

认知无线电中移动认知用户功率控制方法

杨广龙, 谭学治, 王 孝

(哈尔滨工业大学 通信技术研究所, 150001 哈尔滨)

摘 要: 传统认知无线电中的功率控制问题都是基于认知用户位置不变的情况, 本文针对可移动认知用户的功率控制问题进行深入研究. 首先对不同通信场景进行分析和归一化整理, 建立通用通信模型, 极大的简化了干扰估计和功率控制算法; 其次根据认知用户的可移动性, 推导出授权用户所受干扰与认知用户移动距离和运动矢量方向的函数表达式, 实现了认知用户对授权用户干扰的实时预测; 根据预测结果采用最小发射功率准则实现认知用户的功率控制. 仿真结果表明, 本文方法能够实时、高效的对认知用户进行功率控制, 与采用固定步长的功率控制算法相比能够节约功耗 20%.

关键词: 认知无线电; 下垫式; 功率控制; 通用通信模型

中图分类号: TN929. 5

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2014)01-0023-06

The power control algorithm of mobile cognitive users in cognitive radio

YANG Guanglong, TAN Xuezhi, WANG Xiao

(Communication Research Center, Harbin Institute of Technology, 150001 Harbin, China)

Abstract: The traditional power control problems of cognitive radio are based on the situation that the position of cognitive user is unchanged. This paper has done a lot of work on the power control problems of mobile CR users. First of all, we analyze various communication situation and sort with normalization, establish general communication model which highly simplifies the interference estimation and power control algorithm; Secondly, according to the mobility of the CR users, the function expression of the interference of PR user, moving distance and the vector direction of CR user which realized the real-time prediction of interference from CR to PR users is deduced. Finally the power control of the cognitive users is realized according to the prediction result by minimum transmission power norm. The simulation result shows that the algorithm can control the transmitting power of CR users timely and efficiently which can save 20% for the power consumption compared with the fixed step power control algorithm.

Keywords: cognitive radio; underlay; power control; general communication model

认知无线电技术通过允许认知用户智能感知和随机接入授权用户空闲的频谱来提高频谱利用率, 让频谱资源稀缺的现状得以缓解^[1-4]. 通常, 认知无线电根据频谱复用方式被分为 3 类: 填充式 (Overlay)、下垫式 (Underlay)、交织式 (Interweave). 在填充式共享中用户伺机接入频谱

空穴, 对授权用户的干扰较小^[5-6]; 在下垫式共享中, 认知用户受到授权用户“干扰容限”的严格约束, 但频谱利用率较高, 认知用户通过降低发射功率避免对授权用户的干扰^[7-9].

图 1 所示的认知无线电通信模型, 认知用户工作在下垫式频谱共享模型下, 认知用户为可移动用户. 图中的 a 、 b 、 c 3 个圆分别代表认知用户采用不同的功率控制算法时认知用户发射功率的覆盖范围, P_{Rx} 为授权用户、 C_{Tx} 为认知用户发射单元、 C_{Rx} 为认知用户接收单元. 从图中可以看出, 当采用 a 功率控制算法时不但避免了对授权用户的干扰, 同时也降低了系统能耗. 当认知用户为

收稿日期: 2012-11-23.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61071104); 通信网信息传输与分发技术重点实验室开放课题资助项目(ITD-U12004/K1260010).

作者简介: 杨广龙(1980—), 男, 博士研究生;

谭学治(1957—), 男, 教授, 博士生导师.

通信作者: 谭学治, tanxz1957@hit.edu.cn.

移动用户时,减小能耗就能增加移动用户的使用时间,在实际应用中非常关键。

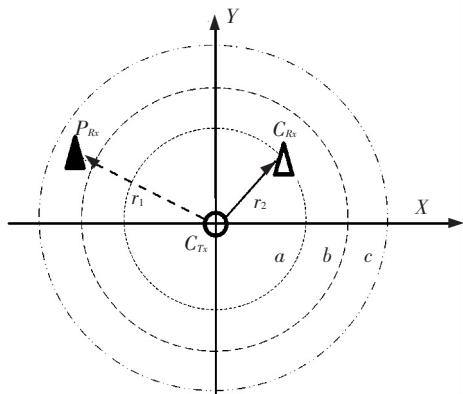


图 1 一个授权用户,两个认知节点的共存式频谱共享模型

在公共网络和点对点无线网络中,功率控制问题被广泛的研究^[10-13],在 global system for mobile communications (GSM) 功率控制方法中,1800 M 手机具有 15 个功率级别步长,每个功率级别差 2 dB, GSM 基站通过下行 SACCH 信道控制手机采用不同的发射功率级别^[14-15],GSM 中采用的固定步长的功率控制算法能够简单有效的对移动用户进行功率控制,同时也起到节能的作用。

近几年认知无线电中的功率控制问题也成为研究的热点^[5-9]。文献[16]讨论了填充式模型下通过多跳方式节约能耗的问题,但是没考虑下垫式模型。利用下垫式模型能够提高频谱利用率,避免对授权用户造成干扰^[5],同时降低认知用户的能耗。文献[17]只简单的从几何学的观点上描述了认知用户功率辐射区域,并没有考虑功率控制问题,而且假设的认知用户的位置是固定不变的,并没有考虑认知用户的移动性。文献[18]研究了认知用户的功率约束问题,提出授权用户可以正常通信的信噪比(SNR),以此调节授权用户的发射功率。文献[19]研究了在 Ad hoc 网络下授权用户和认知用户通信的吞吐量问题,发现当认知用户密度比授权用户密度大时,两种网络下吞吐量的变化规则是一样的。但是并没有深入分析授权用户传输半径、认知用户数目之间的相互关系。文献[20]利用马尔科夫不等式,推导出认知用户传输半径范围,分析了不同认知用户密度下,授权用户吞吐量和传输半径之间实际作用关系。传统算法认知节点间采用固定发射功率,认知节点并没有功率控制能力^[21]。针对上述问题,本文在前人研究的基础上进行改进,提出基于移动用户的移动距离和运动矢量方向的自动功率控制算法 automatic power control-distance vector (APC-DV)。本文功率控制算法目的如下:

1) 在下垫式频谱共享模型下,认知用户具有可移动性,且移动过程中不会对授权造成干扰;

2) 认知用户在保证通信质量的前提下,采用最优发射功率,降低能耗。

1 系统模型和问题描述

图 1 中假设 C_{Tx} 的位置为坐标原点, C_{Tx} 到 P_{Rx} 的直线距离为 r_1 , C_{Tx} 到 C_{Rx} 的直线距离为 r_2 , 在两径传输模型下,接收信号功率可以表示为

$$P_r = P_{ct} G_t G_r h_t^2 h_r^2 / d^\alpha.$$

其中 P_r 为接收信号功率, P_{ct} 为 C_{Tx} 的发射功率, G_t 和 G_r 分别为发射和接收天线的增益, h_t 和 h_r 分别为发射和接收天线的高度, d 为发射端和接收端之间的距离, α 为路径损耗参数。

定义授权用户的干扰功率门限为 P_{th} , 认知接收用户的最小接收功率门限为 S_{th} 。满足如下条件:

$$\begin{cases} P_{rc} \geq S_{th}, \\ P_{rp} < P_{th}, \\ P_c^{\min} \leq P_{ct} \leq P_c^{\max}. \end{cases} \quad (1)$$

式中: P_{rc} 为 C_{Tx} 的发射功率经过路径损耗后实际到达认知用户接收端的功率; P_{rp} 为 C_{Tx} 的发射功率经过路径损耗后实际到达授权用户的功率; $P_c^{\min}$ 和 $P_c^{\max}$ 分别为 C_{Tx} 所允许的最小和最大发射功率。

假设接收和发射天线的增益和高度分别相同, 由此可分别得到 P_{Rx} 、 C_{Rx} 处的接收信号功率为

$$P_{rp} = P_{ct} G_t G_r \frac{h_t^2 h_r^2}{(r_1)^\alpha}, \quad (2)$$

$$P_{rc} = P_{ct} G_t G_r \frac{h_t^2 h_r^2}{(r_2)^\alpha}. \quad (3)$$

假设 P_{Rx} 、 C_{Rx} 位置固定不变。

定义 1 静态场景

C_{Tx} 位置不变的场景。

定义 2 动态场景

C_{Tx} 以某个速率进行移动的场景。

1.1 静态场景下功率控制算法

静态场景下, C_{Tx} 相对于 P_{Rx} 、 C_{Rx} 的位置固定不变, 在本文中假设每个节点可通过全球定位系统(GPS)或者其他的定位算法获得自己的位置信息, 每个节点能够通过一个通用的控制信道与相邻节点交互位置信息。功率控制流程如下:

1) 根据已更新的位置信息计算 r_1 , r_2 。

2) 根据式(2)和(3)计算 P_{rp} , P_{rc} 。

3) 如果 $P_{rc} \geq S_{th}$ 与 $P_{rp} < P_{th}$ 与 $P_c^{\min} \leq P_{ct} \leq P_c^{\max}$ 同时成立, 迭代减小认知用户发射功率, 利用数学模型计算最优发射功率, 认知用户利用此功率进

行发射。

4) 如果 $P_{re} < S_{th}$ 与 $P_{rp} < P_{th}$ 与 $P_c^{\min} \leq P_{ct} \leq P_c^{\max}$ 同时成立, 迭代增加认知用户发射功率, 利用数学模型计算最优发射功率, 认知用户利用此功率进行发射。

5) 如果 $P_{rp} > P_{th}$, 发射功率调节到最小值后迭代增加认知用户发射功率, 在发射功率迭代增加过程中:

i) 如果 $P_{rp} > P_{th}$ 与 $P_{ct} = P_c^{\min}$ 同时成立, 关闭认知用户发射;

ii) 如果 $P_{re} \geq S_{th}$ 与 $P_{rp} < P_{th}$ 与 $P_{ct} = P_c^{\min}$ 同时成立, 认知用户采用发射功率 $P_{ct} = P_c^{\min}$ 进行发射;

iii) 如果 $P_{re} \geq S_{th}$ 与 $P_{rp} < P_{th}$ 与 $P_c^{\min} \leq P_{ct} \leq P_c^{\max}$ 同时成立, 利用数学模型计算最优发射功率, 认知用户利用此功率进行发射。

6) 如果 $P_{re} < S_{th}$ 与 $P_{rp} < P_{th}$ 与 $P_{ct} = P_c^{\max}$ 同时成立, 关闭认知用户发射。

7) 如果 $P_{re} \geq S_{th}$ 与 $P_{rp} > P_{th}$ 与 $P_{ct} = P_c^{\min}$ 同时成立, 关闭认知用户发射。

8) 如果 $P_{re} < S_{th}$ 与 $P_{rp} > P_{th}$ 同时成立, 关闭认知用户发射。

1.2 单授权用户动态场景下功率控制算法

单授权用户动态场景只存在 1 个授权用户。 P_{Rx} 、 C_{Rx} 的位置固定不变, C_{Tx} 以某个速率移动。根据 C_{Tx} 的运动趋势讨论动态场景下的功率控制算法。

图 2 所示的通信场景中, 假设 C_{Tx} 初始位置为坐标原点, C_{Tx} 的运动方向在 X 、 Y 平面上存在 4 个区间 8 个方向, 分别为 $d_1 \sim d_8$, 其中 d_2 、 d_4 、 d_6 、 d_8 可以为此区间内的任意方向。

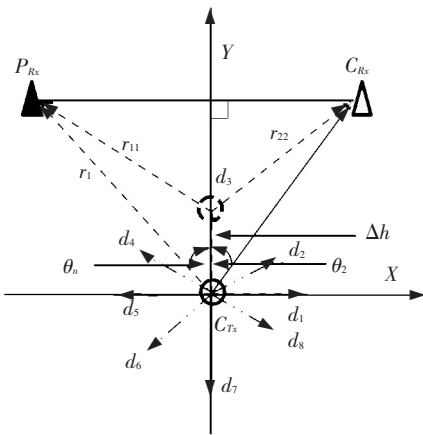


图 2 动态场景下 C_{Tx} 以 d_3 方向运动

以 d_3 运动方向为例讨论动态场景下功率控制算法。图 2 中假设 d_3 与 P_{Rx} 、 C_{Rx} 的连线垂直, C_{Tx} 按照 d_3 运动方向 t 时刻的运动距离为 Δh , r_{11} 和 r_{22} 分别为 t 时刻 C_{Tx} 与 P_{Rx} 、 C_{Rx} 的直线距离, θ_1 为

r_1 与 d_3 运动方向的夹角; θ_2 为 r_2 与 d_3 运动方向的夹角, 可得下式:

$$r_{11} = \sqrt{(\Delta h)^2 + r_1^2 - 2\Delta h r_1 \cos \theta_1}, \quad (4)$$

$$r_{22} = \sqrt{(\Delta h)^2 + r_2^2 - 2\Delta h r_2 \cos \theta_2}. \quad (5)$$

将式(4)和(5)分别代入式(2)和(3)可得

$$P_{rp} = P_{ct} G_t G_r \frac{h_l^2 h_r^2}{((\Delta h)^2 + r_1^2 - 2\Delta h r_1 \cos \theta_1)^{\frac{\alpha}{2}}}, \quad (6)$$

$$P_{re} = P_{ct} G_t G_r \frac{h_l^2 h_r^2}{((\Delta h)^2 + r_2^2 - 2\Delta h r_2 \cos \theta_2)^{\frac{\alpha}{2}}}. \quad (7)$$

式(6)和(7)需要满足式(1)的要求, 可得

$$P_{ct} \geq \frac{S_{th}}{G_t G_r h_l^2 h_r^2} ((\Delta h)^2 + r_2^2 - 2\Delta h r_2 \cos \theta_2)^{\alpha/2}, \quad (8)$$

$$P_{ct} < \frac{P_{th}}{G_t G_r h_l^2 h_r^2} ((\Delta h)^2 + r_1^2 - 2\Delta h r_1 \cos \theta_1)^{\frac{\alpha}{2}}, \quad (9)$$

$$P_c^{\min} \leq P_{ct} \leq P_c^{\max}.$$

由于式(6)和式(7)中 $P_t G_t G_r h_l^2 h_r^2$ 相同, 可得

$$P_{rp} = P_{re} \frac{((\Delta h)^2 + r_2^2 - 2\Delta h r_2 \cos \theta_2)^{\alpha/2}}{((\Delta h)^2 + r_1^2 - 2\Delta h r_1 \cos \theta_1)^{\alpha/2}}. \quad (10)$$

式(8)中 $r_1, r_2, \cos \theta_1, \cos \theta_2$ 为已知, 假设 C_{Tx} 的发射功率刚好满足 C_{Rx} 的接收要求, 即 C_{Tx} 的发射功率经过路径损耗后等于 P_{re} , 可以看出, 公式(10)中 P_{rp} 的值由 Δh 决定, 说明 P_{rp} 为 Δh 的函数, 可以用下式表示:

$$P_{rp} = f(\Delta h). \quad (11)$$

由于 d_3 的运动方向固定, 所以 θ_1 和 θ_2 为固定值, 由开篇的假设可知 r_1 与 r_2 的值已知, S_{th} 与 P_{th} 值已知; G_t 和 G_r 的增益相同且已知, h_l 和 h_r 的高度相同且已知, 可得 $S_{th}/G_t G_r h_l^2 h_r^2$ 与 $P_{th}/G_t G_r h_l^2 h_r^2$ 为定值, 所以通过式(8)和(9)可以得出 P_{ct} 为 Δh 的函数, 可以用下式表示:

$$P_{ct} = g(\Delta h). \quad (12)$$

上述讨论是基于 C_{Tx} 的运动方向不变的情况。假设 C_{Tx} 从坐标轴原点出发, 向不同的方向运动, 如图 2 所示的 8 种运动方向, 可以看出公式(8)和(9)函数中的 θ_1 和 θ_2 发生了改变, P_{ct} 成为 $\cos \theta_x$ 的函数, 可以用下式表示:

$$P_{ct} = s(\cos \theta_x). \quad (13)$$

图 2 中的运动方向都为矢量方向, 当运动方向与矢量方向相同时定义 $\Delta h > 0$, 当运动方向与矢量方向相反时定义 $\Delta h < 0$ 。

从式(8)可以看出, $\Delta h > 0$ 时, θ_2 在 $[0, \pi]$ 区间内, P_{ct} 函数为单调递增函数; θ_2 在 $[\pi, 2\pi]$ 区间内, P_{ct} 函数为单调递减函数。 $\Delta h < 0$ 时, θ_2 在 $[0, \pi]$ 区间内, P_{ct} 函数为单调递减函数; θ_2 在 $[\pi, 2\pi]$ 区间内, P_{ct} 函数为单调递增函数。

$2\pi]$ 区间内, P_{ct} 函数为单调递增函数. $\theta_2 = 0, \theta_2 = \pi, \theta_2 = 2\pi$ 分别为函数 $s(\cos \theta_2)$ 的拐点.

1.3 多授权用户动态场景下功率控制算法

多授权用户动态场景存在多个授权用户.图3中存在多个授权用户,假设每个授权用户的干扰门限相同 $P_{th1} = P_{th2} = \dots = P_{thn}$.

定义3 $\max(P_{rpn})$ 即为 $\max\{P_{rp1}, P_{rp2}, P_{rp3}, \dots, P_{rpn}\}$, P_{rpn} 为授权用户接收到的来自认知用户的干扰功率. $\max(P_{rpn})$ 即计算所有授权用户中受到干扰最大者.

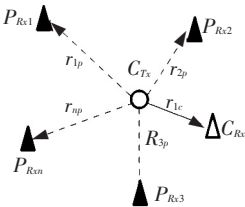


图 3 通信场景 (多个授权用户)

在图3中,假设 $\max(P_{rpn})$ 的授权用户为 P_{Rx2} ,可以有如下结论:

- 1) 如果 C_{Tx} 不会对 P_{Rx2} 造成干扰,那么 C_{Tx} 必然不会对其他授权用户造成干扰;
- 2) 如果 C_{Tx} 对 P_{Rx2} 造成了干扰,那么 C_{Tx} 将立即关闭发射;
- 3) 随着认知发射用户位置的改变, $\max(P_{rpn})$ 的值随时间发生变化.

利用以上结论对图4的通信场景进行简化,假设:

- (a) 时刻1, $\max(P_{rpn})$ 的授权用户为 P_{Rx2} ,可以简化为只有 P_{Rx2}, C_{Tx}, C_{Rx} 的场景,即图1场景;
- (b) 时刻2, C_{Tx} 朝某个方向运动后, $\max(P_{rpn})$ 的授权用户为 P_{Rx3} ,也可以简化为只有 P_{Rx3}, C_{Tx}, C_{Rx} 的场景,即图1场景;
- (c) 考虑特殊情况,当 C_{Tx} 朝某个方向运动后,可能导致 $\max(P_{rpn})$ 的授权用户有多个,也可以按照(a)和(b)的方式简化,因为如果此时 C_{Tx} 静止不动,简化后的通信场景只保留1个认知用户即可;如果此时 C_{Tx} 朝某个方向运动,就必然打破这种特殊情况,所以上述的通信模型简化方法依然有效.

经过上述分析,图3的通信场景可以简化成图1的通信场景,把看似复杂的通信场景进行归一化处理,利用通用简单的通信模型来讨论功率控制问题.

2 算法仿真及分析

本文假设认知用户为车载移动设备,认知用户以不同速率移动;通信环境无明显障碍物,所有信道增益系数均服从瑞利分布.仿真所用参数如表1所示.

表 1 仿真参数

参数名称	C_{Tx} 的最大发射功率 /W	C_{Tx} 的最小发射功率 /W	P_{Rx} 的坐标 / (km, km)	C_{Rx} 的坐标 / (km, km)	C_{Tx} 的坐标 / (km, km)	P_{Rx} 接收功率门限 /dBm
参数	100	1	(-4,4)	(3,4)	(0,0)	7
参数名称	C_{Rx} 接收干扰功率门限 /dBm	发射和接收天线增益 /dB	发射和接收天线的高度 /m	路径损耗因子	仿真时间 /s	
参数	11	3	1	3	600	

假设 C_{Tx} 以速率 ϑ 匀速运动, C_{Tx} 的运动方向每 t s 改变一次,其中 t 在 0 到 50 s 的整数集合内取值, C_{Tx} 平均速率可以为 10, 20, 30, 40, 50 m/s, 运动方向夹角 θ 以 2π 为周期,其中,当 θ 取 0, $\pi, 2\pi$ 时为函数的拐点. C_{Tx} 的初始坐标为 (0,0), P_{Rx} 的初始坐标为 (-4,4), C_{Rx} 的初始坐标为 (3,4), C_{Tx} 每秒钟更新位置信息.

上文已经推导出 P_{ct} 为 Δh 和 $\cos \theta_x$ 的函数,如式(12)和(13),功率控制算法仿真结果如图4所示,当 C_{Tx} 运动趋势与矢量方向相同时(即 $\Delta h > 0$ 时), θ_2 在 $[0, \pi]$ 区间内, C_{Tx} 的发射功率为单调递增函数,由于 C_{Tx} 的发射功率避免造成对 P_{Rx} 干扰,所以其发射功率不能任意增加,当增加到 45.4 W 时, C_{Tx} 停止发射; θ_2 在 $[\pi, 2\pi]$ 区间内,

C_{Tx} 的发射功率为单调递减函数, C_{Tx} 的发射功率逐渐减小,当 $\Delta h = 5$ km 时, C_{Tx} 与 C_{Rx} 的距离最短,此时的 C_{Tx} 的发射功率也是最小.

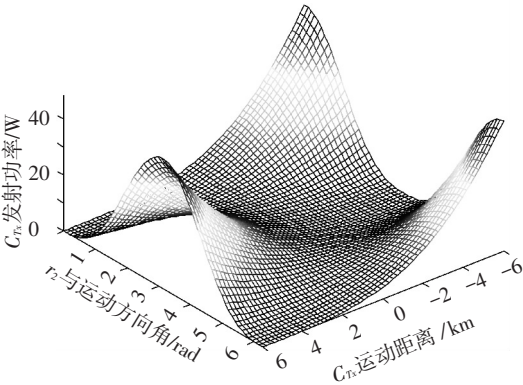


图 4 认知用户发射功率

当 C_{Tx} 运动趋势与矢量方向相同时(即 $\Delta h < 0$ 时), θ_2 在 $[0, \pi]$ 区间内, C_{Tx} 的发射功率为单调递减函数; θ_2 在 $[\pi, 2\pi]$ 区间内, C_{Tx} 的发射功率为单调递增函数, 由于 C_{Tx} 的发射功率避免造成对 P_{Rx} 干扰, 所以其发射功率不能任意增加, 当增加到 45.4 W 时, C_{Tx} 停止发射; $\theta_2 = 0$ 、 $\theta_2 = \pi$ 、 $\theta_2 = 2\pi$ 分别为函数 $s(\cos \theta_2)$ 的拐点。

图 5 假设 C_{Tx} 沿着 d_3 方向或者 d_7 方向运动时, 发射功率曲线与 P_{Rx} 接收到的干扰功率之间的关系, 当 C_{Tx} 沿着 d_3 方向运行时, C_{Tx} 与 C_{Rx} 的距离先变小后增加, 在此运动轨迹下 4 km 为 C_{Tx} 与 C_{Rx} 的最短距离。当 C_{Tx} 沿着 d_7 方向运行时, C_{Tx} 与 C_{Rx} 的距离逐渐增加。 C_{Tx} 与 P_{Rx} 距离变化趋势也是如此。 C_{Tx} 的发射功率随着运动距离的改变而改变。当考虑 P_{Rx} 的干扰, C_{Tx} 会存在禁发区, 图 5 中实心点表示的即为 C_{Tx} 的禁发区域。

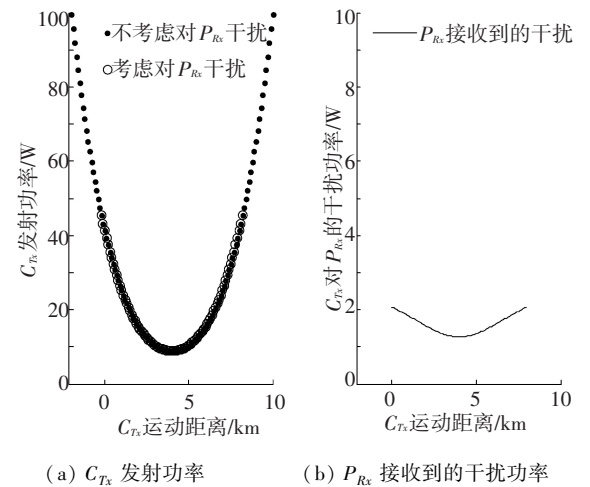


图 5 采用功率控制算法发射功率和干扰功率对照

图 6 表示的是 C_{Tx} 采用不同功率控制算法时的总能量值。本图假设 C_{Tx} 以速率 $v = 50$ m/s 匀速沿着 d_3 方向运行, 运动距离 $\Delta h = 8$ km。假设在这段区间内, 认知用户不会对授权用户造成干扰。固定步长功率控制算法是采用文献[21]中算法, 假设认知用户功率分为 1500 级步长 (0~1500), 认知用户根据接收门限 (不通过基站下行 SACCH 信道控制) 自动选择不同级别发射功率。图中显示了固定步长功率控制算法和 APC-DV 算法的总能耗, 当采用固定步长功率控制算法时, 由于受功率级别的限制, 用户需要在不同固定功率上保持, 虽然已经增加了步长的级数 (步长级数越多, 功率控制越精确, 节约能耗), 但也存在能耗浪费。由上图可以看出, 当 $\Delta h = 3$ km 时, APC-DV 算法与采用固定步长的功率控制算法相比节约能耗已经达到 20%, 而且随着 Δh 的增加, APC-DV 算法节能效果更加明显。

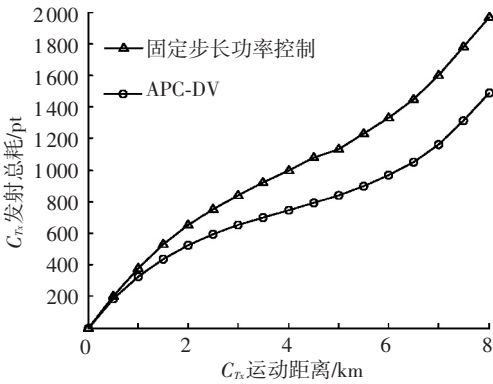


图 6 不同功率控制算法下 C_{Tx} 总能耗

图 7 中假设 C_{Tx} 的初始坐标为 $(0,0)$, P_{Rx} 的坐标为 $(-4,4)$, C_{Rx} 的坐标为 $(3,4)$ 。假设 C_{Tx} 从原点以 10 m/s 的速率出发, 每 1 km 停 4 s, C_{Tx} 首先从 $(0,0)$ 位置出发, 先到达 $(0,1)$ 位置并停留 4 s 然后继续按照箭头方向运动, 最后回到 $(0,0)$ 点, 运动轨迹如图 7 所示。

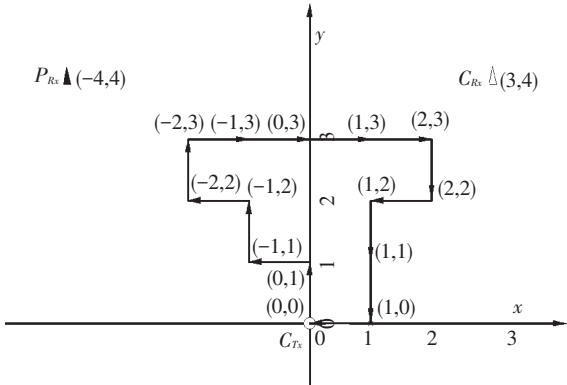


图 7 C_{Tx} 运动轨迹

C_{Tx} 按照图 7 的轨迹运动时, 功率控制算法需要考虑三方面问题:

- 1) C_{Tx} 的发射功率不能对授权用户造成干扰;
- 2) C_{Tx} 的发射功率要保证认知用户正常通信;
- 3) 以上述两个条件为前提, C_{Tx} 的能耗降为最低。

图 8(a) 为 C_{Tx} 功率控制曲线, 图 8(b) 为 C_{Tx} 的发射功率对 P_{Rx} 造成的干扰曲线。当 C_{Tx} 的发射功率已经对授权用户造成了干扰, 而且如果降低发射功率认知用户将不能正确接收到 C_{Tx} 的信息, 所以此时 C_{Tx} 关闭发射。 C_{Tx} 在运动过程中随时更新位置信息, 当 C_{Tx} 的发射功率可以满足认知用户接收的同时也不会对授权用户造成干扰时, C_{Tx} 启动发射。

3 结 论

本文提出基于下垫式频谱共享的移动认知用户的功率控制方法。通过对多通信场景的分析, 简化了物理模型。根据认知用户的移动性, 公式化的分析了授权用户所受干扰与认知用户移动距离和运动矢量方向间的关系, 实现了授权用户所受干

扰的实时预测.本文以授权用户干扰容限和认知用户接收门限为约束条件,采用最小发射功率准则实时、高效的对认知用户的功率进行控制.本文提出的 APC-DV 算法与采用固定步长的功率控制算法相比能够节约能耗 20%.

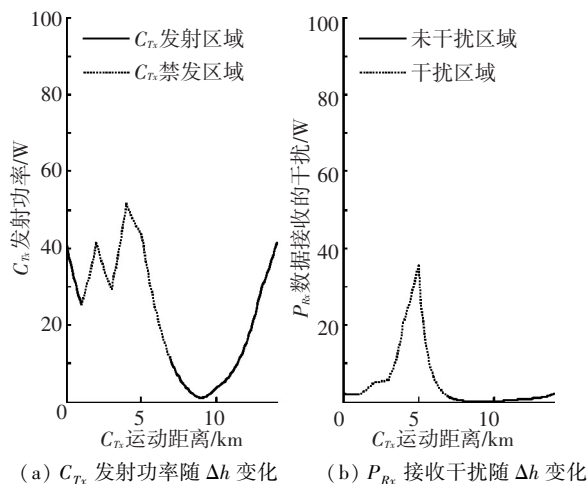


图 8 C_{Tx} 运动轨迹变化时功率控制曲线

参考文献

- [1] Federal Communications Commission. Facilitating opportunities for flexible, efficient, and reliable spectrum use employing cognitive radio technologies[R]. Washington: FCC, 2003: 03-08.
- [2] MCHENRY M A. NSF spectrum occupancy measurements project summary[EB/OL]. <http://www.sharedspectrum.com>. 2005-08.
- [3] MITOLA J. Cognitive radio: an integrated agent architecture for software defined radio[D]. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology, 2000: 45-48.
- [4] HAYKIN S. Cognitive radio: brain-empowered wireless communications[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23 (2): 201-220.
- [5] QI Qu, MILSTEIN L B, VAMAN D R. Cognitive radio based multi-user resource allocation in mobile Ad Hoc networks using multi-carrier CDMA modulation [J]. Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, 2008, 26 (1): 70-82.
- [6] NCEL J, REED J H, GILLES R P. Convergence of cognitive radio networks[C]//WCNC 2004: Proceedings of 2004 IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Piscataway: IEEE Press, 2004: 2250-2255.
- [7] ZHOU Pan, YUAN Wei, LIU Wei, et al. Joint power and rate control in cognitive radio networks: A game-theoretical approach [C]//Proceeding of IEEE ICC 2008 China Forum. Beijing: The Organizing Committee of the 2008 World Communication, 2008: 3296-3301.
- [8] WANG J, TAN Xuezhi, LIU Yutao. Power control algorithm based on game theory in cognitive radio networks [J]. Science Technology and Engineering, 2009, 9(19): 5680-5683.
- [9] HOANG A T, LIANG Yingchang. Maximizing spectrum utilization of cognitive radio networks using channel allocation and power control [C]//IEEE Vehicular Technology Conference. Montreal: IEEE VTC-Fall, 2006: 1202-1206.
- [10] HUANG JianWei, BERRY R A, HONING M L. Distributed interference compensation for wireless networks[J]. Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, 2006, 24(5): 1074-1084.
- [11] SARAYDAR C U, MANDAYAM N B, GOODMAN D J. Efficient power control via pricing in wireless data networks[J]. IEEE Transactions on Communications, 2002, 50(2): 291-303.
- [12] KOSKIE S, GAJIC Z. A nash game algorithm for SIR-based power control in 3 G wireless CDMA networks [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2005, 13 (5): 1017-1026.
- [13] MACKENZIE A B, WICKER S B. Game theory in communications: Motivation, explanation, and application to power control [C]//IEEE Global Telecommun. Conf. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2001: 821-826.
- [14] 李群, 周亮, 李武龙, 等. GSM 功率控制的几种场景运用[J]. 移动通信, 2010 (12): 1-6.
- [15] 周丹. 基于 GSM 系统的功率控制技术研究和实现 [D]. 广州: 华南理工大学, 2011: 24-47.
- [16] SHI Y, HOU Y T. Optimal power control for multi-hop software defined radio networks [C]//26th IEEE International Conference on Computer Communications. Anchorage, AK: IEEE INFOCOM, 2007: 1694-1702.
- [17] WANG Lichun, CHEN Anderson. Effects of location awareness on concurrent transmissions for cognitive Ad Hoc networks overlaying infrastructure-based systems [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2009, 8 (5): 577-589.
- [18] HOVEN N, SAHAI A. Power scaling for cognitive radio [C]//2005 International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing. Maui: IEEE Computer Society, 2005: 250-255.
- [19] JEON S W, DEVROYE N, VU M, et al. Cognitive networks achieve throughput scaling of a homogeneous network[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2011, 57(8): 5103-5115.
- [20] 廖勇, 杨士中, 陈徐洪, 等. 认知网络主用户吞吐量受限下的传输半径分析与仿真[J]. 电子与信息学报, 2012, 34(1): 1-6.
- [21] BEHZAD A, RUBIN I. Impact of power control on the performance of the ad hoc wireless networks[C]//IEEE International Conference on Computer Communications. Miami: INFOCOM, 2005: 102-113.