

用于 WiMAX 基站的双频段渐变槽线天线

唐淑君 章文勋 章 朋

东南大学信息科学与工程学院，南京 210096

摘要：本文采用非对称渐变槽线结构开发了一种能工作于 3.5 GHz 和 5.8 GHz 双频段的 WiMAX 基站天线，辐射波瓣图符合主向按需适度下倾、向下辐射均匀覆盖而无零点、以及抑制向上辐射和副瓣等特点的赋形波束要求。设计样品经软件仿真和实验测试，结果证实了该天线的实用性和优越性。

关键词：渐变槽线天线，赋形波束，WiMAX

Dual-band Tapered Slot-line Antenna for WiMAX Base Station

TANG Shu-jun, ZHANG Wen-xun, ZHANG Peng

(School of Information Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096)

Abstract: A dual-band 3.5 GHz and 5.8 GHz tapered slot-line antenna for WiMAX base station usage is developed in this paper, whose radiation pattern meets the requirements of beam shaping as: appropriate beam tilting, down-ward uniform coverage without null, and suppressing up-ward radiation with side-lobe. The simulated and measured results of a designed prototype verify superiority and practicability of this antenna.

Keywords: Tapered slot-line antenna; Shaped beam; WiMAX

1 引言

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access, 全球微波接入互操作性)通信系统具有覆盖范围广，传输速率高，用户容量大，组网简单，经济灵活等优点，非常适合组建支持城域网范围、并具备漫游接入能力的综合业务网络；支持运营商特别是新兴的宽带运营商快速便捷地提供各种语音、数据和多媒体业务，以满足各类企业和家庭用户对高速高质信息传递的需求。已划分的四个工作频段 2.4 GHz、3.5 GHz、5.8 GHz、26 GHz 中，(3.3~3.8) GHz 和(5.1~5.8) GHz 频段的应用最广。从 WiMAX 系统的工作环境出发，要求天线能实现波束赋形（主向按需适度下倾、向下辐射均匀覆盖而无零点、以及抑制向上辐射和副瓣）。

本研究组曾采用非对称渐变槽线结构研制成适用于移动通信基站天线^[1]，具有宽频带、能实现波束

赋形、加工简单、成本低等特点；然而其 20 % 的频带尚不敷双频段 WiMAX 系统的应用、且其对服务区的覆盖效率还不够高。本文改进非对称渐变槽线的形状、采用双层背板的扼流结构、并加载了起引向作用的金属栅条，不仅改善了天线的垂直面波瓣图、并且具有 75 % 的相对频带可工作于 3.5 GHz 和 5.8 GHz 两个频段。所设计的金属栅加载非对称渐变槽线天线样品，经软件仿真和实验测试，证实了该天线的优越性和实用性。

2 结构设计

传统的对称渐变槽线天线始于 Gibson^[2]提出的指数律渐变槽线结构（图 1），其对称槽线边缘的函数式 $y(x) = \pm(C_1 e^{Rx} + C_2)$ ，虽然已被广泛应用^[2~8]，但不适合对基站天线的要求。

2006 年沈薇等^[1]采用非对称结构的渐变槽线天线，并借助在上贴片外缘加扼流缝、在馈电区后加反射背板等辅助措施（图 2），实现了：在 20 % 的频

基金项目：863 高科技课题(2007AA01Z264)

带(9~11)GHz内具有主向下倾(3~8)°、下半空间无零点、抑制上半空间辐射等特点的赋形波束。用做蜂窝式移动通信的基站天线时,该赋形波束可使服务区内的场强趋于均匀分布,服务覆盖效率达到(60~67)%。

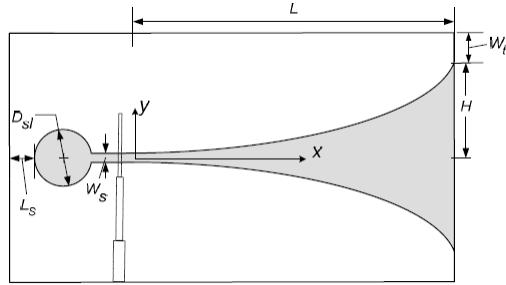


图1 传统对称渐变槽线天线

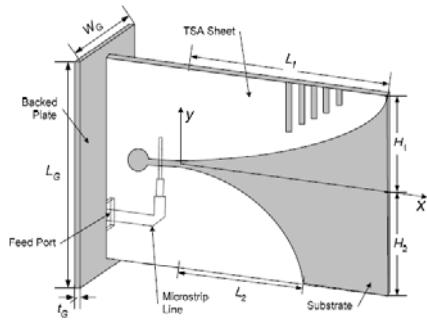


图2 非对称渐变槽线天线

本文对[1]的结构作进一步改进(图3):(1)将槽线上移、使下贴片比上贴片较宽,从而辐射能流更倾向下半空间;(2)采用双层背板形成扼流结构,从而可减小背板的宽度仍能有效地抑制后向辐射;(3)在渐变的槽隙内印制若干起引向作用的金属栅条,使在更宽的频段内实现较均匀的波束下倾、维持必要的增益,以适合WiMAX基站的双频段应用。其中,位于上贴片外缘的扼流缝为等间隔、等宽度、而长度自左向右递减;位于渐变槽隙中的栅条也是等间隔、等宽度、且长度自左向右递减,连接各平行栅条中心点的直线与y轴呈 α 夹角。

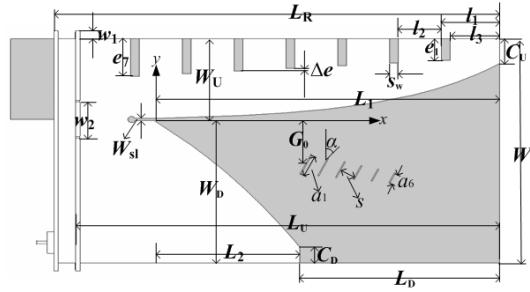


图3 双频段非对称渐变槽线天线结构示意图

渐变槽线边缘的函数式为

$$y_{1,2}(x) = \pm [A_{1,2} \exp(R_{1,2}x) + B_{1,2}]$$

$$\text{式中 } A_{1,2} = \frac{[(W_{U,D} - C_{U,D}) - W_{sl}/2]}{\left[\exp(R_{1,2}L_{1,2}) - 1\right]}$$

$$B_{1,2} = \frac{\left[\exp(R_{1,2}L_{1,2})W_{sl}/2 - (W_{U,D} - C_{U,D})\right]}{\left[\exp(R_{1,2}L_{1,2}) - 1\right]}$$

对上述结构方案运行电磁仿真软件(CST-2006b)作仿真分析和参数优选,得出一组结构参数:

$R_1=0.02, R_2=0.01, L_T=226.5, L_R=206.5, L_U=200.5, L_D=92.5, W=125, W_U=45, W_D=80, C_U=13.75, C_D=8.75, W_B=133, w_6=4, w_7=45, e_1=12, \Delta e=1.5, s_w=4, l_1=27, l_2=20.2, l_3=23, e_7=21, t_1=1.5, t_2=2.3, t_3=2.9, t_4=2.9, t_5=40.75, m_1=76, m_2=57, m_3=27, m_4=10, G_0=25, a_1=12, a_6=6, s=8, \alpha=25^\circ$

3 天线仿真及测试结果

按上述设计加工成样品(图4),对其性能作整体仿真测试运行电磁,并进行实验测试。所得结果示于图5~图8。

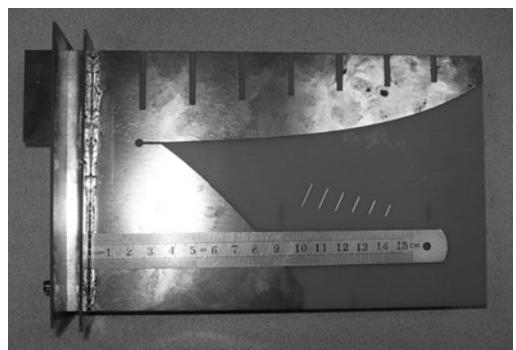


图4 渐变槽线天线样品照片

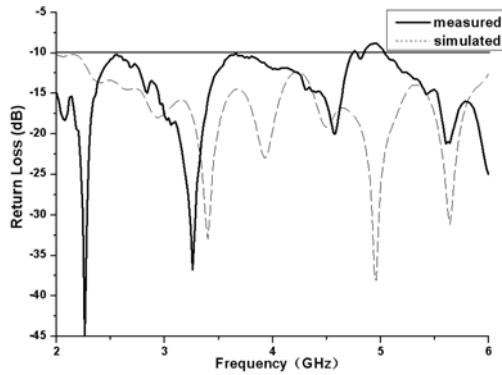


图 5 天线样品仿真和测试的回波损失频响曲线

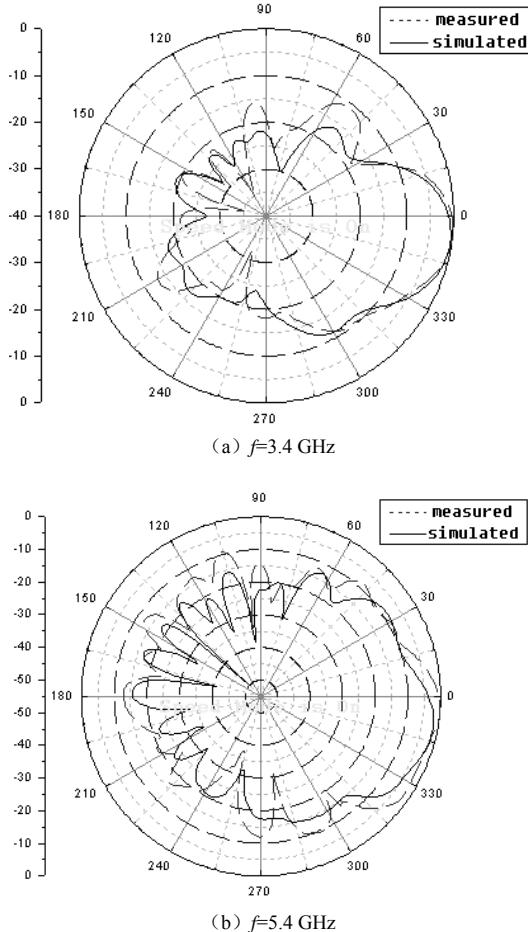


图 6 天线样品仿真和测试的 *E* 面波瓣图

由图 5 可见, 天线回波损失 ≤ -12.5 dB 的频率覆盖仿真结果达 2.6:1 (2.3~6 GHz), 而测量结果由于在 4.9 GHz 附近的稍微超标而分为双频段 (2~4.8 GHz, 5.1~6 GHz), 完全覆盖了 WiMAX 的 3.3~3.8 GHz 和 5.1~5.8 GHz 两个工作频段。二者不一致的原因主要来自样品的加工误差和测试误差, 样品所采用的 FR-4 板的相对介电常数为 4.4 ± 0.4 。

图 6 中给出天线在两个频点 3.4 GHz 和 5.4 GHz

上的铅垂面(*E*-面)波瓣图, 表现出主波束下倾和服务覆盖无盲区。仿真结果和测试结果基本符合。

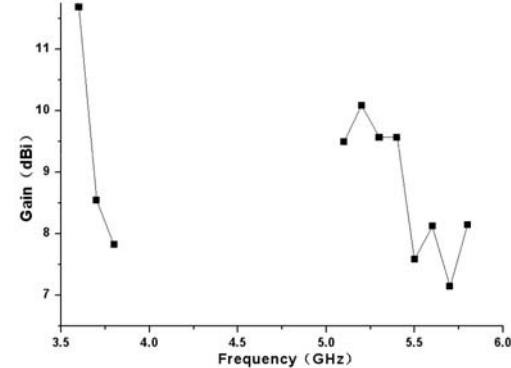


图 7 天线样品实测增益频响曲线

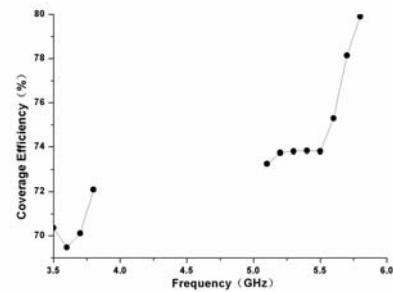


图 8 天线样品的服务覆盖效率

图 7 给出了天线在两个频段内的增益曲线, 借助金属栅加载对天线辐射能量的导引作用, 使天线增益 -3 dB 跌落的频带较宽。

为了定量表述铅垂面内辐射能量的有效利用程度, 曾定义天线的‘服务覆盖效率’:

$$\eta = \int_{-\pi/2}^0 P(\Delta) d\Delta / \int_{-\pi}^{+\pi} P(\Delta) d\Delta,$$

式中, Δ 是由水平线起算的仰角, $P(\Delta)$ 是铅垂面内的功率波瓣图函数。由图 8 可见, 在两个频段内的服务覆盖效率分别高于 69.5 % 和 73.2 %。

4 结论

通过设计、仿真、和实验测试, 可见, 将加载非对称 TSA 天线应用于无线通信中是可行的, 在很宽的双频段上基本实现了主向适度下倾、下半空间无盲区、抑制上半空间的辐射等号波束赋形特点。该结构方案的加工简单、成本低、体积小、适合产品的批量生产。其不足之处是增益还不够高、不够平稳、高频端的后向辐射还偏大, 将在后续研究中改进。

参 考 文 献

- [1] W. Shen, W. X. Zhang, Pattern synthesis of non-symmetric tapered slotline antenna, Electronics Letters, Vol. 42, No. 8, pp. 443-444, 2006
- [2] P. J. Gibson, The Vivaldi Aerial, 9th European Microwave Conference, Brighton, UK, pp. 101-105, 1979
- [3] Y. S. Kim and K. S. Yngvesson, Characterization of tapered slot antenna feeds and feed arrays, IEEE Trans. on Antennas & Propagation, Vol. 38, No. 10, pp.1559-1564, 1990
- [4] P. R. Acharya, H. Ekstrom, S. S. Gearhart, S. Jacobsson, *et al.*, Tapered slotline antennas at 802 GHz, IEEE Trans. on Microwave Theory & Techniques , Vol. 41, No. 10, pp.1715-1719, 1993
- [5] K. S. Yngvesson, D. H. Schaubert, *et al.*, Endfire tapered slot antennas on dielectric substrates, IEEE Trans. on Antennas & Propagation, Vol. AP-33, No. 12, pp.1392-1400, 1985
- [6] 康锴, 章文勋, 耦合渐变槽线天线及其和差波束的矩量法分析, 微波学报, Vol. 16, No. 1, pp. 8-12, 2000
- [7] K. Kang, W. X. Zhang & J. J. Li, Optimization of coupled tapered slot-line antenna for sum/ difference beams, Electronics Letters, Vol. 37, No.9, pp. 548-549, 2001
- [8] 刘涓、吕善伟, 一种新型宽频带单脉冲天馈系统, 北京航空航天大学学报, Vol. 27, No. 5, pp. 499-502, 2001

作者简介:

唐淑君, 女, 硕士, 主要研究用于移动通信系统中的天线; 章文勋, 男, 教授、博士生导师, 中国电子学会会士, IET Fellow, IEEE Fellow, 主要研究天线理论与技术、工程电磁学; 章朋, 男, 博士生, 主要研究天线综合技术、行波天线及其优化算法。

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)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)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)，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>