

文章编号 1005-0388(2011)06-1181-06

# 带寄生贴片的圆盘形方向图可重构天线设计

王安国 蔡晓涛 冷 文

(天津大学电子信息工程学院, 天津 300072)

**摘 要** 提出了一种新的带寄生贴片的圆盘形方向图可重构天线。天线主要由位于中心的圆形贴片和周围环绕的五个带 U 型槽的扇环形寄生贴片组成。该天线工作在 5.5 GHz WiMAX(全球微波接入互操作性)波段范围内,在谐振频率点具有较好的阻抗匹配特性。通过控制开关,天线可以在  $\theta=45^\circ$  的面内实现五种定向方向图变化。计入方向图增益及波瓣宽度,可以实现波束全向覆盖。天线方向图的旁瓣和后瓣较小,主瓣方向最大增益可达 6.3 dB,定向辐射特性显著,具有较强的抗干扰能力。该天线尺寸小、剖面低。还分析了一些重要结构参量对天线性能的影响。天线的仿真与测试结果具有较好的一致性。

**关键词** 可重构天线;方向图;圆盘形;扇环形;寄生贴片

**中图分类号** TN82      **文献标志码** A

## 1. 引 言

随着无线通信技术的快速发展,具有多重特性的天线引起了大量关注。可重构天线作为一种新型天线,与传统天线相比,由于具有体积小、功能多样、易于实现分集应用等<sup>[1-3]</sup>优点,更是成为了近些年来研究的热点。同时,伴随着高性能、低功耗的微电子机械开关(MEMS)的研究进展<sup>[1]</sup>,天线的可重构技术也得到了较大的发展。可重构天线可以在频率、方向图以及极化等特性方面实现天线的多样性特征,而这样的天线特性正是未来无线通信系统所需求的。

方向图作为天线的重要特性之一,充分利用天线的重构机理来实现方向图可重构,是目前可重构天线研究中的一个重要方面。方向图可重构天线可以较好地改善系统增益,提高通信安全性,避免噪声干扰。同时通过定向辐射、接收也可以节约系统能量<sup>[4-6]</sup>。

传统的方向图可重构天线设计大多是基于相控阵技术。但采用这种技术设计的天线一般体积较大,成本较高且设计过程较为复杂<sup>[7-8]</sup>。而具有对称

结构的天线能够在实现方向图重构的同时保持其阻抗带宽及频率特性的稳定性,且设计成本较低,从而引起了天线设计者的广泛研究<sup>[9-10]</sup>。文献[1]设计了一种基于分形概念的方向图可重构蝶形天线;文献[3]通过控制一个矩形环上对称分布的缝隙的通断,实现了方向图重构;文献[7][11]基于八木天线原理,通过控制寄生振子的有效长度来改变引向器与反射器的功能,从而实现方向图重构;文献[8]通过控制接地板上的槽缝,实现了方向图的重构;文献[12]设计了一种具有对称结构的三角形方向图可重构天线。但是,在上述天线中,方向图可重构的切换选择较少。本文利用准对称结构,设计了一种具有固定角度扫描间隔,可以在倾角  $\theta=45^\circ$  的面内实现五个定向方向图变化的微带圆盘形天线。通过仿真、测试,天线较好地实现了  $E_\theta$  方向图的重构,并且具有较高的稳定性。

## 2. 天线结构与设计

所设计的天线结构如图 1 所示,图 1(a)为天线的俯视图,图 1(b)为天线的侧视图。天线的上层辐射单元由中心馈电的圆形贴片和周围环绕的五个带

收稿日期: 2011-01-05

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助(973 计划:2007CB310605)

联系人: 蔡晓涛 E-mail: cxttju@126.com

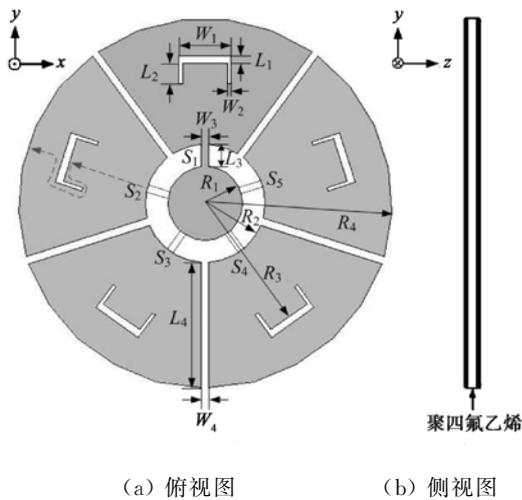


图1 天线的结构图

U型槽的扇环形寄生贴片所组成。中心圆形贴片的半径为  $R_1$ ，周围五个扇环形寄生贴片的内外半径分别为  $R_2$  和  $R_4$ 。每个扇环形贴片上又分别蚀刻一个U型槽。U型槽的中心部分是一个尺寸为  $W_1 \times L_1$  的矩形槽缝，该中心槽缝位于每个扇环形贴片的对称线上且与圆盘几何中心的距离为  $R_3$ 。在中心槽缝的两边分别对称蚀刻一个尺寸为  $W_2 \times L_2$  的矩形槽缝。每相邻两个扇环形辐射贴片之间有一个  $W_4 \times L_4$  的矩形缝隙。

中心圆形贴片作为主辐射贴片，放置在半径为  $R_1$  的圆盘形介质板的几何中心，背面接  $50\Omega$  同轴馈电。主辐射圆形贴片通过环绕其间隔放置的五个开关  $S_1 \sim S_5$  与周围分布的扇环形寄生辐射贴片相连接。通过开关控制，主辐射圆形贴片可以选择性地馈电给任意一个扇环形寄生贴片，改变天线表面的电流分布，实现天线主波瓣辐射方向的偏转。天线背面采用完全接地，从而构成了微带圆盘形方向图可重构天线。

天线中每个扇环形寄生贴片的电流主路径如图1所示，长度约为  $0.75\lambda_{\text{eff}}$ 。其中  $\lambda_{\text{eff}}$  代表天线在谐振频率时的有效波长，可以通过式(1)计算。

$$\lambda_{\text{eff}} = \frac{c}{f_{\text{res}} \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \quad (1)$$

式中： $\epsilon_{\text{eff}} \approx (\epsilon_r + 1)/2$  为有效介电常数 ( $\epsilon_r$  为介质板的相对介电常数)； $c$  为真空中的光速； $f_{\text{res}}$  为天线的谐振频率。

天线的介质板采用介电常数  $\epsilon_r = 2.65$ ，厚度为  $1.6\text{ mm}$  的聚四氟乙烯(PTFE)。天线的具体结构尺寸如表1所示。在天线的仿真过程中，用铜片的有无代替开关( $S_1 \sim S_5$ )的通断。天线的实物照片如

图2所示。

表1 天线的结构尺寸(单位:mm)

参数	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$L_4$	$R_1$	$R_2$
尺寸	1	2.83	3	17	5	8
参数	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$R_3$	$R_4$
尺寸	7	0.5	1	1	19	25

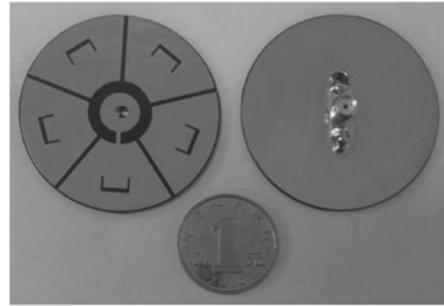


图2 天线的实物图

### 3. 实验结果及分析

利用基于有限元法(FEM)的电磁仿真软件 HFSS 10.0 对天线进行了仿真并对重要结构参数进行了优化。由于所设计的天线结构关于圆盘中心准对称，所以在实现方向图重构的同时，保持了阻抗和频率特性的稳定性。

位于天线中心的圆形贴片对天线的辐射性能有较大的影响。图3给出了天线的回波损耗特性随该圆形贴片半径  $R_1$  的变化曲线。由图3可见，随着半径  $R_1$  的增加，天线的谐振频率不断提高。这是由于中心圆形贴片直接与背面馈电的 SMA 接头相连，该贴片尺寸的大小直接影响天线的输入阻抗特性。考虑到天线对回波损耗性能的要求，选取  $R_1 = 5\text{ mm}$ 。

图4中(a)和(b)分别显示了在开关  $S_5$  闭合， $S_1 \sim S_4$  断开时，天线上层辐射贴片中U形槽有无中心槽缝的  $E_\phi$  和  $E_\theta$  方向图。由于天线结构和地面的影响，天线的最大辐射方向向上倾斜，因此， $E_\phi$  方向图的仿真与测试选择在  $\theta = 45^\circ$  的平面上进行。由图4(a)可见，天线中U形槽有无中心槽缝，其方位角方向图的主瓣方向增益及主瓣宽度变化较大。图4(b)给出了在方位角  $\Phi = 19^\circ$  时，天线有无中心槽缝的  $E_\theta$  方向图。由4(b)可见，天线获得了良好的端射性能。但天线在有无中心槽缝时，其最大辐射方向的俯仰角发生倾斜。

良好的阻抗匹配可以减少天线的能量损耗，提

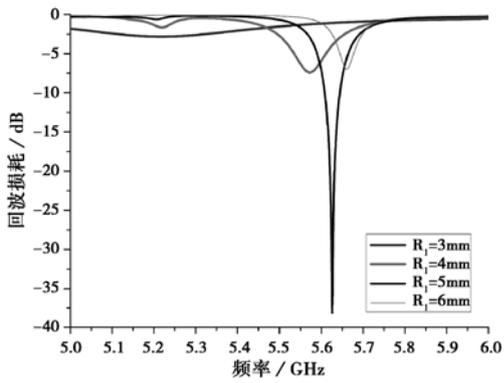


图 3 中心圆形贴片半径  $R_1$  对回波损耗的影响

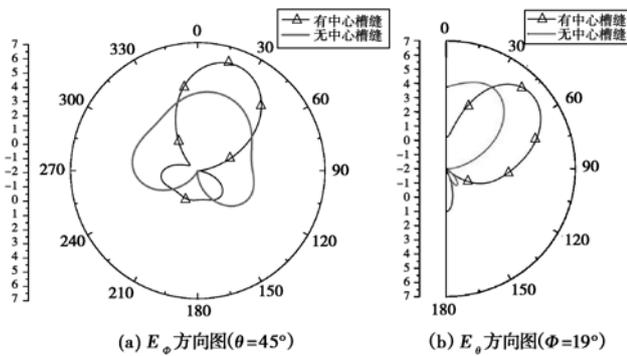


图 4 U 形槽有无中心槽缝的仿真方向图

高辐射效率。图 5 给出了所设计的天线在开关  $S_1$  闭合、 $S_2 \sim S_5$  断开的情况下,在谐振频率  $f_{res} = 5.63 \text{ GHz}$  时的输入阻抗史密斯圆图。由圆图可见,天线在谐振频率点获得了较好的输入阻抗匹配,即  $Z_{in} = R + jX$  中  $R$  趋近于  $50 \Omega$ ,  $X$  趋近于  $0 \Omega$ 。

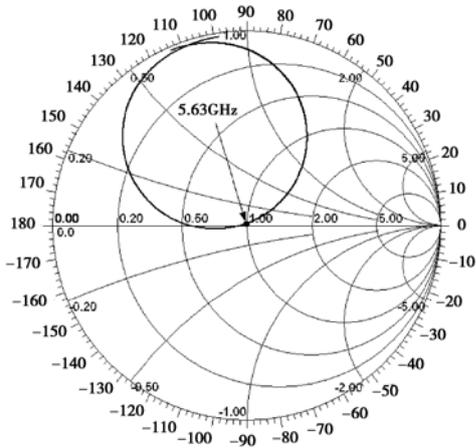


图 5 天线的输入阻抗史密斯圆图

天线中辐射贴片的电流分布直接影响天线的性能。图 6 显示了所设计的天线在开关  $S_1$  闭合、 $S_2 \sim$

$S_5$  断开时,天线表面的电流分布。由图 6 可见,U 形槽使得天线的表面电流发生绕流,但扇环形寄生贴片中的主要电流仍沿着由中心贴片到寄生贴片的方向流动。由于天线关于圆盘中心准对称,所以在其余的开关导通状态下,天线表面的电流分布得到重构,主波瓣辐射方向发生偏转。

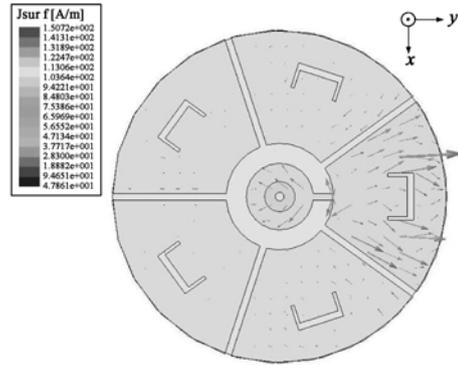


图 6 天线表面的电流分布

天线中开关  $S_1 \sim S_5$  的通断状态以及在每种状态下天线在倾角  $\theta = 45^\circ$  面内  $E_\phi$  方向图的主瓣最大增益方向列于表 2 中。图 7 给出了天线在控制开关  $S_1 \sim S_5$  依次接通的情况下,在倾角  $\theta = 45^\circ$  面内仿真的  $E_\phi$  方向图。由图 7 可见,所设计的天线能够较好地实现天线主瓣方向图的重构,并且天线的旁瓣和后瓣较小。此外,该天线的主瓣方向图的前后比大于  $7 \text{ dB}$ ,  $E_\phi$  方向图主瓣宽度约为  $68.5^\circ$ ,且相邻两个状态下  $E_\phi$  方向图的最大增益方向之间的夹角约为  $72^\circ$ 。通过对开关状态的控制,所设计的天线能够较好地实现波束全向覆盖。

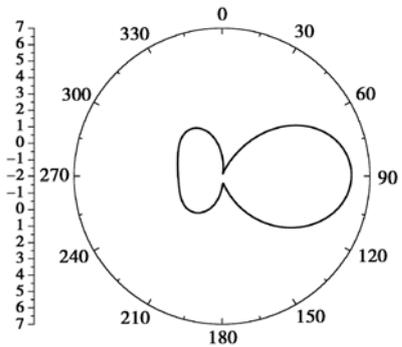
表 2 开关  $S_1 \sim S_5$  通断状态及主瓣最大增益方向

状态	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	最大增益方向
1	1	0	0	0	0	$89^\circ$
2	0	1	0	0	0	$164^\circ$
3	0	0	1	0	0	$234^\circ$
4	0	0	0	1	0	$305^\circ$
5	0	0	0	0	1	$19^\circ$

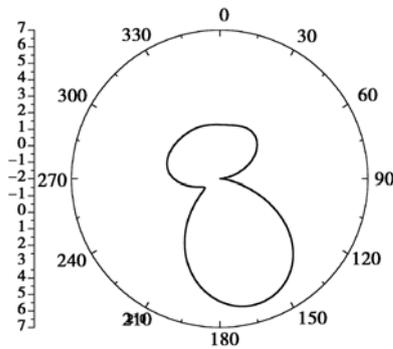
注:表中“1”表示开关接通,“0”表示开关断开。

天线的仿真与测试的回波损耗曲线如图 8 所示。从测试的  $S_{11}$  曲线可以看出:在天线的工作频带范围  $5.60 \sim 5.66 \text{ GHz}$  内 ( $S_{11} < -10 \text{ dB}$ ),回波损耗最低可以达到  $-41.92 \text{ dB}$ 。图 9 给出了在开关  $S_1$  闭合、 $S_2 \sim S_5$  断开的情况下,天线在  $\theta = 45^\circ$  面内仿真与测试的  $E_\phi$  方向图。由图 9 可以看出:所制作天线的方向图旁瓣和后瓣较小,且主瓣方向增益较大。

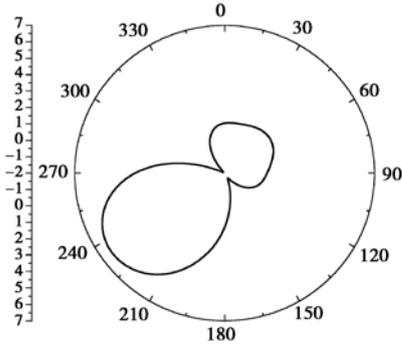
综合图 8 和图 9,天线的测试结果与仿真结果具有较好的一致性。



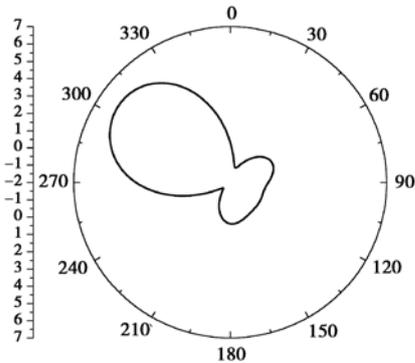
(a) 状态 1



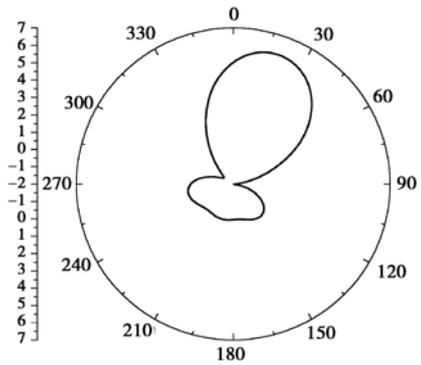
(b) 状态 2



(c) 状态 3



(d) 状态 4



(e) 状态 5

图7 仿真的倾角  $\theta=45^\circ$  面内的  $E_\phi$  方向图

图 10 给出了天线的仿真增益曲线。由图 10 可见,所设计的天线在工作频带内具有稳定的增益趋势。在谐振频率点 5.63 GHz 处天线的增益为 4.1 dBi。

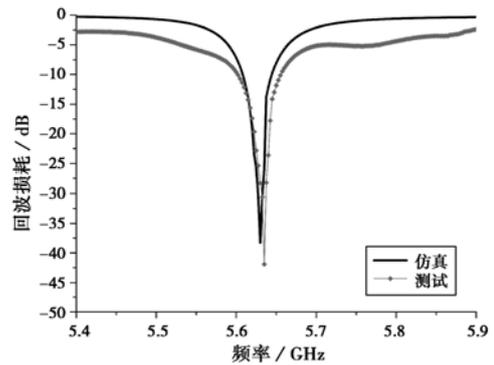


图 8 仿真与测试的回波损耗曲线

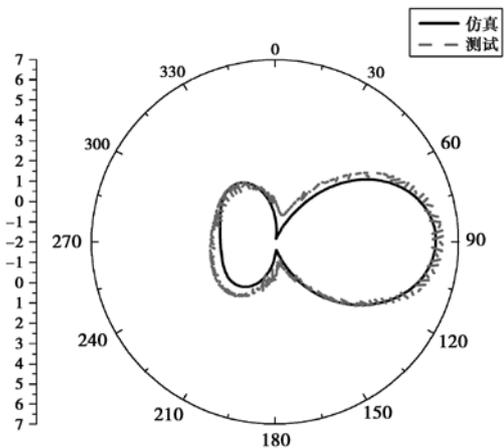


图 9 仿真与测试的  $E_\phi$  方向图(状态 1)

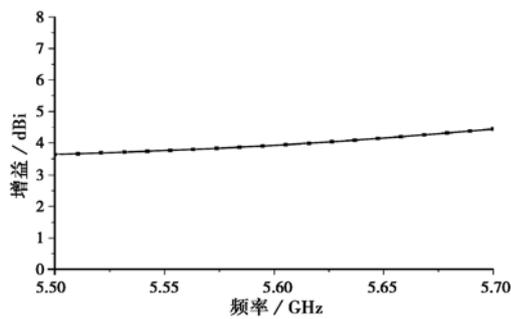


图10 天线的仿真增益曲线

## 4. 结 论

提出了一种带扇环形寄生贴片的微带圆盘形方向图可重构天线。该天线在  $\theta=45^\circ$  面内可以实现五个定向方向图重构。计入方向图增益及波瓣宽度, 天线可实现波束全向覆盖。所设计天线的谐振频率为 5.63 GHz, 工作在 5.5 GHz WiMAX (5.25 ~ 5.85 GHz) 波段范围内。方向图具有较小的旁瓣和后瓣, 主瓣方向最大增益可达 6.3 dB。该天线在工作频带内增益平稳, 在谐振频率点增益可达 4.1 dBi。天线的仿真与测试结果具有较好的一致性。本文所设计的方向图可重构天线, 在实际应用中, 可根据通信目标的具体方位, 灵活选择辐射方向, 既可有效避免噪声干扰, 提高通信安全性, 又可节约系统能量, 在未来的无线通信中具有较好的应用前景。

## 参考文献

- [1] 王安国, 王 鹏, 刘 楠, 等. 基于分形概念的方向图可重构蝶形天线设计[J]. 电波科学学报, 2010, 25(3): 603-607.  
WANG Anguo, WANG Peng, LIU Nan, et al. Design of pattern reconfigurable butterfly antenna based on fractal concept[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2010, 25(3): 603-607. (in Chinese)
- [2] 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, 1007.  
WANG Anguo, ZHANG Jiajie, WANG Peng, et al. Recent research and developing trends of reconfigurable antenna[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2008, 23(5): 997-1002, 1007. (in Chinese)
- [3] TILANTHE P, SHARMA P C. A pattern reconfigurable patch antenna with square ring shaped parasite radiator [C]//Applied Electromagnetics Conference (AEMC), 2009:1-4.
- [4] DONG Jiawei, WANG Anguo, LAN Hang. A simple radiation pattern reconfigurable printed dipole antenna [C]//IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, 2009:619-622.
- [5] 王安国, 董加伟, 王 鹏. 一种方向图可重构印刷振子天线的设计[J]. 电波科学学报, 2010, 25(1): 190-194.  
WANG Anguo, DONG Jiawei, WANG Peng. Design of printed dipole antenna with reconfigurable radiation pattern[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2010, 25(1): 190-194. (in Chinese)
- [6] ADHIKARI M, WARNICK K F. Miniature radiation pattern reconfigurable antenna for 2.4 GHz band[C]//IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 2010:1-4.
- [7] YANG Xuesong, WANG Bingzhong, WU Weixia, et al. Yagi patch antenna with dual-band and pattern reconfigurable characteristics[J]. Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE. 2007, 6(11): 168-171.
- [8] ZHANG S, HUFF G H, FENG J, et al. A pattern reconfigurable microstrip parasitic array [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2004, 52(10): 2773-2776.
- [9] KORNEK D, MEYER J, ORLOB C, et al. Reconfigurable triangular patch antenna for pattern diversity [C]//European Conference on Antennas and Propagation, 2009:3744-3747.
- [10] LAI M I, WU T Y, HSIEH J C, et al. A compact pattern reconfigurable antenna design for handheld wireless devices[C]//IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 2007:5223-5226.
- [11] LI Yue, ZHANG Zhijun, FENG Zhenghe, et al. A wideband pattern reconfigurable antenna with compact switchable feed structure[C]// International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology, 2010:1012-1015.
- [12] XIE Huanhuan, JIAO Yongchang, NING Shuman, et al. A pattern-reconfigurable Yagi antenna based on EBG ground plane[C]//International Symposium on Signals Systems and Electronics, 2010:1-3.

## 作者简介



**王安国** (1958—), 男, 山西人, 博士。天津大学电子信息工程学院教授, 博士生导师, 中国电子学会高级会员。在国内外学术刊物与会议上发表学术论文 70 余篇。主要研究方向为通信系统理论、天线理论与设计、射频电路分析与设计。



**蔡晓涛** (1985—), 男, 陕西人, 天津大学电子信息工程学院硕士生, 主要研究方向为天线理论与设计及可重构天线的实现方法。

## Design of a circular disc-shaped pattern reconfigurable antenna with parasitic patch

WANG An-guo CAI Xiao-tao LENG Wen

(School of Electronic and Information Engineering,  
Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract** A novel circular disc-shaped pattern reconfigurable antenna with parasitic patches is proposed in this paper. The antenna mainly consists of the central circular patch and five surrounding fan ring parasitic patches with U-shaped slot. The proposed antenna can work in the 5.5GHz WiMAX (World Interoperability for Microwave Access) frequency band and has a good performance of impedance matching at the resonant frequency. By controlling the states of five switches, the main lobe of each pattern directs to one of five different directions in the plane with the elevation angle of 45 degree. Considering the pattern gain and beam width, the antenna can cover all directions in the elevation plane. The gains of the back lobe and side lobe are both low, and the main lobe is high which gain can reach 6.3dB. A good performance of the antenna in directional radiation characteristic and interference restraining can be achieved. The designed antenna is compact in size and low in profile. The effects on the antenna performance of some important structure parameters are also analyzed in the paper. The simulation and measurement results of the proposed antenna are in a good agreement.

**Key words** reconfigurable antenna; pattern; circular disc-shaped; fan ring; parasitic patch