

應用於第四代行動通訊系統之平面單極天線研製

方穎昇*、陸瑞漢

國立高雄海洋科技大學電訊工程系

摘要—本論文提出一款 LTE / WWAN 手機用平面單極天線。本天線結合接地面並採用簡單的平面結構設計，具成本低、製作容易及小型化的特性，天線尺寸為 $35 \times 10 \times 0.8 \text{ mm}^3$ ，本天線頻寬可涵蓋 LTE/WWAN 等八個操作頻段，在低頻頻寬範圍為 698 ~ 961 MHz，高頻頻寬範圍為 1599 ~ 2692 MHz，各頻段之天線增益約為 1.1 / 3.0 dBi，低頻段之效率約為 46 ~ 80 %，高頻段約為 61 ~ 75%，針對高低頻段，SAR 值皆可低於美規 1.6 W/kg 的規範。

關鍵詞: LTE、WWAN、單極天線。

一、簡介

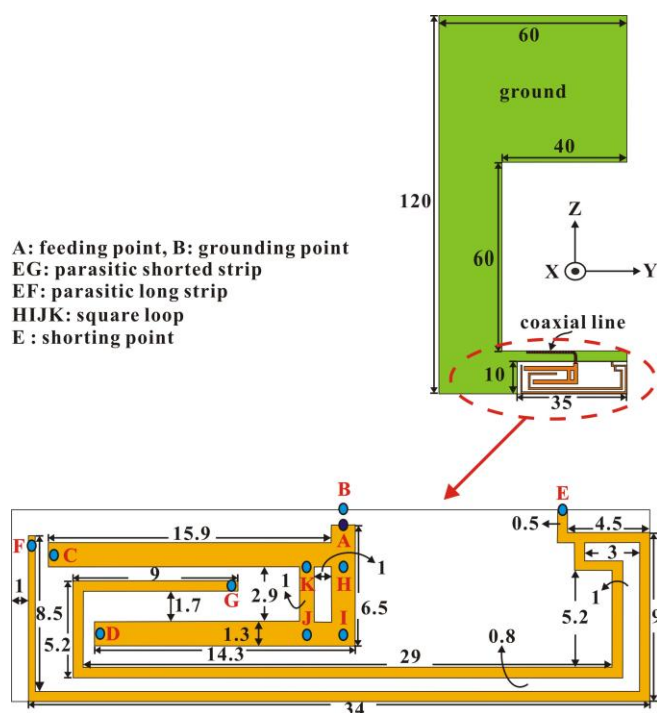
隨著無線通訊系統在近年來蓬勃發展，無線通訊技術上越來越成熟，產品不斷的推陳出新，現在智慧型手機已成為人們的必備品，無線網路服務已經成為生活中的一部份，LTE(Long-Term Evolution)系統可兼顧第二代及第三代行動通訊系統，並有更快之傳輸速率，在第三代行動通訊系統行動通訊裝置只需要WWAN五頻操作(GSM850/900/1800 /1900/UMTS)之天線設計，為了因應第四代行動通訊系統，需多涵蓋LTE三頻操作(LTE700/2300/2500)，成為LTE/WWAN八頻的雙寬頻帶操作，現今智慧型手機產品設計趨勢逐漸向輕、薄的外型設計，更是壓縮天線設計的空間，因此在有限的空間內設計出藏於行動通訊裝置內的LTE/WWAN八頻之雙寬頻天線則是目前的一大挑戰。

現有文獻中已提出可應用在 LTE/WWAN 系統之手機天線設計[1]-[7]，利用耦合式饋入之設計，相較於直接式饋入有較寬頻的效果[8]-[9]，在接地面部分嵌入槽縫以激發較寬頻之模態[10]，另外是天線輻射能量對使用者的影響[11]-[12]，利用行動通訊裝置之厚度來設計成立體結構之天線[13]-[14]，使用晶片電抗來設計雖可縮小天線尺寸，但是較高成本的[15]-[16]，但其具有天線面積較大之缺點，因此本論文提出一款 LTE/WWAN 系統用手機天線，此款天線尺寸與相關設計[1]-[7]比較約可縮小 22 ~ 55%，為了符合手機薄型化、小型化之趨勢，結合放置電池之電路基板缺口可激發表面電流，輻射金屬面為雙路徑形式並嵌入 F 型耦合寄生金屬片，使用較簡單之路徑進行設計，致 LTE/WWAN 八頻操作模態皆有良好的阻抗匹配，本天線之低頻頻寬範圍為 698 ~ 961 MHz 以及高頻為 1599 ~ 2692 MHz，各頻段之天線增益約為 1.1 / 3.0 dBi，低頻段之效率約為 46 ~ 80 %，高頻段約為 61 ~ 75%，天線尺寸僅為 $35 \times 10 \times 0.8$

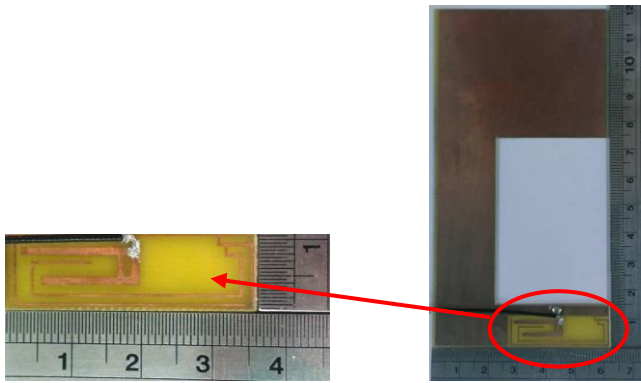
mm^3 ，採用全平面結構、縮小化、低成本進行設計，最後有對人體電磁波特定吸收率(SAR)值分析此款天線與使用者相互影響之數據。

二、天線設計

如圖一所示為 LTE/WWAN 手機用平面天線結構幾何圖，圖二為本款天線實際成品，包含系統接地面整體尺寸，大小為 $120 \times 60 \text{ mm}^2$ ，在主天線結構上方 3.5 mm 嵌入大小為 $60 \times 40 \text{ mm}^2$ 的 C 形槽縫，以玻璃纖維介質基板(FR4)，介電係數為 4.4、基板厚度 0.8 mm、損耗正切(Loss Tangent)為 0.0245、表面金屬厚度為 0.02 mm，天線表面積為 $35 \times 10 \text{ mm}^2$ 。天線與接地面在同一平面上，並採用 50 歐姆 mini-cable 線饋入訊號至天線輻射結構，本研究並利用高頻電磁模擬軟體(Ansoft HFSS)進行天線的理論分析運算，並對相關的天線結構特性加以分析比較，找出最佳設計趨勢。天線結構配置上分兩個部份，饋入結構使用倒 F 型耦合式饋入，另外寄生短路由長、短支路組成雙激發路徑。



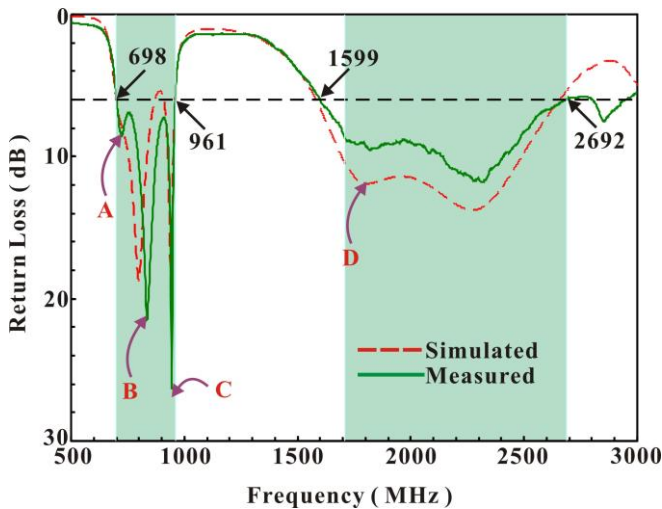
圖一 第四代行動通訊系統用平面單極天線之幾何結構



圖二 第四代行動通訊系統用平面單極天線之實際成品圖

三、結果與討論

圖三所示為 LTE/WWAN 手機用平面天線之模擬與實測反射損耗 (Return Loss) 圖，由圖中可知，實測與模擬的模態與阻抗匹配非常相近，以反射損失大於等於 6 dB 為標準得知其實測頻帶之操作頻段。其模擬與實測操作頻率範圍與頻寬結果比較列於表 I，圖四為本款天線設計之成品圖片，在實測頻寬的部分在低頻為 698 ~ 961 MHz 及高頻範圍 1599~2692 MHz，足以涵蓋 LTE/WWAN八頻段操作的需求。



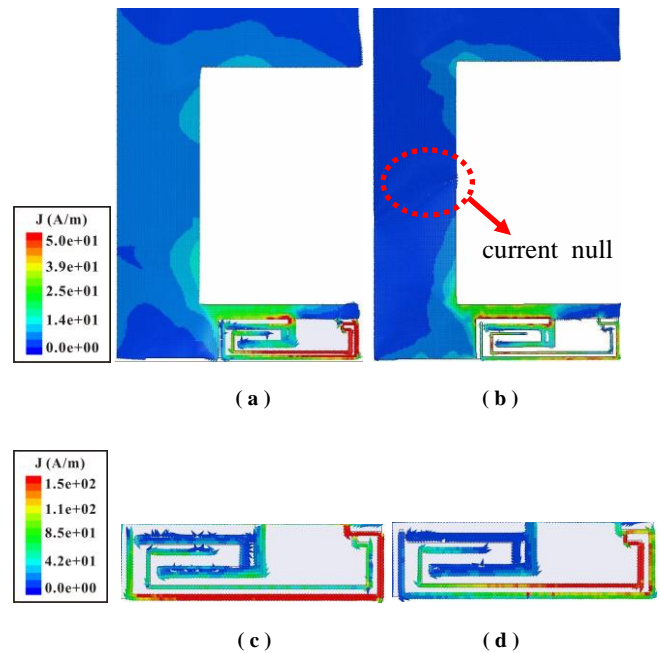
圖三 第四代行動通訊系統用平面單極天線單極天線之實測與模擬反射損耗圖

表 I 第四代行動通訊系統用平面單極天線之模擬與實測操作頻率範圍與頻寬結果比較：

Proposed antenna	Simulated	Measured
$f_{iL} \sim f_{iH}$ (MHz)	700 ~ 958	698 ~ 961
B.W.1 (MHz / %)	258/31.1	264/31.8
$F_{2L} \sim f_{2H}$ (MHz)	1580~ 2658	1599 ~ 2692
B.W.2 (MHz / %)	1078/50.8	1093/50.9

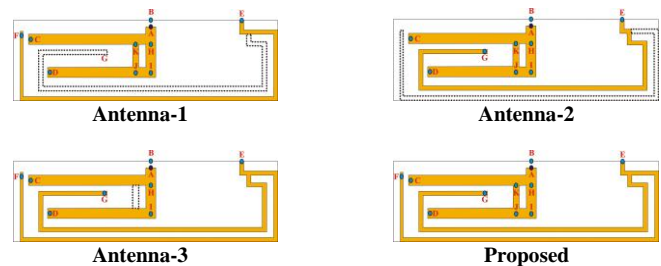
接著我們以圖四之模擬表面電流分布圖來說明本天線之物理特性，其操作頻率分別為 722、798、940 及 1810 MHz。首先在圖五(a)中，當頻率為 722 MHz (模

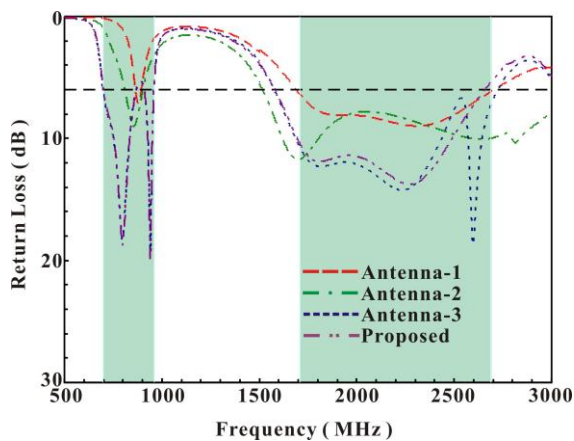
態A) 時，接地面上表面電流被有效激發，圖四(b)為當頻率為 1810 MHz (模態D) 時，乃是接地面模態的倍頻，故在電流路徑上有反向電流的零點產生，圖四(c)中，當頻率為 798 MHz (模態B) 時，電流路徑為 EF，天線上表面電流分布強度是集中於寄生短路帶外環之較長路徑，在電流分布上則為強至弱的均勻分布，為四分之一波長的長度分布，圖四(d)中，當頻率為 940 MHz (模態C) 時，電流路徑為 EG，天線上表面電流分布強度是集中於寄生短路帶外環之較短路徑，在電流分布上亦為強至弱的均勻分布。



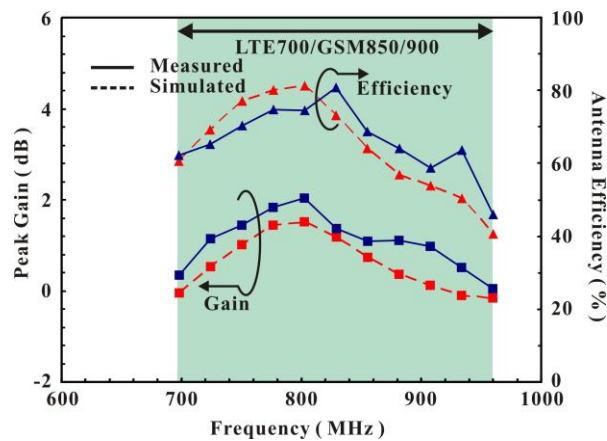
圖四 第四代行動通訊系統用平面單極天線之表面電流分布圖 (a) $f = 722$ MHz, (b) $f = 1810$ MHz, (c) $f = 798$ MHz, (d) $f = 940$ MHz。

在此款天線設計中，Antenna-1 的結構為未加入短寄生短路路徑，在低頻只能共振出一模態，Antenna-2的結構為未加入長寄生短路路徑，在低頻也只能共振出一模態，有較高的阻抗值，Antenna-3 的結構是未加入反F型饋入端的環型設計，參考如圖五所示之反射損失圖，在原無環型結構之設計時，由饋入端反F型路徑所激發的模態在高頻工作頻段內，因該模態在增益及效率有較差之結果，如圖六之輸入阻抗圖所示，加入環型結構可使此模態之電容性提升，並使此模態升頻移出工作頻段外，能使高頻段增益及效率變化有較平滑之效果。

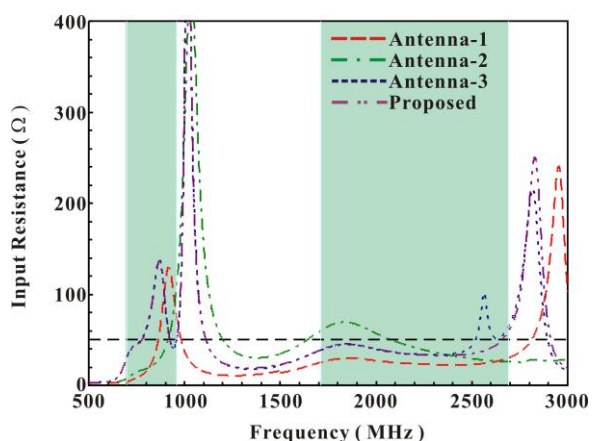




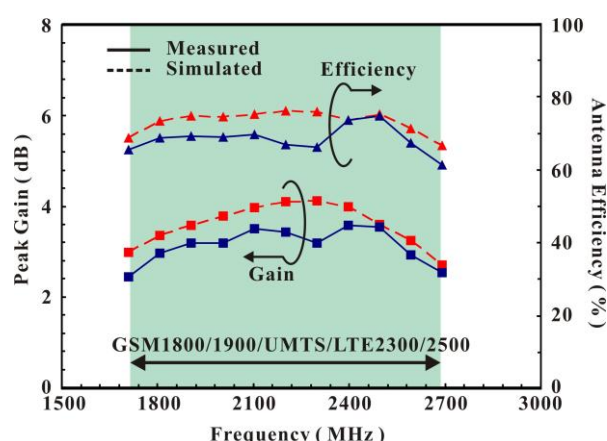
圖五 第四代行動通訊系統用平面單極天線之反射損失比較圖



(a)

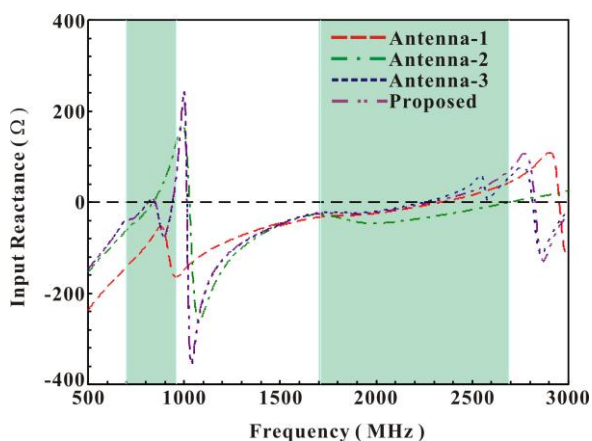


(a)



(b)

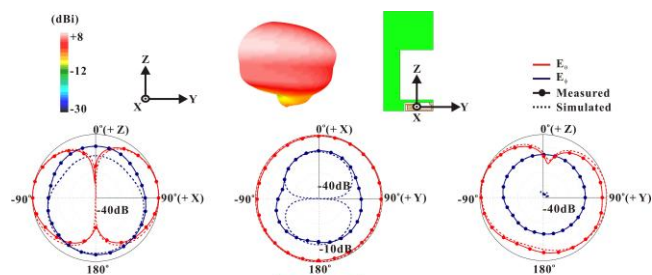
圖七 第四代行動通訊系統用平面單極天線之實測與模擬增益及效率圖；(a) 低頻段；(b) 高頻段。



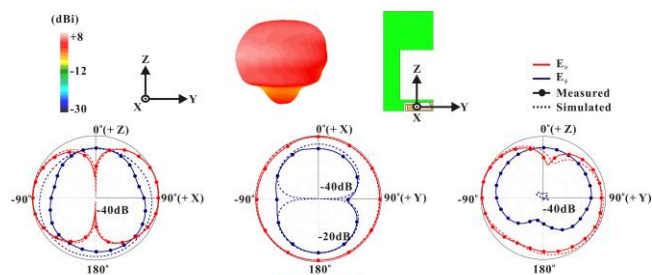
(b)

圖六 第四代行動通訊系統用平面單極天線之輸入阻抗比較圖 (a) 電阻圖；(b) 電抗圖。

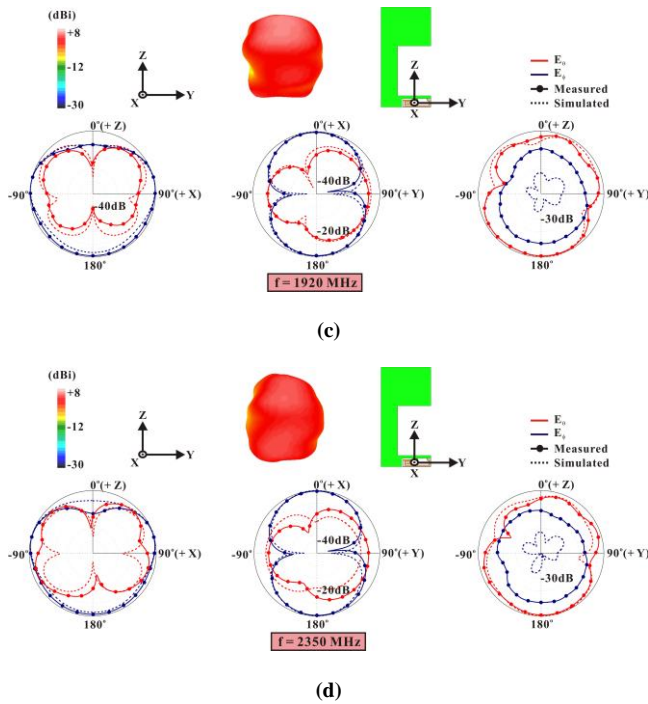
本款天線於低頻 LTE700/GSM850/900 及高頻 GSM1800/1900/UMTS/LTE2300/2500 操作頻寬內之實測與模擬峰值增益 (peak gain) 與考慮天線阻抗匹配的天線效率 (antenna efficiency) 示於圖七，低頻段增益為 0.1 ~ 2 dBi、高頻段為 2.4 ~ 3.6 dBi，低頻段之效率約為 46 ~ 80%、高頻段約為 61 ~ 75%，圖八為此款天線利用遠場量測系統所量測在 740 MHz、925 MHz、1920 MHz 與 2350 MHz 之 2D 及 3D 實測與模擬輻射場型圖。



(a)



(b)



圖八 第四代行動通訊系統用平面單極天線之實測與模擬場型圖；(a) $f = 740$ MHz, (b) $f = 925$ MHz, (c) $f = 1920$ MHz, (d) $f = 2350$ MHz

了解天線相關特性之後，則必須通過 SAR 的規範檢測，在實際手機天線的應用上，此款天線我們加入塑膠外殼並使用 SEMCAD X 進行模擬，測試頻率點是選用八頻段之中心頻率，如表 II 所示，數據顯示皆能符合 SAR 值美規 1.6W/kg 的規範。

表 II 第四代行動通訊系統用平面單極天線之 SAR 值模擬結果

Frequency (MHz)	740	859	925	1795	1920	2045	2350	2595
Return Loss (dB)	8.84	6.86	8.96	11.88	11.46	11.73	13.15	7.39
Testing power (W)	0.125	0.25	0.25	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
1-g SAR (W/kg)	0.78	1.52	1.06	0.43	0.39	0.34	0.25	0.22

結論

本文提出一種簡單 F 型饋入及雙短路分支路徑以應用於 LTE / WWAN 系統之手機用天線，此款雙寬頻天線可操作於低頻段 LTE700/GSM850/900 及高頻段 GSM1800/1900 /UMTS/LTE2300/2500，天線尺寸為 $35 \times 10 \times 0.8 \text{ mm}^3$ ，能縮小面積 22 ~ 55%，各頻段之天線峰值增益約為 1.1 / 3 dBi，低頻段之效率約為 46~ 80 %，高頻段約為 61 ~ 75%，並有良好之輻射特性，此外，此款天線可滿足人體電磁波特定吸收率 (SAR) 美規 (< 1.6 W/kg) 之規範。

ACKNOWLEDGMENT

This paper was supported by the National Science Council (NSC), Taiwan, R.O.C., under Grant NSC101-2221-E-022-011-MY2.

參考文獻

- [1] C. H. Ku, H. W. Liu and Y. X. Ding, "Design of planar coupled-fed monopole antenna for eight-band LTE/WWAN mobile handset application", *Progress in Electromagnetics Research C*, vol. 33, pp. 185-198, Oct. 2012.
- [2] K. L. Wong and W. Y. Chen "Small size printed loop type antenna integrated with two stacked coupled-fed shorted strip monopoles for eight-band LTE/GSM/UMTS operation in the mobile phone", *Micro. Opt. Technol. Lett.*, vol. 52, pp. 1471-1476, July 2010.
- [3] K. L. Wong, M. F. Tu, T. Y. Wu and W. Y. Li, "Small size coupled-fed printed PIFA for internal eight band LTE/GSM/UMTS mobile phone antenna", *Micro. Opt. Technol. Lett.*, vol. 52, pp. 2123-2128, Sep. 2010.
- [4] F. H. Chu and K. L. Wong, "On-board small-size printed LTE/WWAN mobile handset antenna closely integrated with system ground plane", *Micro. Opt. Technol. Lett.*, vol. 53, pp. 1336-1343, June 2011.
- [5] S. C. Chen and K. L. Wong, "Hearing aid-compatible internal LTE/WWAN bar-type mobile phone antenna", *Micro. Opt. Technol. Lett.*, vol. 53, pp. 774-781, April 2011.
- [6] Z. Chen, Y. L. Ban, J. H. Chen, J. L.-W. Li and Y.-J. Wu, "Bandwidth enhancement of LTE/WWAN printed mobile phone antenna using slotted ground structure", *Progress in Electromagnetics Research*, vol. 129, pp. 469-483, July 2012.
- [7] K. L. Wong and F. H. Chu, "Planar printed strip monopole with a closely-coupled parasitic shorted strip for eight-band LTE/GSM/UMTS mobile phone", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 58, pp. 3426-3431, Oct 2010.
- [8] K. L. Wong and C. H. Chang, "Printed $\lambda/8$ -PIFA for penta-band WWAN operation in the mobile phone", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 57, pp. 1373-1381, May 2009.
- [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, H. J. Chang, F. H. Chu, W. Y. Li and C. Y. Wu, "WWAN/LTE handset antenna with shaped circuit board, battery and metal midplate", *Micro. Opt. Technol. Lett.*, vol. 55, pp. 2254-2261, Oct. 2013.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] K. L. Wong and S. C. Chen, "Wideband monopole antenna coupled with a chip-inductor-loaded shorted strip for LTE/WWAN mobile handset", *Micro. Opt. Technol. Lett.*, vol. 53, pp. 1293-1298, June 2011.
- [14] 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. 623-629, March 2012.
- [15] K. L. Wong and S. C. Chen, "Printed single-strip monopole using a chip inductor for penta-band WWAN operation in the mobile phone", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 58, pp. 1011-1014, March 2010.
- [16] 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.