

文章编号 1005-0388(2011)01-0001-06

频率方向图复合可重构寄生单极子天线阵列

孙佳文 陈文华 冯正和 赵凯南

(清华大学电子系, 北京 100084)

摘 要 提出了一种能应用于无线通讯系统的新型介质支撑开关寄生阵列天线。基于八木天线原理, 天线可以实现频率及方向图的复合可重构。所引入的开关用来切换不同状态的工作频率并实现方向图的扫描。地支结构用来改善天线的阻抗匹配并展宽频带。测量结果表明: 天线阵列可以在保证回波损耗小于 -10 dB 的情况下完全覆盖 $1710 \sim 1880$ MHz、 $1850 \sim 1990$ MHz 及 $2400 \sim 2480$ MHz 三个移动通信频段, 并可以方便地实现频率切换及方向图扫描。

关键词 可重构; 开关; 频率切换; 波束扫描

中图分类号 TN820 **文献标志码** A

1. 引 言

无线通讯系统的迅猛发展以及移动用户的快速增长, 迫切需要在目前移动通信系统频谱划分的基础上能够开发出一种更加有效的通讯网络来增加整个系统的容量。目前通讯系统需要解决许多难点问题, 例如多径衰落、电磁兼容以及频率复用等问题。开关寄生天线能够实现频率、方向图及极化的可重构, 因而可以很好地解决上述问题。

与经典的自适应天线不同, 开关可重构天线仅需一个射频通道就可以提供多个方向图, 并且在射频通道上不需要射频开关或者移相器, 天线成本较低且非常稳定比有源天线阵列更适用于无线通信^[1-7]。国内的研究主要集中于平面微带天线的可重构^[11-13]。目前, 相关的设计人员主要研究设计频率、极化及方向图可重构中的一种类型^[6-10], 而如何实现天线复合可重构的研究相对较少^[14-15], 主要是由于复合可重构通常需要设计复杂的结构并且天线的复合性能很难实现。

作者早期提出了一种方向图可重构的介质支撑型开关寄生阵列天线^[16], 通过引入介质支撑型结构不仅减小了天线阵列的尺寸且对天线增益的影响较小, 同时增强了天线阵列结构性能的稳定性, 并设计

了对应的控制电路实现了波束扫描。

在以上研究基础上, 通过在中心有源天线单元上引入开关结构, 并在以中心有源单元为圆心的不同半径的圆周上对称地引入不同长度的寄生天线单元, 提出了一种新型的频率及方向图复合可重构寄生单极子阵列天线。阵列天线的中心单元通过开关切换改变长度, 实现了寄生阵列天线的频率可重构; 对于不同的工作频率, 选择对应的一组寄生单极子单元所接对地开关顺序导通, 就可以实现阵列天线的波束扫描, 实现方向图的可重构。此外, 通过在中心天线单元旁边引入地支结构, 实现了分布式加载, 改善了天线的阻抗匹配, 拓宽了工作带宽。文中设计了移动通信频段的复合可重构天线, 利用 HFSS 软件进行了电性能分析, 并制作了实验模型, 其中模型中的开关导通时暂用金属带代替, 断开时就什么都不加。计算和实验结果表明: 天线阵列可以在保证回波损耗小于 -10 dB 的情况下覆盖 DCS($1710 \sim 1880$ MHz)、PCS($1850 \sim 1990$ MHz) 及 WLANs ($2400 \sim 2480$ MHz) 三个移动通信频段, 并可以方便地实现频率切换及方向图扫描。

2. 开关寄生阵列天线理论分析

图 1 所示为一种典型的三单元开关寄生阵列天

收稿日期: 2010-04-07

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2007CB310605); 国家 863 计划项目资助课题(2009AA011503)

联系人: 孙佳文 E-mail: sunjw04@mails. tsinghua. edu. cn

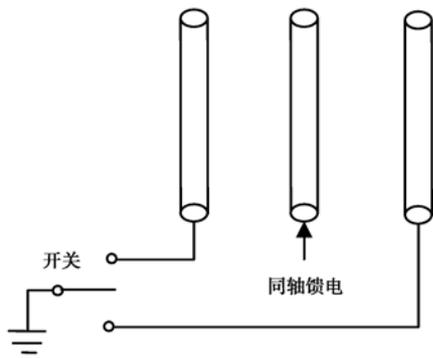


图 1 三单元开关寄生阵列天线

线,由三个单极子天线组成,其中中间单元为有源单元,两侧的天线单元通过单刀双掷开关与地连接。当两侧的天线单元一个短路,一个开路,就可以得到单向辐射的方向图,利用单刀双掷开关切换就可实现方向图的 180 度波束切换。

对于 N 单元的寄生阵列天线,其阵列方程可表述为下式

$$\sum_{s=1}^n Z_{rs} I_s = \int_0^{V_r} \begin{matrix} r=1 \\ r \neq 1 \end{matrix} \quad (1)$$

式中: V_r 为有源单元的激励电压; Z_{rs} 为天线单元的互阻抗或自阻抗; I_s 为天线单元上的电流。基于海伦方程,可以对上述方程求解,得到各个单元的电流的大小和相位,然后根据电流分布计算远区方向图。

$$F(\theta, \varphi) = f(\theta, \varphi) \left| \sum_{n=1}^n I'_s \exp(-j\beta d_s \cos\varphi) \right| \quad (2)$$

而此类天线的工作频率主要取决于中心有源单元的长度,因此,基于上述理论,提出了新型的介质支撑型频率方向图复合可重构寄生单极子阵列天线。

3. 阵列天线结构

图 2 给出了一个频率方向图复合可重构寄生单极子天线阵列的仿真模型,它由中心的有源单极子单元和两组长度的 12 个对称分布的寄生单极子单元构成。有源单极子单元从圆形地面的中心馈电,在其中间加一个开关用来实现频率的可重构,而两组寄生单元分别对应不同的工作频率,都通过末端的开关接地。频率切换就可以通过控制中心单元开关的状态来实现。而方向图可重构可以通过选定与工作频率对应的一组寄生单元的开关通断来实现。

整个天线阵列的结构可以看成是由三片介质支撑板构成,其结构图和具体尺寸如图 3 所示。所有

线结构,介质板的厚度为 0.8 mm,背面不覆铜,相对介电常数为 2.65。

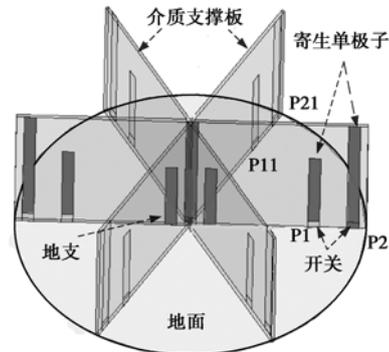


图 2 复合可重构天线阵列仿真模型

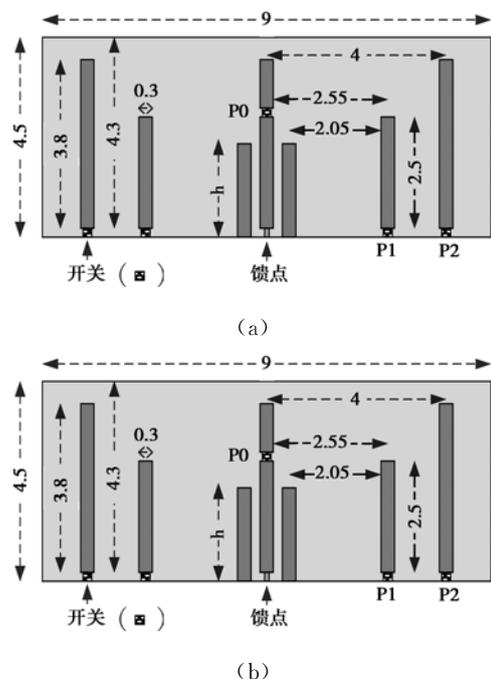


图 3 介质支撑天线阵列单片的结构图(单位:cm)

单极子单元均是印制在介质板上的单面的平面微带开关寄生天线阵列的辐射机理类似于经典的 Yagi-Uda 天线。在我们设计的开关寄生天线阵列中,有源单元和寄生单元间的耦合作用使得通过开关短路的寄生单极子单元对中心有源单元起到了反射器的作用,而对地开路的开关寄生单元几乎对天线阵列的性能没有任何影响。由于寄生单极子单元通过开关对地不是短路就是开路,并且短路的时候起反射器的作用而开路则没有影响,在方向图可重构过程中只需要考虑对地短路的寄生单元。

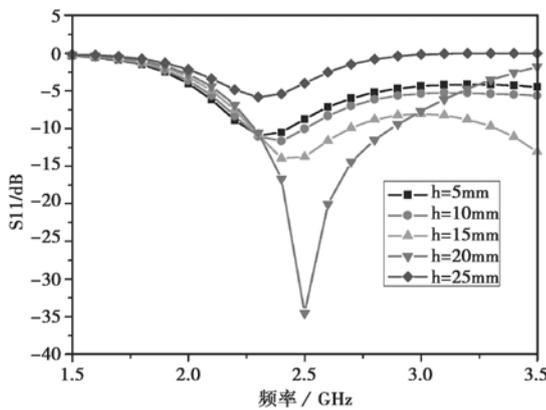
频率方向图复合可重构天线的工作机理如下:开关 P0 的通断控制频率的可重构,当 P0 导通

时,中心有源单元的长度变长,天线工作在较低的频率;而反之,当 P0 断开时,天线工作在较高的频率。P0 的位置决定了高低频率的比值;

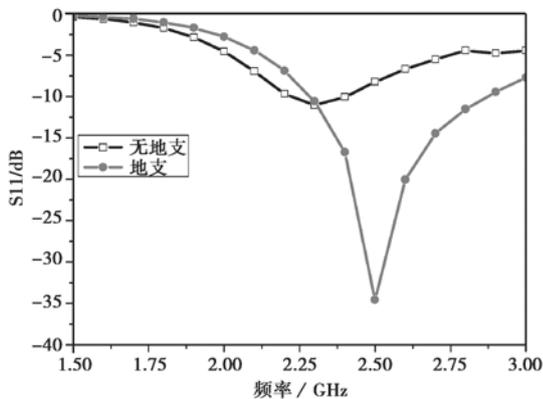
当开关 P0 断开时,天线工作在较高频率,保持外围所有开关 P2 断开,通过控制内围开关 P1 的通断就可以实现高频率的方向图可重构;

当开关 P0 导通时,天线工作在较低频率,保持内围所有开关 P1 断开,通过控制外围开关 P2 的通断就可以实现低频率的方向图可重构。

为了更好地改善天线的辐射性能及缩小尺寸,有源单元和寄生单元之间的距离通过软件优化到比通常四分之一波长更短的间距。文章中所引入的地支结构,能适度地改善阵列天线的阻抗匹配,提高工作带宽,具体见图 4。通过地支长度的扫描可以发现,当地支长度为 20 mm 附近时,天线可以取得最佳的阻抗匹配。



(a) 天线反射系数随地支高度的变化



(b) 地支对天线反射系数的影响

图 4 天线阻抗匹配与地支的关系

3. 天线系统的实验性能分析

基于上述的分析,我们设计制作频率方向图复

合可重构寄生单极子天线阵列的实验模型。由于天线整体的开关较多,如果加上实际开关及控制电路,天线系统相对过于复杂,这里我们用金属带来代替理想开关导通,实验模型如图 5 所示。

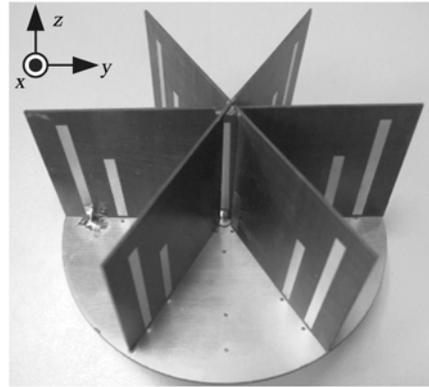


图 5 天线阵列的实验模型

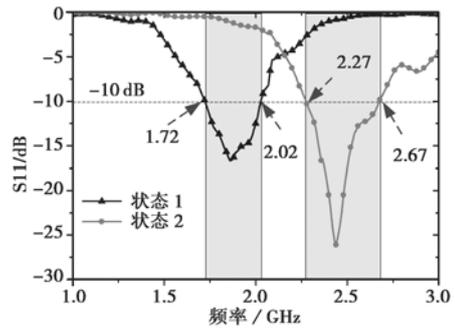


图 6 测量的反射系数

圆形地面的半径为 4.5 cm,厚度 0.8 mm,地支高度选取 21 mm。图 6 给出了频率可重构状态下所测量的回波损耗。图中状态 1 和状态 2 分别代表开关 P0 的导通和断开,即频率可重构的低频高频切换。从测量结果可以看出,在保证 $S_{11} < -10$ dB 的条件下,对于低工作频率(状态 1),该天线的阻抗带宽为 300 MHz(1.72~2.02 GHz),满足了移动通信的 DCS 和 PCS 频段要求。对于高工作频率,该天线的阻抗带宽达到了 400 MHz(2.27~2.67 GHz),满足了 WLANs 频段及其他的通信要求。

图 7 和图 8 分别给出了在中心频率 1.85 GHz 和 2.45 GHz 处该天线阵列所测量的 E 面($\theta = 0^\circ$)和 H 面(开关导通所对应的 ϕ 角度)方向图。由于天线的寄生单元都是绕圆心对称分布的,其每个寄生单元接地所对应的方向图也是对称分布的,因此,图中仅给出不同频率切换时相邻两个开关分别导通时所测量的方向图(1.85GHz 对应开关 P2

和 P21 分别导通,而 2.45 GHz 对应开关 P1 和 P11 分别导通,开关编号见图 2)。测量表明:天线阵列可以在两个频段下良好地实现方向图的可重构即波束扫描。

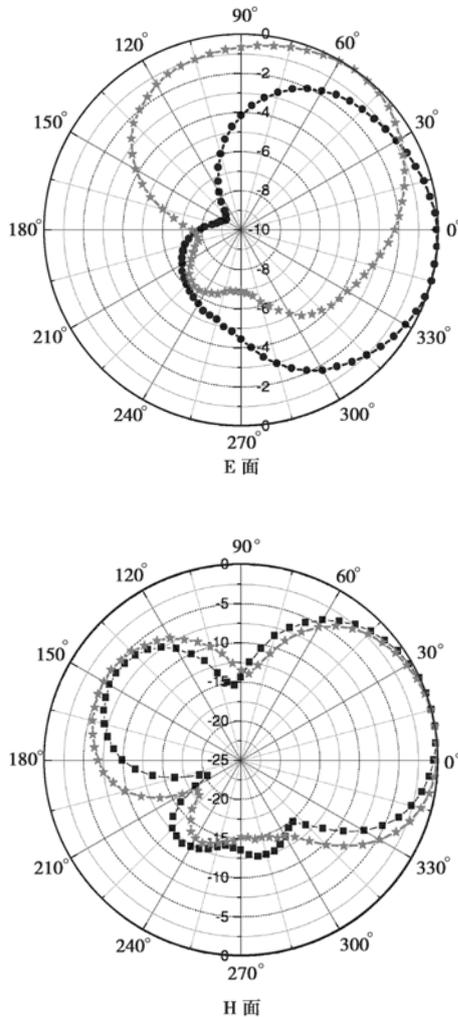


图 7 1.85 GHz E 面和 H 面的波束扫描方向图

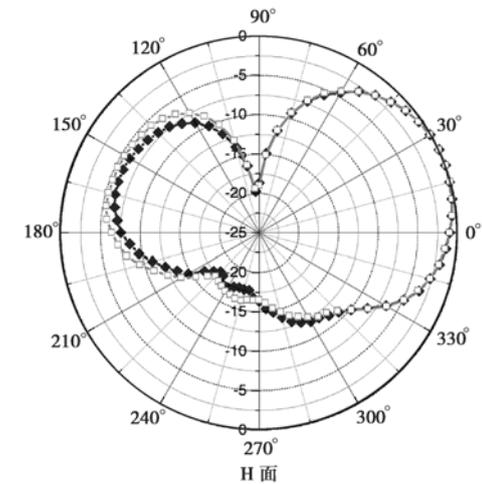
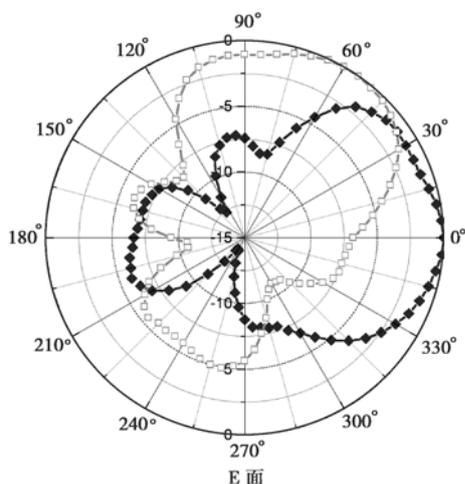


图 8 2.45 GHz E 面和 H 面的波束扫描方向图

5. 结 论

提出并实验验证了一个新颖的介质支撑型频率方向图复合可重构单极子开关寄生阵列天线。天线阵列可以在频率切换的基础上实现波束扫描。所引入的地支结构有效地改善了阻抗匹配,展宽了频带宽度。天线可以覆盖多个移动通信频段,具有很大的应用前途。

参考文献

- [1] THIEL D V, SMITH S. Switched Parasitic Antennas for Cellular Communications [M]. London: Artech House, 2001.
- [2] GRAY D, LU J, THIEL D V. Electronically steerable yagi-uda microstrip patch antenna array [J]. IEEE Trans. Antennas Propagat., 1998, 46(5): 605-608.
- [3] PRESTON S L, THIEL D V, SMITH T A, et al. Base-station tracking in mobile communications using a switched parasitic antenna [J]. IEEE Trans. Antennas Propagat., 1998, 46(6): 841-844.
- [4] SCOTT N L, LEONARD-TAYLOR M O, VAUGHAN R G. Diversity gain from a single-port adaptive antenna using switched parasitic elements illustrated with a wire and monopole prototype [J]. IEEE Trans. Antennas Propagat., 1999, 47(6): 1066-1070.
- [5] THIEL D V. Switched parasitic antennas and controlled reactance parasitic antennas: A systems comparison [C]//IEEE Symposium on Antennas and Propagation, 2005 June, 3211-3214.
- [6] KAWAKAMI, OHIRA T. Electronically steerable passive array radiator (ESPAR) antenna [J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2005, 47(2):

- 43-49.
- [7] CHEN Fanglu, CHEN Wenhua, YANG Li, et al. A Novel Switched-Sector Planar Antenna Using Parasitic Elements[C]// IEEE Symposium on Antennas and Propagation, June 2004;. 855-857.
- [8] LU Junwei, IRELAND D, SCHLUB R. Dielectric embedded ESPAR (DE-ESPAR) antenna array for wireless communications[J]. IEEE Trans. Antennas and Propagat., 2005,53(8):2437-2443.
- [9] LIM S, LING H. Design of electrically small, pattern reconfigurable Yagi antenna[J]. ELECTRONICS LETTERS, 2007, 43(24): 1326-1327.
- [10] WAHID P F, ALI M A, JR DELOACH B C. A reconfigurable Yagi antenna for wireless communications[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2003, 38(2):140-141.
- [11] 肖绍球,王秉中. 微带可重构天线的初步探讨[J]. 电波科学学报,2002,17(4):385-390.
XIAO Shaoqiu, WANG Bingzhong. Preliminary research on microstrip reconfigurable antenna[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2002, 17(4):385-390. (in Chinese)
- [12] 王安国,张佳杰,王鹏,等. 可重构天线的研究现状与发展趋势[J]. 电波科学学报,2008,23(5):997-1002
WANG Anguo, ZHANG Jiajie, WANG Peng, et al. Recent research and developing trends of reconfigurable antennas[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2008, 23(5):997-1002. (in Chinese)
- [13] 魏文博,高艳丽,张洪涛,等. 馈电相位可调极化可重构微带贴片天线[J]. 电波科学学报,2009,24(4):687-690.
WEI Wenbo, GAO Yanli, ZHANG Hongtao, et al. A polarization-reconfigurable microstrip patch antenna with tunable feeding phase[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2009, 24(4):687-690. (in Chinese)
- [14] PaNAGAMUWA C J, CHAURAYA A, VARDAXOGLOU J C. Frequency and beam reconfigurable antenna using photoconducting switches [J]. IEEE Trans. Antennas Propagat., 2006,54(2)449-454.
- [15] JIN N, YANG F, RAHMET-SAMII Y. A Novel Patch Antenna With Switchable Slot (PASS): Dual Frequency Operation With Reversed Circular Polarizations [J]. IEEE Trans. Antennas Propagat., 2007,54(3):1031-1034.

- [16] 孙佳文,陈文华,冯正和. 介质支撑型单极子开关寄生阵列天线设计[J]. 电波科学学报,2010,25(2):209-215.

SUN Jiawen, CHEN Wenhua, FENG Zhenghe. Design of dielectric-supported switched parasitic antenna array for mobile wireless communications[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2010, 25(2):209-215. (in Chinese)

作者简介



孙佳文 (1981—),男,山东人,清华大学博士生,研究方向为可重构天线与多频段天线。



陈文华 (1980—),男,江西人,助理研究员,清华大学电子工程系微波工程与天线实验室主任。研究方向为可重构及宽带天线、高效线性射频前端。



冯正和 (1945—),男,上海人,清华大学电子工程系教授、博士生导师,中国电子学会微波分会主任委员。主要从事智能天线技术、微波毫米波技术、电磁场理论与数值方法、无线数字通信、时空信号处理、微波测量等领域的教学和科研工作。



赵凯南 (1984—),女,山东人,清华大学博士生,研究方向为可重构天线设计。

A novel frequency and pattern reconfigurable parasitic monopole antenna array for wireless communications

SUN Jia-wen CHEN Wen-hua FENG Zheng-he ZHAO Kai-nan

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract A dielectric-supported switched parasitic Yagi monopole antenna array for mobile wireless communications is developed. Based on the Yagi antenna principle, the proposed antenna realizes frequency and pattern reconfiguration, simultaneously. Switches are used to change operating frequency and radiation pattern between different working states. Moreover, a ground branch has been introduced to improve impedance matching and broaden operation bandwidth. The antenna can cover the bands of 1710~1880 MHz, 1850~1990 MHz and 2400~2484 MHz with $S_{11} < -10$ dB. Measurements including return loss, radiation patterns are presented to verify the proposed design of antenna. Frequency changing and beam scanning can be realized easily.

Key words reconfigurable; switch; frequency changing; beam scanning