

一种宽带Van Atta天线阵

陈蕾 史小卫 郭玉春 程海荣

西安电子科技大学，天线与微波技术国家重点实验室，西安 710071

leichen@mail.xidian.edu.cn

摘要：本文研究分析了频偏的 Van Atta 阵列性能，提出了一种宽带的频偏 Van Atta 阵的实现方案。通过阵列幅度、相位、链路增益等的仿真分析，可以看出本文提出的 Van Atta 阵列可以很好的实现宽带的方向回溯，同时具有频偏功能以及较高的隔离度，并且可以在一定程度上补偿由单元方向图的方向性引起的波束指向误差。

关键词：频偏，Van Atta 阵，宽带

A Broadband Van Atta Antenna Array

Chen lei, Shi xiaowei, Guo yuchun and Cheng hairong

National Key Laboratory of Antennas and Microwave Technology, Xidian University, Xi'an, 710071

Abstract: In this paper, a broadband frequency offset Van Atta array is presented by analyzing the performance of usual frequency offset Van Atta array. The simulations of the amplitude and phase and the gain of the link path of the array show that this new antenna array which can compensates for the beam pointing error introduced by antenna array element directivity has the self-phasing capability with frequency offset and good isolation.

Keywords: Frequency Offset; Van Atta Array; Broadband

1 引言

方向回溯天线^[1-3]能够将来波信号自动反射到入射方向，不需要来波信号的先验知识。整个阵列采用模拟信号处理，具有较高的链路增益以及低成本、抗多径干扰等特点，逐渐在雷达、通信等诸多领域得到应用。

方向回溯天线最初的表现形式是角反射器，采用两个正交放置的平板构成，入射信号通过两次反射回到了与入射信号平行的方向。但是由于角反射器的尺寸比波长大得多而且不容易集成在电路中，限制了它的应用。1959年，L.C.Van Atta提出了Van Atta阵列结构^[4]，天线的接收信号由其对偶天线重新发射出去来实现方向回溯。研究表明，Van Atta阵的雷达散射截面比相同尺寸的角反射器高50%左右^[5]，因此他具有较小的体积和更宽的视角。但是这种阵列结构要求入射波的波前和阵列都必须是平面的。方向回溯天线的另外一种实现方式是利用混频电路实现相位共轭技术。由于混频电路实现简单，应用方式灵活，可以实现较多的功能，应用范围很广。

近年来，Van Atta阵具有了多种发展形式^[6-8]，文献[9]和[10]都提出了一种宽带的Van Atta阵，但是不具有频偏^[11]功能。由于在阵列中引入频偏可以增加收发

隔离，实现频分双向通路，并且在一定程度上补偿波束指向误差，因此使用较多。但是通常频偏模式的Van Atta阵列都在点频或者很窄的频带内工作，本文主要研究了频偏模式的Van Atta阵列结构，结合微小频移混频器提出了一种宽带频偏Van Atta阵。仿真结果表明，这种结构的阵列可以很好的实现宽带频偏的方向回溯，有较广泛的应用。

2 Van Atta阵

Van Atta阵是由到天线阵中心距离相等的天线对组成，每个天线对用等长传输线连接，如图1所示。每个天线单元接收到的信号由与他成对的天线单元辐射出去，来实现方向回溯。阵列的带宽仅仅由天线单元的带宽决定。Van Atta阵中，收发天线可以使用同一副天线，通常须采用环行器来提高隔离度，这种双向的结构可以减小阵列体积。如果在传输线中引入放大器，可以增加发射功率，提高链路增益。

图2所示为频偏模式的Van Atta阵，即在传输路径中引入一个微小的频移。由于天线阵收发频偏，具有比通常的Van Atta阵更高的隔离度以及更广泛的应用。从文献[11]的分析可知，当转发频率略小于接收频率时，频偏可以补偿由单元方向图的方向性引起的波束指向误差。波束指向误差与频偏之间的关系式如下：

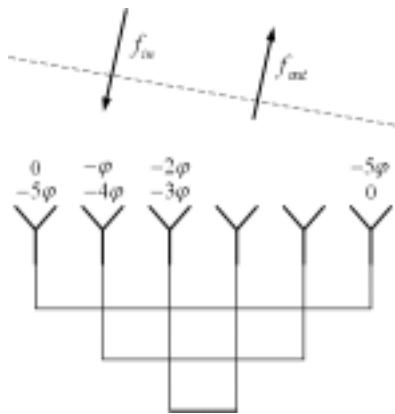


图1 Van Atta 阵列结构

$$\frac{\sin(\theta_{in} + \Delta\theta)}{\sin(\theta_{in})} = \frac{f_{in}}{f_{out}} \quad (1)$$

由于频偏量通常较小，如果在一定频带范围内工作，混频后的和频和差频都落在带内，无法用滤波器滤出，因此通常这种结构的天线阵一般都工作在点频，收发频率是固定的。

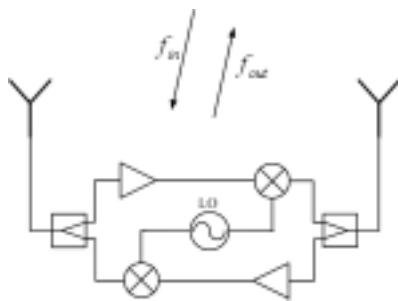


图2 频偏 Van Atta 阵列结构

3 宽带频偏Van Atta阵

对图2所示的电路结构进行改进，采用宽带的微小频移混频器来代替原来的混频器，就可以实现阵列的宽带化。基于变相位型SSB调制器的微小频移混频器的原理框图如图3所示。

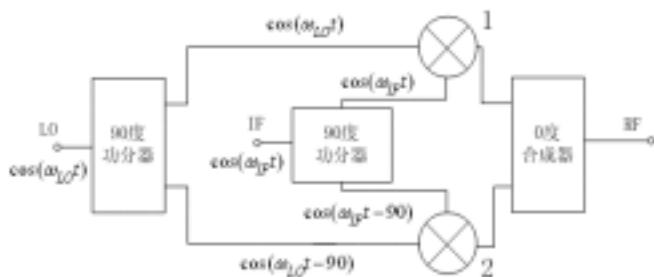


图3 SSB 调制器原理

如图3所示，LO信号和IF信号以相位彼此正交的方式馈入，两个混频器的输出由一个同相功率合成器来合成。如果不考虑两支路幅度和相位误差的影响，假设LO支路的信号为 $\sin(\omega_{LO}t)$ ，IF支路的信号为 $\sin(\omega_{IF}t)$ ，那么可以得到，两个混频器的输出分别为 $E_1 = \sin(\omega_{LO}t)\sin(\omega_{IF}t)$ 和 $E_2 = \cos(\omega_{LO}t)\cos(\omega_{IF}t)$ ，因此，总的输出为 $E_{out} = E_1 + E_2 = \cos(\omega_{LO} - \omega_{IF})t$ 。这时，只有下边带在混频器的输出端产生，另一个边带信号被抑制。因此基于SSB调制器原理实现的微小频移混频器在输出端只有差频信号产生。

采用这种微小频移混频器来代替原来的混频器，可以在保持原来的 Van Atta 阵性能不变的前提下实现阵列的宽带化，这时，整个频偏模式的 Van Atta 阵的带宽将由单元天线带宽和单个混频器的带宽来决定。这种频偏模式的 Van Atta 天线阵可以应用于更广泛的领域中。

4 系统性能分析

为了验证系统的性能，采用Agilent ADS软件进行仿真分析。

4.1 仿真模型

如图4所示，构建了两路Van Atta阵进行原理仿真，混频器采用SSB形式的微小频移混频器，单个混频器的变频损耗为8dB，两支路幅度不一致性为0.15dB，相位不一致性为2°；输入信号幅度-32dBm；放大器增益24dB。

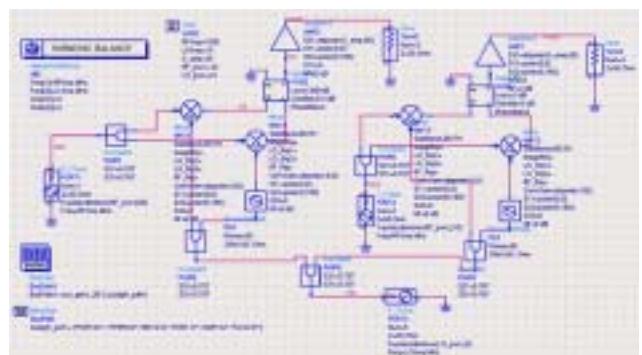


图4 宽带频偏 Van Atta 阵仿真模型

4.2 系统幅相性能

设系统输入频率1GHz，频偏 ($\Delta f = f_{in} - f_{out}$) 为10MHz时，得到的输出频谱图如图5所示。

由图中可以看出，输出信号在频率0.99GHz时幅度为-19dBm，频率1.01GHz的信号幅度为-53.2dBm，边带抑制度为34.2dB。仿真结果显示阵列很好的满足了频偏输出的要求。

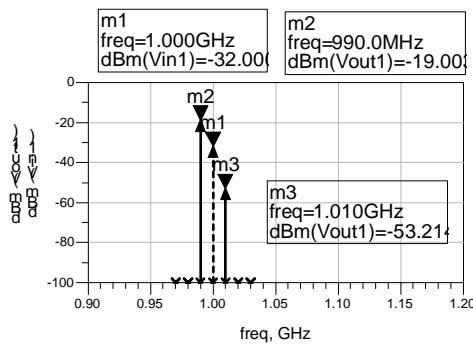


图5 阵列输出频谱图

由于Van Atta阵列的不同支路采用等长传输线连接，如果不考虑由传输线和射频器件引入的相位差，当两个支路的输入相位分别为 60° 和 15° 时，可以得到在输出频率0.99GHz时，相应天线对的相位分别为 59.5° 和 15.5° ，符合Van Atta阵相应天线对相位传输的要求。在0.9GHz~1.1GHz范围内进行仿真，幅度和相位都可以得到同样的结果，这种形式的阵列可以达到宽带频偏方向回溯的功能。

由于微小频移混频器采用平衡结构，因此两支路的幅度和相位不一致性对输出影响较大，仿真结果如表1所示，设输入频率1GHz，频偏10MHz。

表1 混频器两支路的幅相不一致性的影响

幅度不一致/dB	相位不一致/度	边带抑制度/dB	相位误差/度
0.10	1	39.6	0.5
0.15	2	34.2	1.0
0.20	4	28.7	2.0

表1的结果显示，随着混频器两支路的幅相不一致性增加，整个阵列的边带抑制度降低，而相位误差增加。当两支路的幅相不一致性增加到0.2dB和4°时，边带抑制度只有28.7dB，若再考虑实际电路制作加工误差等因素，因此设计这种宽带Van Atta阵最低要求的混频器两支路的幅度和相位不一致性应小于0.2dB和4°。由以上分析可知，这种宽带频偏方向回溯阵的性能主要取决于微小频移混频器的性能，在采用宽带天线的前提下，只要实现精度较高的混频器，就可以实现宽带的频偏Van Atta阵。

4.3 链路增益

对其中一个收发支路进行链路增益仿真，结果如表2所示。

表2 链路增益仿真结果

POR1	PWR7	MIX15	HYB2	AMP2	Term5
-32	-35	-43	-43	-19	-19

作者简介：陈蕾，女，博士生，主要研究领域为方向回溯天线、智能天线等；史小卫，男，教授、博士生导师，主要研究领域为计算电磁学、智能天线和射频识别等。

整个阵列的增益主要取决于单个混频器和放大器的增益。因此选用低损耗或者有源混频器以及高增益放大器可以很好的增加链路增益，提高阵列的性能。

5 结论

本文研究分析了频偏的Van Atta天线阵的性能特点，在此基础上提出了一种宽带的频偏Van Atta天线阵。通过理论分析以及对系统幅度、相位、链路增益等的仿真实验，可以看出本文提出的Van Atta天线阵列有良好的宽带方向回溯功能，同时因为具有收发频偏的特性，具有较高的隔离度，并且可以在一定程度上补偿由天线单元方向图的方向性引起的波束指向误差，有较为广泛的应用前景。

参考文献

- V. F. Fusco and S. L. Karode, Self-Phasing antenna array techniques for mobile communications applications, Electron. Commun. Eng. J., 1999, 11(6), 279-286.
- Ryan Y. Miyamoto Tatsuo Itoh, Retrodirective arrays for wireless communications, IEEE Microwave Mag., 2002, 71-79.
- Darren S. Goshi, Kevin M. K. H. Leong and Tatsuo Itoh, Recent Advances in Retrodirective System Technology, Proc. IEEE Radio Wireless Symp., 2006, 459-462.
- Atta, L.C.V. 'Electromagnetic Reflector.' US:2 908,1959.
- E. D. Sharp and M. A. Diab, 'Van Atta Reflector Array.' IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 1960, 8(4):436-438.
- Ka Wai Wong, Leung Chiu and Quan Xue, A 2-D Van Atta Array Using Star-Shaped Antenna Slements, IEEE Trans. on Antennas and Propagation, Vol.5, No.44, 2007.
- Christodoulou, M. G., Chrissouliidis, D. P. 2D Van Atta Retrodirective Array Using Dual Polarized Two-Port Square Microstrip Patches, IEEE Eleventh International Conference on Antennas and Propagation, 2001, Vol.2: 814-816.
- Nair, B., Fusco, V. F. Two-Dimensional Planar Passive Retrodirective Array, Electron Letters, 2003, 39(10), 768-769.
- Yu-Jiun Ren, Kai Chang, A New Millimeter-Wave Broadband Retrodirective array for ka-band applications, 2007.
- Leung CHIU, Quan XUE, and Chi Hou CHAN, A Wideband Circularly-Polarized Active Van Atta Retrodirective Transponder with Information Carrying Ability, Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference, 2006.
- S. L. Karode and V. F. Fusco, Frequency offset retrodirective antenna array, Electronics Letters, Vol.33, No.16, 1997.

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(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),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>