與國際鐵道之交通安全控制接軌—探討歐洲鐵路電子聯鎖系統之技術發展

關鍵詞：歐洲鐵路、號誌、聯鎖系統

台灣世曦工程顧問股份有限公司／鐵道工程部／正工程師／李坤享 ❶
台灣世曦工程顧問股份有限公司／電機工程部／正工程師／楊宗平 ❷
交通部鐵路改建工程局／機電組號誌科／科長／溫志輝 ❸

摘 要 ABSTRACT

鐵路系統中攸關安全為號誌系統，列車運行須依據號誌系統之指示運轉，若號誌出現不安全，將嚴重影響行車安全，甚至造成重大災害，而其中最核心部分是聯鎖系統，聯鎖系統為負責列車進路安全之確保，從早期人力操控「機械式聯鎖」，到半人工「電氣機械聯鎖」，進而採用全部電力控制「電氣聯鎖」，並發展至「機械鎖錠」及「繼電聯鎖」。

歐洲是世界上鐵路最發達地區，各國鐵路網密集，其聯鎖設備已經歷從繼電器聯鎖、電子聯鎖、再到電腦架構平台技術等。本文主要以歐洲國際知名號誌廠商，包括Bombardier 、Siemens及Thales等，探討目前歐洲鐵路電子聯鎖系統之技術發展，並對臺鐵局聯鎖系統之建置發展提出建議。

壹、鐵路號誌聯鎖系統 (1)(2)

聯鎖系統(Interlocking System)為悠關行車安全之核心設備，是確保號誌機、轉轍器及與其他號誌設備間，在操作程序具有一定邏輯。聯鎖關係包括〝號誌機與號誌機間〞、〝號誌機與轉轍器間〞、〝轉轍器與轉轍器間〞、〝列車與號誌機或轉轍器間〞等必要關聯或牽制關係，以達到列車進路安全之確保。從早期以人力操控「機械式聯鎖」，發展到半人工「電氣機械聯鎖」，進而採用全部電力控制「電氣聯鎖」；並將操作部分的「機械鎖錠」改為「繼電聯鎖」，以運用邏輯電路來完成聯鎖。隨著電子工業與電腦的發展， 1979年由瑞典首先啟用以電腦程式構成聯鎖邏輯電路之「電子聯鎖」，是開啟鐵道號誌新紀元的開始。

一、繼電聯鎖系統

站場聯鎖裝置中以「號誌機」、「轉轍器」、「軌道電路/計軸器」等相互間的聯鎖關係來編定聯鎖圖表，並製作成聯鎖邏輯電路，以繼電器接點組合成聯鎖電路，其安全電路必須使用安全繼電器，如圖1範例所示。號誌機房繼電器架及安全繼電器如圖2及圖3所示。

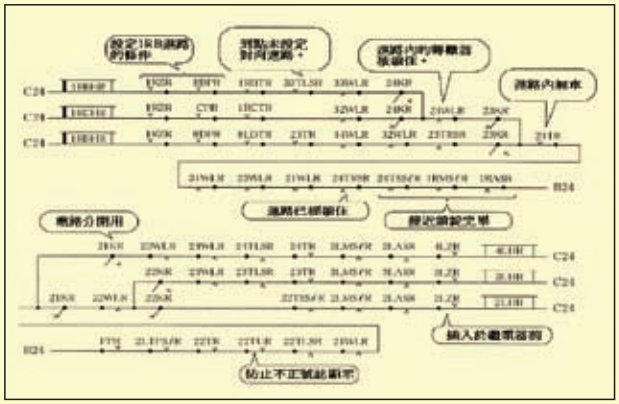

圖1 臺鐵局號誌系統基本架構圖

圖2 號誌機房繼電器架

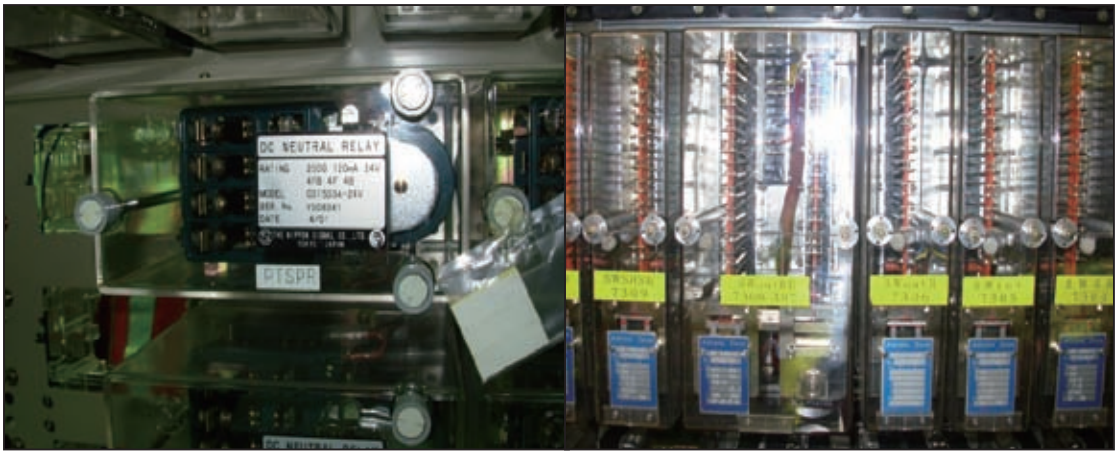

圖3 安全繼電器

二、電子聯鎖系統

電子聯鎖裝置和繼電器聯鎖裝置之聯鎖、鎖錠方式皆相同，電子聯鎖是以微處理器代替繼電器構成，操作程式是以繼電器聯鎖邏輯為基礎構成。並應符合多重化比較或多數決之方式，具完全之偵錯、警告及故障顯示功能，下列為採用電子聯鎖多重化或多數決之方式。

(一) 程式同步方式(圖4)

(二) 雙程式(圖5)

(三) 完全同步式(圖6)

(四) 機能程式及診斷程式(圖7)

三、電子聯鎖系統優缺點

電子聯鎖系統相對繼電聯鎖系統有許多優點，例如站場切換過程中，聯鎖條件可以在切換前周詳模擬測試，故其切換風險較低，電子聯鎖優缺點說明如表1。

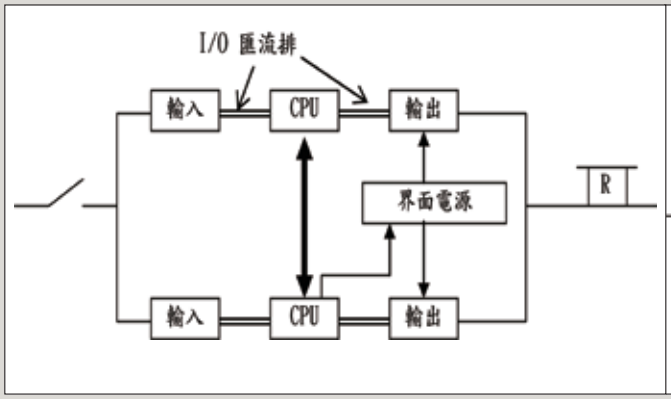

圖4 程式同步方式示意圖

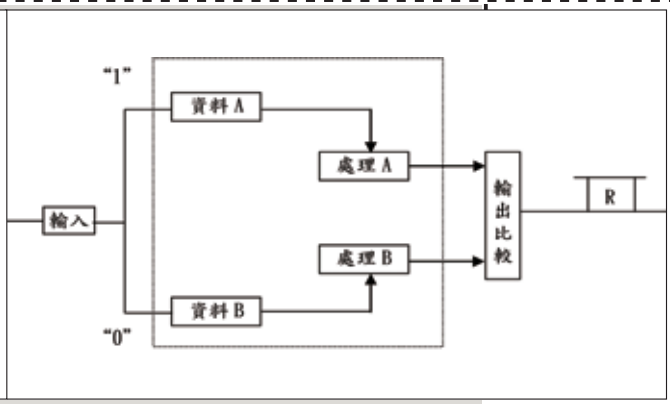

圖5 雙程式示意圖

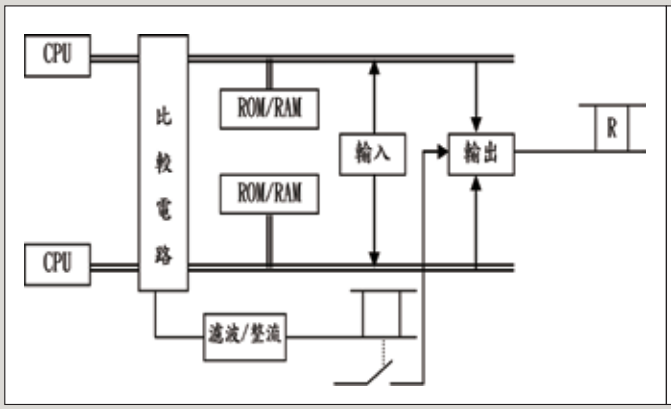

圖6 完全同步式示意圖

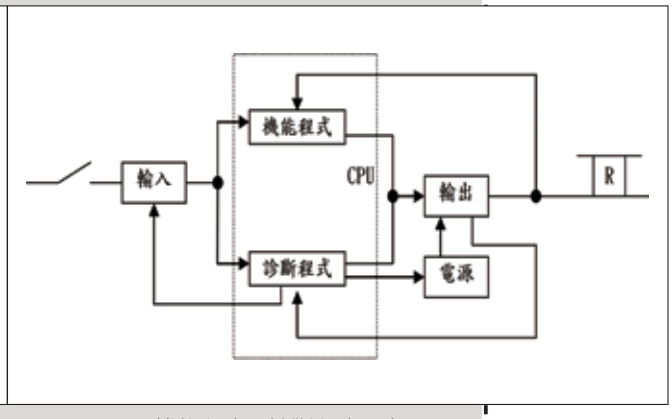

圖7 機能程式及診斷程式示意圖

表1 電子聯鎖系統優缺點比較表(相對繼電聯鎖系統)

項目	優　點	缺點
1	軟體約佔系統的70%。	系統軟體及應用硬體技術較無法掌握。
2	硬體及系統軟體可量產(標準化)。	技術轉移不易。
3	雙重化，不易當機。	當機時，全站停止工作。
4	空間小、安裝快、站場變更時聯鎖部分改配線很少。	測試及修改不易。
5	與其他電子系統介接容易。	各廠家的原理及機構各不相同，互換性很差。
6	具「事件紀錄」功能，方便事後追查及分析統計。	傳送系統不穩定時，影響機能很大。
7	電纜由傳送系統取代。	
8	可增加附屬功能(如：列車追蹤、自動進路、設備監視等)。	
9	可經網路遠端查修。	
10	各站的硬體設備大致相同，站場佈置變更時，只需調整軟體部分，並可事先測試，縮短切換時間。	
11	保養簡化為「故障診斷」及「設備抽換」。	

貳、臺鐵局之聯鎖系統

一、臺鐵局聯鎖系統現況 (1) (2)

臺鐵局目前使用之聯鎖系統主要包含繼電聯鎖系統(Relay Interlocking System，RI)及電子聯鎖系統(Electronic Interlocking System，EI)，其兩者之基本鎖錠及查核條件均相同，都必須符合「故障自趨安全(Fail to Safe)」之原則。

臺鐵局目前每一站(有行車號誌或電動轉轍器等)都設有一套聯鎖裝置及至少有一間繼電器室(Relay House，RH)，將現場設備包括軌道電路、電動轉轍器、號誌機、計軸器、自動列車防護系統、站間閉塞裝置等資訊集中於繼電器室，做各種必要之相互聯動或牽制，以防止列車在場站內發生互撞、出軌等事故，即使是運轉操作人員錯誤指令，聯鎖裝置也不能發生不安全之動作。依供應商區分主要包含瑞典ABB、日本信號、京三信號、美國GRS等；依建置年代區分包含民國60年代之基隆至竹南段、民國70年代之彰化至屏東段、民國80年代之宜蘭線、山線、南迴線、民國90年代之北迴線及花東線等，有關臺鐵局聯鎖系統之植設分佈詳如圖8所示，聯鎖系統設備統計詳如表2所示。

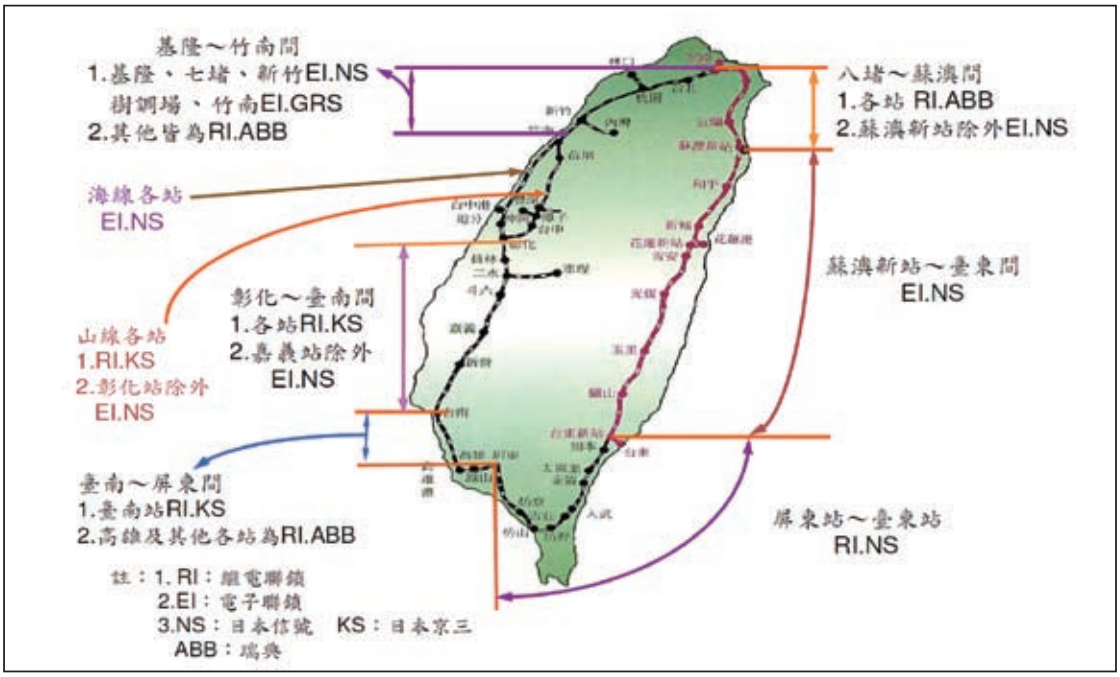

圖8 臺鐵局聯鎖系統植設分佈圖

表2 臺鐵局聯鎖系統設備統計表

聯鎖形式	製造商	數量
電子聯鎖(EI)	日信(Nippon Signal)	57
電子聯鎖(EI)	GRS(美商通用)	2
小計		59
繼電器聯鎖(RI)	ABB	50
繼電器聯鎖(RI)	京三(Kyosan)	40
繼電器聯鎖(RI)	日信(Nippon Signal)	7
小計		97
總計		156

臺鐵局大部分的聯鎖系統是在1980年和2010年啟用，其中台南是台灣最老舊的聯鎖系統（1971年建置）。相關聯鎖系統啟用時期如表3所示，啟用期間電纜和室外設備也與聯鎖系統同時進行系統更換。

二、臺鐵局聯鎖系統發展趨勢 (2)

電子聯鎖系統相對繼電聯鎖系統有許多優點，例如減少繼電器使用及聯鎖條件在切換前可周詳模擬測試，可降低切換風險，並具硬體及系統軟體(標準化)雙重化不易當機，同時所需安裝空間小安裝快，在站場變更時，其聯鎖部分改配線較少，另與其他電子系統介接容易及具事件紀錄功能，方便事後追查及分析統計等。鐵工局目前對於新設永久軌號誌系統均採電子聯鎖系統，臨時軌則視路線軌道變動程度，評估以採用新設電子聯鎖系統或以原設備擴充修改。

參、歐洲國際知名廠商有關電子聯鎖系統技術發展

一、Bombardier公司 (3) (4)

(一) 公司概述

Bombardier公司始創於1942年，為國際性交通運輸設備製造商公司，提供交通運輸解決方案，同時也是世界上最大的鐵路及軌道交通設備製造商之一。其提供臺鐵局列車自動防護系統(Automatic Train Protection，ATP)(Ebicab 2000)及臺北捷運文湖線之通訊式列車控制系統(Communication Based Train Control，CBTC)(CITYFLO 650)等產品。(圖9及圖10)

表3 聯鎖系統啟用時期表

啟用年份	數量
1971以前	0
1971-1980	1
1981-1990	90
1991-2000	8
2001-2010	57
總計	156

(二) EBI Lock 950 R4

為了符合對於運轉容量、可用率及獨立硬體平台的需求成長，Bombardier公司發展第四代以電腦為基礎的電子聯鎖系統(Fourth Generation of Computerized Interlocking System) - EBI Lock 950 R4。其主要運用在Bombardier公司INTERFLO（提供城際間主線之解決方案技術）及CITYFLO（提供都市間網路大眾運輸，如輕軌系統、捷運等之解決方案技術）系統之核

圖9 臺鐵局ATP系統地上感應器

圖10 臺北捷運文湖線系統

心，相對於傳統號誌系統標準而言，增加了運轉容量、彈性及高可用率等。

(三) CBI ESTW B950 R2

CBI ESTW B950 R2係Bombardier公司針對德國鐵路股份公司DB AG(Deutsche Bahn AG)所提供之主線聯鎖系統整體解決方案，主要包含3個階層，即控制階層(Disposition Level)、安全階層(Safety Level)、及道旁階層(Yard Level)。運用軟體界面將安全與基礎設施分開，適應各種型式之架構(集中式/分散式)，在近2年來已經有4套CBI系統商業運轉，3套新的CBI系統正在建置中，其系統架構如圖11所示，主要特性如下：

- 高可靠度，主要系統部分採用多重化。
- 軟體界面易於使用。
- 具擴展性。
- 採用模組化。
- 易於移轉(migration)，低生命週期成本。

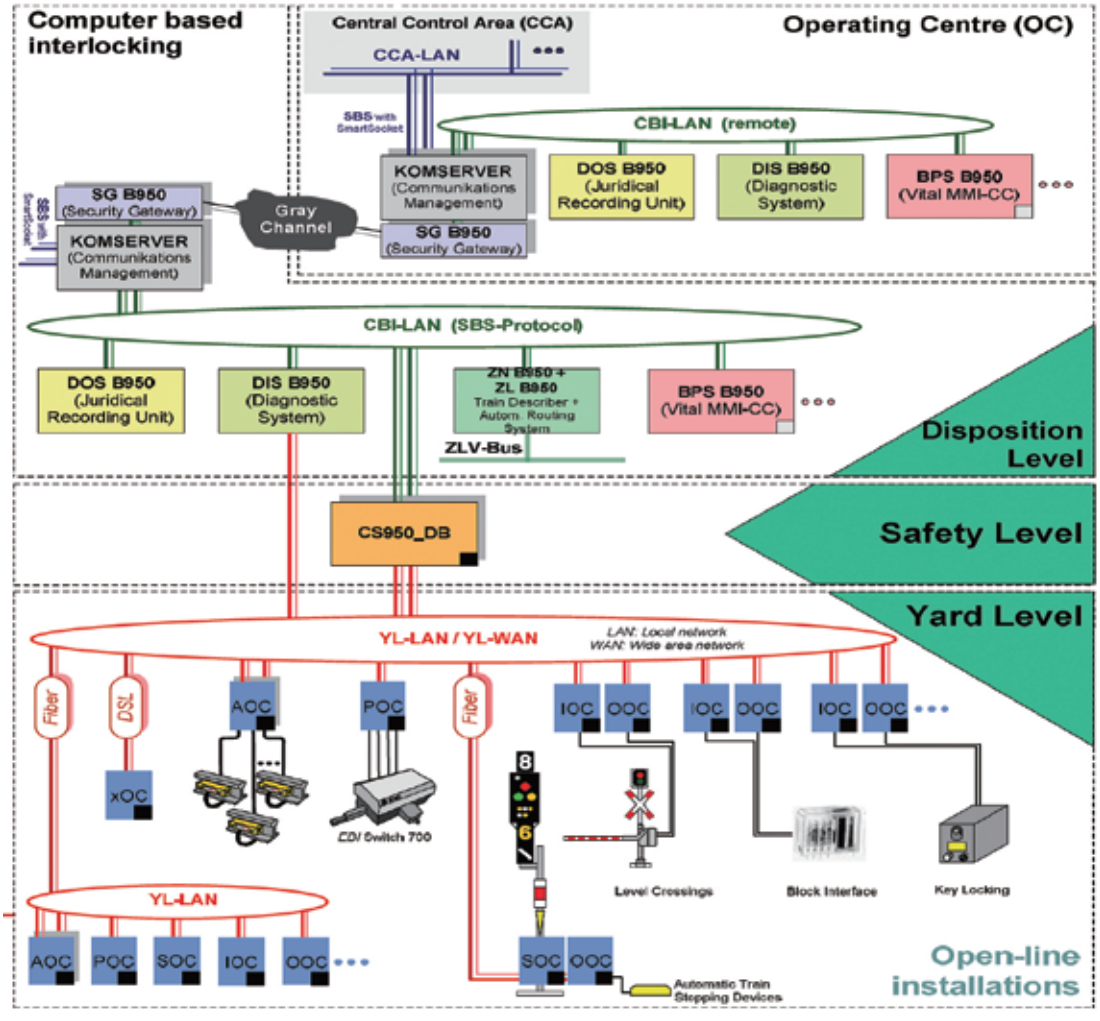

圖11 CBI ESTW B950 R2系統架構示意圖

- 減少基礎設施及電纜。
- 自動化執行測試程序系統(Automated script based System)/安全測試。

1. 控制階層(Disposition Level)

(1) 每個次系統採用伺服器分散式系統。

(2) 相關系統採用多重化以提高可靠度。

(3) 採用高可靠度基礎之商規電腦技術伺服器(COTS Server)元件。

2. 安全階層(Safety Level)

(1) 採用以商規電腦技術為基礎之聯鎖平臺(EBI Lock 950 R4)。

(2) 以乙太網路通訊方式連接所有系統模組。

(3) 已有多數系統已投入商業運轉(如德國、荷蘭、西班牙、義大利等)。

3. 道旁階層(Yard Level)

(1) 採用安全物件控制器(Safe Object Controller)控制道旁元件，其可以選擇集中設置於號誌機房或分散設置於道旁物件旁。

(2) 每一道旁元件採用2oo2(2-out-of-2)系統。

(3) 廣泛的工作溫度範圍(-20℃~70℃)。

(4) 透過光纖(Optical Fiber)以乙太網路連接道旁設備元件。

二、Siemens公司 (5)

(一) 公司概述

西門子運輸是全球主要的軌道工業供應商，其所屬部門及工廠設計生產軌道車輛已有百年以上的歷史。西門子運輸業務範圍遍佈各種捷運、區域鐵路、長途幹線及高速鐵路系統，不但專業範圍完整，並且因此成為單一統籌之供應商及系統整合之專業廠家。

西門子曾參與臺鐵及台灣高速鐵路之業務服務，也是台北捷運系統之主要供應商之一，提供台北捷運數條路網之供電、監控、機廠設備及電聯車等多項重要服務。同時亦負責高雄市紅、橘兩線的興建工程，包括機電部分之專案管理及供應機電核心系統，含電聯車、號誌、直流供電等。

(二) Simis W

Simis為Siemens電子聯鎖系統之安全原則(Safety Principle)，自1982年應用於Siemens之電子聯鎖產品，迄今Simis目前發展至Simis W，其以圖示化的聯鎖(Geographical Interlocking)為原則，基本架構及典型組合分別如圖12及13所示。

(三) Simis W圖示化聯鎖原則

Simis W圖示化聯鎖原則示意如圖14所示，其主要特性如下：

1. 聯鎖圖表變得簡化，因依據計畫完成物件連線圖後，大部分邏輯資訊已在每個物件中。

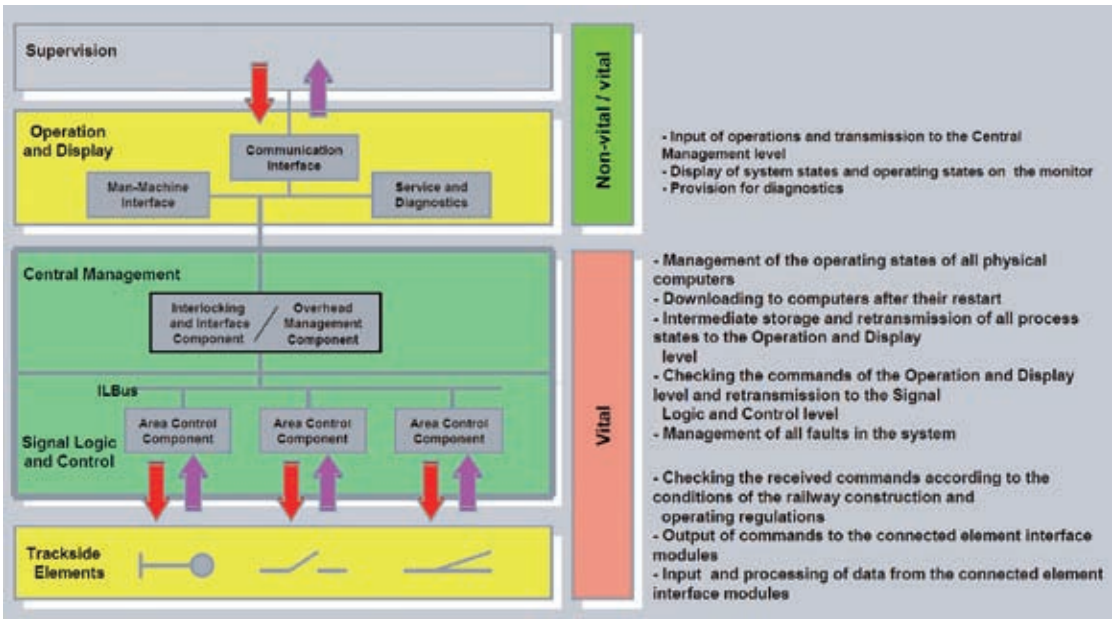

圖12 Simis W基本架構圖

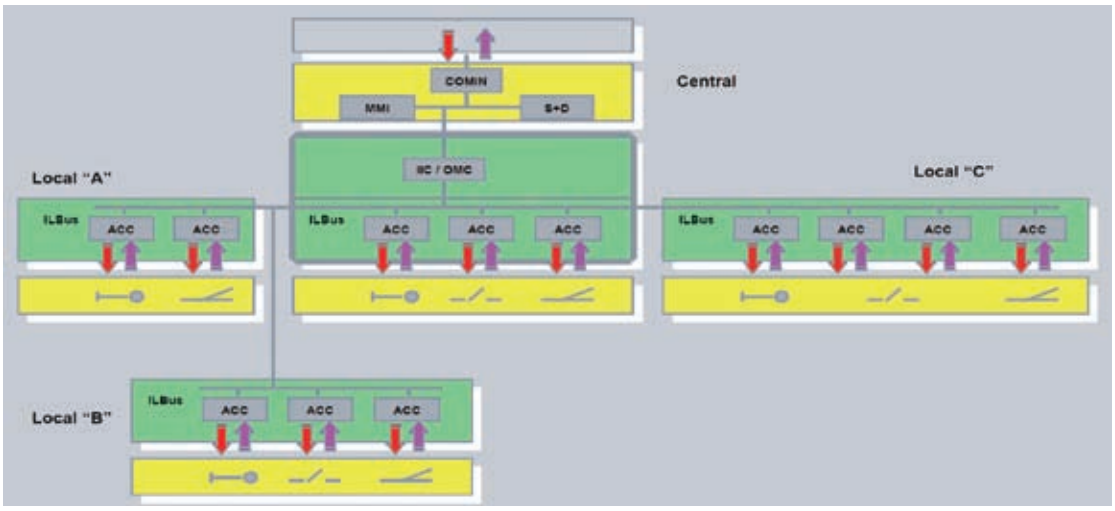

圖13 Simis W典型組合圖

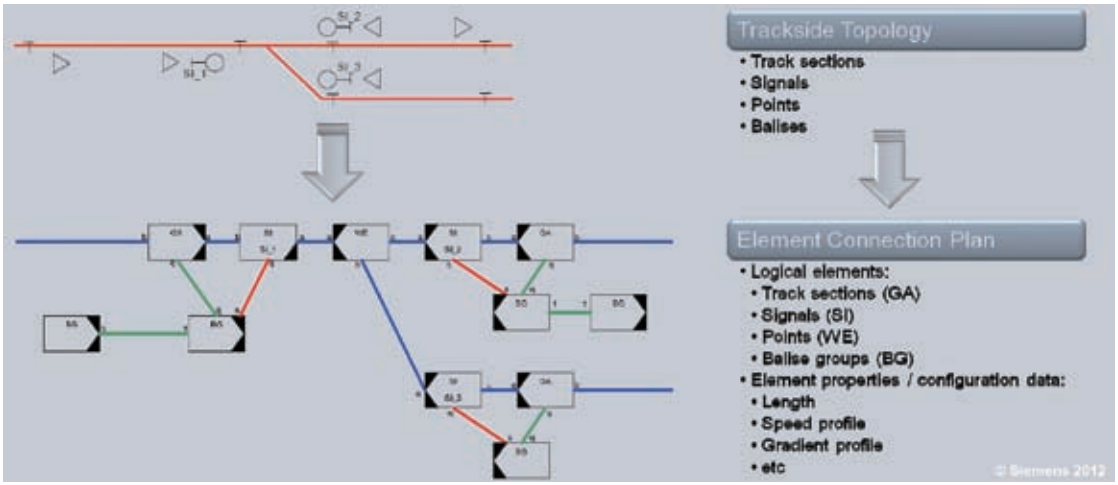

圖14 Simis W物件連線概念示意圖

2. 圖示化之設計使得資料設計錯誤減少，讓設計及測試更為容易。

3. 所有站場可能之進路，可由進路產生器(Route Generator)自動產生。

4. 架構支援分散式處理(Distributed Processing)，僅增加運算電腦之數量，即可以單一聯鎖核心控制大規模之站場範圍。

三、Thales公司 (6)

(一) 公司概述

法國Thales集團為知名國際電子和系統服務公司，主要業務包括航太、國防科技、交通運輸及安全系統。在鐵路系統提供電子聯鎖設備、ETCS設備、車載設備、計軸器設備、電動轉轍器、安全繼電器等產品，提供世界各鐵路系統，Thales亦提供台灣鐵路系統相關設備，如臺鐵局之列車位置偵測裝置-計軸器。

(二) Thales電子聯鎖系統設備之優點

1. 具有23年號誌電子聯鎖設計經驗。

2. Thales L90 5電子聯鎖設備，目前安裝於9個國家329個車站，包括：8,425個轉轍器、8,218號誌設備和12,266軌道區間。

3. 最高的可行性和可靠性。

4. 對於集中式聯鎖和分散式聯鎖有高彈性和靈活的概念。

5. 以既有設備的標準通信協定為基礎。

(三) ESTW L90 5

ESTW L90 5為Thales之電子聯鎖系統，一套電子聯鎖設備大約可接800個Elements、25套之FEC (Field Element Control)和6套ACE(Axle Counter Evaluator)；設備如圖15，簡介如下：

1. 設備採雙電源、雙路由器設計。

2. 資料紀錄器(Data Logger)。

3. 聯鎖設備電路板(IM)，使用2oo3的設備架構，提供Fail to Safe 的保護機制，所有資料皆儲存在Memory Card 上，當卡板故障時，只需更換卡板，再將記憶卡插入即可，不須再花時間去重新設定。

4. 現場設備控制單元(FEC)，此部分可安裝於電子聯鎖設備上或安裝於現場，包括主控卡板、號誌設備控制卡板、轉轍器控制卡板和界面控制卡板。

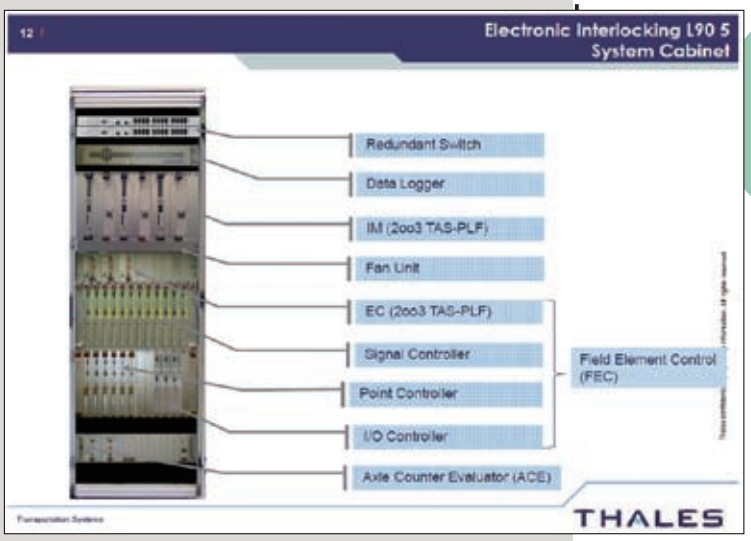

圖15 ESTW L90 5電子聯鎖設備

5. 計軸器控制卡板。

6. IP 界面和其他(3rd Party)產品介接。

伍、結論與建議

一、結論

歐洲號誌聯鎖系統已朝電子聯鎖系統發展及減少繼電器之使用。並以電腦架構(computer-based interlocking)平台為基礎，透過物件控制器直接控制驅動道旁元件(如號誌機、電動轉轍器等)，並可運用單一聯鎖電腦，同時控制許多站場元件和控制站間路線(中途閉塞)，以提高容量、可靠度、維修度、安全性及使用彈性等。

通訊傳輸界面多採光纖為骨幹(Backbone)，外部界面為多重化之TCP/IP乙太網路(Ethernet)通訊，以提高其擴展性、可靠度與可用度。

電子聯鎖系統可批次自動執行大量繁多之聯鎖邏輯安全測試項目，亦可手動進行測試，可節省人力並縮短測試之時間。

集中式(Centralized)電子聯鎖系統可將沿線範圍內物件集中於一聯鎖系統控制，並可減少設備建置與維修成本，惟比分散式(ditributed)聯鎖系統建置需有繁複測試作業，時間與成本也相對較高。

二、建議

未來國內可考量以歐洲電子聯鎖系統之電腦架構(computer-based interlocking)平台基礎，透過站場物件控制器控制站場元件及站間路線(中途閉塞)，以降低建置及維修成本，提高可靠度、維修度、安全性、容量及使用彈性等。

目前臺鐵局聯鎖系統通訊傳輸之骨幹仍以銅纜為主，建議可以參考歐洲之經驗，採用光纖為骨幹(Backbone)，外部界面採多重化之TCP/IP乙太網路(Ethernet)通訊界面，以具多重化(redundancy)。並以TCP/IP乙太網路(Ethernet)作為外部通訊界面，以提高其擴展性、可靠度與可用度。另可導入自動執行測試技術，以節省人力並縮短測試之時間；並就工程範圍之特性審慎評估其效益再決定採用集中式或分散式方式來建置電子聯鎖系統。

參考文獻

1. 號誌系統升級可行性評估期初報告，台灣世曦公司，台北(2011)。
2. 號誌系統設計準則，鐵路改建工程局，台北(2012)。
3. 「Rail Control Solutions」簡報資料，Bombardier公司，德國(2012)。
4. 「EBI Lock 950 R4 - general presentation」簡報資料，Bombardier公司，德國(2012)。
5. 「Electronic Interlocking」簡報資料，Siemens公司，德國(2012)。
6. 「Thales Interlocking Systems」簡報資料，Thales公司，德國(2012)。