

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

歐洲 RFID 參訪

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2217-E-009-004-

執行期間：94年08月01日至94年09月30日

執行單位：國立交通大學電子工程學系暨電子研究所

計畫主持人：吳介琮

計畫參與人員：吳文中，陳俊良，洪子聖，吳介琮

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 10 月 4 日

RFID 歐洲參訪報告

吳文中 台灣大學工程科學系
洪子聖 中山大學電機系

陳俊良 東華大學資訊工程系
吳介琮 交通大學電子工程系

2005-09-29

1. 前言

RFID (Radio-Frequency Identification, 射頻識別) 就是利用無線電波讀取識別內容的系統。基本上它類似條碼識別 (Barcode) 系統，識別資料及附加內容則儲存於晶片中，晶片可附著於特定物品或個人上。當物品或個人經過系統天線附近時，晶片中的資料能經由電磁波被直接讀取，而不須接觸晶片本身。這種非接觸式的識別方式能將物件的管理與追蹤完全自動化，而過程中人類可以完全不必介入。這個特性可以降低商品供應鏈管理的成本，並且能產生新的商業模式。此外如果儲存的資料牽涉到個人隱私，此類系統又會牽涉到社會、法律、道德等相關議題。無論如何，RFID 是一項可能在商業行為與社會層面上會有深遠影響的技術。

DigiTimes 電子時報 (2005/8/23) 報導，根據美國 ABI Research, Inc. 研究預估，RFID 市場年成長率約 36.5%，到 2008 年可達 30 億美元規模，北美佔 45%，亞太佔 23.8%。此外，美國 AMR Research, Inc. 研究亦預測，2010 年在各項應用帶動之下將會加速成長，2013 年可達 210 億美元，年成長率約 44.2%，商機十分龐大，預期 RFID 這項技術將會迅速應用於食、衣、住、行、育、樂等各種生活層面，影響相當廣泛。目前全球自動化設備大廠，如西門子、洛克威爾、歐姆龍等，都已針對不同領域的製造商提出 RFID 客製化服務，會根據不同客戶提出專案提案。西門子在 2004 年就與 Metro Group 合作，參與 Metro Group Future Store，網羅其他發展 RFID 的 IT 廠商，將 RFID 導入自動化控制。Wal-Mart 則被視為 RFID 的近期推動者，規定在 2005/1/1 起，所有供貨廠商的產品都要有 RFID 標籤。雖然 Wal-Mart 的要求只是將標籤貼在紙箱上，以便於清點庫存，進行倉儲管理。至於台灣方面，目前除了部分大型製造廠，如台積電、廣達、裕隆等有將 RFID 導入外，其他製造商較無消息傳出。在 8 月 16 日的行政院產業科技策略會議中，政務委員林逢慶宣布，將透過推動居家與公眾安全、貿易通道安全、航空旅運應用、食品流通履歷追蹤，以及健康與醫療應用等 5 項公領域 RFID 應用整合，進一步開發民間 RFID 旗艦應用計畫，形成異業整合發展的創新商業模式，帶動 RFID 整合性產品產業的開展。

RFID 應用之推廣主要起源於在 1999 年成立於麻省理工學院 (MIT) 之 Auto-ID Center。Auto-ID Center 已於 2003/10 結束運作，取而代之的是非營利的 EPCglobal 公司來推動 RFID 標準的制定與推廣，以及數個 Auto-ID Labs 來進行 RFID 相關之研究。Auto-ID Labs 乃是設立於學術機構之研究中心，目前有七個中心，分別位於奧地利之 University of Adelaide、英國之劍橋大學、中國之復旦大學、韓國之 Information and Communications University (ICU)、日本之 Keio Research Institute at SFC、美國之 MIT、以及瑞士之 University St. Gallen。至於在台灣方面，EPCglobal 有台灣分公司，目前則還沒有 Auto-ID Labs 之本地研究中心。工研院之系統中心有大型的 RFID 研究計畫，而台灣大學的工程科學系則有 RFID 的整合型計畫。

本參訪團規劃前往歐洲，訪問該地的研究機構及公司，了解歐洲目前在 RFID 方面的研究及技術發展現況。參訪計畫由工研院之系統中心承辦。團員包括經濟部商業司之陳秘順科長、工研院之袁啟亞組長及其他 5 位成員、陽明海運公司之葉陳輝協理、以及帝商科技公司之劉曾茂協理。至於學術界方面團員則有台灣大學工程科學系之吳文中教授、東華大學資訊工程系之陳俊良教授、中山大學電機系之洪子聖教授、交通大學電子工程系之吳介琮教授、以及國立高雄第一科技大學運籌管理系之林立千教授。參訪團於 8/20 日出發，訪問了荷蘭、德國、以及瑞士 3 國，並於 8/30 返抵台灣。

國科會指派的參訪團成員有吳文中教授、陳俊良教授、洪子聖教授、以及吳介琮教授。其主要任務是考察 RFID 的核心技術的研究發展現況。此次訪問的公司及研究機構大都是著重在 RFID 之應用，而較少著墨於 RFID 之硬體技術，如電波、天線、構裝、晶片等。這是此行較遺憾之處。本報告是參訪團國科會成員的參訪報告。

2. 參訪過程

本團於 8/20 日出發，訪問了荷蘭、德國、以及瑞士，並於 8/30 返抵台灣。

2.A. 荷蘭

八月二十一日與二十二日兩天在荷蘭的行程由西荷蘭商會 WFIA (West-Holland Foreign Investment Agency) 的 Charlene Lambert 女士負責安排並接待。二十一日一大早的行程是參觀荷蘭最大的花卉拍賣公司 Flora Holland 於 Naaldwijk 的花卉拍賣中心，為了能趕在一大早花卉交易的時間參觀，Charlene 於 6:45 便於飯店與代表團會合前往 Naaldwijk。7:30 抵達 Flora Holland 首先聽取簡報介紹 Flora Holland 以及其 Tracking and Tracing RF/RFID 的導入經驗。Flora Holland 是一由花農所組成的合作社組織，在荷蘭佔有率達 53%，在荷蘭五個不同地點設置花卉交易中心，2004 的交易額達到 19 億歐元，其交易不僅只在荷蘭國內，大部分拍賣的花卉銷往歐洲各國，也有部分的分卉來源進口自歐洲與非洲各個國家。Flora Holland 為了縮短交易過程中花卉的處理時間，在 2001 完成在所有的台車裝置 RFID，並在 2002 年開始導入 RFID 於花卉交易的物流處理流程。Flora Holland 在每一台車底下安裝 Passive-WORM tag (TI, 134kHz)，另每一拖車上也安裝一智慧卡的讀取機連結駕駛員的身分。拖車駕駛員將盛裝花卉的台車從等待區拖拉至買家分送處時。傳統的流程需先從台車上拿取條碼單，並在條碼讀取站前停下來，讀取條碼確認後在拖送至買家分送處。而加裝 RFID 後駕駛員只需將台車拖經過地上檢查點，不需要停下來，埋設於地上的 RFID reader 便會讀出台車的 ID 並在前方的顯示幕顯示讀取完成以及台車的目標配送位置。RFID 的導入除了可以加速配送的過程外。由於每一台車的位置與狀態被即時掌控，因此可以強化運籌管控，並將運籌管控自動化，減少紙本文件流文件控管中的使用。



台車下的 RFID



地上黃色區域即為 RFID 讀取點

在結束 Flora Holland 的參觀行程後，代表團前往海牙附近的 Technology University in Delft (TU Delft)。TU Delft 是荷蘭三所 TU 之一，在科技方面的研究能力具有非常高的水準。當天參觀的是 DIMES (Delft Institute of Microelectronics and Submicron-technology) 是荷蘭在微電子與微機電主要的研究單位，擁有自己的無塵室 ICP Lab 可以進行簡單的製程。DIMES 下有五個 lab，分別是 High frequency technology for communications lab, Smart Microsystems lab,

Micro&nano precision engineering lab., Emerging computer technology lab, Nano electronics lab。當天負責報告的是電機系的 Microwave components group，其主要的研究是在射頻與微波的技術，負責的教授是 Prof. John R. Long，其主要理念是 less silicon, more RF，從一些 RF 的基本特性著手以提高 RF 的性能而不是盲目的增加電路的複雜度。該實驗之前並沒有 RFID 直接相關的計畫，但目前有一個 RFID 的計畫正要開始，主要的研究方向能源汲取 (power harvesting)、超低功率 RF、以及 circuit / technology demonstrations。

代表團接著前往 TNT 位於 Hoofddorp 的總部。TNT 由早期的荷蘭郵政公司與澳洲的 TNT 配送公司所組成，目前已成為非常重要的郵件、快遞和物流全球服務提供商。抵達 TNT 後由策略流程經理 Sybren Tuinstra 先生為我們介紹 TNT 目前的 RFID 先導性計畫。TNT 的第一個先導性計畫是與台灣筆記型電腦的製造商合作，在高單價的筆記型電腦外箱，原條碼貼標裡整合 RFID 成為 smart label。並在 pallet level 及 piece level 都加上 RFID 以增加運送過程的安全性，並增快處理速度以強化運籌管控。在此計畫中所使用的是 Alien 868 Mhz 的 RFID tag，在每個轉送站的進站以及出站都建置 RFID portal，以 4 根天線讀取 piece level 的 RFID。目前主要遭遇的問還是讀取率，在一般的運送速度下達 87%，若要真的大規模施行勢必要再大幅提高讀取率。TNT 的另一計畫是使用 active RFID 進行貨物、拖車的管控，由於 active RFID 的讀取距離遠，可以在貨倉內對所有標目的貨物定位，在裝載時掌控 palette 是否進到對的拖車。並掌控所有拖車的到達、離開時間以及所載送貨物的內容。目前所使用的 active RFID 是 wherenet 的 915MHz tag。其電池壽命號稱可達 7 年，但 TNT 目前的實際經驗，被種式的 RFID 雖沒有電池壽命的問題，但是因運送中的損耗，其平均壽命也僅 2 年而已。因此 active RFID 若價錢能再進一步下降不失為一好的解決方案。在拜會完 TNT 後，代表團隨後前往 KLM Cargo 空運公司參觀，了解 KLM cargo 的運作流程，但目前 KLM cargo 並沒有導入 RFID 的計畫，就空運而言 RFID 的應用應該還有很大的發展空間。

八月二十二日由 WIFA 安排在海牙的商務部 (The Hague Chamber of Commerce) 與荷方 RFID 相關的單位與廠商進行一天的研討會。一大早抵達海牙商務部後由部長 Gert Zandsteege 先生致歡迎詞，隨後展開一天的議程。第一個議程為荷方的 ecp.nl 組織介紹荷蘭目前的 RFID 科技現況以及政策方向。Ecp.nl 為一由荷蘭經濟部與 VNO (類似工研院組織) 所發起之非營利組織，宗旨在成立一獨立平台推動荷蘭之資訊化。目前有超過 150 個會員包含廠商 (IBM, Shell, Unilever 等) 政府單位及大學。目前 ecp.nl 在 RFID 的研究主要著重在公共政策面，探討包含隱私、安全、道德層面等，當 RFID 大量推行時在公共事務面所需考量的問題。早上的第二個議程由台方經濟部商業司陳秘順科長簡報台灣目前 RFID 的推廣以及相關先導計畫。第三個議程則由荷蘭 GS1 的資深顧問 Sylvia Stein 小姐報告目前 GS1 組織現況以及 EPC 相關標準現況。第四個議程由台方工研院系統中心的駱易非經理介紹工研院以及工研院系統中心在 RFID 的相關研究與計畫。簡單進行完中餐後接續上午的議程，首先由荷方 AIM (Automatic identification and mobility platform) 的 board director, Rudolf Renfum 先生報告目前 RFID 最新的技術進展狀況以及相關應用。接著是其他參與的各單位報告，首先有台方的交大、東華大學、台大、中山大學介紹學校以及相關研究，接著是台方的陽明海運、帝商科技介紹其公司。之後由荷方報告，第一個報告的是 Schuitema，是荷蘭第二大的超市連鎖，2005 年的營業額是 33 億歐元。Schuitema 目前也有一些 RFID 的先導計畫。其中一個是在貨運拖車上裝上 RFID reader，可以管控裝卸貨物，但目前遇到的困難是在拖車入口裝設兩個 RFID reader 希望藉由讀取的順序得到貨物移動的方向是進還是出。但因 RFID reader 有一定

的讀取距離，所以這樣的想法遇到實行上的困難，也希望請教現場的專家是否有讀取範圍較集中的 reader 或是有其他的解決方法。第二個報告的荷方公司是菲利浦電子(Philips semiconductor)，菲利浦電子目前是全球排名前十大的電子廠，目前的營業額 56 億歐元，全球有 35000 名員工。公司的主要產品是消費性產品用的晶片。在 RFID 產品方面，菲利浦與 TI 一直是最大的兩家晶片供應商。目前菲利浦的全世界佔有率約 25%。菲利浦自 1988 年便開始 RFID 的產品線，目前有完整的 LF, HF, UHF 之 RFID、手機用的 SIM 卡、金融用接觸與非接觸 Smart Card、汽車無鑰匙進入、晶片鎖等完整晶片解決方案。菲利浦也積極參與 EPC, ISO 等世界標準的建立，並參與一些重要的參考系統建置案，包含香港機場之行李轉運，在每一個行李上貼上 RFID 以控管行李流向，以及高雄港的 RFID 先導計畫。

2.B. 德國

八月二十四日早上前往位於德國 Dusseldorf 城市南方約半小時車程之衛星城市 Neuss，參觀德國境內最大也是世界第六大量販零售集團 Metro Group 在該地方所創建之 RFID Innovation Center，該中心設立宗旨在塑造未來量販店及超級市場之新物流管理與零售服務模式，包括如何將 RFID 應用在實際生活條件下的日常工作上，以及如何服務其在零售、製造與科技業的夥伴成立資訊與發展平台。該中心陳列有超過 40 項之創新研發項目，目的在展示將 RFID 技術應用於倉儲與零售場所，能自動控制所有貨品之進出、供給與分類。在其初始研發階段主要是選擇 pallets、boxes 及 hanger-goods 等物流裝運器材，應用 RFID 進行自動化管理，接下來則將繼續擴及 carton 及 subcarton 等零售裝運器材。該中心已推展所開發之 RFID 技術至德國境內約 100 家供應商、8 家配貨中心及旗下約 250 家之量販店及超級市場。該中心所發展之 RFID 應用可歸納為下列五種領域：

1. RFID in picking
2. RFID in warehouse management
3. RFID at the department store
4. RFID at the supermarket
5. RFID in private households

下午則前往位於德國 Dusseldorf 城市北方約半小時車程之另一衛星城市 Rheinberg，參觀位於該地方 Metro Group 旗下之 Extra Future Store(為一超級市場)，主要是針對該店利用 RFID 技術於實際商品的上架管理與銷售服務上進行實地查訪。Extra Future Store 訴求現今的超級市場蛻變成為未來商店的過程中，需要更滿足客戶的個別需求，使購物變得更簡便與舒適，將商業模式運作得更有效率，以及讓零售業及製造業擁有更緊密的合作關係等。所展示的幾項重點科技都頗符合上述的訴求，其中令人印象深刻的有下列幾項：

1. Personal shopping assistant
2. Electronic advertising displays
3. Information terminals
4. Electronic price labels
5. Smart scales
6. Self check-out
7. Smart shelves

雖然上述科技在資料的無線傳送上不完全依賴 RFID，有些仍然使用 barcode，但 RFID

的使用的確有逐漸取代 barcode 的趨勢而越加的普及化。

八月二十四日早上從 Dusseldorf 城市出發往北開車約一個半小時，到達了德國另一大城市 Dortmund，並前往參訪位於德國著名學府 Dortmund University 鄰近之 Fraunhofer IML，該單位為德國非營利研究機構 Fraunhofer Society 底下的一個研究所。Fraunhofer Society 創立於 1949 年，名稱在紀念十八世紀末至十九世紀中之德國研究家，同時也是投資家兼企業家的 Joseph von Fraunhofer 先生，該單位在德國所扮演的角色類似在台灣的工業技術研究院，在德國境內共有 58 個研究所，以及在 USA、Malaysia、Singapore、China、Japan 等國家設有分枝研究機構。Fraunhofer Society 總聘僱人員約 12800 位，每年經費高達 10 億歐元並且有相當多的創新應用與設計等專利。位於 Dortmund 城市的 Fraunhofer IML 則是專注在物流自動化管理的研究所，創建於 1981 年，約有 160 位研究人員以及每年經費約 1 仟 7 百萬歐元，主要研究任務包括

1. Material flow components and automation solutions
2. Structural planning, system engineering and optimisation of business processes for internal and external material flow and logistic systems
3. I&C-systems in production and logistics (Supply Chain Management, Warehouse Management, Simulation ...)
4. Traffic systems and traffic management
5. Ecological logistic solutions in the closed-loop economy

Fraunhofer IML 在 RFID 技術應用於物流自動化管理的研究上一直表現得相當積極且頗具前瞻性，擁有許多主題在 METRO Future Store Initiative 的 RFID 先導型計畫，計畫目標在與德國境內最大的量販零售集團 Metro Group 合作推動上述未來商店的構想。該研究所底下設有 OpenID Center，主導 RFID 開放式整合平台技術並加以實際應用在物流自動化管理上。該中心的主要功能目標設定如下：

1. Demonstration of physical logistic processes
2. Comparison and choice of systems
3. Relevant system cost
4. Demand for technological development
5. Consulting/training

上午在 Fraunhofer IML 的行程安排是聆聽有關該所研究環境與任務之簡報，下午則實地參觀 OpenID Center，觀看下列展示項目：

1. Automatic high-bay warehouse
2. Order-picking cell with RFID systems
3. Multi-shuttle warehouse
4. Goods pick-up system (Tower24)
5. AGV's for pallets and containers
6. Robots

2.C. 瑞士

八月二十六日安排參訪 IBM 八大研究實驗室之一—IBM Research GmbH Zurich Research Laboratory，此 Lab 是被定位為創新科技中心，內有多位諾貝爾得獎者的傑作(如掃瞄穿隧顯

微鏡)。根據 IBM R&D 創新思路規劃，IBM/Zurich 實驗室研發主體包括：

1. Storage technology
2. High-resolution display
3. Optical networks
4. Microcontact processing
5. Micro (nano) electromechanical systems
6. Advanced materials and devices
7. Computational biochemistry and materials science
8. Nanoscale science

二十六日參訪團員起了大早，從蘇黎士的 MOVENPICK Hotel 驅車至 IBM 研究實驗室，當大夥看到 IBM 的標示都雀躍不已(如下圖所示)，IBM Zurich 實驗室座落在風景秀麗的蘇黎士湖邊，寧靜優雅，是科技研發的勝地。IBM 由 Moshe Rappoport 接待我們，首先雙方成員互相介紹，然後 Dr. Rappoport 開始介紹 IBM Research Global Technology，講述 IBM 之四大 Missions，包括 Technology & Infrastructure Advancements、Business Environment、Societal+Legal Influences 及 Customer，其中特別提到 IBM 之 High Performance System- BlueGene。接續由四位 IBM 科學家講述 Nanotechnology、Security & Privacy、Business Optimization 及 Managing Innovation Research，理論架構創新，相當具學術水準。Dr. Rappoport 為了讓我們不虛此行，中午時間特別安排了 Technology Demonstrations，其中 On Demand Innovation Service 展示與 RFID 有關且已在歐洲 Future Store (METRO AG)運作，無線訊號傳送及精密儀器運轉，完美搭配，讓人嘆為觀止。



八月二十七及二十八日正值Weekend休息兩天，二十九日我們進行最後一天的參訪行程，地點是ETH Auto ID Lab，ETH(蘇黎士理工學院)是愛因斯坦就讀過的學校，所以享譽盛名。瑞士Auto ID Lab是ETH(負責研發)與HSG(負責Business)合組之Center，是全球六大無線射頻實驗室之一，集中對EPC進行研究與開發。參訪是由Dr. Elgar Fleisch (www.metc.ethz.ch)接待，雙方自我介紹之後，Elgar開始講述Auto ID Labs/M-Lab/EPCglobal之運作及RFID應用研發方向，Elgar是一位認真的歐洲Style學者，演講是邊講邊寫在白紙上，滔滔不絕，從不間斷。中午於ETH校區用餐並參觀其百年以上的建築，尤其是ETH圖書館真是宏偉。下午由ETH的Christian及Thorsen介紹Auto ID Lab的RFID研究，然大部份內容皆與 8/23 EPC的報告雷同。

接續Christian demo RFID應用，實用性很高，尤其RFID貼於撲克牌上，可增進娛樂性。

3. 心得報告

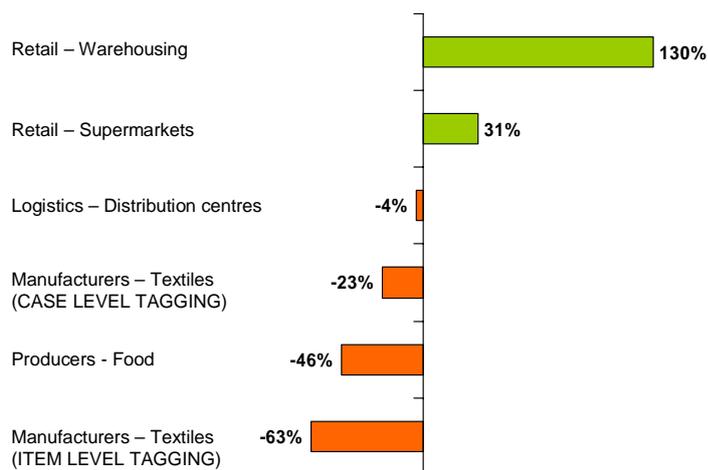
本心得報告主要是針對 RFID 的核心技術，並分成應用、軟體技術、電波及天線技術、以及晶片技術等四大項。以下將分別敘述。

3.A. RFID 應用

RFID 的技術發展已超過 30 年，在門禁系統的廣泛應用也已經有將近 10 年的時間，到了近幾年，由於美國 Walmart 決定將 RFID 導入供應鏈的應用，RFID 的應用再度引起廣泛的注意。全世界各地對於 RFID 的相關應用也都如火如荼的推展中。以下將從產業供應鏈的觀點將目前 RFID 的應用從製造到銷售的狀況就此次代表團在歐洲所見作一報告。

3.A.1 製造

RFID 目前在製造自動化以及製程最佳化上已有很多的應用以及先關先導計畫的進行。在一般的民生品製造業中，由於位於供應鏈的上游，通常是配合下游物流或零售商的要求，在出廠的廠品上加入 RFID 標籤。從德國的 IML, Fraunhofer institute 研究中，研究在一般零售業中整個供應鏈投資回收(ROI, return of investment)，從整個供應鏈來看，整體的投資可以一年內回收，但是 ROI 多在供應鏈的末端出現，零售端的倉儲部分 ROI 高達 130%，超級市場的 ROI 也有 31%；在中段的運籌配送裡 ROI 是-4%，在製造端中成衣製造廠在 case level tagging 的 ROI 是-23%，item level tagging 達到-63%，如下圖。這個研究也說明了為何現今推動 RFID 應用最力的都是大的零售集團如美國的 Walmart 以及歐洲的 Metro 及 Tesco。就製造端來看由於必須負擔 tag 的成本目前約 50 cent/tag，對於生產成本有增無減，但因為市場的競爭，製造商勢必被迫配合其上游零售集團加上 RFID，製造商似乎別無選擇。所倖，目前的推估，當 RFID 的使用大量普及後，tag 的成本將在短期內降到 5 cent /tag，對於製造商成本的衝擊將再縮小。



零售供應鏈的 ROI 推估 (From : IML, Fraunhofer Institute, Germany)

在 Metro 集團的 RFID Innovation Center 中也看到一些製造端的應用展示。主要的重點都是在傳統條碼標籤上加入 RFID 成為 smart label 並以自動貼標機黏貼在紙箱上。其中，如

何提高 read rate 也是一個非常要要的課題。例如 Flag type 的標貼機讓 RFID tag 可以立於紙面，可有助於 read rate 的提昇。



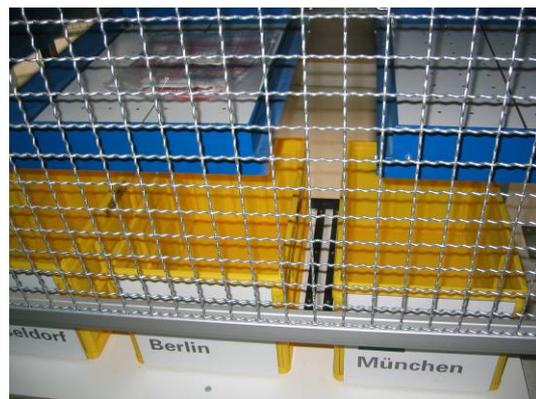
Flag-type smart label，RFID 垂直於紙面

在一些高科技的製造業中，如半導體廠，RFID 則可應用在整個生產流程中晶圓在加工流程中的控管，製程參數紀錄以及製程的最佳化。在蘇黎世理工學院 ETH 的 Auto ID Lab，其 director Prof. Elgar Fleisch 即提到一個與德國 Infineon 晶圓廠的合作計畫，在每一個 wafer box 上加上 RFID 以及超音波的定位感測器，以掌控所有晶圓在加工過程中的位置。台灣的台積電目前也有類似的計畫，並進一步可以作過追紀錄每一批晶圓的製程參數並追蹤其效能以進一步對製程作最佳化。而在其他製造業中 RFID 於 e-manufacturing 的應用也開始陸續有很多的討論以及先導計畫。例如：TOYOTA, FORD 車廠已開始使用 RFID 於汽車零件的管控與追蹤。

3A.2 倉儲與配送



讀取衣服上 RFID 進行自動配送分類



運送帶自動配送分類系統

(From: Metro group RFID innovation center)

貨物從工廠倉儲出貨後配送的過程之運籌掌控，也是目前 RFID 的應用上非常重要的一環。從前面所提 IML 的研究中，配送與倉儲將是現階段 RFID 的 ROI 最高所在。在配送中心裡，box level 或是 palette level 的 RFID 可在貨物進、出配送中心時以 RFID Portal 直接讀取進貨與出貨的內容。進入配送中心後，透過 RFID 的讀取以及資訊系統的控制，可以

進行全自動的 picking & sorting process，透過輸送帶或是 AGV 全自動將不同目的地的配送貨物自動分類排列。在 RFID Innovation Center 及 IML, Fraunhofer Institute 都有看到這方面的建置。

透過 box level 或是 palette level 的 RFID 讀取，機械手臂或是無人搬運車 AGV 可以自動將貨物在倉儲系統中搬移。對於高單價的貨物也可以使用 active RFID 作即時的定位，避免貨物在運送或倉儲的過程中遺失。下圖中為在 IML, Fraunhofer 之示範，目前國內的燦坤也開始在其倉儲中使用 active RFID 對貨物作定位追蹤，以避免貨物在運送倉儲中遺失。



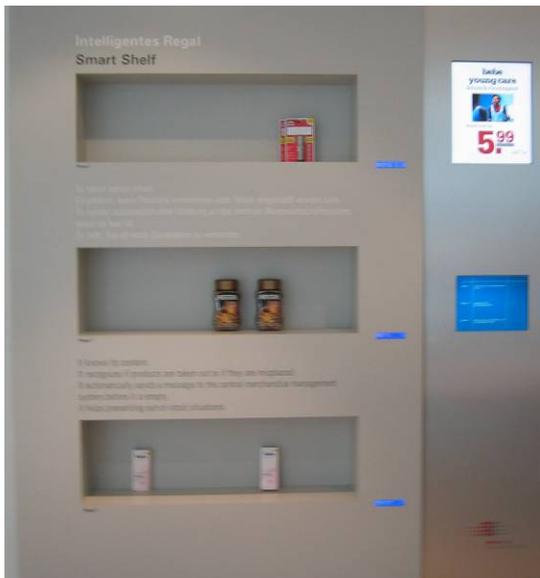
AGV 自動根據 RFID 搬運貨物



Palette 上整合 active RFID

3A.3 零售

在零售端是 RFID 應用中最具想像空間的一段。在描述 RFID 未來的遠景時總會提到 Automatic checkout 的應用，也就是在超市或大賣場購物完之後，只須將購物車推過 RFID check-out gate，所有在購物車上 item-level 的 RFID tags 就會被自動讀取紀錄，甚至可以直接從 contact-less 的信用卡中扣款。但目前 item-level 的 RFID 應用估計至少需要 5 到 10 年才會成熟，瑞士 Auto ID Lab 的估計更保守是 15 年。目前主要的障礙第一個是成本，第二個是讀取率 (read rate)。要達到接近條碼的成本又要有接近 100% 的讀取率不是短時間可以作到的。在 Metro 的 RFID 技術進程中 2004 年 11 月開始要求主要的供應商作 palette level 的 RFID tagging，預計 2006 年開始 box/carton level 的推展。而 item-level 目前則尚無時間表。除了 automatic check-out 外 item-level 的 RFID tagging 還有一個重要的應用就是 smart shelf。在賣場的貨架中若裝上 RFID reader，則可讀取貨架上所有擺放商品的資訊，並藉由電子標價牌，即時更改對應該商品的價錢，若有不同類的商品被擺在同一格，則貨架會發出緊告音。如果整格都被換成另一商品，價錢將即時更新的新的商品價錢。同時貨架上的商品數量也可以被即時掌握，在即將售完前即時補充，甚至連結倉儲系統及訂貨系統作最有效的存貨管理。



超級市場之 Smart Shelf 結合電子標價牌



服飾店之 Smart shelf

(From Metro RFID Innovation center and future store)

3A.4 其他應用

保全 (security)

RFID 在保全方面可說是最早進入成熟的的應用。包含門禁系統、卡鐘系統、車用的晶片鑰匙等。這類的應用目前大部分都是使用 125KHz/ 134KHz LF 的 RFID 標籤。目前已開始有一些使用 13.56MHz 的產品出現。其主要取代的市場是傳統磁卡的系統，其成本與磁卡相比並不會比較高，所以已在這幾年很成功的取代磁卡成為主流產品。一般門禁系統所使用的低頻 RFID 卡片為單向讀取 ID，並沒有進行編碼，因此很容易使用可讀寫的 RFID 晶片複製，是其應用的缺陷。而車用的晶片鑰匙在機械鑰匙中埋入 transponder，為了提供安全性多採用 challenge/ response 以 ECU (engine control unit) 進行雙向溝通，並進行編碼以避免晶片被複製，若晶片認證失敗，引擎將無法啟動。目前的新車多已將這樣的晶片鑰匙列為標準配備。而商店以及圖書館中的防賊系統也已算是成熟的應用，由於 tag 可以回收使用，對於成本的增加有限，因此在高單價商品的零售如 CD/DVD 以及服飾業多已廣泛使用。

醫療

在醫療體系中 RFID 的應用亦有很多的討論。可能的應用領域包含藥品的仿偽、醫院的運籌管理，以 RFID 管控藥品、器材等醫療資源、保護病人安全，以 RFID 確認避免吃錯藥、打錯針、開錯刀的事件發生、另外還有實驗室檢驗試體管理等。在台灣，SARS 流行期間，台北醫學院亦架構了 active RFID 系統，在所有人進入醫院時強迫配帶具有 active RFID tag 以及溫度計的手環。透過 active RFID 可即時定位院內人員位置及其體溫，也算是 RFID 一成功的應用。

Smart Card

類似悠游卡的儲值卡目前也已在全世界廣泛的使用，可以透過非接觸的方式認證扣款。而手機、金融用的 smart card 系統最新的規格也已加入非接觸讀取的可能。透過非接觸的信

用卡自動認證扣款機制，automatic check-out 將更為便利，購物完畢直接通過櫃台，即自動完成物品掃描以及信用卡認證、扣款的程序。

另外，在護照中加入 RFID 成為 e-passport，以減少變造的可能及加速讀取時間也已在積極進行中，美國為了反恐的需求，近期將正式採用 RFID 於護照中。

動物追蹤管控

在動物植入 RFID 晶片以追蹤管控也已是一成熟廣泛應用的技術。瑞士已強制在 2007 年所有的狗都必須植入晶片列管。台灣目前也在推展在寵物植入晶片，以解決寵物遭棄養變成流浪動物的問題，當目前的實行遇到主要供貨的兩商家廠商之植入式晶片與 reader 彼此不相容的情形。如何標準化解決相容性的問題將是重要的議題。在人體植入晶片技術上也已不是問題，但卻面臨道德、隱私、法律層面的問題，短期內比較可能的應用僅止於小孩以及失智老人的追蹤。

3A.4 RFID 標準

對於 RFID 的廣泛推展，標準的制定是一很重要的議題。目前存在市場的產品普遍還存在不同廠家之間的 RFID reader/ tag 無法完全相容的問題，對於 RFID 的廣泛使用是一很大的障礙。就供應鏈來看，從不同製造工廠所生產的貨物可能使用不同廠牌的 RFID tag，而配送與零售的每個環節所使用的 reader 也可能使用不同廠牌，除非所有廠牌的 tag /reader 都遵循同樣的標準完全相容，否則讀取率將會大打折扣，影響導入 RFID 的成效。

目前 RFID 相關標準訂立的單位主要有兩個：一個是 EPCGlobal，一個是國際標準組織 ISO。EPCGlobal 是由 MIT Auto-ID Center 所延伸出來的組織，其會員包含公司、學校、研究單位，其定位比較像是一個使用者組織 (user group)，所訂出的標準並不具法律上的效率，可視為是業界的標準，但因其最早投入，且會員的分佈甚廣，目前幾乎所有再推展 RFID 的單位都已加入 EPCGlobal。因此，EPCGlobal 所制定的規格仍被廣泛的應用。ISO 是由聯合國會員國所參加的國際組織，有其法律上的定位，其所通過的標準，理應成為世界各國共通的標準。理想上，EPCGlobal 所通過的標準當成為 ISO 標準的重要參考，或直接通過其標準成為 ISO 標準。但由於標準的制定還在很前期的階段，兩個組織各自訂定標準的結果，造成 EPC Gen1 的標準與 ISO 18000-6 標準在 UHF 的讀取方式不相容的情形發生。所幸，EPC 最新的 Gen2 標準，為了得到最佳的相容性，增加 tag 的複雜性，要求 tag 可以被目前存在的不同 reader 讀取方式所正常讀取，同時也可被符合 ISO 18000-6 規格的 reader 所讀取。而兩大 RFID 晶片的製造商 Philips 與 TI 也宣佈合作測試彼此產品的相容性。EPC Gen 2 相容的 RFID tag 可望在今年底正式問市，希望可以解決長期以來存在不相容的問題。

追溯 EPCGlobal 的歷史，必須回歸到 MIT Auto-ID Center 的建立。Auto-ID Center 在 1999 於 MIT 成立，由約 100 家大公司出資，並參與 RFID tag 編碼、網路、與管理軟體之標準化，以順利推展 RFID 之大量使用為目標。Auto-ID Center 在 2003 年 10 月完成階段性任務並正式宣佈結束，但後續分化產生兩個組織：分別為在大學裡負責技術研發的 Auto-ID Labs，以及負責推廣商業應用的 EPCGlobal。Auto-ID Labs 目前在全世界各地 7 所大學分設實驗室，分別為 MIT, Cambridge UK, St. Gallen Switzerland, Keio Japan, Fudan China, Adelaide Australia 及最新加入的 ICU Korea。在 Auto-ID Center 時期，所完成的標準化包含 (a) tag 與 reader 間的無線通訊介面 (b) 產品識別碼 (ePC: electronic Product Code) (c) ONS

(object name service) (d) PML (physical markup language) (e) management software (savant)。這些標準的建立對於 RFID 的廣泛應用有很大的幫助，尤其是 EPCcode 的建立，擴展到 internet of things 的理念，明確勾畫出對所有物品建立單一識別碼的美好遠景。

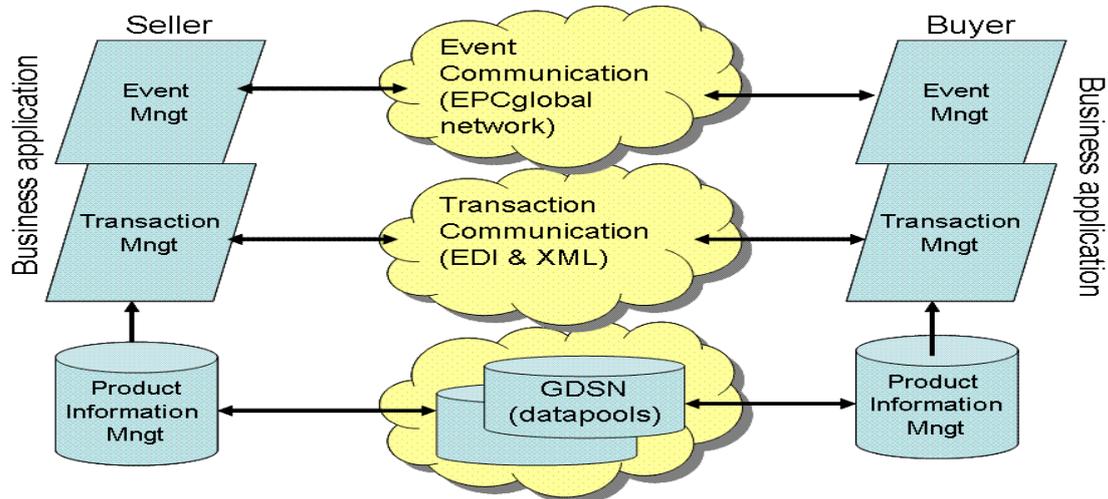
RFID 的應用推展在整個供應鏈的全面應用，目前尚處在萌芽的階段，很多標準問題、技術問題都還有待進一步的解決。尤其是讀取率的提昇也還有很長的路要走。全世界在應用方面大都處在先導計畫的階段，台灣與歐洲的進度並沒有相差很多。而台灣若能在前期研發與標準制定上多參與，則在未來全面推展時必能掌握先機。除參與 EPCGlobal 外，Auto-ID Labs 是在 EPCGlobal 制定標準時在學界擔任先期研發的工作，如果能加入 Auto-ID Labs 的運作，則可以參與標準制定前的研究工作，甚至主導某一些標準的走向。這次在瑞士所拜訪的瑞士 Auto-ID Labs, Prof. Elgar Fleisch 目前也是整個 Auto-ID Labs 的主席。在瑞士時代表團也向其表達台灣希望加入 Auto-ID Labs 的意願。Prof. Fleisch 說明目前為止 Auto-ID Labs 並沒有定出如何加入 Auto-ID Labs 的正式規定或辦法。但最近已開始著手討論建立 Alliance program 或是 associated lab 的辦法。至於成立新的 Auto-ID Labs，目前亦無具體的辦法，而是直接提出後由委員會評估。目前 Auto-ID Labs 在全世界的 7 個實驗室基本上是發展各自的特色。例如：瑞士是由 University of St. Gallen 與 ETH，管理學院結合工學院的方式開發以商業導向的應用研究。日本慶應大學則是結合法學院研究法律層面的問題。上海復旦則主要針對晶片設計方面的議題作研究。台灣如果要成立 Auto-ID Labs 勢必要發展出一不同特色的走向，是台灣可以努力的目標。

參考文獻

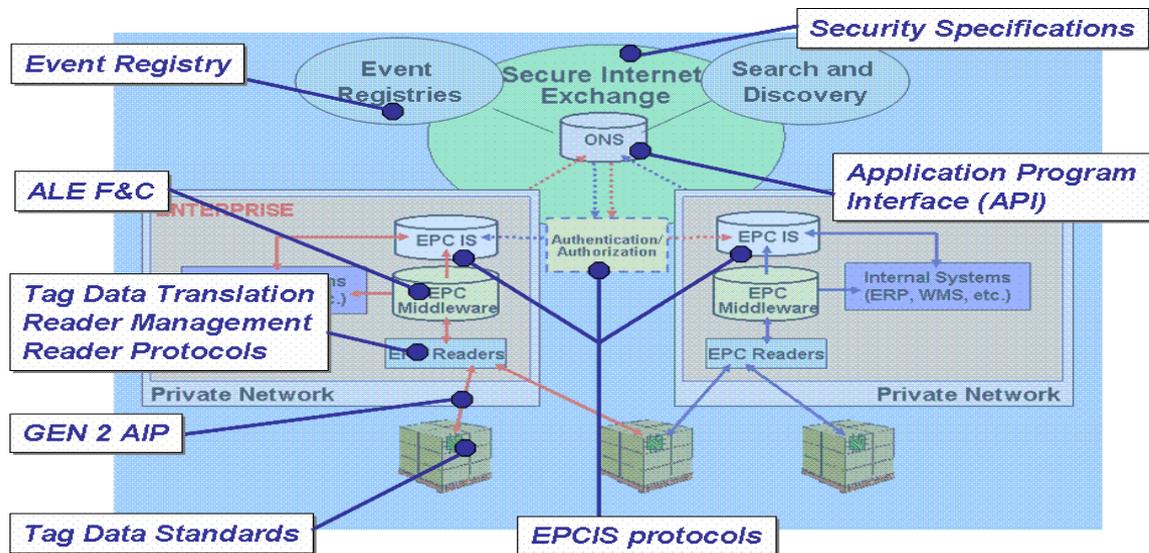
- [1] Metro Group RFID Innovation Center – Key Technology Put to the Test, Metro Group, Duesseldorf, Germany, 2005.
- [2] Welcome to the Future Store – A Successful Start for the Future of Retailing, Metro Group, Duesseldorf, Germany, 2005.
- [3] RFID – Increasing Efficiency with Transponders, Fraunhofer IML, Dortmund, Germany, 2005.
- [4] OpenID-Center – An Open Platform for the Integration of Identification Systems, Fraunhofer IML, Dortmund, Germany, 2005.
- [5] W. Lammers, “RFID-application in Germany,” presented at the Taiwan RFID Delegation Meeting, Dortmund, Germany, Aug. 25, 2005.
- [6] C. Meiß, “Open-ID – the open platform for the integration of identification systems,” presented at the Taiwan RFID Delegation Meeting, Dortmund, Germany, Aug. 25, 2005.
- [7] Christian Floerkemeier, “Auto-ID labs research overview”, presented at the Taiwan RFID Delegation Meeting, Dortmund, Germany, Aug. 28, 2005.
- [8] Junji Yamato and Toshiaki Asahi, “MIT Auto-ID center advances the standardization of RFID tags”, NTT technical review, vol. 1 No.5, Aug. 2003.
- [9] Michael ten Hompel and Volker lange, Radio Frequenz Identifikation 2004 – Logistiktrends für Industrie und Handel, IML, Fraunhofer Institute, 2004.

3.B. RFID 軟體技術

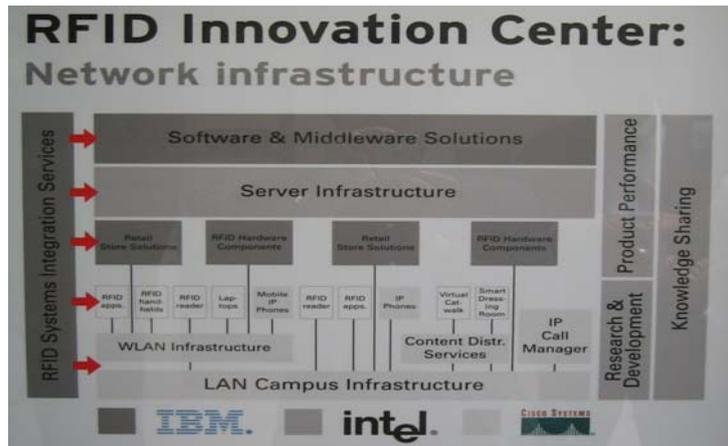
建構高效能及高品質 RFID Tag 及 Reader 互連運作系統，軟體系統(包括功能模組及 Protocol)扮演重要的一環(如圖一及圖二所示)。RFID 軟體於運作系統架構之角色，如圖三所示。RFID 的軟體技術可分為中介軟體 (Middleware) 與傳輸技術 (資料完整性和資料安全)，如圖四所示。



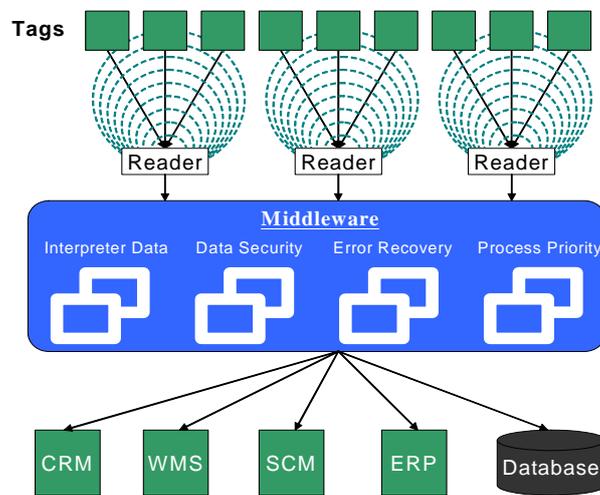
圖一: RFID Tag 及 Reader 互連運作系統示意架構(荷蘭經濟部資料)



圖二: RFID Tag 及 Reader 互連運作功能模組及 Protocol 示意架構(EPCglobal 資料)



圖三:德國 Metro RFID 系統架構



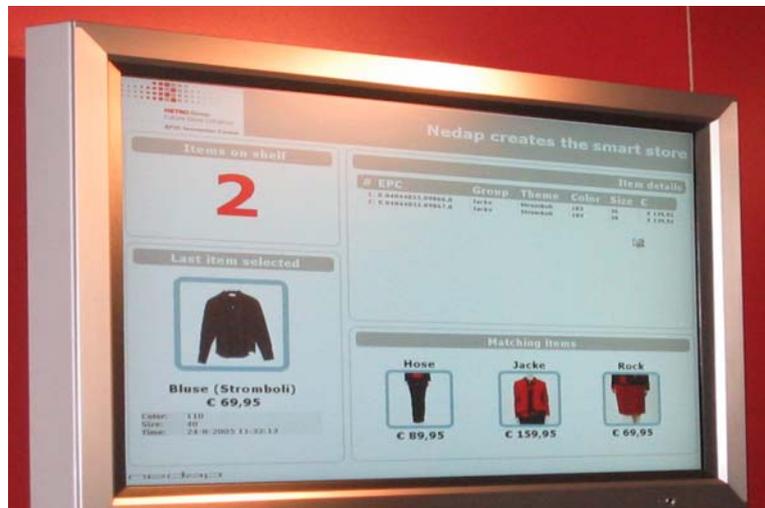
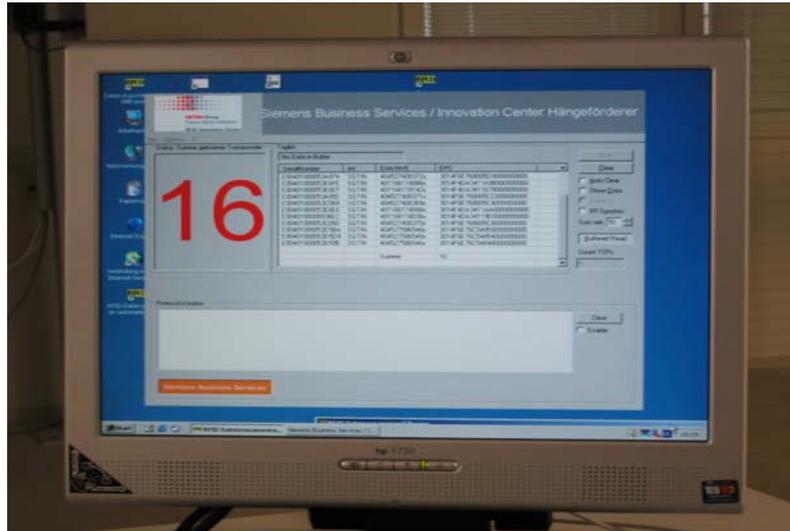
圖四: RFID 軟體技術



圖五:RFID 與現有的應用系統互連(德國 Metro 資料)

RFID 的應用最首要的問題是如何將現有的系統與 RFID 連接(如圖五所示)。傳統應用程式對應用程式 (Application to Application) 的連接都是使用 Middleware 架構解決，並且發展出各式各樣的 Application Server 應用軟體；相同地，Middleware 架構的設計也是解決 RFID 與傳統系統連結的重要的一項技術。

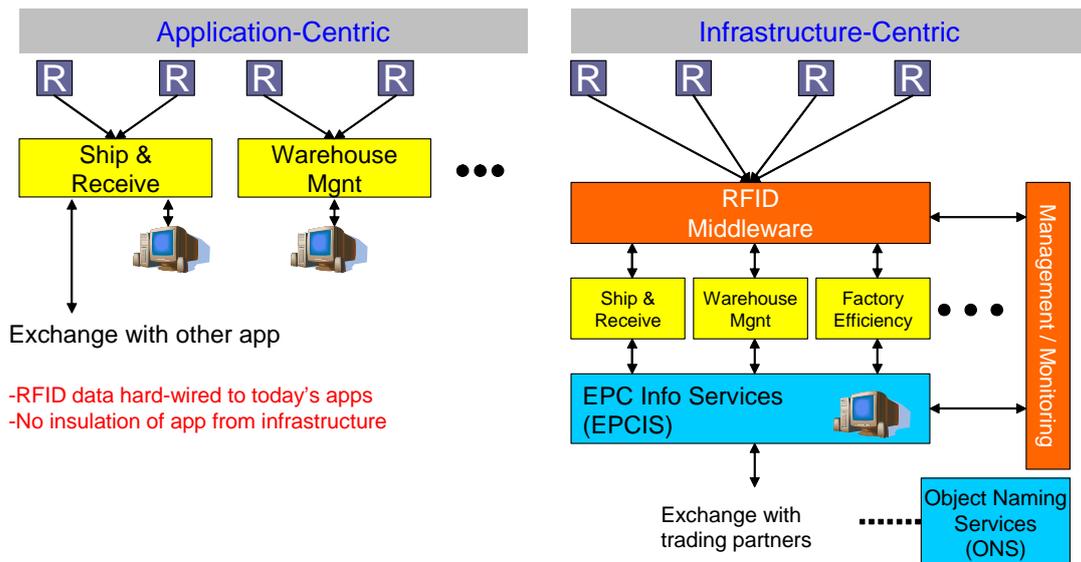
應用程式可以通過 Middleware 所提供的共通 API (Application Interface)，即可以連接到 Reader，讀取 Reader 的標籤資料(如圖六所示)。如此一來，就算後端的應用軟體更新，或是 RFID 的種類增加...等情況發生時，應用程式亦不用修改也能處理，省去很多複雜的連線問題。



圖六: 讀取 Reader 的標籤資料(德國 Metro 資料)

RFID Middleware 是一種訊息導向的軟體，它將資訊以訊息的形式，從一個程式傳遞到另一個或多個程式。因為訊息採用非同步 (Asynchronous) 的方式傳送，傳送者不必等待回應。Middleware 包含的功能不僅止於傳遞資訊，往往還必需包括解譯資料、安全性、資料廣播、錯誤恢復、定位網路資源、找出符合成本的路徑、訊息與要求的優先次序、以及延伸的除錯工具等服務。

RFID Middleware 從架構上分為兩種 (如圖七所示)：



圖七: RFID Middleware 架構

Application Centric

如果是以應用程式當作中心來看，透過廠商提供的 API，可以根據每個 Reader 來撰寫不同的程式碼，達到直接讀取資料並傳送到後端的應用程式或是資料庫。但是以應用程式為基礎的 Middleware 架構只能做到點對點的連接，較適用於企業內部簡單的系統架構。應用如圖八所示。

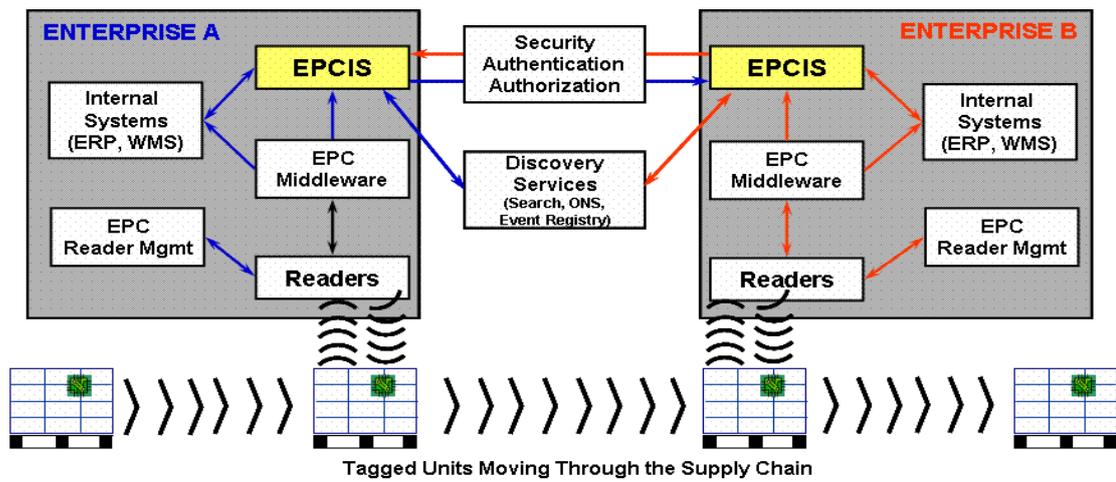


圖八:RFID 冰箱應用(德國 Metro 資料)

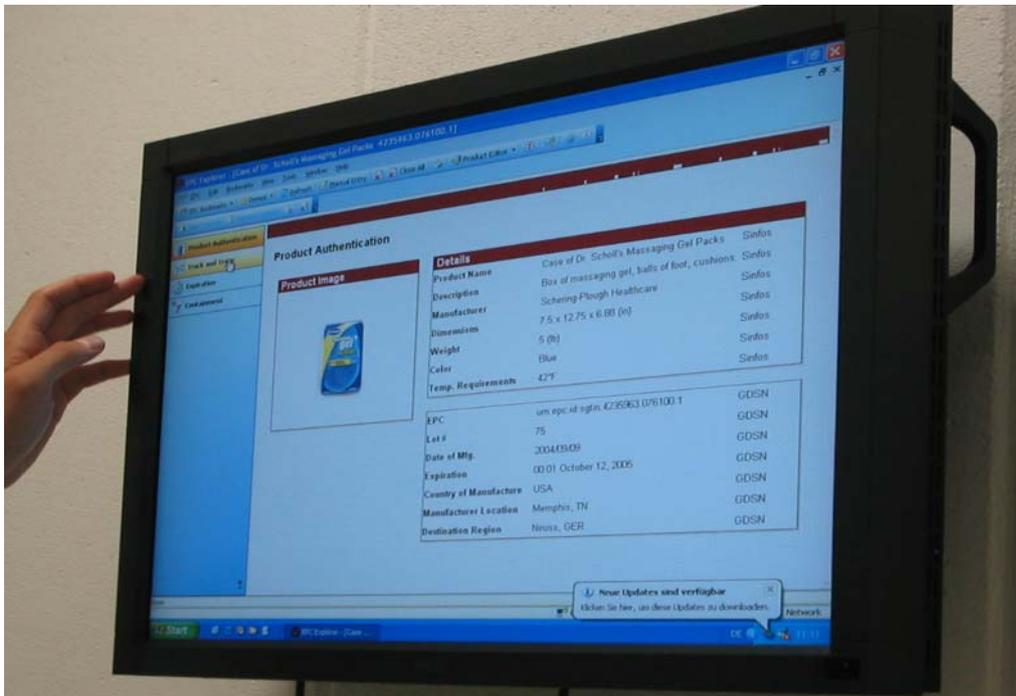
Infrastructure Centric

對於日漸複雜的公司營運，企業工程師沒有辦法為每一個應用程式撰寫專屬程式碼，也同時面臨著物件標準化等的議題。因此企業可以採用廠商所撰寫好的 RFID Middleware，其好處是擁有標準規格。這樣一來，就算 RFID 標籤的資料庫更變成其他的軟體代替，Reader 的種類增加…等情形發生，應用端不用修改也可處理資料。

RFID 的傳輸技術包括資料完整性及資料安全性技術(如圖九所示)。在 RFID 資料完整性方面，由於 RFID 是經由無線的環境來傳輸資料，可能會造成接收端的錯誤(應用如圖十所示)。因此對於這些錯誤的檢查，最常使用的軟體技術有下：Parity Checking、LRC Procedure、CRC Procedure。



圖九: RFID 資料完整性及資料安全性運作示意圖(荷蘭經濟部資料)



圖十: 接收端資料的確認(德國 Metro 資料)

Parity Checking

分為兩大類分別是 Odd Parity 以及 Even Parity。Parity Checking 是利用 1 的總數目來做檢查，如果使用 Odd Parity 則全部 1 的數目必須要是奇數；相反地，偶同位元檢查法也是依此類推，以全部 1 的數目為偶數作判斷。因此當 Receiver 收到時再 parity 去驗證就可以判斷是否資料正確。

LRC (Longitudinal Redundancy Check)

此方法是利用 Byte 跟 Byte 之間利用 XOR 運算去得到 LRC Check，當 Receiver 收到時再利用 CRC Check 去驗證得到 0，就代表資料正確。

CRC (Cyclic Redundancy Check)

這是利用數學的 Generator Polynomial 去找出 Division，而利用 XOR 一系列運算，可以得到 CRC Checksum。當 Receiver 收到資料後，在資料後半部加上 CRC Checksum，然後做 XOR 運算得到 0 以顯示資料無誤。

另外，關於 Multi-Access Procedures – Anti-collision 則是針對一個 Reader，在同一段時間裡面接收到大量的 Transponder (Tag) 傳送資料而有可能產生的碰撞問題。通常是從 Reader 傳送資料到 Transponders，資料同時被所有的 Transponders 接收到(應用如圖十一所示)，譬如電台發送廣播節目到數百台的收音機一般，這種方法稱之為 Broadcast。



圖十一: Multi-Access 應用(德國 Future Store 資料)

而從許多個別的 Transponders 發送資料到 Reader 的模式，稱為 Multi-Access。每個通訊頻道都有一個頻道容量，是由通訊頻道的最大資料傳輸速率以及可得的 Time Span 所決定的。在 Multi-Access 中，因為無線 Radio 技術的關係，所以造成會產生碰撞的問題。

要如何防止碰撞以確保接收到資料的正確性，所使用的技術有下列方式：Space Division Multiple Access (SDMA)、Frequency Domain Multiple Access (FDMA)、Time Domain Multiple Access (TDMA)。

Space Division Multiple Access (SDMA)

在此種傳輸模式下，為了要定位出 Transponder 的位置，在 Reader 附近的空間必須要用有向性天線掃描過，直到 Transponder 被 Reader 所偵測到。在掃描模式的選擇上，可以使用電力控制 Reader 上的有向性天線，以便 Transponder 用來直接地指出有向性的傳輸方向。但其缺點就是 SDMA 需要較高的成本去佈置複雜的天線系統，所以較多專業的應用大多偏向於使用此種方法去防止碰撞。

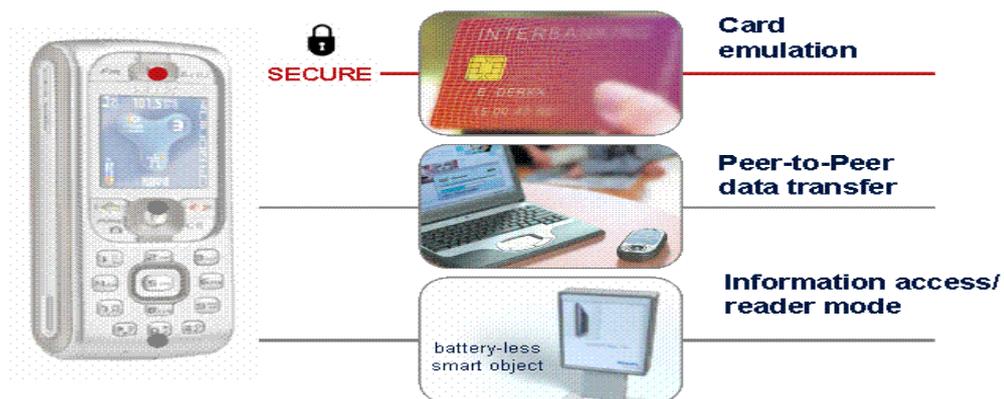
Frequency Domain Multiple Access (FDMA)

此方式是以使用不同的頻率來減少碰撞的機率。其中一種 Load Modulation RFID 系統的選擇是在從 Transponder 到 Reader 的資料利用不同的獨立頻率進行傳輸。但 FDMA 也有一項缺點，因為在 Reader 方面相對的必須花較多成本，而專用的 Receiver 也必須供應每一個接收頻道，因此這種防止碰撞的解決方法，也適用於專門的應用。

Time Domain Multiple Access (TDMA)

此種方法是利用參與者依照時間先後順序來決定全部可使用的 Channel Capacity。在 RFID 系統中，TDMA 顯然是較多人使用來防止碰撞的解決方法。TDMA 可分為 Transponder 導向以及 Interrogator 導向。大部分使用 Transponder 導向的應用程式是把 reader 當成 master 來控制，此方法較慢且不容改變的。Transponder 導向被當成是同步的，所有的 Transponder 可以被控制以及被 reader 所檢查是同時被進行的。Interrogator 導向可以細分為 Polling 以及 Binary Search 解法，這兩種解法都是建立在 Transponder 都有一個自己獨立的序號來驗證。

RFID 資料的安全性議題，為了預防不肖份子企圖使用未經認證的途徑來獲取 RFID 系統的資料，譬如說有 RFID 門禁管制的大樓、或是入侵 RFID 的系統來獲取服務(如圖十二所示)，因此有下列幾種認證方式可以解決此問題：Mutual Symmetrical Authentication、Authentication using Derived Keys、Encrypted Data Transfer。



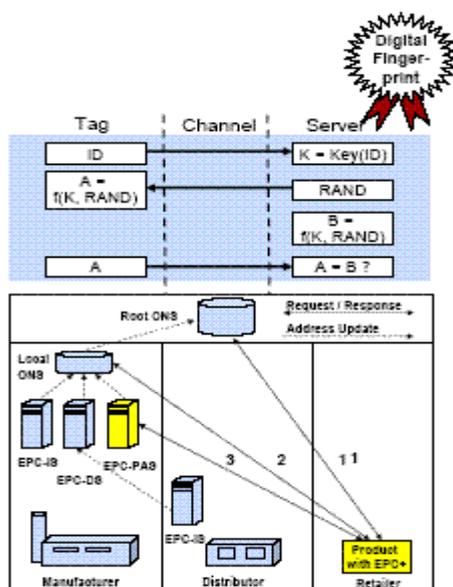
圖十二: RFID 應用之安全性(荷蘭 PHILIPS 資料)

Mutual Symmetrical Authentication 是指 Reader 跟 Transponder 雙方都使用 ISO 9798-2 的 3-Pass 認證，雙方都檢查對方的密碼金鑰，Reader 與 Transponder 都使用一樣的對稱密碼金鑰。

Authentication using Derived Keys 是改良 Mutual Symmetrical Authentication 的一種方法。因為雙方都使用相同的金鑰，在有很多 Transponder 的環境下可能會造成每一個

Transponder 都可以經由相同的金鑰去讀取另一個 Transponder 的資料，因此有很小的機率會使得金鑰被破解。而 Derived Keys 的做法是每個 Transponder 都有 2 把金鑰，一把是經由密碼演算法算出來的金鑰，一把是 Master Key。而密碼金鑰是利用每個 Transponder 獨特的 ID Number 所推算出來的，所以每一把密碼金鑰都是獨一無二的。

Encrypted Data Transfer 是指資料傳輸的過程中，可能遭遇到惡意第三者的所攔截，他們可能竊取傳輸中的資料以獲取情報，亦或篡改其中資訊造成情報資訊上的損失。有鑑於此，使用加密技術為 RFID 的資訊加密已成為重要一環。在資訊送出之前，便將資訊用安全金鑰為其加密；惡意第三者必需知道加密演算法及安全金鑰，才能解出其中資訊(如圖十三範例所示)。RFID 的金鑰系統一向使用對稱金鑰；而為了降低計算負擔，使用序列加密法替代高密度計算的區塊加密。



圖十三: RFID 系統資料安全處理範例(瑞士 Auto ID Lab 資料)

參考文獻

- [1] K. Finkenzer, RFID Handbook – Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification, 2nd ed. West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd, 2003.
- [2] Metro Group RFID Innovation Center – Key Technology Put to the Test, Metro Group, Duesseldorf, Germany, 2005.
- [3] Welcome to the Future Store – A Successful Start for the Future of Retailing, Metro Group, Duesseldorf, Germany, 2005.
- [4] BITKOM- RFID Technologies, System- White Paper. [Online]. Available: http://www.bitkom.org/files/documents/White_Paper_RFID_11.08.2005__5.pdf.
- [5] RFID Middleware. [Online]. Available: <http://www.bitpipe.com/tlist/RFID-Middleware.html>.
- [6] Sedan Systems- Pioneering RFID Seizing Business Opportunities. [Online]. Available: <http://www.sednasys.com>.

3.C. RFID 電波及天線技術

甲、RFID 電波頻率

如下圖所示，全世界在 RFID 系統的使用頻率基本分為 125-134 kHz 的低頻(LF)系統，13.56 MHz 的高頻(HF)系統，以及頻率在 860-960 MHz 範圍內的超高頻(UHF)系統，還有工作在微波 S 波段之 2.4 GHz 系統。



全球各區域 RFID 頻率

低頻 RFID 系統主要應用在門禁控制、動物身份辨識、電子鎖車架、機器控制的授權檢查等。該技術讀取速度非常慢，但並不是問題，因為通常只需要在單方向上傳輸非常短的資訊，在應用上可依循的 ISO 標準有 11484、11485 及 14223。此次在荷蘭訪問 Flora 花卉拍賣市場參觀時，運送鮮花的推車(trolley)底部即裝有低頻 RFID 系統的被動式 transponder，在通過地上綠色區塊時，因在綠色區塊地下埋有巨型迴路天線並且連接到遠端的 reader，會自動讀取推車底部被動式 transponder 所儲存之推車上有關鮮花之拍賣資訊，如下圖所示。



荷蘭花卉拍賣市場鮮花運送所用之低頻 RFID

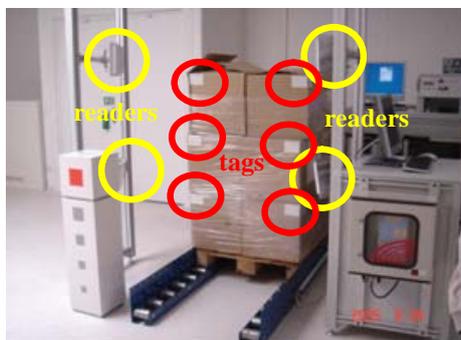
高頻 RFID 系統在傳輸資訊量及速度上較低頻系統有些改善，一般而言系統一次讀取需要從數十毫秒至數百毫秒的時間，不同的資料量所需的具體時間不同，若採取電磁感應方式以應用於個人身份辨識時，可依循 ISO 15693 標準，則系統可以對付最大速度為 0.5m/s 的運動目標，能獲得高達 26.48 kbps 的數據傳輸速度，能實現每秒 30 個對象的識別。高頻系統也廣泛應用在貨物身份辨識上，所依循則是 ISO 18000 的標準。此次參訪德國時，在 RFID Innovation Center 及 OpenID Center 都有看到高頻系統應用於倉庫中對包裹的分類(sorting)與取件(picking)，如下圖所示，通常包裹表面貼有標籤(tag)，需要依序通過 reader 才可辨識包

裹身份，reader 前後加裝有雷射光裝置辨別包裹通過 reader 時之進行方向，此外雷射光裝置也可讓包裹自動到達定位等待取件。



德國 OpenID 及 RFID Innovational Center 包裹自動分類取件系統所裝設之高頻 RFID

超高頻 RFID 系統是近幾年才發展起來的系統，開始被提倡於 1990 年代末期，後來藉由 Auto-ID Center 不斷努力研究此系統以及提倡全球電子貨物碼(EPCglobal)的標準制定，兩相結合下使此系統在市場接受度大幅提升。相較於低頻或高頻系統，超高頻系統因擁有讀取速度較快之優點，單位時間資訊傳輸量也較高，適合讀取 EPCglobal 碼，使得資訊傳輸時能享有加密與防撞功能。此系統讀取距離也較長，適合較大尺寸規模的貨物，而且 tag 體積小，很適合物流系統所常用之 pallets 與 boxes 組合方式，快速通過 reader gate 時整批貨物可一次一起讀取，而不必如絕大部分的低頻或高頻系統般貨物需要個別分開讀取，因此超高頻系統的應用性在市場上頗為看好，此次在德國參觀 RFID Innovation Center 及 Extrac Future Store 時都有看到此系統，如下圖所示。



德國 RFID Innovational Center 中 pallets & boxes 物流設備所裝設之超高頻 RFID

但超高頻系統缺點是全球在此系統所使用頻率並不太統一，歐洲是使用 865-868 MHz 的頻率範圍，北美使用 915 MHz，在日本則使用 850-856 MHz。另外，超高頻系統所消耗的功率較高，天線輻射場型指向性也較高，訊號傳播時較不易穿透物質而容易被阻擋，尤其是遭遇金屬或液體時。還有超高頻系統 readers 之間容易相互干擾等，這些問題都有待克服。

2.4 GHz RFID 系統目前只有歐洲與北美地區有在規劃使用，雖然此系統讀取速度可較超高頻系統為快，但一般而言，因有 tag 能量獲取效率差，訊號傳播指向性高，以及訊號不易穿透物質等問題，導致讀取距離並不如超高頻系統，故在市場上接受度尚低，主要還在研發階段。

乙、RFID 天線技術

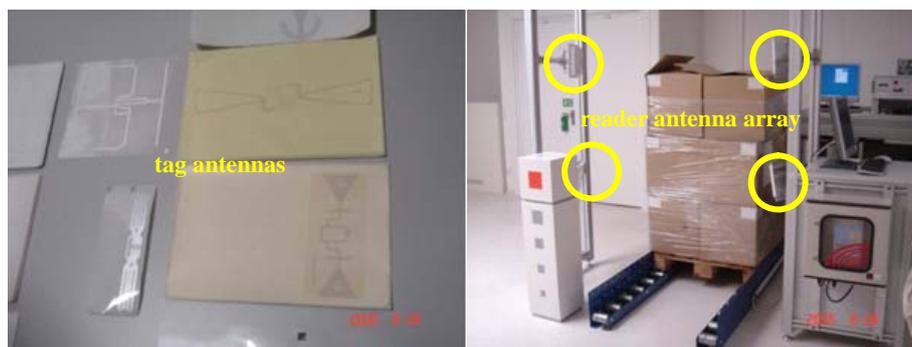
在低頻及高頻 RFID 系統中，天線可以看成兩個互相耦合的電感，為了增加耦合效率，

並減少損失，在 reader 及 transponder(或 tag)端的天線主要以諧振器方式形成，因此對天線的電感值及其 Q 值與相對應的諧振電容值及其 Q 值，RFID 晶片之負載特性，將決定天線之諧振器 Q 值，進而關係到 RFID 系統的效能，包括讀取距離之遠近、電磁場之強度、頻寬、對元件誤差及環境影響之容忍度等。在 Q 值的選擇上，較高的 Q 值有較好的耦合效率，讀取距離較長。但缺點為頻寬窄及容易受環境影響；而 Q 值低的系統雖然耦合效率差，讀取距離較短，但是頻寬較寬，不易受環境的影響，生產成本低。一般而言，reader 天線較大，容易製作高 Q 值的天線，transponder(或 tag)的天線在設計上較在乎大小及製作成本，以及環境容忍度，所以 Q 值都較低。此次在荷蘭所看到的低頻 RFID 系統天線，在鮮花推車底部之 transponder 其天線所用電感元件為一繞在 ferrite rod 上的高感值與高 Q 值線圈，而埋在地底的 reader 天線所用電感元件則利用直徑粗大的金屬線繞出一大面積之矩型迴路所構成，亦有高感值與高 Q 值之特性。另外，高頻 RFID 系統，tag 的天線所用電感元件則利用精密蝕刻製程將平面金屬螺旋狀線圈印在各種標籤材質，包括紙、塑膠與玻璃等，通常 Q 值較低。但 reader 的天線在電感元件設計上常以較大面積之 PCB 螺旋狀佈局或空心線繞方式製作，Q 值會較高。有關於高頻 RFID 系統天線，在此次參訪德國 RFID Innovation Center、Extra Future Store 及 OpenID Center 都能經常看到各種不同設計，下圖中為較常見之貼紙造型 tag 天線以及採用極化分集方式之 reader 天線。



德國 RFID Innovation Center 及 Extra Future Store 實地觀察到的高頻 RFID 天線

超高頻 RFID 系統由於操作頻率高，天線設計是採取傳輸線諧振器原理，天線的有效孔徑面積、輻射效率與場型，與 tag 晶片間的阻抗匹配皆會影響到系統讀取距離的遠近。由於傳輸線諧振器要求長度在 $1/4$ 或 $1/2$ 波長時才能達到諧振模態，而且為了節省被動元件，與 tag 晶片間的阻抗匹配亦是採用傳輸線電路，這使得一般在面積較小的 tag 上會出現相當複雜的金屬線佈局，而且佈局 pattern 可以非常多樣化，此為超高頻 tag 天線顯而易見的特色。在德國 RFID Innovation Center 及 Extra Future Store 實地參觀時亦可見到各式各樣的超高頻 tag 天線，如下圖所示。由於超高頻 RFID 系統天線場型指向性高，訊號傳播路徑若非落在 tag antenna 及 reader antenna 間之直接路徑上會較難以讀取得到，所以 reader 天線通常會採用陣列天線方式，通常一個 reader gate 在不同位置上會佈置 4 至 6 支天線，所有天線皆有不同方向之指向性，而且會以每秒數十次至數百次的切換速度輪流工作，這使得 reader gate 之陣列天線隨時間快速改變輻射方向，這樣在讀取 tag 時比較不會發生死角。目前超高頻 reader 晶片已發展出多埠功能，亦即一部 reader 可同時連接多支天線。



德國 RFID Innovational Center 實地觀察到的超高頻 RFID 天線

由於超高頻 tag 天線在室內測試讀取距離或所能接收之最小電磁場強時，因測試訊號容易發生多重反射而造成室內訊號場強分佈不穩定情況，在德國發現 RFID Innovation Center 使用如下圖所示之 GHz 橫向電磁波箱(GTEM cell)用來測試超高頻 tag 天線，在 GTEM cell 內部可以產生橫向電磁波之穩定場強分佈，同時隔離外界干擾訊號。



德國 RFID Innovational Center 實地觀察到用來測試超高頻 tag 天線性能之 GTEM 箱

參考文獻

- [1] K. Finkenzerler, RFID Handbook – Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification, 2nd ed. West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd, 2003.
- [2] Metro Group RFID Innovation Center – Key Technology Put to the Test, Metro Group, Duesseldorf, Germany, 2005.
- [3] Welcome to the Future Store – A Successful Start for the Future of Retailing, Metro Group, Duesseldorf, Germany, 2005.
- [4] RFID – Increasing Efficiency with Transponders, Fraunhofer IML, Dortmund, Germany, 2005.
- [5] OpenID-Center – An Open Platform for the Integration of Identification Systems, Fraunhofer IML, Dortmund, Germany, 2005.
- [6] W. Lammers, “RFID-application in Germany,” presented at the Taiwan RFID Delegation Meeting, Dortmund, Germany, Aug. 25, 2005.
- [7] C. Meiß, “Open-ID – the open platform for the integration of identification systems,” presented at the Taiwan RFID Delegation Meeting, Dortmund, Germany, Aug. 25, 2005.
- [8] 通訊科技, (2005, May), RFID原理介紹及應用. [Online]. Available: <http://www.eedesign.com.tw>
- [9] 陳隱志, (2005, Aug.), 探析RFID感應辨識本體技術. [Online]. Available: <http://www.hope.com.tw>

3.D. RFID 晶片技術

在此次參訪的過程中，並沒有看到有關 RFID 晶片方面的研發。因此，只能就行程中所聞及事後收集之資料寫心得報告。

A. 標籤分類

根據不同的需求 RFID 標籤可分成以下四類：

- Class 1: Simple EPC read-only labels.
- Class 2: EPC labels with additional functionality, such as read-write ability, provision of data security, and theft detection ability.
- Class 3: Class 2 labels with battery support for longer range.
- Class 4: Autonomous relaying RFID labels.

Class 1 標籤類似傳統的識別標籤，晶片中存了一組代碼，可以用 Reader 透過無線電波將內容讀取出來。此類標籤大都是被動式的 (Passive)，也就是沒有外接的電源，而所需要的啟動能量皆擷取自 Reader 發射出的電磁波。目前 RFID 在工業自動化及物流管理的應用大多使用 Class 1 標籤，而電磁載波的頻率通常位於 13.56 MHz (HF, high frequency) 或 860 MHz – 960 MHz (UHF, ultra-high frequency) 頻帶。EPCglobal 對於在 HF 及 UHF 頻帶的 Class 1 標籤已經制定了第一代 (Generation 1) 以及第二代 (Generation 2) 的標準。這些標準的文件都可以從 EPCglobal 的網站 (<http://www.epcglobalinc.org>) 下載。將來 Class 1 標籤的晶片會有很大的需求量，但是晶片價格的價格也必須很低。

至於 Class 2 標籤則類似被動式的 Class 1 標籤再加上保密、讀寫記憶體等其他功能。Class 2 標籤其實就是無線的 Smart Card，可用來做銀行卡、身分認證卡等。由於牽涉到個人隱私，如何保證保密並說服使用者安心使用將是推廣此類標籤的最大挑戰。

Class 3 標籤有自己的電源系統，因此是主動式的 (Active)。與 Class 1 及 Class 2 標籤相比較，Class 3 標籤理論上應該有較好的讀取率。Class 3 標籤可以另外加入各種感測器的功能，而增加各種不同的應用。

Class 4 標籤是在 Class 3 標籤上再加入標籤與標籤間的通訊功能，因而能組構成所謂的感測器網路 (Sensor Network)。目前 EPCglobal 尚未制定 Class 3 及 Class 4 的標準。理論上，高階 Class 的標籤要包含低階 Class 標籤的所有功能。例如 Class 2 標籤要有 Class 1 標籤的功能，而 Class 4 標籤要包含 Class 1、2、3 標籤的所有功能。

B. 專利

EPCglobal 制定的標準理論上是不須支付權利金，但標準並沒有包括硬體實現的方法。瑞士 ETH 的 Christian Florkemeier 博士指出，RFID 的相關專利大約有兩千多項，而具有關鍵性的專利大約有兩百多項。其中必定包含了許多晶片需要的專利。據聞擁有這些專利的公司會成立類似 DVD 聯盟的組織，來對 RFID 的硬體製造商抽取權利金。

若政府要補助 RFID 的廠商或研究單位，一定要先問清楚其技術來源及如何克服專利方面的障礙。

C. 主要晶片供應商

目前主要的晶片供應商有 Philips、TI、STMicroelectronics、以及 Fujitsu。

Philips 公司的 ICODE 系列產品是 HF 頻帶的 Class 1 標籤晶片。UCODE 系列產品是 UHF 頻帶的 Class 1 標籤晶片。mifare 系列產品則是 HF 頻帶的 Class 2 標籤晶片。另外 Philips 公司還有各種 Reader 及 Controller 的 IC 產品。

TI 是一家很早就進入 RFID 領域的廠商。它在低頻 (Low-Frequency, LF) 的 RFID 標籤已開發已經有一段很長的時間。它的 Gen 2 Inlay 產品就是 UHF Class 1 並且符合 EPC 第二代標準的標籤。Tag-it Inlay 系列是 HF Class 1 的標籤。TI 的產品都是已經將晶片加以包裝且附上天線的完整標籤。它似乎沒有將晶片單獨拿來銷售。

STMicroelectronics 是另一家進入 RFID 領域的歐洲大公司。它的 SR14K 產品是 HF 頻帶的 Class 1 標籤晶片。XRA00 產品是 UHF 頻帶的 Class 1 標籤晶片。XRAG2 產品是 UHF 頻帶的 Class 1 並且符合 EPC 第二代標準的標籤晶片。

這些國外大公司對於最具市場規模的 Class 1 標籤都已經推出 HF 及 UHF 頻帶的標籤晶片，而且對於 Reader 一端也有相關晶片產品及解決方案。

國內方面，我只聽說有廠商在發展 Reader 用的 IC。至於標籤晶片則沒有任何廠商投入。我猜想主要原因是專利障礙以及目前的市場規模還沒有大到足以吸引台灣廠商。

D. 發展趨勢

Class 1 標籤適用於物流管理及零售商品管理。瑞士 University of St. Gallen 的 Elgar Fleisch 教授認為 Class 1 標籤可在 15 年後和條碼標籤一樣貼在每項商品上。他估計要達成此目標所需要的技術可以在 7 到 8 年間成熟，而另外需要 7 到 8 年的時間來導入此技術於零售業。如果此理想真的實現，Class 1 標籤則有驚人的市場規模。然而要實現此理想，Class 1 標籤的價格則必須低於 US\$ 10 cents，甚至要低於 US\$ 5 cents。也就是說標籤的價格必須要低於現在價格的十分之一，才有可能成為零售商品標籤。

分析 Class 1 標籤的成本，晶片佔其中的一半，封裝（包括天線）佔另外一半。晶片的成本主要是使用的製程技術及晶片面積大小。若用 0.3 um CMOS 的製程來生產，晶片的面積大約為 300x300 um²。如果用使用更先進的製程技術來生產，晶片的面積可望在縮減，但是會被 I/O Pad 所限制。我個人評估晶片最終的尺寸大約是 200x100 um²，除非封裝技術能夠進步而縮減 I/O Pad 的面積。因此，我認為最適合生產 Class 1 標籤晶片的製程應該是 0.1 um 左右的 CMOS 製程。由於標籤晶片的電路不是很複雜，製程必須簡化，將不需要的步驟省去來降低成本。此外用雷射來切割晶片，也能減少切割掉的晶片面積。發展深次微米製程是一項大投資。以台灣晶片製造廠商經營的心態來看，在市場尚未明朗之前，是不會第一個下去賭這一把。



圖 3.D.1。不同用途的 RFID 標籤（取自 Alien Technology 公司網頁）。

由於零售商品種類繁多，材質、形狀、尺寸各有不同，能夠用的 Class 1 標籤形式也會有所不同，如圖 3.D.1 所示。因此各種不同封裝技術的廠商也會因應而生，不像標籤晶片只有少數幾家大廠能夠經營。有企圖心的封裝廠可針對特定種類的商品發展獨特 RFID 標籤封裝及相對的封裝技術，才會具有最有利的競爭條件。如 Alien Technology 公司發展出所謂的 Fluidic Self Assembly (FSA) 封裝技術，使其生產的 RFID 標籤特別具有價格上的競爭力。台灣目前活躍的封裝廠商只會購買現有的技術及設備，從事大量生產。這種經營模式無法發展新的封裝技術，更遑論陌生的 RFID 標籤封裝。

晶片設計技術

以目前的 IC 設計技術來衡量，RFID 標籤晶片只能算是簡單的晶片系統。最重要的規格是功率消耗。由於 Class 1 及 Class 2 的標籤是被動式的，它本身不接電池，所需要的工作能量全部擷取自天線耦合來的電磁場能量。由於標籤的天線不可能很大，能夠擷取到的能量只有幾十 uW 甚至只有幾個 uW。因此整個標籤晶片要有非常低的功率消耗。圖 3.D.2 是一個 RFID 標籤晶片(或稱為 Transponder)的簡化架構圖。EPCglobal 的標準規定，從 Reader 到 Transponder 的通訊方式是採用電磁波 Amplitude Shift Keying (ASK) 調變，而從 Transponder 到 Reader 的通訊方式是採用天線 Backscatter 調變。

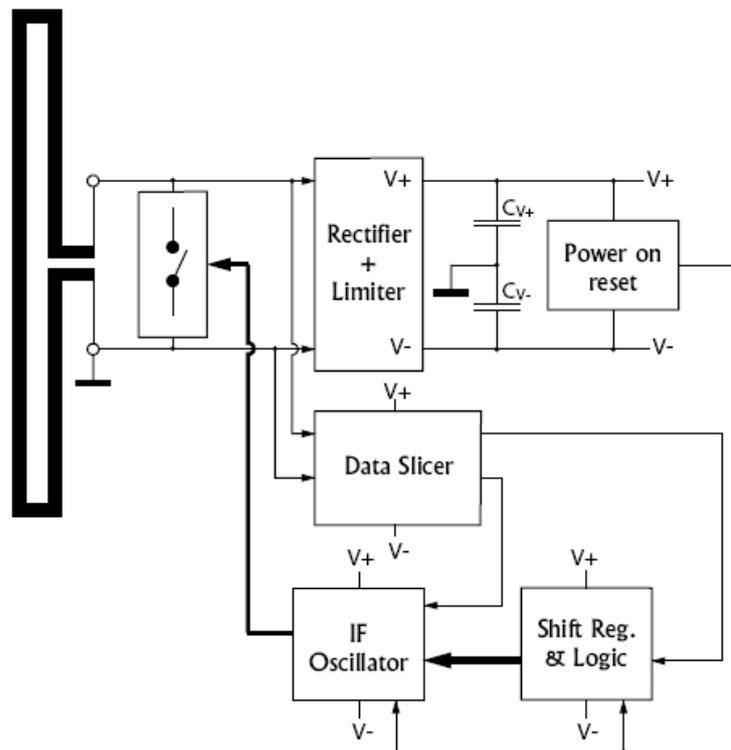


圖 3.D.2。RFID Transponder 晶片架構圖。

在圖 3.D.2 中，從天線擷取的交流電源可藉由整流器 (Rectifier) 轉成直流電源，供應整個晶片使用。整流器可以用 MOS 電晶體組合而成。但是天線輸出的電壓要夠高，MOS 整流器才能發揮功能。使用 Schottky Diode 的整流器有比較好的效能，但是標準的 CMOS 製程沒有 Schottky Diode。整流器的設計非常重要，它決定了標籤晶片是否自己要啟動的靈敏度。整流器之後會接一個穩壓電路 (Regulator) 或限制器 (Limiter) 來固定電源電壓，避免

天線接收到的電磁波的強弱影響到電源電壓的穩定性。

從 Reader 傳到 Transponder 晶片的 ASK 電磁波訊號，在晶片中是使用 AM 解調器，即圖 3.D.2 中所示的 Data Slicer，來讀取訊息。這個 AM 解調器的電路架構通常都非常簡單，只是一個 Diode 整流器，一個 RC 濾波器、再加上一個比較器。從 Transponder 晶片送給 Reader 的訊息則更簡單，只要控制一個開關改變晶片天線的特性。Reader 偵測的 Transponder 天線的改變時序，即可以得知 Transponder 晶片要傳達的訊息。而數位邏輯電路負責訊息內容的編排及解讀是。

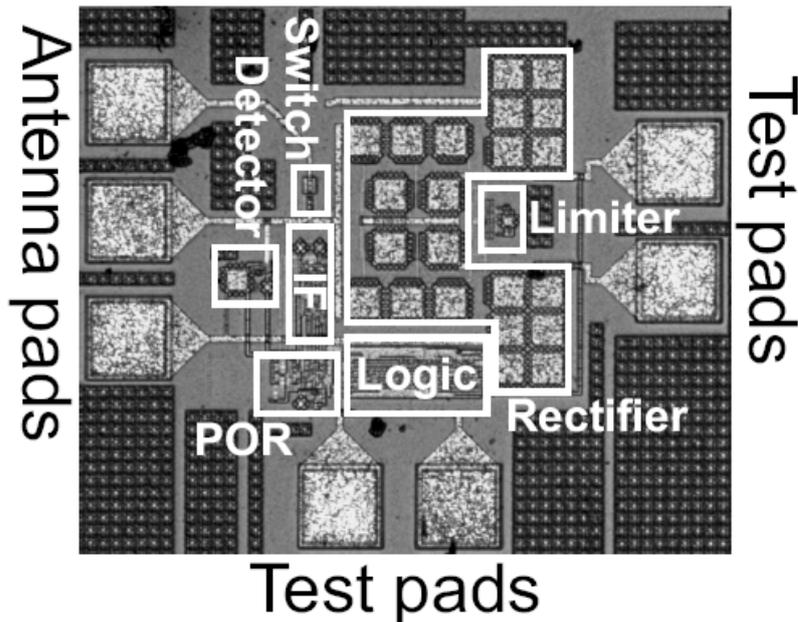


圖 3.D.3。RFID Transponder 晶片照片。

圖 3.D.3 是一顆以 0.5um CMOS 製程製作的 Transponder 晶片。面積是 400um x 500um。請注意 I/O Pads 及 電容占據了大部分的面積，相對而言電晶體電路所需要的面積其實不大。只要天線擷取到的電磁能量大於 2.7uW，此晶片就可以啟動，而晶片消耗的功率大概只有 1uW。

建議

如果政府經過評估認為 RFID 商品標籤是台灣可以投入的產業，個人就製程技術、晶片設計、及封裝技術的建議如下：

- 甲、由於目前 RFID 的商機不是很明確，台灣的半導體廠不大可能現在就投入資源開發不是標準的製程。也許可以由政府出資，選定專業團隊開發適合 RFID 晶片的製程技術。此技術的生產成本必須盡可能的低。
- 乙、個人認為，就台灣目前的 IC 產業而言，設計標籤晶片所需要的電路設計技術不是很困難。唯一的考量是專利障礙。而現在要開發新的電路技術來取代這些專利已經不大可能。政府可以聘人分析出必要的專利，想辦法取得授權，再找國內 IC 廠商合作開發晶片。
- 丙、至於 RFID 的標籤封裝，台灣以現有的基礎應該可以有很好的發展機會。政府可以

用經費來鼓勵學術界及產業界從事各種標籤封裝新技術的開發。說不定就會有團隊發展出獨特而且具有競爭力的技術。

參考文獻

- [1] Peter H. Cole, "Fundamentals in Radio Frequency Identification,"
<http://autoidlab.eleceng.adelaide.edu.au/Tutorial/SeattlePaper.doc>, March 2004.
- [2] Zheng Zhu, "RFID Analog Front End Design Tutorial,"
<http://autoidlab.eleceng.adelaide.edu.au/Tutorial/RFIDanadesign.doc>, August 2004.
- [3] U. Karthaus and M. Fischer, "Fully integrated passive UHF RFID transponder IC with 16.7-uW minimum RF input power", IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 38, no. 10, pp. 1602-1608, October 2003.