



# 基于电磁有限导体面镜像的抗干扰天线技术研究

邓博存, 沈建军, 许向东

(中国电信股份有限公司广州研究院 广州 510630)

**摘要:**针对 2 400 MHz 频段的电磁干扰问题进行了研究, 基于物理层微带技术, 结合电磁有限导体面镜像和阵因子叠加原理, 设计了一种具有特殊辐射性能的天线结构, 并对天线介质进行了研究, 通过试验验证其对 Wi-Fi、TD-LTE 等网络的抗干扰特性, 对降低信道报文重传率、提高信道报文传输速率等方面效果明显。

**关键词:** 电磁干扰; 电磁有限导体面镜像; 抗干扰特性; 阵因子叠加

**doi:** 10.11959/j.issn.1000-0801.2015018

## Research on the Anti Interference Antenna Technology of the Limited Electromagnetic Conductor Surface

Deng Bocun, Shen Jianjun, Xu Xiangdong

(Guangzhou Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Guangzhou 510650, China)

**Abstract:** The problem of electromagnetic interference of 2 400 MHz band were studied, based on the physical layer microstrip technology, combining the electromagnetic finite conductor surface mirror and array factor superposition principle. Antenna structure which having special radiation performance was designed, the antenna medium was studied. Through the examination on the antenna, the anti interference performance was verified. It has an effect on the reducing of the channel packet retransmission rate and the increasing of the channel packet transmission rate.

**Key words:** electromagnetic interference, limited electromagnetic conductor surface mirror, anti interference characteristic, array factor stack

### 1 引言

移动互联网时代加速了 3G、LTE、Wi-Fi 等网络的部署, 智能终端的普及使各类无线宽带网络应用出现爆发式增长。2 400 Hz 频段属全球公开通用无线频段, 频段范围内及边缘存在多种制式无线射频标准, 其中包括宏蜂窝移动网络(如 TD-LTE)、短距离无线通信网络(如 Wi-Fi IEEE 802.11b/g/n、ZigBee IEEE 802.15.4)、私有网络(如 wireless

USB、bluetooth IEEE 802.15.1)等。

以商用 Wi-Fi 网络为例, 2 400 Hz 是终端普及度最高的使用频段, 如蓝牙、ZigBee、无绳电话等, 集中了绝大部分的用户, 83.5 MHz 的理论带宽内就存在 13 个相互叠加信道, 使用扩频序列码的直接序列扩频方式, 会导致信道干扰大, 且持续时间长, 而 CSMA 机制, 进一步加剧了碰撞退避几率, 使吞吐量严重下降, 降低了接入速度和传输速率, 用户体验恶化。

收稿日期: 2014-10-10; 修回日期: 2015-03-17

论文引用格式: 邓博存, 沈建军, 许向东. 基于电磁有限导体面镜像的抗干扰天线技术研究. 电信科学, 2015018

Deng B C, Shen J J, Xu X D. Research on the anti interference antenna technology of the limited electromagnetic conductor surface. Telecommunications Science, 2015018



以上描述的问题都属于电磁干扰问题,随着网络规模加大和用户数的增加,电磁干扰问题更加严重,且不可避免。因为其本质是由信道共享引起的信道竞争,STA 通过 CSMA/CA 机制检测信道信号强度、信号质量或 NAV,在信道空闲时才发送数据;结果每个 AP 的通信概率基本相当,约等于单 AP 占用信道时的  $1/N$  ( $N$  等于共享信道的 AP 数),因此,信道竞争是引起每 AP 吞吐量下降的主要原因。在多 AP、STA 共享信道情况下,空中信道的信号碰撞进一步加剧,导致底噪抬升,信号质量恶化,从而引起信号被破坏,即解调失败,通过回退机制重新竞争,结果空口数据总的平均传输时延增加,最终导致每个 AP 的吞吐量下降。

## 2 常规优化手段

受制于标准协议和设备能力,在有限的频谱资源、有限的空间维度等条件下,一般采用以下 3 种传统优化手段:

- 避免使用交叠工作频谱的频谱规划优化;
- 增大相邻天线距离的空间射频分布优化;
- 收缩覆盖范围的功率优化等传统技术。

但随着市场竞争的加剧、网络业务的高负荷运行、高密度的用户量,传统的抗干扰技术效果均不理想。

## 3 研究思路

鉴于传统优化技术的适用性与效果等现状,需要重新探索一种适用于当今高速发展的移动互联网时代需要的新型抗干扰技术,在抗干扰性能、运行可靠性、生产成本 3 个方面取得好的平衡点。

基于以上出发点,研究 2 400 Hz 频段物理层特性,根据干扰的成因,利用超宽带微波通信原理,设计天线信号辐射空间分布特性,使用新型介质对辐射贴片进行合理布局(如图 1 所示)后,能产生良好的频段回波损耗特性。

经过对新型介质天线的辐射贴片合理布局,在 2 400 Hz 频段产生了良好的电磁抗干扰性能,其主要表现为以下 3 个方面:

- 减少工作频段碰撞报文与重传报文的比例;
- 缩短用户接入时延;
- 提高报文传送速率。

## 4 技术原理

应用新型的导电介质,可以在有限电磁导体面实现镜像特性(如图 2 所示),利用镜像源等效边界的影响,能消除边界效应,使原本非均匀的有限区域变为无限大的均匀自由空间。

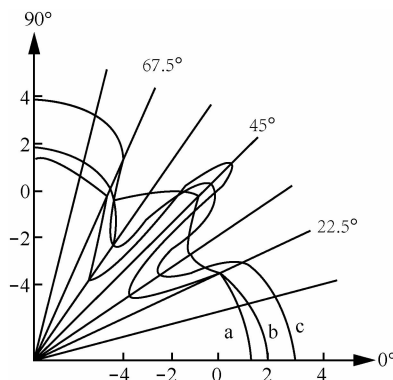


图 2 电磁导体面镜像特性示意

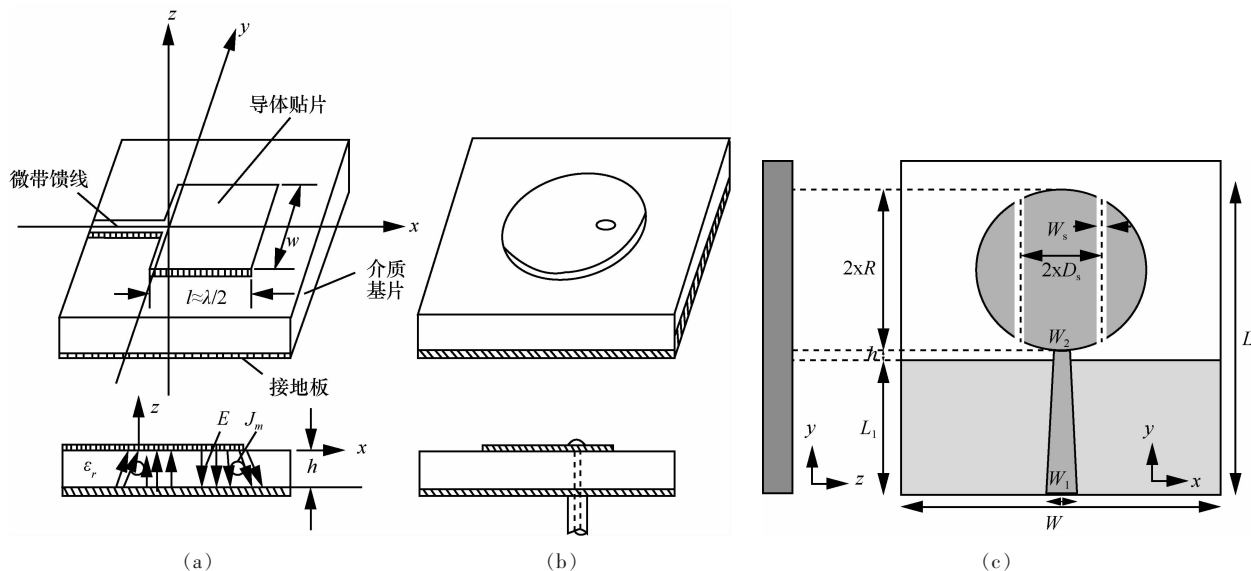


图 1 新型介质贴片布局示意

理想导体平板上方空间的任何电荷配置,在电气上都等于原来的点和它的镜像配置在取走导电平板后二者的组合。利用有限电磁导体面镜像原理,能很好地解决电磁空间分布的问题,在目标覆盖区域内,进行阵因子的叠加(如图 3 所示),则可以实现辐射信号的无损覆盖。

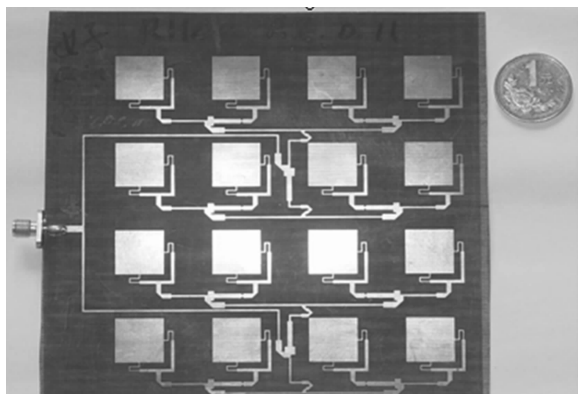


图 3 应用阵因子叠加的贴片介质

为提高抗干扰天线的适用性,要求天线具有重量轻、剖面薄、平面结构且易与载体共形的特性,因此,使用微带非平衡缝隙天线是最佳选择,其辐射效果如图 4 所示。

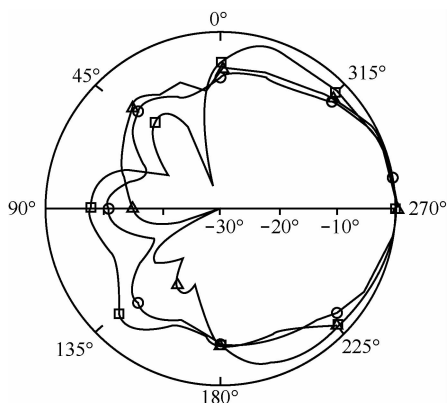


图 4 微带非平衡缝隙天线辐射效果示意

在天线制作上,建议运用光刻腐蚀原理(如图 5 所示),不但能提高制作精度,而且能大幅降低生产成本。

## 5 技术对比

传统天线的辐射振子为圆锥型的单极子单元,而抗干扰天线辐射振子则采用平面结构的非平衡缝隙辐射单元,抗干扰天线更有利于电磁信号的空间辐射方向,如图 6 所示。

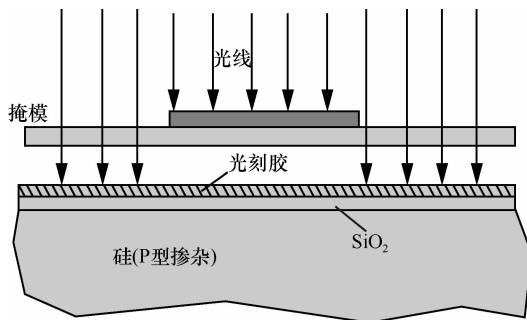
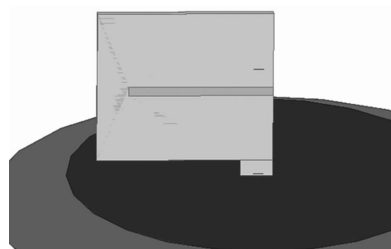
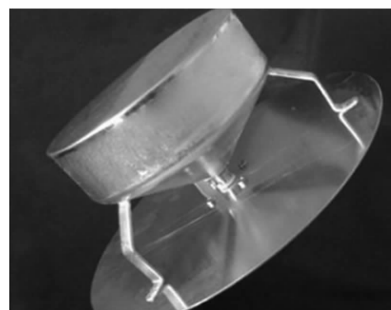


图 5 光刻腐蚀原理



(a) 抗干扰天线



(b) 传统天线

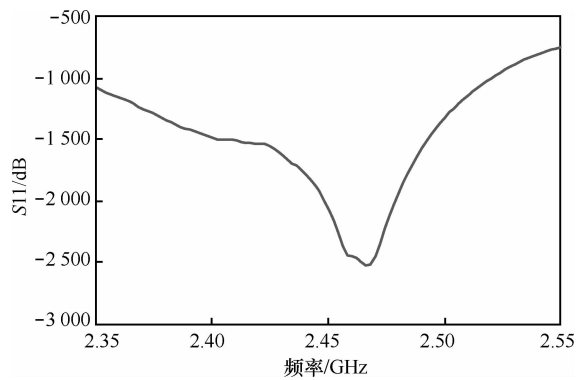
图 6 辐射振子对比

在工作频率方面,传统天线工作在 0.8~2.5 GHz,而抗干扰天线的工作频率为可以控制在 2.4~2.5 GHz,能量更加集中,更有利于有效信号的覆盖效果,下面通过 S11 回波损耗示意图进行对比,如图 7 所示。

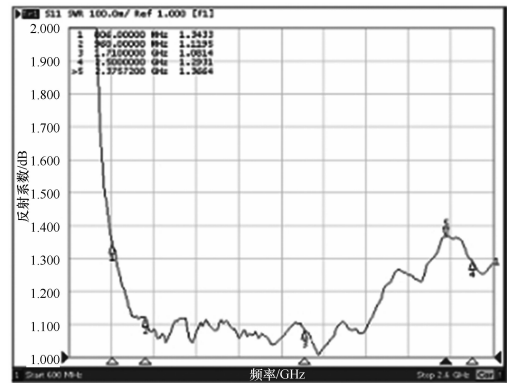
在辐射方向上,抗干扰天线具有良好的信号指向性,同时不会以牺牲覆盖为代价,通过合理的贴片布局,使空间利用率大幅提高,在保证良好的覆盖效果的同时,起到有效的抗干扰性能。辐射方向性能对比如图 8 所示。

## 6 应用效果

某高校教学楼区域,两家运营商部署同信道 Wi-Fi 网络,导致接入网络困难、上网速率慢。通过部署抗干扰天线,上网体验得到较好的改善,现场环境及平面如图 9 所示。

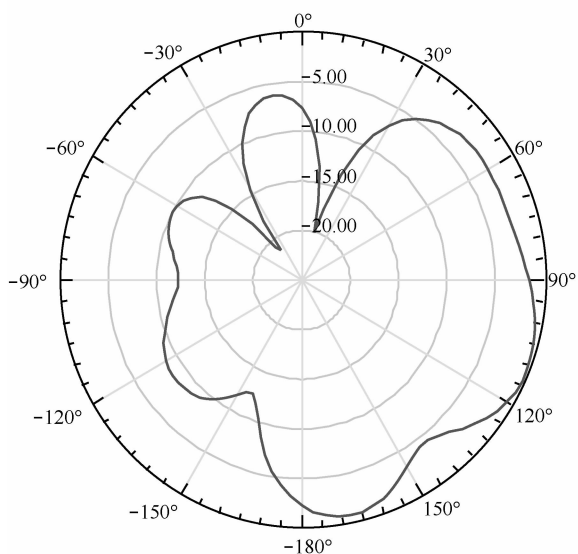


(a) 抗干扰天线

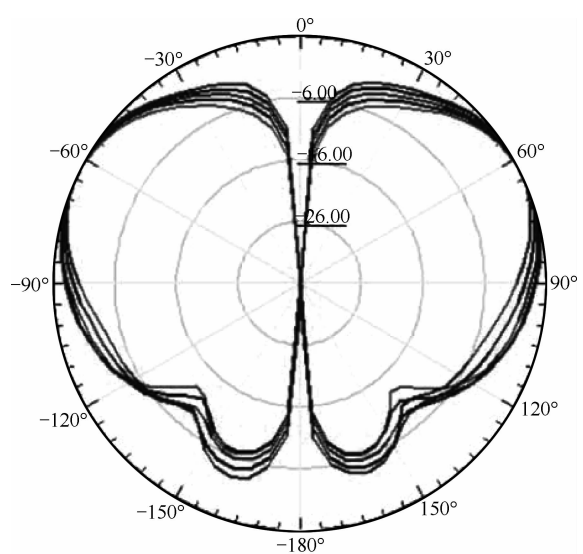


(b) 传统天线

图7 S11回波损耗对比



(a) 抗干扰天线



(a) 传统天线

图8 辐射方向对比

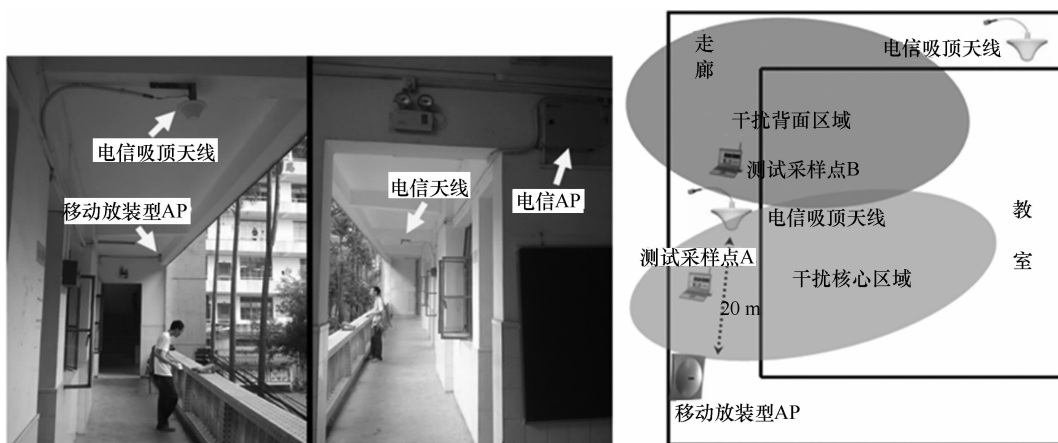


图9 某高校教学楼干扰现场示意

确定干扰源并部署抗干扰天线后，分别从网络接入时延、上网速率、信道报文传送质量 3 个方面检验抗干扰效果。通过测量，核心区与背面区网络接入时延分别改善 43.19% 和 33.10%；上网速率提高 190.02%；核心区与背面区信道报文传送质量分别改善 42.45% 和 14.50% (如图 10 所示)。

在干扰核心区域，平均下载速率由原来的 78.12 kbit/s 提高到 200 kbit/s 以上；在干扰背面区域，平均下载速率由原来 125 kbit/s 提高到 179.69 kbit/s (如图 11 所示)。

在干扰核心区域，DHCP 获取时延由原来的 5 464 ms 缩短到 3 104 ms；在干扰背面区域，平均 DHCP 获取时延由原来的 5 121 ms 缩短到 3 426 ms (如图 12 所示)。

在干扰核心区域，信道报文重传率由原来的 12.18% 减少到 7.01%；在干扰背面区域，信道报文重传率由原来 11.59% 减少到 9.91%，如图 13 所示。

信道传输速率获得整体提高，高速率报文整体占比提高，且速率稳定度更优。信道传输速率集分布对比如图 14 所示。干扰区域信道传输实时速率对比如图 15 所示。

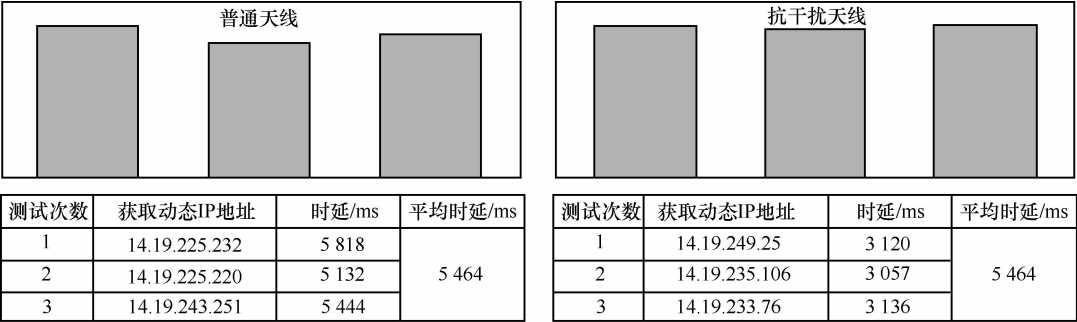
信道传输速率表示信道上所有数据的传输速度，包括同一时间段内有效数据及干扰源无效数据，两者差值表示在同一时间内无效数据传输的数量，而上网速率则代表信道上有效数据传输速度。由于普通天线核心区接收大量干扰源无效数据，抬高信道传输速率，而普通天线背面区离干

| 主要性能提升方面             |       | 普通天线         | 抗干扰天线         | 改善幅度    |
|----------------------|-------|--------------|---------------|---------|
| 网络接入时延<br>(成功获取IP地址) | 干扰核心区 | 5 464 ms     | 3 104 ms      | 43.19%  |
|                      | 干扰背面区 | 5 121 ms     | 3 426 ms      | 33.10%  |
| 上网速率<br>(FTP下载速率)    |       | 78.12 kbit/s | 226.56 kbit/s | 190.02% |
| 信道报文传送质量<br>(报文重传比例) | 干扰核心区 | 12.18%       | 7.01%         | 12.45%  |
|                      | 干扰背面区 | 11.59%       | 9.91%         | 14.50%  |

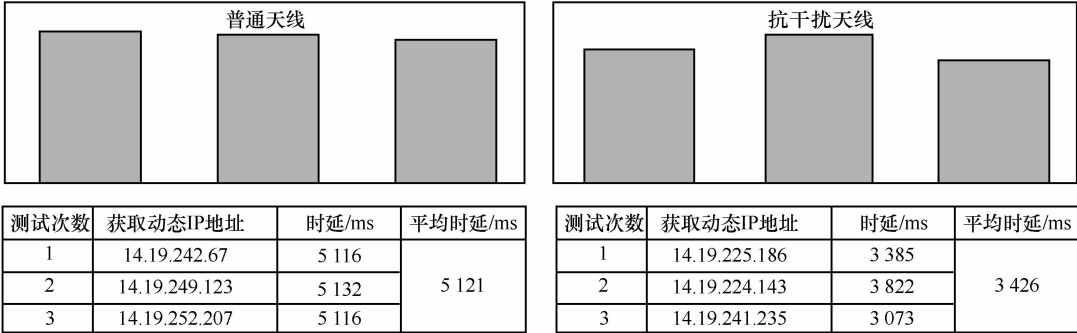
图 10 传统天线与抗干扰天线整体效果对比



图 11 平均下载速率对比



(a) 干扰核心区域



(b) 干扰背面区域

图 12 DHCP 时延对比



图 13 信道质量对比数据

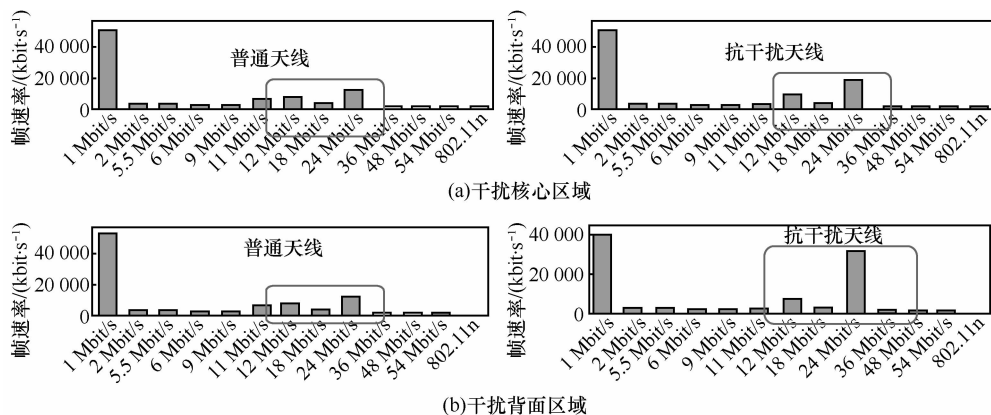


图 14 信道传输速率集分布对比

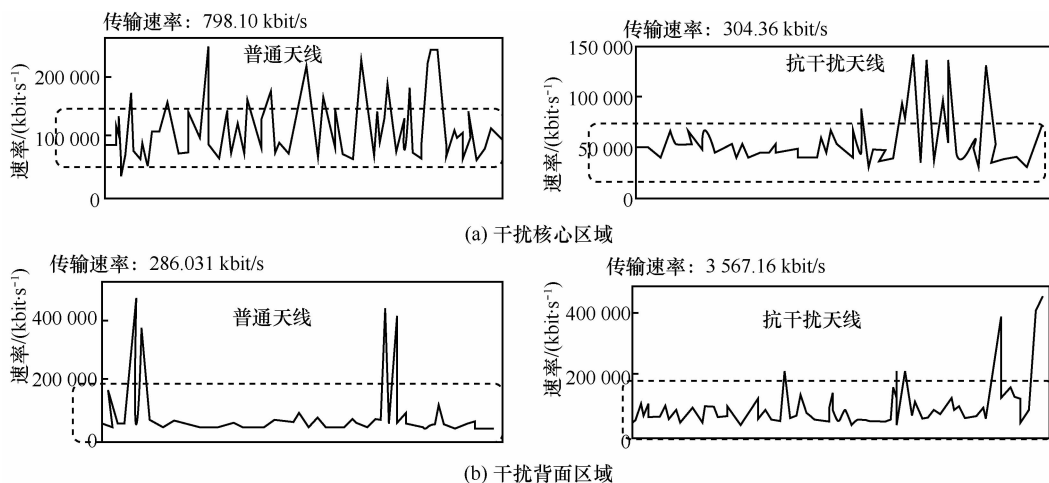


图 15 干扰区域信道传输实时速率对比

扰源较远,受干扰较小,接收的干扰源无效数据较少,因此信道传输速率较低。数据显示,普通天线上网速率均较差,信道中无效数据较多,有效数据较少,是造成信道传输速率差值大的主要原因。

由图 16 数据可见,抗干扰天线由于抑制了干扰源信号,无效数据明显减少,核心区信道传输数据量大幅减少,信道传输速率随之下降,但上网速率得到明显提升,背面区由于受干扰源影响较少,且抗干扰天线未对该方向作处理,

因此接收干扰信号与普通天线类似。消除干扰源影响后,核心区和背面区信道传送速率相似,且由于抗干扰天线抑制了干扰源的影响,其所接收的有效信号增多,所以核心区和背面区的上网速率大幅提高。

由于抗干扰天线是基于物理层技术,通过微波暗室对 MAC 底层速率进行对比(如图 17 所示,结果示意见表 1)。

## 7 结束语

本文提出的新型抗电磁干扰天线是针对 2 400 Hz 频段,因为 2 400 Hz 频段范围及边缘是目前无线制式最多的公共频段,集中了 Wi-Fi、蓝牙、3G、4G 等民用无线电通信系统,电磁干扰现象最多最突出。新型抗干扰天线基于非平衡缝隙微带天线,综合利用了有限导体面镜像、阵因子叠加、光刻腐蚀等物理层技术,在电磁抗干扰性能、运行可靠性、生产成本取得了较好的平衡点。为民用无线电领域电磁抗干扰开辟了一条新的解决思路,启发人们应对未来更复杂多变的移动互联网无线环境。

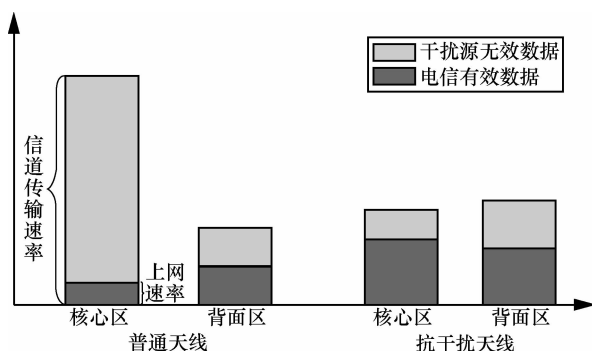


图 16 信道传输质量效果对比示意

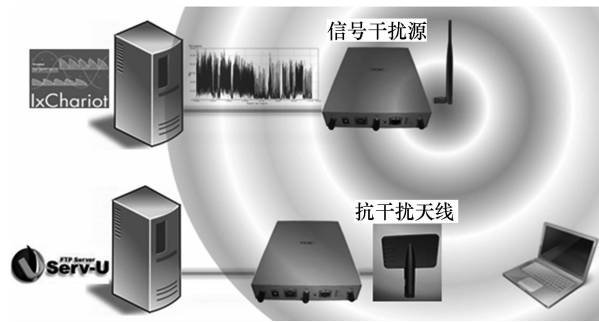


图 17 微波暗室实验

表 1 微波暗室实验及结果示意

| 对比项目      | 普通天线          | 抗干扰天线          | 改善幅度         |
|-----------|---------------|----------------|--------------|
| MAC 层下行速率 | 37.43 Mbit/s  | 44.84 Mbit/s   | 提升 19.80%    |
| MAC 层上行速率 | 4.33 Mbit/s   | 6.22 Mbit/s    | 提升 43.65%    |
| 应用层下行速率   | 26.95 Mbit/s  | 34.83 Mbit/s   | 提升 29.00%    |
| 物理层报文重传比例 | 20.00%        | 13.70%         | 减少 6.30%     |
| 终端分组丢失比例  | 14.80%        | 9.30%          | 减少 5.00%     |
| 终端接入协商速率  | 54 Mbit/s/11G | 130 Mbit/s/11N | MCS Index 15 |

## 参考文献

- 1 Wang H, Wu X, Huang Z, *et al.* Design of a new type of broadband antenna with indoor distribution. Proceedings of ICMMT 2012, Chengdu, China, 2012
- 2 孙全辉, 程强, 催铁军. 多频段吸顶天线设计. 2009 年全国天线年会, 成都, 中国, 2009  
Sun Q H, Cheng Q, Cui T J. Design of a Multi-band ceiling antenna. Proceedings of 2009 National Conference on Antenna, Chengdu, China, 2009
- 3 黄聪, 薛锋章. 一种小型化隔离 MIMO 吸顶天线. 电讯技术, 2011(11)  
Huang C, Xue F Z. Design of a miniaturized ceiling mounted MIMO antenna with high isolation. Telecommunication Engineering, 2011(11)
- 4 田元兵, 张峰, 李广彬. 室分新型全向吸顶天线应用分析. 邮电设计技术, 2011(8)  
Tian Y B, Zhang F, Li G B. Analysis of the application of a new omni-directional in-building antenna. Designing Technique of Posts and Telecommunication, 2011(8)
- 5 Chen J Y, Chen X M, Zhang C B, *et al.* A broadband dual-polarization ceiling-mounted antenna with a nesting structure. Proceedings of ISSSE, Nanjing, China, 2010
- 6 Lee Y, Ha J, Choi J. Design of a wideband indoor repeater antenna with high isolation for 3G systems. IEEE antennas and wireless propagation letters, 2010(9)
- 7 Lee Y, Lee K, Sun T, *et al.* A broad open slot antenna with uni-directional radiation patterns. Proceedings of IEEE APSURSI, 2011(7)

- 8 Ijiguchi S, Kanaya H, Kanemoto D, *et al.* Development of one-sided directional printed slot antenna for high-band UWB systems. Proceedings of IEEE APSURSI, Washington, USA, 2011

## [作者简介]



邓博存,男,现就职于中国电信股份有限公司广州研究院,工业和信息化部宽带无线 IP 标准工作组成员, WAPI 产业联盟成员,主要从事无线网络的科研、工程、培训等工作。



许向东,男,现就职于中国电信股份有限公司广州研究院,主要从事移动网络研究、网络运营技术研究工作。



沈建军,男,中国电信股份有限公司广州研究院网运支撑部无线室主任,主要从事移动网络研究、网络运营技术研究工作。