

# 一种接地板开槽的耦合馈电紧凑型天线阵列

王松, 袁涛, 廖桂生

(西安电子科技大学雷达信号处理国家重点实验室 西安 710071)

**【摘要】**提出了一种接地板上开槽的耦合馈电紧凑型微带天线阵。通过采用耦合馈电技术,其工作宽频带和增益等特性优于传统的微带天线;在接地板开槽使得天线尺寸缩小,结构十分紧凑。给出了2.4 GHz频段天线阵列的实例,仿真和实验结果表明,可实现10%的相对带宽,并具有良好的辐射特性。

**关键词** 天线阵; 开槽; 紧凑; 耦合馈电

**中图分类号** TP312

**文献标志码** A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2015.04.005

## Compact Proximity-Coupled Antenna Array with Apertures in the Ground

WANG Song, YUAN Tao, and LIAO Gui-sheng

(National Laboratory of Radar Signal Processing, Xidian University Xi'an 710071)

**Abstract** A compact proximity-coupled antenna array with apertures in the ground is presented. By using proximity-coupled technique, the antenna's bandwidth and gain are much better than the conventional microstrip antenna. The compact structure is realized by adding aperture in the ground plane. An antenna array operate at 2.4 GHz is fabricated. The simulation and experiment results show that 10% bandwidth and some good radiation pattern are achieved.

**Key words** antenna array; aperture; compact; proximity-coupled

微带天线阵已经广泛应用于飞机、航天飞行器、人造卫星、导弹、雷达以及无线通信系统中<sup>[1-4]</sup>。作为阵列单元的微带天线具有诸如重量轻、成本低、加工容易、易于批量生产、便于与平面或曲面的载体共形<sup>[5-6]</sup>等特点,这些特性提供了更多的设计 and 应用自由度。但是传统微带天线的推广应用受到其固有缺点——工作频带窄的制约,其相对带宽的典型值只有1%~2%<sup>[7]</sup>。研究人员已经开发了许多增大频带宽度的技术,其中耦合馈电技术可以有效地扩展微带天线的工作频带<sup>[8-9]</sup>。该技术采用两块介质基片,在辐射贴片和接地板之间布置馈电网络。通过重叠两块介质基片增大了介质层的厚度,从而增大了天线的工作带宽。同时这种结构还提供了可以选择不同介电常数的两块介质基片组成天线的机会,一块基片印刷上辐射贴片,另一块印刷上馈电网络,辐射贴片和馈电网络共用一个接地板。辐射贴片和馈电网络可以分别进行优化设计以满足天线的指标要求。

本文提出了一种耦合馈电微带天线阵,辐射单

元下方的接地板上开有一个槽,这是本文的设计与其他耦合馈电微带天线阵的区别所在。天线阵列工作在中心频率为2.4 GHz的ISM频段,单个单元的测量带宽约为4.6%,增益为4.0 dBi,比传统微带天线单元具有更大的带宽、更高的增益和更小的体积。另外,由于馈电网络与辐射贴片在不同的层面上,因此阵列结构得到压缩。接地板上的槽口尺寸、位置,馈电网络中馈电贴片的尺寸以及辐射贴片相对于两条轴线的位置都可以进行调整,以达到最佳的阻抗匹配。

### 1 天线单元设计

本文提出的辐射单元的结构如图1所示。

设计过程中上下两层采用的材料均是相对介电常数为4.4、厚度为1.6 mm的FR4材料,调整各位置尺寸:辐射贴片的尺寸为25.7 mm×40 mm;馈电贴片的尺寸为7 mm×16 mm,其位置与辐射贴片馈电侧边的距离为6 mm;50 Ω馈电微带的宽度为3 mm。接地板上开有一矩形槽口,槽口尺寸为2 mm×14 mm,

其水平位置紧邻馈电贴片，如图2所示。

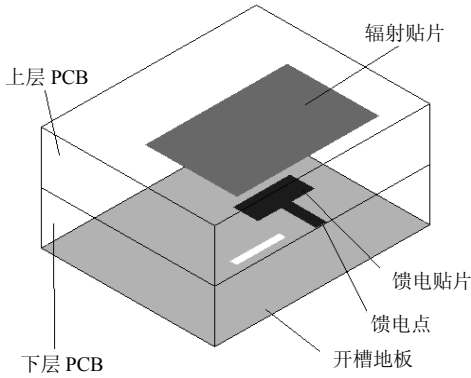


图1 天线结构图

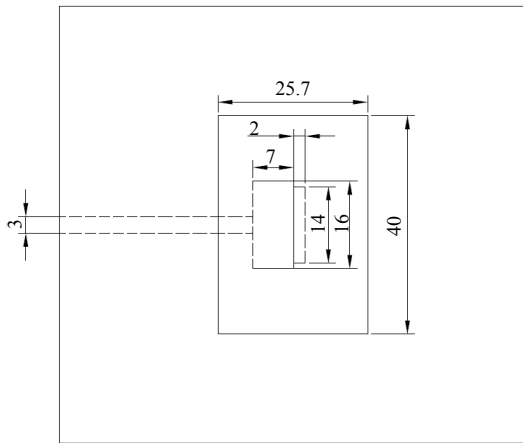


图2 天线单元详细尺寸(单位: mm)

阵元谐振在2.43 GHz, 天线相对带宽(VSWR<2)达到4.6%, 增益为4.7 dBi。

为考察接地面开槽后对天线性能的影响, 在原模型基础上去掉接地板开槽后再次进行仿真, 在其他尺寸不变的条件下天线谐振频率为2.53 GHz, 相对带宽3.5%, 可见采取地平面开槽后天线尺寸有所减小, 天线单元的工作带宽有所提高。具体仿真结果如图3和图4所示。

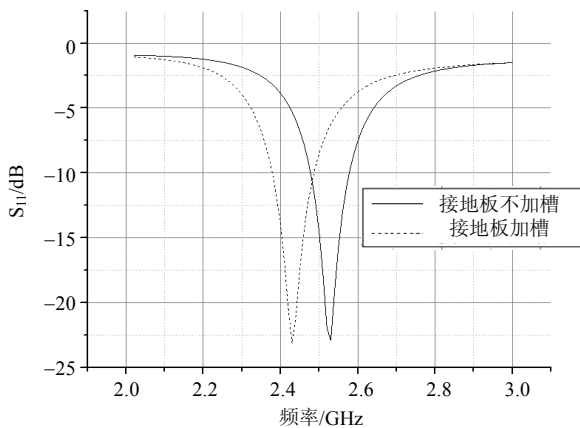


图3 开槽前后天线驻波比的变化

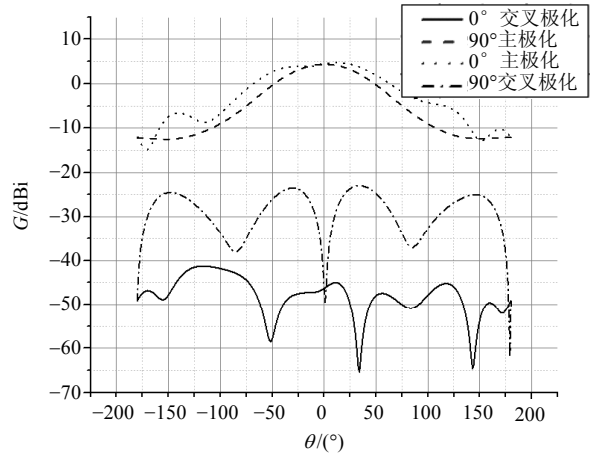


图4 开槽天线单元的辐射特性

为了进一步研究接地板开槽对天线尺寸缩减和阻抗带宽增加的量化效果, 将不开槽的天线调谐到相同频率, 其贴片尺寸增大到47.6 mm×28.3 mm, 相对带宽3.2%; 可见开槽后天线面积缩减了28%, 相对带宽增加21.9%。

## 2 天线阵列设计

阵列采用2×2结构设计, 阵列结构如图5所示, 阵元水平间距为60 mm, 垂直间距为30 mm, 4个阵元之间采用微带线组成的功分网络连接, 馈电网络与天线阵列的电磁仿真模型如图6所示。

为了比对接地板开槽对天线阵列的带宽影响, 对两款阵列天线的带宽分别进行仿真, 结果如图7所示, 开槽阵列的辐射特性仿真结果如图8所示。

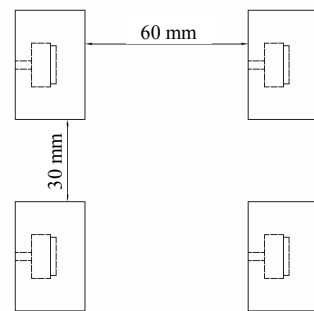


图5 阵列结构

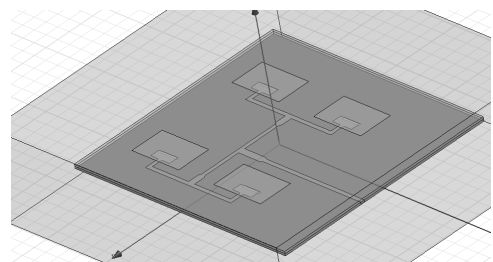


图6 天线阵列仿真模型与馈电网络结构

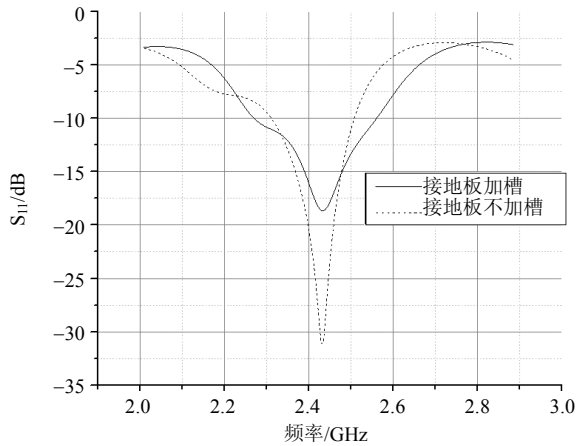


图7 加槽前后天线阵列的驻波比变化

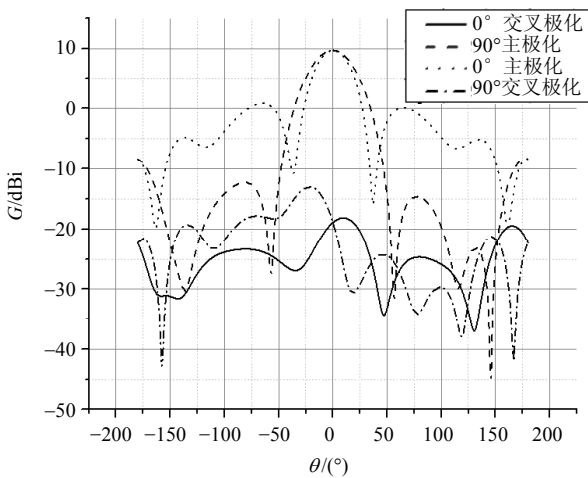


图8 天线阵列的辐射特性

接地板未加槽时其带宽约为190 MHz, 相对带宽7.8%; 采用接地板加槽的天线单元后, 其带宽宽展为290 MHz, 相对带宽11%。组阵后天线增益提高到9.6 dBi, 比理论值略低, 其原因是馈电网络引入了少量的损耗。

### 3 天线实测结果与分析

根据以上仿真结果制作的天线阵列实物如图9所示。

天线阵列的实测结果如图10和图11所示。

实测结果显示增益为9.2 dBi, 低于仿真结果0.4 dBi, 天线相对带宽为10%, 总体来说仿真和实测结果吻合较好。

初步分析接地板开槽后天线尺寸缩减的机理是: 接地板上的槽引起天线贴片上电流路径弯曲, 等效增加了电路路径长度, 从而缩小了天线尺寸。为此对加槽前后天线贴片的电流分布进行了仿真,

结果如图12所示, 可见接地板加槽后天线贴片上的电流确实发生了弯曲, 从而验证了前面的假设; 另外由于电流分布发生变化也导致谐振贴片的品质因数下降, 从而拓展了天线带宽。

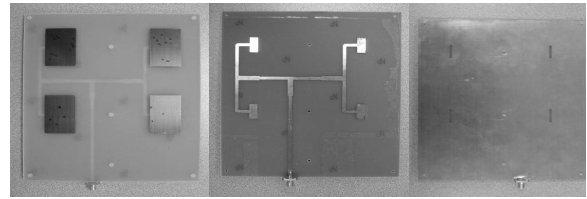


图9 天线阵列实物

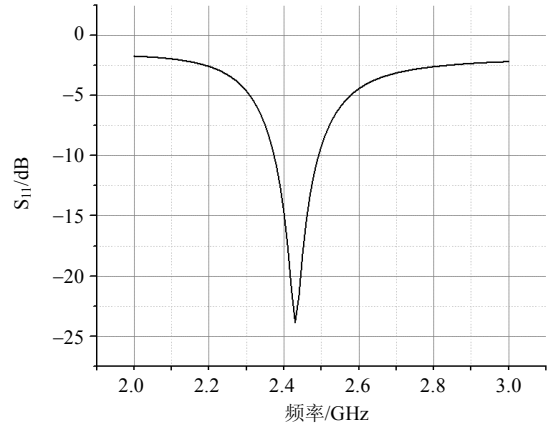


图10 天线阵列驻波比测试结果

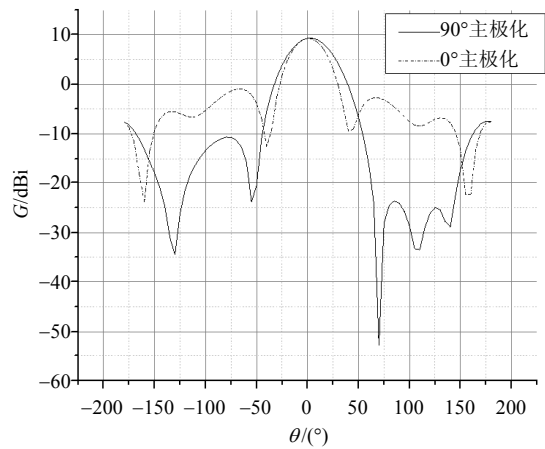
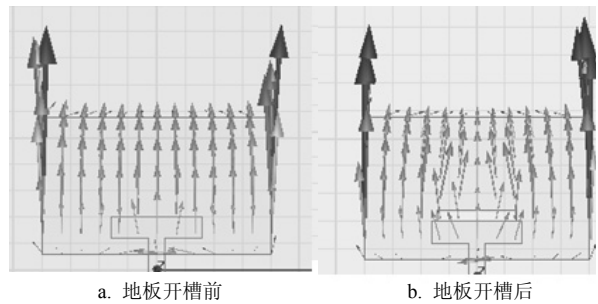


图11 天线阵列辐射特性测试结果



a. 地板开槽前 b. 地板开槽后

图12 天线贴片上电流分布的变化

(下转第518页)

过元胞自动机的状态转换规则,在休眠和工作状态间进行切换。剩余能量等信息随路由报文传输,无需增加额外的开销。本文的休眠决策机制通过合理使用元胞自动机处理机制,在网络层的路由协议中添加CA处理模块,在保证网络传输可靠性的基础上,减少了节点能量消耗。仿真验证了使用CA处理机制在网络传输率没有大幅下降的前提下,在减少能量消耗、延长网络生存期和提高能量利用率上的良好效果。在后续研究中,将进一步对基于元胞自动机的无线传感网络节能问题展开更深入研究。针对具有自组织特性的无线传感网络时空演化规律,研究如何在尽量减少系统能量消耗的前提下,保证无线传感网络拓扑的连通性和覆盖性。

### 参 考 文 献

- [1] SHI J, CHEN Z, ZHANG Y, et al. Cellular automata based topology control method for wireless sensor networks[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2011, 24(12): 1734-1738.
- [2] VISWANATHAN A, BOULT T E. Power conservation in Zigbee networks using temporal control[C]//Proceedings of IEEE International Symposium on Wireless Pervasive Computing. Puerto Rico, India: IEEE, 2007: 327-331.
- [3] RAN P, SUN M H, ZOU Y M. ZigBee routing selection strategy based on data services and energy-balanced Zigbee routing[C]//Proceedings of IEEE Asia-Pacific Conference on Services Computing. Guangzhou: IEEE, 2006: 400-404.
- [4] FAN T H, XIAO X J, YIN L L, et al. Cellular automata self-organization algorithm for wireless sensor network[J]. Computer Engineering, 2009, 35(21): 26-28.
- [5] ZHANG W Z, YUAN J, YU Z, et al. Study of the global behavior of wireless sensor networks based on cellular automata[J]. Acta Physica Sinica, 2008, 57(1): 6897-6900.
- [6] YUAN J, REN Y, SHAN M. Investigation of a Cellular Automaton model for computer network[J]. Chin Phys Soc, 2000, 49(3): 399-402, 1986.
- [7] WOLFRAM S. Statistical mechanics of cellular automata[J]. Reviews of Modern Physics, 1983, 55(3): 601-644.
- [8] WOLFRAM S. Theory and applications of cellular automata[M]. Singapore: World Scientific Publication, 1986.

编辑 张俊

(上接第507页)

## 4 结 论

本文设计了一种耦合馈电的微带天线,通过在接地平面上开槽的方法缩小了天线尺寸,提高了天线的工作带宽,通过对 $2 \times 2$ 阵列的仿真分析与天线实测表明,仿真结果与实测结果之间对应关系较好,证明耦合馈电结合接地板开槽可以有效提高天线工作带宽并缩减天线体积。该方法具备结构简单、成本低廉、易于批量生产等一系列优点,在通信领域有广泛的应用前景。

### 参 考 文 献

- [1] CHEN K C, QIAN Y X, TZUANG C K C, et al. A periodic microstrip radial antenna array with a conical beam[J]. IEEE Trans AP, 2003, 51(4): 756-765.
- [2] SABBAN A. Ka band microstrip antenna arrays with high efficiency[J]. IEEE AP-S Int Symp, 1999(4): 2740-2743.
- [3] ZHANG L, YUAN N, ZHANG M, et al. RCS computation for a large array of waveguide slots with finite wall thickness using the MoM accelerated by P-FFT algorithm[J]. IEEE Trans AP, 2005, 53(9): 3101-3105.
- [4] YUAN T, QIU C W, LI L W, et al. Sensitivity analysis of iterative adjoint technique for microstrip circuits optimization[J]. Microw Opt Tech Lett, 2007, 49(3): 607-609.
- [5] JOHNSON R C, JASIK H. Antenna engineering handbook[M]. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1984.
- [6] PEI Q Q, QIU C W, YUAN T, et al. Hybrid shaped ultra-wideband antenna[J]. Microw Opt Tech Lett, 2007, 49(10): 2412-2415.
- [7] BAHL J, GARG R, BHARTIA P, et al. Microstrip Antenna Design Handbook[M]. Massachusetts: Artech House, 2001.
- [8] BALAKRISHNAN T, RAVIKANTH G, VENGADARAJAN A, et al. A wide band proximity-coupled antenna with slot in the microstrip feed and the ground plane[C]//2006 IEEE Region 10 Conference. [S.l.]: IEEE, 2006.
- [9] POZAR V M, KAUFMAN B. Increasing the bandwidth of microstrip antenna by proximity Coupling[J]. Electronics Letters, 1987, 23(8): 368-369.

编辑 税红