

doi: 10.3969/j.issn.1001-893x.2013.06.006

交叉极化干扰消除技术研究*

王万玉^{1,**}, 陈金树²

(1. 中国科学院 遥感与数字地球研究所, 北京 100094; 2. 清华大学 电子工程系, 北京 100084)

摘要:针对双极化频率复用系统中的交叉极化干扰问题,提出了全数字交叉极化干扰消除器的设计方案,研制了具有交叉极化干扰消除、解调功能的一体化工程样机。测试结果表明,该设备对交叉极化干扰的消除效果明显。

关键词:星地数据传输;频率复用;解调器;交叉极化干扰消除;自适应滤波器

中图分类号:TN919.3;TN76 文献标志码:A 文章编号:1001-893X(2013)06-0707-04

Study on Cross-polarization Interference Cancellation Technology

WANG Wan-yu¹, CHEN Jin-shu²

(1. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;
2. Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: To remove the cross-polarization interference of dual-polarized system, an all-digital cross-polarization interference canceller is designed as a module of a demodulator. An engineering prototype is accomplished with cross-polarization interference cancellation and demodulation, and is experimentally verified.

Key words: satellite-ground data transmission; frequency reuse; cross-polarization interference cancellation; demodulator; adaptive filter

1 引言

随着对地观测技术的发展,获取的遥感信息容量呈几何级数增长,将卫星获取的原始数据传回到地面变得越来越困难。星地链路需要传输的信息速率越来越高,占用的带宽也越来越宽,宽带高速传输已经成为星地数据传输发展的必然趋势。

占用更宽的频带、提高频谱资源利用率是提高传输速率的两个技术途径。提高频谱利用率的方法主要有两种:一是采用多进制数字调制(包括幅度、频率、相位及其联合调制)体制,提高单位带宽或者每符号的传输比特数;另外一种方法就是采用频率复用技术。频率复用(极化复用)技术是提高频谱利用率的一种既实用又经济的方法,在国内外遥感卫星高码速数据传输中也得到越来越多的应用,如 WorldView1&2、Geoeye-1、ZY-3、GF 系列卫星等。

采用双圆极化频率复用技术的极轨卫星对地数据传输采用点波束,且卫星(含星上天线)和地面接收站天线是不断运动的,星地天线的对准偏差造成星地合成轴比下降^[1],加之空间传播链路对电磁波去极化的影响(空间传播链路对 Ka 频段去极化的影响尤为严重)^[2-3],使得星、空间传输链路、地合成轴比下降,导致交叉极化干扰。因此,在卫星和地面天馈系统设计时,需尽可能提高天馈系统的轴比。同时,在地面接收系统设计时需采用交叉极化干扰消除技术,降低交叉极化干扰的影响。

提高天线的隔离度会大大增加天线制造的成本,而且提高幅度有限,因此研究有效且可工程实现的极化干扰消除技术是提高星地传输速率的重要保障。

2 交叉极化干扰分析

双圆极化频率复用技术指在相同的频率范围

* 收稿日期:2013-05-03;修回日期:2013-06-16 Received date:2013-05-03;Revised date:2013-06-16

** 通讯作者:wywang@ceode.ac.cn Corresponding author:wywang@ceode.ac.cn

内,利用相互正交的两个极化波同时传输两路独立的信号,如使用水平线极化、垂直线极化或者左旋圆极化、右旋圆极化。利用双圆极化频率复用技术可以使传输容量加倍,大大提高了频谱利用效率。在频谱资源如此紧张的今天,双圆极化频率复用技术是提高频谱利用率的一种既实用又很经济的方法。

然而,极化复用技术有一个问题,就是它不可避免地会带来一定程度的交叉极化干扰,如图1所示,即传输的两路正交极化信号会有部分功率泄露到另外一个极化方向上,造成交叉极化干扰,导致系统性能恶化。

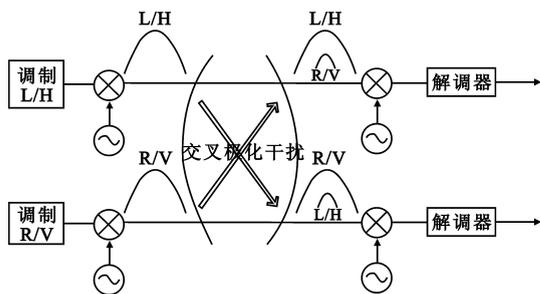


图1 双极化系统交叉极化干扰图

Fig.1 Cross-polarization interference diagram of dual-polarized system

引起交叉极化干扰的原因主要有以下几个方面:

- (1)星载天线的极化鉴别率;
- (2)传输路径去极化效应(如降雨、冰晶、沙暴、尘暴的影响);

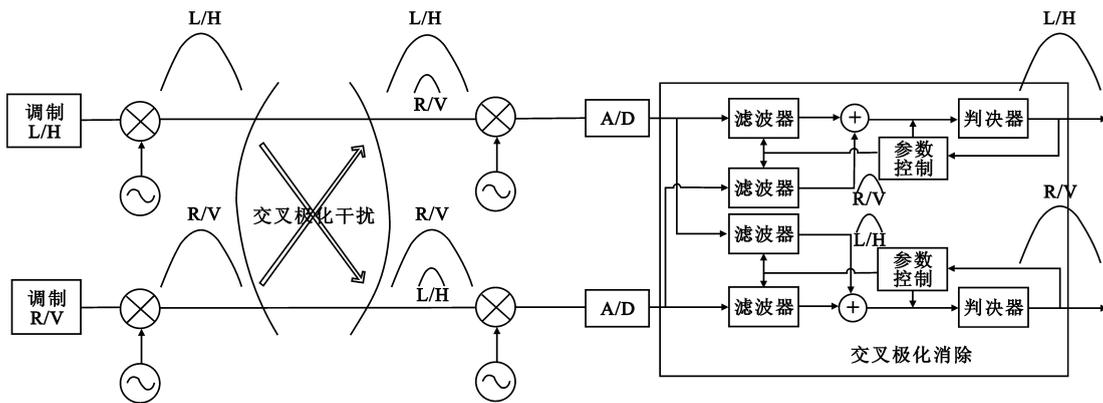


图2 交叉极化干扰消除原理图

Fig.2 Schematic diagram of cross polarization interference cancellation

中频的极化干扰消除是中频模拟信号经过AD采样变成中频数字信号,然后经过交叉极化干扰消除器,消除极化干扰得到干净的水平 and 垂直路信号,然后分别送给两个解调模块进行解调等后续操作。基带的极化干扰消除是在信号经过载波同步和码元

(3)接收站天线的极化鉴别率;

(4)星、地天线的指向误差。

一般情况下,在X频段,星载天线的极化鉴别率为26.7 dB,接收站天线的极化鉴别率为30.5 dB,由于各种恶劣因素的影响,星、空间链路及地的合成极化鉴别率可能会降低到13 dB左右;而在Ka频段,星载天线的极化鉴别率为23.2 dB,接收站天线的极化鉴别率为30.5 dB,由于各种恶劣因素的影响,星、空间链路及地的合成极化鉴别率可能会降低到8 dB左右。由于交叉极化干扰的影响,系统的性能会急剧下降。

3 交叉极化干扰消除基本原理

为了消除两个极化方向上的干扰,要么提高天线的极化隔离度,要么采用交叉极化干扰消除技术。提高天线的隔离度会大大增加天线制造的成本,而且提高幅度有限,因此研究有效且可工程实现的极化干扰消除技术是提高星地传输速率的重要保障。

如图2所示,极化干扰消除技术基本原理是:用一路信号减去另一路信号经过滤波器后的信号,然后采用相关算法来得到误差信号,从而将干扰消除,得到干净信号。极化干扰消除可以在射频、中频或者基带进行。就目前而言,由于在射频段有一些不可控因素,大多数的极化干扰消除操作是在中频^[4]或者基带^[5-6]进行的。

同步后进行的,通过对垂直和正交的两路基带信号进行处理得到的。

基于全数字高码速解调器具备:中频直接采样的全数字化处理技术,满足高速数据传输、交互的超高速器件和接口技术;强大的DSP信号处理、并行

处理技术等,极化干扰消除大多作为模块插入解调器中,或利用解调器自身的资源与解调器进行一体化设计。

4 交叉极化消除技术方案

基于清华大学现有的全数字解调器自身的资源,并分析了中频和基带交叉极化消除技术需求,确定在基带实现了交叉极化干扰消除功能。考虑到主路和干扰路的信号同步问题,采用在载波同步后进行数据交互,如图 3 所示。

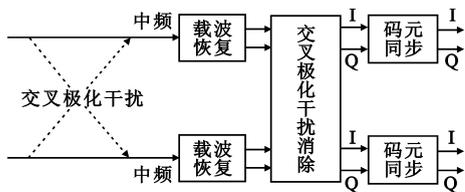


图 3 基带交叉极化干扰消除框图

Fig.3 Block diagram of cross-polarization interference cancellation

基带极化干扰消除器设计如图 4 所示。

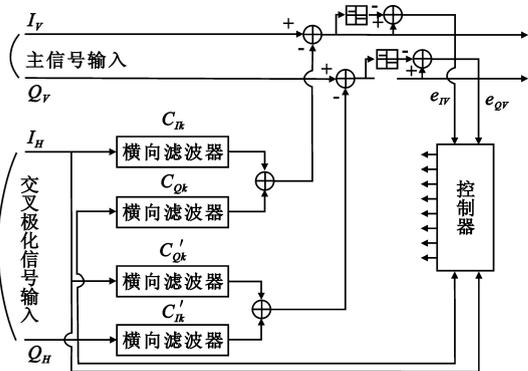


图 4 基带极化干扰消除器

Fig.4 Cross-polarization interference canceller

图 4 中只显示了一路干扰的消除过程,另外一路也用同样的原理进行干扰消除。在图中使用横向滤波器来作为自适应滤波器,通过使得系统输出功率最小为准则来调节横向滤波器的系数,从而使得输出信噪比达到最大。

利用 LMS 算法来得到滤波器系数迭代公式为

$$C_k(n+1) = C_k(n) + uE[x(n-k)e(n)] \quad (1)$$

为了简化计算,节约资源,用 $x(n-k)e(n)$ 来代替 $E[x(n-k)e(n)]$,即上式可表示为

$$C_k(n+1) = C_k(n) + ux(n-k)e(n) \quad (2)$$

在上述系统中,系数迭代公式如下:

$$\begin{cases} C_{Ik}(n+1) = C_{Ik}(n) + uI_H(n-k)e_{IV}(n) \\ C_{Qk}(n+1) = C_{Qk}(n) + uQ_H(n-k)e_{IV}(n) \\ C'_{Qk}(n+1) = C'_{Qk}(n) + uI_H(n-k)e_{QV}(n) \\ C'_{Ik}(n+1) = C'_{Ik}(n) + uQ_H(n-k)e_{QV}(n) \end{cases} \quad (3)$$

依据上述方案,将交叉极化干扰消除功能与解调器进行一体化设计,实现了具有交叉极化干扰消除、解调功能的工程化样机。

5 性能测试

将两路 450 Mb/s、OQPSK 信号经过衰减器和不同长度传输线后叠加到另外一路上来模拟带极化干扰的信道环境,其中,用衰减器对信号幅度进行衰减,传输线用来引入群时延偏差。交叉极化干扰消除性能测试图如图 5 所示。

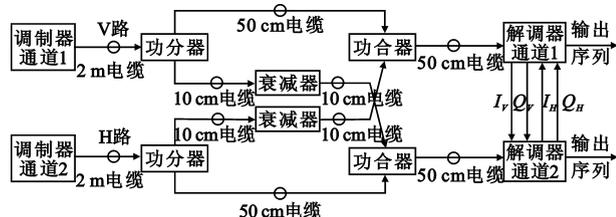


图 5 交叉极化干扰消除性能测试

Fig.5 Performance test of cross-polarization interference cancellation

(1) 无白噪声情况分析

极化干扰为 8 dB,测试无或有交叉极化干扰消除器时的信噪比及误码率,测试结果如表 1 所示。

表 1 无白噪声情况下测得的信噪比及误码率

通道	$(E_b/N_o)/dB$		BER	
	无极化干扰消除器	有极化干扰消除器	无极化干扰消除器	有极化干扰消除器
通道一	4.9	19.3	1.0×10^{-3}	0
通道二	6.6	17.7	5.0×10^{-4}	0

(2) 有白噪声情况分析

加入白噪声,使得信噪比为 18 dB,极化干扰为 8 dB,测试无或有交叉极化干扰消除器时的信噪比及误码率,测试结果如表 2 所示。

表 2 有白噪声情况下测得的信噪比及误码率

通道	$(E_b/N_o)/dB$		BER	
	无极化干扰消除器	有极化干扰消除器	无极化干扰消除器	有极化干扰消除器
通道一	6.0	15.5	5.0×10^{-4}	6.0×10^{-11}
通道二	6.7	15.0	5.8×10^{-4}	2.3×10^{-10}

测试结果表明,交叉极化干扰消除器对交叉极化干扰有明显的消除。

6 结 论

本文研究了交叉极化干扰消除技术,提出了在基带实现交叉极化干扰消除的方案,利用清华大学现有的全数字高码速多功能解调器自身的资源,将交叉极化干扰消除功能与解调器进行一体化设计,研制了具有交叉极化干扰消除、解调功能的工程化样机。测试的结果表明,在 -8 dB的极化干扰下,加入交叉极化干扰消除器后信干比可以提高 $6 \sim 8$ dB。

参考文献:

- [1] 沈民谊,蔡镇元.卫星通信天线、馈源、跟踪系统[M].北京:人民邮电出版社,1993:9-10.
SHEN Min-yi, GAI Zhen-yuan. Satellite Communications Antenna, Feed and Tracking System[M]. Beijing: The People's Posts & Telecommunications Press, 1993:9-10. (in Chinese)
- [2] Vassear H. Degradation of Availability Performance in Dual-Polarized Satellite Communications System[J]. IEEE Transactions on Communications, 2000,48(3):465-472.
- [3] 张宝全,弓树宏,王万玉,等. Ka频段雨致极化失配特性研究[J]. 无线通信, 2012(2):1-6.
ZHANG Bao-quan, GONG Shu-hong, WANG Wan-yu, et al. Study on the Characteristics of Rain-Induced Polarization Mismatch Factor at Ka Bands[J]. Wireless Communications, 2012(2):1-6. (in Chinese)

- [4] Carlin J, Bar-Ness Y, Gross S, et al. An IF Cross-Pol Canceller for Microwave Radio Systems[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1987,5(3):502-504.
- [5] Matsue H, Ohtsuka H, Murase T. Digitalized Cross-Polarization Interference Canceller For Multilevel Digital Radio[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1987,5(3):493-501.
- [6] Bahamonde I R A, Romano J M T, Mota J C M. On the adaptive filtering for cross-polarization interference canceller[C]// Proceedings of 1990 SBT/IEEE International Telecommunications Symposium. Riode Janeiro:IEEE, 1990:317-321.

作者简介:



王万玉(1962—),男,安徽当涂人,1990年获硕士学位,现为研究员、硕士生导师,主要研究方向为信号与信息处理;

WANG Wan-yu was born in Dangtu, Anhui Province, in 1962. He received the M. S. degree in 1990. He is now a senior engineer of professor and also the instructor of graduate students. His research direction is signal and information processing.

Email: wywang@ceode.ac.cn

陈金树(1968—),男,福建龙海人,1993年于清华大学获硕士学位,现为副教授,主要研究方向为信息与通信系统。

CHEN Jin-shu was born in Longhai, Fujian Province, in 1968. He received the M. S. degree from Tsinghua University in 1993. He is now an associate professor. His research concerns communication and information systems.

Email: chenjs@tsinghua.edu.cn