

一种宽带光控相控阵天线实验系统

金谋平¹, 官 伟¹, 郭 俊¹, 齐美清¹, 郭 艳²

(1 华东电子工程研究所, 安徽合肥 230031; 2 解放军理工大学理学院, 江苏南京 210007)

摘要: 本文介绍了一种宽带光控相控阵天线实验系统, 阐述了采用光学技术控制的 S 波段 96 单元阵列的系统设计与性能, 重点说明该系统的宽带特性. 该系统采用了一种基于 RF 开关的五位光延迟网络实现宽的瞬时带宽. 实验结果表明, 在 2.5 GHz~3.5 GHz 频带内, 波束指向未出现偏移.

关键词: 真实时间延迟; 光控相控阵; 天线

中图分类号: TN958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2006) 06-1127-03

Experimental System of a Wideband Optically Controlled Phased Array Antenna

JIN Mouping¹, GUAN Wei¹, GUO Jun¹, QI Meiqing¹, GUO Yan²

(1 East of China Research Institute Electronic Engineering, Hefei, Anhui 230031, China;

2 Institute of Science, People's Liberation Army University of Science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210007, China)

Abstract: A experimental system of a wideband optically controlled phased array antenna is presented. The paper will cover the system design and performance of an S band 96 element array controlled by photonics. The wideband performance of the system will be highlighted. The 5 bit photonic time delay unit based on RF switch afford wide instantaneous bandwidth. The test array patterns show no beam squints over 2.5 to 3.5 GHz range.

Key words: true time delay; optically controlled phased array; antenna

1 引言

为了提高相控阵雷达的抗干扰能力, 相控阵天线必须具有尽可能大的带宽; 为了提高雷达的分辨、识别能力和解决多目标雷达的成像问题, 相控阵雷达必须采用具有大瞬时信号带宽的信号. 常规相控阵天线是由微波移相器对波束进行控制, 但因波束偏斜 (即扫描与频率相关), 存在着频率带宽有限的缺点, 要获得大的瞬时信号带宽, 必须引入实时延迟技术^[1].

近年来, 随着光电子技术的发展, 光控相控阵技术受到人们的特别关注. 光控相控阵就是利用光纤和光电子技术, 通过实时延迟来实现波束形成和控制, 解决天线阵的宽带瞬时信号工作能力^[2].

2 系统介绍

我们研究的是一个接收天线实验系统, 如图 1 所示. 该系统利用光延迟线提供实时延迟以实现宽的瞬时带宽. 天线阵有 24 列宽带辐射单元构成, 每一列单元有 4 个辐射单元, 由接收组件中的 5 位微波移相器控制, 每三列组合成一个子阵, 共有 8 个子阵, 每一个子阵由一个 5 位光

纤延迟线控制. 光纤延迟线为子阵提供长的粗时延, 而接收组件中的微波移相器为各单元实现小的精细时延. 这样, 每一列单元有总数为 10 位的时延控制.

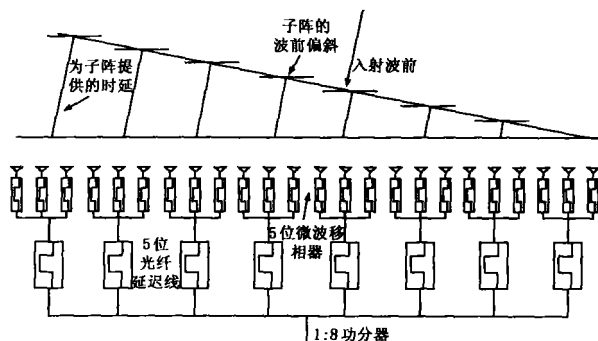


图 1 采用实时延迟馈电网络实现宽带波束形成

3 宽带天线单元

为满足光控相控阵天线实验系统的宽带要求, 对天线单元设计带宽提出了更高的要求. 对于宽带天线, 文献 [3] 提出一种线性渐变型缝隙天线 (LTSA), 具有倍频程的工作带宽, 但这种天线的显著缺点是尺寸大, 我们采用

Qian^[4]等提出准八木型微带天线,其结构简单紧凑,易于集成到微带电路中去,驻波小于2的工作带宽有48%。准八木型微带天线结构如图(2)所示,主要由两部分组成:上半部分为辐射部分,包括印刷偶极子和引向器,下半部分是微带线到共面带线(CPS)的转换,微带线的两个臂相差半波长,以实现共面带线的奇模激励,因而起到一个宽带巴仑的作用,微带线背面截断的接地面起到反射器的作用。

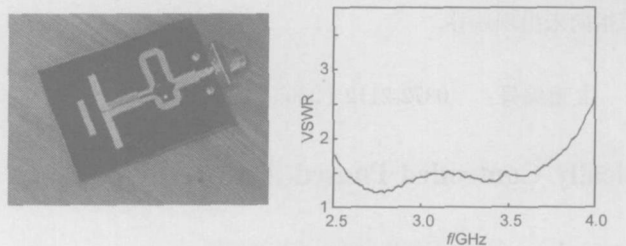


图2 宽带天线单元及其驻波特性

4 光纤延迟线组件

4.1 光纤延迟线的设计

光纤延迟线组件是宽带波束形成网络中的一个重要部件,按实现方式可以分为以下三类:

(1)调制在光频上的宽带微波信号经由不同的路径,由光开关^[5]或电开关^[2]对路径进行选择,得到所需要的延迟;

(2)微波光载波的传输只有一条路径,路径长度的控制由热、电、机械等方法实现,以控制延迟,如电压控制的空间光调制器(SLM)^[6]等;

(3)信号传输路径含有高色散元件,通过改变光频控制延迟,如利用高色散光纤^[7]、啁啾光纤光栅^[8]等。

我们采用第一类基于RF开关的光纤延迟线,图3是五位光纤延迟线组件的结构示意图,它为子阵提供延迟范围为0.25ns~7.75ns的粗时延,而T/R组件中的RF延迟线实现精细差分延迟范围0.01ns~0.32ns。光纤延迟线组件内部关键元件是单刀8掷RF开关、8只半导体激光器、一只4×8光纤耦合器和单刀4掷RF开关、后置放大器。

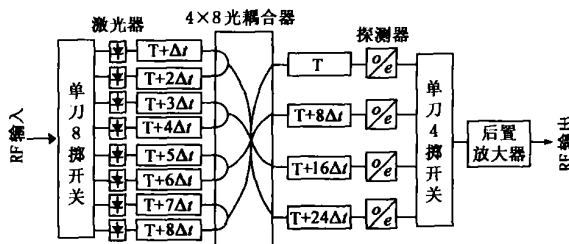


图3 基于RF开关的5位光纤延迟线组件

微波信号通过单刀8掷RF开关,对8只激光器之一进行调制。该激光器将微波信号变换成光信号,光信号再

被耦合进入4×8光纤耦合器。经耦合器分束后,光信号入射到探测器上。通过单刀4掷RF开关接通4个探测器中的一个,就能输出可选择32种预置延迟之一的RF信号。然后,RF信号经后置放大并分成三路,分别馈送给5位微波移相器。

4.2 光组件的性能

光纤延迟线的一个重要指标是延迟精度。图4给出了光纤延迟线某一通道的绝对相位测试结果,说明光纤延迟线的相位是线性的,且频率失真很小,图5是光纤延迟线延迟的测试结果,延迟偏差小于0.03ns。

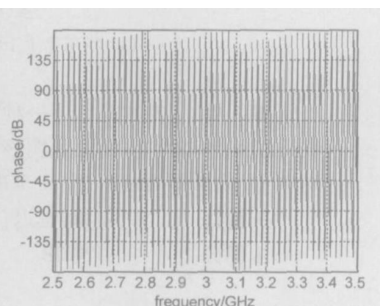


图4 光纤延迟线绝对相位测量

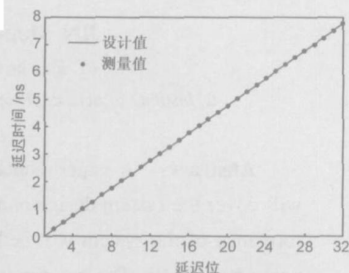


图5 光纤延迟线延迟时间的测量

5 系统测试

本实验系统在微波暗室内进行天线波瓣测试,整个系统架设在转台上(见图6),根据扫描角确定波控码,控制光纤延迟线和移相器的状态,然后改变工作频率,测试各频率点的天线方向图。

图7给出了频率为2.5GHz、3GHz和3.5GHz,扫描角为-45°、0°和45°时天线方向图,从图中可以看出,在2.5GHz~3.5GHz范围内,波束指向未出现偏移。图8是只用移相器控制波束扫描时,2.5GHz~3.5GHz范围内的天线方向图,当频率从2.5GHz变化到3.5GHz时,波束指向从59°偏到37°。这清楚地反映了采用实时延迟波束形成网络的光控相控阵天线宽带宽角扫描特性,采用移相器的传统相控阵天线不可能得到这一性能。

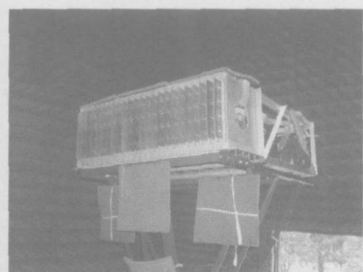


图6 光控相控阵天线系统

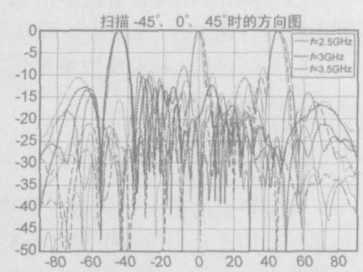


图7 频率为2.5、3和3.5GHz,扫描角为-45°、0°和45°时天线方向图

6 结论

本文验证了基于实时延迟的光控相控阵天线的宽带宽角扫描特性. 该天线系统采用了一种基于 RF 开关的五位光纤延迟线, 其宽带能力远超过常规电控相控阵天线. 但

就工程应用而言, 还有许多问题需要深入研究加以解决, 譬如通道间的幅相一致性、环境适应性、抗振动与冲击问题、功耗问题、成本问题以及体积、重量等等.

感谢 中国电子科技集团公司第 44 所刘必晨主任在光纤延迟线方面所作的工作

参考文献:

- [1] 张光义. 相控阵雷达系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 1994.
Zhang Guangyi. Phased Array Radar System[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1994. (in Chinese)
- [2] J J Lee, et al. Photonic wideband array antenna[J]. IEEE Trans on AP, 1995, 43(9): 966–982.
- [3] R N Simons, R Q Lee. Spatial frequency multiplier with active linearly tapered slot antenna array[A]. Digest of the Intl. IEEE MTT-S Symp[C]. San Diego, CA. 1994, (3): 1557–1560.
- [4] Y Qian, W R Deal, N Kaneda, T Itoh. Microstrip-fed quasipyagi antenna with broadband characteristics[J]. e-letronics letters, 1998, 34(12): 23.

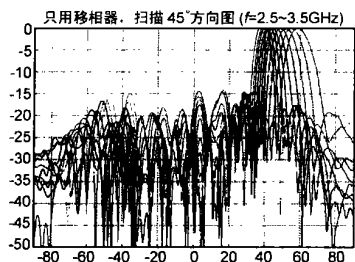


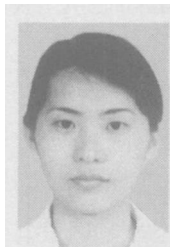
图 8 在 2.5~3.5GHz 范围内, 只用移相器, 波束扫描 45° ($f=3\text{GHz}$) 时的天线方向图

- [5] E Ackerman, et al. Integrated 6 bit photonic true time delay unit for lightweight 3GHz ~ 6GHz radar beam former[A]. IEEE MTT-S Digest[C]. USA: IEEE, 1992. 681–684.
- [6] D Dolfi, P Joffre, et al. Experimental demonstration of a phased array antenna optically controlled with phased and time delays[J]. Applied Optics, 1996, 35(26): 5293–5300.
- [7] Michael Y Frankel, Ronald D Esman. True time delay fiber-optic control of an ultrawideband array transmitter/receiver with multibeam capability[J]. IEEE Trans on MTT, 1995, 43(9): 2387–2394.
- [8] J L Corral, J Martí, J M Fuster. Optical up-conversion on continuously variable true time delay lines based on chirped fiber gratings for millimeter wave optical beam forming networks[J]. IEEE Trans on MTT, 1999, 47(7): 1315–1320.

作者简介:



金谋平 男, 1968 年生于安徽安庆, 2000 年获西安电子科技大学电磁场与微波技术专业博士学位, 现为华东电子工程研究所高级工程师, 主要研究领域为天线与微波工程系统设计.
E-mail: jinmoup_cn@sina.com



官伟 女, 1979 年生于黑龙江大庆, 2005 年毕业于哈尔滨工程大学, 硕士, 现为华东电子工程研究所助理工程师, 主要研究领域为光电子技术.