，不宜再新購航路雷達。以環境因素來分析，由於台北飛航情報區並不大，使用長程雷達約每 12 秒可以得到一次監視信號回報，與（美國採用的）ADS-A 監視技術相比（約 10 分鐘做一次回報），其回報率較佳，回報時間也較短（ADS-A 若透過衛星通訊回報，可能會有 1-2 分鐘的延遲），且也較具主動性（雷達可以主動偵測航機位置）。根據上述技術、作業、經濟、及環境面的考量，台灣不需

除役現有航路雷達，也不必購置新的航路雷達。

## 2. 規劃馬公終端雷達退役的解決方案：

在台北飛航情報區的終端區域方面，馬公雷達屬於中程雷達，涵蓋範圍有 90 哩，屬於較早之系統(1990 年)，中正、台中、高雄雷達則是短程雷達(ASR-9)，涵蓋範圍有 60 哩，使用有一段時間(1994 年)，松山、花蓮、台東使用短程雷達，涵蓋範圍有 60 哩，屬於新建的雷達(2000 年)。在這三批雷達當中，中正、台中、高雄的 ASR-9 雷達在美國還大量的使用，而美國也計劃延長其服務年限(SLEP, Service Life Extension Project)[4-15]，其延長年限計劃(SLEP 計劃)是由 FAA 的 SWIS (Surveillance and Weather Integrated Services)小組負責，其中包含有 4 個時程，分別為 ASR-9 Processor Phase、ASR-9 Antenna Phase、ASR-9 Transmitter Phase、以及 ASR-9/Mode-S/WSP Phase，每個時程短期內會先解決零件超過使用年限的問題，之後為了達到最大的成本效益，它們會更新及整合 ASR-9、Mode-S、及 WSP(Weather System Processor)的功能，整個計劃會使用 ROSA(Radar Open System Architecture)的架構來完成，計劃預計延長 ASR-9 的年限至少到 2015 年。因此，ASR-9 在台灣雖然服役了一段時間，但因為美國 SLEP 計劃的執行，所以我們未來在維修上較不會遭遇太大的問題，可以不急著汰換。而花蓮、台東的 ITT 雷達則剛架設好沒多久，仍有很長的服役時間，所以也不需汰換。至於馬公雷達使用的時間就比較久了，所用的系統比較老舊(Thomson 的 TRAC 2100)，預估尚能再使用約 10 年的時間，因此 5 年後必須要先行規劃馬公雷達退役後，如何監視那個區域。例如：再購置新的雷達、或利用既有的台中/高雄雷達來執行監視馬公雷達所監視的區域、或是使用軍方在馬公區域的雷達監視信號。若使用台中/高雄雷達來監視馬公雷達所監視的區域，其監視信號的品質可能無法如原先的馬公雷達好，因為台中/高雄短程雷達的範圍只到 60 哩，而且對遠處低空層的監視能力較低；使用軍方的雷達監視信號則可能會有作業上的問題，例如：軍方維修雷達時無監視信號、民航與軍用監視的空域不完全相同等等；至於購置新的雷達雖可以解決上述的問題，但有成本花費高的缺點。

未來在採購新雷達時，例如民航局已規劃在中正機場增設一終端雷達，必須考慮新雷達的監視信號要支援 CD-2 格式，因為我們區管中心的航路自動化系統及西部的終端自動化系統只能接受 CD-2 的雷達資料格式。另外，將來

若這新設的雷達會與東部（花蓮、台東）終端自動化系統連接，其輸出的資料格式也必須支援新一代的 ASTERIX 格式才行。

3. 加強對重要機場活動區域的監視能力：

2000 年 10 月 31 日新航客機在中正機場誤闖跑道，造成重大的傷亡[4-46]；另外，某客機在 2002 年 1 月 25 日於美國安客拉治國際機場誤判滑行道為起飛跑道，形成重大違規[4-47]，其實這些事件都可以藉由對機場活動區域加強監視，來降低其發生的可能性。由於台灣各機場目前並無安裝對機場場面監視的設備，例如：ASDE-3 (Airport Surface Detection Equipment-3)、或 MDS，只靠人員目視或程序的方式來執行場面航機隔離，這種方式在天候不佳時，安全性便會不足。因此，在策略上，未來必須針對台灣幾個重要機場建置監視設備，以提高安全。現階段中正機場已針對加強機場活動區域監視能力方面，規劃增設第二套終端雷達及機場場面監視設備[4-48]，而其他流量較大的機場，請參閱表 4-22，像台北國際（松山）機場、高雄國際機場[4-49]也應評估增建監視設備的成本效益。

表 4-22: 2002 年 3 月台閩地區各機場流量統計數字

機場名稱	起降架次（次）	旅客人數（人）	貨運噸數（公噸）
中正國際機場	10562	1613645	123649.7
台北國際機場	11950	774164	1460.7
高雄國際機場	7681	691707	9662.3
馬公機場	3113	129947	368.8
台中機場	2739	96385	142.2
花蓮機場	1908	97005	104.0
台南機場	1770	129011	94.8
金門機場	1588	119038	684.7
台東機場	1372	65151	38.9
嘉義機場	1325	42077	38.4
馬祖機場	382	11548	33.8
綠島機場	376	5756	7.7
屏東機場	316	11148	4.1
蘭嶼機場	276	4067	6.1
七美機場	168	2323	2.9
望安機場	18	280	-

資料來源：[4-49]

傳統對於機場場面監視是使用機場平面偵測設備（ASDE），例如：美國在它主要的 34 個機場部署了 ASDE-3 雷達來監視機場場面[4-14]，它屬於初級搜索雷達，使用的頻率是 Ku 頻帶（約 15.7-17.7 GHz），監視範圍約 4 哩，更新頻率為每秒 1 次[4-51]，一般是安裝在塔台頂端，請參閱圖 4-51。根據經驗指出，ASDE 的監視效果並不好[4-52]，因為光靠機場平面偵測設備並無法提供航機身分識別，且氣候不佳時監視訊息的品質也不好。因此，美國 FAA 提出了 ASDE-X（Airport Surface Detection Equipment Mode-X）計劃，目標是提供航管員了解在機場平面飛機的身分，並且獲得完善的監視訊息[4-16]。圖 4-52 顯示使用傳統機場平面偵測設備時管制員所看到的畫面，其中飛機（螢幕上的白點部分）的身分並無法做辨識，圖 4-53 則顯示在相同情況下，經由 ASDE-X 計劃整合傳統機場平面偵測設備和多接收站相依監視（MDS）等監視設備信號之後，管制員所看



資料來源：[4-50]

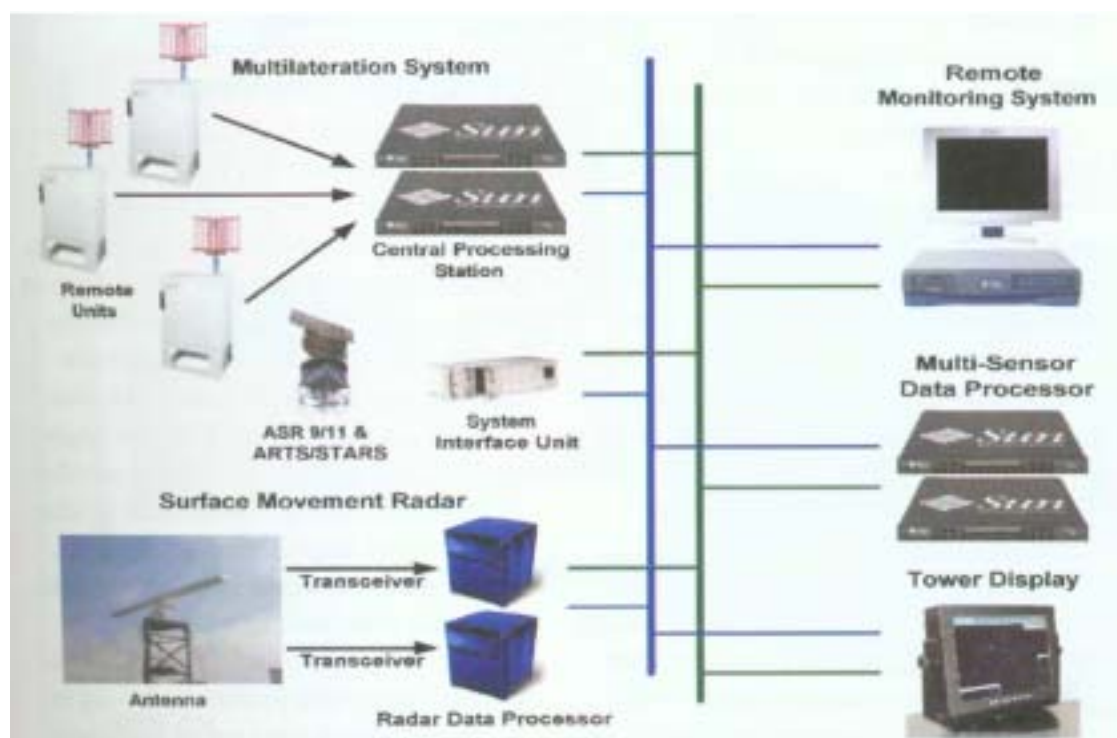
圖 4-51: ASDE-3 雷達位置示意圖





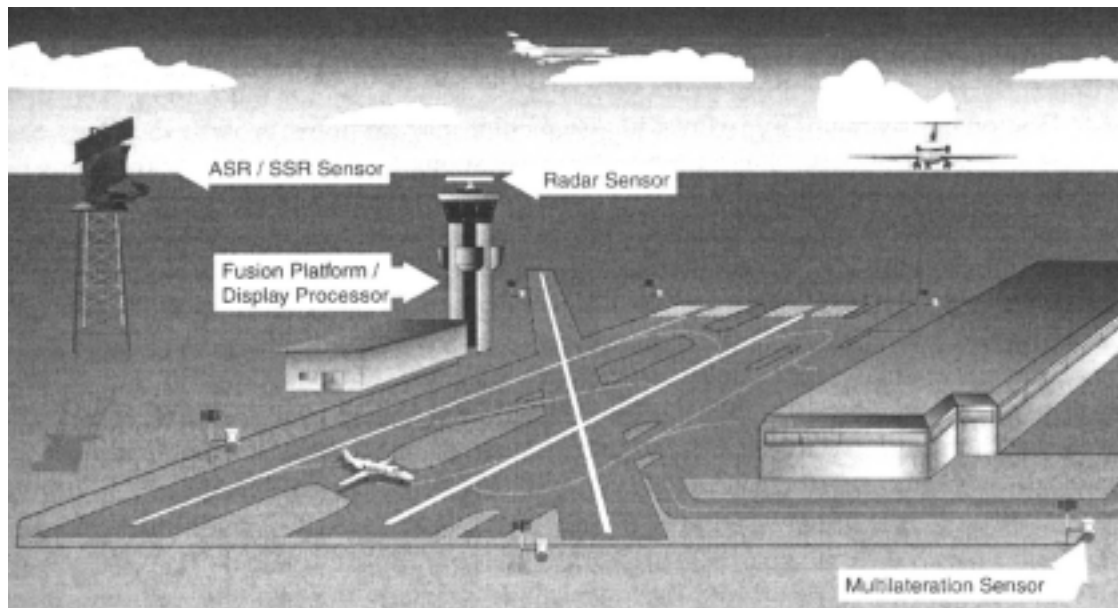
processor) 的處理之後，將飛機的位置及身分顯示在管制員的螢光幕上。圖 4-55 是 ASDE-X 在機場運作的示意圖。ASDE-X 系統預計將安裝在全美的 25 個機場。

歐洲方面也同樣進行類似的計劃 VISION (improved Airport A-SMGCS by Integrated Multisensor Data Fusion) 來提高對機場活動區域的監視能力。這項計劃是由 1998 年 1 月進行到 2001 年 1 月，計劃目標是調查以 A-SMGCS(Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems) 提高歐洲機場運作效率及安全性的可行性。此計畫發展的軟體都是在現行可用 (COTS, Commercial Off-The-Shelf) 工作站的平台上執行，系統提供了基本的 A-SMGCS 功能，其中包括了



資料來源：[4-52]

圖 4-54: ASDE-X 系統架構圖



資料來源：[4-16]

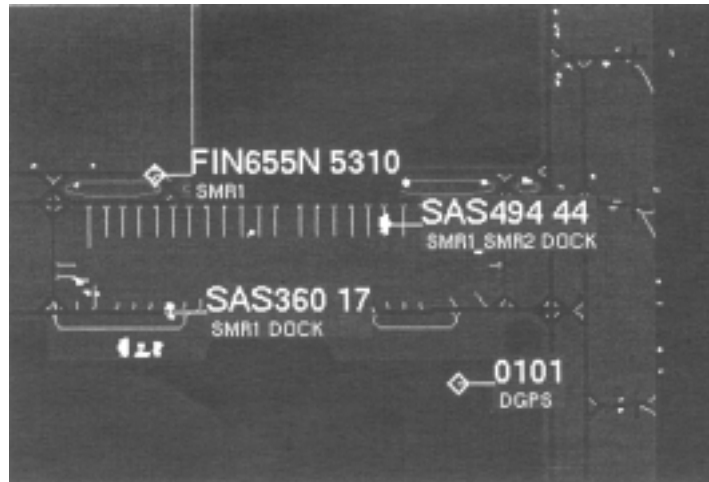
圖 4-55: ASDE-X 在機場運作示意圖

- (1) 監視 (Surveillance)，
- (2) 情況監視及衝突警示 (situation monitoring and conflict alert)，
- (3) 指定位置飛機引導 (Guidance of an aircraft to or from its assigned stand)。

計劃執行成果發現其系統可以：

- (1) 提高容量：航機的活動數目由每小時 20-30 架增加到每小時 55-60 架，
- (2) 增加安全性 (衝突示警)：評估的結果確定了結合作業式監視設備 (co-operative sensor) 與 A-SMGCS 可以加強管制員的情況認知 (situation awareness) 能力，尤其是在氣候惡劣的情況下，
- (3) 減少語音通訊：大約可以降低 50% 的語音通訊量。減少語音通訊可以幫助管制員更有效率工作，而且避免語音通訊的誤解。

另外，它們系統的功能尚包括了：資料融合 (data fusion)、自動標示 (automatic labeling)、自動目標物辨識 (automatic vehicle identification)、尋找路徑及導引 (routing and guidance) 等等。圖 4-56 是這系統的螢幕顯示，機場場面目標物的位置及身分被清楚的標示出來。這套系統被安裝在歐洲的四個機場做測試：Oslo Gardermoen、Frankfurt、Paris Orly、和 Palma de Mallorca。其中 Oslo Gardermoen 和 Frankfurt 是挪威和德國境內最忙碌的機場，Paris Orly 是法國的第二大機場，而 Palma de Mallorca 是西班牙第三忙碌的機場 (2000 年有 1900 萬旅客量)。



資料來源：[4-53]

圖 4-56: VISION 計劃中系統的監視畫面

美國 FAA 的 ASDE-X 計劃或歐洲的 VISION 計劃都是針對機場活動區域加強監視能力，使管制員得以用更安全、更有效率的方式來進行航機監視與隔離。這兩個計劃的共同點就是其所發展的系統整合了多方面的監視資料來源：，其中包括了機場平面偵測設備（ASDE-3）、多接收站相依監視、機場搜索雷達（ASR，Airport Surveillance Radar）等等[4-16][4-53]，經過資料融合作業以後，再將航機位置及身分等資料顯示給管制員，提高管制員的情況掌握（situation awareness）能力。因此，在規劃中正國際機場、或將來在規劃台北國際（松山）機場、高雄國際機場的機場活動區域監視系統時，應掌握此國際最新的技術趨勢，以充分達到經濟效益。

#### 4.3.2.2 ADS-A 建置策略研究

ADS-A 監視技術主要是用在越洋（oceanic）及航路（en-route）上，目標是取代傳統在越洋及航路上使用語音回報位置的方式。ADS-A 是屬於點對點的通訊方式，在進行 ADS-A 回報前必須先進行 AFN(Air traffic service Facility Notification) 登入[4-9]，ADS-A 回報所使用的資料鏈路包括了衛星通訊（SATCOM）及特高頻（VHF），一般回報的時間間隔約 10-15 分鐘，回報的方式則包括了：定期（Periodic Mode）、事件(Event Mode)、命令(Demand Mode)、

和緊急(Emergency Mode)四種。有關 ADS-A 建置策略及其分析如下：

1. 不需利用 ADS-A 技術對航路上的飛機進行監視，但應具備 ADS-A 監視技術能力以便與國際接軌：

台北飛航情報區的範圍並不大，整個區域可以被雷達完整涵蓋，以技術的觀點來看並不需要利用 ADS-A 來進行監視，因為雷達信號的更新頻率比 ADS-A 高（短程雷達約 4.5 秒、長程雷達約 12 秒，而 ADS-A 則約 10-15 分鐘）且無信號延遲的問題（ADS-A 若透過衛星通訊常會被延遲數十秒），再加上目前台灣的航路雷達都是新型雷達，因此 ADS-A 技術對台灣的航路監視並不適用。

目前亞洲地區使用 ADS-A 進行航路監視的國家包括了中國大陸和日本等等。以中國大陸為例，中國民航局（CAAC，Civil Aviation Administration of China）1998 年在昆明、成都、蘭州、烏魯木齊四個區管中心架設了 ADS/CPDLC 工作站，並在 2001 年 6 月測試（trial）前完成了航路規劃、航路許可，程序訂定及人員訓練[4-55]，請參閱圖 4-57。這條 L888 航路與歐洲的 A460、亞洲的 B218 航路連接，相較於原來的航路（通過印度及孟加拉），利用 L888 飛行於亞洲和歐洲之間大約可以節省 40 分鐘的飛行時間[4-36]。香港在 1997 年 9 月也公佈了其 ADS/CPDLC 試驗[4-37]，它使用的航路是 ATS R214，圖 4-58 是它 ADS/CPDLC 試驗時的圖示[4-56]。日本則是在 1998 年 9 月公佈其 ADS/CPDLC 試驗[4-57]，作業區域是在東京飛航情報區[4-58]（Tokyo FIR）的太平洋區域，請參閱圖 4-59，但不包括 G581 和 G339 航路（日本的航路圖請見圖 4-60）[4-59]。根據其在 1997 年 10 月到 1998 年 8 月所蒐集到的資料[4-38]，ADS 上傳資料共有 9183 筆其中有 98.6% 在 3 分鐘內完成傳送，ADS 下載的資料共計有 17044 筆其中有 91.5% 在 1 分鐘內完成傳送。

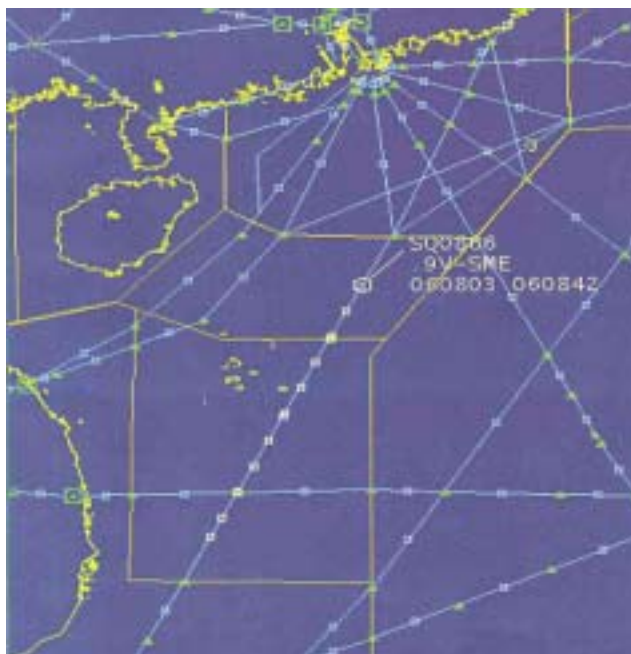
雖然台灣可以用雷達做航路監視，但使用 ADS/CPDLC 仍有其好處，例如：與鄰近飛航情報區可以用自動化系統自動交管航機。由於台灣地理位置具有其特殊性（請參閱 4.3.1.1 節），再加上週遭的國家或飛航情報區像：中國大陸、香港飛航情報區、東京飛航情報區皆已完成 ADS/CPDLC 的試驗（其中中國大陸及日本已正式在其航路上使用 ADS 監視航機），台灣必須加快具備提供 ADS 監視服務的能力，以便與國際接軌，成為將來連接美洲、亞洲、和

歐洲 FANS 航路中的一環，這樣才能提高台灣位置的重要性並增加台灣的競爭力。倘若現在忽視提供 ADS 監視服務的重要性，將來台灣一些國際航線很可能會被一些跨極航線所取代，致使台灣被國際社會所邊陲化。



資料來源：中國民航局網站

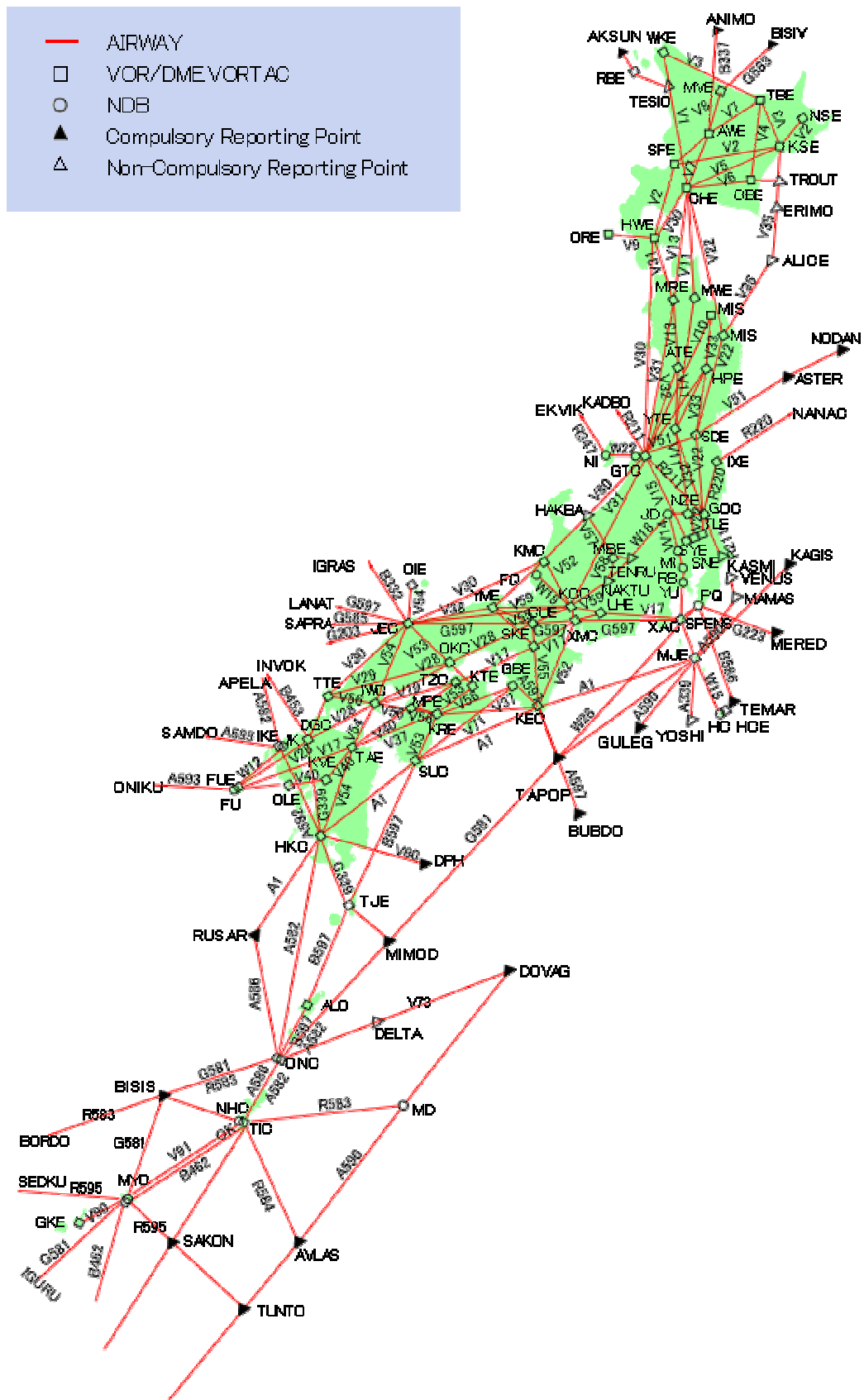
圖 4-57:中國大陸提供 ADS/CPDLC 航線



資料來源：[4-56]

圖 4-58: 香港飛航情報區 ADS/CPDLC 試驗示意圖



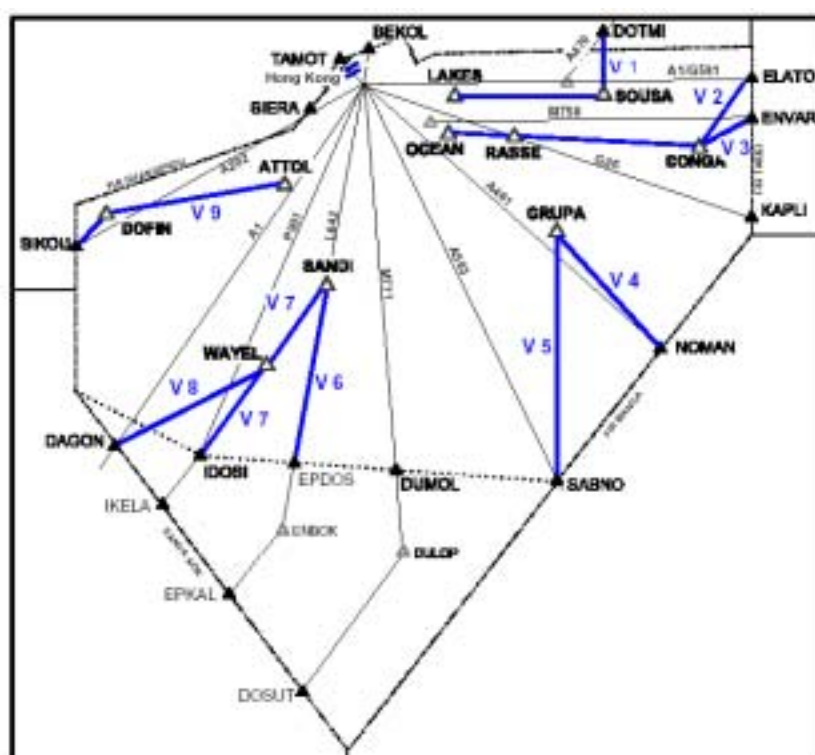


資料來源：[4-59]

圖 4-60: 日本境內的航路圖

2. 規劃 FANS 航路以及訂定作業程序，並且進行正式 ADS/CPDLC 試驗以便蒐集資料：

在規劃 FANS 航路時必須考慮與週遭飛航情報區航路的連接性、相鄰情報區提供 ADS/CPDLC 服務的能力、以及經濟效益。目前香港與日本皆已進行過 ADS/CPDLC 試驗，日本在東京飛航情報區也已正式提供 ADS/CPDLC 服務，而利用航路與日本、香港相連可以通往美洲、歐洲，帶來較大的經濟效益，因此在規劃 FANS 航路時宜考慮 A1、M750、R583、R595、G581、G86 這幾條航路，其中 A1 及 M750 又是應優先考量的航路，因為它們直接連接琉球飛航情報區（NAHA FIR），請參閱圖 4-41 和圖 4-60，和香港飛航情報區（HongKong FIR），請參閱圖 4-61 [4-60]，其中 A1 在亞洲太平洋地區通過的點包括了 JIWANI、KARACHI、PRATAPGARH、CALCUTTA、BAGO、BANGKOK、UBON、DANANG、CAVO1、DAGON、HONGKONG、ELATO、MAKUNG、TAIBEI、KAGOSHIMA、MIYAKE JIMA，而 M750 則通過了 KILOG、ENVAR、MOLKA、MOMPA、MANEP、KUSHIMOTO[4-61]。



資料來源：[4-60]

圖 4-61: 香港終端轉換航路圖（terminal transition routes）



另外，和 A1 航路比較起來，M750 只提供過境，經濟效益比不上 A1 航路。因此，總結來說在規劃 FANS 航路時，建議以 A1 為優先考量的航路，其次是 M750，再來才是 R583、R595、G581、G86 等航路。

訂定作業程序時可以參考其他國家的作業程序，以中國大陸為例[4-55]，其作業程序包含（但不限於）下述項目：

(1) 使用的背景，包括（但不限於）以下子項目：

- ① 資料鏈服務可以在現有視距雷達監視和 VHF 話音通信無法實現情況下，為航空器提供監視和管制員-飛行員通信服務。
- ② 在啓用空中交通服務資料鏈之前，地面系統（管制員）將使用 VHF 或衛星話音與航空器（飛行員）交換資訊。
- ③ 自動回報監視支援以下功能：
  - i. 航空器自動報告位置及有關資訊。
  - ii. 航路/高度一致性監視。
  - iii. 緊急情況警告。
  - iv. 縮小隔離間隔的應用。

(2) 運行區域/航路，包括（但不限於）以下子項目：

- ① 資料鏈航路的寬度為 56 公里，管制單位將在西部航路的 BIDRU（思茅）至庫車（VOR）段提供資料鏈 ATS 服務，航路點包括：BIDRU、MAKUL、DONEN、NIVUX、LEVBA、PEXUN、SANLI、LUVAR、MUMAN、TEMOL、LEBAK、TONAX、NOLEP、SADAN、KCA（VOR）。
- ② 在以上指定區域內飛行的航空器其裝備資料鏈設備必須滿足 RNP10 或更高的導航精度。
- ③ 當開始使用 CPDLC 通信時，ATC 單位應通知航空器備用的 HF 或 VHF 話音通信頻率。

(3) 間隔和飛行高度層，包括（但不限於）以下子項目：

- ① 在資料鏈路服務空域內，航路同高度飛行的資料鏈航空器最小縱向間隔為 10 分鐘。
- ② 在資料鏈服務空域內，航路最小垂直間隔為 600 米。
- ③ 飛行高度層：烏魯木齊至昆明段為 10,200m /11,400m、昆明至烏魯木齊段為：9,600m/10,800m/12,000m。

(4) 登錄程序，包括（但不限於）以下子項目：

- ① 航空器從一個不提供資料鏈服務的區域飛入提供資料鏈服務的區域，航空器飛行員必須在預計進入其區域前 15 分鐘人工登錄到該地面系統。
- ② 航空器飛行員用以登錄地面系統的識別標誌必須與飛行計劃相關項填寫的飛機識別標誌一致。
- ③ 資料鏈航空器在將要離開資料鏈服務區域前應登錄到相應的空中交通服務單位。
- ④ 除非地面管制單位要求，資料鏈航空器在從一個資料鏈區域飛入另一個資料鏈區域時，一般不需要人工登錄到下一個地面系統。向下一個地面系統進行登錄的工作由正在為航空器提供服務的管制單位在航空器進入下一個區域前完成，而不需要飛行機組員的干預。

(5) ADS 特殊程序，包括（但不限於）以下子項目：

- ① 在進入有關區域之前，飛行員應確認 ADS 可用。
- ② 如果航空器在航向選擇模式下偏離航路或平行航路飛行，航空器的預計航跡仍將是 FMC 中的計劃航跡，為避免管制員看到錯誤的推測航跡，飛行員應按照實際的預飛航路修改 FMC 飛行計劃航路。

(6) 資料鏈路失效，包括（但不限於）以下子項目：

- ① 飛行員識別到 CPDLC 連通失敗後，必須毫不遲疑地使用備用話音通信頻率。一旦建立了備用話音通信方式，應在此方式下繼續保持聯繫，直至重新與資料鏈 ATS 單位建立 CPDLC 連通。
- ② ADS 系統失效情況下，飛行員應恢復航路點位置報告直至重新與地面建立 ADS 服務。

(7) 緊急程序，包括（但不限於）以下子項目：

- ① 發生非正常情況時，飛行員應與管制單位建立話音通信。
- ② FANS 航路的備降機場是：昆明機場、西昌機場、成都機場、烏魯木齊機場和喀什機場。
- ③ 飛行員將對緊急下降時的下降高度負責。

其他像日本的東京飛航情報區及香港飛航情報區也都制定了其（測試）作業程序，我們在規劃台北飛航情報區的 ADS/CPDLC 作業程序時必須同時參考這些作業程序，以便將來連接 FANS 航路時，協調作業程序的時候會比較順利。

至於進行更多 ADS/CPDLC 試驗（trials）方面，資策會航電交控實驗室曾在民航局的協助下進行 ADS/CPDLC 測試（test），測試的日期分別是 2001 年的 2/26、2/27、3/7、3/9，參予的航空公司包括了華航（CAL，2/26、2/27）與長榮（EVA，3/7、3/9），測試的航機型號為 B747，作業的區域是在 A1（2/26、2/27、3/7）和 B591（3/9）航路，使用的資料鏈路服務是由 SITA 公司所提供，其中包括了 VHF 和 SATCOM。這四天測試所蒐集到的資料（包含上傳及下載）共計有 73 筆，其中 9 筆透過 SATCOM，64 筆透過 VHF。根據統計，透過 SATCOM 傳送訊息所需時間平均為 57 秒，在 1 分鐘之內完成的有 67%，3 分鐘之內完成的有 100%，至於透過 VHF 傳送訊息所需時間平均為 5 秒，在 10 秒內完成的有 100%。表 4-23 是台北飛航情報區 ADS/CPDLC 測試(test) 資料的統計，和日本 ADS/CPDLC 試驗（trial）所蒐集到的數據相比（見表 4-24, 4-25, 4-26, 4-27），台灣針對 ADS/CPDLC 試驗所蒐集的資料尚顯不足，因此應該進行正式的 ADS/CPDLC 試驗（trial）蒐集更多資料，使資料較具統計意義以方便做分析。

表 4-23: 台北飛航情報區 ADS/CPDLC 測試（test）資料統計

日期	VHF			SATCOM			
	資料數目	平均時間	10 秒內 傳輸完畢	資料數目	平均時間	1 分鐘內 傳輸完畢	3 分鐘內 傳輸完畢
2/26	14	7 秒	100%	0	-	-	-
2/27	24	5 秒	100%	1	35 秒	100%	100%
3/7	19	3 秒	100%	1	36 秒	100%	100%
3/9	7	6 秒	100%	7	63 秒	57%	100%
合計	64	5 秒	100%	9	57 秒	67%	100%

表 4-24: 日本 ADS/CPDLC 試驗 (phase I), CPDLC 上傳 (uplink) 統計數據

時間	資料數目	平均時間	3 分鐘內傳輸完畢
1997/10 – 1997/11	254	1 分 28 秒	91.0%
1997/12 – 1998/2	428	48 秒	98.0%
1998/4	382	44 秒	96.9%
1998/5	504	35 秒	98.8%
1998/6	686	38 秒	99.0%
1998/7	699	39 秒	99.0%
1998/8	624	44 秒	97.8%

資料來源：[4-38]

表 4-25: 日本 ADS/CPDLC 試驗 (phase I), CPDLC 下載 (downlink) 統計數據

時間	資料數目	平均時間	1 分鐘內傳輸完畢
1997/10 – 1998/2	944	36 秒	93.0%
1998/4	563	28 秒	94.0%
1998/5	750	27 秒	96.3%
1998/6	996	30 秒	94.1%
1998/7	1006	35 秒	92.1%
1998/8	953	33 秒	91.1%

資料來源：[4-38]

表 4-26: 日本 ADS/CPDLC 試驗 (phase I)，ADS 上傳 (uplink) 統計數據

時間	資料數目	平均時間	3 分鐘內傳輸完畢
1997/10 – 1997/11	63	1 分 54 秒	-
1997/12 – 1998/2	303	1 分 06 秒	-
1998/4	1602	47 秒	99.1%
1998/5	1381	59 秒	98.6%
1998/6	1711	49 秒	98.7%
1998/7	1989	52 秒	98.1%
1998/8	2134	50 秒	98.4%

資料來源：[4-38]

表 4-27: 日本 ADS/CPDLC 試驗 (phase I)，ADS 下載 (downlink) 統計數據

時間	資料數目	平均時間	1 分鐘內傳輸完畢
1997/10 – 1998/2	961	28 秒	94.0%
1998/4	2478	34 秒	90.9%
1998/5	2627	33 秒	93.7%
1998/6	3084	33 秒	91.7%
1998/7	4254	49 秒	88.9%
1998/8	3640	38 秒	89.5%

資料來源：[4-38]

#### 4.3.2.3 ADS-B 建置策略研究

ADS-B 監視技術可以應用在航路 (en-route)、終端 (Terminal)、機場場面、以及空對空避碰 (air-to-air collision avoidance) 上，請參閱圖 4-62，在不同應用環境下 ADS-B 的最低效能需求請參閱表 4-11 和表 4-12[4-11]。ADS-B 的通訊方式是屬於廣播式，透過的資料鏈路則包括了：VDL-4 (VHF Digital Link – Mode

4)、模式 S 廣播、和 UAT (Universal Access Transmitter) [4-10]。有關 ADS-B 建置策略及其分析如下：

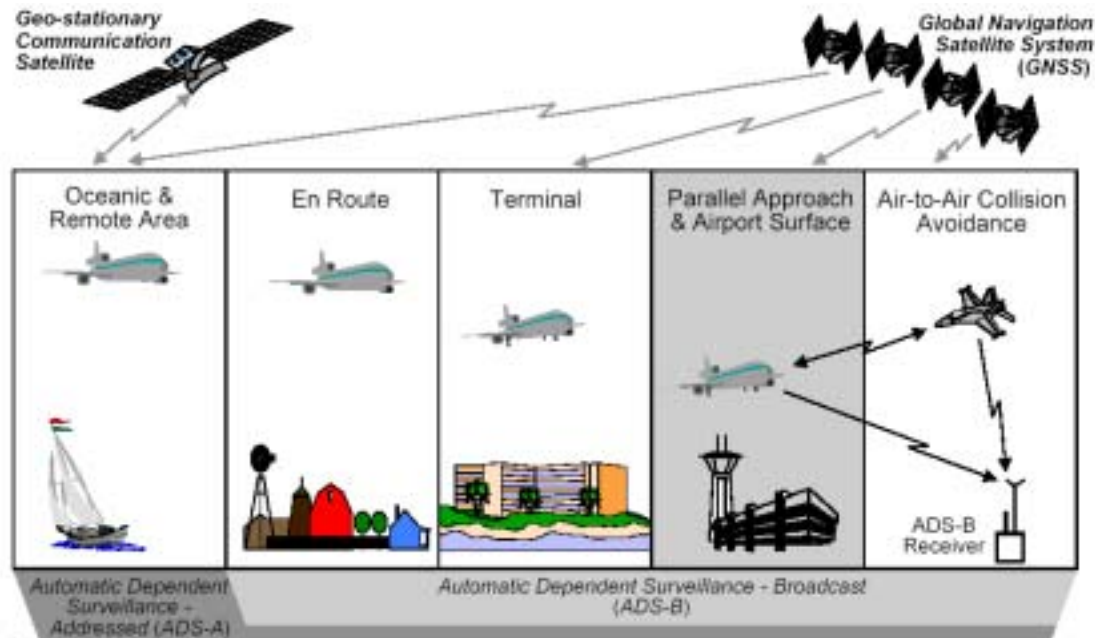


圖 4-62: ADS-A/ADS-B 應用環境示意圖

1. 持續研究 ADS-B 技術發展方向以及相關的國際計劃：

和傳統的監視方式（雷達）比較起來，ADS-B 具有下述優點[4-30]：

- (1) 較低的成本（ADS-B 地面接收站成本大約是雷達的 5 %~ 20%[4-31]）。
- (2) 資料是廣播式的傳送，所以所有的使用者都可以收到。
- (3) 在飛行全程（閘到閘，gate-to-gate）都可以提供身分識別。
- (4) 可傳送比雷達更多的資料，包括了：身分、經度、緯度、地速、氣壓高度、垂直高度速率、呼號（call sign）等等。

國際上對於 ADS-B 應用所使用的資料鏈路主要分為兩類，歐洲地區多使用 VDL-4（VHF Digital Link – Mode 4），美國地區則以模式 S 廣播（用在 Ohio River Vally）和 UAT（Universal Access Transmitter，用在 Ohio River Vally 和 Capstone 計劃）為主[4-62]。表 4-28 是這三種不同資料鏈路技術的規格比較，其中的縮寫分別為：BER（Bit Error Rate）、CPR（Compact Position reporting, compression）、CRC（Cyclic Redundancy Code）、FEC（Forward Error Correction）、GFSK（Gaussian Frequency Shift Keying）、LSB（Least Significant

Bit)、MER (Message Error Rate)、MTL (Minimum Trigger Level)、PPM (Pulse Position Modulation)、PVT (Position, Velocity and Time, 是 ADS-B state vector)、RF (Radio Frequency)、TCP (Trajectory Change Point)、TDMA (Time Division Multiple Access)。

表 4-28: ADS-B 資料鏈路 VDL-4、UAT、Mode S extended squitter 規格比較圖

Characteristic	1090 MHz Extended Squitter		VDL Mode 4		UAT	
	Proposed Operational System	1999 U.S. Tests	Proposed Operational System	1999 U.S. Tests	Proposed Operational System	1999 U.S. Tests
Frequency Band	1090 MHz	Same	118-137 MHz (in addition Rec. for 108-117.975 MHz)	112-118 MHz	Not Assigned	966 MHz
Bit Rate	1 Megabit/sec	Same	19200 bits/sec/channel	Same	1.041667 Megabits/sec	Same
Modulation	PPM	Same	Binary GFSK/TM	Same	Binary GFSK $\pm 31.2$ KHz	Same
Synchronization	4 pulse preamble (9 pulse processing)	Same	First 24 bits Plus burst flag	Same	First 36 bits	Same
Message Length	112 bits	Same	192 bits after synchronization	Same	246 bits, short 372 bits, long	Same
Parity	24 bits	Same	16 bits	Same	48 bits FEC and 24 bits CRC	Same
Address	24 bits	Same	3+24 bits	Same	25 bits	Same
Airborne Longitude	CPR 17 bits, even 17 bits, odd LSB $\sim 5$ meters	Same	Compressed 18-22 bits even 16-20 bits odd LSB $\sim 1-18$ meters	Same	Uncompressed 24 bits LSB $\sim 2.3$ meters	Same
PVT Segmentation?	Yes: Velocity in separate message	Same	No: PVT in one message	Same	No: PVT in one message	Same
Transmitter Power (at Antenna)	51-57 dBm, high-end 48.5-57 dBm, low-end	Same	43-44.5 dBm, high-end (ground station) 39-40.5 dBm, medium 36-37.5 dBm, low-end	44, 39.8, and 37.8 dBm	50-54 dBm, high-end 44-48 dBm, low-end	44 dBm $\pm 3$ dB
Receiver MTL (90%) (at Antenna)	$\leq -84$ dBm, high end $\leq -72$ dBm, low-end	$\sim -79$ to $\sim -87$ dBm	$\leq -103$ dBm at $10^{-4}$ BER	$\sim -80$ and $-90$ dBm at 1% MER	$\leq -93$ dBm	$-93$ dBm
Polarization	Vertical	Same	Vertical	Same	Vertical	Same
Transmission Rate for PVT	Position at 2 Hz Velocity at 2 Hz	Same	1, 2, 5, or 10 seconds (can be varied between 1-60, event-driven or by command)	PVT every 1 second	PVT every 1 second	Same
Transmission Rate for Intent/Flight Ident.	3.4 per second	0.75 per second	Each TCP once every minute. Flight Ident. Once every 5 minutes	Not transmitted	Within same Message as PVT	Flight Ident. Transmitted
Multiple Access Technique	Random messages	Same	Self-organizing TDMA (75 slots/second per channel)	Same	Slots to separate ground/air. Aircraft use random messages	Same
RF Channels	One channel	Same	2 (25KHz) Global Signaling Channels, plus up to 2 Regional and 3 Local Channels in High Density Airspace	2 Channels (Used as if Global)	One Channel	Same

資料來源：[4-12]的附錄 C

FAA 與 EuroControl 曾一同擬定計劃共同評估這三種資料鏈路在 ADS-B 應用的適用情況，計劃由 TLAT (Technical Link Assessment Team) 小組負責，並在 2000 年五月開始執行[4-12]。根據 TLAT 的報告，模式 S 廣播、UAT、VDL-4 這三種資料鏈路各自都無法符合所有的評估項目，但任二個資料鏈路的組合使用則可以符合所有評估項目。目前美國 FAA（系統架構部門）的做法可能會傾向在低空域使用 UAT，給一般航行器（GA，General Aviation aircraft）使用，在高空域則使用模式 S 廣播[4-62]，給一般客機使用。至於歐洲，由於其 VDL-4 網路建置已有一定規模，因此推測其未來採用 VDL-4 作為 ADS-B 的資料鏈路的可能性最大。

由於目前 ADS-B 的資料鏈路技術全球仍未統一，因此台灣方面不應貿然投入資料鏈路的建置工作，目前仍應持續觀察：國際上對於資料鏈路標準的訂定進度、頻寬的取得、廠商提供的航電設備等等因素，將來再選擇對我們成本效益最佳的建置方式。目前國際上所從事的一些 ADS-B 計劃包括了：

(1) 蘇聯的 FSAT(Federal Service of Air Transport)在 1999 年十月簽約決定實作民航用 ADS-B，並且使用 VDL-4 當作資料鏈路，其目標是在 2005 年 10 月正式運作，提供完整的服務[4-33]。整個計劃分為三個時程：(1)1999 第四季到 2000 年第四季，挑選服務提供廠商(Service provider)及地面站的地點，發展「安裝」、「測試」、「核准」地面/機載設備的文件；(2) 2000 年第四季到 2001 年第二季，進一步試驗及評估 ADS-B 在監視方面的應用，其中包括設備認證、相關航管技術評估、及程序制定；(3)2001 年第三季開始，實作 ADS-B 架構並在 2005 年十月完成。

(2) 澳洲已著手計劃 ADS-B trial，測試的地區是在 Burnett River 附近的 Bundaberg 及 Queensland[4-34]，這計劃將會安裝一個地面站、在 17 架航機上安裝 ADS-B 設備，並且修改它們的航管系統以處理及顯示 ADS-B 軌跡，計劃預計在 2003 年執行[4-32]。

(3) 美國的 Safe Flight 21 是政府與業界發起為期三年的計劃[4-18]，這計劃包括了 Ohio River Valley 及 capstone 二部分：

① ORV (Ohio River Valley)[4-19]計劃是要對 ADS-B 的環境做操作評估 (operational evaluation)，焦點放在技術及成本效益的議題上。整個計劃分為三個 operational evaluation phases：(1) phase 1 是 July 6,



1999 進行，重點放在短程的座艙交通資訊顯示(CDTI, Cockpit Display Traffic Information)[4-20]，(2) phase 2 是 Oct. 24, 2000 進行，重點放在近程應用好處[4-21]，(3) phase 3 在 May 20, 2002, Memphis 機場實行[4-22]，重點放在增強機場場面管理[4-23]。

- ② Capstone Project[4-24][4-25] 分為二個 phases，第一個 phase 從 1999 年到 2001 年，實行的區域在 Bethel/Yukon-Kuskokwim (Y-K) delta 區，已在 2000 年的 12 月 31 日在 Bethel 空域正式使用 ADS-B 監視資訊，提供類似雷達的航管服務。第二個 phase 從 2001 年開始，實行的區域在 Juneau/Southeast (SE) 區，焦點放在「更可用的 IFR 架構」。

(4) EuroControl 方面：

- ① NEAN(North Europe ADS-B Network ) 計劃從 1996 年執行到 1998 年，建立了實驗性的 ADS-B 架構，通訊範圍涵蓋了歐洲北部[4-47]。
- ② NEAP (North European CNS/ATM Applications Project) 計劃從 1997 年 9 月執行到 1998 年 12 月，成功的展現了飛機在開至開飛行的任何一個時間都能使用 ADS-B 的資訊，並且得到與雷達相似的服務 [4-27]。
- ③ NUP (NEAN Update Programme)計劃分為 Phase 1 (1999 - 2001)、Phase 2 (2001-2005)和 Phase 3( 2005-)，在 phase 1 中，主要的工作是定義系統運作的基本條件，發展規格及設備，並且預備建立認證及管理規章。phase 2 除了繼續 phase 1 的工作之外，另外會大規模驗證 ADS-B 應用服務的可用性，Phase 3 則是實作的階段，NUP 最大的目標就是要安全且有效的實作出 ADS-B[4-28]。
- ④ NAAN(North Atlantic ADS-B Network) 計劃成功將 ADS-B 雛形通訊架構由歐洲擴展到北大西洋區域[4-29]。
- ⑤ FARAWAY II (Fusion of Ads and Radar dat through two WAY data link – II)從 1998 年五月開始到 1998 年 8 月完成，本計劃的功能是處理監視資料以及融合雷達與 ADS-B 資料，並且拓展 NEAN 所建立的 ADS 網路架構，涵蓋範圍包括了義大利大部分的空域及歐洲南部一些地區[4-29]。

## 2. 規劃未來新一代具雷達、ADS-A、ADS-B 資料融合功能之航管系統：

在未來同時使用雷達、ADS-A、及 ADS-B 監視設備的環境下，目前的航管系統必須加以升級或汰換成新一代的航管系統，以便可以接收並融合雷達、ADS-A、及 ADS-B 資料。在規劃新一代的航管系統時，可以多參考國外這一類的系統，以避免建置時遭遇到同樣的問題及困擾。目前在國外的航管系統中，FAA Capstone 計劃的 Micro-EARTS 便是這類新一代航管系統之一[4-63]，此外澳洲的 TAAATS (The Australian Advanced Air Traffic System) 航管系統也具有處理雷達、ADS-A、和 ADS-B 的能力[4-31]。這兩個系統都是經由修改才升級到目前具備同時處理雷達、ADS-A、及 ADS-B 資料的功能，它們許多的經驗以及設計原則都可以當成將來規劃新一代航管系統時的參考。

以 Capstone 計劃為例，為了接收 ADS-B 訊號，原來只架設一個 ADS-B 路基收發器 (GBT, Ground Based Transceiver)，但後來改為一個點同時架兩個 GBT，彼此互為備援，並且同時都將收到的 ADS-B 信號送到 Micro-EARTS。根據 FAA 的規劃，GBT 應具備下述功能[4-64]：

- (1) 以 ASTERIX CAT33 格式傳送 ADS-B 資料。
- (2) 以 ASTERIX CAT33 格式接收 TIS-B (Traffic Information Service - Broadcast) 資料。
- (3) 接收 FIS-B (Flight Information Service - Broadcast) 資料。
- (4) 回報 GBT 狀態 (使用的 ASTERIX 種類尚未定案)。
- (5) GBT 配置 (configuration) 的查詢及回報 (使用的 ASTERIX 種類尚未定案)。

此外，GBT 必須支援 UAT 和 Mode S extended squitter 並且相容於下述標準：

- (1) ADS-B MASPS (RTCA DO-242 Rev A)。
- (2) UAT MOPS (RTCA DO-未決定)。
- (3) Mode S 1090 MHz extended squitter MOPS (RTCA DO-260 Rev A)。

而 Micro-EARTS 修改成具備同時處理雷達、ADS-A、及 ADS-B 資料的功能是從 1999 年 1 月開始，並且在 2000 年 4 月開始作測試，在經過測試之後發現了一些問題：

(1) 航電方面問題：

- ① 回報的位置錯誤：曾經檢查是否為附近高功率氣象雷達干擾所造成的錯誤，經過檢查發現是航電設備的軟體有瑕疵，已被快速修正。
- ② 不可靠(unreliable)的「導航不確定性分類-位置」(NUC-Ps, Navigation Uncertainty Category - Position) 回報：「導航不確定性分類-位置」是被用來判斷飛機回報的位置其完整性(integrity)及精確性(accuracy)是否可接受。測試時發現所收到的「導航不確定性分類-位置」都是 0。由於 Micro-EARTS 所設定的接受值是 4(誤差範圍在 0.3 到 0.99 哩之內[4-11])，因此這些回報都被 Micro-EARTS 拒絕接受。
- ③ ICAO 航機代碼不對：測試時原來是允許飛機使用匿名模式(anonymous mode)，就像是使用電碼 1200 一樣，讓飛機航電設備自己隨機產生一組 ICAO 航機代碼(不必是飛機真實的 ICAO 航機代碼)，但是許多航機所回報的 ICAO 航機代碼都是 000001，造成 Micro-EARTS 誤將不同航機所回報的位置當成是同一架航機所回報的位置，產生錯誤的軌跡(track)，Micro-EARTS 已修改其內部的追蹤功能，使用更嚴格的軌跡關聯條件來克服這個問題。

(2) 路基收發器 (GBT) 的問題：

- ① 路基收發器位置容忍度(tolerance)的修改：將原來位置誤差容忍度由 $\pm 1$ 秒修改成：緯度誤差在 $\pm 0.1$ 秒，經度誤差在 $\pm 0.2$ 秒，若位置誤差超過容忍度，管制員會收到警示。
- ② 位置高度無效(invalid): 在 Bethel 附近飛機回報的高度常超過 100000 呎，經過檢查發現 GBT 在未收到飛機高度回報時會自行將 1 的字串插入高度欄位中，造成高度的值過高。

(3) Micro-EARTS 的問題：

- ① 目標物合併(target merge)問題：有時會將不適當的 ADS-B 軌跡與雷達軌跡合併在一起，原因是缺乏航機電碼與 ICAO 航機代碼交互參考的資訊，解決的方式是在合併 ADS-B 軌跡與雷達軌跡時，使用比合併雷達軌跡與雷達軌跡更嚴謹的條件(因為合併雷達軌跡與雷達軌跡時，它們有共同的電碼做參考)。
- ② 軌跡互換(track swapping)問題：當兩個 ADS-B 軌跡距離小於 3 哩

時會出現資料區塊互換的問題，原因是 ADS-B 與飛行資料做關聯時有誤，解決的方式是採用更嚴格的關聯條件，並增加新的關聯判斷條件。

這些問題經過分析與解決之後，FAA 航管程序部門（Air Traffic Procedures office）發布了 ADS-B 航管程序，並且在 2000 年 12 月 31 日在 Bethel 地區正式以 ADS-B 監視資料提供航機 IFR（Instrument Flight Rule）條件下類似雷達的服務（Radar like service）。

至於澳洲方面，基於經濟效益的考量，它們所實作的 ADS-B 是 B1 等級（亦即只有廣播的功能），其他等級像 A0, A1, A2, A3[4-11]因成本太高不適合一般航行器（GA，General Aviation），因此不做考慮；另外，與美國 Capstone 計劃不同的是座艙顯示功能（CDTI，Cockpit Display Traffic Information）澳洲只列為選項（optional），並不強制要求；它們對於使用的資鏈鏈路也不做限定，因為這些在將來才會定案。不過它們要求[4-65]：

- (1) ADS-B 地面接收站必須可以追蹤 120 哩以外，高度達 41000 呎裝有 ADS-B 航電設備的航機。
- (2) ADS-B 地面接收站的平均使用時間(MTBF, Mean Time Between Failure) 必須是 50000 小時（亦即 5.7 年）以上。
- (3) 得標廠商必須提供 10000 個 ADS-B 航電設備給測試的 GA 航機使用。

這些條件都是因應澳洲廣大的地理環境，和為數不少的 GA 航機所訂定的。為了簡化測試並且不對現行航管系統的雷達軌跡追蹤功能造成影響，澳洲在修改其航管系統 TAAATS 時，並不做多重監視資料融合。TAAATS 在修改時，其原則及策略整理如下：

- (1) 從地面接收站接收的 ADS-B 訊息必須是 ASTERIX CAT21 格式，
- (2) 不同軌跡顯示的先後順序如下所示：
  - ① 如果有 SSR（Secondary Surveillance Radar）軌跡，則先顯示 SSR 軌跡，請參閱圖 4-63。
  - ② 如果沒有 SSR 軌跡，則顯示 ADS-B 軌跡，請參閱圖 4-64。
  - ③ 如果沒有 ADS-B 軌跡，則顯示 ADS-A 軌跡，請參閱圖 4-65。
  - ④ 如果沒有 ADS-A 軌跡，則顯示飛行計劃中軌跡的預定位置，請參閱圖 4-66。

- (3) 在每個席位，管制員可以選定 (select) 或取消選定 (deselect) 顯示 ADS-B 軌跡。
- (4) 在關聯 ADS-B 軌跡時，使用 ICAO 24 位元的航機代碼來做關聯。
- (5) 收到的 ADS-B 資料其「導航不確定性分類-位置」(NUC-P) 值必須大於系統的設定值，否則 TAAATS 不使用此 ADS-B 回報做追蹤。
- (6) 偵測是否有多架航機回報相同的 ICAO 航機代碼。
- (7) 自動監視 ADS-B 接收站，提供線上 (on-line) 端對端 (end-to-end) 的完整性 (integrity) 檢查。
- (8) TAAATS 的資料記錄、資料播放、資料蒐集與分析等功能必須可以處理 ADS-B 資料。
- (9) TAAATS 仍提供原來就有的安全性警式功能，例如：短程碰撞示警、最小安全高度示警、失去位置回報示警等等。

目前 TAAATS 航管系統是在接近 Burnett 河口的 Bundaberg, Queensland 區域測試 ADS-B 功能，希望能提供類似雷達的服務，並提供航機 5 哩的隔離。

研究美國在 Capstone 的 Micro-EARTS 和澳洲的 TAAATS 航管系統之修改經驗，可以整理出規劃新一代航管系統時必須考慮的因素，以及未來可能會碰到的問題。利用國外這些經驗不僅可以縮短我國系統的建置時程，更可以節省不少的成本。



資料來源：[4-31]

圖 4-63: 澳洲 TAAATS 航管系統的雷達軌跡示意圖



資料來源：[4-31]

圖 4-64: 澳洲 TAAATS 航管系統的 ADS-B 軌跡示意圖



資料來源：[4-31]

圖 4-65: 澳洲 TAAATS 航管系統的 ADS-A 軌跡示意圖



資料來源：[4-31]

圖 4-66: 澳洲 TAAATS 航管系統的飛行計劃軌跡示意圖

## 4.4 結論

監視基礎建設之技術趨勢根據航機各飛航階段而會有所不同，其主要趨勢請參閱圖 4-67。其中 ADS-A 使用的資料鏈路包括了：衛星通訊及 VHF，ADS-B 使用的資料鏈路則包括了模式 S 廣播、UAT、VDL-4。這些新興的監視技術都將使用新一代的監視資料格式 ASTERIX。針對這些國際發展趨勢配合台灣本身的需求，下述是適合台灣的建置策略：

1. 在未來 5-10 年內不需建置新的航路雷達。
2. 規劃馬公終端雷達退役的解決方案。
3. 加強對重要機場活動區域的監視能力。
4. 現階段無需使用 ADS-A 技術對航路上的飛機進行監視，但應具備 ADS-A 監視技術能力以作為建立通過台北飛航情報區未來航空導航系統(FANS)航路之基礎設施，以便與國際接軌。
5. 規劃 FANS 航路以及訂定作業程序，並且進行正式 ADS/CPDLC 試驗以蒐集資料。
6. 持續研究 ADS-B 技術發展方向以及相關的國際計劃。
7. 規劃未來新一代具雷達、ADS-A、ADS-B 資料融合功能之航管系統。

飛航階段	目前航空監視系統	下一代航空監視系統
越洋	• 高頻語音位置回報(飛行員每隔四十五分鐘至一小時回報一次)	• 自動回報監視系統
航路	• 航路初級監視雷達 • 單脈衝次級監視雷達	• 廣播自動回報監視系統
終端	• 終端初級監視雷達 • 單脈衝次級監視雷達	
起降	• 機場地面初級監視雷達 • 多接收站相依監視系統	
機場地面		

圖 4-67: 監視基礎建設之技術趨勢

## 4.5 參考文獻

- [4-1] Michael S. Nolan, “Fundamentals of Air Traffic Control,” pp. 294-379, 3<sup>rd</sup> edition 1999.
- [4-2] Merrill L. Skolnik, “Introduction to Radar systems,” pp. 1-27, 3<sup>rd</sup> edition 2001.
- [4-3] Surveillance Development Road Map, by EuroControl, 11 June 2001
- [4-4] John L. Baker, Vincent A. Orlando, Wesley B. Link, and William G. Collins, “Mode S system Design and architecture,” pp. 1684-1694, Vol. 77, No. 11, Nov. 1989, Proceeding of the IEEE
- [4-5] EuroControl standard documents for surveillance data exchange Part 1, All Purpose Structured EuroControl Surveillance Information Exchange (ASTERIX)
- [4-6] Siva Sivananthan, “Improving Performance of Surveillance Systems Using ASTERIX,” pp. 61-65, 46<sup>th</sup> annual air traffic control association conference proceedings, Nov 2001
- [4-7] William Reynish, “multilateration become mainstream?,” pp. 20-24, avionics magazine June 2001
- [4-8] Wu-Ja Lin and Youn-Tih Fung, “Multi-Mode tracking and its design for ADS-A,” CIROC/CSCA/AASRC Joint Conference 2001
- [4-9] ARINC Inc., Automatic dependent surveillance(ADS) ARINC 745-2, June 30, 1993
- [4-10] Johnny Nilsson, “Need for new technology,” pp. 52-55, *Air traffic technology international* 2002
- [4-11] RTCA Inc., Minimum aviation system performance standards for automatic dependent surveillance broadcast (MASPS for ADS-B), RTCA/DO-242
- [4-12] ADS-B TLAT, Technical Link Assessment Report, March 2001
- [4-13] RTCA, Joint government/Industry roadmap for free flight operational enhancements, August 1998, RTCA select Committee
- [4-14] National airspace system architecture version 4.0, pp. (16-1)-(16-12) Jan. 1999.
- [4-15] Laura A. Said, John Farr and John W. Loynes, “Longer life for radar,” pp. 84-87, *Air traffic technology international* 2002
- [4-16] Vincent Capezzuto, Stephen Manley, “ASDE-X: Doing the right thing,” pp. 6-11, 46<sup>th</sup> annual air traffic control association conference proceedings, Nov



2001

- [4-17] <http://www.sensis.com/docs/128/>
- [4-18] <http://www.faa.gov/safeflight21/intro/index.html>
- [4-19] <http://www.faa.gov/safeflight21/orv/overview/index.html>
- [4-20] Operational evaluation-1 final report, April 10, 2000, FAA safeflight 21 program
- [4-21] Operational evaluation-2 final report, August 13, 2001, FAA safeflight 21 program
- [4-22] Charlotte Adams, "Memphis: The future of surface," pp. 28-36, *avionics magazine* Oct. 2001
- [4-23] Joel Murdock, opEval-3 overview
- [4-24] Capstone Program Plan, DRAFT Version 3.0, 12 June 2001.
- [4-25] <http://www.alaska.faa.gov/capstone/>
- [4-26] <http://blinder.lfv.se/ans/card/nean.htm>
- [4-27] <http://www.vdlmode4.dk/neap/index.htm>
- [4-28] <http://www.nup.nu>
- [4-29] <http://blinder.lfv.se/ans/card/>
- [4-30] Johnny Nilsson, "VHF data links and ADS-B," The 6<sup>th</sup> CNS/ATM conference 2001
- [4-31] Greg Dunstone, "ADS-B down under," pp. 78-81, *Air traffic technology international* 2002
- [4-32] ADS forum, "Approaching ADS", pp. 22-25 *air traffic management November/December 2001*.
- [4-33] Kim O'Neil, "Russia: Implementing ATM surveillance based on ADS-B and VDL mode 4," The 6<sup>th</sup> CNS/ATM conference March 2001
- [4-34] China moves to modernize, pp. 6-7, *air traffic management November/December 2001*
- [4-35] <http://www.caac.gov.cn/Century/xbhl.htm>
- [4-36] China's civil network takes shape, pp. 18-19, *Jane's Airport Review* December 2001/January 2002
- [4-37] Air traffic services datalink application trial, Hong Kong aeronautical information service, 4 Sep 1997, Air traffic management division, civil aviation department, Hong Kong International airport
- [4-38] S. Takanohashi, "Results of FANS trial and ATNIPC in Japan," The 5th

CNS/ATM conference March 2000

- [4-39] 資訊工業策進會, pp. 10 台北飛行情報區 FANS 航路環境及程序研究報告草案”
- [4-40] 交通部民用航空局編著, 民航政策白皮書第一篇, 2000 年 1 月
- [4-41] Tony, CNS/ATM in Taipei FIR, proceeding of the 7<sup>th</sup> CNS/ATM International Conference, Taipei 2002
- [4-42] 交通部民用航空局, 台北飛航情報區飛航指南, 2002 年 2 月
- [4-43] 交通部民用航空局, CNS/ATM 發展主計劃書, 1999 年 6 月
- [4-44] 交通部民用航空局, 台北飛航情報區通訊導航監視與飛航管理發展建置計劃書 (第一次修定), 2002 年 3 月
- [4-45] 交通部民用航空局, CNS/ATM 十五年規劃案台北飛航情報區飛航管制系統作業及需求現況分析報告, 1998 年 10 月
- [4-46] 交通部民用航空局, 交通部民用航空局飛安公告 ASB No: 89/013/ O
- [4-47] 交通部民用航空局, 交通部民用航空局飛安公告 ASB No: 91/021/ O
- [4-48] <http://www.cksairport.gov.tw/c/a2.htm>
- [4-49] <http://www.caa.gov.tw/account/1997/DY05-91-3.xls/>
- [4-50] <http://www.tsc.com/SETS/3Asecurity.htm/>
- [4-51] [http://www.htc.honeywell.com/projects/aatt/html/tech\\_proc\\_tp5-3.html/](http://www.htc.honeywell.com/projects/aatt/html/tech_proc_tp5-3.html/)
- [4-52] Todd Donovan and Antonio Lo Brutto, “Airport surface management,” pp. 44-47, air traffic technology international 2002
- [4-53] Enrico Piazza and Hogne Sperre, “European approach to increasing airport capacity and efficiency: injecting new technology,” pp.17-21, 46<sup>th</sup> Annual Air Traffic Control Association Conference Proceedings, Washington, DC, USA, Fall 2001
- [4-54] <http://www.mlit.go.jp/koku/ats/e/serv/airs/01.html>
- [4-55] 中國民航局 CAAC, 中國西部空中交通服務資料鏈路 AIP supplement
- [4-56] <http://www.info.gov.hk/cad/images/f9.jpg/>
- [4-57] 日本民航局 JCAB, air traffic services data link trial in the oceanic control area of the Tokyo FIR, 24 Sep, 1998.
- [4-58] <http://www.mlit.go.jp/koku/ats/e/serv/airs/01.html/>
- [4-59] <http://www.mlit.go.jp/koku/ats/e/serv/airs/02.html/>
- [4-60] 香港民航處, AIP Hong Kong Part 2 – en-route(ENR), Nov. 2001

- [4-61] International Civil Aviation Organization, Basic air navigation plan – Asia and Pacific regions, Doc 9673 first edition, 2001
- [4-62] David Jensen, “ADS-B progress and the proposed rule,” pp. 21-25, avionics magazine, March 2002
- [4-63] Jack Neuberger, “Real world experience implementing ADS-B in the NAS,” pp.71-75, 46<sup>th</sup> Annual Air Traffic Control Association Conference Proceedings, Washington, DC USA, Fall 2001
- [4-64] FAA, Capstone Project – Alaska region request for information ( RFI ) , April 18, 2002
- [4-65] Adrian Gerold, “ADS-B for Australia,” pp. 26-28, Avionics magazine, August 2001

