

认知无线电系统中的联合功率控制

徐斌阳, 李少谦

(电子科技大学通信抗干扰技术国家级重点实验室 成都 610054)

【摘要】针对认知无线电系统的应用,提出了一种基于终端业务传输速率要求的限制区联合功率控制方案。该方案依据终端业务传输速率大小成比例的性质来分配终端发射功率。仿真结果表明,在认知无线电混合业务应用环境中,该方案可以兼顾不同业务速率终端传输速率的要求,为其分配比等功率分配方案更为合理的发射功率份额,提高了系统吞吐量和频谱利用效率。

关键词 认知无线电; 功率控制; 频谱利用效率; 吞吐量
中图分类号 TN929 **文献标识码** A

Joint Power Control in Cognitive Radio System

XU Bin-yang and LI Shao-qian

(National Key Laboratory of Communication, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054)

Abstract A traffic-rate-based joint power control strategy for co-channel operation in cognitive radio system is proposed. The strategy allocates transmitting power according to both terminals' locations and traffic data rate requirements, so heterogeneous terminals can be provided with desired transmitting power. System simulation shows that the proposed strategy can achieve higher system throughput and spectrum utilization than two existing uniform power allocation schemes.

Key words cognitive radio; power control; spectrum utilization; throughput

无线业务的增长及无线通信系统的发展使得频谱资源日益紧缺。然而,研究表明^[1-2],部分授权频段的频谱资源并未得到充分利用,出现时间或者空间上的“频谱空洞(spectrum hole)”。认知无线电^[3-4]是一种基于软件无线电的智能系统,它通过频谱检测技术感知频谱使用状态,并且能自适应地调整系统参数以适应无线环境的变化,达到机会性的使用空闲频谱,提高频谱利用效率的目的^[5]。

通常,认知无线电系统采用能量检测算法^[6]对目标频段进行检测。当认知无线电系统感知到某一段频谱能量处于设定门限以下时,就判定该段频谱为可用频谱。这种情形可能是由于主系统在该频段上的发射功率经过衰减后,到达位于远端的认知无线电系统监测终端处的能量已经低于判决门限而造成。在这种情况下,若认知无线电系统工作于共道模式的发射功率过大,就会对工作于该频段上的主系统通信造成干扰。为了量化认知无线电系统产生的干扰,美国联邦通信委员会(Federal Communication

Committee, FCC)提出了干扰温度(interference temperature)^[1]的概念。其含义为认知无线电系统在给定地理位置和频段上的频谱能量值。认知无线电系统的应用前提是其产生的干扰温度处于主系统设定的界限以内。

针对认知无线电典型系统无线区域网(wireless regional area network, WRAN)应用,IEEE 802.22 WRAN MAC协议提案^[7]提出了参考发射功率控制边界距离和与发射终端同主系统干扰保护区域边界之间距离相关的两种等功率分配联合功率控制方案。由于前一种方案采用的参考距离是功率控制的边界距离,所以当发射终端位置偏向主系统基站时,容易造成干扰温度超过设定门限;而第二种方案为不同地理位置上的终端分配相等发射功率,对较远端终端的功率限制较大。另外,两种方案均没有考虑终端的业务需求,在多业务应用环境下不能提供有差别的业务QoS保障。本文提出了一种既考虑终端地理位置,又考虑业务传输速率要求的联合功率

收稿日期: 2007-02-05; 修回日期: 2007-09-15

基金项目: 国家863计划(2005AA133910)

作者简介: 徐斌阳(1977-),男,博士,主要从事无线资源管理、QoS保证机制、无线多媒体通信、频谱共享等方面的研究。

控制方案。系统仿真表明,该方案可以为异构业务提供更可靠的传输速率保障,提高了系统吞吐量和频谱利用效率。

1 联合功率控制

1.1 系统模型

图1为认知无线电(cognitive radio, CR)系统联合功率控制应用场景,主系统基站近场区域为共道干扰保护区域。CR系统在干扰保护区域边界处的干扰温度不可超过主系统设定的干扰温度门限 $P_{r,max}$ 。干扰保护区域 d_{min} 以内区域为CR系统不可靠通信区,

由于该区域距离CR基站较远,受CR用户终端设备发射功率限制,上行发射信号到达CR基站的强度低于有效通信水平。距离干扰保护区域边界 d_0 处为单个CR终端发射功率受控界,处于该界限内的CR终端不可以最大终端发射功率 P_0 发射。若多个CR终端共道发射,则其在干扰保护区域边界处产生的累计干扰温度不可超过门限 $P_{r,max}$ 。位于发射功率受控界附近,在分布上较为集中的多个CR终端覆盖的区域为共道发射功率限制区^[7]。CR系统需要对限制区内的终端功率发射作联合控制,以满足主系统对共道频谱使用的干扰约束要求。

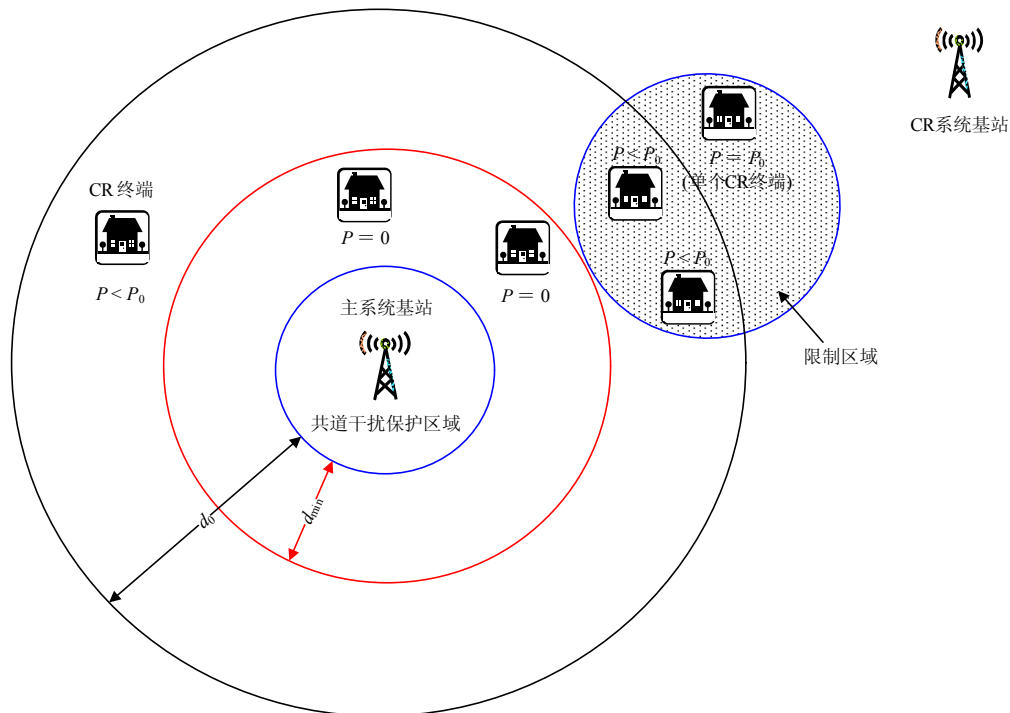


图1 CR系统工作于共道模式上行发射功率控制应用场景

1.2 等功率联合功率控制方案

设在限制区域内有 K 个CR终端,终端 k 与干扰保护区域边界的最短距离为 d_k , 路径损耗因子为 α , 协议^[7]提出的两种联合功率控制方案为终端 k 分配的发射功率分别为:

$$\text{方案1: } P_{t,k} = \frac{P_0}{K}; \quad \text{方案2: } P_{t,k} = \frac{P_0 d_0^{-\alpha}}{\sum_{k=1}^K d_k^{-\alpha}}$$

1.3 基于业务传输速率要求的联合功率控制方案

设终端 k 与CR基站的距离为 D_k , 其业务传输速率要求为 r_k , 共道噪声功率为 N_0 , 共道带宽为 W , 终端与CR基站天线增益分别为 G_t 和 G_r , L 为与传播无关的系统损耗因子, λ 为波长。为了达到业务

传输速率要求,终端上行发射功率需满足(仅考虑大尺度路径损耗):

$$P_{t,k}^* = \frac{1}{\theta} D_k^\alpha N_0 (W^{2r_k} - 1)$$

式中 $\theta = \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 L}$ 。在多个终端联合发射情况下,

终端 k 分配到的发射功率份额为:

$$P_{t,k} = P_T \frac{P_{t,k}^*}{\sum_{k=1}^K P_{t,k}^*} = P_T \frac{D_k^\alpha (W^{2r_k} - 1)}{\sum_{k=1}^K [D_k^\alpha (W^{2r_k} - 1)]} \quad (1)$$

式中 P_T 为CR系统可用总发射功率。 K 个终端共道发射受到干扰温度门限 $P_{r,max}$ 约束:

$$\sum_{k=1}^K P_{t,k} \theta d_k^{-\alpha} = P_0 \theta d_0^{-\alpha} = P_{r,\max} \quad (2)$$

于是, 将式(1)代入式(2), 可以得到系统可用总发射功率为:

$$P_T = \frac{P_0 d_0^{-\alpha} \sum_{k=1}^K [D_k^\alpha (W^{2\bar{r}_k} - 1)]}{\sum_{k=1}^K [d_k^\alpha d_k^\alpha (W^{2\bar{r}_k} - 1)]} \quad (3)$$

将式(3)代入式(1)可得到基于业务传输速率要求的联合功率控制策略为终端 k 分配的发射功率为:

$$P_{t,k} = \frac{D_k^\alpha (W^{2\bar{r}_k} - 1)}{\sum_{k=1}^K [D_k^\alpha (W^{2\bar{r}_k} - 1)]} \frac{P_0 d_0^{-\alpha} \sum_{k=1}^K [D_k^\alpha (W^{2\bar{r}_k} - 1)]}{\sum_{k=1}^K [d_k^\alpha D_k^\alpha (W^{2\bar{r}_k} - 1)]}$$

2 系统仿真及性能分析

本文参考IEEE 802.22 WRAN系统环境^[7]对上述联合功率控制策略作性能评估。WRAN系统使用的共享频段为数字电视(DTV)广播频段。

表1 仿真中采用的MCS

接收端信噪比/dB	调制方式	编码速率
<10	QPSK	1/2
10~15	QPSK	3/4
15~17	16QAM	1/2
17~20	16QAM	3/4
20~23.5	64QAM	2/3
>23.5	64QAM	3/4

系统部署如图1所示, 设一中心位于发射功率受控界上的圆形阴影区域为共道发射功率限制区。WRAN终端在该区域内均匀分布, 其位置固定不变。WRAN终端上行业务包括UGS(unsolicited grant service)类VoIP和rtPS(real-time polling service)类MPEG两种分组^[7]。这两类业务根据文献[8]中的业务源模型建模, VoIP和MPEG两种业务源的分组传输速率分别为9.3 kb/s和190 kb/s。限制区内两类业务终端数目相等, 且在地理位置上均匀分布。信道实时传输容量根据表1给出的基站端接收信号信噪比支持的调制编码方案(MCS)得出。其他系统仿真环境参数如表2中所示。

图2~图4分别给出了三种联合功率控制方案在限制区内不同数目WRAN终端条件下获得的业务平均分组传输速率、平均分组传输时延和系统吞吐量。

表2 系统仿真参数

仿真参数	数值
WRAN基站与DTV基站距离/km	35
圆形限制区半径/km	1
限制区中心与DTV基站距离/km	5
限制区中心与干扰保护区域边界距离 d_0 /km	4.7
WRAN终端最大发射功率 P_0 /w	4
WRAN中心工作频率/MHz	600
共道带宽/MHz	6
大尺度路径损耗模型	文献[9]
多径衰落模型	文献[9](附录B)
二维正弦阴影衰落模型	文献[10]

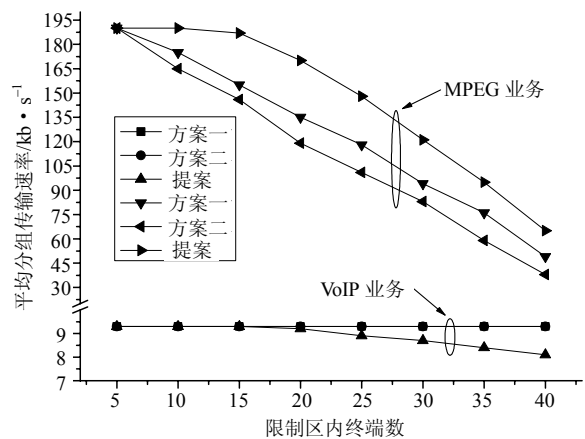


图2 业务平均分组传输速率

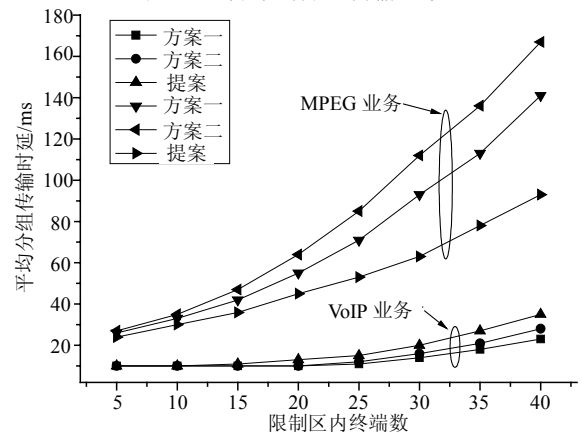


图3 业务平均分组传输时延

从图2中可以看出, 在限制区不同终端数目时, 方案1和方案2能为低速VoIP业务提供可靠的业务传输速率保障, 但是较高速率MPEG业务获得的业务分组传输速率会随着终端数目的增加快速下降。比较而言, 由于方案1为终端分配的发射功率高于方案2, 所以MPEG业务可以在方案1中获得较高的平均分组传输速率。而对于本文方案, VoIP和MPEG两种不同速率业务在终端数目变化情况下获得的平均

分组传输速率变化趋势相当：当系统终端数目达到15个时，系统开始过载，两种业务的平均分组传输速率同步下降。在相同的限制区终端数目条件下，本文方案在VoIP业务上获得的平均分组传输速率低于方案1和方案2；但是在具有较高比特速率的MPEG业务上，本文方案可以为MPEG提供更高的平均分组传输速率，较两种等功率分配方案有明显优势。从图3的业务平均分组传输时延性能上看，本文方案在低速率VoIP业务上获得的数值稍高于两种等功率分配方案，但是可以为高比特率MPEG业务提供较低的平均分组传输时延，且能将其上升幅度控制在较低水平。从系统级性能来看，本文方案可以提供比现有两种方案更高的系统吞吐量和频谱利用效率，并且，这种优势会随着系统业务负荷的增加而更为明显，如图4所示。

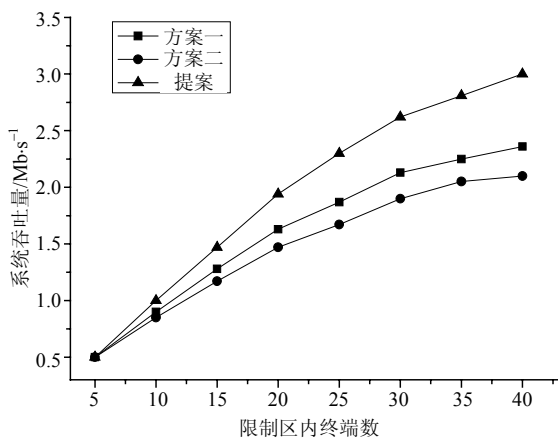


图4 系统吞吐量

从以上数据可以看出，本文方案通过为不同速率的分组业务终端分配与传输速率要求相匹配的发射功率，有效的利用了系统发射功率。而等功率分配机制将不同业务传输速率要求的终端等同起来，以至于为传输速率要求较低的终端分配了过高发射功率，而为传输速率要求较高的终端分配的功率不足，引起发射功率的分配不均和系统容量下降。

3 结束语

本文针对认知无线电系统共道上行多业务应

用，提出了一种基于终端业务传输速率要求的联合功率控制方案。系统仿真表明，同现有的两种等功率联合功率控制方案相比较，该方案能兼顾不同速率终端用户的业务应用需求，为终端分配与传输容量需求成比例的发射功率，提高了认知无线电系统吞吐量和频谱利用效率。

参 考 文 献

- [1] Federal Communications Commission. Spectrum policy task force report ET Docket no. 02-135[R]. 2002.
- [2] YANG Jing. Spatial channel characterization for cognitive radios[D]. Berkeley, USA: UC Berkeley, 2004.
- [3] MITOLA III J, MAGUIRE Jr G Q. Cognitive radio: making software radios more personal[J]. IEEE Personal Communications, 1999, 6(4): 13-18.
- [4] MITOLA J. Cognitive radio: an integrated agent architecture for software defined radio[D]. Stockholm, Sweden: Royal Institute of Technology (KTH), 2000.
- [5] HAYKIN S. Cognitive radio: brain-empowered wireless communications[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23(2): 201-220.
- [6] CABRIC D, MISHRA S M, BRODERSEN R. Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios[C]//In Proc 38th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers. Pacific Grove, CA: IEEE, 2004.
- [7] BENKO J, CHEONG Y C, CORDEIRO C. A PHY/MAC proposal for IEEE 802.22 WRAN systems part 2: The Cognitive MAC[DB/OL]. [2006-02-23]. http://www.ieee802.org/22/Meeting_documents/2006_Mar/22-06-0003-03-0000_ETRI-FT-I2R-Motorola-Philips-Samsung-Thomson_MAC_Spec.doc.
- [8] BAUGH C R, HUANG J. Traffic model for 802.16 TG3 MAC/PHY simulations[DB/OL]. [2001-03-02]. http://www.ieee802.org/16/tg3/contrib/802163c-01_3_0r1.pdf.
- [9] ELI S, GERALD C. WRAN channel modeling[DB/OL]. [2005-07-12]. http://www.ieee802.org/22/Meeting_documents/2005_July/22-05-0055-01-0000_WRAN_Channel_Modeling-ES-GC.doc.
- [10] CAI X, GIANNAKIS G B. A two dimensional channel simulation model for shadow fading processes[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2003, 52(6): 1558-1567.

编辑 漆 蓉