

與機構整合的微型化 UHF 頻段天線

謝鎮宇*、蕭博仁、廖文照
國立台灣科技大學電機工程系

摘要 — 本文針對操作於 902–928 MHz 免授權頻段的無線攝影機發射天線進行微型化設計。將一般的單極天線改以螺旋線結構縮短其物理尺寸。為了達成將天線內藏於攝影機模組的需求，因此進一步將螺旋天線製作在攝影機模組電路板的淨空區上，完成了與機構整合的內藏式晶片天線設計。微型化後的晶片天線長度小於操作頻率波長的二十分之一。經實際測量，該天線的輻射效率可達 30%，最大增益約為 0 dBi。在無太多阻擋物的室內環境中，可以提供 40 公尺以上的傳輸距離，而在一般辦公室的環境下也能有 15 公尺以上的傳輸距離，達到與外接式天線相近的效能。

一、簡介

隨著無線傳輸技術的日益進步，可實現無線影像傳輸的電子產品也推陳出新。這些產品大多使用免授權的 ISM 頻帶進行資料傳輸，在微波頻段，常用的有 902–928 MHz、2400–2480 MHz、以及 5725–5850 MHz 這幾個頻段。使用這些頻段只須遵守特定的發射功率，不需要執照，能夠降低新產品推出的時程與成本。本研究的天線應用標的為一無線攝影機模組，其外殼大小為 $50 \times 50 \times 20 \text{ mm}^3$ 。內部有兩片 $50 \times 50 \times 1.6 \text{ mm}^3$ 的電路板。該應用需求希望能將攝影機模組與天線整合。整合後的天線需在 902–928 MHz 有良好的匹配，輻射效率也要有一定的水準。

對於一般的四分之一波長的單極天線而言，欲符合上述條件並不會有太大的困難，但是使用單純的單極天線會使得產品的體積過大，導致賣相不佳。所以對天線進行微型化是必需的。常見的微型化單極天線有蜿蜒式天線 (meandered antenna)[1]、折疊式單極天線 (folded monopole)[2]、螺旋天線 (helical antenna)[3]，也可以將天線饋入方式採用耦合饋入 (coupled feed) 來縮短天線長度 [4-5]。

本研究提出的天線主要採用螺旋天線設計，並將天線與機構整合成內藏式天線。在實作時，考量模組中尚有另一片電路板，以及塑膠的模組外殼，其對天線特性所造成的影響也需要注意，因此也探討了淨空區對於天線效能的影響，在淨空區大小與天線效能中取得折衷。

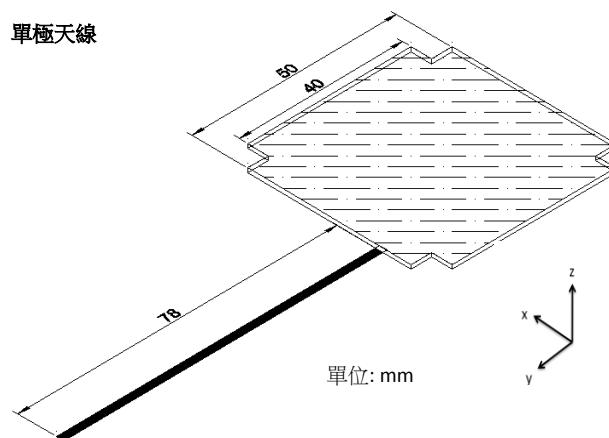
二、天線設計

圖一為單極天線幾何結構，板材為 FR4 板 ($\epsilon_r=4.4$)，天線總長度為 80 mm。此天線有良好的匹配、效率、頻寬，但是尺寸較長，不符合應用的需求。為了縮短單極天線的長度，我們將單極天線改成螺旋線結構的形式，如圖二所示，只留了約 18 mm 的主輻射體，其餘部分繞

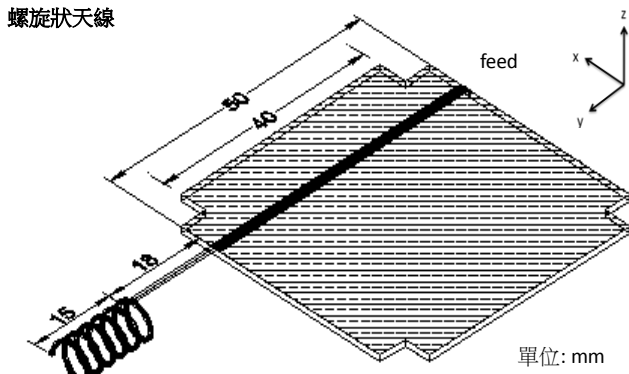
成螺旋狀。加入了螺旋結構後的天線總長度只剩下 33 mm。相當於 915 MHz 頻率訊號的十分之一波長。不過要注意的是，該天線雖然結構類似螺旋天線，但因螺旋線段纏繞緊密，其上的電流並不易產生輻射，僅能達到延長共振路徑的效果，主要的輻射位置還是靠近饋入點旁的直線線段。

圖二中黑線的部分為特性阻抗為 50 歐姆的微帶線，雖然此作法能有效縮短天線長度，但天線的匹配、頻寬、輻射效率皆會因加入螺旋結構而變差，且本天線設計在製作上較為困難，並有 33 mm 長的天線結構突出於攝影機模組外。

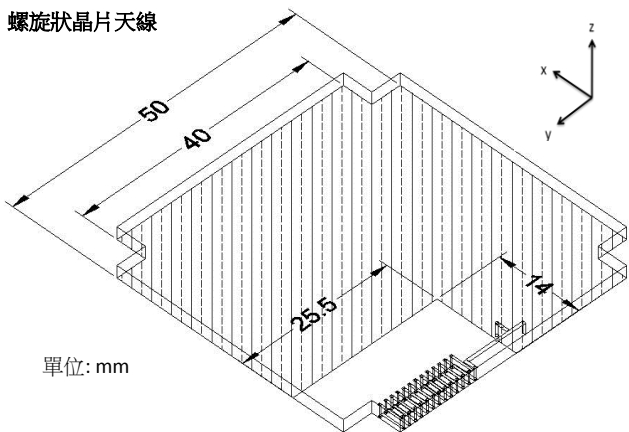
為了實現內藏式的天線，我們如圖三所示，將螺旋天線與機構整合成置於攝影機模組內的晶片天線，並加入了電感與電容集總元件來調整天線匹配。當板材因介電常數與預期有差異而產生頻偏時，也能藉由微調兩個集總元件值來獲得所需的共振頻率。圖三顯示該扁平化的螺旋狀天線設計能夠與電路板佈局整合，方便製作。不過由於加了集總元件，會造成頻寬、效率的下降。圖四為天線的細部幾何結構尺寸，天線大小為 $23.7 \times 4 \text{ mm}^2$ ，串聯的電感值與並聯的電容值分別為 2 nH 以及 6 pF。



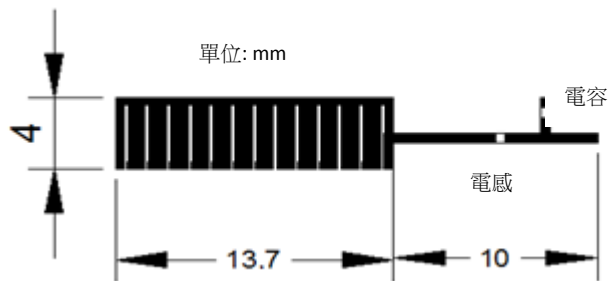
圖一：位於攝影機模組電路板旁的單極天線



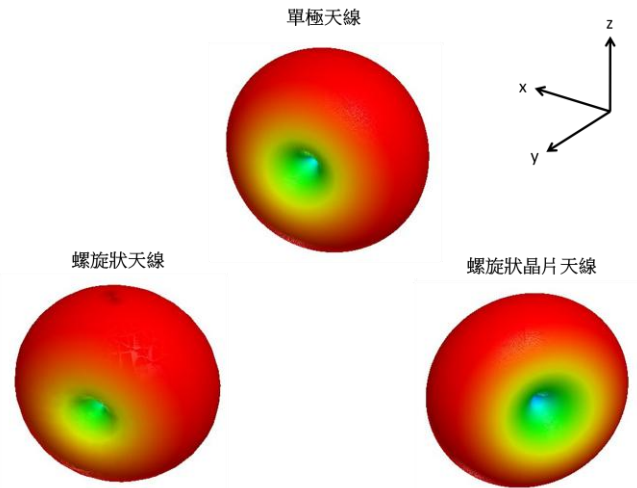
圖二：位於攝影機模組電路板旁的螺旋狀天線



圖三：內藏於攝影機模組電路板的螺旋狀晶片天線



圖四：螺旋狀晶片天線尺寸



圖五：三種天線在 915 MHz 的模擬輻射場型圖

圖五為上述三種天線在 915 MHz 的輻射場型比較圖，單極天線的輻射場型主要由 y 方向的電流產生，在 xz 平面具有全向性， $+y$ 與 $-y$ 方向有零點。螺旋狀天線的場型與單極天線類似，只有零點稍微朝 $-x$ 方向偏移，這可能是天線與地板結構上的電流分布不均所造成。而螺旋狀晶片天線的場型與前兩個差異較大，零點偏移到 $+y$ 軸與 $-x$ 軸之間，主要是因為饋入點附近的地板會提供 x 軸方向的電流，使得場型偏轉。

表 I：三種天線效能比較表

	單極天線	螺旋狀天線	螺旋晶片天線
中心頻率	910 MHz	915 MHz	915 MHz
頻寬	119 MHz(13%)	28 MHz(3%)	11 MHz(1.2%)
效率	98%	93%	39%
最大增益	2.45 dBi	2 dBi	-2.1 dBi

表 I 為三種天線的效能比較，螺旋狀天線頻寬下降，主要是因為能量儲存在螺旋結構上， Q 值上升而導致頻寬與效率下降。由於螺旋晶片天線的螺旋結構也會儲存能量，而且是製作在 FR4 板材上，會有較多的損耗。再者因為內藏形式的需求，使得天線輻射體與接地面的距離過近，讓天線易受到映像電流的影響，造成螺旋晶片天線的輻射效能大幅下降。

三、內藏式螺旋天線實測結果

在實際應用上，由於該攝影機模組如圖六所示，有兩片電路板，以及鐵氟龍外殼($\epsilon_r=2.1$)，因此在實作時也必須考慮第二片電路板以及外殼的影響。圖七為天線實作成品，由於兩片板子重疊時的間距僅有 3 mm，因此第二片電路板上，也必須有相同的淨空區，才能讓天線輻射。

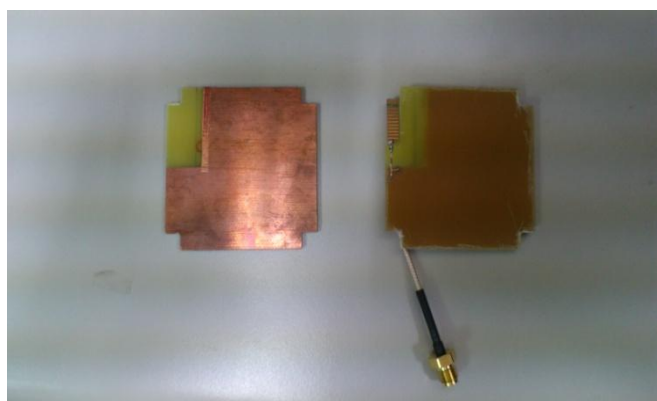
實作的天線經網路分析儀與台科大的球面近場無反射室測量後，得到反射係數與輻射場型結果。圖八為模擬與實測的反射係數比較，由於板材介電係數與預期值有差異，因此有些微的頻偏，但此一頻偏可改變饋入結構附近的並聯電容值，來調整其共振頻率。圖九為實測

的天線增益與輻射效率，效能與模擬結果相近。

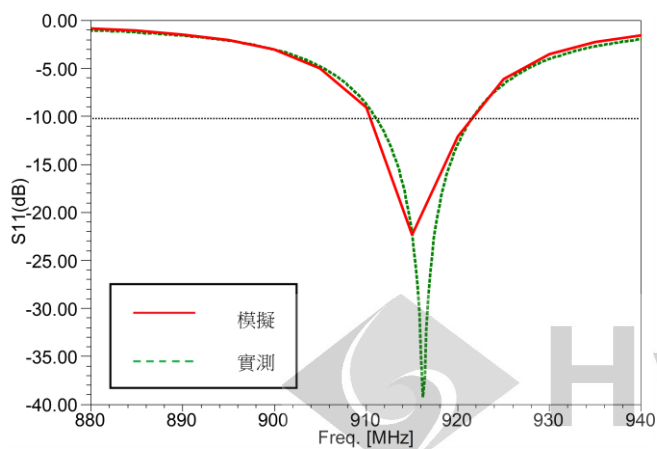
圖十為實測的輻射場型，由於天線饋入與接頭都沒有 Balun 的設計，電路板與纜線上可能都有電流，因此造成場型上的漣波，不過由於攝影機模組多使用於室內環境，具多重路徑反射，因此具漣波的場型並不會是影響傳輸性能的主要特性。



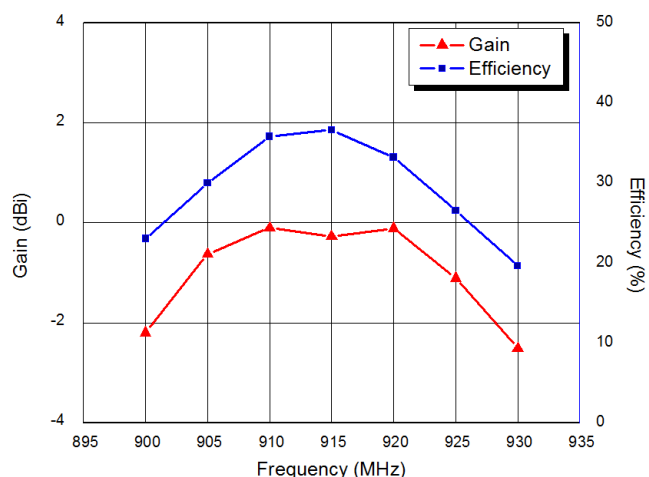
圖六：攝影機模組分解圖



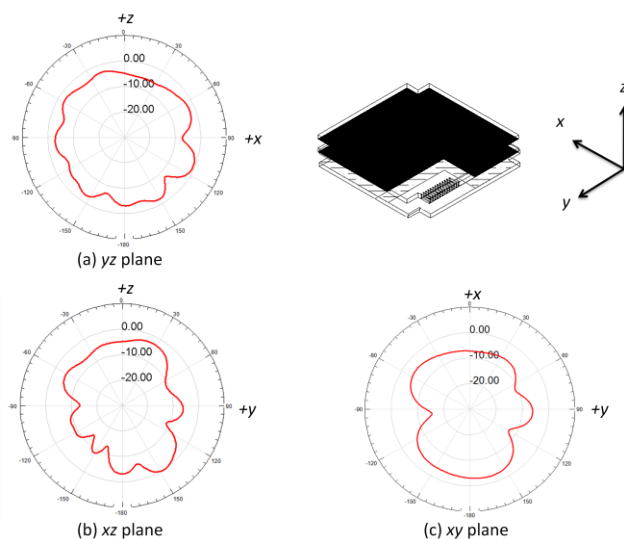
圖七：實作於攝影機模組電路板的螺旋狀晶片天線



圖八：螺旋狀晶片天線的模擬與實測反射係數



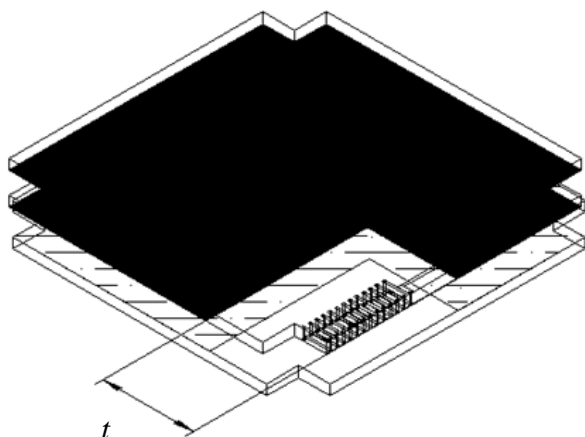
圖九：螺旋狀晶片天線的實測增益與效率



圖十：螺旋狀晶片天線的實測輻射場型

四、淨空區大小對於天線效能的影響

另一個影響天線效能的重要因素為天線的淨空區大小，淨空區過大會使裝置上可用於電路佈局的面積變少，淨空區若太小，天線可能會受其他元件的影響而無法有效率地輻射。因此我們也對淨空區寬度進行參數分析，如圖十一所示，將 t 設為淨空區寬度，結果如表 II 所示，隨著淨空區的縮小，中心頻率會往低頻偏，頻寬不會有太大的影響，但效率會有明顯的下降，這主要是因為接地面產生的映像電流太靠近天線而造成的。



圖十一：攝影機機構內雙層版及其淨空區

表 II：改變淨空區大小對天線效能的影響(實作)

	$t=14\text{ mm}$	$t=12\text{ mm}$	$t=10\text{ mm}$
中心頻率	916 MHz	908 MHz	898 MHz
頻寬	10 MHz	10 MHz	10 MHz
效率	33.8%	29%	27%
最大增益	0.27 dBi	-1.5 dBi	-2 dBi

五、結論

本篇論文成功將微型化的螺旋狀晶片天線與攝影機機構整合，除了可以用小於十分之一波長的天線尺寸達到共振外，輻射效率與共振頻寬也能維持一定的水準。天線的設計考慮了製程時材料介電常數的變動、鄰近元件以及機殼對於天線的影響，在饋入端加入了電感與電容元件，方便調整匹配。初步的裝置實測實驗中顯示，在無太多阻擋物的室內環境中，可以提供 40 公尺以上的傳輸距離，而在一般辦公室的環境下也能有 15 公尺以上的傳輸距離。

參考文獻

- [1] H.-D. Chen, W.-S. Chen, Y.-T. Cheng, and Y.-C. Lin, "Dualband meander monopole antenna," in *Proc. of 2003 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 3, pp. 48-51, Jun. 2003.
- [2] P. Li, Z. Nie, X. Zong, J. Ouyang, and Y. Ban, "A compact internal folded monopole for GSM/UMTS/LTE in the USB dongle," in *Proc. of Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology*, vol. 2, pp. 926-928, Jul. 2011.
- [3] S. Zhao, C. Fumeaux, and C. Coleman, "Optimized helical monopole antennas for portable VHF communication devices," in *Proc. of 2003 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, pp. 1-2, Jul. 2012.
- [4] W. S. Chen, and W. C. Jhang, "A planar WWAN/LTE antenna for portable devices," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 12, pp. 19-22, 2013.
- [5] Y. L. Ban, C. L. Liu, J.L.-W. Li, and R. Li, "Small-size wideband monopole with distributed inductive strip for seven-band WWAN/LTE mobile phone," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 12, pp. 7-10, 2013.