

圖書館應用無線射頻識別技術之 實務性研究

余顯強

副教授兼圖書館館長
世新大學資訊傳播學系
E-mail : ysc@cc.shu.edu.tw

摘要

RFID具有條碼無法提供的整批讀取、可讀寫資料、即時性反應的特性，包括讀者與館藏的資料均可結合RFID的混合應用方式，提供圖書館內各種非接觸式的管理。近年來圖書館的應用是利用RFID取代條碼識別的功能，再配合RFID快速反應與非接觸的特性提高作業效率與精確度，但服務型態本質則並未改變。本文主要描述世新大學圖書館實驗RFID於館藏資料的定位與取閱率計量的創新應用模式。透過實作過程的說明，分析標籤頻率與型式的選定，多重收發器建置，結合TCP/IP網路橋接等解決方案，並提出實際技術標準與設備可靠度仍未完備的現況，提供圖書館導入的參考。

關鍵詞：無線射頻識別，自動化識別，圖書館，創新應用模式，實作

前 言

自動化識別 (Auto-ID) 系統由於低成本條碼的問世，大量普及應用在生活中的各項事物。不過條碼由於儲存的資訊量過低，以及無法程序化 (reprogram) 的限制，也造成了許多應用的障礙。因此，比較好的解決方案是利用晶片儲存識別資訊與資料，也就是使用IC記憶卡或智慧卡 (smart card) 做為電子式資料傳送的裝置，例如IC信用卡或健保卡。不過這一類接觸式的IC卡必須透過讀卡機的接點提供電源與傳輸資料，在使用上有處理速度較慢、接觸點磨損等缺點。而非接觸式的IC卡則可提供卡片與讀卡機之間無線的訊號傳送，卡片所需的電源亦可透過無線的技術由讀卡機傳送或使用內建電池的供電方式。因為電

2006/10/21投稿; 2006/11/29修訂; 2006/12/05接受

源與資訊的傳送程序是透過無線方式，因此非接觸式識別系統亦稱為無線射頻識別（Radio Frequency Identification，RFID）系統。

RFID 標籤多是製作成薄且可彎曲的平滑狀，藉由非接觸式的感應方式，應用在圖書館館藏管理與安全，例如，惠普科技與本地廠商鉅特資訊合作協助台北市東門國小圖書館建置RFID，提供取代條碼的流通借還作業（註1）。此外，國內許多圖書館亦正規劃引進RFID，搭配自助借書機、數位式館員工作站及數位助理等設備，取代條碼識別系統，包括國立台中圖書館及數位內容學院圖資中心等（註2）。其採用目的多侷限在取代條碼的應用，執行在圖書管理、流通服務、盤點作業等作業項目（註3）。

但是，上述管理的應用模式是利用RFID 識別的功能，再配合RFID 處理反應速度與耐用的特性，以提高作業效率與精確度。但若以圖書館動輒數十萬筆實體館藏而言，必須花費大筆經費與前置作業時間才能全面實施，然而獲得的服務型態本質卻並未改變，無法成為圖書館立即導入RFID 相關設備的誘因。因此，本研究依據RFID 特性，研擬圖書館創新性的應用與服務模式，探討RFID 應用於圖書館館藏資料的定位與取閱次數的計量，透過實作與測試的過程，分析實務上遭遇的問題與解決方法，藉以提供圖書館界在導入RFID 設備的參考。

二、RFID基本組成元件

由於科技的發展與應用的普及，RFID 系統可簡化為讀寫器與一個透過無線電能夠被讀取資料的標籤（tag），如圖一所示。一個RFID 系統包含三個主要部分：RFID 標籤（tag 或稱transponder 詢答器）、RFID 讀寫器（reader 或稱interrogator）、運用於管理兩者之間傳送資料的資訊應用系統（註4）。



圖1 RFID系統組成元件圖

整個無線電頻譜（spectrum）有許多頻率範圍是屬於公用頻帶，依用途而有不同的限制，每一個國家所開放的公用頻帶範圍也不盡相同，由國際電訊聯盟無線電小組（International Telecommunication Union Radio Communication Sector，ITU-R）所規範給工業、科學與醫療的ISM（Industrial, Scientific, and Medical）頻帶免申請即可使用（註5）。因此，RFID使用的頻帶範圍主要便是涵蓋工業與科學的頻帶範圍，使用各頻帶的優缺點如表1所示（註6）。其中135KHz以下頻帶是RFID發展最久以及產品數量最多者；13.56MHz則運用在許

多不同的領域，此一頻帶的產品主要是以管理物品為主；2.45GHz與UHF頻帶的產品特性大致相同，但UHF具有通信距離較長的優點。

表1 RFID使用頻帶與優缺點

頻 率	優 點	缺 點
低頻 125~134KHz	部署廣泛、金屬干擾低	讀取範圍小(1.5m內)
高頻 13.56MHz	部署廣泛、溼氣影響低	讀取範圍小(1.5m內)、易受金屬干擾
超高頻(UHF) 860~960MHz	部署廣泛、通信範圍高於其他標準	易受溼氣影響，標籤之間太靠近時，易產生頻差(detuning)
微波 2.45GHz	讀取範圍高	普及率不高，實作複雜，未完全標準化

RFID另一項重要特徵是依據標籤電源供應的方式，分為被動式(passive)與主動式(active)兩種型態。被動式標籤本身並沒有內建電源，運作時所需的電力必須透過讀寫器提供的電波轉換而成，如果不在讀寫器的感應範圍便無法運作；反之，主動式標籤則內含晶片運作所需電力的電池，可以提供遠高於被動式標籤的感應距離，但標籤的壽命會受限於電池的壽命(註7)。另一種標籤的型態稱為半被動式(Semi-passive)標籤，具備被動式標籤體積小、重量輕等特性，並內建電池以增加感應的距離。此外，被動式標籤還可依據是否具讀寫資料的能力，細分成可讀寫、寫入一次多次讀取(Write Once Read Many, WORM)、唯讀等形態。茲比較各種標籤的優缺點與應用，如表2所示(註8)。

表2 各種標籤型態的比較

標籤型態	優 點	缺 點
主動式	較大感應範圍、具備記憶體容量、持續性信號	電池需要維護、尺寸較大
半被動式	較大感應範圍、較長電池壽命	受電池耐用度影響、價格昂貴
被動式 可讀寫	使用壽命長、可重複讀寫資料 可程式化	價格昂貴
WORM	適用於識別、標籤晶片包裝來源的控制	寫入次數受限
唯讀	識別使用、價格低廉	僅能用於識別

資料來源：Robert A. Kleist, et al., *RFID Labeling* (Irvine, Calif.: Printronix, 2004), p.29.

三、應用

(一)應用現況

RFID最早發展的歷史可追溯至1930年代美國的海軍研究實驗室(Naval

Research Laboratory, NRL)所發展的敵我識別(Identification Friend-or-Foe, IFF)系統(註9)。學術方面,在1948年Harry Stockman首先於無線電工程師協會(Institute of Radio Engineers, IRE)研討會發表一篇透過反射電波信號來辨識遠端物體的文章,開啟了反射無線電波的應用(註10)。不過直到積體電路(IC)、可程式記憶體等體積小、價格便宜的晶片問世後,RFID才開始普遍應用於各種產業界,也使得RFID原本使用於「偵測」(detection)的目的轉為「識別」(identification)的用途。

產業導入RFID實施在商品電子防盜(Electronic Article Surveillance, EAS)、文件認證授權、存取控制、生產履歷、人員監視、環境檢測、電子金融、群眾管控、運動計時、物品傳輸路線、工業自動化、供應鏈整合等各種不同領域的應用,提供了包括保全鑑別(security and authentication)、安全(safety)、便利(convenience)與效率(process efficiency)的優點(註11)。

(二)圖書館應用規劃

RFID標籤相較於磁條,其體積較大,不容易隱藏,保護館藏安全的等級並不比傳統磁條有效,常見的應用模式是利用RFID取代條碼識別的功能,提升流通與盤點整架的效率。3M公司採用同時包含保護館藏安全的磁條(tattle-tape)技術與RFID識別的雙標籤(2-tag)解決方案(註12)。此種方案能兼顧出納流通與館藏安全的考量。對圖書館而言,主要是改善現有作業的效率,但服務型態本質仍未有所改變。因此本研究嘗試應用RFID無線識別的特性,規劃並實驗圖書館導入下列RFID的創新應用模式,藉以提供圖書館界在導入RFID設備的參考。

產業導入RFID的各種應用模式,主要基於RFID標籤具備了遠距感應、識別與資料儲存的能力,配合讀寫器與標籤之間及時性的反應速度,而能夠在極短時間內感應並處理大量標籤的特性。透過標籤被感應到的有無可以達到人員或物品的監控;透過標籤被感應到的先後次序可以追蹤人員或物品的動向;透過資訊儲存的功能可以累積人員或物品的過往歷程。而這些應用的對象,若將其由人員或物品轉換成圖書館的館藏資料,配合圖書館服務與作業的特性,即可規劃出如下所示的應用與服務模式。

1. 協尋與定位

參考產業界應用RFID的模式,除了提供類似於圖書館流通作業的物流管理功能之外,協尋與定位則是基於RFID特性所發展出的全新服務。開架式圖書館的缺點之一便是館藏資料置放錯架或下落不明,自動化系統僅能提供是否外借的查詢,並無法提供該館藏現在館內實體所在的位置。基於圖書館內讀寫器隨時可偵測感應範圍內所有RFID訊號的特性,自動化系統進行檢索時,除了顯示館藏相關描述、借閱狀況,亦可依據感應該筆館藏之讀寫器所在位置,

判斷出館藏現在實際所在位置，提供協尋與定位的功能。此一服務功能能夠提供不外借之特色館藏更便利的管理模式，改善同類圖書但不同典藏位置（參考書、展覽圖書、特色館藏等）錯置或下落不明的後續處理作業，但須考量讀寫器與RFID標籤之間感應的距離。

2. 取閱率計量

陳列於書架上不外借的期刊或圖書等館藏資料，一直沒有較精確的方法統計其被閱覽使用的次數。因為採用開架方式提供讀者於館內自由閱覽的模式，使用狀況並無法記錄於自動化系統；採用隨期刊附加表單填寫方式，讀者不一定會有填寫的意願。應用RFID的感應距離限制，館藏資料陳列架配合讀寫器的設置，當無法感應到某一本館藏資料時便可視為該本館藏資料被讀者取下閱讀使用，直到再次感應為止。

為避免讀者只是短暫取下該館藏資料瀏覽，可透過自動化系統設定時間的間隔，當讀寫器讀取不到該館藏資料之RFID標籤的時間超過設定時間，即可視為被使用而累計於自動化系統內，如此即可有效統計館藏資料的取閱率。

四、實務問題與解決方案

依據前述規劃之應用模式與圖書館環境的特性，在實作驗證效能之前，必須先選定實驗所需的設備與規格。本實作採用設備的相關組件與規格的因素分析如下。

(一)感應頻率採用900MHz

考量RFID頻率感應的範圍，雖然13.56MHz以下頻帶是最主要使用的RFID頻率，但其讀取範圍過小的缺點，並不適合作為長距離的應用。2.45GHz則因尚未完全標準化，且相關設備不易購置，因此採用UHF頻帶的產品，利用其較長感應距離的特性，作為本研究實驗所需的RFID標籤規格。

(二)採用被動式標籤

主動式標籤因為內含供應晶片運作所需電力的電池，因此能夠具備長達5~100公尺以上的感應距離（註13），遠高於被動式標籤任何一款頻率的感應範圍。但主動式標籤價格不僅比被動式標籤高出許多，且因內建電池而具有較大的體積，這些都是主動式標籤不適用於圖書館應用RFID管理館藏的因素。除此之外，主動式標籤會受限於電池的壽命而有使用的期限，更不適用於冀望長久保存的館藏資料。過短的感應距離會限制館藏資料結合RFID的應用模式，但圖書館放置館藏資料的方式主要採用書架方式存放，因此過長的距離造成每一個天線感應過多標籤的混淆狀況，增加資訊系統處理的負擔。因此，被動式且具備可讀寫資料特性的RFID標籤較適用於圖書館館藏的應用。

讀寫資料的模式可以有兩種方式，一是異動資料 (transaction) 直接紀錄於標籤內部，另一方式是紀錄於資料庫系統內，爾後再依據標籤識別碼讀取資料庫內所記錄的異動資料。直接紀錄於標籤內部的優點可隨時透過讀寫器取得標籤內的資訊，提供離線的管理與應用。在本研究測試過程中發現，標籤在讀寫資料時須要透過讀寫器經由天線提供較高能量的電波，以供應標籤接收並轉換成運作所需的電能，會產生較高的電磁輻射值，因此儘量採用資料庫記錄異動資料的設計原則，減少標籤讀寫所引發的高輻射現象是較好的方式。但本研究選擇有記憶功能的RFID標籤主要目的是基於備援 (backup) 的考量，確保館藏資料被使用的各種狀態能夠在未連線資訊系統的情況下仍能夠被紀錄於標籤內，以符合資訊處理的完整性。

(三)使用多重收發器

無線識別標籤感應的問題，不僅是標籤的天線設計會影響感應的距離，天線的角度亦會影響感應的效果。讀寫器的天線如果裝置角度不佳，不僅會影響讀取的距離，亦會影響感應範圍內讀取標籤的有效數量。反之，貼附於館藏資料上的標籤會隨著拿取的方式，會有不同的角度變化。如圖1使用讀寫器透過單一天線感應標籤的方式，會造成感應可靠度不佳的狀況。檢視國內外的RFID設備，本研究發現RFID讀寫器有如圖2所示具備多重收發器 (Multi-transceiver) 的組件。應用此種設備，可以在特定位置範圍內使用單一讀寫器連接多個收發器，每一個收發器可以依據不同角度或距離裝設，減少訊號死角的發生，標籤無論以何種角度存在，都至少能被一個收發器的天線感應到，如此便能解決感應可靠度的問題。

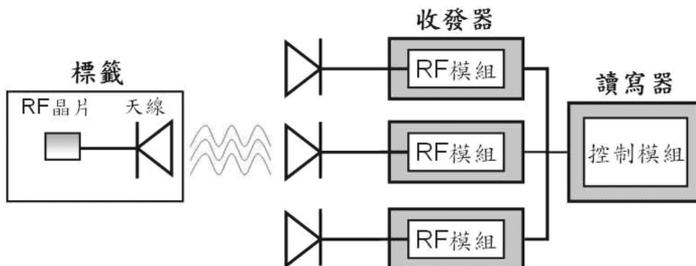


圖2 包含多重收發器的RFID系統組件圖

採用多重收發器的問題在於管道 (channel) 傳輸訊號的分配與統合 (註14)，但會使得軟體開發的複雜度增加，不過對於本研究的實作時反而是達成定位的另一項輔助功能。每一個讀寫器在裝設多重收發器時，不僅須考慮到感應範圍內的標籤無論以何種角度出現，至少能有一個收發器能夠感應到。當兩個以上的收發器感應到某一個標籤時，基於收發器裝置距離的差異而產生訊號感應的

先後，因此便能判讀該標籤移動的方向。例如，讀者手持一本內置有RFID標籤的期刊，從一樓走向二樓樓梯，樓梯走道上所裝置的讀寫器連接數個接收器，以便感應樓梯範圍內的標籤訊號。當讀者行進的方向進入各收發器感應的有效範圍時，只要感應到該期刊內置的標籤，便會回傳至應用系統處理，如此系統便可依據各收發器感應的先後時間間隔紀錄該期刊的移動方向。假使角度因素使得裝設在樓梯的各個收發器只有一個感應到，亦可回傳系統紀錄該期刊最後一次出現的位置。

(四)採用TCP/IP橋接方式

RFID讀卡機與後端電腦系統之間訊號傳輸的連接介面主要為RS232或USB，少部分提供更長距離的RS485。但無論採用上述何種方式的連接介面，每一個讀寫器都必須連接至一部電腦的連接埠（port）。多數RFID的應用均是一對一個連接埠的方式透過後端設備與讀寫器溝通（例如自助借還書機內的讀寫器與後端電腦連接處理）。但如欲達成本研究設定的定位方式，必須在建築空間內部安置多個讀寫器，每個讀寫器再連接多個收發器。這些讀寫器必須將感應標籤訊號的有無，統一傳送至後端單一電腦上做整合分析，判斷個別館藏資料的使用狀況、現在所在位置等。因此必須考慮更遠傳輸距離與更多讀寫器的連接方式，而使用現有網路設備則是最佳的解決方案，不僅免去佈線的問題，亦可解決讀寫器與電腦連接的數量限制。因此，在實作設備的連接上，本研究採用如圖3的連接方式，解決上述實務上的需求。

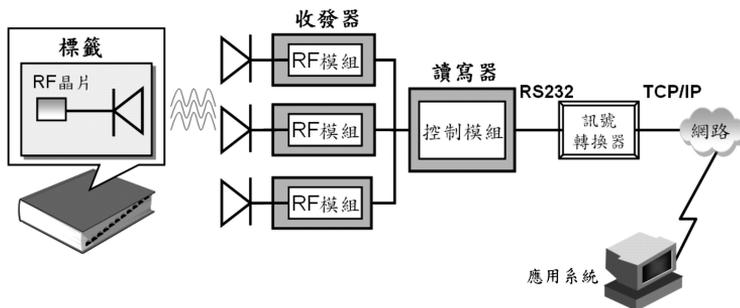


圖3 讀寫器與後端電腦接續方式架構圖

五、系統功能流程

本研究所設定的應用模式包括資料協尋定位與取閱率計量兩種功能。於圖書館全面佈建讀寫器與收發器，以期使無論館藏資料在任何角落均可被感應到。由於感應設備價格高昂，此種方式並不可行。本研究於是在實務上修正為透過RFID感應的特性，依據最後感應到該館藏的收發器所在位置，記錄該館

藏資料最後所在的大約位置，提供協尋與定位的功能。經分析後，其功能流程依據UML(Unified Modeling Language) 活動圖(active diagram) 繪製如圖4所示。

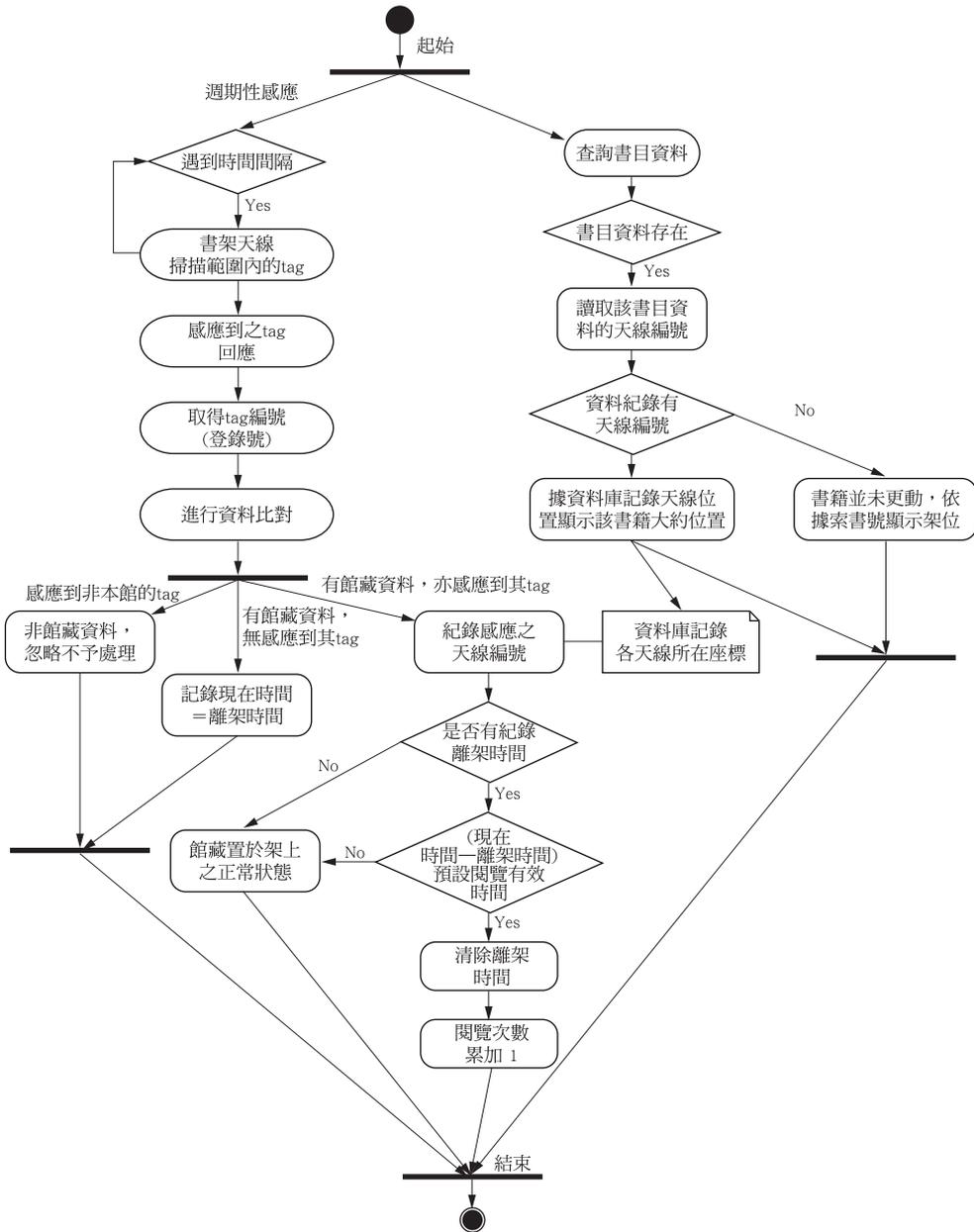
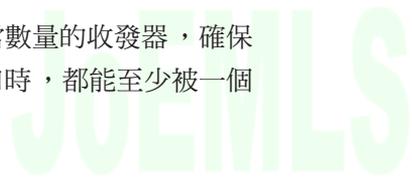


圖4 系統功能流程圖

研究規劃在圖書館各進出口處設置一台讀寫器與適當數量的收發器，確保讀者攜帶館藏資料進出圖書館內部任何樓層空間的進出口時，都能至少被一個



以上的收發器感應到。當收發器感應到時，資訊系統便紀錄下該讀寫器與收發器的編號。如館藏資料在同一出入口被兩個以上的收發器感應到時，系統便可依據各感應器回應的先後次序，判斷館藏資料的行進方向，提供詳細的移動路線紀錄。爾後其他讀者於資訊系統檢索該筆館藏資料時，系統便可依據最後感應的資訊，對照資料庫內該讀寫器與收發器的所在位置，提供讀者知道該書最後出現的位置。

取閱率的計算，則依據館藏資料置於書架上時，是否持續被設置於書架上的收發器感應的原理，計算其被取離的次數與時間。現有圖書館自動化系統內的書目資料，依據索書號記錄其所在的架位，本研究即是利用此索書號的架位資訊，提供管理系統定時驅動各書架上設置的讀寫器及其連接的收發器，掃描範圍內所有埋置於館藏資料內的標籤。資訊系統依據所有感應到的標籤，逐一比對系統內該書架應有的館藏紀錄。若是應有但感應不到的標籤，即表示該標籤所屬的館藏資料現已被讀者取出閱覽；若有先前未感應到，但此次卻感應到的標籤，則表示該標籤所屬的館藏資料現已被歸回書架上。為了避免館藏資料只是被讀者暫時取下瀏覽，並未實際閱讀內容，系統可以依據先前紀錄的取出時間比對現在感應到的時間，計算其時間差，若時間高於預設的時間區間，該館藏資料便記錄被有效閱讀一次。

透過上述的討論，本研究主要依據設置於圖書館內進出口處或書架上RFID感應與否的方式，即可達成資料協尋定位與取閱率計量的功能需求。

六、結 論

RFID具有條碼無法提供的整批讀取，可讀寫大量資料，可程式化的特性，提供圖書館進行館藏精確的管理，以及可擴充更多的即時服務功能。若導入的目的只是用來取代條碼，服務型態本質卻並未改變。在經費有限情況之下，館藏全面採用RFID標籤以取代條碼功能的方式，較不符合經濟效益。參考產業界應用RFID的特性所發展出來的功能，配合圖書館服務與典藏的特性，不僅可以預估效益，降低建置失敗的風險；亦可提供圖書館創新的服務模式。本研究在實作過程中發現空間環境的差異造成訊號異常的現象、讀寫器驅動標籤的瞬間傳輸較高能量的電磁波、不同生產廠商來源讀寫器與標籤之間的相容性，都還有許多有待設備生產廠商改善之處。此外，RFID設備包括晶片規格、通訊傳輸協定、程式介面等各層面的規格尚未完全標準化，對於早期導入的圖書館，並不一定能確保爾後與其他廠商規格的設備能相容。導入RFID確實能為圖書館改善許多服務的效率，亦能加入更多元化的應用與服務模式，但如何規範所需要的標準、流程與介面，使其能相容於現有資訊系統，成為圖書館自動化作業的延伸，則仍須持續的努力。

致 謝

本研究係國科會提升產業技術及人才培育研究計畫(個別型)－圖書館應用RFID管理特色館藏之研究(計畫編號: NSC 95-2413-H-128-001-CC3), 承蒙國科會提供補助經費與傳技、艾迪訊公司相關研究所需設備之協助。

註 釋

註1 慈濟大學圖書館,「慈濟大學圖書館週報」, http://www.library.tcu.edu.tw/html/E_Paper.htm (檢索於2005年3月21日)。

註2 國立台中圖書館,「九十四年度施政計畫」, http://www.ntl.gov.tw/AdminData_List.asp?CatID=13 (檢索於2005年3月21日); 及

經濟部數位內容產業推動辦公室, 2004年台灣數位內容產業白皮書(台北市: 經濟部工業局, 2004), 1-23。

註3 余顯強,「圖書館導入無線射頻識別應用之研究」, 教育資料與圖書館學42卷, 4期(2005): 509-522。

註4 Christian Kern, "Radio-Frequency-Identification in Libraries," *The Electronic Library* 22, no. 4 (2004): 317-324.

註5 *International Telecommunication Union*, "Frequently Asked Questions," <http://www.itu.int/ITU-R/terrestrial/faq/index.html> (accessed March 21, 2005).

註6 Steven Shepard, *RFID: Radio Frequency Identification* (New York: McGraw-Hill, 2005).

註7 Michael Ollivier, "RFID Enhances Materials Handling," *Sensor Review* 15, no. 1 (1995): 36-39.

註8 Robert A. Kleist et al., *RFID Labeling: Smart Labeling Concepts and Applications for the Consumer Packaged Goods Supply Chain* (California: Printronix, 2004).

註9 Manish Bhuptani and Shahram Moradpour, *RFID Field Guide: Deploying Radio Frequency Identification Systems* (New Jersey: Sun Microsystems/Prentice Hall PTR, 2005), 25.

註10 Jeremy Landt, "Shrouds of Time: The History of RFID, Pittsburgh, AIM-Inc," http://www.aimglobal.org/technologies/rfid/resources/shrouds_of_time.pdf (accessed March 21, 2005).

註11 Manish Bhuptani and Shahram Moradpour, *RFID Field Guide: Deploying Radio Frequency Identification Systems*, 4-22。

註12 Jennifer L. Fabbi et al., "UNLV Libraries and the Digital Identification Frontier," *Library Hi Tech* 23, no. 3 (2005): 313-322.

註13 游張松、沈煌斌,「射頻識別技術於行動導覽之應用」, 第一屆博物館資訊管理學術暨實務研討會論文集(台北市: 故宮博物院, 2004), 1-12。

註14 Benjamin Vigoda, "A Nonlinear Dynamic System for Spread Spectrum Code Acquisition," <http://web.media.mit.edu/~vigoda/thesis.PDF> (accessed October 14, 2005).

RFID Implementation and Application in Library

Shien-Chiang Yu

Associate Professor and Director of the Library
Department of Information and Communications, Shih-Hsin University
Taipei, Taiwan, R.O.C.
E-mail: ysc@cc.shu.edu.tw

Abstract

RFID applications that provide batch access, mass data storage and reprogramming are better than barcodes. Applying RFID can promote operational efficiency and precision. The data of patrons and collections can all utilize the RFID application to achieve various contactless managements. Although RFID has improved the efficiency of libraries, the essence of library service has not changed. This paper discusses with the processes and issues under implementing these innovation application models such as collection tracking and statistics of utility rate in Shih-Hsin University library.

Keywords: *RFID; Auto-ID; Middleware; Library; Innovation application models; Implementation*

JoEMLS

<http://research.dils.tku.edu.tw/joemls/>