

# 一种新型 3G 系统超宽带室内双向天线研究

冯奎胜<sup>1,2</sup>, 李娜<sup>3</sup>, 许家栋<sup>1</sup>, 闫伟<sup>1</sup>

(1. 西北工业大学, 陕西 西安 710072;

2. 中国东方红卫星股份有限公司, 北京 100094;

3. 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

**摘要:** 设计了一种用于第三代移动通信系统的新型室内双向天线。通过采用渐变球激励的形式, 解决了环形天线平衡馈电和阻抗匹配的问题, 在节省复杂匹配网络的同时得到了很宽的工作带宽, 不需附加额外的匹配网络, 天线电压驻波比小于 1.5 时, 阻抗带宽达到 100%。天线工作在 800 MHz~2 500 MHz, 低频段增益可达 5 dBi, 高频段增益可达 8 dBi, 满足 2G 和 3G 移动室内通信在商务写字楼和宾馆酒店走廊两侧覆盖要求, 与现有采用全向天线覆盖的方法相比可有效降低室内移动通信网络的建设成本, 提高整个通信网络的容量和质量。

**关键词:** 超宽带; 环形天线; 双向天线; 3G

中图分类号: TN82

文献标识码: B

文章编号: 0258-7998(2011)06-115-04

## Analysis and design of a novel UWB bidirectional antenna for 3G

Feng Kuisheng<sup>1,2</sup>, Li Na<sup>3</sup>, Xu Jiadong<sup>1</sup>, Yan Wei<sup>1</sup>

(1. Northwestern Polytechnic University, Xi'an 710072, China;

2. China Spacesat Co., Ltd., Beijing 100094, China;

3. The Telecommunication Engineer Institute, Air force Engineering University, Xi'an 710077, China)

**Abstract:** This paper presents an ultra wide band(UWB) indoor bidirectional antenna for the third generation(3G) mobile communication system. The proposed antenna is a loop antenna diteminated by a matel ball, which solved the balance feed and impedance match. Its voltage standing wave ratio (VSWR) is less than 1.5 within the frequency range of 800 MHz~2 500 MHz, the bandwidth can achieve 100%. The gain is more than 5 dBi in low frequency and 8 dBi in high frequency. The antenna can be used to the wireless broadband communications for 2G and 3G system and can reduce the cost of construction for indoor communication.

**Key words:** UWB; loop antenna; bidirectional antenna; 3G

目前, 移动通信业务在全球迅猛发展, 在中国, 随着 3G 牌照的相继发放, 3G 时代也随之到来。但是, 3G 网络的建设是一项耗费巨大而又漫长的工作, 特别是室内通信网络的建设更加复杂和重要, 根据香港 SUNDAY 对业务数据的采集结果, 3G 室内的话务量占总话务量的一半以上。而 NTTDoCoMo 的最新统计数据显示, 室内业务量占到了总业务量的 70% 左右。

天线是移动通信系统的耳目和喉舌, 直接关系到网络效率和通信质量。经调查发现, 目前大部分商务写字楼和宾馆酒店的室内天线系统多采用在走廊中间安装全向天线的形式来进行覆盖, 而用户大多分布在走廊两侧并有一定纵深的位置, 该环境信号的穿透损耗高, 空

间损耗大, 传统的全向天线无法满足覆盖要求, 造成 3G 信号分布不均匀、不稳定, 存在盲区和掉线的问题, 而且该问题也无法通过增加天线布放密度的方式来解决。同时, 随着移动用户的增加, 移动通信频道数已不能满足需要, 用户系统将面临升级, 所以必须研制更宽频段的天线以满足应用需求。因此研制 2G/3G 共用的宽频带高增益的双向分布天线具有重要的理论和现实意义。为此, 本文在环天线理论基础上, 提出了一种由渐变金属球激励的环片天线, 实现了高增益的双向辐射, 同时经测量阻抗带宽可以达到 100%, 实现了天线的超宽带特性, 为解决 2G/3G 系统室内走廊两侧纵深区域信号覆盖问题提供了一种高效、可行的天线选择方案。

## 1 新型环形天线结构

本文天线的设计目标为：工作频率800 MHz~2 400 MHz，电压驻波比小于1.5，低频段增益大于5 dBi，高频段增益大于8 dBi，天线相对带宽100%，属于超宽带天线。同时，具有双向辐射特性，3 dB 波瓣宽度在双向辐射切面大于160°。对于双向辐射，典型的天线形式就是环形天线<sup>[2-3]</sup>。

为了使天线的频带展宽，并考虑到天线重量因素，本文采用金属环片的形式，使天线在重量和强度上都得到了保证，同时也增大了天线馈电的难度。环形天线一般采用平衡双线通过单点馈电的形式激励，由于频率较高这里无法继续使用，另一种馈电形式就是同轴馈电，但是由于同轴是一种不平衡结构，所以需要增加平衡与不平衡转化器（巴伦），而且无论那种馈电形式，都需要附带阻抗匹配网络以实现天线与馈线的匹配，这些都增加了天线的复杂度，难以实现小型化。本文提出了一种用小金属球在环心激励的形式，很好地实现了天线的平衡馈电和阻抗匹配，节省了巴伦和匹配网络的使用，降低了天线的复杂度。其结构如图1所示。

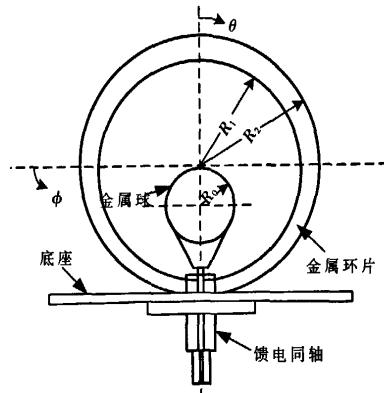


图1 新型环形天线结构示意图

参考图1，其中  $R_1$ 、 $R_2$  分别是金属环的内外半径，环片厚度  $t_0$ 、 $R_0$  为小金属球半径，球锥体锥角为  $\theta$ ，与同轴内导体连接部横截面半径为  $a$ ，圆盘底座半径为  $d$ ，环片材料为铜，球锥材料为铝。使用  $50\Omega$  半钢同轴电缆进行馈电，同轴电缆上半段较粗，主要起固定环片和支撑球体的作用。

## 2 天线原理与仿真设计

环形天线按照绕制导体总长度与自由空间波长的关系，可分为电小环天线( $2\pi r < \lambda_0$ )和电大环天线( $2\pi r \approx \lambda_0$ )， $r$  为单环的半径。电小环天线实际应用最多，但是主要用于接收天线，而且工作频带比较窄。电大环天线属于谐振型天线，若在天线适当部位接入负载，使导体上载行波电流可构成加载环天线，它具有较宽的频带特性。对于单圈的电大环天线，理论上可以把环上的电流展开为以下傅里叶级数来进行分析<sup>[3]</sup>：

$$I(\phi) = I_0 + 2 \sum_{n=1}^m I_n \cos n\phi \quad (1)$$

其中  $I_0$  为环电流， $m = I_0 N S$ ， $N$  为圈数， $S$  是环面积。当环的尺寸接近谐振时( $2\pi r / \lambda_0 = 1, 2, 3$ )，电流的傅里叶级数表达式中起主要作用的是  $n$  为整数的项，例如，接近第一个谐振点  $2\pi r / \lambda_0 = 1$ ，环上电流近似为  $I(\theta) = 2I_0 \cos \phi$ ，通常将  $2\pi r / \lambda_0 \approx 1$  的环称为谐振环，其输入电抗为零，输入阻抗  $R \approx 100\Omega$ ，便于和传输线匹配。

本文设计的环形天线主要包括两个方面的工作，一方面是为了提高天线的辐射带宽，采用具有一定宽度和厚度的金属环片来代替金属导线；另一方面是为了简化匹配网络和保证双向对称辐射特性，采用金属小球在环中激励的形式进行馈电。

首先，根据天线工作频率选择环片的内外半径为： $R_2 = 60 \text{ mm}$ ， $R_1 = 30 \text{ mm}$ ，环片厚度  $t_0 = 2 \text{ mm}$ ， $R_1$  与  $R_2$  对天线辐射方向图的影响如图2、图3所示。

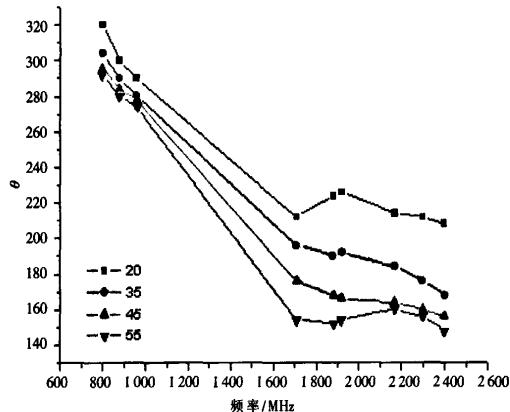


图2 天线3 dB 波瓣宽度随  $R_1$  变化曲线 ( $R_2 = 60 \text{ mm}$ )

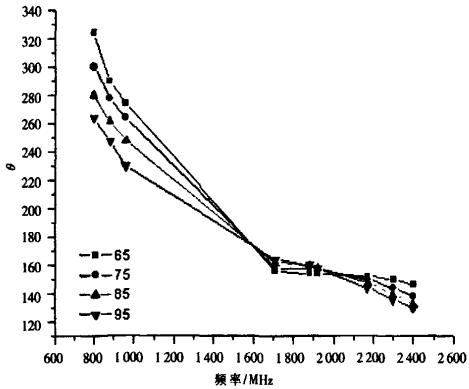


图3 天线3 dB 波瓣宽度随  $R_1$  变化曲线 ( $R_2 = 55 \text{ mm}$ )

从图中可以发现，频率越高天线的增益越高，而同时，天线辐射方向图越窄。因此在天线设计时，增益主要

照顾低频段，而辐射方向宽度则要重点关注高频段。同时可以发现， $R_1$  对低频段增益和波瓣宽度影响不大，对高频段影响较大；而  $R_2$  正好与  $R_1$  相反，对高频段增益和波瓣宽度影响不大，对低频段影响较大。 $R_1$  和  $R_2$  越大，天线增益越大，而天线波瓣宽度越窄。因此需根据天线增益和辐射宽度对环片内外半径进行折中选择。

其次是激励金属小球尺寸的设计。金属小球与馈电同轴延长出来的内导体柱连接，由于馈电是由小球的辐射实现的，因此不存在平衡不平衡的问题。同时，对小金属球体进行优化，优化参数量小直观，容易实现天线的匹配。通过对小球尺寸的参数建模和仿真，可以得到小球半径  $R_0$  对天线驻波的影响，如图 4 所示。

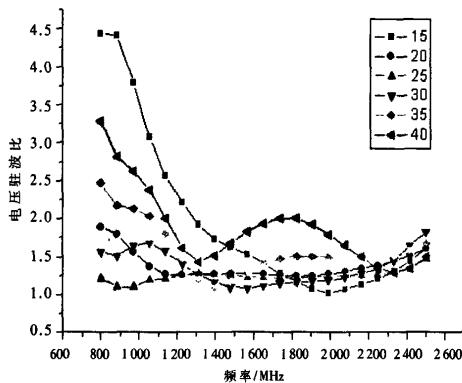


图 4 小球半径  $R_0$  对天线驻波的影响

可见小球半径对低频段驻波影响比较明显，同时，仿真还发现小球半径对天线辐射方向宽度影响不大。

### 3 天线优化及测试结果

根据上一节的参数计算结果，选取天线主要结构参数为  $R_1=55$ ,  $R_2=60$ ,  $R_0=25$ ，然后采用 Ansoft 公司的高频仿真软件(HFSS)<sup>[8]</sup>，对图 2 中主要参数进行优化计算，优化后的天线结构为：圆环  $R_1=58$  mm,  $R_2=75.5$  mm,  $t_0=2$  mm；金属球锥  $R_0=23$  mm，锥角  $\theta=41.2^\circ$ ,  $a=2$  mm,  $d=100$  mm。主平面远场辐射方向图如图 5~图 8 所示。

按照优化尺寸加工天线模型，并设计了天线罩，天线罩采用 2 mm 厚的玻璃钢材料，经测试对天线驻波和辐射特性影响不大。

使用安捷伦公司的矢量网络分析仪对其驻波性能进行测试，指标如图 9 所示。实测驻波比与天线仿真阻抗特性吻合较好，从 800 MHz~2 500 MHz，电压驻波比  $VSWR < 1.5$  时的带宽达到了 100%，实现了天线的超宽带特性。

天线增益与方向特性的实测结果与仿真结果对比情况如表 1 所示。

从测试的结果来看，与优化仿真数据吻合较好，特别是天线远场辐射方向图与仿真结果非常接近，达到了

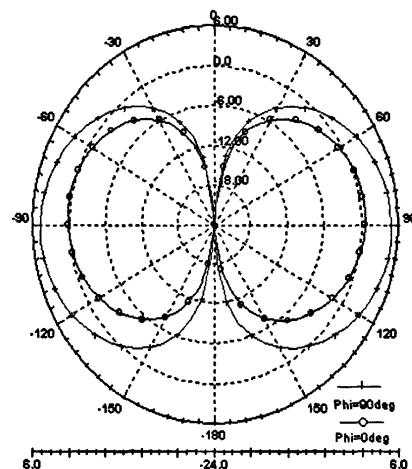


图 5 天线远场辐射方向图 ( $f=806$  MHz)

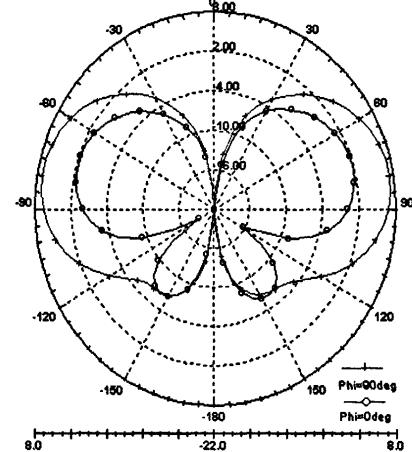


图 6 天线远场辐射方向图 ( $f=1 710$  MHz)

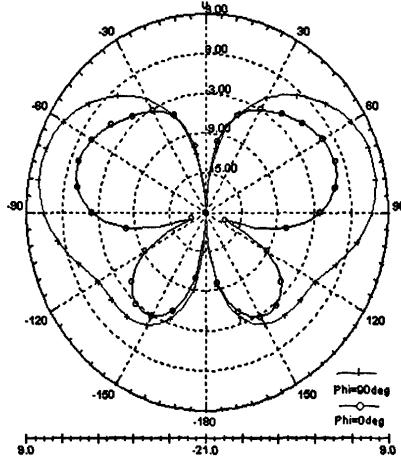


图 7 天线远场辐射方向图 ( $f=1 920$  MHz)

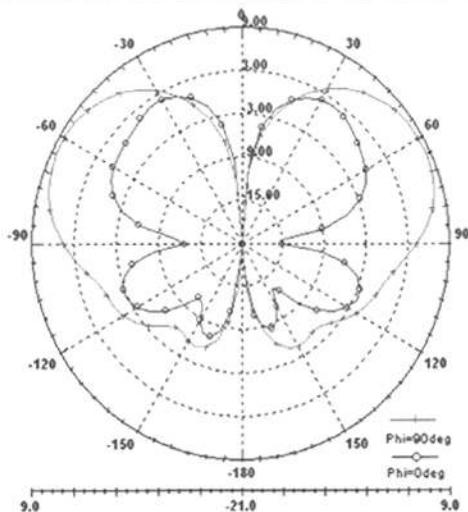
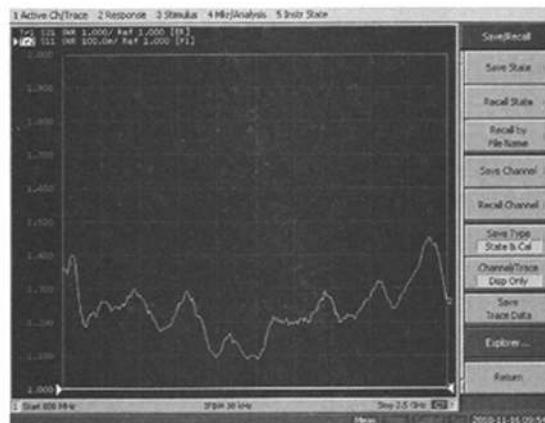
图 8 天线远场辐射方向图 ( $f=2.400 \text{ MHz}$ )

图 9 天线实测电压驻波比

表 1 天线各频段性能测试结果与仿真结果对照表

频段/MHz	增益/dBi		3 dB 波束宽度/度 ( $\Phi=90^\circ$ )	
	仿真	实测	仿真	实测
806~960	5.1~5.8	4.9~5.4	260~250	276~246
1710~1920	7.1~7.5	6.8~7.2	210~200	230~190
1920~2400	7.5~8.1	7.2~8.0	200~180	190~176

最初的设计目标。

(上接第 114 页)

- code acquisition from LEO Satellite. Spread Spectrum Techniques and Applications[C]. IEEE 5th International Symposium, 1998:446~448.
- [3] KAPLAN E D 著, GPS 原理与应用[M]. 邱致和, 王方义, 译. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [4] 董渊文, 官洪运, 胡辉. GPS 接收机伪码跟踪技术研究及仿真[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(11):3209~3216.
- [5] Hu Hui, Xu Luchao. GPS carrier tracking research and

本文针对目前 3G 移动通信室内分布系统中存在的问题, 即在部分商务写字楼和宾馆酒店的走廊安装全向天线不能满足两侧纵深区域通信覆盖要求的问题。从环形天线的基本理论出发, 讨论了其实现宽带辐射和平衡匹配馈电的方法, 提出了一种新型的环形天线结构, 从仿真和实测的结果来看, 实现了设计目标, 天线具有很好的双向辐射和超宽带特性, 从而可以大大降低 3G 室内通信系统建设成本, 有助于提高整个网络的质量和容量。

#### 参考文献

- 袁卫文, 王强, 蓝燕锐. 3G 室内分布技术现状[J]. 通信世界, 2009(2):24~25.
- 约翰·克劳斯. 天线(第三版)上册[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005:155~165.
- 林昌禄. 天线工程手册[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- 吕文俊, 朱洪波. 超宽带折合环天线的设计与研究[J]. 通信学报, 2010, 31(2):7~9.
- 康云娟, 朱守正, 李丽. 一种小尺寸高效率加载小环天线的研究[J]. 现代电子技术, 2007, 30(5):86~90.
- 王扬智, 张麟兮, 韦高. 基于 HFSS 新型宽频带微带天线仿真设计[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(11):2603~2606.
- 钱祖平, 刘亭亭, 赵菲. 缝隙耦合馈电宽带圆极化天线设计[J]. 电波科学学报, 2010, 25(4):739~743.
- Ansoft HFSS version 10.0[R]. Santa Clara: Ansoft Corporation, 1984.
- 金骏, 钟顺时. 利用短路片结构的小型超宽带单极天线[J]. 微波学报, 2008, 24(2):31~33.
- 王敏男, 好书吉, 朱允锋, 等. 一种新型低剖面宽带相控阵单元研究[J]. 电波科学学报, 2010, 25(6):1130~1133.

(收稿日期: 2011-02-16)

#### 作者简介:

冯奎胜, 男, 1979 年生, 博士生, 主要研究方向: 电磁计算、卫星天线。

许家栋, 男, 1948 年生, 博士生导师, 主要研究方向: 电磁场与微波技术。

李娜, 女, 1982 年生, 博士生, 主要研究方向: 军事通信技术。

simulation[C]. International Symposium on Information Science and Engineering, 2008:414~416.

(收稿日期: 2010-11-02)

#### 作者简介:

党群, 男, 1975 年生, 博士, 主要研究方向: 扩频通信技术。

吴广伟, 男, 1983 年生, 硕士, 主要研究方向: 数字信号处理。

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…

---



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

---

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>

---



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>