

应用于4G通信的LTE笔记本内置天线的设计

朱贤滨, 孙玉发

(安徽大学计算智能与信号处理教育部重点实验室, 安徽合肥 230039)

摘要:设计了一款平面倒F(PIFA)耦合短路单极子形式的八频带LTE天线. 通过 $50\ \Omega$ 同轴线将信号反馈给天线的PIFA支节, 并利用电容容性耦合, 将PIFA支节中的能量反馈给短路单极子支节. 两支节激发出多个谐振模, 拓宽天线频带. 测试结果表明, 天线在LTE频段效率大于47%, 带内回波损耗小于-6 dB. 与传统的LTE天线相比具有结构简单、频带宽、易于制作、成本低等优点.
关键词: LTE; 平面倒F天线; 短路单极子; 耦合馈入; 宽频带

中图分类号: TN82 **文献标识码:** A doi:10.3969/j.issn.0253-2778.2014.04.002

引用格式: Zhu Xianbin, Sun Yufa. Design of the built-in LTE antenna of laptop computers for 4G communication [J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2014, 44(4): 265-269.

朱贤滨, 孙玉发. 应用于4G通信的LTE笔记本内置天线的设计[J]. 中国科学技术大学学报, 2014, 44(4): 265-269.

Design of the built-in LTE antenna of laptop computers for 4G communication

ZHU Xianbin, SUN Yufa

(Key Lab of Intelligent Computing & Signal Processing, Ministry of Education, Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: A coupled-fed shorted monopole with a planar inverted-F antenna (PIFA) feed structure as an effective radiator for eight-band LTE operation in the laptop computer was presented. The antenna used a $50\ \Omega$ coaxial cable to feed signal into PIFA branch, and thus the energy of PIFA branch was fed into the shorted monopole branch due to the coupling effect of the capacitors. The coupling of the two branches produced multiple resonant modes, broadening the antenna band. The measured results show that the efficiency of the proposed LTE antenna exceeds 47%, with a return loss of less than -6 dB. The advantages of the presented antenna include its simple structure, broadened bandwidth, easier manufacturing and lowered cost, compared with conventional LTE antennas.

Key words: LTE; PIFA; shorted monopole; coupled-fed; broadband

0 引言

长期演进(long term evolution, LTE)是一种基

于全IP的无线通信技术,是3G与4G技术之间的一个过渡,也被通俗地称为3.9G.它改进并增强了3G的空中接入技术,在20 MHz频谱带宽下能够提

收稿日期:2013-05-17;修回日期:2013-09-04

基金项目:国家自然科学基金(61172020),高等学校博士点基金(20123401110006)资助.

作者简介:朱贤滨,男,1989年生,硕士生.研究方向:天线设计. E-mail: zhucao1989@126.com

通讯作者:孙玉发,博士/教授. E-mail: yfsun@ahu.edu.cn

供下行 100 Mbit/s 与上行 50Mbit/s 的峰值速率. 与 3G 相比, LTE 具有高数据速率、分组传送、延迟降低、广域覆盖和向下兼容等优点.

伴随着移动互联网技术的快速发展, 通信系统正朝着 LTE 时代稳步迈进, 这对移动终端内置天线的发展提出了新的要求. 笔记本电脑是目前广泛应用的移动终端之一, 天线作为笔记本电脑的关键器件, 其性能直接关系到信号传输的质量. 如今大部分笔记本电脑内置天线涵括了无线广域网(WWAN)频段, 以增强无线上网的能力. 在此基础上, 很多 WWAN 天线得以设计实现^[1-4]. 这些天线体积在 $10 \times 60 \times 3 \text{ mm}^3$ 左右, 结构新颖, 效果好. 随着 LTE 时代的来临, 内置天线覆盖 LTE 八个频段(LTE700/2300/2500/GSM850/900/1800/1900/UMTS)将成为通信发展的趋势. LTE700 (698 ~ 787 MHz)、LTE2300 (2 300 ~ 2 400 MHz)和 LTE2500 (2 500 ~ 2 690 MHz)这三个频段中, LTE700 频率低, 相应的天线尺寸将增大, 这与笔记本电脑有限的空间形成矛盾, 对 LTE 天线的发展将是巨大的挑战, 现有的文献中涉及较少.

若仅采用传统的平面倒 F 或者单极子形式设计 LTE 天线, 频宽窄, 无法满足宽频带要求. 文献[5-6]中设计的 LTE 天线, 采用立体结构, 难以应用于超薄笔记本中且成本高; 文献[7]中设计的 LTE 天线, 虽然所占空间不大, 但采用双面 PCB 板结构, 并在背面加载封装电感, 增加了制作难度, 成本高; 文献[8]中设计的 LTE 天线, 采用高介电常数的陶瓷基板, 相对于 PCB 基板, 成本提高.

本文针对上述 LTE 天线的不足, 设计了一款 PIFA 耦合短路单极子形式的笔记本电脑内置天线, 以满足八频段的 LTE 天线要求. 设计的天线内置于液晶显示屏的右上方, 面积为 $13 \times 76 \text{ mm}^2$, 与传统的 LTE 天线相比, 大小适中. 本文采用单面的 FR4 介质 PCB 基板, 具有频带宽、结构简单、成本低、易于量产等优点. 天线辐射效率大于 47%, 各频段辐射功率稳定, 辐射场型图较理想.

1 LTE 天线结构

LTE 笔记本天线的结构与参数如图 1 所示. 天线放置于大小为 $300 \times 200 \text{ mm}^2$ 液晶显示屏右上方, 制作在 0.4 mm 厚的介质基板上, 宽为 13 mm、长为 76 mm. 为了模拟真实的笔记本电脑环境, 在

天线的左右两侧, 用与液晶显示屏相连的金属片模拟固定天线的螺丝柱, 大小为 $7 \times 13 \text{ mm}^2$, 相距 1 mm. 在显示屏的上方中心区域, 用金属片模拟笔记本电脑中的摄像头, 大小为 $40 \times 13 \text{ mm}^2$, 与天线相距 30 mm.

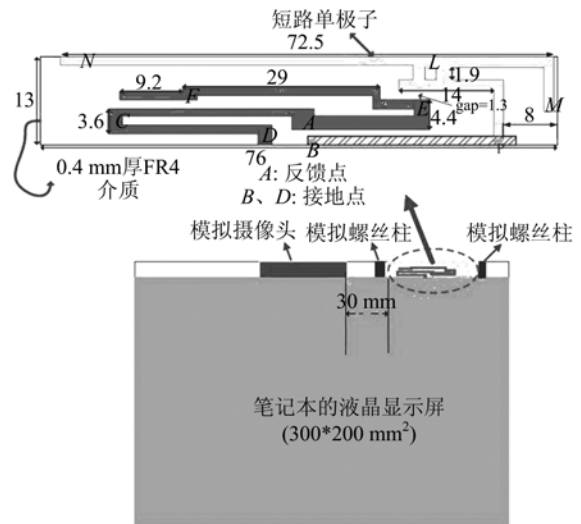


图 1 天线结构图

Fig. 1 Geometry of the proposed antenna

LTE 天线包括辐射反馈支节与短路单极子支节两部分. 辐射反馈支节为天线的主辐射体, 采用 PIFA 形式, 如图 1 上部深色区域所示. 该支节通过 ACD 回路中 D 点与液晶显示屏的地相接, ACD 回路不仅是 PIFA 天线的接地部分, 更相当于一个 LOOP 天线, 激发出 1.8 GHz 的半波长谐振模. AEF 作为辐射反馈支节的长臂, 与 ACD 一起产生 900 MHz 的谐振模. 图 1 中点 A 处为天线的信号反馈点, 点 B 为 50Ω 同轴线的接地点, 同轴线的中心导体与外导体分别与 A, B 两点相连, 线路 BP 即为同轴线在 PCB 板上焊接的位置. 图 1 中, 短路单极子支节利用与反馈支节之间的电容耦合, 将耦合反馈的能量辐射出去. 天线的 700 MHz 谐振模与 2.2 GHz 谐振模分别由短路单极子支节的长臂 NL 与短臂 ML 产生, 2.7 GHz 谐振模由主辐射支节与短路单极子之间的电容耦合产生. 最后天线低频产生的高次模也能完善高频驻波, 提升天线性能, 满足 LTE 天线八频段的要求.

天线反馈支节与短路单极子支节之间的耦合间距(gap)为 1.3 mm. 若改变耦合间距的大小, 对天线的低频与高频的性能将产生较大影响. 经过多次仿真, 发现此耦合间距下的天线性能最理想.

2 仿真与测试结果

天线的实物结构如图 2 所示. 本文采用单面 PCB 板结构, 天线背面无走线, 为净空. 通过 HFSS13^[9] 仿真软件设计的天线放置于笔记本电脑中进行测试, 天线的频率、驻波与原仿真结果会产生偏差. 为了满足天线的要求, 实际天线结构做微小修改. 首先, 仿真环境与实际环境存在区别, 笔记本外壳、螺丝柱以及摄像头的存在会使天线的谐振频率产生频偏; 其次, 衬底介质的介电常数不是理想情况; 最后, 实际的同轴线会对天线的驻波及回波损耗产生影响.

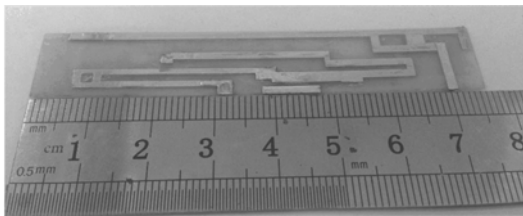


图 2 天线实物图

Fig. 2 Photo of the fabricated antenna

仿真与测试所得的天线回波损耗如图 3 所示, 两者基本吻合. 由图 3 可得到, 实际测试得到的天线带宽分别为: 350 MHz (700~1 050 MHz) 和 1 200 MHz (1 700~2 900 MHz), 完全覆盖 LTE 天线的八个频段. 与文献[5-8]中的 LTE 天线相比, 设计的天线频带更宽.

在 830 MHz, 1 940 MHz, 2 500 MHz 频率的天

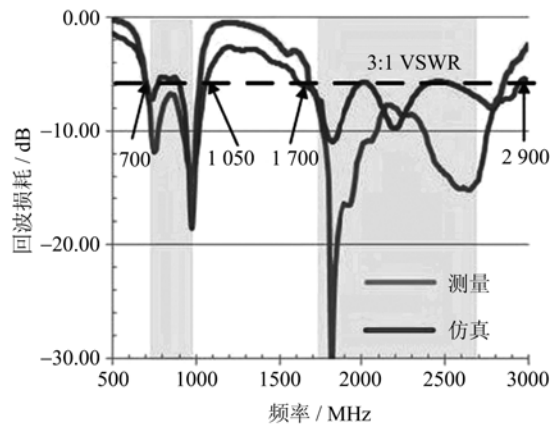


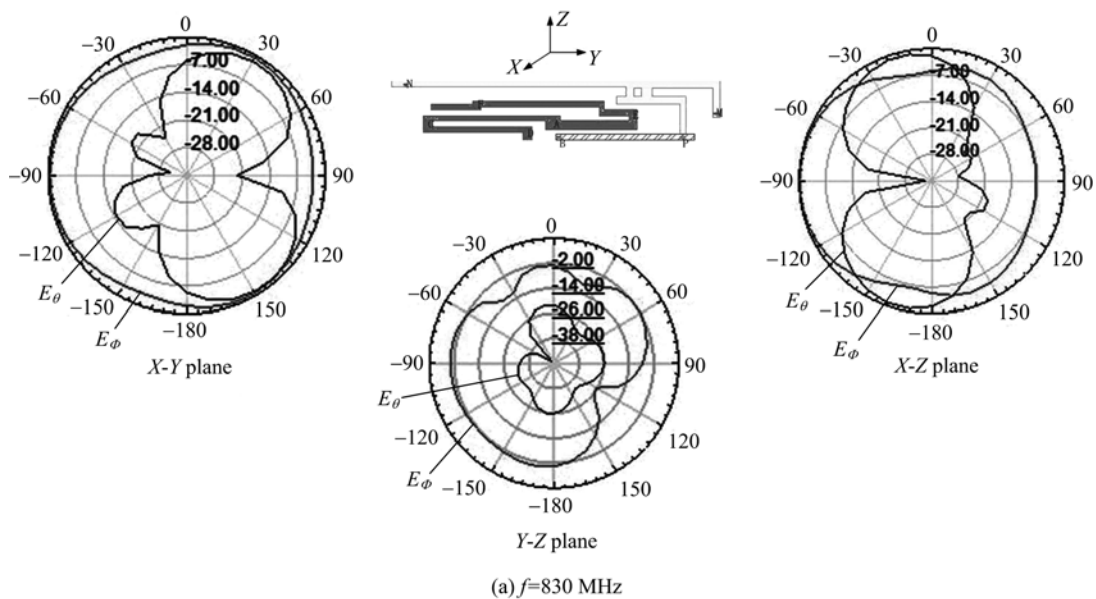
图 3 天线回波损耗

Fig. 3 Return loss of the proposed antenna

线辐射方向图如图 4(a)~(c) 所示. 从垂直于 PCB 平面的 XY 面辐射功率方向图可看出, 当天线工作在低频与中频时, XY 面具有全向性的辐射场型; 高频时, XY 面上 θ 与 Φ 的两种极化能量差异不大. 天线在三个频率点的辐射场型变化小, 因此天线在 LTE 的八个频段可以获得稳定的辐射功率, 这对于 LTE 天线工程应用具有优势.

天线增益与效率的测试结果如图 5 所示. 在 LTE700/GSM850/900 频段天线效率大于 47%, 增益在 0.6~2.5 dBi 之间; 在 GSM1800/1900/UMTS/LTE2300/2500 频段效率大于 48%, 增益在 0.73~5.02 dBi 之间. 与传统的 LTE 天线相比, 天线具有较高的增益与效率, 符合应用要求.

本文分析了天线的工作原理. 在 R_{f1} , R_{f2} 和 R_{f3}



(a) $f=830$ MHz

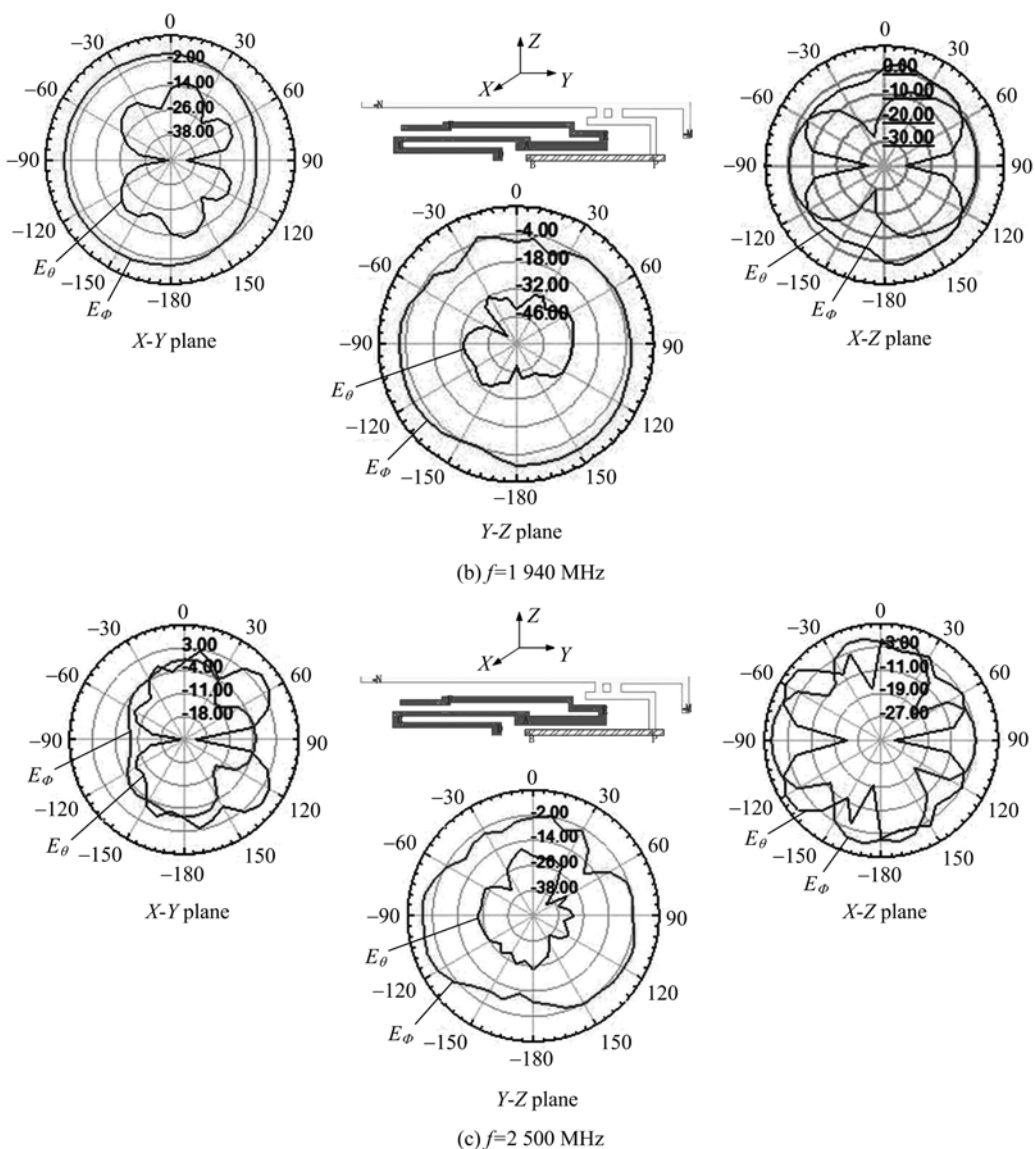


图 4 天线辐射方向图

Fig. 4 Radiation patterns for the fabricated antenna

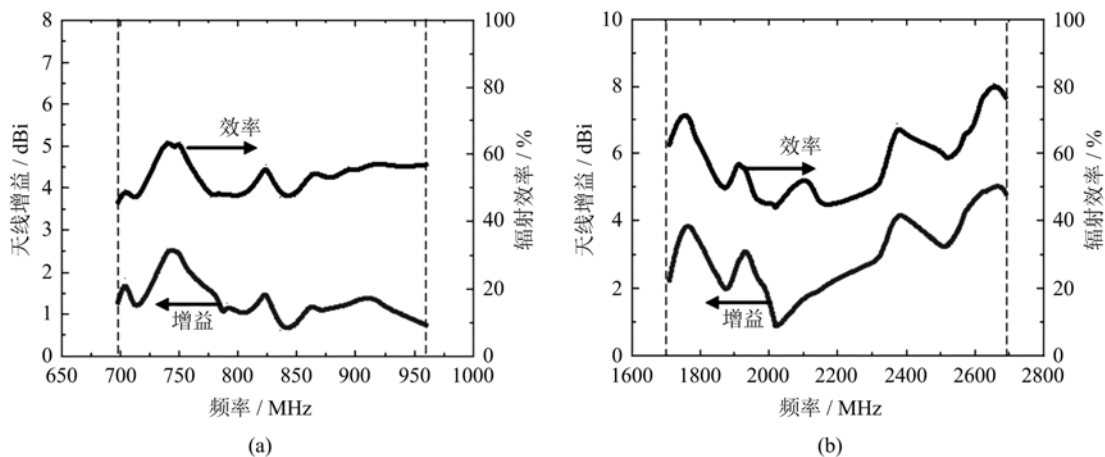


图 5 天线的增益与效率

Fig. 5 Radiation efficiency and gain of the fabricated antenna

条件下天线的回波损耗如图6所示. 对比 Rf_1 (无长臂 NL 支节) 与 Rf_4 (设计的天线) 可得出, 700 MHz 的谐振频率由 NL 支节产生; 对比 Rf_2 (无 AEF 支节) 与 Rf_4 得到, 900 MHz 的谐振频率由 AEF 支节产生; 对比 Rf_3 (无短臂 ML 支节) 与 Rf_4 得到, ML 支节产生了 2.2 GHz 的谐振. 各支节所产生的谐振与测试相吻合.

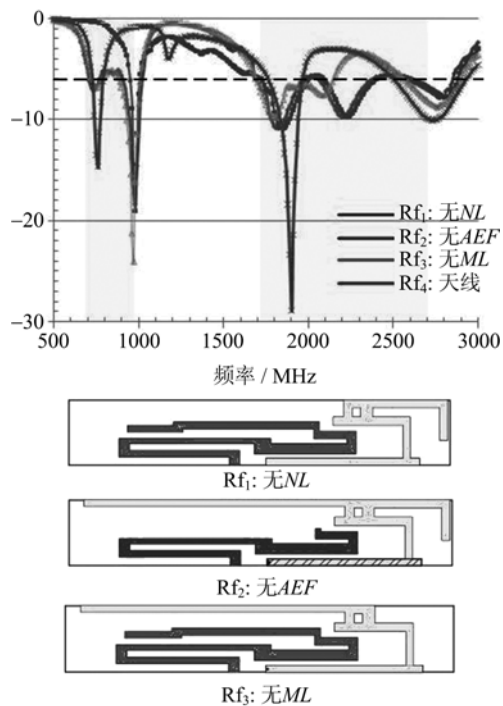


图6 天线在 Rf_1, Rf_2, Rf_3 条件下的回波损耗

Fig. 6 Simulated return loss for the case with Rf_1, Rf_2, Rf_3 and proposed antenna

3 结论

本文针对已有的LTE笔记本电脑天线的不足, 设计了一款平面倒F激励短路单极子形式的八频带LTE天线. PIFA作为LTE天线的辐射馈入支节, 通过电容容性耦合, 将能量激励至短路单极子支节, 二者相互激发, 产生两个宽频带以覆盖LTE700/GSM850/900和GSM1800/1900/UMTS/LTE2300/2500. 测试结果表明, 天线辐射方向图和效率比较理想. 与现有LTE天线相比, 具有频带宽、结构简单、成本低、易于制作等优点.

参考文献 (References)

- [1] Wang X, Chen W, Feng Z. Multiband antenna with parasitic branches for laptop applications [J]. Electronics Letters, 2007, 43(19): 1 012-1 013.
- [2] Wong K L, Chang Y W, Chen S C. Bandwidth enhancement of small-size planar tablet computer antenna using a parallel-resonant spiral slit[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2012, 60(4): 1 705-1 710.
- [3] Wong K L, Chen W J, Chou L C, et al. Bandwidth enhancement of the small-size internal laptop computer antenna using a parasitic open slot for penta-band WWAN operation[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2010, 58(10): 3 431-3 435.
- [4] Wong K L, Chen W J, Kang T W. Small-size loop antenna with a parasitic shorted strip monopole for internal WWAN notebook computer antenna[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2011, 59(5): 1 733-1 738.
- [5] Wong K L, Ma P J. Small-size internal antenna for LTE/WWAN operation in the laptop computer[C]// International Conference on Applications of Electromagnetism and Student Innovation Competition Awards. Taipei, China; IEEE Press, 2010, (10): 152-156.
- [6] Kang T W, Wong K L, Chou L C, et al. Coupled-fed shorted monopole with a radiating feed structure for eight-band LTE/WWAN operation in the laptop computer [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2011, 59(2): 674-679.
- [7] Chang S H, Liao W J. A broadband LTE/WWAN antenna design for tablet PC[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2012, 60(9): 4 354-4 359.
- [8] Hu C L, Lee W F, Yang C F, et al. A compact multiband inverted-F antenna for LTE/WWAN/GPS/WiMAX/WLAN operations in the laptop computer[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2010, (9): 1 169-1 173.
- [9] Ansoft Corporation. High Frequency Structure Simulator [EB/OL]. <http://www.ansoft.com/products/hf/hfss/>.