適用於複雜傳播環境的可切換式感測網路讀取天線設計

蕭博仁*、涂雲從、廖文照
國立台灣科技大學電機工程系

摘要—本論文提出一款主要應用情境為貨車車廂或是貨櫃內，且可依傳播環境大小調整架構的無線感測網路讀取器天線。其基本天線結構為採用微帶天線組成的陣列，具有平面化的構型，便於與貨櫃壁整合，可置於貨櫃內的不同位置。由於單元天線是採用微帶天線，所以可具有兩正交方向極化。在使用時，單一讀取器天線僅需涵蓋貨櫃部分空間，可依貨櫃大小及不同使用情境，增減天線數量，利用射頻開關作切換，達到完整的空間涵蓋。而讀取器天線本身可依需求，組成不同單元數的陣列，在增益與涵蓋範圍間取得平衡。

一、 簡介

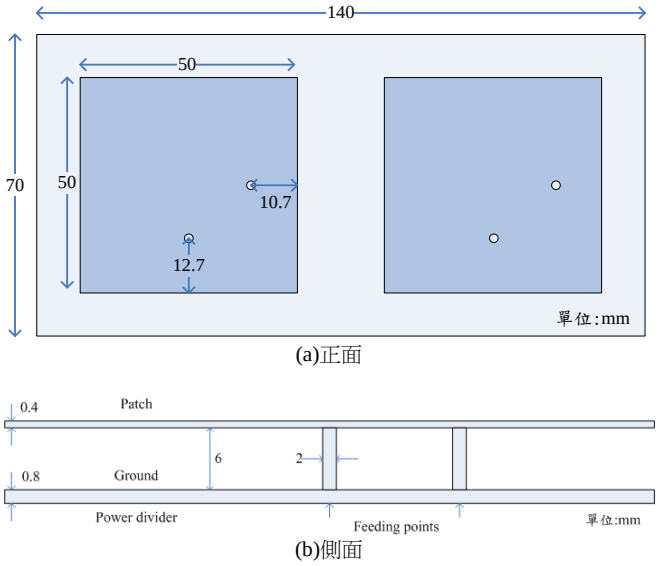
為滿足大眾對食品健康、安全、與異質多樣化的生活需求，冷鏈物流服務應運而生。為確保生鮮食品在運輸途中保存環境的正常，則有可能需要隨時監控諸如溫度變化等環境訊息。因此，在智慧運輸系統下能夠正確取得相關資訊是相當重要的。不過為了節省冷鏈物流的運輸成本，在「最後一哩」的顧客端配送，因貨品數量較少，配送路徑繁複，可考慮使用不具冷凍設備的小型車輛，方便實現貨品遞送。雖然貨品離開冷凍櫃的時間不致於太長，為了確保食材品質，能需使用具絕熱效能的恆溫箱，並由溫度感測器持續監控。然而在多個恆溫箱排列下的貨櫃內，天線的輻射電波會受到相當的干擾，且恆溫箱內，裝有如冰、冷凍食品等高介電損耗物品，會造成訊號傳播時衰減過大。電磁波在堆滿恆溫箱中的金屬貨櫃中傳播，將有多重路徑反射，導致訊號微弱的現象。

為配合標籤天線通常都是線性極化，且可能任意擺放的情形，所以傳統射頻辨識讀取器天線都擁有圓極化的特性 [1-3]，但圓極化的讀取器天線增益先天上就有-3 dB 的衰減，進而造成讀取範圍縮小。

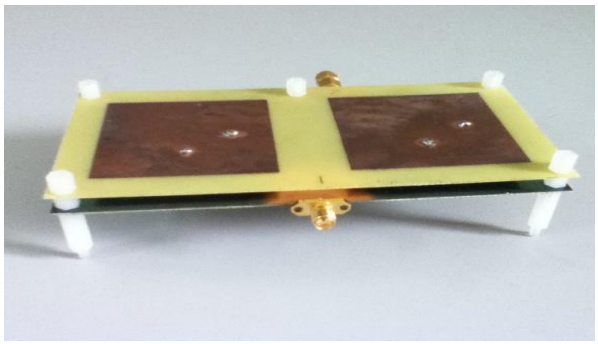
考量監控環境中，溫度不會在瞬間劇烈變動， 不需要連續性的觀察，只需間歇性的資料傳輸，本研究採用雙正交線性極化天線，搭配射頻開關的設計作為讀取器天線，在不損失能量的情況下，增加天線涵蓋範圍。且可以依據使用環境來調整天線單元的數量組成陣列，以達到較大的增益或較大的波束涵蓋範圍。

二、 天線設計

本研究採用雙線性極化天線搭配射頻開關的設計作為讀取器天線。圖一(a)為設計在 FR4 板(ε_r = 4.4) 上之 1 × 2 貼片天線陣列正面結構圖，操作於 2.4 GHz。圖一(b)為側面結構圖，上方為貼片天線，厚度為 0.4 mm。下方為地板及兩組一分二功率分配器，厚度為 0.8 mm，以頂針方式饋入，總體尺寸 140 × 70 × 7.2 mm^3。兩層板間以空氣作為介質，可以提高天線輻射的效率，圖二為實作成品。



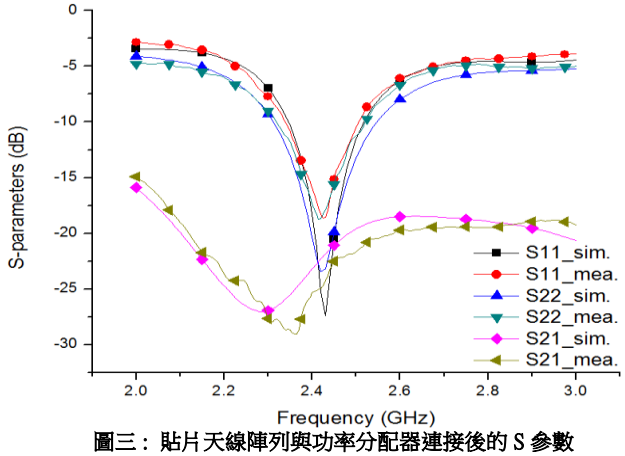
圖一： 1× 2 貼片天線陣列結構圖



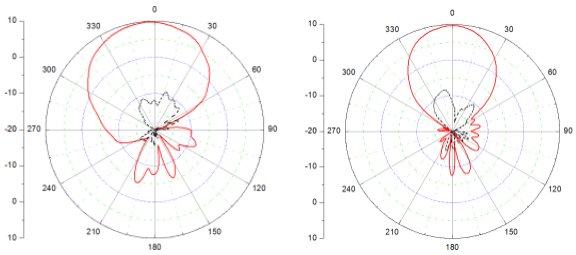
圖二: 1× 2 貼片天線陣列實作圖

將貼片天線陣列與功率分配器連接後，量測 S 參數如圖三所示，埠 1 控制垂直極化，埠 2 控制水平極化。量測的垂直極化埠頻寬從 2.34 至 2.51 GHz，中心頻為 2.42 GHz；量測的水平極化埠頻寬從 2.32 至 2.52 GHz，中心頻為 2.42 GHz。兩支功率分配器的穿透系數皆低於-20 dB，隔離度佳，埠與埠間耦合情況不明顯。圖四為原型天線在無反射實驗室量測到的各平面的同極化與交叉極化場型，圖五(a)與(b)分別為量測垂直與水平極化的結果，可以發現同極化與交叉極化差值十分明顯，代表兩極化不會同時激發，驗證了此天線具有極化分集的效果。圖五為 2.4 GHz 的模擬與量測之二維場型比較，(a)與(b)分別為垂直極化埠與水平極化埠的結果，結果相當一致。

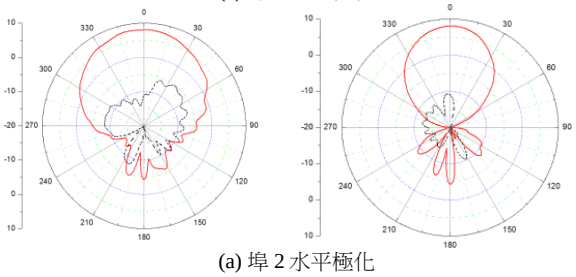
Corresponding author:B9807125@mail.ntust.edu.tw
DOI:10.6159/IJSE.2014.(4-2).54



圖三：貼片天線陣列與功率分配器連接後的 S 參數

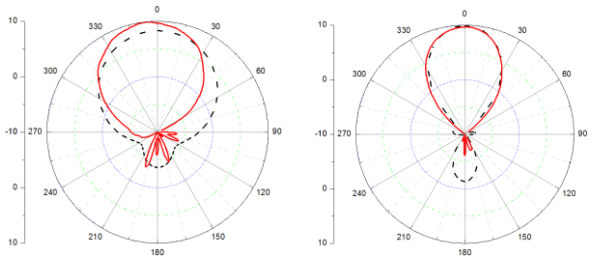


(a) 埠 1 垂直極化

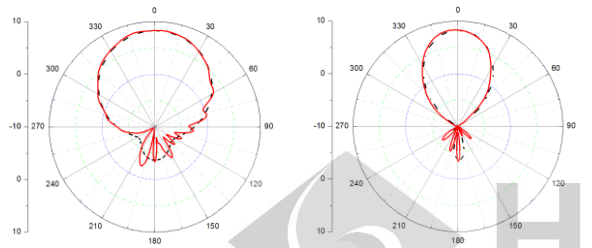


(a) 埠 2 水平極化

圖四：1 × 2 貼片天線陣列之主極化與交叉極化量測場型
(左: *xz* 面，右: *yz* 面)



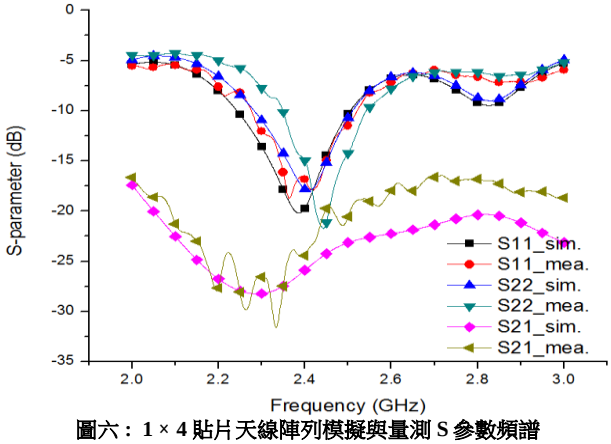
(a) 埠 1 垂直極化 *xz* 面　　(b) 埠 1 垂直極化 *yz* 面



(c) 埠 2 水平極化 *xz* 面　　(d) 埠 2 水平極化 *yz* 面

圖五：貼片天線陣列量測的 2D 場型

接著將貼片天線擴充為 1× 4 天線陣列並進行實作，驗證其效能。貼片天線陣列總體尺寸為 280 × 80 × 7.2 mm^3(不含塑膠柱與 SMA 接頭)。上層板由四片貼片天線組成，下層板為兩組一分四威爾京森功率分配器。圖六為 1 × 4 貼片天線陣列模擬與量測 S 參數頻譜，埠 1 為垂直極化，埠 2 為水平極化。埠 1 量測頻帶從 2.27 至 2.52 GHz，中心頻為 2.41 GHz；埠 2 量測頻帶從 2.34 至 2.54 GHz，中心頻為 2.44 GHz。觀察頻帶內穿透係數發現數量級皆維持在-20 dB 以下，結果顯示埠 1 與埠 2 間有不錯的隔離度。而實測與模擬的場形比較結果，也都符合預期。



圖六：1 × 4 貼片天線陣列模擬與量測 S 參數頻譜

三、 應用於小型物流車內之傳輸實驗

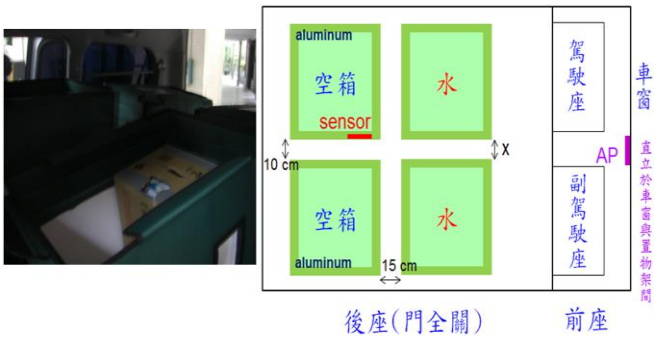
本實驗目的主要為評估讀取器與感測器天線輻射在貨車內，因恆溫箱內容物的電磁衰減與車廂內多重路徑反射所造成的傳播衰減數量級與變動量。驗證具指向性、且極化方向可切換的讀取器天線，可否在複雜傳播環境中，利用空間分集與極化分集，提升讀取器的涵蓋範圍。

實驗設計依照想要觀察的現象，擺設恆溫箱及讀取器天線位置，接著使用網路分析儀連接讀取器與感測器天線，調整實驗變數，觀察傳輸係數的變動量，評估車廂內多重路徑干擾和恆溫箱裡的水造成的影響。圖七為傳播實驗的環境及器材。使用的貨車為 8 人座廂型車，車總長約四米半。使用 Anritsu MS2026A 可攜式網路分析儀連接讀取器天線與感測器天線。量測時將感測器天線裝在無鋁箔的恆溫箱側邊，置於車內，讀取器天線則放置在車內不同位置進行量測。此實驗使用的讀取器天線為只有垂直極化的初版天線設計，功率分配器與天線陣列間以訊號線連接。

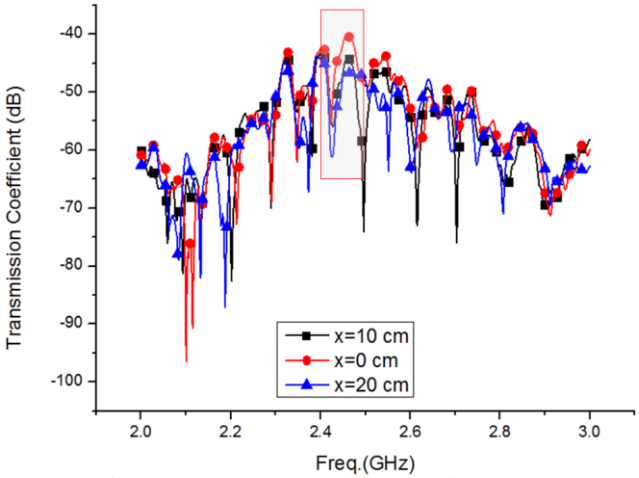
圖七：傳播實驗環境及器材

HyWeb

以下傳播實驗為評估恆溫箱內貨品的影響。一般最常裝在恆溫箱內的貨品就是食物，而此類含水分、具導電性的物品在 2.4 GHz 時的衰減相當明顯[4]。因此恆溫箱上的感測器天線是採用低姿態的扁平式偶極天線設計，具有天線場型往側邊輻射的特性，可以讓訊號穿過堆疊的恆溫箱間空隙，抵達讀取器天線，而不是直接穿過食物，造成訊號的衰減。如圖八，我們將感測器天線前方的恆溫箱裝水，並且改變兩水箱的間距 x，觀察其傳輸係數變化。如圖九，觀察穿透係數變化發現，頻譜有明顯漣波產生，頻段內最大與最小值有超過 20 dB 的變動。顯示除了訊號傳播受到水的干擾，多重路徑反射在不同頻率點，於空間中會有不同的影響。在藍芽頻段中，電磁波隨著兩水箱間距離的增減，在空間中造成建設性相加或破壞性相消的效果，讓即使被兩水箱擋住的感測器天線，依然能藉由多重路徑將訊號傳播至讀取器天線。

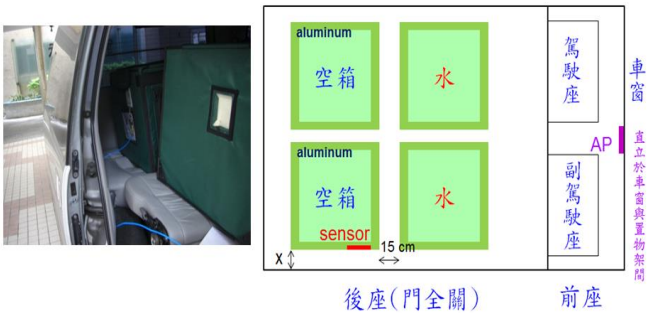


圖八：蓄冷箱內貨品影響實驗擺設示意圖

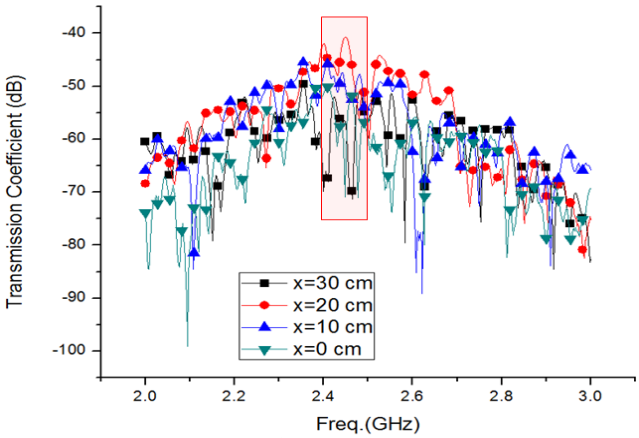


圖九：蓄冷箱內貨品影響實驗傳輸係數頻譜

下一項實驗將感測器天線移出讀取器波束的正前方，置於靠近後方車門旁邊的位置，目的是要驗證當感測器天線位在讀取器天線波束邊界時、或是靠近金屬牆的傳輸效能。其設置環境如圖十所示。觀察圖十一發現頻譜依然有明顯的漣波出現。對於感測器天線和金屬牆之間距離的變化，傳輸係數並不一定會因為越靠近金屬牆而變得較低，反而呈現不規則的變化，可以看出多重路徑反射在這類傳播環境之下的影響。當電磁波在感測器天線處，呈現破壞性相消時，傳輸效能也會隨之降低。從圖十一發現，最低的傳輸係數約在-75 到-80 dB 間。對於使用藍芽模組的感測器網路來說，可能會產生無法正確解調變的情形，所以應盡量避免使用類似的擺設方式，或使用天線的不同極化方向來改善接收效果。

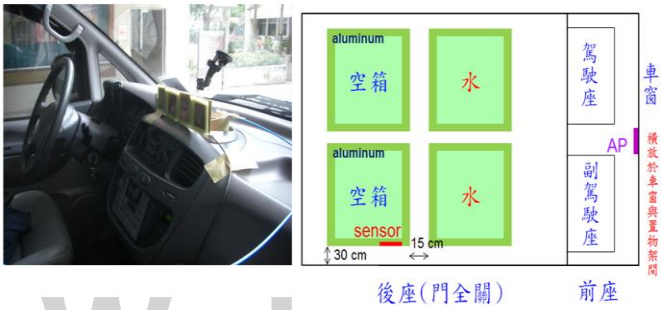


圖十：波束邊界傳輸實驗擺設示意圖



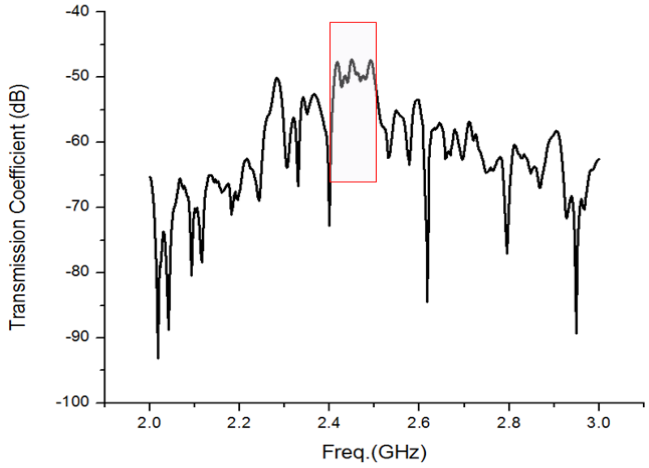
圖十一：波束邊界傳輸實驗傳輸係數頻譜

接下來的實驗是將針對上一組實驗的最差情況，切換讀取器天線極化方向進行測試。如圖十二，將原本直立的讀取器天線橫放於車窗與置物架間，相當於變動極化方向的改變，進而改變了空間中多重路徑反射的破壞性相消的分布，此時天線的輻射變為水平方向極化。觀察圖十三中的傳輸係數，與圖十一中的結果相較，有明顯的提升，最低的傳輸係數約在-65 dB 左右，一般都有達到-50 dB，意味著使用極化分集可以改善此一應用情境下的傳輸零點問題。



圖十二：切換讀取器天線極化方向擺設實驗示意圖

MyWeb



圖十三：切換讀取器天線極化為水平方向的傳輸係數頻譜

四、結論

本研究提出一個適用於冷鏈物流服務溫度監測感測器網路的讀取器天線，其布建架構可以動態調整，以涵蓋貨車車廂或是貨櫃內的不同位置。單一天線僅需涵蓋貨櫃內的部分範圍，配合射頻開關以慢速或定速方式切換，可達到較大的增益與較大的涵蓋範圍。在傳輸實驗中，雖觀察到含水內容物會吸收輻射能量的現象，但訊號仍可經由多重路徑反射，將能量傳播至讀取器天線，也證實經由變動讀取器天線極化的方向，可利用空間內多重路徑的改變，進而讓傳輸零點發生的機會降低，確保傳輸品質。

參考文獻

[1] H. L. Chung, X. Qing, and Z. N. Chen, “A broadband circularly polarized stacked probe-fed patch antenna for UHF RFID applications,” *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2007, pp. 1-9, 2007.

[2] H. W. Kwa, X. Qing, and Z. N. Chen, “Broadband single-fed single-patch circularly polarized antenna for UHF RFID applications,” in *Proc. of IEEE Antennas and Propagation Society Int. Symp*., pp. 1–4, Jul. 2008.

[3] Z. N. Chen, X. Qing, H. L. Chung “A universal UHF RFID reader antenna” in *IEEE Tran.on Microw. Theory Tech*, vol. 57, no. 5, pp. 1257-1282, May 2009.

[4] N. N. Rao, *Elements of Engineering Electromagnetics*, 6th ed., Pearson Education Inc., New Jersey, 2004.

HyWeb