

# 以嵌入式技術研發 RFID 瓦斯配送管理系統

## RFID-Based LPG Management

### Using Embedded Technology

王煌城

陳蓉賢

李彥廣

蔡杰叡

林家寶

吳星佑

hcwang@niu.edu.tw, watomation@gmail.com, vickikim91@hotmail.com, yyaatim@yahoo.com.tw, kidkidw@yahoo.com.tw, q12140921@hotmail.com

國立宜蘭大學電子工程系

**摘要**--本論文描述以嵌入式技術結合 RFID 與無線通訊，以有效管理瓦斯配送之系統。瓦斯運銷為最大宗的物流物品，且繼續在成長中，應用 RFID 與無線傳輸技術可改善液化瓦斯之配送與有效經濟管理，具體做法為在瓦斯鋼瓶上裝設一個超高頻的被動式 RFID 標籤(Tag)，當作是瓦斯鋼瓶的身分證，並使用嵌入式系統技術來實現 RFID 讀取器(Reader)，將讀取器所讀取到的資料經由 GPRS 技術將瓦斯鋼瓶上的標籤以及其他資料(如定位資訊、客戶資訊)傳至後端客服中心的主機，進行儲存、查詢等相關處理。本論文對系統設計，包括 RFID 原理、射頻送收模組特性、硬體架構、天線設計、防金屬標籤、控制軟體、節能考量、指令與資料格式等加以討論，最後並展現測試結果。

**關鍵詞**--嵌入式系統、RFID、防金屬標籤、RFID 讀取器、無線通訊

**Abstract**---This paper describes the use of embedded system, RFID, and wireless communication to facilitate the logistical management of liquefied petroleum gas (LPG). As the operating cost soars as a result of rising labor and transportation costs, the profit dwindles. To rectify the situation, a new operating model which makes efficient use of cutting-edge technologies to improve the delivery and management of LPG is urgently needed. Hailed as one of the ten most

important technologies of the century, RFID has been successfully used in a broad spectrum of applications. In this study, a passive UHF RFID tag is attached to each LPG container as an identification label. Embedded system design approach is used to implement the RFID reader. Given that the RFID reader is a handheld device operated on battery, miniaturization is one important design goal. In addition, energy conservation is also a major concern of the implementation. In the paper, the system architecture and relevant topics are discussed. Test results are also presented.

**Keywords**---Embedded system, RFID, on-metal tag, RFID reader, wireless communication

#### 一、緒論

雖然天然瓦斯已被大樓住家廣泛使用，但桶裝瓦斯的便利性仍無法完全被天然瓦斯所取代。瓦斯雖然帶給人們生活上的許多方便，但因瓦斯具易燃、易爆之特性，不當使用容易造成災害。當使用者購買瓦斯時，一般可能疏於辨識瓦斯之檢驗期限。但使用逾期瓦斯鋼瓶可能會危及生命財產。液化石油氣分裝場、分銷商(瓦斯行)應於鋼瓶檢驗合格有效期限屆滿前，將鋼瓶送往認可之驗瓶機構(場)，依規定實施定期檢驗，未經檢驗合格之逾期鋼瓶，容易造成瓦斯外洩，釀成災害。

為防止意外災害發生，當瓦斯行送桶裝瓦斯至使用場所時，使用者應注意鋼瓶上是否有加蓋鋼瓶驗瓶場戳章之定期檢驗卡，及鋼瓶是否逾期未檢查。另外，逾期瓦斯鋼瓶亦應回收，以減少瓦斯災害事故的發生，共同維護社會安全。為杜絕業者僥倖心態，有效的鋼瓶物流管理系統實為保護消費者的最佳利器。運用無線射頻識別系統(Radio Frequency Identification, RFID)技術以有效的管理瓦斯鋼瓶及配送流程，乃本研究之主要目標。日常生活中充滿 RFID 技術的應用，例如：保全系統、捷運、百貨、大賣場，甚至動物身上的身份晶片。

表 1 RFID 標籤種類比較

標籤型態	被動式	半被動式	主動式
電力來源	來自讀取器	少部分來自讀取器，大部分來自本身	來自本身電池
是否具備電池	無	有	有
所需來至讀取器之訊號大小	強	中	弱
通訊距離	可達 3~5 公尺，但通常會少於	大於 5 公尺	最高可達 100 公尺以上
通訊方式	接收讀取器傳來的電磁波，產生運作時需要的電能，再將資料或訊號回傳	讀取器依事件觸發標籤後，再由標籤內電池提供電力以偵測周遭環境	內含電池，主動偵測週遭有無讀取器發射的呼叫信號，並將自身的資料傳送給讀取器
價格	低	高	最高
尺寸	小	中	大
應用	動物晶片、智慧卡、防盜及門禁管理等	監測周圍環境狀態（溫度及溼度）、居家看護	軍事、醫療、運輸管理等

RFID 的基本原理是利用空間的電磁感應和電磁傳播進行通信，以達到非接觸式的自動識別技術，RFID 系統主要由兩個部分組成，即標籤(Tag)與讀取器(Reader)兩個部分，標籤又分為主動式、半被動式和被動式，參見表 1。

其最主要的差別在於是否有配置電池和傳輸距離，主動式標籤因有配置電源傳輸距離也較長，至於被動式標籤的電源是來自於讀取器所傳送過來的電磁波，產生電磁感應產生運作時所需要的電能，再將資料或訊號回傳[2]，半被動式就是這兩者的結合，接收到讀取器的電磁波後再使用電池的電能發射資料或訊號。

依據各種產業的需求不同，可以採用 RFID 的不同頻段，因每種頻段特性不同所以也有不同的用途，基本上可分為低頻系統頻率為 125~137 KHz、高頻系統 (HF) 為 13.56 MHz、超高頻系統(UHF)為 860~960MHz、微波為 2.45 GHz，各有不同的優缺點與傳輸距離[5]，如表 2 所示。

本研究採用 UHF 頻段，因其具有讀取距離長、傳輸速率高之優點，標籤使用防金屬之被動式標籤，以降低成本，並利用嵌入式設計技術進行實作，對系統架構、射頻送收模組特性、防金屬標籤、硬體架構、天線設計、控制軟體、節能考量等均為探討重點。

以下第二節首先介紹金屬材質對標籤讀取之影響與對策，第三節描述系統之硬體，包括主要之元件及其功能，以及彼此間之連接，第四節說明所用 RFID 之指令格式以及 RFID 讀取器所回應之資料格式，第五節描述軟體之設計與協助除錯之工具，包含節能之軟體設計考量，第六節討論系統重要元件天線之設計及模擬與測試結果，第七節為系統效能之實測結果，我們採用接收訊號強度指標(RSSI)與距離之關係做為評估依據，第八節顯示在瓦斯鋼瓶上實際進行操作之狀況，第九節為結論。

表 2 RFID 頻段

頻率		優點	缺點	應用
低頻	125~134 KHz	金屬干擾低，絕大多數國家屬於開放頻段	讀取範圍小受限(1.5 公尺內)	生物辨識管理、門禁系統、
高頻	13.56 MHz	高接受普遍使用頻段，濕度、環境影響小	易受金屬干擾，使用範圍約在 1.5 公尺	圖書館管理，貨板追蹤，大樓識別
超高频	860~960 MHz	讀取範圍較大(1.5 公尺以上)	易受濕氣影響，標籤之間頻率相近時會發生同頻干擾	工廠物料，車輛追蹤
微波	2.45 GHz	讀取範圍最大	現今使用不廣泛，缺乏統一標準	高速公路收費系統

## 二、防金屬標籤

由於我們應用在瓦斯鋼瓶上，RFID 在超高频(UHF)的技術下將標籤放置於金屬材質表面上，會造成金屬材質對入射電磁波的反射作用，將會有較強的反方向電磁波也穿過標籤。入射波和反射波會互相疊加後將會抵銷一部分，產生反射的同時也會產生渦電流(Eddy Current)，如圖 1 所示。

依據楞次定律，因感應所產生的電流，其所感應的二次磁場之方向與造成該電流的磁場變化或運動之方向相反。因此當讀取器天線所發射的電磁波在金屬上所感應出的磁場對原本的電磁波產生排斥作用，以致讀取器的電磁波無法

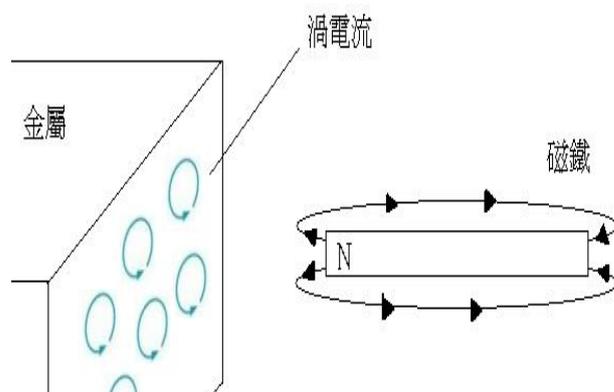


圖 1 渦電流現象

接收到讀取器所發送的訊號並對其做出回應，以致影響讀取距離與正確性。如圖 2(a)，在沒有金屬介質干擾下磁力線的分布情形，使通過磁力線上的標籤可以正常讀取；而圖 2(b)因為磁力線受到金屬介質的干擾，造成磁力線產生形變，使靠近金屬介質上的標籤無磁力線通過而無法正常讀取[3, 4]。

在金屬材質上使用造成的問題，解決方法有三種方式：增加標籤天線和金屬材質之間的距離、改變天線設計、利用電磁干擾隔離材質。在金屬層與標籤間隔之間再加上一層金屬層，此附加的金屬層在超過一定的距離，其反射電磁波而產生同相位電場的增益作用，可使標籤被讀取到的效果提高。至於原本天線的設計在不同受標示物體的形狀和物理特性不同、受標示物體的導電係數、金屬表面的反射及隔離材質的參數等影響，使得原來的天線變得不敷使用，此時可以對天線重新進行設計，尺寸大小、幾何形狀、結構都可以調整。

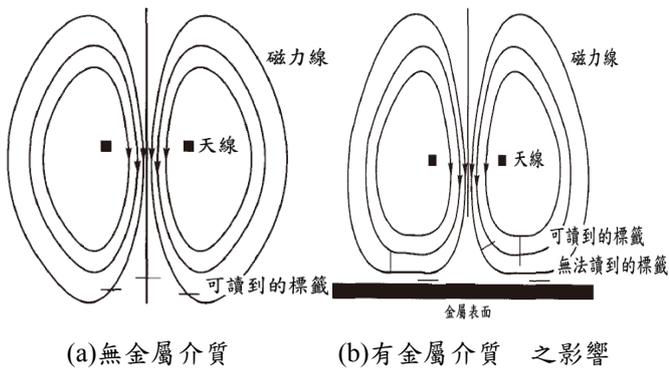


圖 2 渦電流導致磁力線形變，影響標籤之讀取

另一可能影響讀取距離與正確性之因素為電容效應，一般而言，被動式標籤依賴讀取器發出的電磁波提供標籤上晶片操作所需的能量，標籤天線與讀取器天線頻率被調在同一頻率範圍，當標籤鄰近高介電值材料時，由於電容效應 ( $C \propto \epsilon = k\epsilon_0$ ,  $\epsilon_0$  為自由空間之絕對介電常數,  $k$  為材料之相對介電值)，使標籤天線的共振頻率與讀取器天線間產生失調(detune)現象，故標籤天線無法有效接收來自讀取器天線的能量，傳送給標籤上的晶片使用，因而導致讀取失敗，或讓讀取範圍縮小。

為解決此問題，通常在標籤與金屬表面之間插入隔離層或電磁波吸波物質，以降低渦流或電容效應之影響。吸波材料的目的是為可恢復讀取器與標籤天線間的同頻關係，消除金屬體所造成的不良效應。標籤天線的 S11(return loss)在標籤貼在金屬體上的時候變化不大，其射頻能量全部通過天線輻射，與讀取器建立良好通訊關係。

### 三、系統硬體

整體系統架構如圖 3 所示，以 ATMEGA64 微控制器為核心，經由 UART 介面與讀取器及 GPRS 溝通。於讀取器部分，主要透過 ARM7 主控，控制 R1000 收發器將數位訊號轉換為無線射頻訊號，當讀取器發射無線射頻訊號給 RFID 標籤時，標籤利用電磁耦合技術，蓄積足

夠能量後回傳電磁波給讀取器，再利用 R1000 晶片接收無線射頻訊號。GPRS 主要用來傳遞資料給後端平台，方便使用者進一步管理。

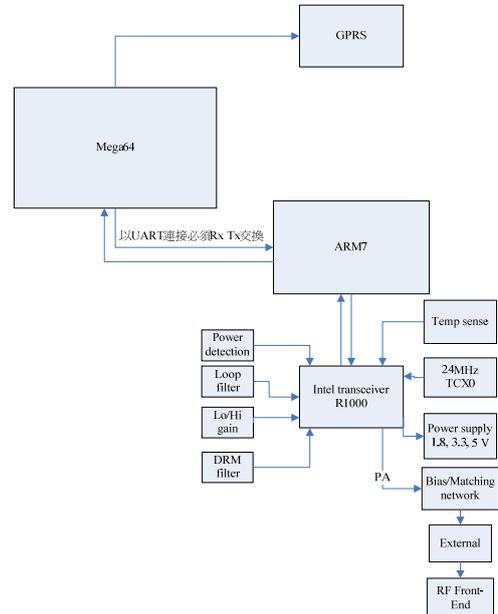


圖 3 系統硬體架構

#### (一) GPRS 模組[8]

GPRS 的主要原理即是在現有的 GSM 網路架構上，加上具有處理封包能力的數據交換節點，提供點對點的封包交換系統。由於 GSM 只提供電路交換服務，因此必須加入二個節點 (GGSN 一是和其他封包交換網路的連結介面、SGSN 一負責行動端(Mobile Stations)的封包交換)，以達成封包交換服務，使得 GSM 網路能夠和網際網路互相連接[8]，GPRS 由圖 4 所示之主要部份所構成。

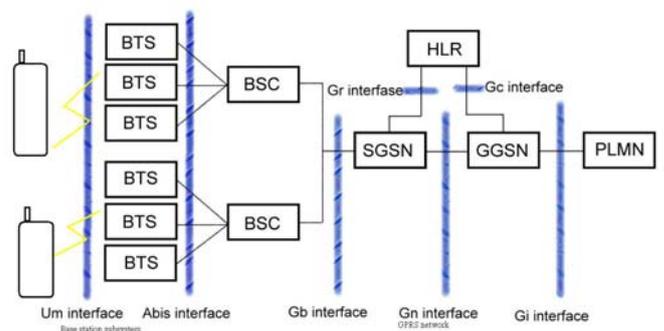


圖 4 GPRS 之主要構成元素

## (二) RFID 讀取器模組[10]

RFID 讀取器主要由 Intel UHF RFID Transceiver R1000 及一顆 AT91SAM7S256 構成，二者間透過 SPI 介面互相連接。

### 1. AT91SAM7S256

Atmel AT91SAM7S256 為一 ARM7 系列晶片 [6]，實作 ISO18000-6C 協定之韌體，可以直接與 R1000 所使用的 RF 功能互相銜接，以簡化系統設計。由以下主要模組(Modules)構成[10]：

- 主機介面模組(Host Interface Module)

R1000 韌體的主機介面由暫存器集、指令集、高速的 USB 組成，主機介面也包含 C 語言函式的介面以供呼叫、使用 R1000 的韌體單元。主要的功能負責讀寫 R1000 韌體的暫存器，接收 Host 上的軟體透過 UART 介面來的指令將指令放進 HST\_CMD 暫存器中。

- 核心狀態機模組(Core State Machine Module)

此模組用以維持整個韌體的運作，功能包括一個指令的解碼器對 Host 和 R1000 送來的指令進行解讀。

- 射頻送收模組(RF Transceiver Control Module)

射頻送收模組用以控制、設定 R1000 的運作及載波與感應器的功能，並負責產生適當的載波、頻率和傳輸範圍。

- 標籤協定模組(標籤 Protocol Module)

當許多標籤同時在讀取範圍時，會造成無線訊號在無線通道中碰撞，為解決此問題，標籤協定模組中利用 Q-Algorithm 和動態 Q-Algorithm 以解決碰撞的問題，基本原理是用動態訊框時槽(Dynamic Framed Slotted) Aloha (DFSA)，Q-Algorithm 定義了一個參數 Q 用來表示 DFSA 中的訊框大小(Frame Size)的指數值，亦即每個訊框中有  $2^Q$  個時槽，Q 介於 0 與 15 之間，每個標籤中亦有一隨機亂數產生器，用以隨機選擇一個時槽，當發生碰撞時就在每回合結束時增加 Q 值，用以增

加訊框大小減緩碰撞的情形發生；相對的當讀取不到時，則遞減 Q 值。

## (三) Atmel Mega64

為高效能、低功率的8位元AVR微處理器 [7]。由於Mega64可定義多個UART介面之接腳，可用以連接較多元的周邊設備。本研究因使用 RFID 讀取器與 GPRS 兩組裝置，故選擇 Atmel Mega64 晶片做為主系統中的 MCU。實際使用之接腳連線狀況如圖5所示。

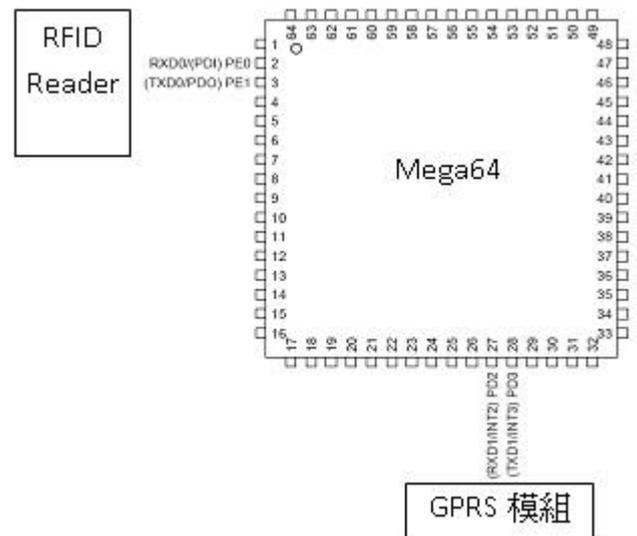


圖 5 Mega64 與 RFID 讀取器及 GPRS 連接

## 四、RFID 指令

### (一)指令格式

Mega64 透過 UART 對讀取器下指令，其所有的指令格式如下：

01	Flag	Type	Length	Reserved	Parameter
1 Byte	1 Bytes	2 Bytes	2 Bytes	2 Bytes	Length× 4 Bytes

第一個 Byte 為固定的起始字元，所有命令的起始字元必定為 01；而我們所使用的 Inventory 指令為 8 Bytes 的字串指令。傳送指令時，必須將此字串的資料一次傳送給讀取器，若以一個 Byte 一個 Byte 這種方式傳會造成系統誤判，使讀取器認定為錯誤的指令。



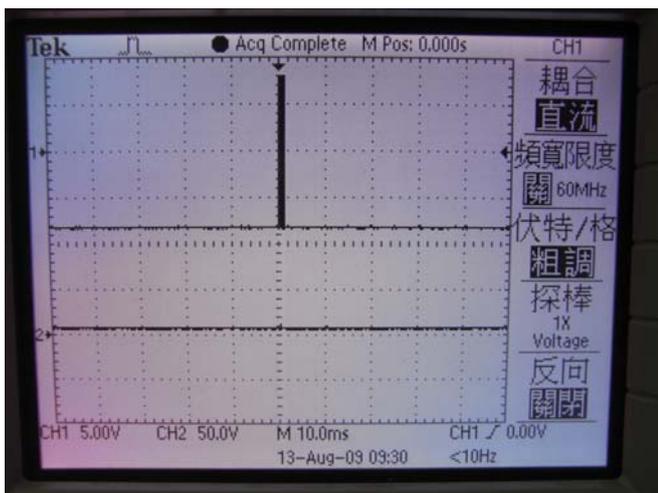


圖 9 Mega64 的 TX 所傳出的資料

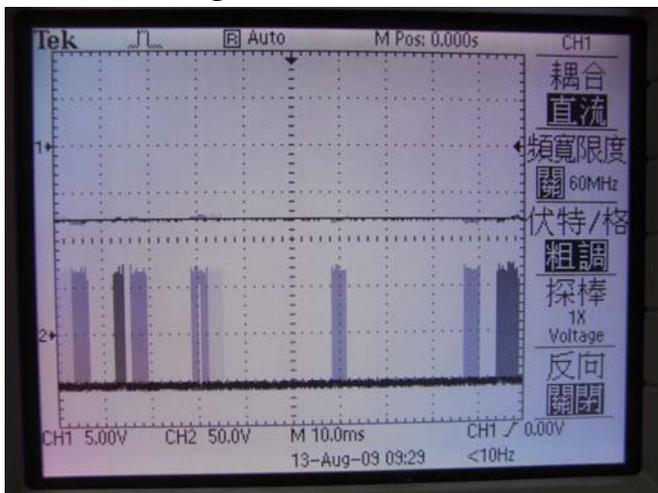


圖 10 Mega64 的 RX 所接收的資料

### (三) 節能設計

本裝置由於採手持式裝置之設計，其裝置所需的電力是由電池所驅動，因此電源管理非常重要。在我們所採用的 Atmel Mega64 微處理器中共有六種省電模式，如表 3 所示[7]，其設定由三個 sleep mode 位元選擇。因為本應用需要處理 UART 的工作，故採用 Idle mode。

在 Idle mode 下，雖然停止 CPU 的運作，但允許 SPI、USART、ADC、Two-wire Serial Interface、Timer/Counters、Watchdog 及中斷系統繼續工作。此 sleep mode 只暫停 CPU 及 Flash 的時脈訊號，其他 clock 繼續運作。

表 3 Mega64 所提供之省電操作模式

SM2	SM1	SM0	Sleep Mode
0	0	0	Idle
0	0	1	ADC Noise Reduction
0	1	0	Power-down
0	1	1	Power-save
1	0	0	Reserved
1	0	1	Reserved
1	1	0	Standby <sup>(1)</sup>
1	1	1	Extended Standby <sup>(1)</sup>

Idle mode 可藉由內部或是外部中斷將 MCU 喚醒。在一般情形下，完成開機後，MCU 進入 Idle mode，當使用者下達讀取指令時，藉由中斷喚醒 MCU，進入動作狀態，如此可達到省電以及延長電池壽命之目標。

暫存器 MCUCR 的 Bit 5 為 Sleep Enable (SE)，若要使 MCU 在執行 SLEEP 指令時進入睡眠模式，必須將 SE 寫成 1。為避免 MCU 誤入 sleep mode，所以在要進入 sleep mode 之前再令 SE=1，且在喚醒之後馬上清除。

### (四) 後端軟體

建置後端資料庫，將 GPRS 傳送的 Tag 資料與後端資料庫內所建置的資料進行比對，查尋該鋼瓶相關資訊，例如：瓦斯鋼瓶年份、重量以及一些相關資訊。透過這些資訊，可了解鋼瓶過期有無，且追蹤目前鋼瓶位在何處，便於管理者控管鋼瓶流向，如圖 11 所示。

## 六、天線設計與量測

天線是一種有發射和接收電磁能量能力的電子裝置[11,12]，天線能夠輻射電磁能量於空間或從空間接收電磁能量。RFID 的讀取器和標籤也就是利用天線的功能在隔空的環境下進行雙向溝通傳輸資料，讀取器和標籤的天線是依照各種頻段、環境、使用方式去做設計。讀取器所用的 R1000 送收器與讀取器本身之特性如表 4 所示，讀取器有裝置 100mm×37mm×12.5mm 的金屬散熱片，這些參數影響天線之設計。



圖 11 GPRS 伺服器

表 4 R1000 與讀取器特性參數

R1000 量測數據	
Input frequency	860-960Mhz
(LNA)input impedance	Z <sub>0</sub> =50Ω
Transmit Output Power	15dBm
UHF RFID 讀取器量測數據	
電路面積	10*5(mm)
電路厚度	1.6(mm)
主要使用頻段	922-928Mhz

在高頻電路設計中，當阻抗不匹配時，輸入功率無法完全傳送到負載而有反射現象，因此，在微波電路中定義反射損失(Return loss)來表示反射的情形，以反映阻抗的匹配度：

$$(RL) \equiv -20 \log |\Gamma| \quad (\text{dB})$$

其中的  $\Gamma$  即為反射係數。當阻抗完全匹配時， $\Gamma=0$ ，因此  $RL = -20 \log |0| = \infty (\text{dB})$  表示沒有反射，功率沒有損失，全部傳送至負

載。當阻抗完全不匹配，反射係數  $|\Gamma| = 1$ ，故

$$RL = 20 \log |1| = 0 (\text{dB})$$

表示功率完全反射回來，在天線數據中使用的  $S_{11}$  就是反射損失。

方向性和增益[1]是量測天線相當重要的數據之一，單位都以dB表示，其定義如下：

$$D(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)}{U_{ave}}$$

$$G(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}/4\pi}$$

Pin: 輸入功率  
D: 方向性  
G: 增益

其中

$$U(\theta, \phi) = \frac{1}{2} \text{Re}(\vec{E} \times \vec{H}^*) \cdot r^2 \hat{r}$$

上式中， $U(\theta, \phi)$ 代表天線於空間中其中一個方向 $(\theta, \phi)$ 每單位空間的輻射功率，空間角所代表的立體角度如圖12所示。利用空間角的概念，我們可以了解天線的輻射能量集中於哪些方向或多大的空間角度。

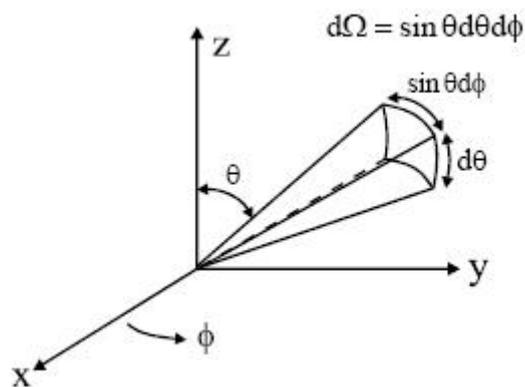


圖 12 空間角所代表之立體角度

電磁波在半波長倍數的傳輸線上傳送時，會在半波長倍數的位置產生駐波，假設傳輸線是理想的導體，則駐波永遠存在，而振幅及相位永遠

不變。因此 Patch 天線利用此原理，將天線長度設計成半波長的長度，利用傳輸線將波傳送到 Patch 天線使電波在天線裡共振。由於應用在 UHF 的半波長天線對讀取器系統來說還是太大，故將原本直線的金屬做成迂迴彎曲狀 (Meandered)，如圖 13 所示，並利用接地面的鏡像原理將天線的長度改成  $\lambda/4$ ，使用這種方式能有效的縮小天線體積。

為進一步縮小天線所佔空間，參考[9]將天線本體分成 5 片，成為立體的方盒子，如圖 14，此種設計是考量到天線裝置到讀取器後，電路的接地面和散熱片會造成輻射頻率不穩定，所以就需要做天線的調整，而將天線製成立體的 5 面形，就可以方便更換不同寬度 slot 的金屬片(改變電流路徑)來調整天線的輻射頻率，另一方面也可以減少讀取器的空間需求。

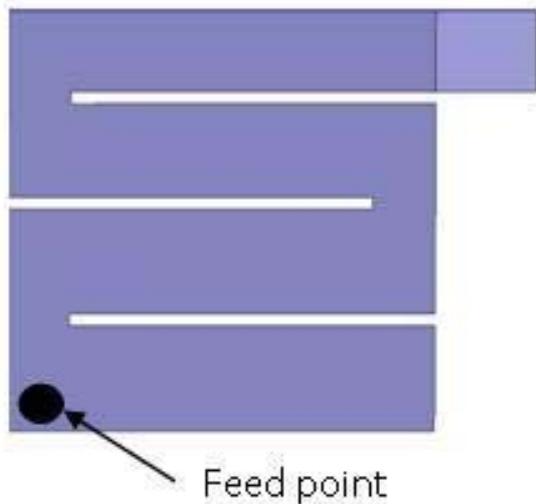


圖 13 Meandered patch 天線

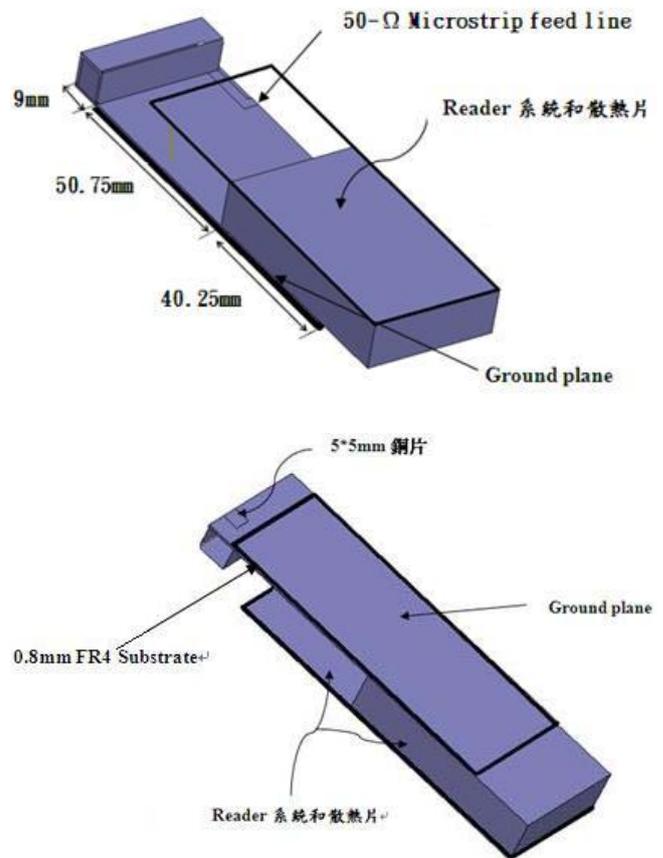


圖 14 Meandered patch 天線之尺寸與立體結構

利用雕刻機製作出天線後，將天線擺放在讀取器上(圖 15)，使用網路分析儀(HPE507)測量 Return Loss( $S_{11}$ )，結果如圖 16 所示，從此圖可看出實際測量結果比起模擬測量有較佳的匹配，但其實是因為在實際製作時饋入端會多加一個 SMA 的銅軸，另外天線設計架構為立體，製作上會有些小誤差。這些因素也就會讓實際量測和模擬結果有些許的不同，不過輻射的頻段大致相同，並且有良好的頻率範圍(922-928 MHz)，故達成這次天線設計的目的。



圖 15 天線置於讀取器上進行實測

符合設計結果後，將天線在無反射實驗室中測量其增益 (Gain) 與輻射場型 (Radiation Pattern)，從圖17可以看到在GSM(860-960MHz)所測量的天線增益圖，在讀取器所使用之頻段有良好的增益。圖18為輻射場型，測量結果皆符合此次天線設計的目的。

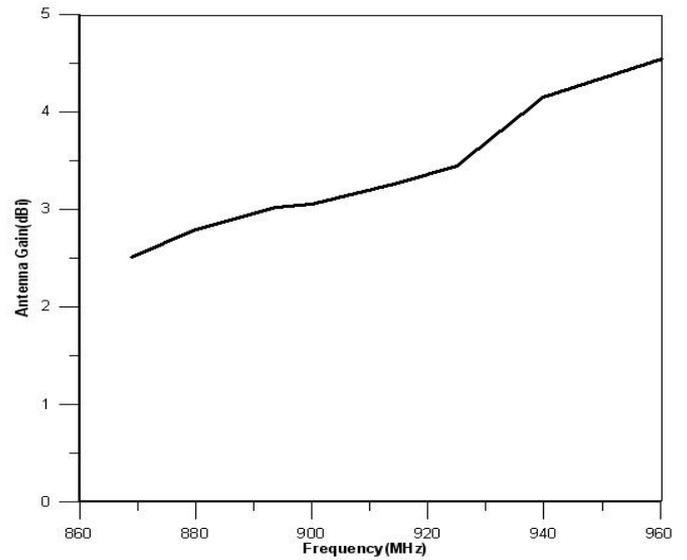


圖17 實際量測UHF頻段之增益

## 七、效能驗證

RSSI (Received Signal Strength Indicator, 接收信號強度指示器) 是一無單位量，以1位元組無號整數表示，其範圍為0到255，其最高值RSSI\_Max因供應商而異，此值通常用於表示連接的品質。RSSI與距離之間一般來說是成反比，距離越近RSSI值越大，反之，距離越遠則RSSI值越小。分別對一般的標籤與On metal 標籤進行測試，一般標籤的測量方式是直接置於桌面，而On metal 標籤的測量方式則是將其置於金屬板上，一方面是為了模擬真實環境，另一方面則是因為On metal 標籤放置在金屬板上可獲較好的增益。

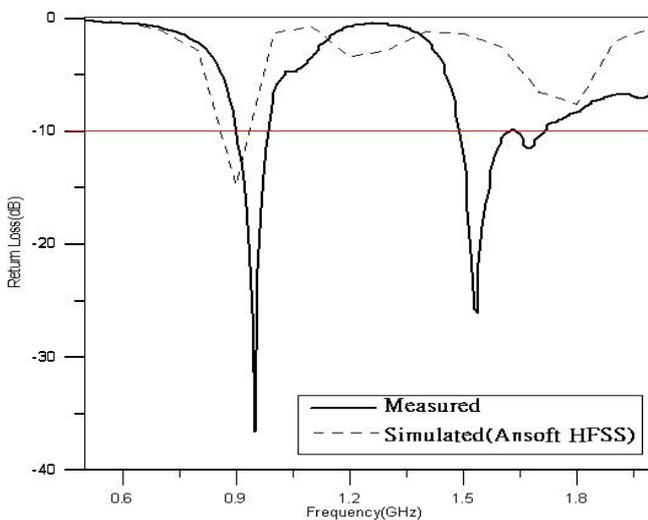
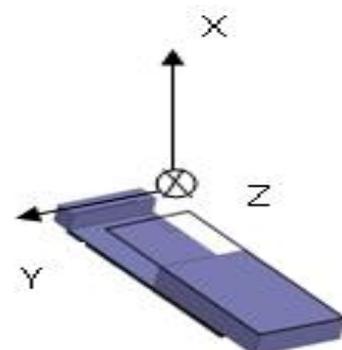
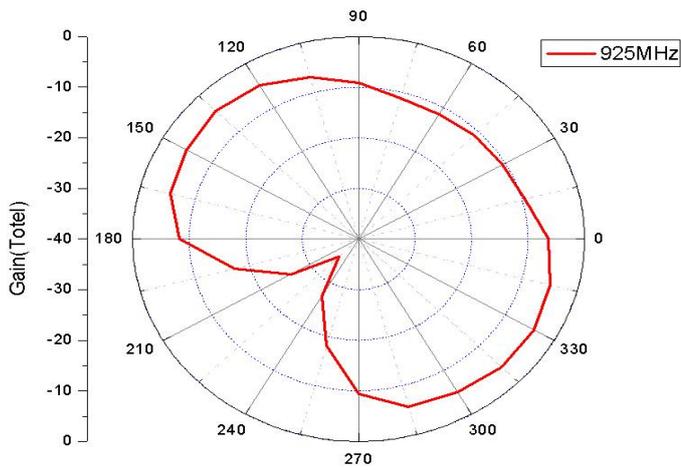
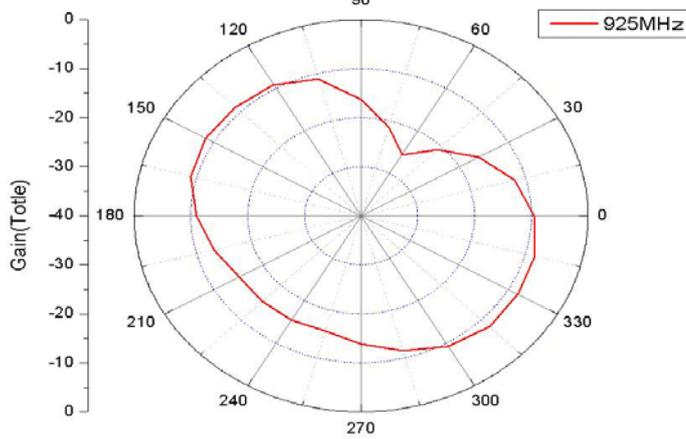


圖16 模擬與實際量測Return Loss之比對

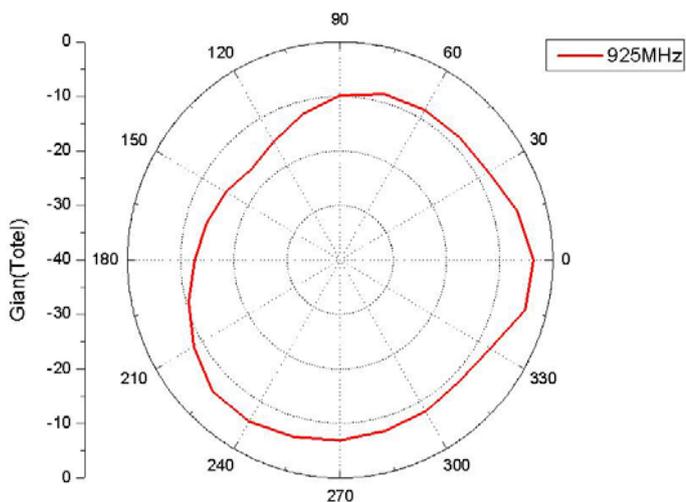




X-Z



X-Y



YZ

圖18 實際量測天線之幅射場型

測試方式如圖 19 所示，無線傳輸功率設定為 20 dBm (100 mW)，並使用自行研發之天線，從 10 cm 開始測量，每 5 cm 取樣 RSSI 值，每一距離取樣 5 次並求其平均值，做為該距離所測得的 RSSI 值。所得到的值結果如圖 20 與 21 所示。

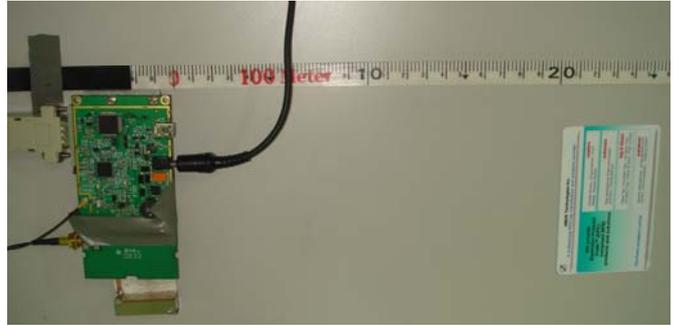


圖 19 距離與 RSSI 之關係之量測方式

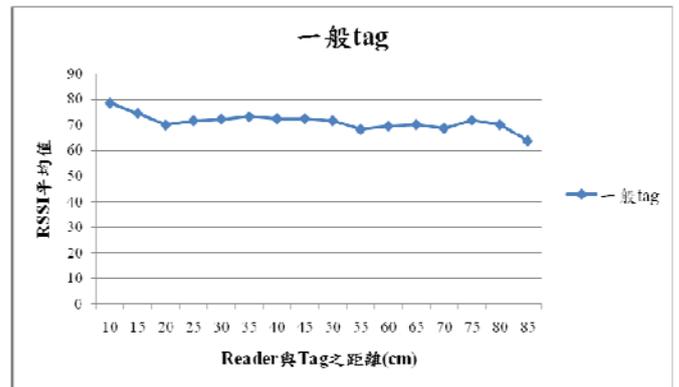


圖 20 一般標籤距離與 RSSI 之關係圖

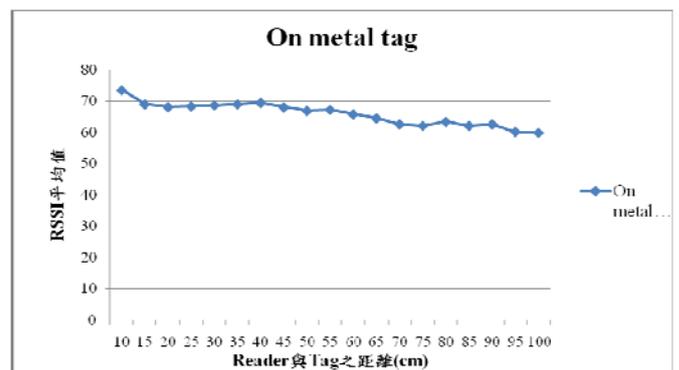


圖 21 金屬標籤距離與 RSSI 之關係圖

經實測證明，RSSI 確實有與距離呈現反比的趨勢。本實驗所測得的一般標籤讀取有效距離最高可達 85 cm，On metal 標籤最高讀取有效距離則可達 100 cm。

## 八、實際操作

為克服瓦斯相關從業人員對精密電子產品系統的不熟悉及恐懼，我們將繁雜的功能簡化，不須經過冗長的職業訓練，只需透過幾個按鍵，就能達到快速精準的瓦斯追蹤管理，如圖 22~24。



圖22 天線讀取鋼瓶方向



圖23 LCD螢幕資料顯示

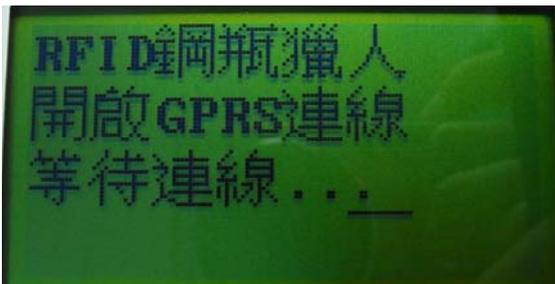


圖24 系統與後端系統透過GPRS連線且傳輸成功後所顯示的畫面

## 九、結論

本論文對利用嵌入式與無線通訊技術，設計瓦斯鋼瓶管理所牽涉原理與實作進行詳盡之介紹，並對所製作成品之功能加以測試，結果亦符合預期目標。未來將對系統之小型化繼續研究，並提升系統之穩定性與易用性。

### 誌謝

本論文為國科會產學合作研究計畫 NSC 97-2815-C-197-015-E 執行之部分成果，作者感謝國科會與家用資訊公司對本研究之支持。

### 參考文獻

- [1] 邱建文，微波被動電路實驗講義，微波網路與分析儀原理，國立宜蘭大學電子系，2006
- [2] 自動化在線，現代電子技術，2009(2).
- [3] 黃玉婷，“RFID 受金屬環境之影響及目前產品現況簡介”，RFID 材料與運用趨勢專欄，2007(3).
- [4] 趙犁、鄧笙、虞俊俊，“金屬介質對超高頻 RFID 被動標籤讀取效能的影響及可用於金屬表面標籤的設計”，工程設計學報，第 13 卷，第 6 期，pp.416-420，2006 (11).
- [5] 謝建新，RFID 理論與實務，網弈資訊出版社，2006.
- [6] Atmel, AT91SAM7S256 Datasheet, 2005 (6).
- [7] Atmel, ATMEGA64 Datasheet, 2008 (7).
- [8] BenQ, BenQ M23 GSM / GPRS Wireless Module Datasheet, 2005 (8).
- [9] F.S. Chang and K.K. Wong, “Folded meandered patch monopole antenna for low profile GSM/DCS dual-band mobile phone,” Microwave and Optical Technology Letters, vol. 34, no. 2, pp.84-86, 2002.
- [10] Intel, Intel R1000 Firmware Datasheet, Revision 1.3, 2008 (4).
- [11] J.D. Krause and R.J. Marhefka, Antennas for All Applications, McGraw-Hill, 2003.
- [12] P. H. Cole, Fundamentals in RFID, 2006 (5).