

文章编号: 2095-4980(2015)04-0596-05

用于平板电脑的小型化 LTE/GSM/UMTS 多频段天线

侯佳琪, 郭庆功*

(四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610065)

摘要: 随着 LTE 在移动宽带服务中的使用, 平板电脑等移动终端满足移动通信宽带化的需求日益迫切。设计了 1 个用于平板电脑的小型化 LTE/GSM/UMTS 多频段天线。天线尺寸只有 $15\text{ mm} \times 40\text{ mm} \times 0.8\text{ mm}$ 。针对超薄平板电脑中平面倒置 F 型天线的高度要求难以实现, 通过引入 T 型驱动单极子结构, 有效降低了天线高度; 通过嵌入并联谐振螺旋电感展宽了低频段(850 MHz~910 MHz)带宽; 通过加载缺陷地结构展宽了高频段(1 710 MHz~2 690 MHz)带宽。天线覆盖 GSM850/900/1800/1900/UMT2100/LTE2300/2500 频段, 同时天线增益也满足平板电脑的要求。

关键词: 平面倒置 F 型天线; 多频段天线; 平板电脑; 并联谐振螺旋电感; 缺陷地结构

中图分类号: TN828.6

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201504.0596

Multi-band miniaturized antenna employed in tablet computer for LTE/GSM/UMTS applications

HOU Jiaqi, GUO Qinggong*

(School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610065, China)

Abstract: With the rapid employment of LTE in mobile broadband services, the requirements of broad bandwidth for mobile terminals, such as tablet computer, are increasingly urgent. A miniaturized multi-band antenna($15\text{ mm} \times 40\text{ mm} \times 0.8\text{ mm}$) employed in LTE/GSM/UMTS is designed, which can be applied to tablet computers. A T-shaped driven monopole structure is introduced in order to reduce the effective height of PIFA(Planar Inverted F-shaped Antenna) used in ultra-thin tablet computer. The low band(850 MHz~910 MHz) is extended by embedding a parallel-resonant spiral inductor. The high band(1 710 MHz~2 690 MHz) is extended by loading a Defected Ground Structure. The antenna covers the bandwidth of GSM850/900/1800/1900/ UMT2100/LTE2300/2500, and the gain of the antenna also meets the basic requirements of a tablet computer.

Key words: PIFA antenna; multi-band antenna; tablet computer; parallel-resonant spiral inductor; Detected Ground Structure(DGS)

随着无线通信技术的发展及 LTE 在移动宽带服务中的使用, 平板电脑等移动终端也朝着外观超薄化及功能多样化的方向发展, 尤其是在目前只能实现单一上网功能的基础上向着实现通话功能发展。而天线作为终端的关键部件, 对终端的整体性能起着举足轻重的作用。因此, 小型、超薄的多频段内置天线的研究具有重要意义^[1-2]。

目前, 已有一些用于平板电脑的多频段天线研究^[3-6]。文献[3]设计了 1 个用于平板电脑的 8 频段的 LTE/WWAN 频率可重构天线, 利用 1 个单刀四置射频开关构成短路线, 改变低频的 4 种不同的谐振模式, 因而该天线能在 LTE/WWAN 频段工作; 文献[4]利用 1 个低频段馈电(匹配网络直接馈电)和 1 个高频段馈电(匹配网络间隙耦合馈电)激励起 LTE/WWAN 频段; 但这 2 篇文献的缺点是天线厚度为 $3\text{ mm} \sim 4\text{ mm}$, 无法用于超薄平板电脑; 文献[5]设计了 1 个尺寸只有 $21\text{ mm} \times 4.5\text{ mm} \times 7.5\text{ mm}$ 的天线, 但只能覆盖 WLAN 2.4 GHz 和 5 GHz 频段, 无法实现通话功能; 文献[6]利用 1 个变形的 L 贴片和 2 个寄生短截线设计了 1 款覆盖 4G-LTE/WWAN 频段的的天线, 但缺点是方向图辐射效果不佳。

为了克服上述研究的不足, 本文以平面倒 F 型天线(PIFA)为基础, 设计了 1 款可用于超薄平板电脑的

收稿日期: 2015-01-12; 修回日期: 2015-03-11

*通信作者: 郭庆功 email: guoqingong@scu.edu.cn

LTE/GSM/UMTS 小型化天线。PIFA 是目前手机、平板电脑天线设计中常用的天线形式。但 PIFA 天线要求对地高度不小于 7 mm, 天线高度不足会导致其性能严重恶化, 这是超薄天线的设计难点之一。本文尝试使天线的辐射单元和接地板共面, 引入 LC 匹配电路及并联谐振螺旋电感^[7-8]来满足天线的辐射要求; PIFA 的窄频带是其在无线通信应用中的 1 个限制, 这是多频带天线设计难点之二。本文利用缺陷地结构(DGS)^[9-10], 实现了天线的宽频带要求。

1 理论分析

PIFA 天线是在微带天线的结构基础上发展而来的, 因其具有体积小、重量轻、剖面低、可内置、易加工、易集成、可共形等结构优点以及其能够实现宽频带和多频段特性而广泛应用。如图 1 所示, PIFA 天线以 1 个平面辐射单元为辐射体, 采用 1 个大的地面为反射面, 辐射体上有 2 个互相靠近的 pin 脚, 一个利用短路壁与接地板相连的方式进行短路, 另一个作为馈电点; 辐射体的另一端悬空开路, 中间采用空气作为介质。

文献[11-12]对 PIFA 天线进行了详细的分析并得到很多有指导意义的结论, 总结如下:

由 PIFA 的谐振频率简化公式入手

$$L1 + L2 = c / 4f \quad (1)$$

式中: $L1$ 和 $L2$ 分别为天线的长和宽; c 为真空中光速, f 为天线谐振频率。

因为天线是 1 个一端开路且可以向外界辐射电磁波的谐振体, 谐振频率作为其重要参数, 主要是由辐射体本身的长度、宽度等结构参数决定, 其他结构(如开槽等)都只能对谐振频率在较小的范围内进行微调。同时, $L2$ 还能在一定程度上影响微带天线的带宽和辐射效率。在尺寸允许的条件下, $L2$ 取的适当大些对阻抗匹配和频带效率都有利。通常, 天线的频带宽度以输入端电压驻波比(Voltage Standing Wave Ratio, VSWR)小于某个给定值的频率范围 BW 表示。若 VSWR 给定值为 S , 则 $VSWR < S$ 时的频带宽度计算公式如下:

$$BW < \frac{S-1}{Q\sqrt{S}} \quad (2)$$

式中: Q 是天线品质因数。通常, 要求平板电脑天线的 $VSWR \leq 2$, 即 $S_{11} < -5$ dB。当高度 $h < \lambda/16$ 时, 带宽的经验公式可近似为 $BW = 5.04f^2h$ 。由此式可知, 当谐振频率 f 确定时, 调节天线高度能够影响天线带宽。

上述因素是相互制约的, 若为了展宽带宽而增大辐射贴片的高度 h , 会增加天线重量, 并会破坏天线的低剖面特性, 这对于空间小、精确度高的平板电脑天线是不可取的, 因此需要综合考虑这些影响因素, 以达到最佳的效果。

2 天线仿真设计

2.1 天线结构

本文采用介电常数为 4.4 的 FR4 板为介质基板, 厚度为 0.8 mm, 损耗角正切 0.02, 主辐射天线尺寸 $40 \text{ mm} \times 15 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm}$, 金属接地板尺寸 $200 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 0.2 \text{ mm}$, 以支持市面上 9.7 英寸平板电脑。因为实际应用中通常有各种各样的内置天线需要嵌入到平板电脑, 因此选择把主辐射天线放置在金属接地板右上角, 这有利于其他内置天线的安装。

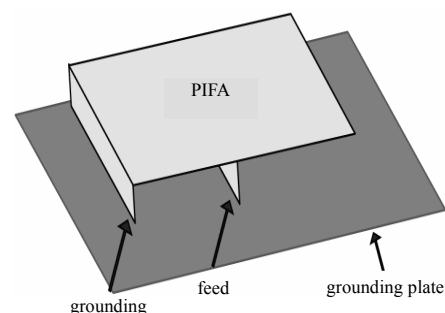


Fig.1 PIFA antenna
图 1 PIFA 天线示意图

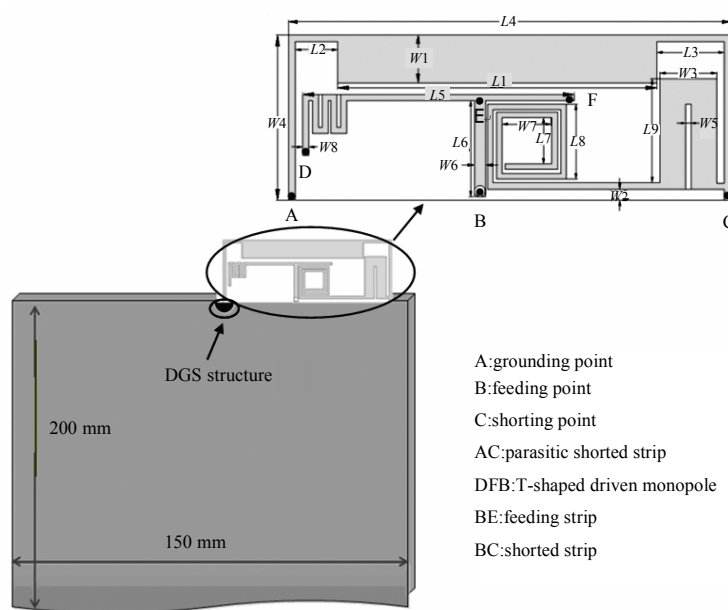


Fig.2 Structure of antenna(structure 3)
图 2 天线结构图(结构 3)

如图 2 所示, A 点为开路点, 与接地板间隔 1.7 mm; B 点为馈电点, 采用 50 Ω 同轴线从介质基板背面馈电; C 点为短路点, 直接与金属接地板相接。天线中部的 T 型驱动单极子结构(DFB)相当于 1 个四分之一波长谐振结构, 在高频产生谐振, T 型驱动单极子的左支(DE)加入折线贴片以增加电流流动路径从而展宽高频带宽; 寄生短路贴片(AC)在 C 点短路, 相当于一个半波长谐振结构激起低频谐振; 同时, 天线右边的开缝贴片与寄生短路贴片(AC)会相互影响并在高频产生谐振从而展宽高频部分的带宽。此外, 在 T 型驱动单极子结构内置 1 个并联谐振螺旋电感, 该螺旋电感类似于四分之一波长的开缝或者半波长的开槽, 会引起 1 个并联谐振, 来展宽低频部分的带宽。在此基础上, 在主辐射贴片左下方的金属接地板上加载 DGS 结构, 蚀刻出半径为 1.7 mm 的半圆, 并在介质板的左下侧面加入一截宽度为 0.8 mm, 长度为 1.78 mm 的贴片, 以改变电路衬底材料有效介电常数的分布, 从而改变微带线的有效电感和有效电容, 使得由 DGS 结构构成的微带线具有慢波特性和带阻特性, 旨在激起 DGS 结构和主辐射贴片之间的谐振, 从而展宽带宽。为了优化提出的小型化天线, 采用 CST 软件进行仿真分析, 得到仿真结果如图 6 所示, 最终优化后结构参数如表 1 所示。

2.2 加载不同结构对天线 S 参数的影响

天线最初模型如图 3 结构 1 所示, 由于天线的辐射单元和接地板共面, 高度 H 很小。导致天线性能严重恶化(如图 4 所示), 高频部分只能覆盖 2.28 GHz~2.75 GHz 频段, 低频部分没有产生谐振点。在主辐射贴片嵌入并联谐振螺旋电感形成结构 2, 该并联谐振螺旋电感会引起 1 个并联谐振, 在低频部分产生谐振点。由仿真结果可以看出, 结构 2 在低频部分激励起 2 个谐振点, 分别为 0.84 GHz 和 0.97 GHz, 覆盖 0.77 GHz~0.8 GHz, 0.92 GHz~1.15 GHz 两个频段; 在高频部分覆盖 2.32 GHz~2.85 GHz 频段, 带宽展宽了 68%, 但还不能满足设计要求。在此基础上加载 DGS 结构形成结构 3(如图 2 所示), DGS 结构激起了该结构和主辐射贴片之间的谐振, 在 1.88 GHz 处产生了 1 个谐振点, 从而展宽了高频部分的带宽并覆盖 1.63 GHz~2.75 GHz, 低频部分覆盖 0.85 GHz~0.91 GHz。带宽展宽了 113%, 频带内 $S_{11} < -5$ dB。

表1 最终优化结构参数

Table1 Final parameters of the optimized structure

parameter	value/mm	parameter	value/mm
$L1$	28.800 0	$W1$	4.350 0
$L2$	3.800 0	$W2$	1.000 0
$L3$	6.100 0	$W3$	5.100 0
$L4$	39.800 0	$W4$	15.000 0
$L5$	24.500 0	$W5$	0.500 0
$L6$	8.750 0	$W6$	1.000 0
$L7$	4.437 5	$W7$	4.500 0
$L8$	6.800 0	$W8$	0.550 0
$L9$	9.400 0		

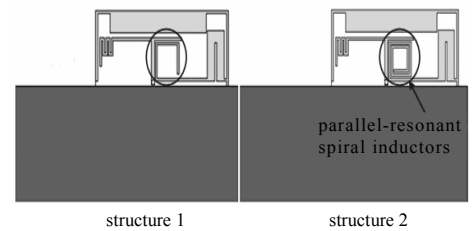


Fig.3 Comparison of different antenna structures
图 3 不同天线结构对比

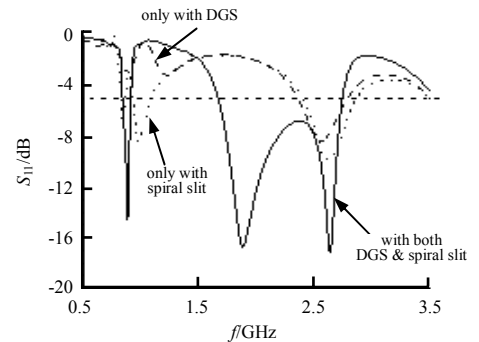


Fig.4 Comparison of S_{11} with parallel-resonant spiral slit and DGS
图 4 加载并联谐振螺旋电感及 DGS 结构的 S_{11} 对比

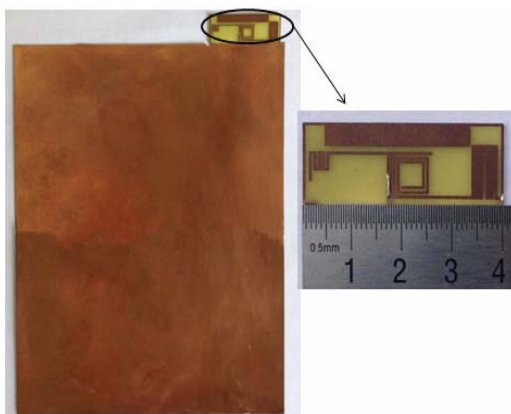


Fig.5 Photo of the antenna
图 5 天线实物图

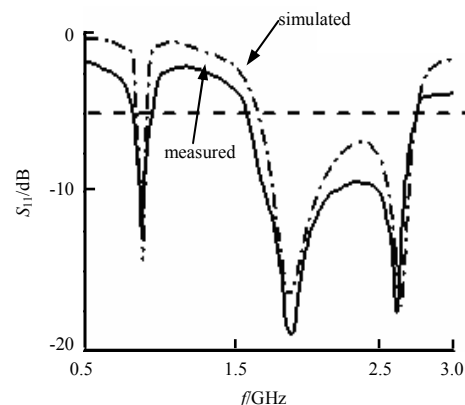


Fig.6 Comparison between simulated and measured results
图 6 仿真与实测 S_{11} 结果对比

3 实物测试与结果分析

天线实物如图 5 所示,输入阻抗测试采用安捷伦 E8362B 矢量网络分析仪,通过图 6 所示天线回波损耗 S_{11} 的仿真和实测结果对比可以看出,2 个频带均达到了很好的阻抗匹配,天线实测的谐振点与软件仿真结果基本吻合。由于加工尺寸、焊接工艺、SMA 接头和同轴线等误差、测试环境及介质版厚度等因素影响, S_{11} 幅值的仿真与实测结果有所差距。天线方向图如图 7 所示,在 900 MHz 处具有良好的全向性,但在 1 800 MHz 和 2 450 MHz 处,由于接地面无效表面电流的影响使得全向性有所变化,仿真与实测结果因测试环境、周围电磁干扰等因素有所差距,但基本吻合。该天线在 900 MHz,1 800 MHz 和 2 450 MHz 最大增益分别为为 2 dBi,3.75 dBi 和 3.77 dBi。

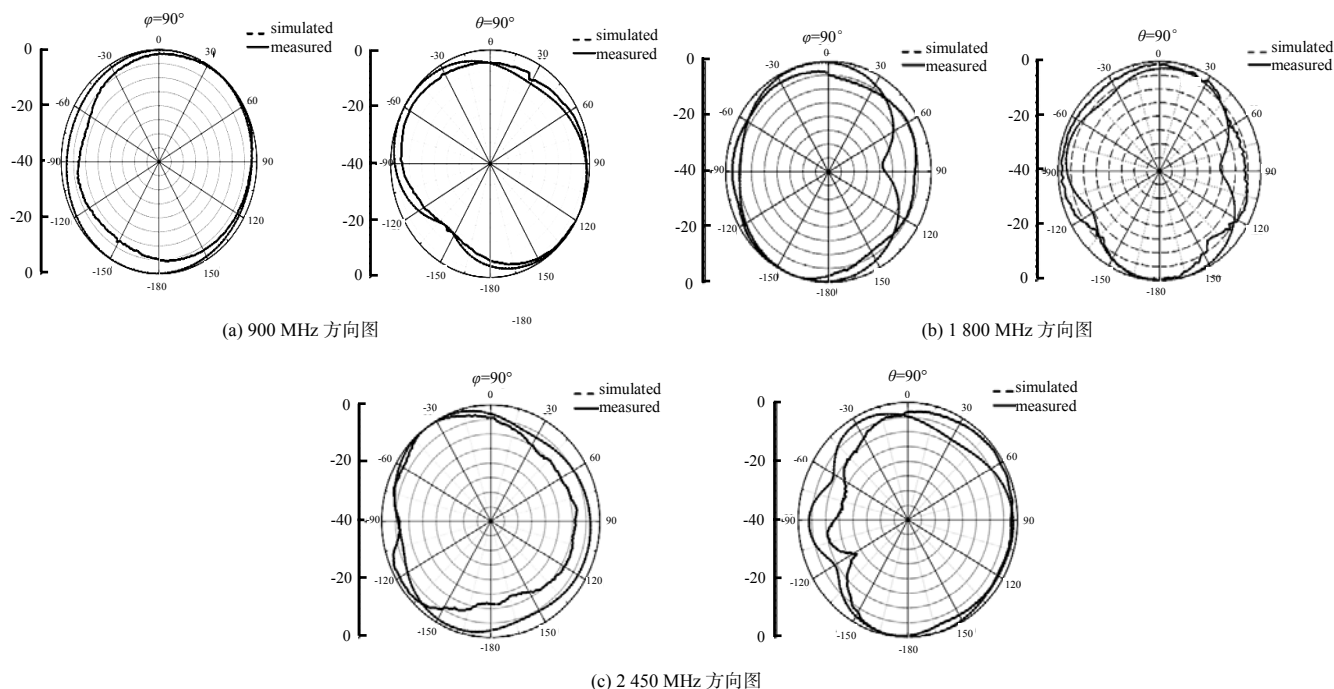


Fig.7 Simulated and measured radiation field of the antenna
图 7 天线仿真与实测方向图

4 结论

采用基于接地板的 DGS 结构以及主辐射贴片的并联谐振螺旋电感结构,设计了 1 款可用于超薄平板电脑的全向天线,实现了对 LTE/GSM/UMTS 频段(即 850 MHz~910 MHz, 1 630 MHz~2 750 MHz)的覆盖。天线的增益及带宽均满足现代移动通信系统的工作要求。通过 CST 仿真设计,讨论了不同结构对于谐振频率及频带宽度的影响,为设计包含更高频段的宽频及多频天线提供了参考。

参考文献:

- [1] WANG Y,Kwang L C. One novel single-patch dual-frequency planar inverted-F antenna[J]. Microwave and Millimeter Wave Technology International Conference on Icmmt, 2000:444-447.
- [2] 李茂,张弘,李智,等. 一种适用于无线网络的倒 F 天线设计[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2006,4(6):464-466. (LI Mao,ZHANG Hong,LI Zhi,et al. Design of an inverted F antenna for wireless network[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2006,4(6):464-466.
- [3] BAN Y L,SUN S C,LI P P,et al. Compact eight-band frequency reconfigurable antenna[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2014,62(1):471-475.
- [4] WONF K L,CHEN L Y. Small-size LTE/W tablet device antenna with two hybrid feeds[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2014,62(6):2926-2934.
- [5] CHOU J H,CHANG J F,LIN D B,et al. A compact loop-slot mode combination antenna for ultra-thin tablet computer with metallic bottom cover[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2014,13:746-749.

- [6] 杨涛. 应用于平板电脑的 4G-LTE/WWAN 天线设计[J]. 物联网技术, 2014,4(1):41-43. (YANG Tao. Design of 4G-LTE/WWAN antenna for tablet computer[J]. Internet of Things Technologies, 2014,4(1):41-43.)
- [7] 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):1705-1711.
- [8] Yurduseven Okan, Smith David. A solar cell stacked multi-slot quad-band PIFA for GSM, WLAN and WiMAX networks[J]. IEEE Microwave & Wireless Components Letters, 2013,23(6):285-287.
- [9] Ahn D, Park J S, Kim C S, et al. A design of the low-pass filter using the novel microstrip defected ground structure[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2001,49(1):86-93.
- [10] GUAN B R, ZHANG Z H. An ultra broadband antenna(UWB) loaded with defected ground structure(DGS)[C]// 2011 International Conference on Electronics, Communications and Control(ICECC). Ningbo, China: [s.n.], 2011:1872-1874.
- [11] WONG K L. Planar Antennas for Wireless Communications[M]. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 2003.
- [12] CHEN Z N. Antennas for Portable Devices[M]. England: John Wiley and Sons Ltd, 2007.

作者简介:



侯佳琪(1989-), 女, 甘肃省陇南市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为天线设计.email:houliaiqi@163.com.

郭庆功(1967-), 男, 教授, 新疆维吾尔自治区人, 硕士生导师, 主要研究方向为电磁兼容、微波技术应用。

(上接第 578 页)

- [7] 张贤达. 矩阵分析与应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2004. (ZHANG Xianda. Matrix Analysis and Applications[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.)
- [8] 文安平. 平方根升余弦滚降数字滤波器的设计与实现[J]. 信息技术, 2005(9):58-60. (WEN Anpin. Design and implementation of square-root raised cosine roll-off digital filter[J]. Information Technology, 2005(9):58-60.)
- [9] 卢笛. 基于 FPGA 的多速率数字信号上下变频的实现[D]. 西安:西安电子科技大学, 2012. (LU Di. The implementation of multi-rate digital signal up-converter and down-converter based on FPGA[D]. Xi'an, Shaanxi, China: Xidian University, 2012.)
- [10] Gardner F M. Interpolation in digital modems I: Fundamentals[J]. IEEE Transactions on Communications, 1993,41(3):501-507.
- [11] Erup L, Gardner F M, Harris R A. Interpolation in digital modems II: Implementation and performance[J]. IEEE Transactions on Communications, 1993,41(6):998-1008.

作者简介:



胡轶男(1989-), 女, 吉林省双辽市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为通信信号处理.email:12120082@bjtu.edu.cn.

陶 成(1963-), 男, 山西省侯马市人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为移动通信、通信信号处理等。

刘 留(1981-), 男, 昆明市人, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为宽带无线信道测量与建模、时变信道下通信信号处理等。