

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2016.01.010

引用格式:尚俊娜,李林,刘春菊,等.S 频段低信息速率卫星通信系统的探索 and 实验[J].电讯技术,2016,56(1):54-59.[SHANG Junna,LI Lin,LIU Chunju,et al.Exploration and experiment of low information rate satellite communication system in S-band[J].Telecommunication Engineering,2016,56(1):54-59.]

S 频段低信息速率卫星通信系统的探索 and 实验*

尚俊娜¹,李 林^{**1},刘春菊¹,魏彦飞²

(1. 杭州电子科技大学 通信工程学院,杭州 310018;2. 桂林电子科技大学 电子工程与自动化学院,广西 桂林 541004)

摘 要:介绍了目前卫星通信的频段分布并对其进行了对比;对 S 频段卫星通信给出了链路预算,并进行了卫星移动通信的探索 and 实验,通过低信息速率的短报文和语音通信设备的研发,对低速率卫星移动通信进行了验证 and 分析。结果表明,采用全向天线的 S 频段低信息速率的卫星通信系统完全可以在处理突发事件的应急通信中发挥作用,并具有成本低、终端简单、应用方便、安全可靠等优点。

关键词:卫星移动通信系统;S 频段;低信息速率;应急通信;全向天线

中图分类号:TN927.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2016)01-0054-06

Exploration and Experiment of Low Information Rate
Satellite Communication System in S-band

SHANG Junna¹,LI Lin¹,LIU Chunju¹,WEI Yanfei²

(1. School of Communication Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China; 2. School of Electronic Engineering and Automation, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: The frequency distribution of current satellite communication is introduced and compared, link budget for S-band satellite communication is given, the exploration and experiment of the satellite communication system in S-band is presented. The low information rate satellite communication in S-band is verified and analyzed by developing the short message and voice communication equipment. Results show that satellite communication system of low information rate in S-band using omnidirectional antennas can play a role in emergency communications and it has such advantages as low cost, friendly terminal, convenient application, high safety and reliability.

Key words: satellite mobile communication system; S-band; low information rate; emergency communication; omnidirectional antenna

1 引 言

卫星通信具有覆盖范围广、工作稳定可靠、不受地面条件限制、灵活机动的独特优势,可提供大跨

度、大范围、远距离的移动通信服务,技术特性非常适合应急通信系统的要求。特别在我国地面通信线路不发达的偏远农村,卫星通信具有不可替代的地

* 收稿日期:2015-08-05;修回日期:2015-10-22 Received date:2015-08-05;Revised date:2015-10-22
基金项目:国家自然科学基金资助项目(271284F010203);浙江省自然科学基金青年基金资助项目(LQ13F010010);浙江省重点科技创新团队项目(2013TD03)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China(271284F010203);The Natural Science Foundation of Zhejiang Province(LQ13F010010);Project of Zhejiang Province Scientific and Technological Innovation Team(2013TD03)

** 通信作者:8733210@qq.com **Corresponding author:**8733210@qq.com

位和作用。

随着信息化时代的到来,全球个人移动通信和信息高速公路通信需求迅速增长,要实现通信网的“无缝”覆盖,卫星通信是必不可少的通信手段^[1]。但由于地面移动通信网络和光纤通信网络的快速崛起,卫星通信应扬长避短,作为一种有效的补充通信手段,尤其是在危险品运输车辆出行的监控,山区、海洋、沙漠中气象水文监测站点测量数据的回传,输油管道腐蚀情况的监测,抢险救灾、处理突发事件的应急通信等各类应用中均大有作为。这类通信要求有实时远距离传输能力,但单位时间内需要传输的信息量极少,信息传输的抗干扰能力要强,传输的误码率要求又比较高。同时,由于用户数往往很多,所以希望单机设备低廉,使用费用便宜。这些需求构成了一类低信息速率的卫星通信传输的要求^[2]。由于国际电信联盟(International Telecommunications Union, ITU)和中国无线电管理委员会的相关规定, Ku 和 C 频段并不适合用来做移动通信。因此, L 频段是目前主要用来做移动通信的频段。随着在 S 频段上进行卫星移动通信逐渐成为新的研究内容,为了不断完善卫星通信技术,为移动通信行业带来更多的便捷,需要对此类卫星通信系统进行探索和研究。本文通过分析卫星资源引入了利用 S 频段进行卫星通信的设计方案,并参照卫星链路设计标准,对 S 频段卫星通信系统链路进行了计算,给出了系统余量及其限制因素,并提出了一些可以优化的解决办法;最后,通过研发出样机,对整个系统设计进行了室内闭环仿真实验和上星实验。

2 S 与 Ku、L 频段的对比及卫星资源的选择

国际电信联盟早在 20 世纪六七十年代曾多次召开世界无线电行政大会,讨论并制定了各类卫星通信业务可利用的工作频段的划分。通信卫星的使用频段主要是根据无线电频带资源和电磁波传播特点等因素确定的,但是由于技术条件的限制,到目前为止实际应用的频段仍十分有限。另一方面,ITU 和中国无线电管理委员会针对无线电波传播的特点,为移动业务划分了多个频段,这些频段基本都在 3 GHz 以下频段,如图 1 所示。

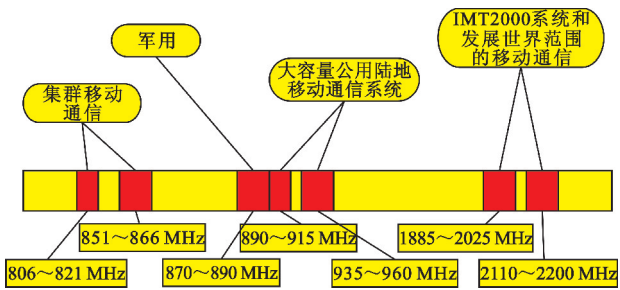


图 1 无线电管理委员会关于陆地移动通信使用频率规定示意图
Fig.1 Using frequency regulations schematic diagram about land mobile communications by Radio Regulatory Commission

卫星通信主要使用 Ku 和 C 频段作为固定卫星通信的频段,其中 Ku 频段用作卫星电视、卫星广播的主要频段。而 L 频段作为移动卫星通信的主要频段,如国外主要的卫星移动通信系统有 Inmarsat、Thuraya、“铱星”、“全球星”、Skyterra,其中 Inmarsat、Thuraya、“铱星”以及 Skyterra 用户链路使用的都是 L 频段,而“全球星”用户链路上行位于 L 频段,下行位于 S 频段,如表 1 所示。接下来的几年中 L 频段的信号数量还会增加,必然会造成 L 频段资源的紧缺,所以能用来作为卫星移动通信的频率资源十分有限。从卫星移动通信系统的演进情况来看,对新频率资源的应用必将受到重视。因此,研究 S 频段卫星移动通信系统对抢占 S 频段频率资源能提供良好的契机。

表 1 国外主要的卫星移动通信系统用户链路使用频率范围
Tab.1 Users link frequency range of the main foreign satellite mobile communication systems

系统	使用频率范围/MHz	
	上行	下行
Inmarsat	1 626.5 ~ 1 660.5	1 525.0 ~ 1 559.0
Thuraya	1 626.5 ~ 1 660.5	1 525.0 ~ 1 559.0
“铱星”	1 610.0 ~ 1 626.5	1 610.0 ~ 1 626.5
“全球星”	1 610.0 ~ 1 626.5	2 483.5 ~ 2 500.0
Skyterra	1 525.0 ~ 1 559.0	1 616.5 ~ 1 660.5

2006 年,中国无线电管理委员会根据国际电信联盟制定的频率划分标准发布了《中华人民共和国无线电频率划分规定》,将 S 频段 2 483.5 ~ 2 500 MHz 分配给无线电测定卫星服务(Radio Determination Satellite Service, RDSS),而卫星导航服务正属于 RDSS^[3]。随着导航通信一体化进程的推进,包括“北斗”导航系统在内的多国导航系统都开始研究使用 S 频段进行通信,其中日本准天顶卫星

系统(Quasi-Zenith Satellite System, QZSS)的倾斜地球同步轨道(Inclined Geosynchronous Satellite Orbit, IGSO)卫星系统已经在 S 频段上提供音频和视频信号的服务^[4]。由于卫星通信使用的频段越高,卫星通信系统容量就越大,所以卫星通信技术在不断地向频率更高、传输速率更快、性价比更明显的方向发展,因此,移动卫星通信使用 S 频段作为通信频段是发展的趋势。此外,鉴于一类低信息速率的卫星通信的需求,使用 S 频段作为工作频段,也是最佳的应用选择,因此,使用 S 频段作为卫星移动通信使用的频段具有更多的有利条件。

卫星移动通信是指利用人造地球卫星作为中继站转发或者反射无线电波,在两个或者多个地球站或用户终端之间进行的通信^[5]。按照卫星移动通信系统的轨道分类,可以将卫星移动通信系统分为静止轨道(Geostationary Earth Orbit, GEO)卫星移动通信系统、中轨道(Medium Earth Orbit, MEO)卫星移动通信系统、低轨道(Low Earth Orbit, LEO)卫星移动通信系统。其中, GEO 卫星移动通信系统也叫同步卫星移动通信系统,卫星位于距离地球 36 800 km 的地球同步赤道上方。 GEO 卫星系统的覆盖面积广,只需要 3 颗卫星就可以实现除两极以外地区的全球覆盖^[6]。而 LEO 和 MEO 卫星需要由多颗卫星互联成网,如“铱星”系统、“全球星”系统都利用的是 LEO 卫星星座实现移动通信的方案。“铱星”系统原有 7 条轨道,每条轨道上有 11 颗卫星,一共有 77 颗卫星,后来实际使用的“铱星”系统共有 66 颗卫星。由于使用的卫星数量多,造成通信成本大幅增加,因此, GEO 卫星移动通信系统具有一定的优势。但是,由于卫星距离地球较远,链路衰减过大,故需要卫星具有较大的发射功率,这也成为此类卫星通信的瓶颈。但是随着技术的不断进步,卫星上天线的口径不断加大,增益不断提升,卫星的发射功率已经可以满足 GEO 卫星通信系统的需求^[7-8]。如 1990 年发射的 Inmasat-2 卫星的有效全向辐射功率(Effective Isotropic Radiated Power, EIRP)只有 39 dBW, 2005 年发射的 Inmarsat-4 卫星的 EIRP 已经达到 67 dBW, 而 2010 年发射的 Skyterra-1 卫星的 EIRP 高达 79 dBW。尽管发展 GEO 卫星移动通信系统技术难度较大,但是其具有 LEO、MEO 卫星资源不具备的各种优势,所以 S 频段低速率卫星通信系统非常适合使用 GEO 卫星资源。

我国现已建成世界上最大的光纤、地面移动通

信网络,在地面通信技术水平已与世界同步^[9]。但是我国尚无自主研制与运营的卫星移动网络,现有的空间资源(轨道、频率)不足,将会严重制约构建航天基础设施的发展空间,所以建设 S 频段卫星移动通信系统将有利于中国争取空间资源^[10]。

3 S 频段低信息速率卫星通信链路预算

对 S 频段低信息速率卫星通信系统进行链路预算设计该系统的基础。 S 频段低信息速率卫星通信系统在用户端宜采用微小型终端及天线,这时, S 频段卫星传输链路在用户端一侧很可能成为下行功率受限的系统,将会影响整个卫星通信系统的容量,因此必须进行链路预算以明确系统在功率受限时可以进行哪些优化。

以 $[M]_{th}$ 表示门限余量,则有

$$[M]_{th} = \left[\frac{C}{T} \right]_t - \left[\frac{C}{T} \right]_{th} \quad (1)$$

式中: $[C/T]_t$ 为系统总的载波功率与噪声温度之比; $[C/T]_{th}$ 为根据解调门限 $[E_b/n_0]$ 计算出的用户端接收门限载温比。卫星通信的电波在传播中主要损耗来自自由空间传播损耗,在不考虑其他损耗,如大气、云、雾、雨雪等造成的吸收和散射损耗,多载波和多址造成的同信道干扰、交调干扰等时,

$$\left(\frac{C}{T} \right)_t = \left[\left(\frac{C}{T} \right)_u^{-1} + \left(\frac{C}{T} \right)_d^{-1} \right]^{-1} \quad (2)$$

$$\left[\frac{C}{T} \right]_{th} = \left[\frac{E_b}{n_0} \right] + 10 \lg k + 10 \lg R_b \quad (3)$$

式中: $[C/T]_u$ 、 $[C/T]_d$ 分别为上行链路载温比、下行链路载温比,表达式如下:

$$\left[\frac{C}{T} \right]_u = [W_s] + \left[\frac{G_{RS}}{T_s} \right] - 10 \lg \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right) \quad (4)$$

$$\left[\frac{C}{T} \right]_d = [P_{EIRP}]_s - [L_D] + \left[\frac{G_R}{T_D} \right] \quad (5)$$

式中: W_s 是通量饱和密度,即单位面积上的有效全向辐射功率; $[G_{RS}/T_s]$ 为卫星接收机品质因数,其大小关系到卫星接收性能的好坏; λ 为传输信号波长; $[P_{EIRP}]_s$ 为卫星转发器有效全向辐射功率; L_D 为下行链路自由空间传输损耗; $[G_R/T_D]$ 称为地球站品质因数,这一比值大小关系到地球站接收性能的好坏。

中星 6A 位于东经 125°,属于 GEO 同步轨道卫星,载有一个 S 频段卫星转发器,转发器参数如表 2 所示。

表 2 中星-6A 转发器参数

Tab. 2 Parameters of China Sat-6A repeater

卫星参数	值
卫星饱和有效全向辐射功率/dBW	41
卫星饱和通量密度/(dBW·m ⁻²)	-107.2
卫星接收机品质因数/(dB·K ⁻¹)	-3.55
转发器输出回退/dB	3
转发器输入回退/dB	5
上行频率/MHz	2 007.5±2.5
下行频率/MHz	2 197.5±2.5
转发器带宽/MHz	5

将转发器参数代入公式(4)~(5),得

$$\left[\frac{C}{T}\right]_{\text{u}}=-107.2-3.55-27.5=-138.25\text{ (dBW/K)},$$

(6)

$$\left[\frac{C}{T}\right]_{\text{d}}=41-190.89-19.85=-169.74\text{ (dBW/K)}.$$

(7)

由 $[C/T]_{\text{u}}$ 、 $[C/T]_{\text{d}}$ 得出

$$\left[\frac{C}{T}\right]_{\text{i}}=-10\lg(10^{13.825}+10^{16.974})=-169.74\text{ (dBW/K)}.$$

(8)

二进制相移键控(Binary Phase Shift Keying, BPSK)相干解调的抗白噪声能力优于二进制振幅键控(Binary Amplitude Shift Keying, 2ASK)和二进制频移键控(Binary Frequency Shift Keying, 2FSK)相干解调。在相同误比特率下, BPSK 相干解调所要求的 E_b/n_0 比 2ASK 和 2FSK 要低 3 dB, 这意味着发送信号能量可以降低一半^[11]。因此, 对于在用户端上下行功率受限的 S 频段卫星通信系统宜采用 BPSK 调制方式。当要求 $P_e \leq 10^{-4}$ 时, 有 $[E_b/n_0] \geq 8.4\text{ dB}$ 。由式(3)得

$$\left[\frac{C}{T}\right]_{\text{th}}=8.4-228.6+16.99=-203.21\text{ (dBW/K)}.$$

(9)

将 $[C/T]_{\text{i}}$ 、 $[C/T]_{\text{th}}$ 代入公式(1), 则 S 频段低速率卫星通信系统最理想的系统余量为 33 dB。如果采用频分多路复用(Frequency Division Multiplexing, FDM)+码分多址(Code Division Multiple Access, CDMA)模式, 将会引入交调干扰、同信道干扰, 再加入其他损耗, 系统用户侧下行链路余量会相应减少。对于 S 频段低速率卫星通信系统, 由于语音通信采用的是全双工的模式, 进行语音通信的用户容量取决于出局/入局(地球中心站到用户端/用户端到地球中心站)链路用户容量最小值。在用户端采用微小型终端及天线的 S 频段低速率卫星通信系统中, 语音用户容量主要取决于出局链路。此外, 出

局链路的用户容量应该受到卫星转发器带宽和 $[P_{\text{EIRP}}]_{\text{s}}$ 的双重限制。因此, S 频段低速率卫星通信系统设计时, 既要满足功率受限的条件, 又要满足频带受限的要求。可考虑采用扩频调制技术、前向纠错编码等措施提高系统信噪比, 在转发器功率仍有余量时, 可采用多进制数字相位调制(Multiple Phase Shift Keying, MPSK)等调制方式, 从而充分发挥 S 频段卫星系统的作用。

4 实验与分析

为了验证所构建的 S 频段低速率卫星通信系统, 选取中星 6A 作为实验卫星, 卫星配有两个工作状态, 第一工作状态为独立工作, 即 Ku-Ku: 36 MHz(上行 14 462 ~ 14 498 MHz/下行 12 712 ~ 12 748 MHz); S-S: 30 MHz(上行 1 980 ~ 2 010 MHz/下行 2 170 ~ 2 200 MHz)或 5 MHz(上行 2 005 ~ 2 010 MHz/下行 2 195 ~ 2 200 MHz)。第二工作状态为交链模式, Ku-S: 15 MHz(下行 14 483 ~ 14 498 MHz/下行 2 185 ~ 2 200 MHz); S-Ku: 5 MHz(上行 2 005 ~ 2 010 MHz/下行 12 743 ~ 12 748 MHz)。

在使用交链模式下, 入局上行和出局下行可以采用 S 频段, 而入局下行和出局上行可以采用 Ku 频段, 使用这种模式不但可以提高入局下行和出局上行的功率, 还可以提高频带利用率。

4.1 室内闭环实验

进行上星试验前需进行室内闭环的模拟实验, 为此, 我们设计研发出了一款 S 频段模拟转发器, 如图 2 所示。

模拟器主要参数如下:

- (1)输入频率:1 995 MHz±15 MHz;
- (2)输出频率:2 185 MHz±15 MHz;
- (3)衰减器拨码开关共 6 位,全置位时衰减 31.5 dB;
- (4)输入、输出均采用 SMA 接口。



图 2 S 频段模拟转发器实物图

Fig.2 Photo of the S-band analog repeater

此外,对整个 S 频段低速率卫星通信系统进行验证,所使用的通信设备均为自主研发的设备,如图 3 所示。根据链路计算的结果,设计主要指标如下:

- (1)信息速率:50/600 b/s;
- (2)发射功率:2 W;
- (3)发射频率:1 995 MHz;
- (4)接收频率:2 185 MHz。

实验结果表明,在室内闭环模拟实验中经系统传输后的载噪比达到44 dB,高于通信设备解调门限 2 dB,完全满足通信要求。



图 3 室内闭环实验现场图

Fig. 3 Photo of the interior closed loop experiment

4.2 室外上星实验

在检验 S 频段低速率卫星通信系统的过程中,分

别对中星 6A 提供的 S-S 频段独立模式和 Ku-S 频段交链模式进行实验,验证各模式下 S 频段低速率卫星通信的可行性,对比两种模式下 S 频段低速率卫星通信系统的性能。实验地点为中国卫通北京地面站,地面站设备采用 9 m 口径 S 频段抛物面天线以及 9 m 口径 Ku 频段抛物面天线及其接口设备。

实验 1 采用 S-S 频段独立模式时,为了选取最佳发射频率,以获得通信系统的最佳性能,分别采用了2 005 MHz、2 006 MHz、2 007 MHz作为发射频率,实验结果见表 3,其中 R_b 为信息速率, P_t 为发射功率, G_t 为收发天线增益, R_c 为扩频码速率, F_r 为接收频率, C/N_o 为载噪比。

表 3 S-S 独立模式实验结果

Tab. 3 Experimental results of S-S independent mode

发射频率/MHz	$R_b/(b \cdot s^{-1})$	P_t/W	G_t/dBi	R_c/MHz	F_r/MHz	$(C/N_o)/(dB \cdot Hz^{-1})$
2 005	50	2	3	1.023	2 195	37
2 006	50	2	3	1.023	2 196	47
2 007	50	2	3	1.023	2 197	51

实验 2 采用 Ku-S 频段交链模式时,经过链路预算,Ku-S 频段交链模式比 S-S 频段链路余量要大,因此增加了语音测试,实验结果如表 4 所示,其中 F_t 为发射频率、 R_b 、 P_t 、 G_t 、 R_c 、 F_r 、 C/N_o 含义同上。

表 4 Ku-S 交链模式实验结果

Tab. 4 Experimental results of Ku-S cross chain mode

发射端	信息类型	F_t/MHz	$R_b/(b \cdot s^{-1})$	P_t/W	$G_t/(dBi)$	R_c/MHz	F_r/MHz	$(C/N_o)/(dB \cdot Hz^{-1})$
地面站	短信	14 490	50	4	60.49	1.023	2 192	44.5
地面站	语音	14 490	50/600	4	60.49	1.023	2 192	44.5
用户端	短信	2 007	50	2	3.00	1.023	12 745	49.0
用户端	语音	2 007	50/600	2	3.00	1.023	12 745	49.0

可以看出,S-S 频段独立模式下,由于频率范围为 2 005 ~ 2 010 MHz,发射频率采用2 005 MHz时,小于2 005 MHz的信号被干扰淹没,造成的载噪比过低。Ku-S 交链模式下,出局上行和入局下行的信号明显好于 S-S 独立模式,因为在 Ku-S 交链模式 Ku 频段比 S 频段抛物面天线增益更大^[9],提高了链路余量以及频带利用率,所以系统性能更好。此外,在一些应急通信的场合,需要语音呼叫服务,如战争、反恐、救援救灾等,因此在 Ku-S 交链模式下,探索性地进行了语音通话实验,在600 b/s的信息传输速

率下,可以满足正常通话需求。实验证明,本文设计的 S 频段低信息速率卫星通信系统符合设计预期,不仅可以进行短报文通信,还可以进行语音呼叫,完全可以满足数据回传和应急通信的需求。

5 结束语

本文通过对卫星通信的各个频段进行对比分析之后,比较了 S 频段与其他频段的不同,阐明了 S 频段作为卫星移动通信的优势,并在此基础上对 S 频段卫星资源和转发器参数进行了选择和说明,对链路进

行了计算和分析,最后通过室内闭环实验和室外上星实验对整个 S 频段低速率卫星通信系统的可行性进行了验证,尝试了在 Ku-S 频段交链模式下进行通信的实验,得出了 Ku-S 频段交链模式比 S-S 频段独立模式系统性能更优的结论。对 S 频段卫星移动通信系统进行了有益的探索,通过实验证明使用全向天线 S 频段低信息速率的卫星通信系统可以有效地传输短报文,这在抢险救灾、测量数据回传、隐蔽通信、特别在位置服务领域有独特的应用价值。此外,低速率语音通信实验的成功将会给需要语音呼叫服务场景中提供十分有益的帮助。随着我国大 S 卫星的发射成功,S 频段卫星通信应用及其终端研制将会成为研究的热点,本文研究内容与结论可为我国发展 S 频段卫星通信事业提供一定的借鉴和参考。

参考文献:

- [1] 王世强,侯妍. 卫星通信系统技术研究及其未来发展[J]. 现代电子技术,2009(17):63-65.
WANG Shiqiang, HOU Yan. Key technique on satellite communication system and its future development[J]. Modern Electronics Technique, 2009(17): 63-65. (in Chinese)
- [2] 施许立,崔军霞,杜晓辉. 一类(极)低信息速率的卫星通信技术[J]. 中国科技成果,2010,11(11):16-19.
SHI Huli, CUI Junxia, DU Xiaohui. A kind of (extremely) low information rate of satellite communication technology[J]. China Science and Technology Achievements, 2010, 11(11): 16-19. (in Chinese)
- [3] PAONNI M, ISSLER J L. A search for spectrum: GNSS signals in S-band[J]. Inside GNSS, 2010, 5(7): 46-53.
- [4] DELRE E, PIERUCCI L. Next-generation mobile satellite networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(9): 150-159.
- [5] IBNKAHLA M, RAHMAN Q M, SULYMAN A I, et al. High-speed satellite mobile communications: technologies and challenges[J]. Proceedings of the IEEE, 2004, 92(2): 312-339.
- [6] 杨宏. 铱星卫星移动通信系统的关键技术研究[D]. 重庆:重庆大学,2013.
YANG Hong. Research on the key technologies of Iridium satellite mobile communication system[D]. Chongqing: Chongqing University, 2013. (in Chinese)
- [7] ROH W L, WOO J M. Miniaturization of microstrip antenna using folded structure with attaching plates for satellite communication terminal[C]//Proceedings of 2007 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation Society. Honolulu: IEEE, 2007: 4709-4712.

- [8] CHENG X J, XU J N, CAO K J, et al. Analysis on the one-way communication capability of GPS satellites in orbit transmitting non-navigational information[C]//Proceedings of 2009 International Conference on Computer Technology and Development (ICCTD). Kota Kinabalu: IEEE, 2009: 24-29.
- [9] 张更新,甘仲民,李广侠. 对发展我国卫星移动通信的有关思考[J]. 卫星与网络,2010(5):32-34.
ZHANG Gengxin, GAN Zhongmin, LI Guangxia. Thinking about the development of China mobile satellite communication[J]. Satellite & Network, 2010(5): 32-34. (in Chinese)
- [10] 汪宏武. 变革中的卫星移动通信系统[J]. 卫星与网络,2013(12):36-42.
WANG Hongwu. Changes in satellite mobile communication system[J]. Satellite & Network, 2013(12): 36-42. (in Chinese)
- [11] 曹志刚,钱亚生. 现代通信原理[M]. 北京:清华大学出版社,1992.
CAO Zhigang, QIAN Yasheng. Modern communication principle[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1992. (in Chinese)

作者简介:



尚俊娜(1979—),女,河南开封人,2006年于中国科学院研究生院获理学博士学位,现为副教授,主要从事通信信号处理、卫星通信方面的研究;

SHANG Junna was born in Kaifeng, Henan Province, in 1979. She received the Ph. D. degree from University of Chinese Academy of Science in 2006. She is now an associate professor. Her research concerns communication signal processing and satellite communications.

李林(1986—),男,陕西西安人,硕士研究生,主要研究方向为卫星通信和卫星导航;

LI Lin was born in Xi'an, Shaanxi Province, in 1986. He is now a graduate student. His research concerns satellite communications and satellite navigation.

Email: 8733210@qq.com

刘春菊(1988—),女,河南信阳人,硕士研究生,主要研究方向为通信信号处理和进化算法;

LIU Chunju was born in Xinyang, Henan Province, in 1988. She is now a graduate student. Her research concerns communication signal processing and evolution algorithm.

魏彦飞(1987—),男,河南漯河人,硕士研究生,主要研究方向为卫星通信和数据处理。

WEI Yanfei was born in Luohe, Henan Province, in 1987. He is now a graduate student. His research concerns satellite communications and data processing.