

新一代數位無線電系統在臺北捷運之應用

王肇興

摘要

既有台北捷運無線電系統為一雙向、調頻、UHF 頻段、中央控制式傳統無線電系統，提供捷運路網控制中心與列車或攜帶手機之捷運人員通訊，傳統無線電系統基本上會碰到幾個問題：頻道容易阻塞而沒效率、一個頻道故障時功能即受影響、沒有私密性等等。目前無線電系統之發展已邁向數位式無線電系統，數位式無線電系統訊號品質更佳，無上述之缺點，可同時傳輸接收語音及數據訊號，可加密使有保密功能，更能彈性運用。所以臺北捷運系統開始全面轉換為 TETRA 數位無線電系統。

本文章主要介紹 TETRA 數位無線電系統，TETRA 為歐洲電信標準協會 (ETSI) 於 1990 年開始發展訂定之標準，現在除歐洲外已廣為世界各國所用。TETRA 數位無線電系統採分時多工擷取之方式，頻寬為 25 KHz，單一頻寬可有四個通訊頻道，每一個通訊頻道可自由傳輸語音或數據資訊，每一通訊頻道之傳輸最高可達 7.2 Kbits/sec，TETRA 系統調變採 Pi/4 QPSK 方式，編碼採 ACELP 方式。臺北捷運自新莊、蘆洲線開始無線電系統即以 TETRA 數位無線電系統規設，並全面更新既有營運路線之傳統式無線電系統。

關鍵詞：調頻、分時多工、調變

The Current Trend of the Digital Radio System on the Taipei MRT

Tsao-Sing Wang

The existing radio system for the Taipei Rapid Transit System is a traditional two-way, frequency modulated, UHF, and centrally controlled radio system. The system permits central control to communicate with trains and hand-held radios via a half-duplex operation in the Transit Network. Basically, the traditional radio system has some problems: the audio channels are easy to block and are not efficient; functionality will be affected when any one channel fails; it is also easy to listen to so it is not secure and so on. Radio systems are moving towards the use of digital systems in recent times. Digital radio systems have better signal quality, none of the above shortcomings, are capable of transmitting both audio and data signals, are encryption capable and have elasticity of demand. Because of these benefits, the Taipei Rapid Transit System radio system is being updated to the TETRA radio system.

The purpose of this article is to introduce the TETRA digital radio system. TETRA is a standard from the European Telecommunications Standards Institute (ETSI) since 1990. In addition to Europe, this system standard has been widely used all around the world. The TETRA radio system adopts time division multiple access, 25 kHz carrier spacing, 4 communication channels per 25 kHz carrier, and voice or data can be transmitted freely by any one channel. The maximum bit rate for each channel can reach 7.2 Kbits/sec. The modulation for the TETRA system adopts Pi/4 QPSK, encoded by ACELP. The radio system for the Taipei Rapid Transit System will be TETRA digital radio system beginning with the Hsinchuang and Luchou lines, and the old traditional radio system will be changed and updated.

Key Words : frequency modulated, time division multiple access, modulation

一、前言

既有台北捷運無線電系統含木柵、淡水、新店、中和、小碧潭站、南港、板橋及土城線等，為一雙向、調頻、UHF 頻段、中央控制式傳統無線電系統，提供捷運路網控制中心與列車或攜帶手機之捷運人員通訊，以半雙工方式操作，可提供捷運路網控制中心與列車或攜帶手機之捷運人員通訊，可分為五個子系統，分別為列車無線電系統、機廠無線電系統、維修無線電系統、緊急維修無線電系統和消防無線電系統輔助設施等。

傳統無線電系統基本上會碰到幾個問題：頻道容易阻塞而沒效率、一個頻道故障時功能即受影響、沒有私密性等等。所以既有列車無線電系統即須兩個頻道供其使用，分別為正常頻道和緊急頻道，當發生緊急事情時，而正常頻道佔線，即可使用緊急頻道；緊急維修無線電系統係供警衛人員巡邏或救災時通訊聯絡用，關係到生命安全，十分重要，故系統設計使用維修無線電系統之頻道為其備用頻道，以保持通暢之通訊。

隨時代進步，無線電系統就發展出中繼式無線電系統，中繼式無線電系統做法為將通訊需求平均分配於可用的頻道上，相較於傳統系統大大地降低了等待時間，頻道的使用較有彈性，也減少一個頻道故障將嚴重影響其功能之衝擊，且只有同一通話群組用戶才會被指定到相同頻道，沒有其它用戶會共用此頻道，擁有群組私密性。

中繼式無線電系統提供較好之功能，解決了傳統無線電之困擾，美洲使用之標準以美國通訊安全協會所制定之 APCO-16 為準，歐洲國家使用之系統主要有三種，分別為英國的 MPT-1327、瑞典的 Mobitex 與法國的 Radiocom 2000，其中 MPT-1327 為開放式，歐洲製造商及用戶可免費應用，是目前歐洲以及世界上最廣泛使用之標準。

目前無線電系統之發展已邁向數位式無線電系統，數位式無線電系統亦以中繼式方式運作，有中繼式無線電之優點，同時數位式無線電系統訊號品質更佳，可同時傳輸接收語音及數據訊號，可加密有保密功能，更能彈性運用。所以現在各國新建捷運路網無線電系統規劃方式，發現都有走向數位式無線電系統之趨勢，所以臺北捷運系統從新莊、蘆洲線開始已全面規設為數位無線電系統，同時更新既有路網無線電為數位式無線電系統。

二、數位無線電系統

目前無線電系統之發展已邁向數位式無線電系統，數位式無線電系統又可分為 FDMA 系統及 TDMA 系統二種潮流，FDMA 系統採頻率分割多工擷取之分式，以 APCO Project 25 (Association of Public Safety Communications Officers International) 較有名氣，符合北美 TIA 標準 (Telecommunications Industry Association)，美國 Motorola 公司為主要製造廠商，流行於北美洲。設置之規格如下：

頻寬	頻段	每一頻寬之頻道	調變	編碼
12.5KHz	136-174 MHz 400-500 MHz 800 MHz	1	QPSK-C	IMBE

另歐洲瑞典 Ericsson 公司發展之 EDACS (Enhanced Digital Access Communications System) 中繼式無線電系統，可提供語音、數位化語音及數據通信服務，擷取方式亦採 FDMA 方式。法國 Matra and AEG 發展 TETRA POL 之數位式無線電系統，擷取方式亦採 FDMA 方式，頻寬 12.5KHz，調變方式為 GMSK，頻帶 380 ~ 512MHz，數據傳輸速率每一通訊頻道為 8Kbps，流行於法國大眾運輸等相關產業。

TDMA 系統採分時多工擷取之方式，市面上較常見的有 DMCA (Japan Shared Radio Standard)、IDEN (Motorola Integrated Radio System) 和 TETRA (Proposed European Trunking Standard) 標準。設置之規格如下表：

系統	DMCA	TETRA	IDEN
頻段	1.5GHz	380-400 MHz 410-430 MHz 450-470 MHz 800Mhz	800MHz
頻寬	25 KHz	25 KHz	25 KHz
每一頻寬容許之通話頻道	6	4	6
調變	M16QAM	Pi/4 DQPSK	M16QAM
編碼	VSELP	ACELP	VSELP

另國際鐵路聯盟 (UIC, International Union Of Railways) 於 1992 年進行無線電新規格之討論，研討「歐洲整合鐵路無線電強化網路」(European Integrated Railway Radio Enhanced Network; EIRENE)，制定滿足歐洲鐵路行動通訊需求之無線電標準 GSM-R (Global System For Mobile-Railway)，GSM-R 數位無線電系統規格如下：「頻寬為 200KHz/8 Channel，調變方式為 GSMK，頻帶為 876 ~ 880MHz 和 921 ~ 925MHz」。本系統標準流行於歐洲建造之鐵路。

這幾種數位無線電之標準，目前以 TETRA 系統流行較廣，同時製造廠商也較多，規設採用 TETRA 系統已流行於世界各國捷運與鐵路，以亞洲為例：新加坡捷運東北線 (1998 年)、新加坡重運量捷運 SMRT (1998 年)、馬來西亞快速鐵路 (2000 年)、中國廣州地鐵 (2000 年)、中國廣九鐵路西線 (2000 年)、印度德里捷運 (2001 年)、中國北京輕軌系統 (2001 年) 等等均已規劃採用 TETRA 系統。所以臺北捷運無線電系統全面更新為數位化之系統亦採 TETRA 標準之無線電系統。

三、TETRA 數位無線電系統

TETRA 早期為 Trans European Trunked Radio System (泛歐中繼無線電系統) 之簡稱，歐洲電信標準協會 (ETSI) 於 1990 年開始發展訂定之標準，原本為整合歐洲大陸各國之無線電系統並共用無線電頻率，以有效運用無線電資源而發展出來之一套數位無線電標準，現在除歐洲外已廣為世界各國所用，現在 TETRA 變換為 Terrestrial Trunked Radio System 之簡稱。

TETRA 數位式無線電系統採分時多工擷取之方式，頻寬為 25 KHz，單一頻寬可有四個通訊頻道，每一個通訊頻道可自由傳輸語音或數據資訊，每一通訊頻道之傳輸最高可達 7.2 Kbits/sec，在 25KHz 頻寬下 (四個通訊頻道) 最高速率可達 28.8 Kbits/sec，第二代 TETRA 更定義較高速率之數據傳輸。TETRA 系統調變採 Pi/4 QPSK 方式，編碼採 ACELP 方式。

TETRA 數位式無線電系統定義之標準包含空中無線界面之標準 (AI, Air Interface，收機對基地台)、系統間界面之標準 (ISI, Inter-System Interface)、週邊設備界面間之標準 (PEI, Peripheral Equipment Interface)、直通模式操作 (DMO, Direct Mode Operation)、TETRA 語音編解碼、語音和數據傳輸標準 (V+D) 和相容度驗證測試等等。

TETRA 無線電系統為數位中繼式無線電系統，系統需一個控制頻道，通訊需求將平均分配於其他可用的頻道上。它有非常好之語音通訊品質，可迅速建立之通訊呼叫，可自由傳輸語音或數據資訊，可個別呼叫、群組呼叫、緊急呼叫，群組呼叫亦可設定不同之優先順序。

它可以全雙工模式轉接電話，亦有直接通話模式操作，可有保密功能，亦有網路管理系統監控整套系統運作等等。

直通電話模式有四種基本操作模式，分別為手機直通對講模式（Back-Back）、直通中繼模式（DMO Repeater）、直通監控雙重模式（Dual Watch）和異系統界接直通模式（DMO Gateway）等。手機直通對講模式為手機對手機直接通訊之操作模式；直通中繼模式為手機需透過 DMO 中繼設備可直接對另一手機通話之操作模式；直通監控雙重模式為系統無線通訊可透過手機對另一在系統涵蓋範圍外之手機通訊之操作模式，唯手機與手機需在各自天線互通範圍內；異系統界接直通模式為系統無線通訊可透過閘道器（Gateway）直接對另一手機通訊之操作模式。

TETRA 無線電系統安全保護措施包含無線電設備需經授權，當手機等無線電設備遺失時可使之失效；無線傳輸加密，有靜態加密鑰匙或動態加密鑰匙及終端設備至終端設備之加密支援等。

四、臺北捷運 TETRA 數位無線電系統

臺北捷運從新莊線、蘆洲線、內湖線和南港線東延段開始無線電系統改為符合 TETRA 標準之數位無線電系統，並且同時更新捷運路網既有營運之木柵線、淡水線、中和線、新店線、南港線、小南門線、板橋線、土城線和新店線小碧潭站等，施作無線電系統之下包廠商為新加坡電子公司，使用 OTE 公司之 TETRA 數位無線電系統及其設備。

臺北捷運數位無線電系統包含以下主要設備：

- 2 個位於行控中心的 TETRA 交換器（SCN-TX）（無線電訊號之交換設備）
- 5 個位於行控中心，與派遣臺伺服器界接的控制室伺服器（CRS）（無線電系統主設備與派遣臺主電腦連接之控制主電腦）
- 1 個位於行控中心，具備援設置的網路管理系統伺服器（NMS）（網路管理系統主電腦）
- 6 個位於行控中心及機廠的網路管理終端機（NMT）（網路管理系統操作臺）
- 1 個位於行控中心，具備援設置的派遣臺伺服器（派遣臺主電腦）
- 30 個位於機廠和行控中心的派遣臺（無線電控制人員之操控臺）
- 81 個位於特定車站和所有機廠的基地台（無線電收、發訊號設備）
- 138 個列車通訊系統的無線電車台機（置於列車上無線電收、發訊號設備）
- 998 個無線電手機
- 75 個位於特定車站的固定台（固定位置之無線電收、發訊號及人員操作設備）
- 24 個具車上轉接器的維修車無線電手機
- 語音及數據錄音設備
- 涵蓋整個台北捷運路網的天線系統
- 位於北投機廠，具備 2 個基地台、1 個網路管理終端機及 2 個派遣臺的訓練中心

臺北數位無線電系統架構如圖 1 所示，包含行控中心無線電主電腦、交換設備、派遣臺伺服器、網路管理系統、車站及機廠基地臺等，使用者與天線間為無線傳輸，從車站基地臺至行控中心間皆為有線傳輸。由於頻率資源非常有限，為要求可靠之無線電通訊，每一基地台車站提供二對無線頻率（Frequency Carriers）之架構設備，可相互備用。某些車站由於無

線頻道總體分配及考量話務量尚可，只能配置一個無線頻率，但要求提供一個基地台加上另一備用基地台（或一個收發信機加上另一備用收發信機）之架構設計本系統，備用基地台與主基地台間（或備用收發信機與主收發信機間）能自動切換。

控制中心設備室中無線電交換設備、無線電主電腦、網路管理電腦都有完全備份裝置且能自動切換。另無線電系統電源模組、基地台控制設備模組和交換設備模組都有備份設計，以提高系統之可靠度。

臺北捷運數位無線電系統可在下列各設施間進行無線電語音和數據雙向通訊：

- 高運量交九行控中心控制員和列車、高運量車站控制員、手機、維修車；
- 高運量車站控制員和手機、列車、維修車；
- 列車和列車、手機、維修車；
- 手機和列車、手機、維修車；
- 維修車和列車、手機、維修車；
- 中運量內湖行控中心和木柵機廠控制員和手機、維修車；
- 高運量機廠範圍內，機廠調度員與列車、手機、維修車；

臺北捷運數位無線電系統能支援 500 個通話群組，及分配 10000 個識別碼，系統提供之功能有以下之呼叫型態：

- 一個別呼叫；
- 通話群組呼叫；
- 多群組結合呼叫；
- 區域呼叫；
- 緊急呼叫；
- 電話轉接呼叫；
- 全體呼叫；

在基地臺與行控中心傳輸連線中斷時能自動切換至區域中繼運作，同時該涵蓋區域之使用者應能知道目前處於不正常狀況，區域中繼運作無線電系統至少要有下列之功能：

- 群組呼叫；
- 緊急呼叫；
- 群組遲後加入（Late Entry）；
- 區域故障偵測顯示；
- 連線回復時自動調整為整體系統中繼模式正常運作；

TETRA 數位無線電系統在安全上之考量，有緊急呼叫，緊急呼叫有最高優先之語音緊急呼叫和自動之緊急警訊，當所有無線電通訊頻道忙線而有緊急呼叫啓動時，系統能即時將最低優先等級之呼叫剔除，並分配其無線電通訊頻道供緊急呼叫使用。當無線電通話後，從一個基地臺涵蓋範圍至另一基地臺涵蓋範圍時，緊急呼叫能夠持續且會自動插斷另一區域較低優先順序之通話頻道，以使無線通訊不致中斷。

緊急呼叫外，臺北捷運數位無線電系統又有區域呼叫。數位無線電為群組呼叫之設計，如無區域呼叫之功能，很難對某一區域所有無線電使用者即時通訊。有區域呼叫之功能，緊急時可呼叫某區域不分群組所有使用者皆可使用無線電通話區域呼叫通話。

TETRA 數位無線電系統提供網路管理系統，能管理使用者、使用者群組和數位無線電整體網路之資料庫，網路管理系統且能執行登錄及有管理問題警示之功能，並有能力執行整體數位無線電系統設備偵測功能。提供捷運數位無線電系統設備階層式地圖，該階層式地圖包含控制設備、基地台、交換設備、電腦伺服器/終端設備之狀態和警示訊號。對於維修人員有很大助益，可迅速發現問題並解決之。

臺北捷運無線電系統之相關設備，可參考後附之圖說（圖 2~圖 9）。

五、結語

台北捷運系統自新莊、蘆洲線開始進行捷運無線電系統之更新工程，將傳統無線電系統更新為 TETRA 數位無線電系統，可有效解決目前台北捷運無線電之缺點，且通訊話質較好，頻道使用效率更佳，更能以個別區域運用頻道，還可以隨時傳遞數據資訊，又有網路管理系統，系統維護較佳，使臺北捷運無線電系統在營運上能發揮更大的效用，在維修上更能掌握系統特性而能即時修護，與世界之潮流同步。



圖 2、無線電基地台設備



圖 3、無線電基地台板件配置



圖 4、簡易型無線電車站控



圖 5、無線電系統行控中心主控設備

圖 6、無線電系統行控中心
主控設備電纜配置

圖 7、車臺機設備



圖 8、TETRA 無線電手機



圖 9、消防無線電輔助設施

參考文獻

1. 臺北市政府捷運工程局，CD315 土城線通訊系統標特別技規範，1999 年。
2. 臺北市政府捷運工程局，CU305 捷運數位無線電系統標特別技術規範，2002 年。
3. 新加坡電子公司（STEEL），CU305 標數位無線電系統細部設計文件。
4. ETSI，TETRA 數位無線電系統標準。