

平面耦合式多模態單極天線

指導老師：陸瑞漢老師

參賽組員：田皓文、謝丞鑫、張竣閔、陳育憲

e-mail：

1011236133@stu.nkmu.edu.tw

1011236140@stu.nkmu.edu.tw

1011236111@stu.nkmu.edu.tw

1011236138@stu.nkmu.edu.tw

摘要—本作品提出一款 L 型多頻天線以適用於平板電腦，其天線面積為 375.5 mm^2 ，提出一 T 型饋入金屬片耦合至雙寄生短路金屬帶以激發多頻模態，在短路處嵌入曲折路徑以簡化天線結構，其低/高頻段之阻抗頻寬為 275 / 1323 MHz，符合 LTE/WWAN 系統之操作頻帶，低/高頻段之實測峰值增益及天線效率分別為 5.3 / 2.5 dBi 及 85 / 62 %。

關鍵詞：LTE/WWAN、平板電腦、T 型饋入

I. 簡介

現今平板電腦產品的設計趨勢除了要求輕、薄的外型設計外，在基本的通訊頻帶已從傳統的 GSM900/1800 雙頻操作[1]演變成多頻操作(WWAN 五頻操作)，其操作頻帶主要可區分為 2G GSM (Global System for Mobile Communication, 824 ~ 960 MHz/1710 ~ 1990 MHz)及 3G UMTS (Universal Mobile Telecommunication System, 1920 ~ 2170 MHz) [2]。另外現今推動發展中的第四代行動通訊系統主要是使用長期演進技術 LTE (Long Term Evolution) [3]，此新一代的無線通訊標準是由 3GPP (3rd Generation Partnership Project) [4] 所負責制定，而目前分為分頻雙工(Frequency Division Duplexing；FDD)與分時雙工(Time Division Duplexing；TDD) 2 種傳輸方式，FDD LTE 為 WCDMA 的演進方向，而 TDD LTE 則是中國移動 TD-SCDMA 的演進路線。此 LTE 標準將大幅提升行動通訊網路之傳輸速率，同時並相容於第二代及第三代行動通訊系統，行動通訊裝置天線將需於

有限的空間中涵蓋八頻 LTE/WWAN 操作，其所需之頻帶包含 699 ~ 960 MHz 及 1710 ~ 2690 MHz。因此在低頻率、寬頻帶的需求下，要同時兼顧 LTE/WWAN 八頻操作以及天線縮小化成為天線設計上之一大挑戰。另外隨著平板電腦將內建 LTE 功能，促使平板電腦能夠具有更廣泛的無線通訊範圍及更高的傳輸速率，因此要完全發揮 LTE 的高速傳輸、頻寬及傳輸品質，則必須進一步在平板電腦上增加輔助天線來達成多重輸出 (Multiple-input Multiple-output；MIMO) 的操作需求，進而滿足使用者高速傳輸資料的需求。

II. 研究動機

由於隨著智慧型手機及平板電腦的崛起，Apple 推出結合網路雲端行動應用的平板電腦，帶動了全球平板電腦產業的再度崛起，並吸引了許多科技公司爭相加入這個新興產業，平板電腦不僅取代了大部份小筆電市場，而且還取代了部份筆記型電腦及智慧型手機市場。目前已經有許多平板電腦天線發表 [5-17]，其中部分為 WWAN 天線設計[5-10]，而部份為 LTE/WWAN 天線設計[11-17]。從中可以發現近期文獻中，提出將耦合饋入技術應用於單極天線(Monopole Antenna)、倒 F 形天線(PIFA)、迴圈天線(Loop Antenna)或是單極槽孔天線(Monopole Slot Antenna)來達成多頻操作之天線設計，另外，也發現使用耦合饋入之天線，其操作頻寬相較於傳統直接饋入具有增加頻寬之效果，此外亦有使用外

加匹配電路方式[8-10, 18-25]，利用晶片電容及電感組成濾波器之形式，以改善天線輸入阻抗，使得天線原先之操作模態之頻寬增加，但使用外加元件設計卻會使得天線增益與輻射效率受到 LC 電路元件內部損耗影響而降低，且需要額外的空間來配置匹配電路。另外文獻中我們也發現設計者利用行動通訊裝置的厚度將天線設計成立體的結構[12-16, 22]，而通常將它設計成較寬的輻射金屬片，使得金屬表面激發電流能夠變化平緩，天線輸入阻抗進而可以在較廣的頻率範圍內皆表現平緩，但這樣的設計方式對於目前平板電腦朝向薄型化的趨勢看來，立體結構之天線設計較不適合繼續應用在內藏式平板電腦內部。因此要如何縮小天線的同時，又能涵蓋 LTE/WWAN 頻帶則是本作品所要努力的主要方向與研究議題。

III. 作品結構(設計圖)及原理說明

整體天線結構以平面印刷方式於厚度 0.8 mm 的玻璃纖維基板(FR4)，此項玻璃纖維基板的相對介電常數(Relative Dielectric Constant)為 4.3，損耗正切(Loss Tangent)為 0.02，長度及高度分別為 35 mm 以及 10 mm。本天線擺放位置在裝置的右上角，如圖 1 所示，其面積為 375.5 mm²。我們選擇的接地面大小是適用於 8 吋平板電腦的尺寸(125 x 160 mm²)，天線的饋入方式則採用 50

mini-cable 線饋入訊號至天線輻射結構天線。饋入結構本身為一個 T 型的單極天線，另外還有寄生短路帶的長/短支路所組成。寄生短路帶的長支路(ABD)分別於低頻頻帶以及高頻頻帶個別產生共振模態，而寄生短路帶的短支路(ABC)是在低頻產生共振模態，而饋入端的 T 型單極天線之兩段饋入帶(FGH 及 FGI)於高頻產生共振模態。因此本款天線設計將使用兩共振模態來涵蓋低頻三頻操作(LTE700/GSM850/900)，而高頻頻帶則是使用二共振模態來涵蓋高頻五頻操作(GSM1800/1900/UMTS/ LTE2300/2500)。

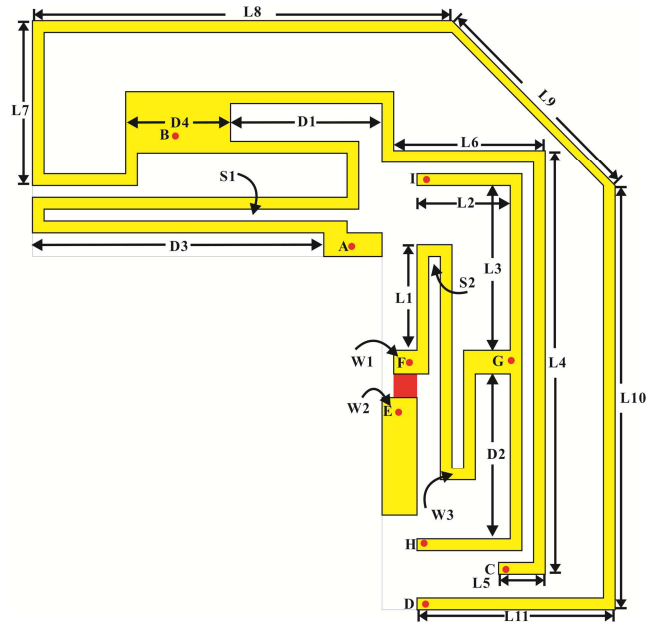


圖 1 平面耦合式多模態單極天線之幾何結構圖

表 1 平面耦合式多模態單極天線之相關參數。

Parameter	Value (mm)	Parameter	Value (mm)	Parameter	Value (mm)
L1	4.5	L8	18	D4	4
L2	4	L9	7	S1	0.5
L3	7	L10	18	S2	0.5
L4	18	L11	8.5	W1	1.5
L5	2	D1	6.5	W2	1.5
L6	6.5	D2	3.4	W3	1.5
L7	7	D3	12.5		

IV. 模擬與量測結果及討論

4.1 作品元件實體作品相關說明

圖 2 是本款天線設計之實際成品照片，而圖中鐵尺的刻度單位為毫米(mm)。在此說明，為了能更清楚觀察天線結構本身，因此照片並沒有呈現系統接地面，然而底下所有分析及量測數據皆包含系統接地面。

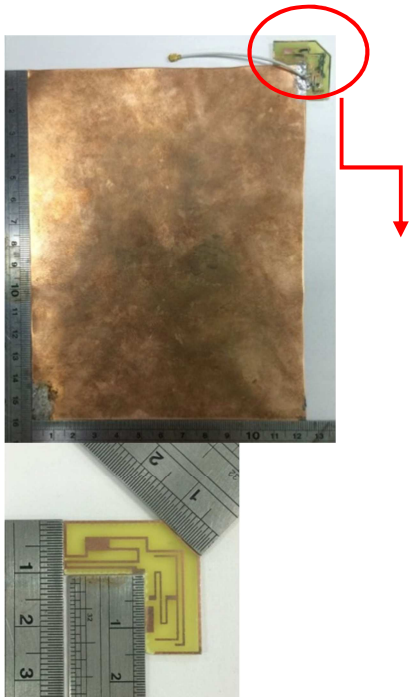


圖2 平面耦合式多模態單極天線之實際成品照片

4.2 實測與模擬天線反射損失曲線

本節我們將詳細分析本章所提出之天線設計，如圖3所示為本作品天線設計實測與模擬結果的比較圖，模擬數據是由電磁模擬軟體 Ansoft HFSS [26] 所獲得，實測數據是使用向量網路分析儀 E5071C 所獲得，可以看到實測與模擬的曲線具有相當高的吻合度。從結果上可以看到量測數據，本款天線設計在低頻頻帶可以涵蓋698~995 MHz，在高頻頻帶則可以涵蓋1446~2769 MHz，足以涵蓋八頻操作的需求。其中低頻頻帶具有兩個共振模態(暫稱為模態A及B)，高頻頻帶則具有二個共振模態(暫稱為模態C、D)；模態A分別是寄生短路帶的主模態；而模態B及模態D是寄生短路帶的主模態及倍頻模態；模態C是由較長饋入帶所貢獻。在三個主要共振路徑的主模態基本上皆為四分之一波長共振模態，更詳細的數據將於後面進行討論。

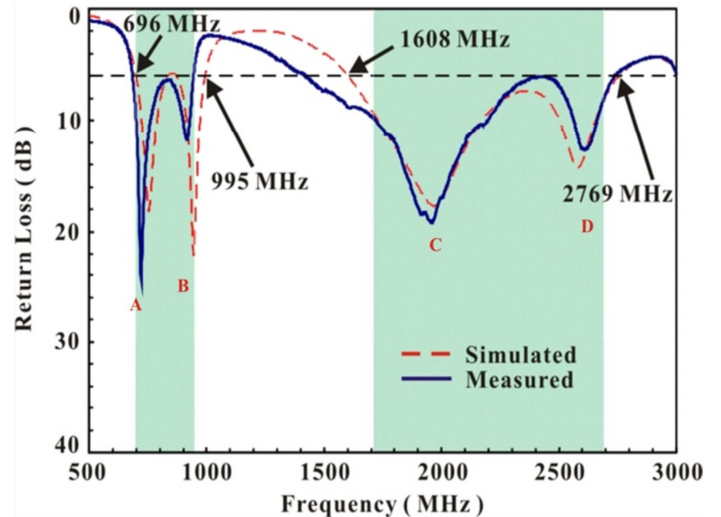


圖3 平面耦合式多模態單極天線之實測與模擬結果比較

4.3 本作品天線元件共振激發機制說明

接著，我們以圖4來說明本款天線之物理特性，該天線的兩端點(A點與E點)應用時均連接於接地面上，其頻率分別為758 MHz、962 MHz、1959 MHz及2578 MHz。首先在圖5中，當頻率為758 MHz(模態A)時，可以看到此時天線上的主要表面電流分佈是集中於寄生短路帶A點到B點至D點。而顯示頻率為962 MHz(模態B)時，天線上表面電流分佈的強度是集中於曲折路徑與短路帶A點到B點至C點，其電流之分佈則為由強至弱均勻的分佈，亦即四分之一波長的電流強度分佈，由上所述我們可以證明模態B是由曲折路徑電路結合短路帶所產生。當頻率為1959 MHz(模態C)時，天線上的主要表面電流分佈是集中於T型饋入帶E點到F點、G最後隔開到I點跟H點，很明顯可以看到電流分佈由強至弱均勻的分佈與理論上四分之一波長的單極天線電流強度分佈相符合，同時證明模態C是由T型饋入帶所產生。

當顯示頻率為2578 MHz(模態D)時，天線上的主要表面電流分佈是集中於寄生短路帶B點，由於是倍頻的激發模態，所以在電流路徑上會有反向電流的零點產生，由此，我們也可以證明模態D是由寄生短路帶所產生的三倍頻模態。以上模擬表面電流分佈的

介紹我們可以很清楚看到每一路徑所產生的模態，同時可以觀察到主模態皆為四分之一波長共振。

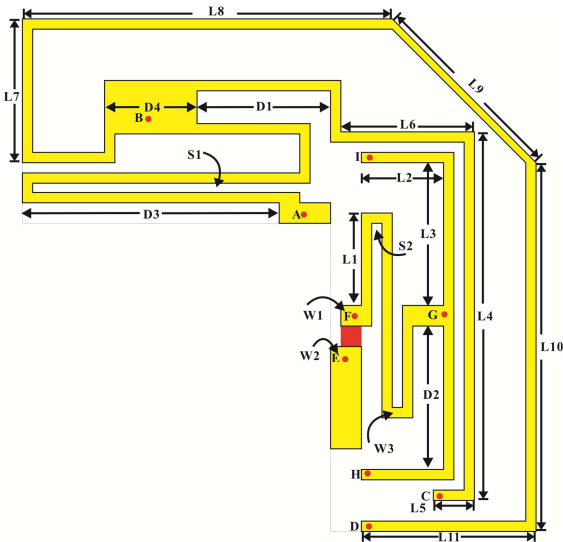


圖4 平面耦合式多模態單極天線之結構放大圖

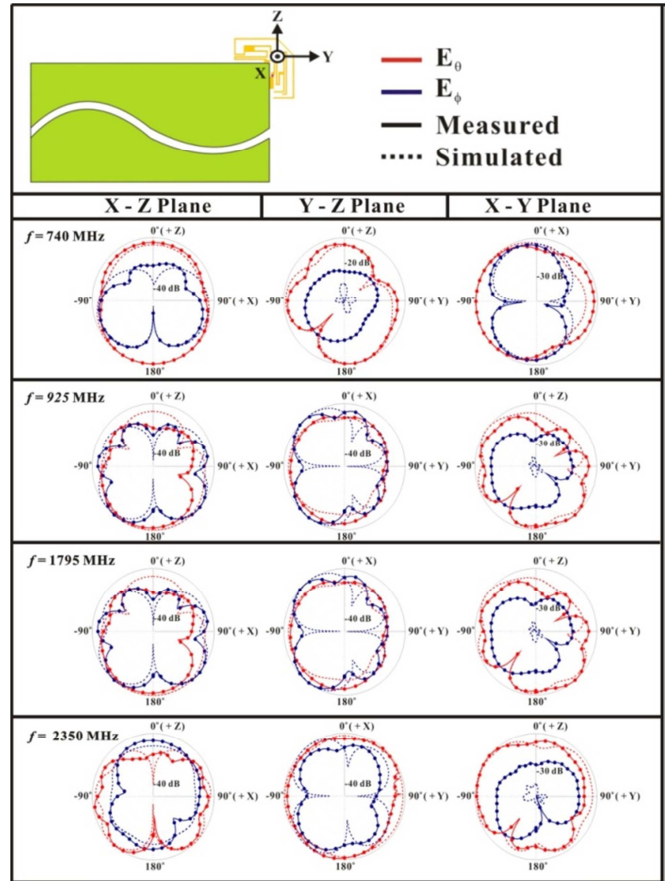
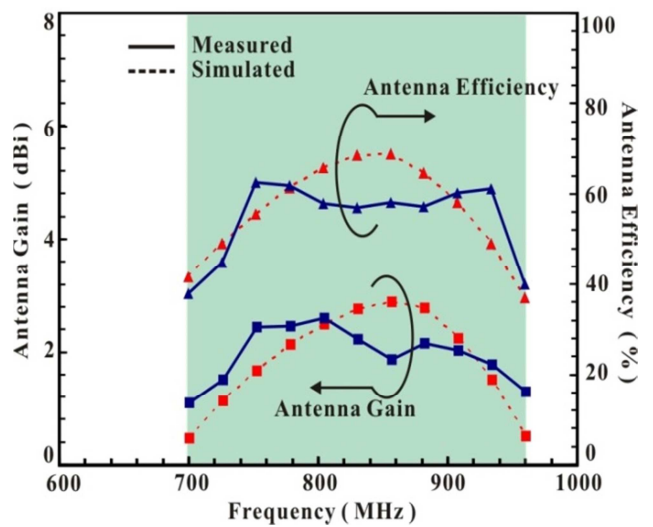
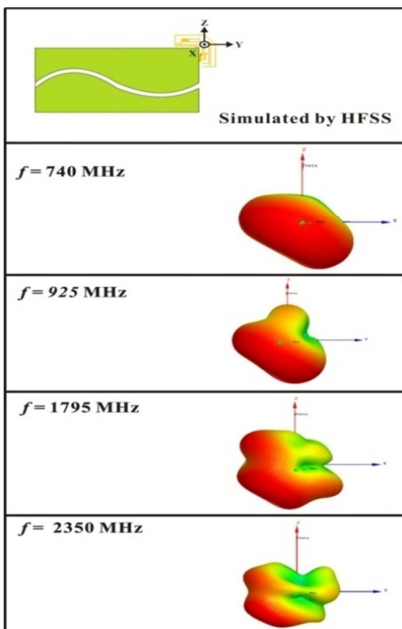


圖5 (上) 本款天線之實測與模擬2D輻射場型比較圖

(下) 本款天線之3D量測輻射場型圖。



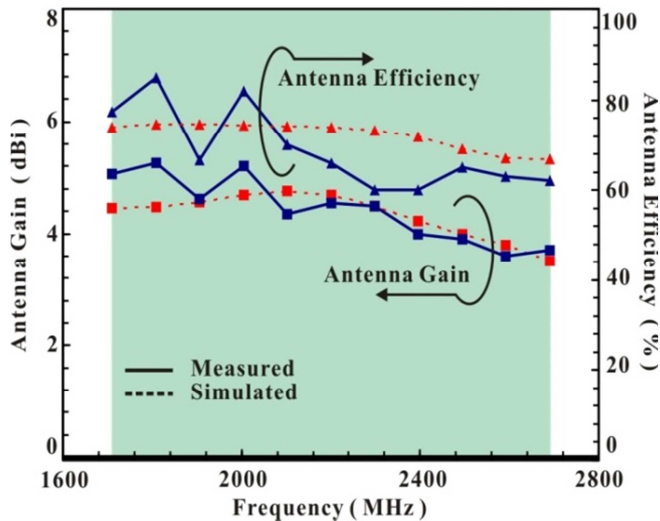


圖6 本款天線在低/高頻段操作頻帶之模擬與實測增益及天線效率。

圖 6 為本款天線設計於低頻 LTE700/GSM850/900 及高頻 GSM1800/1900 / UMTS / LTE 2300 / 2500 所模擬與實測之最大增益及天線效率。我們以天線效率而不是輻射效率(Radiation Efficiency)為名，避免可能的誤解。根據量測結果，在低頻頻帶(698 ~ 960 MHz)實測的增益介於 1.3 ~ 2.5 dBi 之間，而實測的天線效率介於 36 ~ 64 % 之間；而高頻頻帶(1710 ~ 2690 MHz)實測的增益介於 3.5 ~ 5.3 dBi 之間，而實測的天線效率介於 61 ~ 85 % 之間，從上述的數據我們可以看出本款天線設計之性能表現符合實際應用的需求。

V. 參考文獻

- [1] K. L. Wong, Y. C. Lin, and B. Chen, "Internal patch antenna with a thin air - layer substrate for GSM/DCS operation in a PDA phone," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 55, pp.1165-1172, April 2007.
- [2] H. Kaaranen, A. Ahtiainen, L. Laitinen, S. Naghian and V. Niemi (Eds.), *UMTS networks: Architecture, mobility and services*, 2nd edition, Wiley, New York, 2005.
- [3] S. Sesia, I. Toufik and M. Baker (Eds.), *LTE, The UMTS long term evolution : From theory to practice*, Wiley, New York, 2009.
- [4] <http://www.3gpp.org/>
- [5] K. L. Wong and L. C. Lee, "Multiband printed monopole slot antenna for WWAN operation in the laptop computer", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 57, pp. 324-330, Feb. 2009.
- [6] Z. Chen, Y. Ban, S. Sun and J. L. W. Li, "Printed antenna for penta-band WWAN tablet computer application using embedded parallel resonant structure", *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 136, pp. 725-737, Jan. 2013.
- [7] K. L. Wong, Y. W. Chang and S. C. Chen, "Bandwidth enhancement of small-size planar tablet computer antenna using a parallel-resonant spiral slit", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 60, pp. 1705-1711, April 2012.
- [8] K. L. Wong and W. J. Lin, "Body SAR study of the planar WWAN monopole slot antenna for tablet device application", *Micro. Opt. Technol. Lett.*, vol. 53, pp. 1721-1727, Aug. 2011.
- [9] K. L. Wong and P. J. Ma, "Small-size WWAN monopole slot antenna with dual-band band-stop matching circuit for tablet computer application", *Micro. Opt. Technol. Lett.*, vol. 54, pp. 875-879, April 2012.
- [10] K. L. Wong and Y. C. Liu, "Small-size WWAN tablet computer antenna with distributed and lumped parallel resonant circuits", *Micro. Opt. Technol. Lett.*, vol. 54, pp. 1348-1353, June 2012.
- [11] W. S. Chen and W. C. Jhang, "A planar WWAN/LTE antenna for portable devices", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 60, pp. 19-22, March

- 2013.
- [12] K. L. Wong, Y. C. Liu and L. C. Chou “Bandwidth enhancement of WWAN/LTE tablet computer antenna using embedded parallel resonant circuit”, *Micro. Opt. Technol. Lett.*, vol. 54, pp. 305-309, Feb. 2012.
- [13] K. L. Wong and W. J. Lin, “WWAN/LTE printed slot antenna for tablet computer application”, *Micro. Opt. Technol. Lett.*, vol. 54, pp. 44-49, Jan. 2012.
- [14] S. H. Chang and W. J. Liao, “A broadband LTE/WWAN antenna design for tablet PC”, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 60, pp. 4354-4359, Sep. 2012.
- [15] K. L. Wong, W. J. Woi and L. C. Chou, “WWAN/LTE printed loop tablet computer antenna and its body SAR analysis”, *Micro. Opt. Technol. Lett.*, vol. 53, pp. 2912-2919, Dec. 2011.
- [16] C. L. Hu, D. L. Huang, H. L. Kuo, C. F. Yang, C. L. Liao and S. T. Lin “Compact multibranch inverted-F antenna to be embedded in a laptop computer for LTE/WWAN/IMT-E applications”, *IEEE Antenna and Wireless Propagation Lett.*, vol. 9, pp. 838-841, Sep. 2010.
- [17] H. W. Liu, C. M. Chiang and C. F. Yang, “Planar monopole antenna with two coupled strips for internal eight-band LTE/WWAN laptop computer application”, *Progress In Electromagnetics Research C*, vol. 29, pp. 123-133, May 2012.
- [18] K. L. Wong and T. W. Kang, “Internal printed loop/monopole combo antenna for LTE/GSM/UMTS operation in the laptop computer”, *Micro. Opt. Technol. Lett.*, vol. 52, pp. 1673-1678, July 2010.
- [19] K. L. Wong and C. H. Chang, “Printed 8-PIFA for penta-band WWAN operation in the mobile phone”, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 57, pp. 1373-1381, May 2009.
- [20] K. L. Wong and Y. W. Chi, “Quarter-wavelength printed loop antenna with an internal printed matching circuit for GSM/DCS/PCS/UMTS operation in the mobile phone”, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 57, pp. 2541-2547, Sep. 2009.
- [21] M. Tzortzakakis and R.J. Langley “Quad-band internal mobile phone antenna”, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 55, pp. 2097-2103, July 2007.
- [22] K. L. Wong and T. J. Wu, “Small-size LTE/WWAN coupled-fed loop antenna with band-stop matching circuit for tablet computer”, *Micro. Opt. Technol. Lett.*, vol. 51, pp. 1189-1193, May 2012.
- [23] K. L. Wong and F. H. Chu, “Internal coupled-fed loop antenna integrated with notched ground plane for wireless wide area network operation in the mobile handset”, *Micro. Opt. Technol. Lett.*, vol. 54, pp. 599-605, March 2012.
- [24] K. L. Wong and S. C. Chen, “Low-profile, small-size, wireless wide area network handset antenna close integration with surrounding ground plane”, *Micro. Opt. Technol. Lett.*, vol. 54, pp. 599-605, March 2012.
- [25] K. L. Wong, Y. C. Kao and F. H. Chu, “Small-size WWAN handset antenna disposed at a small notch in the system ground plane”, *Micro. Opt. Technol. Lett.*, vol. 54, pp. 2498-2503, Nov. 2012.
- [26] <http://www.ansys.com/products/hf/hfss/>, ANSYS HFSS.