

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.05.012

引用格式:邹洲.海事卫星信号接收处理系统实现方案[J].电讯技术,2014,54(5):589-594. [ZOU Zhou. Receiving and Processing System for Inmarsat Satellite Signal[J]. Telecommunication Engineering, 2014, 54(5): 589-594.]

海事卫星信号接收处理系统实现方案*

邹 洲**

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

摘要:针对日益增强的反恐和安全防护需求,分析了海事卫星信号接收处理的可行性,提出了海事卫星信号接收处理系统的实现方案。该方案在侦测一体化的基础上,通过运用上行信号引导的工作方式,解决了对一定范围内的目标进行抵近接收的问题。与以往的方案相比,所提方案从系统角度研究解决了海事卫星信号接收、解调等关键问题。试验表明,本系统方案能够对实际海事卫星终端的上下行卫星信号进行实时接收处理,具有很好的工程应用价值。

关键词:海事卫星;信号接收处理;解调;测向;关联;抵近接收

中图分类号:TN971 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2014)05-0589-06

Receiving and Processing System for Inmarsat satellite Signal

ZOU Zhou

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract: According to the requirement of anti-terrorism and security protection, the feasibility of receiving and processing system for Inmarsat satellite signal is analyzed, and implementation scheme of receiving and processing system of Inmarsat satellite is proposed. Based on reconnaissance and direction-finding integrated technology, this scheme solves the problem of approaching target signal for receiving in a certain range, by applying the operation mode of uplink signal guiding. Comparison with traditional scheme shows the proposed scheme solves the key problem of receiving and demodulation of Inmarsat satellite signal from the system point view. Finally, the tests indicate that uplink and downlink signal of real Inmarsat satellite terminal can be real-time receiving and processing based on proposed scheme, so it has extensive practical value.

Key words: Inmarsat satellite; signal receiving and processing; demodulation; direction finding; correlation; approaching target for receiving

1 引言

海事卫星通信系统是由国际海事卫星组织(Inmarsat)建立的一种卫星移动通信服务系统,主要提供卫星通信和信息服务,拥有最大的地面终端用户数量^[1]。由于其地面终端直接和卫星进行通信,通信距离远,覆盖范围大,并具有较强的隐蔽性,因此许多恐怖组织将其作为主要的通信手段。对海事卫星

信号进行接收和分析,可以准确把握恐怖分子活动动向。因此,对海事卫星信号进行接收,能够满足国家反恐及安全防护方面的需求,受到了广泛的重视。

国内在此方面的研究文献较少,大多是基于卫星天线设计和解调算法方面的。文献[2]以Inmarsat数据接收系统为背景,研究了突发通信传输模式下的全数字接收机中位同步方法;文献[3]提出了

* 收稿日期:2013-10-10;修回日期:2014-04-10 Received date:2013-10-10;Revised date:2014-04-10

** 通讯作者:zz14046497@163.com Corresponding author:zz14046497@163.com

一种对海事卫星 BGAN(Broadband Global Area Network)信号相干解调的载波恢复方法;文献[4]针对海事卫星天线跟踪系统进行了研究,但上述文献对海事卫星信号的系统接收处理方法并未提及。

本文通过分析海事卫星信号接收的可行性,结合海事卫星信号的特征,通过研究处理算法,提出了海事卫星信号接收处理方案,也为今后海事卫星信号接收处理系统的设计提供了参考,具有很好的工程应用价值。

2 海事卫星信号介绍

2.1 通联关系

图1是海事卫星终端呼叫时的建联关系图,CES为地面岸站,NCS为网络协调站,MES为海事卫星电话终端。

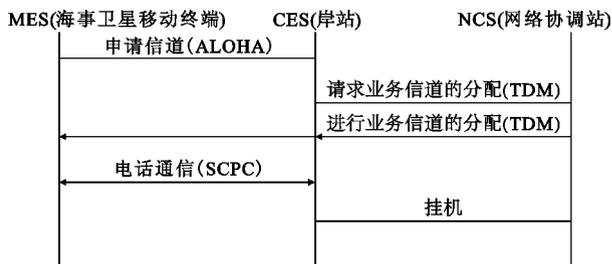


图1 海事卫星系统通联关系

Fig. 1 Communication of Inmarsat satellite system

当海事卫星移动终端(MES)要求通话时,利用ALOHA信道向岸站(CES)发送一个申请信号,岸站收到这个请求信号后就用特定的信道向网络协调站(NCS)发出一个要求分配信道的申请。NCS用TDM信道给MES和CES分配业务信道频率值。MES和CES在分配的频率上利用SCPC的方式建立话音通信。当通话结束后,CES向NCS发送解除信道信号。

2.2 信号简介

海事卫星上行信令信号的频率值固定,以MINI-M标准为例,申请信号采用突发机制,调制方式是BPSK,持续时间约几十毫秒。

海事卫星下行信令信号采用连续信道,其频率值是固定的,调制方式为BPSK。

业务信号是一种突发信号,调制方式是OQPSK,速率从1 kHz至200 kHz不等,其频率值和持续时间不固定。

以B标准信号为例,其申请信号和广播信号格式如图2和图3所示。

连续波	独特字	信令单元 (经过FEC编码)	冲洗bit
-----	-----	-------------------	-------

图2 申请信号帧格式

Fig. 2 Frame format of return signaling channel

帧同步码	信令单元 (经过FEC编码)						帧同步码
	标志位	时隙	时隙	...	时隙	时隙	时隙

图3 广播信号帧格式

Fig. 3 Frame format of assign signaling channel

3 接收方式及可行性分析

3.1 信号的接收方式

海事卫星是稳定可靠的同步卫星通信系统,由于海事卫星系统使用的L频段固有的特性,宽的卫星天线波束使得地面的海事卫星终端可以迅速地寻星和对星,从而接收卫星向地面发射的下行信号。所以,本方案中系统的卫星下行信号接收天线必须采用可对星的定向天线,天线可考虑安装稳定平台和伺服跟踪模块,使系统天线处于起伏和倾斜平台时也能始终指向赤道上方固定位置的海事卫星。根据卫星发射的EIRP值、卫星到地面的距离值等精确计算天线的增益,在满足增益的条件下,接收天线的波束宽度也有一定要求。由于卫星宽波束的覆盖范围很广,下行接收天线在宽波束范围内可以接收到海事卫星传递给各个地面终端的所有下行信号。

地面的海事卫星终端不仅可以接收海事卫星发射的下行信号,还可以向海事卫星发射上行信号。本方案中,系统采用全向接收天线对地面海事终端发射的上行信号进行接收。由于海事终端发射上行信号时必须对准赤道上方固定位置的海事卫星,发射的上线信号波束宽度较小,并且发射波束与地平面形成了一定角度,所以本系统在地面抵近接收时,全向接收天线只能接收到上行信号的旁瓣波束,无法接收其主瓣波束,抵近接收的距离会因为旁瓣波束的EIRP值较低而受到影响,而抵近的接收距离是考察接收效果的重要指标。

以车载海事卫星信号处理系统为例,对海事卫星信号的接收方式如图4所示。

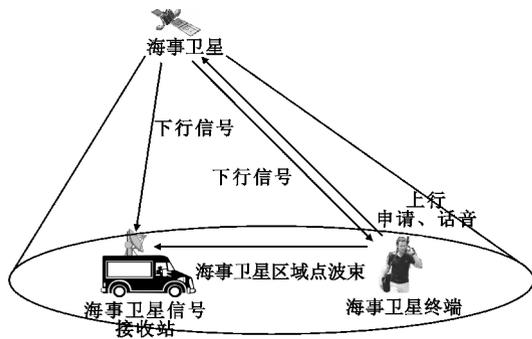


图 4 海事卫星信号接收方式

Fig. 4 Receiving of Inmarsat satellite signal

3.2 上行信号接收的可行性分析

海事卫星终端的天线采用的是方向性天线,其上行信号的 EIRP 值为 45 dBm 左右,由于我国处于北半球,因此如果天线波束增益最大方向指向同步卫星,则天线平面会和地面有一定夹角,设为 45°,发射信号的示意图如图 5 所示。从图上可看出,天线在最大方向上的增益为 11 dBi 左右,而在地平面向量(0°)的增益降为 -5 dBi,相当于在此方向上的 EIRP 值为 29 dBm 左右。

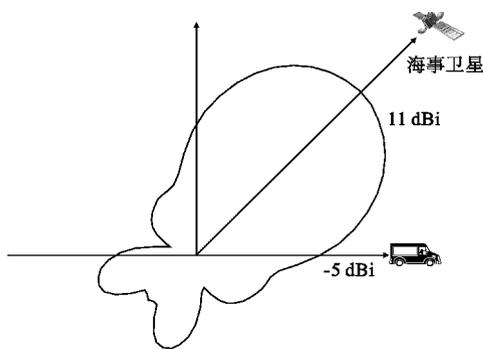


图 5 上行信号波束接收图

Fig. 5 Beam receiving of uplink signal

假设地面海事卫星终端发射天线的高度为 1.5 m,接收天线的高度为 10 m,根据视距公式计算,发现目标的最大距离为 18.05 km。

如果针对海事卫星终端的上行信号进行接收,实际的海事卫星信号带宽为 5.6 kHz。根据本系统已实现的技术指标,处理带宽 $B = 60$ kHz,噪声系数 $N_f = 3$ dB,信噪比 $D_r = 15$ dB,则接收机的灵敏度

$$S_{\min} = -174 + N_f + 10 \lg B + D_r = -108 \text{ dBm};$$

路径损失 $L = 32.44 + 20 \lg R + 20 \lg f = 122 \text{ dB}$ ($R = 18 \text{ km}, f = 1660 \text{ MHz}$);天线增益 $G = -2 \text{ dB}$;天线接收到的最小电平 $S = [EIRP] - L + G = -95 \text{ dBm}$ 。

从以上计算可以看出,本方案中接收天线和目标相距 18 km,并且目标发射的上行信号波束方向与接收天线在同一侧时,天线接收到的最小电平满

足接收机的灵敏度要求,说明本系统能对视距内的目标信号进行接收处理,满足抵近接收的要求。

4 系统设计

4.1 系统组成

海事卫星接收处理系统由测向天线、下行信号接收天线、多通道综合处理设备、综合信息处理计算机组成,如表 1 所示。

表 1 海事卫星接收处理系统组成

Table 1 Composition of Inmarsat satellite receiving and processing system

序号	名称	功能
1	测向天线	接收上行信号
2	下行信号接收天线	接收下行信号
3	多通道综合处理设备	信号处理、引导控制等
4	综合信息处理计算机	阅报、结果显示

4.2 总体设计

海事卫星信号接收处理系统采用一体化通用处理平台,应用软件无线电设计思路,在通用硬件处理平台上,通过加载不同处理软件来实现。系统采用全方向接收、全解调、集中控守的系统结构,在设计上首先考虑机动性、通用性和可扩展性方面的要求,设备尽量小型化,为了方便以后功能上的扩展升级,本设备还预留了相关的硬件接口。系统架构如图 6 所示。

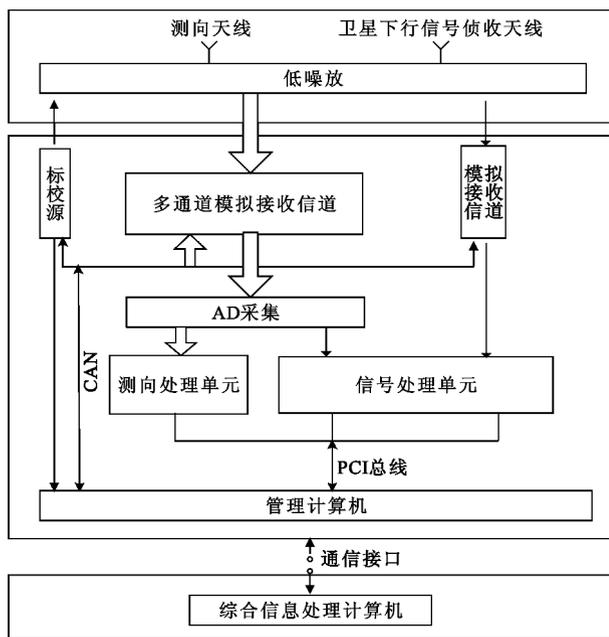


图 6 系统架构框图

Fig. 6 Schematic diagram of system structure

天线部分主要完成对海事卫星上行和下行信号

接收。天线的设计必须考虑工作频段、极化方式、接收范围、电磁兼容等因素,所以必须使用两幅不同的天线来实现对海事卫星上行和下行信号的独立接收。同时,根据侦测一体化的思想,可用测向天线同时实现上行信号的接收和测向,通过一体化设计降低天线的复杂程度。另外,根据不同的系统应用平台,根据平台的实际使用环境,通过仿真进行天线的优化布局和外形设计,并确定天线的使用及控制方式。比如在陆地单兵使用时,考虑便携的要求,接收和测向天线必须设计安装在同一个天线支架上;在机载平台,接收卫星发射的下行信号的天线必须安装在机顶,由伺服设备进行控制对星,由于所接收的卫星信号强度较小,所以接收天线最好采用增益在20 dB以上的定向天线。上行信号接收天线可安装在机腹位置,增加天线的波束宽度可扩大覆盖的地面区域范围,但是宽波束会使天线的增益降低,从而导致接收距离减小。为使覆盖区域和距离都满足接收的要求,可以在机腹的两侧安装两幅窄波束、高增益的天线接收来自地面不同方向的信号。

射频处理部分包括低噪放和接收信道两个部分,用于实现接收到的射频信号的放大、滤波、校准等功能。根据信号处理功能对射频部分的接收频段、增益、接收带宽、噪声系数、灵敏度指标等需求进行综合一体化处理。接收信道采用大动态、模块化、宽开通用设计,实现上行和下行信号的独立处理,节约了插槽资源,并支持对不同频段信号的接收,扩展了信号处理的能力。接收信道的大动态范围需要考虑海事卫星信号的广播信道与业务信道功率差大于30 dB,且地面目标信号在移动时功率起伏大的情况。

根据海事卫星信号处理的性能需求,对 FPGA 和 DSP 展开需求分析,选用 Xilinx 公司的 XC5VSX95T 型 FPGA 和 TI 公司的 TMS320C6414T 型 DSP。后端信号处理部分主要基于多 FPGA 和 DSP 的硬件平台,完成信号的实时检测、高精度估计出信号当前频点(包括多普勒频移)和信号突发时刻,实时解调处理各个信道的 TDMA 突发信号。信号处理部分进行模块化、通用化和标准化的设计,采用三类总线实现综合控制管理:第一类是信号处理的控制/数据总线,负责模块内部的控制及数据传输,通过 PCI 和 CAN 总线实现;第二类是高速数传接口,负责 FPGA 之间和板卡间的数据传输,通过 GTP 接口实现。采用此架构具有可靠性好、内部网络总线数据传输流量大、实时运算处理能力强等特

点,适合用于小型化的机动接收系统。

显控部分由综合信息处理计算机和管理计算机组成,综合信息处理计算机具备显控和信息处理两种功能,显控主要完成状态显示、指令下达、组报配对和阅报等功能,信息处理完成对信源信息的恢复。管理计算机是嵌入式模块,完成接口控制和数据中转的功能。

4.3 工作模式

本系统通过在地面建立对海事卫星下行信号控守、对附近海事卫星终端上行信号的控守、对接收到的通信信号进行测向等一系列处理,实现对覆盖范围以内地面海事卫星移动终端通信信号的接收。

根据实际的需求,本方案采用上行信号引导的工作模式,具体流程如下:系统首先控守处理上行申请信号,并进行测向,通过频点的匹配,将测向结果与处理结果配对。通过上行信号信息的引导和目标终端识别号的匹配,可以从下行分配信道获得目标终端上下行业务信号的频点信息,系统通过控守相应的频率信道可以对终端的业务信号进行接收和测向。

系统工作流程如图 7 所示。

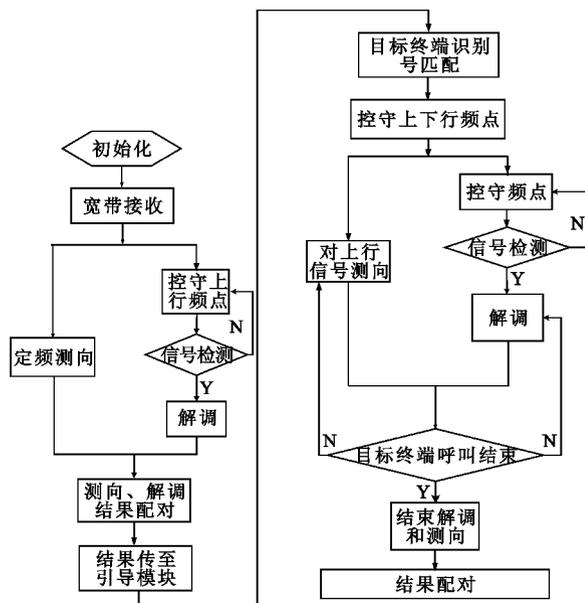


图 7 系统工作流程图

Fig. 7 Operating flow chart of system

5 关键技术

5.1 卫星信号解调、测向信息组报配对技术

在本系统设计中,卫星信号解调和测向在软硬件上分开进行处理,这样可以对信号进行实时接收处理,实时解调所获得的信息可以快速引导测向。

好处在于可以在一个系统中实现同时对卫星信号进行接收和测向,减小了设备的复杂性,增强了设备的共用性,提高了处理效率。但是对于同一个卫星终端发出和接收的信号的上下行业务信息及方位信息必须一一组报配对,从而输出同一个卫星终端的解调测向结果,真正实现实时侦测一体化。所以,信息组报配对是一项关键技术。

在同一段时间内,可能有多颗的卫星终端在进行通信,同一个卫星终端发出的上下行信号持续的时间和出现的时刻也不固定,测向得到的是某一个频点或者时隙上一段时间内信号的方向信息,而且三者之间还可能存在着时间、空间上的不统一,关联较为困难。

解决这一问题的思路是,针对海事卫星的业务信道,终端在每次通话过程中频率不会发生改变,可根据业务信道频率值对测向及解调结果进行组报配对。针对 TDMA 信令信道,必须对每一个信道时隙出现的时间和频点进行记录标识,最后利用信号出现的时间、频点、身份信息及信道时隙号等信息进行组报配对。

5.2 突发信号解调技术

卫星移动通信系统主要有连续信号及突发信号两种通信形式。以前常用的解调算法流程是基于连续信号的解调。由于卫星信号最短持续时间仅有几十毫秒,因此对突发信号的解调需要频率跟踪速度非常快,这就要求频率测量的时间短、精度高,既要能精确快速测量出信号频率,而且所选择的解调算法必须能快速发现信号。

由于卫星通信业务信号往往采用突发通信模式,突发通信的特点决定了在这类系统中很难通过反馈环路实现载波同步和定时同步,且很可能造成业务信息的损失和破坏。

对于突发信号解调需要借助前馈方式准确估计出信号的载波频率、载波初相以及定时估计,特别是对于机载平台,由于多普勒频移的存在,信号载频至少有几百 Hz 的偏移,频偏对解调效果有较大影响,所以在机载平台下对载波频率的测频精度要求更高。然后将前馈估计的参数预置到载波同步环路和定时同步环路,从而达到快速载波锁定和符号同步。对于载波同步和定时同步,通常有数据辅助(DA)和非数据辅助(NDA)两种方式。数据辅助是利用发送数据前面的已知序列达到估计载波频率和初相;非数据辅助是认为数据为随机变量,通过极大似然估计的方法得到载波频率和初相。

由于海事卫星业务信号的每个子帧都有已知的独特字,可以采用数据辅助的方法准确估计出载频频率和初始相位;且海事卫星信号子帧长度固定,因此在文献[5]的基础上,可以利用海事卫星信号特有的独特字作为符号定时同步的基准。

5.3 初始向量未知的解扰技术

采用逆向求解算法,解决加扰初始向量未知的难题。海事卫星终端均采用终端方固定加扰向量、岸站方不固定加扰向量的工作方式,在每次建联过程中由终端方通过子带信令给出初始加扰向量,由于点波束发送等原因,相当数量的通联只能收到单方信号,这时必须在未知去扰向量的前提下获得去扰后的序列。而常规的解扰方法^[6]必须知道解扰初始向量,不适用于海事卫星信号的解扰。

依据海事卫星通信协议,能够知道被加扰信息的多个起始信息位(如消息类型、身份码等),利用这些信息与截获到相应位置的加扰数据相异或,就可以得到部分用于加扰的随机序列。一般而言,同一个通信系统加扰器/解扰器结构(即扰码生成多项式)是一样的,可以用这个解扰器生成一个长度为加扰序列周期的随机序列。在本系统中加扰器的最大阶数是 16,则加扰序列周期是 $2^{15}-1$ 。加扰器生成一个长度为 $2^{15}-1$ 序列 A,由 PN 序列的性质可知,该序列中长度大于 16 的序列都是唯一的。所以只要知晓截获序列中起始 16(或大于 16)比特信息,就可求得长度大于等于 16 比特的加扰序列 B。A 中搜索序列 B,并记下搜索到的起点 k ,在 A 中以 k 为起点,取长度为加扰信息长度 L 的一段加扰序列 C,用序列 C 与截获信息异或即可得到全部加扰前的原始信息。

6 实例数据解算验证

为了对本文提出的海事卫星信号处理系统方案的效果进行评估,搭建了由信号接收天线、采集平台、信号处理软件、综合信息处理计算机组成的试验系统,其试验平台连接如图 8 所示。

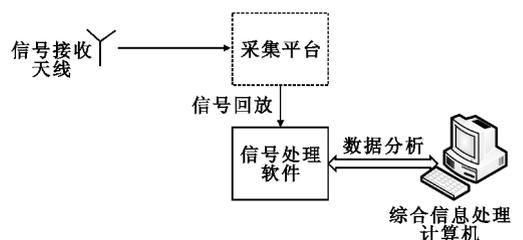


图 8 试验平台
Fig. 8 Test platform

为了充分说明本文系统方案的正确性和可行性,试验平台对实际的海事卫星终端的上下行信号进行接收解调,图9是海事卫星 OQPSK 信号解调后的星座图。

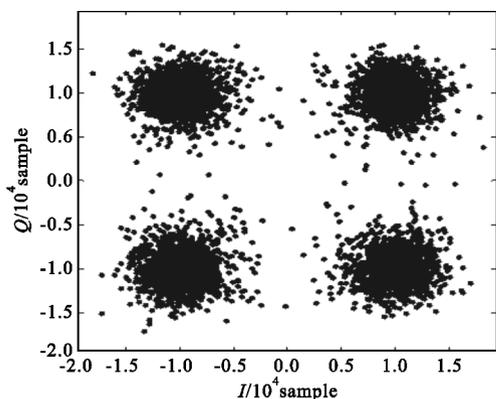


图9 星座图

Fig.9 Constellation diagram

7 结束语

本文根据海事卫星信号的特征,提出了适用于海事卫星信号接收解调等技术方法,从而形成了一套完整的海事卫星信号接收处理系统方案。该方案在侦测一体化的基础上,通过运用上行信号引导的工作方式,将对海事卫星信号的接收和测向结合在一起,解决了对附近一定范围内的目标抵近接收的问题。通过搭建的试验平台对实采海事卫星信号数据的分析结果可以证明,海事卫星信号接收处理系统能够对实际海事卫星终端发射和接收的上下行信号进行实时接收处理。

对海事卫星信号进行接收有很强的实用性,首先通过多点监视和交会定位的方式,可对一定范围内的目标进行精细探测,掌握目标活动动向;其次,在机载等平台上应用可弥补其他手段的不足,特别是使用海事卫星终端的目标采取了隐蔽手段或隐藏在山区、丛林等较为复杂的地区时,仍然能够发现目标并确定目标位置。

在未来的工作中,我们将以本文提出的系统方案为基础,对海事卫星信号在不同平台的实时接收方式做进一步研究。

参考文献:

- [1] 李子木. 海事卫星系统发展及应用[J]. 无线电工程, 2009,39(10):8-10.
LI Zi-mu. Development and applications of Inmarsat system[J]. Radio Engineering of China,2009,39(10):8-10. (in Chinese)
- [2] 苏丹. 基于 FPGA 的海事卫星突发信号同步检测研究及实现[D]. 天津:天津大学,2007.
SU Dan. Research and implementation of bit synchronization in Inmarsat burst mode communication system based on the FPGA [D]. Tianjin: Tianjin University, 2007. (in Chinese)
- [3] 朱永川,饶志宏. 海事卫星 BGAN 载波恢复技术研究[J]. 通信技术,2012,45(1):1-3.
ZHU Yong-chuan,RAO Zhi-hong. Carrier recovery in Inmarsat BGAN[J]. Communications Technology,2012,45(1):1-3. (in Chinese)
- [4] 张国秋. 海事卫星移动终端天线跟踪系统的构建[D]. 大连:大连海事大学,2008.
ZHANG Guo-qiu. The construction on antenna tracking system of maritime satellite mobileterminal [D]. Dalian: Dalian Maritime University,2008. (in Chinese)
- [5] 郑金良. 卫星突发信号解调技术研究及实现[D]. 郑州:解放军信息工程大学,2006.
ZHENG Jin-liang. Study and implementation of demodulation technique for satellite burst signals[D]. Zhengzhou: Information Engineering University,2006. (in Chinese)
- [6] 曹志刚,钱亚生. 现代通信原理[M]. 北京:清华大学出版社,1992.
CAO Zhi-gang, QIAN Ya-sheng. Modern communication theory [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1992. (in Chinese)

作者简介:



邹洲(1982—),男,四川成都人,2007年于电子科技大学获工学硕士学位,现为工程师,主要从事系统总体技术、通信信号处理等方面的研究。

ZOU Zhou was born in Chengdu, Sichuan Province, in 1982. He received the M. S. degree from University of Electronic Science and Technology of China in 2007. He is now an engineer. His research concerns system design technology, communication signal processing, etc.

Email: zz14046497@163.com