

# 电控可重构波束扫描天线 及其在无线通信和定位中的应用

Belhachat.Messaouda 肖瑞华 朱守正

华东师范大学电子科学技术系 200062

## 摘要

本文提出一个应用射频 PIN 开关的新颖电控可重构天线，它结构简单紧凑，能够进行波束扫描。该天线由一个有源阵子和几个无源阵子组成，能够通过改变开关的状态改变这些无源阵子上的电流分布，进而形成不同的辐射方向图。然后介绍该天线在无线通信和无线定向中的应用。

## 一、引言

电控可重构天线能够在不改变其机械结构的情况下，通过非机械的手段来改变其关键的特性参数，如辐射方向图、极化方式、雷达散射截面和输入阻抗等等。它主要是通过使用射频微电子机械系统 (RF MEMS) 开关或者射频微波 PIN 开关控制天线的辐射结构来实现。RF 开关能够在几个纳秒内做出反应，使用这种开关的电控可重构天线能在很短时间内重构。这种情况下，天线的一些参数可以按照一定的要求灵活地改变。

电控可重构天线的应用范围非常广泛，从军事应用到商业应用。尤其是现在飞速发展的无线通信和导航领域。本文介绍一新颖的可以进行波束扫描的电控可重构定向天线。

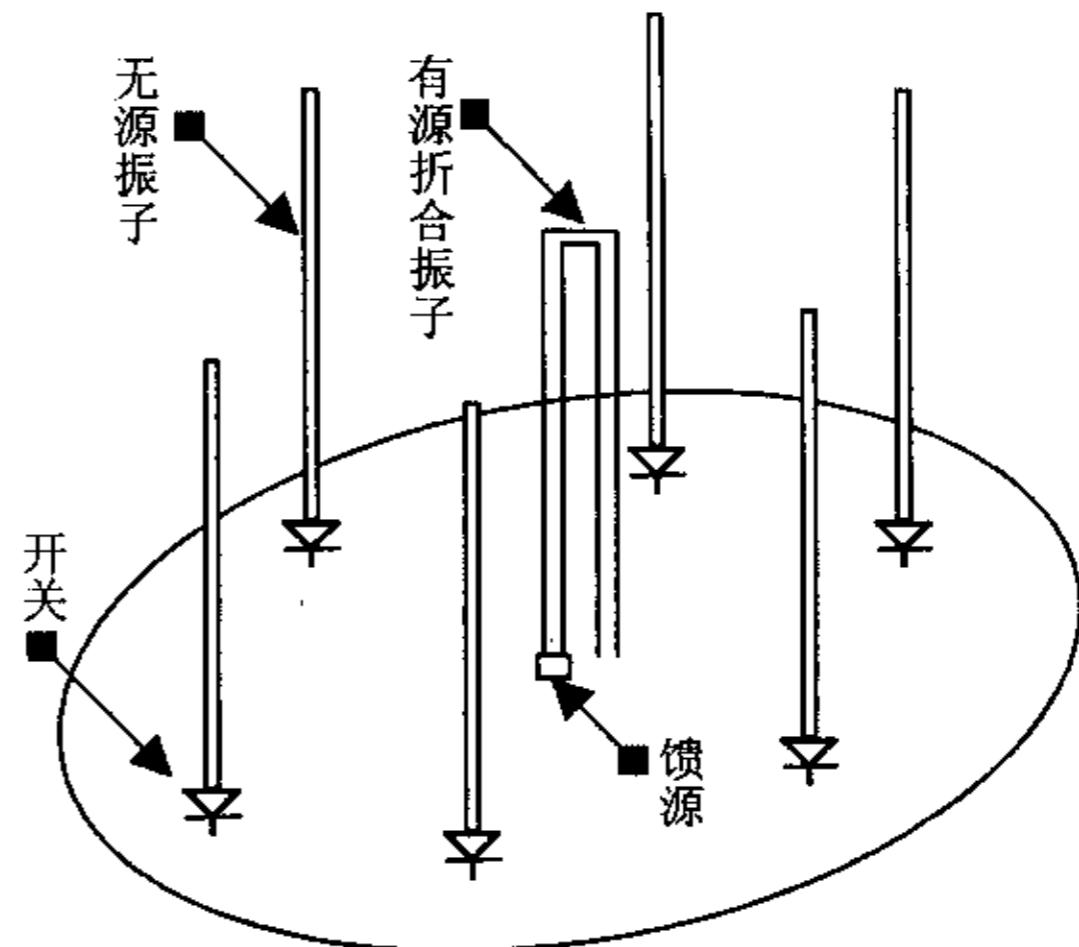
在雷达、遥感、通信和最近的个人定位服务这些应用中，定向天线扮演非常重要的角色。如在数字通信系统中，时分复用的数字传输过程中有周期性的间隙是不传送信息的，这个传输间隙可以用来提高优化通信信道，比如在这个传输间隙中，调整天线使其波束对准移动终端，这种系统就需要一个支持波束扫描的定向天线。在实际的通信系统中，比如在应用 TDMA 方式 GSM 通信系统中，最小的帧间时隙是 4.038ms，这就需要定向天线的波束扫描的速度要足够的快。当应用于定向天线时，需要智能高速的方向搜索技术，若是应用在移动的收发信机上，这个系统还必须是低功耗的。当前的定向技术主要应用机械旋转天线或者相控阵天线。机械旋转天线因为有机械旋转部分则使得系统反应速度慢并且功耗大，相控阵天线反应速度可以很快但是成本太高，对一些应用并不合适，比如在一些简单的小型基站中的天线系统。

我们提出一个可以进行波束扫描、结构简单紧凑、有一定的方向性的定向天线。该定向天线由有一个有源阵子和几个无源寄生阵子组成。可以同过 PIN 开关控制这些无源阵子是否接地来改变该天线的的方向图，从而进行波束扫描。

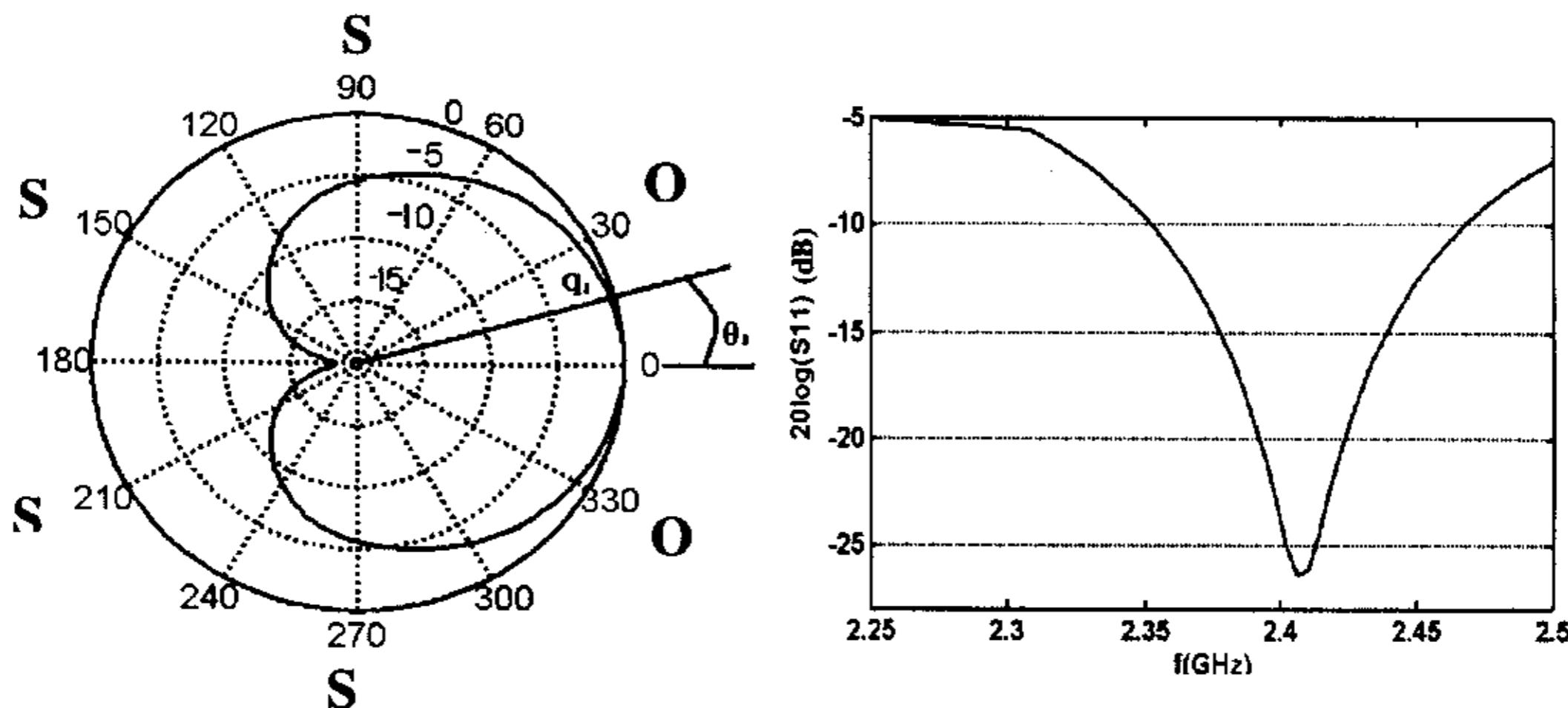
## 二、波束扫描的天线阵

本文给出的电控可重构波束扫描天线的想法来自早期 Yagi 和 Yuda 的工作，主要的思想是应用一个有源阵子，这个有源阵子连接射频收发器，外加一些无源的寄生阵子，这些无源阵子工作在谐振频率附近。这些无源阵子也被称作寄生阵子，它们和有源阵子共同作用组成一个天线阵。这些寄生无源阵子的终端阻抗可以通过 PIN 开关切换，从而改变它们上面的电流分布，改变了辐射方向图。一些无源寄生阵子可以通过 PIN 开关接地，从而变成反射阵子，那些没有接地的无源阵子作为引向阵子对天线阵的作用很小。接收机是一直接在中心的有源阵子上的，则在 RF 射频通路上没有开关，这样减少了开关的插入损耗对天线性能的影响。

本文介绍的电控可重构天线工作在 2.4GHz。图一所示，该天线阵的结构由一个位于中心的有源阵子，六个无源阵子构成。这六个无源均匀分布在以有源阵子为圆心以  $\lambda/8 \sim \lambda/4$  为半径的圆周上。因为无源振子和有源振子的距离比较近，使得在谐振时，输入阻抗比较小，不利于阻抗匹配和天线的制作，所以有源振子选用折合振子，并且通过微调有源振子和无源振子的间距可以获得  $50\Omega$  输入阻抗。应用 Ansoft 公司的基于有限元法的 Hfss8.0 软件仿真本文设计的天线，仿真天线的尺寸是：有源折合振子和无源振子的高度是 27mm、半径为 0.20mm，无源振子均匀分布在以有源振子为圆心半径为 23.33 的圆周上。连续四个开关为接通，其余两个开关为断开状态时的天线的方向图和馈线端的 S11 如图二所示。Preston 在文献[1]中也提出一种简单的波束扫描定向天线，该天线有四



图一、电控波束扫描天线结构示意图



图二、图一中波束扫描天线的在一种开关状态下（相邻四个无源振子接地其它无源振子悬空，图中 S 表示无源振子接地，O 表示无源振子悬空）  
的方向图（左图）和馈线端 S11（dB 表示）（右图）

个位于正四变形的四个顶端的振子构成。通过开关切换选择其中一个振子作有源振子，其它三个振子变成无源振子，来实现波束扫描。Preston 在文献[1]中提出的天线，馈线复杂，需切换有源振子和无源振子，有源射频通路上有单刀多掷开关，天线的功率容量较小，同时它只能形成四个方向的波束。而本文提出的天线只需切换无源振子对地状态（开路和短路），在有源射频通路上没有开关，天线的功率容量相对更大。通过改变无源振子的状态可以得到六个方向的波束。

### 三、在定向工作中的应用

上述电控可重构波束扫描天线可以用无线通信系统的基站上，用来跟踪或发现移动终端的位置。信号源的方位角搜索可以用以下几种方式实现。

方式 1：单个信号源的粗略的方位角

方式 2：单个信号源的精确的方位角

方式 3：两个信号源的精确的方位角

在以上的三种方式中，主要的输入信息是通过改变开关在波束扫描一周得到的。

### （一）方式 1

在这种方式下能够快速的确定待测信号源的粗略方位。对单个信号源来说，如果不需  
要精确的确定其方位角则这种方式最好，因为它最简单并且速度最快。如图 2 所示，用先  
前介绍的天线阵的六种方向图的情况下分别采样场强，则得到  $q_1$ 、 $q_2$ 、 $q_3$ 、 $q_4$ 、 $q_5$ 、 $q_6$  这  
六个结果。可以根据以上六个采样结果的最大值和次大值确定信号源的方位角。比如  
 $q_1 > q_2$ ，且  $q_1$ 、 $q_2$  比  $q_3$ 、 $q_4$ 、 $q_5$ 、 $q_6$  大，则待测信号源在  $0 \sim 15$  度的方位角内。

在这种方式下，确定一个信号源的方位角所用的时间主要由开关时间、模数转换时间  
和信号强度比较时间构成。实际上开关时间是在纳秒级，对于模数转换器所用的时间来说  
PIN 开关时间可以忽略。例如应用 TI 公司的一个时钟为 8MHz 的 MSP430 单片机作为采样  
器和控制器，则可以在 10us 内完成定向操作。这个工作方式可以用来波束重定向和减少电  
波多径传播的影响。

### （二）方式 2

在这种方式下，能够较快并且精确的确定单个信号源的方位角。这种方式下同样需要  
采样在不同接收方向图时的信号强度  $q_1$ 、 $q_2$ 、 $q_3$ 、 $q_4$ 、 $q_5$  和  $q_6$ 。在方式中仅仅比较这六  
个信号强度就可以确定来波方向是在  $30^\circ$  以内，进一步精确判断来波方向需要计算最大值  
和其它测量值之间的差值，然后将这个差值与事先存储的差值表中的数据进行比较，这样  
会得到 5 个方位角，对这五个方位角进行加权平均就可以得到精确的方位角。根据方向图  
的对称性则只需要存储一半的方向图数据。为了提高定向速度可以事先存储方向图的差值  
表，根据方向图的对称性和旋转对称性，只要存储 5 个  $0 \sim 30$  度的方向图数据差值表。这样  
即提高了速度又减少了存储容量。在没有噪声的情况下，这种方式能够提供精确的方位  
角，但是噪声的出现会引入一定的误差。我们用 MATLAB 仿真得出，在入射波上叠加  $-20$ dB  
噪声的情况下，引入的方向误差小于  $4^\circ$ 。

在这种工作方式下，系统所用时间包括开关时间、模数转换时间、计算和查表时间，  
与的一种工作方式相比它的计算和查表时间相对要长。同样应用 TI 公司的一个时钟为 8MHz  
的 MSP430 单片机作为采样器和控制器，整个过程所用时间小于 40us。

这种工作方式不能区别同一个扇区里的两个信号，如果有两个信号在不同的扇区内则  
可能辨别并跟踪有用的信号。

### （三）方式 3

在这种工作方式下，可以精确的确定多个信号源的方向。下面介绍 2 个信号源时情况。  
前面介绍的电控可重构波束扫描天线，通过控制 PIN 开关的状态可以顺序的得到六种方向  
图，并且分别采样得到 6 个信号强度  $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$ 、 $p_4$ 、 $p_5$  和  $p_6$ ，由此可以得到 6 个非相  
关方程。假设该波束扫描天线接收到从  $N$  个方向入射， $m_n$  是第  $n$  个人射信号的强度， $\theta_n$  是  
第  $n$  个人射信号的入射角， $G(\theta)$  是该天线的一个方向图函数，则可以得到以下几个方程。

$$q_1 = m_1 G(\theta_1) + m_2 G(\theta_2) + \dots + m_N G(\theta_N) \quad \dots \dots (1)$$

$$q_2 = m_1 G(\theta_1 + 60) + m_2 G(\theta_2 + 60) + \dots + m_N G(\theta_N + 60) \quad \dots \dots (2)$$

$$q_3 = m_1 G(\theta_1 + 120) + m_2 G(\theta_2 + 120) + \dots + m_N G(\theta_N + 120) \quad \dots \dots (3)$$

$$q_4 = m_1 G(\theta_1 + 180) + m_2 G(\theta_2 + 180) + \dots + m_N G(\theta_N + 180) \quad \dots \dots (4)$$

$$q_5 = m_1 G(\theta_1 + 240) + m_2 G(\theta_2 + 240) + \dots + m_N G(\theta_N + 240) \quad \dots\dots(5)$$

$$q_6 = m_1 G(\theta_1 + 300) + m_2 G(\theta_2 + 300) + \dots + m_N G(\theta_N + 300) \quad \dots\dots(6)$$

在上面的六个方程中，当  $N$  为 2 时，每两个可以组成一个方程组，对每个方程组，通过  $\theta_1$  和  $\theta_2$  组合可以求出一组  $m_1$  和  $m_2$ ，当两个方程组相应的  $m_1$  和  $m_2$  相等时（或者最相近时）的  $\theta_1$  和  $\theta_2$  就是所要求解的两个信号源的方位角。当  $N$  小于等于 5 时，应用同样的方法可以得到  $N$  个信号源的方位角。

#### 四、总结

本文介绍了一新颖的电控可重构波束扫描天线，并介绍其在无线通信中和定向中的应用。该天线结构简单紧凑，仅需要一个射频收发单元，不需要机械的转动部件和复杂的相移电路，仅需很少的系统资源（功耗、时间和计算能力）就能够确定信号源相对于本天线的相对方位角。能够辨别同时从多个方向入射的波。

#### 参考文献

- [1] S.L.Preston, etc, Base-Station tracking in mobile communications using a switched parasitic antenna array. *IEEE Transactions on antenna and propagation*, vol.46,no.6,June 1998
- [2] R.Vaughan. Switched parasitic elements for antenna diversity, *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 1997



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>