

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2016.11.007

引用格式:余怀瑾,杨峰,郭建新,等.移动用户目标系统中基于拍卖模型的信道资源分配[J].电讯技术,2016,56(11):1218-1222.[YU Huaijin, YANG Feng, GUO Jianxin, et al. Channel resource allocation in mobile user objective system based on auction model[J]. Telecommunication Engineering, 2016, 56(11):1218-1222.]

移动用户目标系统中基于拍卖模型的信道资源分配*

余怀瑾**¹, 杨 峰¹, 郭建新¹, 段晓沛²

(1. 空军工程大学 信息与导航学院, 西安 710077; 2. 解放军 95806 部队, 北京 100076)

摘 要:为了提高卫星通信信道的频谱利用率,从卫星通信中的认知无线电技术出发,简述了当前认知卫星研究现状。针对移动用户目标系统(Mobile User Objective System, MUOS)的特殊通信环境,提出了插空式(overlay)频谱共享方式下基于拍卖模型的认知卫星信道分配方式,并建立了收益公式。同时,引入星上频谱共享干扰公式来计算认知用户对系统造成的影响,并代入收益公式以计算认知技术给系统带来的收益大小;之后给出模拟通信环境参数,利用 Matlab 进行仿真计算。仿真结果表明,认知用户的加入虽会使主用户通信质量略有下降,但使系统总体收益呈上升趋势。

关键词:卫星通信;移动用户目标系统;认知无线电;拍卖模型;信道分配

中图分类号:TN927 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2016)11-1218-05

Channel Resource Allocation in Mobile User Objective System Based on Auction Model

YU Huaijin¹, YANG Feng¹, GUO Jianxin¹, DUAN Xiaopei²

(1. School of Information and Navigation, Air Force Engineering University, Xi'an 710076, China;
2. Unit 95806 of PLA, Beijing 100076, China)

Abstract:To increase the spectrum utilization of satellite communication channels, starting with the cognitive radio(CR) technology in satellite communications, this paper introduces the research status of CR satellite. For the special communication environment in mobile user objective system(MUOS), a channel allocation method of CR satellite based on auction model with overlay spectrum sharing method is proposed, and an income formula is built. Meanwhile, a satellite spectrum sharing interference formula is introduced to calculate the impact of cognitive users(CU) on system, which will be put into the income formula to calculate the income that CR brings to the system. Then the parameter values of simulative communication environment are given and used to perform simulative calculation by Matlab. The result shows that although the join of CUs makes the communication quality of primary users a little bad, it still brings a large benefit for the whole system.

Key words:satellite communication; mobile user objective system(MUOS); cognitive radio; auction model; channel resource allocation

1 引 言

在卫星通信中,由于受轨道位置和带宽的限制,其可用通信频段十分有限。当今世界各国大力发展

各类卫星,占用大量频谱资源。认知技术在主要授权用户不受干扰的正常通信情况下,允许主用户(Primary User, PU)与认知用户(Cognitive User, CU)

* 收稿日期:2016-02-24;修回日期:2016-06-30 Received date:2016-02-24; Revised date:2016-06-30

** 通信作者:yhj716haha@163.com Corresponding author:yhj716haha@163.com

在同一频谱中共存^[1]。因此,近几年来,将认知无线电(Cognitive Radio,CR)技术应用于卫星通信中,提高频谱利用率,从而减缓频谱资源的浪费现象正逐步成为卫星通信中的研究热点。

目前卫星通信领域中,研究认知技术的相关文献主要分为两类,即混合认知卫星通信^[2]和双认知卫星通信^[3]。而认知无线电技术在卫星通信系统中有两种主要应用方式:一是基于 CR 传统思想,如地面 CR 小区一样,将卫星视作天空中的基站,为地面多个 CU 用户提供共享频谱,使其通过该卫星进行数据传递,以建立网络,增加路由;二是利用频谱感知和频谱判决技术^[4],寻找频段中的空穴,用以变换数据传输的频率、体制等参数,从而“回避”干扰源,保证正常通信,为卫星通信提供了抗干扰新思路。

当前美军正大力发展的移动用户目标系统(Mobile User Objective System, MUOS),用户终端与卫星之间链路采用 UHF 频段,而 U 段大部分被地面通信占用,因此同区域内两者通信容易产生相互干扰。美军利用第二种应用方式,将频谱感知和频谱判决技术运用在寻找 MUOS 上下行链路中心频点附近的频谱空穴,并降低传输信号相应频段的发射功率,以保证通信过程中不对其他系统信号产生干扰。

此外,由于 MUOS 采用宽带码分多址(Wide Band Code Division Multiple Access, WCDMA)蜂窝技术来实现全球覆盖,加上 BPSK 调制技术的使用,容量是早期 UFO(UHF Follow-On)系统 10 倍以上,信道可用率大于 97%^[5]。在信道空闲情况下,若是阻挡地面 U 段通信,则会导致链路利用率低。因此,CR 技术的传统运用方式在 MUOS 中的应用凸显了重要性。

一个星上标准转发器带宽一般为 36 MHz,在使用中有大量空余时间和空余频段。对于可协商合作式 PU,可在保证自身通信不受干扰情况下,予以部分付出少量代价的临时用户使用权限,使其成为 CU,从而提高信道利用率,并获得认知代价收入。

在认知无线电的实现上,有文献使用功率控制算法,如:文献[6]提出的保证地面卫星网络 QOS(Quality of Service)的功率分配算法以及文献[7]中提出的潜存型(underlay)上行链路功率控制算法。但是,underlay 方式中利用扩频技术来提高频谱使用率,CU 对 PU 产生的噪声功率较大。由于 MUOS 的主用户使用具有优先性和绝对性,必须要保证 PU 在使用信道时不受认知用户干扰。Overlay 方式频谱共享中,CU 利用 PU 未使用的频段,从而对 PU 的

干扰最小化。因此,本文将采用 overlay 的频谱共享方式,基于拍卖模型,对卫星 WCDMA 通信中的上行链路进行信道资源分配,并计算出认知无线电技术给类 MUOS 的卫星通信系统带来的额外收益。

2 信道资源分配方案

2.1 基于拍卖模型的信道分配方案

为研究卫星系统中的频谱共享问题,我们建立一个基于拍卖的频谱分配模型^[8]。在这个模型中,将卫星视为空间中的基站,并将其作为拍卖方,卫星小区范围内认知用户作为投标者。在每一个拍卖轮回中,每个投标者为满足自身需要给频谱资源投不同的价,再由拍卖方确定“赢家决策”,可以最大化拍卖方收益,提高系统效率。这种动态的频谱拍卖主要有三个特点:是一种非合作行为;分配算法计算开销小;信令开销小。由此,文献[9]提出了一种多标拍卖的频谱共享机制,给出 3 种信道分配规则,即吞吐量最大规则、效用公平规则和时间公平规则。本文将研究 MUOS 中基于多标拍卖模型的卫星认知通信。

信道分配在时域和频域二维坐标中进行,如图 1 所示。时域中,将时间 T 划分成 N 个时隙,则 $n \in \{1, 2, \dots, N\}$;频域中,每一次对 M 个信道进行分配,则 $m \in \{1, 2, \dots, M\}$ 。若系统总带宽为 B ,将它划分为 M 个带宽为 $\Delta f = B/M$ 的信道。图 1 中阴影部分为被 CU 通信占用信道。在理想条件下,系统吞吐量即为传输的总比特率,可由香农公式求得

$$C = B \lg \left(1 + \frac{S}{N} \right) \tag{1}$$

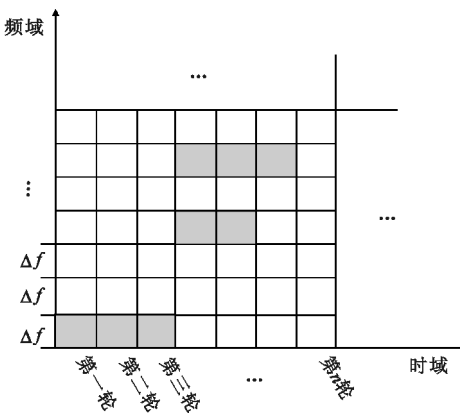


图 1 信道拍卖模型
Fig. 1 Channel auction model

对于每个用户 k ,假设信道 m 的误码率为 BER ,信道 m 的信噪比为 $SNR_{n,k,m}$,依据式(1)得传输比特

率为^[9]

$$b_{n,k,m}=\Delta f\text{lb}\left(1+\frac{1.5\text{ SNR}_{n,i,m}}{-\ln(5BER)}\right)。(2)$$

若忽略相邻信道的干扰, $\text{SNR}_{n,k,m}$ 可表述为

$$\text{SNR}_{n,k,m}=P\mid H_{n,k,m}\mid^2/N_0。(3)$$

式中: P 表示发射机的实际最大发射功率; $H_{n,k,m}$ 表示信道增益; N_0 表示信道的热噪声功率。

由于 MUOS 是针对高速移动终端的卫星通信系统, 各个参量在不同时刻有所改变。但由于卫星通信时延较大, PU 对信道的需求有时来不及反馈到卫星基站, 会产生 PU 的信号冲撞现象。因此, 将每一次拍卖在时域上划分成很小的时隙(例如 1 ms 量级), 以保证 PU 用户信号冲撞概率减小。此时, 干扰温度的分布、 $H_{n,i,m}$ 和 N_0 等参量在一次拍卖中可视不变, 故一次拍卖中各用户比特率与各自发射机功率有关。

假设一个 WCDMA 卫星小区中包括一颗同时作为 PU 基站和 CU 基站的卫星(即公共接收机), L 个 PU, K 个 CU 在时间 T 内共享 M 个信道。其中, PU 为卫星通信的注册用户, CU 在保证 PU 正常通信的前提下通过“竞标”得到空穴进行通信, 所付出代价作为卫星基站的收益, 并补偿 PU 注册代价。因此, 卫星基站在保证 PU 通信需求下, 为使 CU 带来干扰噪声代价尽可能补偿, 从而获得更大收益, 后文将依据吞吐量最大规则进行分析。

在拍卖中, 引入分配变量 a , 其物理意义为: 当 $a=1$ 时, 用户 k 在第 n 轮拍卖中获得信道 m 的使用权; 当 $a=0$ 时, 用户 k 在第 n 轮拍卖中不能获得信道 m 的使用权, 且信道 m 在每一轮拍卖中只能分配给一个用户, 即

$$\sum_{k=1}^K a\leq 1。(4)$$

故在 T 时间内共享 M 个信道的 CU 总数 K_n 为

$$K_n=\sum_{n=1}^N\sum_{m=1}^M\sum_{k=1}^K a。(5)$$

假设所有竞拍者均为“理性人”, 且拍卖为激励相容^[10]。在计算 CU 带来具体经济效益时, 以此 CU 传输比特量 I 作为量, 以每比特的价格 w_0 作为单价, 便可通过计算两者之积得到总收益, 即 $W=w_0\times I$ 。文中为便于收益的量化, 用传输比特率来表示代价, 从而进行定性分析。设竞标者出价为 θ_k , 按照使用吞吐量规则, 所有用户以自己所需吞吐量为依据, 则用户愿意付出的标价为

$$\theta_k=b_{n,k,m}。(6)$$

然后, 按照封闭式价格拍卖的规则进行信道分配。各个 CU 将标价传送给卫星基站的中心节点, 由中心节

点判决出价最高用户, 以此将第 n 轮的信道 m 分配给该用户。最后中心节点将分配结果反馈给每个 CU, 用户可利用所分配得到的信道进行信息传输。

由于卫星时延较大, 故此种拍卖分配采用批处理的方式, 即对在持续时间固定为 t 的时间窗内的请求, 进行一次批处理。分配结果将在下一个时间窗内显示。批处理可以保证对频谱使用申请的回复延迟时间在一个时间窗内, 从而提高频谱共享的效率。

2.2 卫星认知收益

由上文得, 用 θ_k 表示 CU 愿意出价。若 K_1 表示在一轮拍卖中接入 CU 的数量, 即 $K_1=\sum_{m=1}^M\sum_{k=1}^K a$, 则在一轮拍卖中获得收益为

$$W_1=\theta_k\times K_1=\Delta f\text{lb}\left(1+\frac{1.5\text{ SNR}_{n,i,m}}{-\ln(5BER)}\right)K_1。(7)$$

2.3 星上频谱共享的干扰影响

由于信道分配是在频域和时域二维坐标下进行, 因此在空间上, overlay 方式中 CU 的加入也会对 PU 造成一定的干扰。在分析 CU 带来的干扰大小时, 用最小信干噪比(SINR)来描述 PU 通信质量^[11]。由于处于同一卫星通信小区内, 故假定 PU 及 CU 对公共接收机之间的信道增益均为 h , P_l 为第 l 个 PU 的发射功率, p_k 为第 k 个 CU 的发射功率, 得第 l 个 PU 的星上 SINR 为

$$g_l=\frac{GhP_l}{\sum_{k=1}^{K_n}hp_k+\sum_{i=1,i\neq l}^LhP_i+\sigma^2}=\frac{GhP_l}{I_l^{\text{sp}}+I_l^{\text{pp}}+\sigma^2}=\frac{GhP_l}{I_l^{\text{p}}+\sigma^2}。(8)$$

式中: $I_l^{\text{sp}}=\sum_{k=1}^{K_0}h^2p_k$ 为所有 CU 给 PU 带来的总干扰; $I_l^{\text{pp}}=\sum_{i=1,i\neq l}^Lh^2P_i$ 为其他 PU 给第 l 个带来的总干扰; σ^2 为接收机噪声功率。

第 k 个 CU 的星上 SINR 为

$$g_k=\frac{Ghp_k}{\sum_{i=1,i\neq k}^{K_n}hP_i+\sum_{l=1}^LhP_l+\sigma^2}=\frac{Ghp_k}{I_k^{\text{ss}}+I_k^{\text{ps}}+\sigma^2}=\frac{Ghp_k}{I_k^{\text{s}}+\sigma^2}。(9)$$

式中: $I_k^{\text{ss}}=\sum_{i=1,i\neq k}^{K_n}hP_i$ 为其他 CU 给第 k 个 CU 带来的总干扰; $I_k^{\text{ps}}=\sum_{l=1}^LhP_l$ 为所有 PU 带来的总干扰。

3 仿真结果与分析

3.1 干扰分析

为简化模型, 分析在一次拍卖中, 假定在一定区

域内,各个 PU 的所有参数相同,各个 CU 的参数也相同,因此,可将式(8)化简,得

$$g_l=\frac{GhP}{K_1h\,p_k+LhP+\sigma^2}\,。(10)$$

文献[12]给定一个 MUOS 通信环境:码片速率为 3.84 Mcchip/s,即扩频带宽 3.84 MHz,系统噪声系数为 7.1 dB;通信链路频率为 310 MHz,卫星与终端间距离为 39 000 km,因此,自由空间传输损耗为 174.1 dB;若天线增益为 27 dBi,则总信道增益 $h=-147.1$ dB;扩频增益 $G=30$ dB;卫星噪声温度为 1 000 K,使用卫星噪声密度为 198.6 dBW/Hz,则噪声功率 $\sigma^2=-151.8$ dBW。同时,为保证 PU 正常通信,其接收信噪比达 10 dB 以上,取 PU 发射机平均功率 $P_l=5$ W, CU 发射机平均功率 $p_k=1$ W。利用 Matlab 仿真得图 2,进而分析主用户一定的条件下认知用户对主用户通信质量造成的影响。

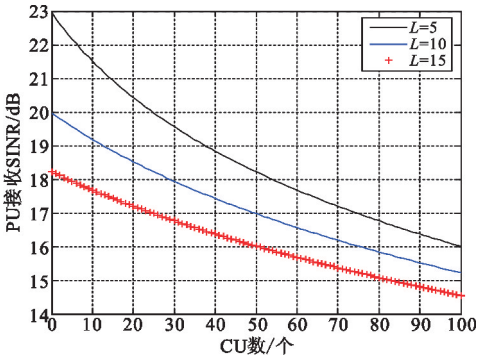


图 2 CU 数量对 PU 接收 SINR 造成的影响
Fig.2 The impact of CU amount on SINR of PUs

图 2 中,曲线表示在不同 PU 数条件下,星上接收 SINR 受接入 CU 数的影响。由图可得,就 $L=5$ 而言,当 CU 数从 0 增加至 40 时,PU 在星上接收的 SINR 下降最快,降低百分比约为 18.26%。

已知接收机灵敏度公式为

$$S=k_0TB_0+NF+SINR\,。$$

式中: k_0 为玻尔兹曼常数 1.381×10^{-23} W/Hz/K; T 为室温 290 K; B_0 为扩频带宽 3.84 MHz; NF 为系统噪声系数。由式(10)仿真可以得出,随着 CU 数量的增加,PU 的接收 SINR 的值降低,接收机灵敏度值也随之降低,其趋势与 SINR 一致。

3.2 拍卖收益分析

假定拍卖的每个信道带宽为 $\Delta f=0.5$ MHz,链路误码率 $BER=10^{-6}$;且对于 CU, $SNR_{n,i,m}$ 即为其星上接收信干噪比 g_k 。根据上文中建立的模型,由式(7)和式(10)可得一次拍卖中从 CU 中得到的收益量,即

$$W_1=\Delta f\text{lb}\left(1+\frac{1.5\,g_k}{-\ln(5BER)}\right)K_1。(11)$$

将数值代入并用 Matlab 仿真,结果如图 3 所示。

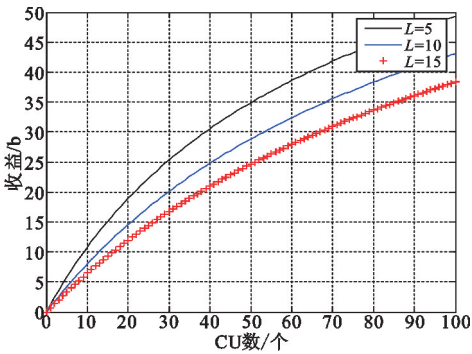


图 3 CU 给系统带来的额外收益
Fig.3 The extra income of system from CUs

将图 3 与图 2 对比分析,在 $L=5$,CU 数从 0 增加至 40 时,增长幅度最大,收益增加至 31 b。

但是,PU 通信 SINR 的下降率不方便与 CU 带来的收益进行量化分析,因此,需再将 PU 传输吞吐量下降程度与 CU 带来收益比较,同时求解出系统总收益的变化趋势。假定 PU 数为 $L=5$,根据式(11)可计算得一次拍卖中随着 CU 数量的增多,PU、CU 和系统总的收益变化,经仿真得图 4。

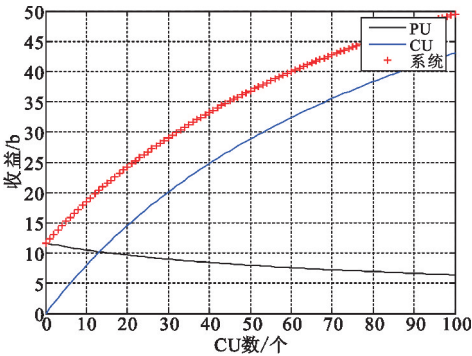


图 4 CU 的增多使系统各部分及整体收益变化
Fig.4 The variation of each part when CUs increase

由图 4 可知,随着 CU 的增多,PU 可传输的比特率有一定下降,但总体幅度较小;而 CU 带来的额外比特收益增长较快,从而使系统吞吐量整体呈增长趋势,对于系统整体而言是有较好效益的。

3.3 复杂度分析

文献[11]使用迭代算法,在获得同等收益情况下一次分配的计算量为 $o(K+L)$,占用存储单元为 $3(K+2L)$ 个,而使用拍卖模型分配方案只需在每次分配中检测一次 PU 功率,并计算各 CU 的需求,计算量减至 $o(K+1)$ 。同时,由于前一次分配结果被释放,有用信息仅占 $(L+1)$ 个存储单元。总体而言,

本文的信道资源分配方案复杂度较低。

4 结束语

本文主要探究基于移动用户目标系统的认知卫星运用。由于卫星信道有大量空穴,将其临时租用给部分认知用户会给卫星基站带来额外收益;对于认知用户而言,其信道使用需求较小,花费大量资金占用信道是不现实的。于是,本文基于经济学拍卖理论建立了认知卫星模型对 MUOS 信道进行分配,并采用 overlay 的频谱共享方式来保证 CU 对 PU 的干扰最小化。经模型建立和仿真计算可发现,CU 的接入对 PU 的星上 SINR 有一定影响,但影响较小。只要保证 SINR 在 PU 可接收门限内,CU 的接入给系统带来的收益是很可观的。且对于 CU 来说,不用花费大量经费而是只用付出少量满足自身需求的租金便能进行自身要求不高的通信,是很合算的。但是,由于要保证满足 PU 所需 SINR 和收益的最优策略,接下来还需进一步求解两者博弈的 CU 数量的纳什均衡解。

参考文献:

- [1] SHARMA S K, CHATZINOTAS S, OTTERSTEN B. Cognitive radio techniques for satellite communication systems [C]//Proceedings of 2013 IEEE Vehicular Technology Conference. Las Vegas, Nevada, USA; IEEE, 2013: 1-5.
- [2] AHN D S, KIM H W, AHN J, et al. Integrated/hybrid satellite and terrestrial networks for satellite IMT-advanced services[J]. International Journal of Satellite Communications and Networking, 2011, 29(3): 269-282.
- [3] KANDEEPAN S, DENARDIS L, DIBENEDETTO M G, et al. Cognitive satellite terrestrial radios [C]//Proceedings of 2010 Global Telecommunications Conference. Miami, Florida, USA; IEEE, 2010: 1-6.
- [4] 陈鹏, 徐烽. 卫星认知无线电通信中频谱感知算法比较[J]. 电讯技术, 2011, 51(9): 49-54.
CHEN Peng, XU Feng. Comparison of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications over satellite communication [J]. Telecommunication Engineering, 2011, 51(9): 49-54. (in Chinese)
- [5] 梁千帆, 陈建华. UHF 频段卫星通信的现状与未来发展[J]. 网络与应用, 2007(11): 26-28.
LIANG Qianfan, CHEN Jianhua. The current situation and future development of UHF band SatComs [J]. China New Telecommunications, 2007(11): 26-28. (in Chinese)
- [6] VASSAKI S, POULAKIS M I, PANAGOPOULOS A D, et al. Power allocation in cognitive satellite terrestrial networks with QoS constraints [J]. IEEE Communications Letters, 2013, 17(7): 1344-1347.
- [7] 陈鹏, 邱乐德, 王宇. 潜铺型卫星认知通信中上行链路功率控制[J]. 电子技术与应用, 2012, 38(12): 109-113.

CHEN Peng, QIU Lede, WANG Yu. Uplink power allocation of satellite underlay cognitive radio [J]. Application of Electronic Technique, 2012, 38(12): 109-113. (in Chinese)

- [8] 党建武, 李翠然, 谢健骊. 认知无线电技术与应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.
DANG Jianwu, LI Cuiran, XIE Jianli. Cognitive radio technology and application [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2012. (in Chinese)
- [9] 余艳英, 朱江, 张盛峰. 认知无线电系统中基于多标拍卖的信道分配机制[J]. 通信技术, 2008, 41(5): 75-78.
YU Yanying, ZHU Jiang, ZHANG Shengfeng. Channel allocation mechanisms for cognitive radio system based on repeated multi-bid auction [J]. Communications Technology, 2008, 41(5): 75-78. (in Chinese)
- [10] ITO T, HATTORI H, SHINTANI T. Incentive compatibility on multiple internet auctions based on bidding support agents [C]//Proceedings of 11th International World Wide Web Conference. Hawaii, USA; ACM, 2002: 506-511.
- [11] 陈鹏, 邱乐德, 王宇. 卫星认知无线电 CDMA 上行链路功率控制[J]. 系统工程与电子技术, 2012, 34(11): 2355-2360.
CHEN Peng, QIU Lede, WANG Yu. Uplink power control for CDMA satellite cognitive radio [J]. Systems Engineering and Electronics, 2012, 34(11): 2355-2360. (in Chinese)
- [12] MARSHALL J, HAZELTON L, PAL P, et al. Algorithms for MUOS Capacity Analysis [C]//Proceedings of 2007 IEEE Military Communications Conference. Orlando, Florida; IEEE, 2007: 1-6.

作者简介:



余怀瑾(1992—),女,四川自贡人,硕士研究生,主要研究方向为卫星通信信道;

YU Huaijin was born in Zigong, Sichuan Province, in 1992. She is now a graduate student. Her research concerns satellite communication channels.

Email: yhj716haha@163.com

杨峰(1976—),男,湖南岳阳人,硕士,教授,主要研究方向为现代无线通信、卫星移动通信;

YANG Feng was born in Yueyang, Hunan Province, in 1976. He is now a professor with the M. S. degree. His research concerns modern wireless communication and satellite mobile communication.

郭建新(1974—),男,河南周口人,博士,教授,主要研究方向为认知无线电、电磁频谱管理;

GUO Jianxin was born in Zhoukou, Henan Province, in 1974. He is now a professor with the Ph. D. degree. His research concerns cognitive radio and electromagnetic spectrum management.

段晓沛(1992—),女,北京人,助理工程师,主要从事通信系统运行维护和研究工作。

DUAN Xiaopei was born in Beijing, in 1992. She is now an assistant engineer. She is engaged in operating maintenance of communication system.