



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107306159 A

(43)申请公布日 2017. 10. 31

(21)申请号 201610264593.1 *H02J 7/00*(2006.01)

(22)申请日 2016.04.25 *G06Q 50/06*(2012.01)

(71)申请人 中国科学院沈阳自动化研究所
地址 110016 辽宁省沈阳市南塔街114号 *G06Q 10/04*(2012.01)

(72)发明人 于海斌 梁炜 许驰 张晓玲
郑萌 赵有健 徐石明 *H04B 17/309*(2015.01)

(74)专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限公司 21002
代理人 徐丽 周秀梅 *H04B 17/10*(2015.01)

(51)Int. Cl.
H04B 17/382(2015.01)
H04B 1/00(2006.01)
H04W 52/32(2009.01)
H02J 50/00(2016.01)
H02J 50/20(2016.01)

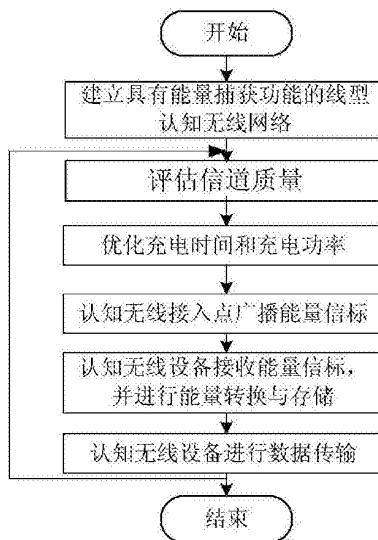
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

面向线型认知无线网络的能量供给优化方法

(57)摘要

本发明涉及一种面向线型认知无线网络的能量供给优化方法,针对认知无线网络设备充电问题亟待解决以及无线充电技术存在充电效率无法进一步提升的问题,通过数学优化手段,以最小化网络端到端中断概率为优化目标,实现认知无线网络中充电时间和充电功率的联合优化,在保障网络性能的前提下,通过设计合理的能量信标,一方面优化充电时间实现快速充电,另一方面优化充电功率,降低认知无线接入点的能耗。本发明方法可实现无线数据传输和无线能量供给的有序执行,有效降低网络管理成本。



1.一种面向线型认知无线网络的能量供给优化方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1:建立具有能量捕获功能的线型认知无线网络;

步骤2:线型认知无线网络中的所有认知无线接入点和认知无线设备评估信道质量;

步骤3:认知无线接入点以最小化端到端中断概率为优化目标,对充电时间和充电功率进行联合优化;

步骤4:认知无线接入点按照优化的参数,广播能量信标;

步骤5:认知无线设备接收能量信标,进行能量转换与存储;

步骤6:认知无线设备传输数据。

2.根据权利要求1所述的面向线型认知无线网络的能量供给优化方法,其特征在于,所述具有能量捕获功能的线型认知无线网络,包括认知无线接入点和认知无线设备,其中:

认知无线接入点采用外接电源供电,负责在公共控制信道上广播能量信标,为认知无线设备进行无线充电;

认知无线设备依靠能量捕获技术获得能源,负责将采集到的现场数据发送或者转发给目的认知无线设备;并接收认知无线接入点的能量信标。

3.根据权利要求1所述的面向线型认知无线网络的能量供给优化方法,其特征在于,所述步骤2包括以下步骤:

认知无线接入点获得网络中所有信道的信道增益状态信息;

每个认知无线设备一方面获得其与下一跳邻居认知无线设备之间的信道增益状态信息,另一方面获得其与主用户之间的信道增益状态信息;认知无线设备将获得的全部信道增益状态信息通过公共控制信道上报给认知无线接入点。

4.根据权利要求1所述的面向线型认知无线网络的能量供给优化方法,其特征在于,所述步骤3包括以下步骤:

(1)优化目标的选取:以最小化线型认知无线网络端到端的中断概率为优化目标,即

$\min_{P,t} P_{out}(P,t)$, $P_{out}(P,t)$ 设计为:

$$P_{out}(P,t) = 1 - \prod_{k=1}^K \left(\sqrt{\Delta_{1k}} K_1(\sqrt{\Delta_{1k}}) - \frac{\Delta_{1k}}{\sqrt{\Delta_{1k} + \Delta_{2k}}} K_1(\sqrt{\Delta_{1k} + \Delta_{2k}}) \right)$$

其中, P 和 t 分别表示认知无线接入点广播能量信标的功率和持续时间; $K_1(\cdot)$ 表示一阶第二类修正贝塞尔函数; $\Delta_{1k} = \frac{4\lambda_{Ek}\lambda_{Dk}\sigma^2(2^{KR(1+\eta)}-1)}{K\eta\xi Pd_{Ek}^{-\alpha}d_{Dk}^{-\alpha}}$, $\Delta_{2k} = \frac{4\lambda_{Ek}\lambda_{Ik}I_p}{K\eta\xi Pd_{Ek}^{-\alpha}d_{Ik}^{-\alpha}}$; $\eta = \frac{t}{T-t}$ 表示能量收集时间和数据传输时间的比值; T 表示超帧时长; K 表示线型认知无线网络的跳数; ξ 表示认知无线设备的能量收集效率; λ_{Ek} 、 λ_{Ik} 、 λ_{Dk} 分别为无线充电链路,干扰链路和数据传输链路上的Rayleigh信道参数; $d_{Ek}^{-\alpha}$ 、 $d_{Ik}^{-\alpha}$ 、 $d_{Dk}^{-\alpha}$ 分别为无线充电链路、干扰链路和数据传输链路上源设备和目的设备之间的距离; α 表示路径损耗参数; σ^2 表示噪声功率; I_p 表示主用户所能承受的最大干扰功率; R 表示中断容量,即网络发送中断的最低速率阈值;

(2)约束条件设计:根据硬件设置和用户需求,对认知无线接入点广播能量信标的功率和持续时间进行约束:

$$s. t. 0 < P \leq P_{max}$$

$$0 < t \leq T$$

其中,根据硬件确定最大发射功率 P_{\max} ,认知无线接入点广播能量信标的功率 P 介于0和 P_{\max} 之间;认知无线接入点广播能量信标的持续时间介于0和 T 之间;

(3)优化求解:基于(1)和(2)表示的优化目标和约束条件,计算最优解。

5.根据权利要求4所述的面向线型认知无线网络的能量供给优化方法,其特征在于,所述优化求解,具体包括以下步骤:

A.初始化网络的各项参数,包括跳数、能量收集效率、信道的状态信息、主用户所能承受的最大干扰功率,并任意初始化一个满足约束条件 $0 < t \leq T$ 的无线充电时间 t ;

B.给定 t ,通过牛顿法求解使中断概率值最小的无线充电功率 P ;

C.以求解所得的 P 为给定值,一维搜索 t ,使中断概率值最小;

D.迭代求解 t 和 P ,直到在满足误差的前提下,中断概率不再降低;

E.循环执行步骤A-D,获得充电时间 t 和充电功率 P 的值。

6.根据权利要求5所述的面向线型认知无线网络的能量供给优化方法,其特征在于,所述一维搜索具体为:在区间 $t \in [0, T]$ 内进行;以 $t=0$ 为起点,以 Δt 为步长,按 $t^{k+1} = t^k + \Delta t$ ($k=1, 2, 3 \dots$)进行,直到 $t=T$ 停止搜索,找到中断概率最小的 t 。

7.根据权利要求1所述的面向线型认知无线网络的能量供给优化方法,其特征在于,所述步骤4具体是指认知无线接入点按照优化的参数 t 和 P ,在公共控制信道上按照超帧结构以功率 P 广播能量信标。

8.根据权利要求7所述的面向线型认知无线网络的能量供给优化方法,其特征在于,所述超帧结构中的能量收集阶段的持续时间为 t ,认知无线接入点在该阶段持续广播能量信标;超帧结构中的数据传输阶段的持续时间为 $T-t$,该阶段被等分为 K 个时隙,用于 K 跳认知无线设备之间传输数据,认知无线接入点在数据传输阶段处于休眠状态,等待下一个超帧周期开始。

9.根据权利要求1所述的面向线型认知无线网络的能量供给优化方法,其特征在于,所述步骤5包括以下步骤:

认知无线设备接收公共控制信道上的能量信标;

认知无线设备将接收到的能量信标,通过射频到直流电路不断转换为能量转换获得的能量全部存储于可充电电池中,用于数据收发和处理。

10.根据权利要求1所述的面向线型认知无线网络的能量供给优化方法,其特征在于,所述步骤6包括认知无线设备在数据传输阶段进行线型网络的数据传输;为了不对主用户造成干扰,认知无线设备需要进行功率控制,发射功率计算如下:

$$P_k = \min \left(\frac{K \xi t P_{Ek} d_{Ek}^{-\alpha} g_{Ek}}{T-t}, \frac{I_p}{d_{ik}^{-\alpha} g_{ik}} \right)$$

其中, P_k 表示第 k 跳认知无线设备设置的发射功率;

$\frac{K \xi t P_{Ek} d_{Ek}^{-\alpha} g_{Ek}}{T-t}$ 表示认知无线设备通过能量收集能够实现的最大发射功率;

$\frac{I_p}{d_{ik}^{-\alpha} g_{ik}}$ 表示主用户对认知无线设备的干扰限制所描述的功率上界。

面向线型认知无线网络的能量供给优化方法

技术领域

[0001] 本发明涉及认知无线网络技术,具体地说是一种面向线型认知无线网络的能量供给优化方法。

背景技术

[0002] 认知无线网络基于软件无线电技术,网络中的认知无线设备智能感知外界环境变化,运用“理解-构建”的方法从周围环境中获取信息,并通过自适应调整功率、载频、调制方式等传输参数来适应环境的变化。动态频谱接入是认知无线网络高效运行的核心技术,目前主要有overlay、underlay和interweave三种方法。其中,overlay方法的原理为:认知无线设备以辅助主用户传输的方式,获得接入频段的机会,要求认知无线设备与主用户之间充分合作;underlay方法的原理为:认知无线设备进行严格的功率控制,在确保对主用户的干扰低于限定阈值的前提下,实现认知无线设备连续的频谱接入或者与主用户并行传输;interweave方法的原理为:认知无线设备通过采用专有信号处理和网络编码技术,预先进行频谱感知,选择未被主用户占用的频段进行通信,避免与主用户产生冲突。本发明方法面向最常用的underlay方法,对其中的功率进行优化控制。

[0003] 认知无线设备需要不断地进行频谱感知、频谱分配、功率控制、移动管理等,能耗较高。传统手工更换电池或有线充电的方法,容易影响网络的正常运行,导致网络不稳定和资源浪费。特别是对于大规模认知无线网络,传统的手工更换电池或有线充电方案更加难以实现。因此,有效解决认知无线设备的充电问题迫在眉睫。

[0004] 无线充电技术的兴起为解决认知无线设备的能量供给问题提供了一种有效方案。无线充电技术源于无线电能传输技术,利用电磁感应、电磁共振或电磁辐射,将供电设备的电能无线传递给用电设备上。目前,无线充电技术可为新能源汽车等大型设备充电,且充电效率可达90%以上。此外,国际上多个组织已经制定了相关的无线充电标准,例如PMA、Qi、A4WP等,为无线充电技术的推广提供了参考。然而,现有无线充电技术及其标准,未对充电时间和功率进行优化,导致充电效率无法进一步提升。

发明内容

[0005] 针对认知无线网络设备充电问题亟待解决以及无线充电技术存在充电效率无法进一步提升的问题,且面向工业无线测控应用中最常用的线型网络拓扑,本发明要解决的技术问题是通过数学手段,实现认知无线网络中充电时间和充电功率的联合优化,提出一种面向线型认知无线网络的能量供给优化方法,进一步提升充电效率。

[0006] 本发明为实现上述目的所采用的技术方案是:一种面向线型认知无线网络的能量供给优化方法,包括以下步骤:

[0007] 步骤1:建立具有能量捕获功能的线型认知无线网络;

[0008] 步骤2:线型认知无线网络中的所有认知无线接入点和认知无线设备评估信道质量;

[0009] 步骤3: 认知无线接入点以最小化端到端中断概率为优化目标, 对充电时间和充电功率进行联合优化;

[0010] 步骤4: 认知无线接入点按照优化的参数, 广播能量信标;

[0011] 步骤5: 认知无线设备接收能量信标, 进行能量转换与存储;

[0012] 步骤6: 认知无线设备传输数据。

[0013] 所述具有能量捕获功能的线型认知无线网络, 包括认知无线接入点和认知无线设备, 其中:

[0014] 认知无线接入点采用外接电源供电, 负责在公共控制信道上广播能量信标, 为认知无线设备进行无线充电;

[0015] 认知无线设备依靠能量捕获技术获得能源, 负责将采集到的现场数据发送或者转发给目的认知无线设备; 并接收认知无线接入点的能量信标。

[0016] 所述步骤2包括以下步骤:

[0017] 认知无线接入点获得网络中所有信道的信道增益状态信息;

[0018] 每个认知无线设备一方面获得其与下一跳邻居认知无线设备之间的信道增益状态信息, 另一方面获得其与主用户之间的信道增益状态信息; 认知无线设备将获得的全部信道增益状态信息通过公共控制信道上报给认知无线接入点。

[0019] 所述步骤3包括以下步骤:

[0020] (1) 优化目标的选取: 以最小化线型认知无线网络端到端的中断概率为优化目标, 即 $\min_{P,t} P_{out}(P,t)$, $P_{out}(P,t)$ 设计为:

$$[0021] \quad P_{out}(P,t) = 1 - \prod_{k=1}^K \left(\sqrt{\Delta_{1k}} K_1(\sqrt{\Delta_{1k}}) - \frac{\Delta_{1k}}{\sqrt{\Delta_{1k} + \Delta_{2k}}} K_1(\sqrt{\Delta_{1k} + \Delta_{2k}}) \right)$$

[0022] 其中, P 和 t 分别表示认知无线接入点广播能量信标的功率和持续时间; $K_1(\cdot)$ 表示

一阶第二类修正贝塞尔函数; $\Delta_{1k} = \frac{4\lambda_{EK}\lambda_{Dk}\sigma^2(2^{KR(1+\eta)}-1)}{K\eta\xi P d_{EK}^{-\alpha} d_{Dk}^{-\alpha}}$, $\Delta_{2k} = \frac{4\lambda_{EK}\lambda_{Ik}I_p}{K\eta\xi P d_{EK}^{-\alpha} d_{Ik}^{-\alpha}}$; $\eta = \frac{t}{T-t}$ 表示能量收集时间和数据传输时间的比值; T 表示超帧时长; K 表示线型认知无线网络的跳数; ξ 表示认知无线设备的能量收集效率; λ_{EK} 、 λ_{Ik} 、 λ_{Dk} 分别为无线充电链路, 干扰链路和数据传输链路上的 Rayleigh 信道参数; $d_{EK}^{-\alpha}$ 、 $d_{Ik}^{-\alpha}$ 、 $d_{Dk}^{-\alpha}$ 分别为无线充电链路、干扰链路和数据传输链路上源设备和目的设备之间的距离; α 表示路径损耗参数; σ^2 表示噪声功率; I_p 表示主用户所能承受的最大干扰功率; R 表示中断容量, 即网络发送中断的最低速率阈值;

[0023] (2) 约束条件设计: 根据硬件设置和用户需求, 对认知无线接入点广播能量信标的功率和持续时间进行约束:

$$[0024] \quad s.t. \quad 0 < P \leq P_{max}$$

$$[0025] \quad 0 < t \leq T$$

[0026] 其中, 根据硬件确定最大发射功率 P_{max} , 认知无线接入点广播能量信标的功率 P 介于 0 和 P_{max} 之间; 认知无线接入点广播能量信标的持续时间介于 0 和 T 之间;

[0027] (3) 优化求解: 基于 (1) 和 (2) 表示的优化目标和约束条件, 计算最优解。

[0028] 所述优化求解, 具体包括以下步骤:

[0029] A. 初始化网络的各项参数, 包括跳数、能量收集效率、信道的状态信息、主用户所能承受的最大干扰功率, 并任意初始化一个满足约束条件 $0 < t \leq T$ 的无线充电时间 t ;

- [0030] B. 给定 t , 通过牛顿法求解使中断概率值最小的无线充电功率 P ;
- [0031] C. 以求解所得的 P 为给定值, 一维搜索 t , 使中断概率值最小;
- [0032] D. 迭代求解 t 和 P , 直到在满足误差的前提下, 中断概率不再降低;
- [0033] E. 循环执行步骤A-D, 获得充电时间 t 和充电功率 P 的值。
- [0034] 所述一维搜索具体为: 在区间 $t \in [0, T]$ 内进行; 以 $t=0$ 为起点, 以 Δt 为步长, 按 $t^{k+1} = t^k + \Delta t$ ($k=1, 2, 3, \dots$)进行, 直到 $t=T$ 停止搜索, 找到中断概率最小的 t 。
- [0035] 所述步骤4具体是指认知无线接入点按照优化的参数 t 和 P , 在公共控制信道上按照超帧结构以功率 P 广播能量信标。
- [0036] 所述超帧结构中的能量收集阶段的持续时间为 t , 认知无线接入点在该阶段持续广播能量信标; 超帧结构中的数据传输阶段的持续时间为 $T-t$, 该阶段被等分为 K 个时隙, 用于 K 跳认知无线设备之间传输数据, 认知无线接入点在数据传输阶段处于休眠状态, 等待下一个超帧周期开始。
- [0037] 所述步骤5包括以下步骤:
- [0038] 认知无线设备接收公共控制信道上的能量信标;
- [0039] 认知无线设备将接收到的能量信标, 通过射频到直流电路不断转换为能量
- [0040] 转换获得的能量全部存储于可充电电池中, 用于数据收发和处理。
- [0041] 所述步骤6包括认知无线设备在数据传输阶段进行线型网络的数据传输; 为了不主用户造成干扰, 认知无线设备需要进行功率控制, 发射功率计算如下:

$$[0042] \quad P_k = \min \left(\frac{K \xi t P_c d_{EK}^{-\alpha} g_{EK}}{T-t}, \frac{I_p}{d_{Ik}^{-\alpha} g_{Ik}} \right)$$

[0043] 其中, P_k 表示第 k 跳认知无线设备设置的发射功率;

[0044] $\frac{K \xi t P_c d_{EK}^{-\alpha} g_{EK}}{T-t}$ 表示认知无线设备通过能量收集能够实现的最大发射功率;

[0045] $\frac{I_p}{d_{Ik}^{-\alpha} g_{Ik}}$ 表示主用户对认知无线设备的干扰限制所描述的功率上界。

[0046] 本发明具有以下优点及有益效果:

[0047] 1、本发明方法设计了专用能量信标, 用于认知无线接入点对认知无线设备进行周期性无线充电, 有效解决了认知无线网络的能量供给问题, 进一步降低了网络部署和管理成本。

[0048] 2、本发明方法以最小化网络端到端中断概率为优化目标, 对充电时间和充电功率进行了联合优化, 实现了最优无线充电, 在保障网络性能的前提下, 一方面优化充电时间, 实现快速充电, 另一方面优化充电功率, 降低认知无线接入点的能耗。

附图说明

- [0049] 图1为多跳认知无线网络模型;
- [0050] 图2为多跳认知无线充电网络的帧结构;
- [0051] 图3为无线充电方法流程图。

具体实施方式

- [0052] 下面结合附图对本发明进一步详细说明。
- [0053] 本发明方法包括以下实现步骤：
- [0054] 步骤1:建立具有能量捕获功能的线型认知无线网络；
- [0055] 步骤2:线型认知无线网络中的所有设备(包括认知无线接入点和认知无线设备)评估信道质量；
- [0056] 步骤3:认知无线接入点以最小化端到端中断概率为优化目标,对充电时间和充电功率进行联合优化；
- [0057] 步骤4:认知无线接入点按照优化的参数,广播能量信标；
- [0058] 步骤5:认知无线设备接收能量信标,进行能量转换与存储；
- [0059] 步骤6:认知无线设备传输数据。
- [0060] 所述步骤1:建立具有能量捕获功能的线型认知无线网络,如图1所示,包括认知无线接入点和认知无线设备,其中：
- [0061] 认知无线接入点采用外接电源供电,负责在公共控制信道上广播能量信标,为认知无线设备进行无线充电；
- [0062] 认知无线设备依靠能量捕获技术获得能源,负责将采集到的现场数据发送或者转发给目的认知无线设备;并接收认知无线接入点的能量信标。
- [0063] 所述建立具有能量捕获功能的线型认知无线网络,无线认知设备之间采用直线方式连接,构成线型认知无线网络。假设网络中有K+1个认知无线设备,负责完成K跳的端到端数据传输任务。第K+1个认知无线设备,依次通过第K个、第K-1个……认知无线设备的中继,转发给第1个认知无线设备。
- [0064] 其中,如果设备A与设备B之间可通信,则将二者之间的通信关系定义为A与B之间的链路。认知无线接入点到认知无线设备之间的通信关系定义为无线充电链路;无线认知设备到主用户之间的通信关系定义为干扰链路;无线认知设备之间的通信关系定义为数据传输链路。
- [0065] 所述步骤2:线型认知无线网络中的所有设备(包括认知无线接入点和认知无线设备)评估信道质量,包括:认知无线接入点获得网络中所有信道的信道增益状态信息;每个认知无线设备一方面通过信道估计的方法[H.Meyr,M.Moeneclaey,S.A.Fechtel,Digital Communication Receivers:Synchronization,Channel Estimation,and Signal Processing,Wiley,1998.]获得其与下一跳邻居设备之间的信道增益状态信息,另一方面通过前导侦听的方法[H.Meyr,M.Moeneclaey,S.A.Fechtel,Digital Communication Receivers:Synchronization,Channel Estimation,and Signal Processing,Wiley,1998.]获得其与主用户之间的信道增益状态信息;认知无线设备将获得的全部信道增益状态信息通过公共控制信道上报给认知无线接入点。
- [0066] 所述步骤3:认知无线接入点以最小化端到端中断概率为优化目标,对充电时间和充电功率进行联合优化,包括以下实现过程：
- [0067] (1)优化目标的选取:以最小化线型认知无线网络端到端的中断概率为优化目标,即 $\min_{P,t} P_{out}(P,t)$, $P_{out}(P,t)$ 设计为：

$$[0068] \quad P_{out}(P, t) = 1 - \prod_{k=1}^K \left(\sqrt{\Delta_{1k}} K_1(\sqrt{\Delta_{1k}}) - \frac{\Delta_{1k}}{\sqrt{\Delta_{1k} + \Delta_{2k}}} K_1(\sqrt{\Delta_{1k} + \Delta_{2k}}) \right)$$

[0069] 其中, P 和 t 分别表示认知无线接入点广播能量信标的功率和持续时间; $K_1(\cdot)$ 表示一阶第二类修正贝塞尔函数; $\Delta_{1k} = \frac{4\lambda_{E_k} \lambda_{D_k} \sigma^2 (2^{KR(1+\eta)} - 1)}{K\eta \xi P d_{E_k}^{-\alpha} d_{D_k}^{-\alpha}}$, $\Delta_{2k} = \frac{4\lambda_{E_k} \lambda_{D_k} I_p}{K\eta \xi P d_{E_k}^{-\alpha} d_{D_k}^{-\alpha}}$; $\eta = \frac{t}{T-t}$ 表示能量收集时间和数据传输时间的比值; T 表示超帧时长, 该值根据用户需求进行设定; K 表示线型认知无线网络的跳数; ξ 表示认知无线设备的能量收集效率; λ_{E_k} 、 λ_{I_k} 、 λ_{D_k} 分别为无线充电链路, 干扰链路和数据传输链路上的Rayleigh信道参数; $d_{E_k}^{-\alpha}$ 、 $d_{I_k}^{-\alpha}$ 、 $d_{D_k}^{-\alpha}$ 分别为无线充电链路、干扰链路和数据传输链路上源设备和目的设备之间的距离; α 表示路径损耗参数; σ^2 表示噪声功率; I_p 表示主用户所能承受的最大干扰功率; R 表示中断容量, 即网络发送中断的最低速率阈值。

[0070] (2)约束条件设计: 根据硬件设置和用户需求, 对认知无线接入点广播能量信标的功率和持续时间进行约束, 具体为:

$$[0071] \quad s. t. 0 < P \leq P_{max}$$

$$[0072] \quad 0 < t \leq T$$

[0073] 其中, 根据硬件确定最大发射功率 P_{max} , 认知无线接入点广播能量信标的功率 P 介于0和 P_{max} 之间; 认知无线接入点广播能量信标的持续时间介于0和 T 之间。

[0074] (3)优化求解: 基于(1)和(2)表示的优化目标和约束条件, 计算最优解。具体包括以下实现过程:

[0075] A. 初始化线型认知无线网络的各项参数, 包括跳数、能量收集效率、信道的状态信息、主用户所能承受的最大干扰功率, 并任意初始化一个满足约束条件的无线充电时间 t ;

[0076] B. 给定 t , 通过牛顿法[参考S. Boyd, L. Vandenberghe, Convex optimization, Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 2004]求解使中断概率值最小的无线充电功率 P ;

[0077] C. 以求解所得的 P 为给定值, 一维搜索 t , 使中断概率值最小;

[0078] D. 迭代求解 t 和 P , 直到在满足误差的前提下, 中断概率不再降低;

[0079] E. 循环执行A-D, 获得充电时间 t 和充电功率 P 的值。

[0080] 所述一维搜索, 在区间 $t \in [0, T]$ 内进行; 以 $t=0$ 为起点, 以 Δt 为步长, 按 $t^{k+1} = t^k + \Delta t$ ($k=1, 2, 3, \dots$)进行, 直到 $t=T$ 停止搜索, 找到中断概率最小的 t 。

[0081] 所述步骤4: 认知无线接入点按照优化的参数, 广播能量信标, 是指认知无线接入点按照优化的参数 t 和 P , 在公共控制信道上以功率 P 广播能量信标。

[0082] 认知无线接入点按照图2所示的超帧结构广播能量信标。超帧阶段包括能量收集阶段和数据传输阶段。其中, 能量收集阶段的持续时间为 t ; 该阶段中, 认知无线接入点持续广播能量信标。超帧结构中的数据传输阶段的持续时间为 $T-t$; 该阶段被等分为 K 个时隙, 用于 K 跳认知无线设备之间传输数据。认知无线接入点在数据传输阶段处于休眠状态, 等待下一个超帧周期开始。

[0083] 所述步骤5: 认知无线设备接收能量信标, 进行能量转换与存储, 包括以下实现过程: 认知无线设备接收公共控制信道上的能量信标;

[0084] 认知无线设备将接收到的能量信标, 通过射频到直流(Radio-

FrequencytoDirect-Current,RF-DC)电路不断转换为能量

[0085] 转换获得的能量全部存储于可充电电池中,用于数据收发和处理。

[0086] 所述步骤6:认知无线设备传输数据,包括认知无线设备在图2所示的数据传输阶段进行线型网络的数据传输。为了不对主用户造成干扰,认知无线设备需要进行严格的功率控制,发射功率计算如下:

$$[0087] \quad P_k = \min\left(\frac{K\xi t P_s d_{Ek}^{-\alpha} g_{Ek}}{T-t}, \frac{I_p}{d_{ik}^{-\alpha} g_{ik}}\right)$$

[0088] 其中, P_k 表示第k跳认知无线设备设置的发射功率;

[0089] $\frac{K\xi t P_s d_{Ek}^{-\alpha} g_{Ek}}{T-t}$ 表示认知无线设备通过能量收集能够实现的最大发射功率;

[0090] $\frac{I_p}{d_{ik}^{-\alpha} g_{ik}}$ 表示主用户对认知无线设备的干扰限制所描述的功率上界。

[0091] 上述6个步骤的具体时序见图3。

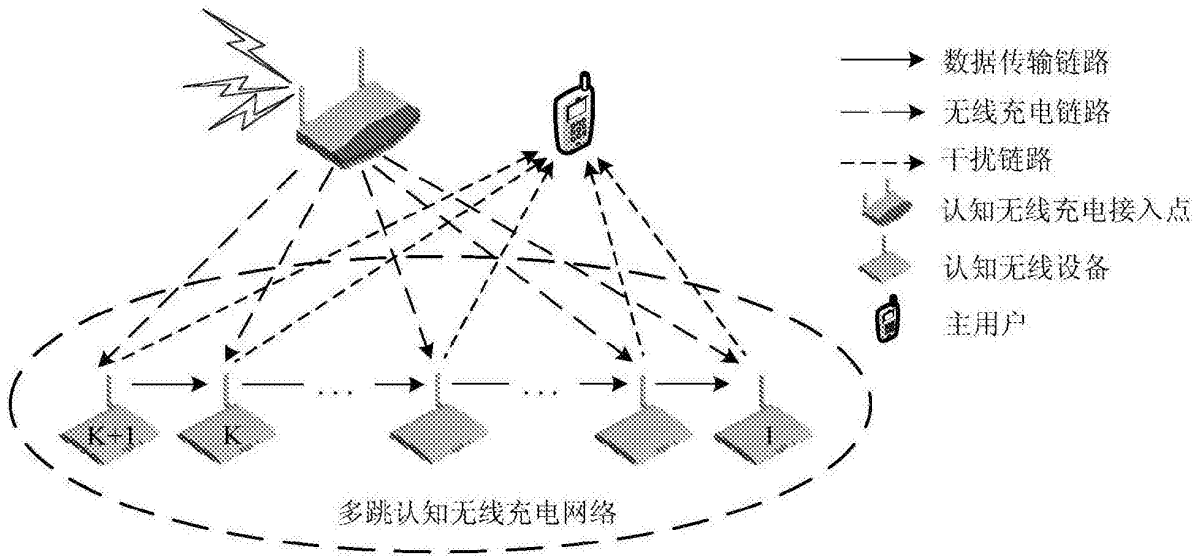


图1

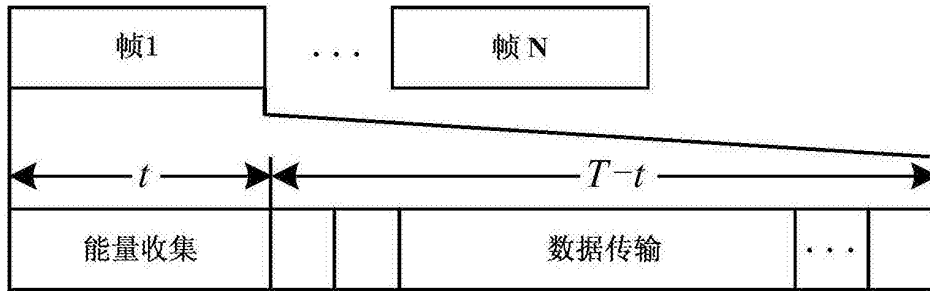


图2

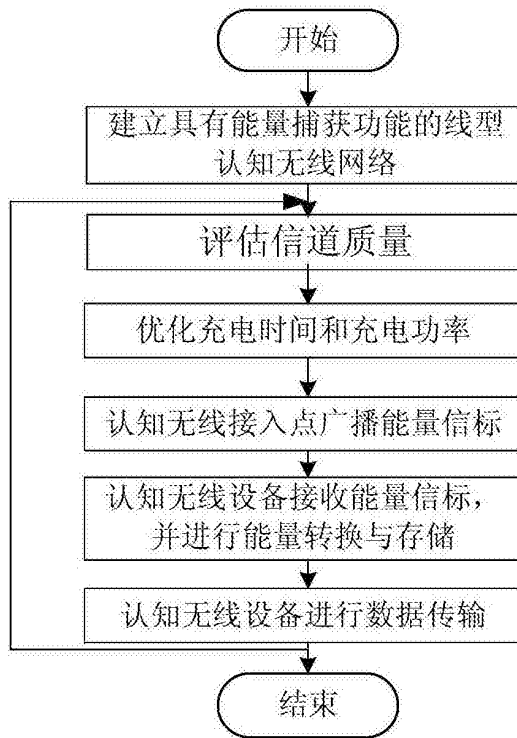


图3