LTE手机应用的紧凑型天线

Compact Antenna for MIMO LTE Mobile Phone Applications

作者：Gopinath Gampala 和 C. J. Reddy, EM Software & system（USA）公司；
Oliver Stäbler 和 Thomas Hager, AWE Communications GmbH 公司

简介

长期演进（LTE）是第四代（4G）移动通信技术在带宽高达 20 MHz，从 400 MHz~4 GHz 的不同频率范围的发展[1]。LTE 技术有助于多个天线的发送和接收操作（即多输入多输出（MIMO）），以支持高数据速率应用。然而，随着每个新一代手机体验的小型化（如薄、超薄形状），几个天线集成到一块印刷电路板（PCB）逐渐变得更加困难。紧密排列的天线可产生很高相互耦合，由于需要有效的 MIMO 性能，影响了接收信号之间的相对较低的相关性。高端口到端口隔离是必需的，为的是实现紧密排列的天线之间的低相关性。

改善隔离的各种技术包括：在驱动单元之间放置寄生单元[2]；在适当位置使用连接阵列单元（array element）的暂停感应线[3]，并结合使用一定长度的传输线分流被动单元（reactive element）[4]。上述方法没有什么吸引力，因为寄生单元、感应线和传输线都有空间要求。正交偏振单元可以提供很好的端口隔离，但大小有限的接地平面可产生高交叉极化分量破坏极化纯度。其他实现端口至端口隔离的技术包括使用解耦分支混合（decoupling branch line hybrid）[5]。还进行了合并独立天线成一个天线的研究，从而降低了空间要求，实现了极化以及格局的多样性。

牢记现今小型化的概念，本文提出了一种紧凑的天线设计，可最大限度地减少空间需求，而且还能达到低相关性。根据 Rao 和 Wang 介绍，天线设计来自于正交定向天线，它可以单独激发和一起激发[6]。一个采用新颖馈入结构的更紧凑设计适合现代小型化手持设备。由于天线正交定向，可以实现合适的极化和格局多样性。

天线的设计和优化

手机和手持设备是新媒体中心，有访问音乐、照片、游戏、视频和主机连接等选项。高速分组接入（HSPA）等蜂窝标准已经实现了手机上的多方通话功能，而且移动宽带服务的需求也在持续上升。因此，我们需要一种将适应有不同带宽分配的不同网络运营商需要的技术，而且还要允许运营商基于频谱提供不同的服务。具有快速、移动、多媒体数据服务的 LTE 技术的出现在最佳时间，并以成本效益的方式解决了关键问题。LTE 的目标是提高无线数据网络的容量和速度，同时充分发挥 MIMO 的概念，实现雄心勃勃的需求。MIMO 采用发射器和接收器上的多个天线，利用持久的多路径效应传输更多的数据，而不会造成干扰。但是，我们在 MIMO 系统中所面临的挑战是在一个有限空间的平台上放置相关性较低（高隔离）的多个天线。此外，现代电信正迈向更小、更快和更轻便的手持设备，这种趋势使得工程师的任务更有挑战性。由于微小的尺寸，在手持设备上集成多个天线很困难，如果天线隔离较差，就会引起高相关性。因此，可能需要电小天

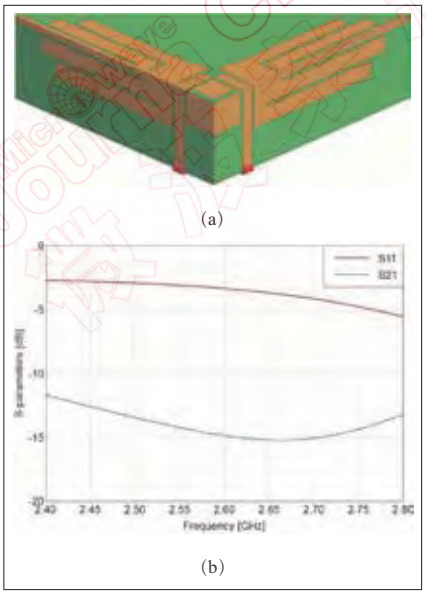

图 1. 电小双端口天线：(a) 天线设计；(b) S 参数。

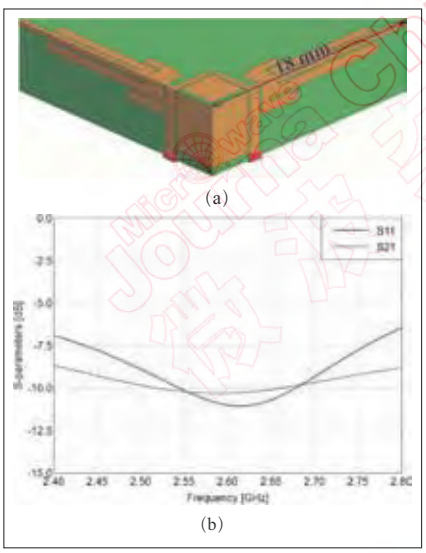

图 2. 自谐振双端口 ESA：(a) 优化的 ESA，(b) 优化设计的 S- 参数。

线（ESA）来提供低相关性。ESA 是一个满足以下条件的天线[7]。$ka < 0.5$，其中 k 是波数 $2\pi/\lambda$，a 是所包围天线的最小尺寸球体半径。牢记现今手持设备的小型化，双端口 ESA 已经设计出来，如图 1 所示。不像印制的倒 F 型天线（PIFA），小型化是通过在双端口 ESA 的辐射单元引入插槽实现的。

ESA 输入阻抗的特点是低电阻和高电抗。辐射电阻随导致天线抗占主导地位的尺寸而减小。虽然提供了改善 ESA 效率的能力，但匹配电路不是一种选择，原因有两个。首先，设计匹配电路的挑战也是电小。第二，限制手持设备的尺寸额外电路提供了很小的余地。因此，自谐振 ESA 设计应符合标准传输线路，同时还得提供良好的端口至端口隔离。图 2 显示了一个自谐振 ESA，这是一个有更好匹配和隔离的图 1 的优化版本。优化天线的 ESA 条件是 ka = 0.49 (< 0.5)。

商业软件 FEKO[8] 已普遍用于 ESA 的分析和设计阶段。Simplex（内尔德米德）和 PSO（粒子群优化）算法已用于优化[9]。与 PSO 全局优化器相比，Simplex 算法是一个局部优化器，融合得更快。然而，Simplex 的成功取决于在局部最小条件下运载融合缺点的起点。通过杂交 PSO 和 Simplex，可以在不牺牲速度的情况下实现全局极小的机会的改善。全局优化器将被用来寻找局部优化器的起点。

即使双端口天线的辐射单元是物理连接，新型馈入也可提供所需的隔离。可以观察到 ESA 表面一个干净的电流分布，如图 3 所示。

类似于 Rao 和 Wang[6] 设计的分集天线，双端口 ESA 可以使用三种不同配置：

Ⅰ. 两个端口作为两个独立的发射器（或）接收器（或）一个端口接收，另一个传输。

Ⅱ. 一个端口被激发，而另一个短路或与加载了阻抗匹配。

Ⅲ. 一个被激发，而另一个保持开路状态，以开关多样性应用。如果信号电平低于此配置的阈值时，接收器切换到另一个分支寻找更好的信号。

图 4 显示了上述所有三种配置的

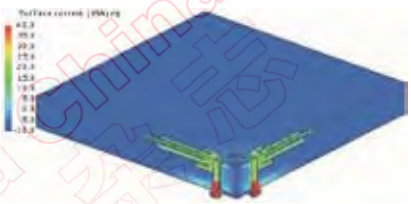

图 3. 双端口 ESA 的表面电流分布。

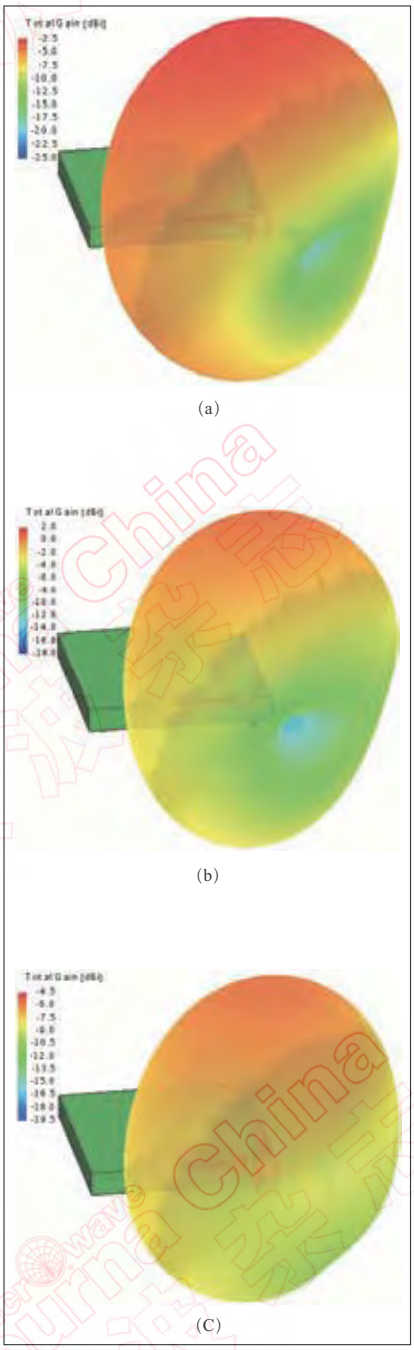

图 4：双端口 ESA 的辐射模式：(a) 两个端口被激发，(b) 一个被激发，另一个短路，(c) 一个被激发，而另一个保持开路状态。

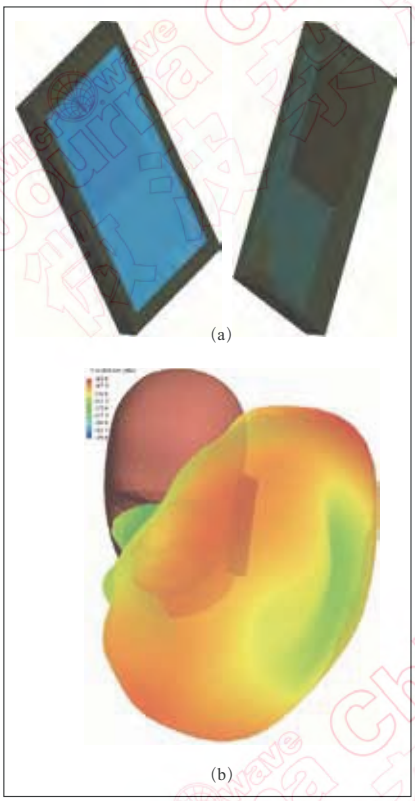

图 5. 手机的 ESA：(a) 手机的正面和背面，(b) 手机靠近头部的辐射模式。

双端口 ESA 的辐射模式。

移动手机

双端口ESA可以用于MIMO应用，具体而言是手机（其尺寸）实施 LTE，以达到 4G 标准。图 5 显示了手机中的天线和手机靠近头部的辐射模式。来自手机的辐射模式是近球形，当靠近头部时，这是手机应用的理想模式。

在移动通信中，MIMO 系统的信道容量（比特率性能）是 LTE 技术的驱动力，像手机的阻抗和辐射特性一样重要。

信道容量

无线通信系统的性能从根本上取决于移动无线电信道。因此，预测的传播特性，以及进一步的性能指标，如无线系统的发射和接收天线之间的信道容量，是 LTE 网络的无线网络规划的最重要任务之一。

城市和室内区域的移动广播信道的特点是多路径传播。这些方案中的主导传播现象障碍背后的阴影、建筑物的墙壁反射、街道或走廊的波引导效应（由于多次反射），以及纵向和横向的楔型衍射。由于确定性射线跟踪模型可以有效应付这种传播效应，信道容量的预测是基于射线跟踪波传播模拟的。传播模型完全是三维的，计算了具有三个相互作用的（包括双衍射和反射与衍射的组合）所有射线。沿射线的路径损耗的预测是用均匀衍射理论（UTD）和菲涅尔反射系数计算的。为了加快耗时的路径确定，可以利用智能射线跟踪（IRT）模型 [10]、[12]。

然而，确定波传播模式的主要缺点是其过多的计算时间。最耗时的部分是确定发射器和接收器之间的所有相关路径。为了避免大量的计算时间，IRT 模型被用来预测发射和接收天线阵列中心之间的 SISO 信道脉冲响应。由于天线阵列单元之间的间距比较小，相同传播路径假定存在所有天线阵列单元，只有信号相位从一个元到另一个单元改变（假设波是平面入射）[11]。考虑这样一个模块化的方法，可以在 MIMO 信道矩阵生成期间，避免重新计算发射和接收站之间的所有天线单元的射线跟踪，这需要根据著名的香农公式计算信道容量 [11]。

在以下部分，使用不同 MIMO 配置的 2.6 GHz 频段的城市和室内环境的 LTE 系统信道容量进行了评估。第一个配置考虑了基站的两个天线单元和手机双端口 ESA。第二个系统使用相同的基站设备，但在手机的下角有两个双端口 ESA，如图 6 所示。

在这两个例子中，双端口 ESA

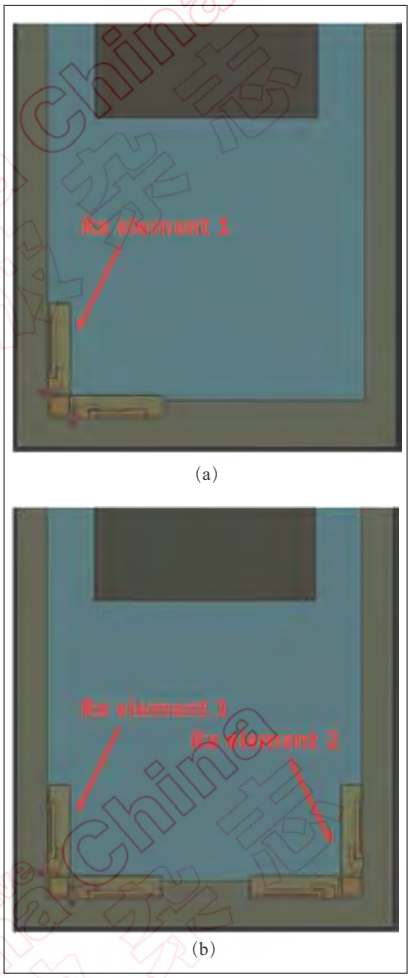

图 6. 手机接收天线单元的位置：(a) 1x2 LTE 系统有一个接收单元，(B) 2x2 LTE 系统有两个接收单元。

以配置 II 工作，其中一个端口激发，而另一个短路或加载了阻抗匹配。

在城市环境中，手机沿 2.2 公里长度的轨迹移动，如图 7 所示。基站天线阵列位于建筑物顶部街道水平 15 米以上，信号辐射来自一个统一的线性阵列，它由 10 个波长的间距的两个天线单元组成。

1x2 和 2x2 系统沿线的平均信道

表 1. 在室内环境中对 1x2 LTE 系统和 2x2 LTE 系统统计的预测信道容量。

信道容量	1x2系统	2x2系统
最低值	4.0比特/秒/Hz	5.1比特/秒/Hz
最高值	5.0比特/秒/Hz	8.7比特/秒/Hz
平均值	4.6比特/秒/Hz	5.9比特/秒/Hz
平均值	0.2比特/秒/Hz	0.5比特/秒/Hz

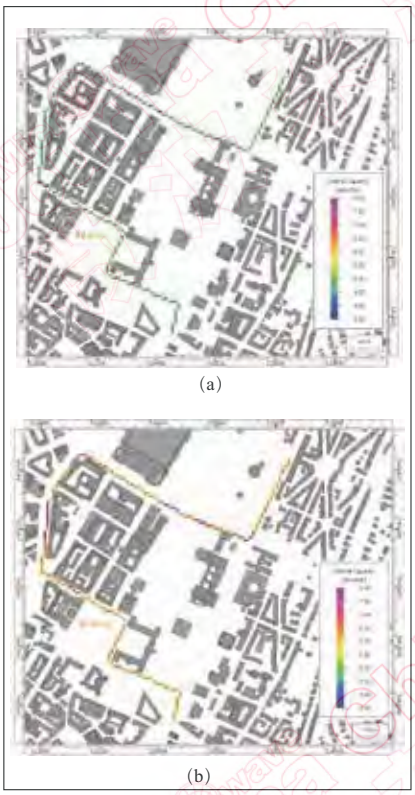

图 7. 城市环境中沿接收器轨迹的信道容量：(a) 1x2 LTE 系统，(B) 2x2 LTE 系统。

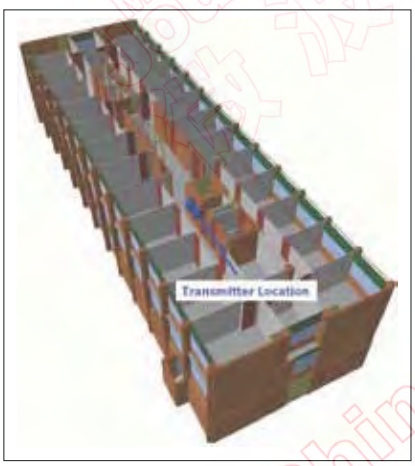

图 8. 多层办公楼的发射机位置。

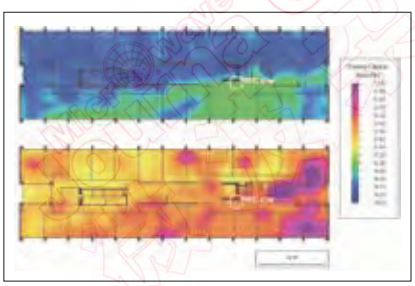

图 9. 1x2 LTE 系统（上）和 2x2 LTE 系统（下）在室内环境中的信道容量。

容量分别为 4.8 比特 / 秒 /Hz 和 6.4 比特 / 秒 /Hz，这清楚地表明了在手机内利用 MIMO 技术的好处。

除了城市环境，现代化的多层办公楼也被选择做信道容量的评估。图 8 显示了考虑室内环境的三维视图，详细描述了基站天线阵列（蓝色球）的位置和定向。

图 9 描述了使用相同设备预测的信道容量，针对的是基站以及为以上城市环境推出的手机。在建筑物的上层，1x2 和 2x2 系统分别实现了 4.6 比特 / 秒 /Hz 和 5.9 比特 / 秒 /Hz 的平均信道容量。下表中列出了一些进一步的统计数据。

与 1x2 LTE 系统相比，2x2 LTE 系统平均容量增加了 13 比特 / 秒 /Hz，在数据吞吐量方面具有明显的优势。

结论

本文给出了 LTE 手机应用的天线设计一个完整的工作流程，从天线设计开始到比特率信道容量计算。该天线是一种采用新型馈入结构的双端口 ESA，可以在三种不同配置的 LTE 手机应用中使用。当嵌入到手机，以及手机放置在靠近人体头部时，双端口 ESA 显示了良好的辐射特性。MIMO 分析是使用智能射线跟踪模型计算手机在市区和室内环境的信道容量来实现的。■

参考资料

1. S. Sesia，I. Toufik 和 M. Baker，LTE——UMTS 的长期演进：从理论到实践，Chichester，U.K.：Wiley，2009
2. K. G. Y. Ding，Z. Du 和 Z. Feng，“一种新型双频印刷移动终端分集天线”，IEEE Trans. Antennas Propag.，vol. 55，no. 7，pp. 2088–2096，July 2007
3. G. Park et al.，“LTE 700 MIMO 应用的紧凑型四频手机天线”，Proc. IEEE Int. Symp. Antennas Propag.，Charleston，SC，2009，pp. 1–4
4. S. Chang，Y.-S. Wang 和 S.-J. Chung，“一种增加强耦合天线之间端口隔离的解耦技术”，IEEE Trans. Antennas Propag.，vol. 56，no. 12，pp. 3650–3658，Dec. 2008
5. Rashid Ahmad Bhatti，Soongyu Yi 和 Seong-Ook Park，“LTE 标准化手机的端口解耦紧凑型天线阵列”，IEEE Antennas & Wireless Propag. Letters，vol. 8，2009
6. Qinjiang Rao 和 Dong Wang，“长期演进的手持设备的紧凑型双端口分集天线”，IEEE Transactions on Vehicular Technology，Vol. 59，no. 3，March 2010
7. John Leonidas Volakis，Chi-Chih Chen 和 Kyō hei Fujimoto，小天线：小型化技术及应用。The McGraw-Hill Companies，New York，NY，2010
8. FEKO Suite 6.1，EM 软件和系统（www.feko.info），2011
9. M. Schoeman，U. Jakobus 和 B. Woods，“FEKO 优化功能：Simplex、粒子群算法、遗传算法”，2008 ACES Intl. Conference，pp. 281-286，Apr. 2008
10. R. Hoppe，G. Wölfle，P. Wertz，F. M. Landstorfer，"城市和室内环境的先进射线光波传播建模，包括宽带属性"，European Transactions on Telecommunications（ETT），January/February 2003（Number 01/2003），January 2003
11. O. Staebler，R. Hoppe，“MIMO 信道容量计算与三维射线跟踪模型”，3rd European Conference on Antennas 和 Propagation（EuCAP）2009，Berlin，Germany，March 2009
12. AWE Communications：WinProp 软件套件。城市和室内环境三维射线跟踪工具（www.awe com.com）免费评估版本（www.awe-com.com），2012