

文章编号: 1001 - 893X(2011)01 - 0080 - 04

## 多路毫米波接收信号相关合成技术\*

胡晋东

(中国电子科技集团公司第二十七研究所, 郑州 450047)

**摘要:**提出了多站小口径接收系统相关合成接收的方法。介绍了相关运算原理,并用于毫米波多路接收信号的相关合成。针对大型天线不能机动、造价高的不利因素,提出了小型化、机动化解决方案。采用三路相关合成技术,改善信噪比4.7 dB,相当于将天线口径减小42%。该方法适用于更多路的相关合成,对接收站的设计有一定参考意义。

**关键词:**卫星通信;地面站;毫米波;抗雨衰;相关函数;相关合成

**中图分类号:** TN927      **文献标识码:** A      **doi:** 10.3969/j.issn.1001-893x.2011.01.016

## Coherent Synthesis Technique for Multichannel Millimeter Wave Receiving Signal

HU Jin-dong

(The 27th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation(CETC),  
Zhengzhou 450047, China)

**Abstract:** A coherent synthesis method is proposed for multichannel receivers with small dimension antenna. The principle of coherent operation is introduced and applied to correlation synthesis receiver on millimeter wave (MMW) communication links. In order to overcome the negative factors due to no-flexibility and high cost about large antenna, the method is presented to realize miniaturization and flexibility. With correlation synthesis between 3 channels, the SNR(Signal to Noise Ratio) is improved 4.7dB, corresponding to reducing the antenna diameter 42%. This method is suitable for more channels synthesis, and has reference for design of receiving stations.

**Key words:** satellite communication; ground station; millimeter wave(MMW); rain attenuation countermeasure; correlation function; correlation synthesis

### 1 引言

现代军事科技发展对实时可靠地接收卫星情报提出了很高要求,星地通信频段正逐渐向毫米波频段发展。在对卫星毫米波信号的接收应用中,雨衰是制约信号传输的主要因素<sup>[1]</sup>。通常的解决办法是采取增大卫星下传信号功率、增大地面接收天线口径、自适应编码等途径,以预留足够的信号电平余量。最常用的技术途径是增大地面站天线口径,提

高接收信号的信噪比<sup>[2]</sup>。这就形成了一种不利的局面:在特大暴雨时,地面站的接收性能刚好够用;而在晴天,庞大的地面接收资源带来的接收潜力就大大浪费了。

另一方面,随着卫星通信容量越来越大,对卫星发射功率和地面接收天线口径的需求也就愈来愈高。若在Ka频段一味增大天线口径,则有诸多不利因素:天线波束极窄,不易搜索和定向;抗风稳定接收困难<sup>[3]</sup>;设备庞大,造价高。特别地,大口径系统只能建设成固定站,无法机动实战。由此,提出了相

\* 收稿日期:2010-11-17;修回日期:2010-12-20

关合成接收建站的思路,以多站小口径天线系统替代传统大口径单站。通过对多站接收到的信号进行相关运算,找出各路信号之间的时延差。通过程控时延组件对齐时延差,并进行多路合成。合成时信号之间是相关的,而噪声互不相关,因而可以线性增大信噪比。

## 2 技术路线

相关合成接收,就是用多个独立的小口径接收系统,同时接收卫星下行信号,利用信号之间的相关性,实时对齐时延并合成,以增大信噪比。时延的对齐由信号之间的相关运算来实现。这样,在晴天和一般雨天,单站独立完成接收工作。在特大暴雨时,多站同时接收卫星信号,通过相关合成接收提高信噪比,弥补特大暴雨引起的额外雨衰。将天线口径控制在可车载机动的程度内,提高战场生存能力。

为简化分析,以双站接收模式进行论述;而更多站模式虽在信道数量上有所不同,但基本原理一样。本文讨论的内容仅适用于同步卫星地面接收应用系统。

我们知道,卫星下行信号对于不同的接收系统有着不同的传输路径。这个传输路径包括空间路径和接收信道路径,分别产生不同的空间时延和接收信道时延,即两个传输路径的信号时延不一致。不同传输路径的信号合成时,信号与接收系统噪声各自进行迭加。不同的接收系统噪声因相互无关,迭加后噪声总能量不能有效增大<sup>[4]</sup>,只能维持原有水平。而信号迭加时,在时延对齐的前提下,信号能量就会成倍增大<sup>[5]</sup>。信号进行相关合成,噪声进行非相关合成。这样,合成后信噪比就成倍增大。当然,两路信号时延不一致时,迭加后就会相互抵消和干扰,影响接收任务。因此,相关合成是我们的目标,而相关合成又依赖相关运算来实现。

## 3 相关运算原理

相关运算就是求两路信号的相关函数,以对齐信号时延。相关运算由时延、乘法和积分 3 个环节组成,基本原理见图 1。信号在相乘前,先对其中一路进行时延补偿,补偿后再相乘,然后积分,即可完成相关运算。通过程控步进扫描,逐步改变时延补偿量,直至输出相关峰值,即两路信号时延对齐了。图中, $f_1$ 、 $f_2$  是来自不同路径的同一个信号,差异是

它们之间存在时延,因而具有相关性。 $f_1$ 、 $f_2$  之间的另一个差异就是,它们各自携带的噪声来自不同的接收系统,因而这两路噪声互不相关。

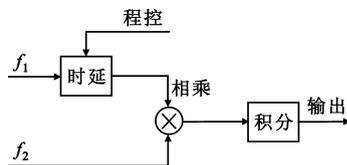


图 1 信号相关运算的基本原理示意图

Fig.1 Block diagram of correlation operation between multichannels

下面论述相关函数的数学原理。

$f_1$  信号为

$$s_1(t) = x(t) + m(t) \quad (1)$$

式中, $x(t)$ 为接收到的纯净不含噪声的信号, $m(t)$ 为该接收信道的噪声。

$f_2$  信号为

$$s_2(t) = y(t) + n(t) \quad (2)$$

式中, $y(t)$ 为接收到的纯净不含噪声的信号, $n(t)$ 为该接收信道的噪声。

$s_1(t)$ 与 $s_2(t)$ 的相关函数为

$$R(\tau, f_d) = R_{xy}(\tau, f_d) + R_{xn} + R_{ym} + R_{mn} \quad (3)$$

式中, $\tau$ 为两路信号的相对时延, $f_d$ 为两路信号的频差。第一项为 $x(t)$ 与 $y(t)$ 的相关函数,后三项分别为 $x(t)$ 与 $n(t)$ 的相关函数、 $y(t)$ 与 $m(t)$ 的相关函数、 $m(t)$ 与 $n(t)$ 的相关函数。由于 $x(t)$ 、 $y(t)$ 与信道噪声均不相关,并且两个接收信道的噪声也互不相关,因此式中后面三项均为 $0$ <sup>[4]</sup>。上式简化为

$$R(\tau, f_d) = R_{xy}(\tau, f_d) \quad (4)$$

另一方面,由于同步卫星移动速度极其缓慢,并且两个接收系统之间的距离间隔很近,因此,对同一颗同步卫星观察到的多普勒频移差 $f_d$ 近似为 $0$ ,上式再次简化为

$$R(\tau) = R_{xy}(\tau) \quad (5)$$

而 $x(t)$ 与 $y(t)$ 相关函数为<sup>[4]</sup>

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T y(t)x(t-\tau)dt = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t-\tau)dt \quad (6)$$

因此, $f_1$ 与 $f_2$ 的相关函数最终表达式为

$$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t-\tau)dt \quad (7)$$

由此看出,两个支路信号  $f_1$  与  $f_2$  之间的相关函数实际上就是信号本身的自相关函数。当且仅当  $\tau = 0$  时(即时延对齐),相关函数  $R(\tau)$  出现相关峰值。反过来,如设法得到相关峰值,就可以对齐时延。

## 4 相关合成改善信噪比

### 4.1 信噪比改善

相关合成可以显著改善信噪比<sup>[6]</sup>。合成时,信号和噪声分别进行迭加。由于信号对齐了时延,迭加后的信号能量等于迭加前的总和。而噪声来自不同的接收信道,互不相关,迭加后能量不变。信号以相关方式合成,噪声以非相关方式合成。所以,合成后信噪比呈线性增长。当同等能量的  $N$  路信号相关合成时,信噪比为合成前的  $N$  倍。

### 4.2 简化天线规模

以常见的 12 m 口径大型地面接收站为例,论述相关合成接收方法的简化效果。国内外常见的车载机动站天线口径多为 7.3 m,若直接将固定站系统

移植为机动站,则接收信号的信噪比损失为

$$L = 20 \lg \frac{D}{d} = 20 \lg \frac{12}{7.3} = 4.32 \text{ dB} \quad (8)$$

式中,  $D = 12 \text{ m}$  为固定站天线口径,  $d = 7.3 \text{ m}$  为机动站的天线口径。显然,单站移植不能满足正常接收要求。然而,以三站相关合成接收建站,合成后信噪比的增加则为

$$G = 10 \lg N = 10 \lg 3 = 4.77 \text{ dB} \quad (9)$$

可见,  $G > L$ , 将固定站天线分解为 3 个机动站天线,接收信噪比完全满足要求。采用  $n$  站合成,相当于将原大型天线口径缩减到原来的  $1/\sqrt{n}$ ,也就是说,3 站合成可将天线口径减小 42%。因此,用多个独立机动的小型接收系统,通过相关合成建站,可替代传统庞大的固定站。

## 5 设备实现

### 5.1 设备主要组成

在通常的地面接收站基础上稍加改造,即可构成多站相关接收系统,原理简图如图 2 所示。

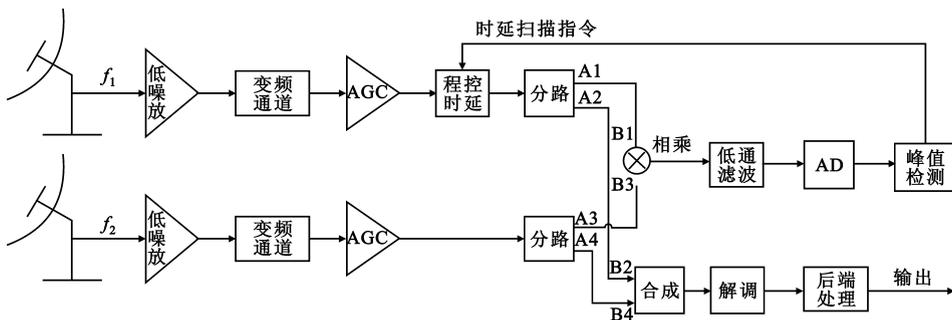


图 2 相关合成接收系统原理简图

Fig. 2 Block diagram of correlation synthesis receiver on system

相关合成接收系统由 2 个独立接收信道、检测合成单元、解调处理单元组成。接收信道完成接收、低噪声放大、下变频、AGC 放大等功能。检测合成单元由声表面波程控时延组件、分路器、乘法器、低通滤波、AD 采样、峰值检测等部分组成;通过相关检测,进行时延搜索匹配,对齐两路信号时延并合成,最终使信噪比增大 3 dB。解调处理单元完成解调和其它后端处理功能。其中,接收信道、解调处理单元均属卫星接收系统的常规组成部分,而检测合成单元则是相关合成接收实现的关键。

### 5.2 相关检测及合成

由声表程控时延组件实现时延搜索匹配,由混频

器、低通滤波器实现相关运算。其中,混频器实现乘法,低通滤波器实现积分。信号经相乘、积分,再经 AD 后送峰值检测单元,判决是否匹配到相关峰值。若未出现相关峰,则继续发出程控搜索指令,将时延组件调整一个时延步进,再次进行相关峰值检测,直至搜索匹配到相关峰,此时信号时延就对齐了。

对齐时延后,将两路信号合成,即可成倍增大信噪比。需要特别注意的是,进行时延相关检测时,信号流向是  $A1 \rightarrow B1, A3 \rightarrow B3$ ;而相关合成时,信号流向是  $A2 \rightarrow B2, A4 \rightarrow B4$ 。检测与合成的信号路径不同,当相关检测成功对齐了时延的时候,参与合成的两路信号的时延未必就随之对齐。这样,合成后会

因非相关迭加而产生干扰。解决办法是,将  $A1 \rightarrow B1$ 、 $A2 \rightarrow B2$ 、 $A3 \rightarrow B3$ 、 $A4 \rightarrow B4$  四路电缆的特性和长度取为一致,保证电缆时延完全一样。这样,信号检测时的到达界面与合成时的到达界面完全一致,相关检测与相关合成也就同步了。

## 6 结束语

本文针对卫星地面接收应用中的毫米波通信抗雨衰需求,结合军事对抗的实战特点,提出了多站小口径接收系统相关合成接收的方法,以实现设备小型化、机动化。该方法对降低建站难度、提高战场生存能力有一定参考意义。

## 参考文献:

- [1] 翁木云. Ka 频段卫星信道的衰减特性[J]. 电讯技术, 2005, 45(5): 23 - 27.  
WENG Mu - yun. Channel Attenuation Characteristics of Satellite Communications in Ka - Band[J]. Telecommunication Engineering, 2005, 45(5): 23 - 27. (in Chinese)
- [2] 狄青叶. 星地链路雨衰研究[J]. 空间电子技术, 2007 (3): 21 - 23.  
DI Qing - ye. Research on rain attenuation of satellite communication links[J]. Space Electronic Technology, 2007(3): 21 - 23. (in Chinese)
- [3] 姚南南. Ka 波段大型天线控制系统 LQG 控制器的设计[J]. 现代电子技术, 2003 (19): 100.

- YAO Nan - nan. Design of LQG Controller for Ka - band Large - scale Antenna [J]. Modern Electronic Technique, 2003 (19): 100. (in Chinese)
- [4] Burdic W S. 雷达的信号与噪声[J]. 飞行器测控学报, 1995(3): 77 - 91.  
Burdic W S. Signals and noises on radars [J]. Journal of Spacecraft TT&C Technology, 1995(3): 77 - 91. (in Chinese)
- [5] 郭环球. 基于相关函数理论的滤波器设计与仿真[J]. 上海电机学院学报, 2005(6): 15 - 16.  
GUO Huan - qiu. Design and Simulation of Filter Based on Correlative Function [J]. Shanghai College of Electricity & Machinery Technology, 2005(6): 15 - 16. (in Chinese)
- [6] 宋杰. 非合作双基地雷达系统中的互相关检测与时差估计技术[J]. 火力与指挥控, 2010, 35(2): 15.  
SONG Jie. Cross - correlation Detection and Time Difference Estimation in Non - cooperative Bistatic Radar Systems [J]. Fire Control & Command Control, 2010, 35(2): 15. (in Chinese)

## 作者简介:

胡晋东(1969 - ),男,河南信阳人,1991 获工学学士学位,现为高级工程师,主要研究方向为航天测控及卫星地面应用系统,曾获“神舟”载人航天工程个人三等功,以及国防科学技术奖二等奖和部级科学技术奖一等奖。

HU Jin - dong was born in Xinyang, Henan Province, in 1969. He received the B.S. degree in 1991. He is now a senior engineer. His research direction is spacecraft TT&C and satellite communication system.

Email: mathdreamer@yahoo.com.cn

## 本刊加入“万方数据 - 数字化期刊群” 等数据库的声明

为了适应我国信息化建设的需要,扩大作者学术交流渠道,实现科技期刊编辑、出版发行工作的电子化,推进科技信息交流的网络化进程,本刊现已加入“万方数据 - 数字化期刊群”、“中国学术期刊(光盘版)”、“中国期刊全文数据库”、“中国学术期刊网”、“中文科技期刊数据库”、“中国期刊网”等本刊目次页上著录的数据库,本刊录用发表的论文,将由编辑部统一纳入上述数据库,进入因特网或光盘提供信息服务。本刊所付稿酬已包含著作权使用费和刊物内容上网服务报酬,不再另付。凡有不同意见者,请事先声明,本刊将作适当处理。