



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107318169 B

(45)授权公告日 2019.07.05

(21)申请号 201710497596.4
 (22)申请日 2017.06.27
 (65)同一申请的已公布的文献号
 申请公布号 CN 107318169 A
 (43)申请公布日 2017.11.03
 (73)专利权人 山东大学
 地址 250199 山东省济南市历城区山大南路27号
 (72)发明人 周晓天 李珊珊 袁东风 王承祥 张海霞 韩钰
 (74)专利代理机构 济南金迪知识产权代理有限公司 37219
 代理人 杨树云
 (51)Int.Cl.
 H04W 72/04(2009.01)
 (56)对比文件
 US 2016262145 A1,2016.09.08,
 CN 104683082 A,2015.06.03,
 CN 106255220 A,2016.12.21,
 CN 106788937 A,2017.05.31,
 CN 105848267 A,2016.08.10,

US 2015230250 A1,2015.08.13,
 US 2015078297 A1,2015.03.19,
 Songtao Guo等.Energy-Efficient Cooperative Transmission for SWIPT in Wireless Sensor Networks.《Wireless Power Transfer Algorithms, Technologies and Applications in Ad Hoc Communication Networks》.2016,
 Gaofei Huang等.Joint Time Switching and Power Allocation for Multicarrier Decode-and-Forward Relay Networks with SWIPT.《IEEE Signal Processing Letters》.2015,
 Furqan Jameel等.Optimal time switching and power splitting in SWIPT.《2016 19th International Multi-Topic Conference (INMIC)》.2017,
 熊海良等.一种认知超宽带无线通信系统的设计与实现.《系统工程理论与实践》.2017,
 宋要飞等.基于功率分配器的大规模信息能量同传系统吞吐率优化.《厦门大学学报(自然科学版)》.2017,

审查员 罗恒

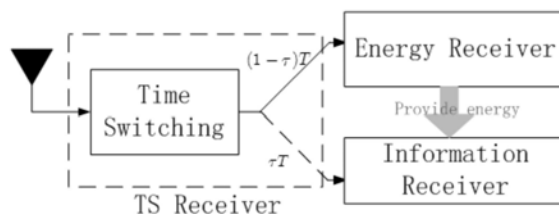
权利要求书3页 说明书7页 附图3页

(54)发明名称

基于不完全信道状态信息的功率与时分因子联合分配方法

(57)摘要

本发明提供了基于不完全信道状态信息的功率与时分因子联合分配方法。与现有的功率分配方法相比，本发明提出的功率分配方法既考虑了信道状态信息的不完整性，又考虑了大尺度衰落给功率分配带来的影响。该分配方案在实现使基站端发送功率最小的前提下保障了用户的通信质量，同时使用户解码不需要外界提供额外的能量。另外本发明提出的实现此功率分配方法的次优迭代算法能迅速收敛，复杂度低，性能好，易于实现。



CN 107318169 B

1. 一种SWIPT-IDMA系统中基于不完全信道状态信息的功率与时分因子联合分配方法, 所述SWIPT-IDMA系统包括1个基站、K个用户, 1个基站同时服务K个用户; 每个用户均配备TS接收机, TS接收机分别连接能量接收机、信号接收机, TS接收机按时间比例将信号传输切分为两个阶段, 第一阶段接收到的信号被送往能量接收机进行能量收割, 第二阶段接收到的信号被送往信号接收机进行信息译码, 第一阶段收割到的能量用来提供给第二阶段IDMA的多用户检测迭代译码即所述信息译码; 假设两个阶段总的信号传输时间为 $T=1$, τ 为TS接收机的时分因子, 则第一阶段持续的时间间隔为 $1-\tau$, 第二阶段持续的时间间隔为 τ ; 其特征在于, 包括步骤如下:

(1) 构建优化问题: 以最小化基站端的发送功率 P_{BS} 为目标, 以第一阶段收割到的能量足够提供给第二阶段进行所述信息译码及每个用户的信干噪比大于一定的门限值为限制条件: 基站端的发送功率 P_{BS} 为每个用户的发送功率之和, $P_{BS} = \sum_1^K P_k$, P_k 为用户k的发送功率, $1 \leq k \leq K$, 所述一定的门限值大于0; 以最小化基站端发送功率 P_{BS} 为目标构建的目标函数如式(I)所示:

$$\min_{\{\tau\}, \{P_k\}, \{Q_k\}} P_{BS} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_K \quad (I)$$

式(I)中, Q_k 为第k个用户的迭代次数;

第一阶段收割到的能量足够提供给第二阶段进行所述信息译码, 该限制条件如式(II)所示:

$$\min_{\Delta |H_k| \leq \varepsilon_k} (1-\tau) |H_k + \Delta H_k|^2 \sum_{k=1}^K P_k \geq E_c Q_k (1 + d_k^\alpha) \quad (II)$$

式(II)中, H_k 为基站到用户k之间的信道, ΔH_k 为信道误差, E_c 为每次迭代消耗的能量, ε_k 为信道误差范围, d_k 为基站到用户k的距离, α 为路径损耗指数;

每个用户的信干噪比大于一定的门限值, 该限制条件如式(III)所示:

$$\min_{\Delta |H_k| \leq \varepsilon_k} \frac{|H_k + \Delta H_k|^2 P_k}{|H_k + \Delta H_k|^2 \sum_{k' \neq k}^K P_{k'} f(\Lambda_{k'}^{Q_{k'}-1}) + \sigma^2 (1 + d_k^\alpha)} + 1 \geq 2^{\frac{\Gamma_k}{\tau}} \quad (III)$$

式(III)中, $f(\cdot)$ 为关于信干噪比的函数, k' 是指除第k个用户以外的用户, $Q_{k'}$ 为除第k个用户以外的用户的迭代次数, σ^2 为加性高斯白噪声, Γ_k 为第k个用户的速率门限值;

(2) 简化优化问题; 包括步骤如下:

A、根据绝对值不等式公式得: $|H_k + \varepsilon_k| \geq |H_k| - |\varepsilon_k|$;

B、 $|\Delta H_k| \leq \varepsilon_k$, 代入 $|H_k + \varepsilon_k| \geq |H_k| - |\varepsilon_k|$, 得:

$$|H_k + \Delta H_k|^2 \geq |H_k|^2 + \varepsilon_k (\varepsilon_k - 2|H_k|);$$

C、简化限制条件式(II), 得:

$$(1-\tau) (|H_k|^2 + \varepsilon_k (\varepsilon_k - 2|H_k|)) \sum_{k=1}^K P_k \geq E_c Q_k (1 + d_k^\alpha) \quad (IV)$$

简化限制条件式(III), 得:

$$\frac{(|H_k|^2 + \varepsilon_k(\varepsilon_k - 2|H_k|))P_k}{(|H_k|^2 + \varepsilon_k(\varepsilon_k - 2|H_k|)) \sum_{k' \neq k}^K P_{k'} f(\Lambda_{k'}^{Q_{k'} - 1}) + \sigma^2(1 + d_k^\alpha)} + 1 \geq 2^{\frac{\Gamma_k}{\tau}} \quad (V);$$

(3) 设计次优迭代算法解决非凸的优化问题, 给定迭代次数Q和TS接收机时分因子 τ , 迭代次数 $i=0$, 包括步骤如下:

a、 i 加1;

b、在满足限制条件式(IV)条件下, 求解满足限制条件式(IV)的最小基站端发送功率 P_{EH}^* , P_{EH}^* 如式(IX)所示:

$$P_{EH}^* = \max_{\{k=1, \dots, K\}} \left\{ \frac{E_c Q_k (1 + d_k^\alpha)}{(1 - \tau)(|H_k|^2 + \varepsilon_k(\varepsilon_k - 2|H_k|))} \right\} \quad (IX)$$

c、在满足限制条件式(V)条件下, 求解满足限制条件式(V)的最小基站端发送功率 P_{ID}^* , 假设给定的迭代次数Q足够大, 使IDMA多用户迭代检测趋于收敛, $f(\Lambda_k^{Q_k}) \approx f(\Lambda_k^{Q_k - 1})$, 则将限制条件式(V)转化成限制条件式(X):

$$\Lambda_k = \frac{|H_k|^2 P_k}{|H_k|^2 \sum_{k' \neq k}^K P_{k'} f(\Lambda_{k'}) + \sigma^2(1 + d_k^\alpha)} \geq 2^{\frac{\Gamma_k}{\tau}} - 1 \quad (X)$$

根据限制条件式(X), 通过变量替换将问题转化为凸优化问题, 求解获得基站端每个用户的最小发送功率 P_k^* , $0 < k < K$, 求解满足限制条件式(V)的最小基站端发送功率

$$P_{ID}^* = \sum P_k^*;$$

d、最小基站端发送功率 $P_{BS}^* = \max \{P_{EH}^*, P_{ID}^*\}$;

e、讨论最佳功率分配方法 \tilde{P}_k^* , 如果 $P_{EH}^* \leq P_{ID}^*$, 则最佳功率分配方法为 $\tilde{P}_k^* = P_k^*$; 否则, 最佳功率分配方法 $\tilde{P}_k^* = \frac{P_k^* P_{EH}^*}{\sum P_k^*}$;

f、根据最佳的功率分配方法 \tilde{P}_k^* , 代入式(VII)和式(VIII), 更新迭代次数Q和TS接收机时分因子 τ ;

g、如果 $i > 1$ 且 $P_{BS}^i \geq P_{BS}^{i-1}$, 则输出 $i-1$ 次的最佳功率分配方法 \tilde{P}_k^* 为最优功率分配方法, P_{BS}^i 表示第 i 次迭代求解出的 P_{BS}^* , P_{BS}^{i-1} 表示第 $i-1$ 次迭代求解出的 P_{BS}^* ; 否则, 返回步骤a。

2. 根据权利要求1所述的一种SWIPT-IDMA系统中基于不完全信道状态信息的功率与时分因子联合分配方法, 其特征在于, TS接收机按时间比例将信号传输切分为两个阶段, 第一阶段接收到的信号被送往能量接收机进行能量收割, 第二阶段接收到的信号被送往信号接收机进行信息译码;

用户 k 接收到的信号, 如式(VI)所示:

$$Y_k = \frac{(H_k + \Delta H_k)}{\sqrt{1 + d_k^\alpha}} \sum_{k=1}^K \sqrt{P_k} X_k + \Psi \quad (VI)$$

式 (VI) 中, H_k 为基站到用户 k 之间的信道, ΔH_k 为信道误差, $|\Delta H_k| \leq \epsilon_k$, α 为路径损耗指数, P_k 为用户 k 的发送功率, X_k 为用户 k 的发送信息, Ψ 为高斯白噪声;

第一阶段接收到的信号被送往能量接收机进行能量收割, 收割的能量如式 (VII) 所示:

$$P_{EH_k} = \frac{(1 - \tau)|H_k + \Delta H_k|^2}{1 + d_k^\alpha} \sum_{k=1}^K P_k \quad (\text{VII})$$

式 (VII) 中, P_{EH_k} 为第 k 个用户收割的能量;

第二阶段信息译码中第 q 次迭代之后的信干噪比如式 (VIII) 所示:

$$\Lambda_k^q = \frac{|H_k + \Delta H_k|^2 P_k}{|H_k + \Delta H_k|^2 \sum_{k' \neq k}^K P_{k'} f(\Lambda_{k'}^{q-1}) + \sigma^2(1 + d_k^\alpha)} \quad (\text{VIII})$$

式 (VIII) 中, Λ_k^q 为第 q 次迭代之后用户 k 的信干噪比。

基于不完全信道状态信息的功率与时分因子联合分配方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种SWIPT-IDMA系统中基于不完全信道状态信息的功率与时分因子联合分配方法,属于通信系统技术领域。

背景技术

[0002] 交织多址技术(IDMA)是一种非正交多址技术,在发送端通过用不同的交织器来区分用户,在接收端采用迭代多用户检测技术(MUD)解码多用户信号。当迭代多用户检测技术(MUD)迭代次数足够多时,其性能可以逼近单用户系统的性能,具有高频谱效率,因而被认为是第五代移动通信系统(5G)的关键多址技术之一。但是IDMA系统随着接收端检测迭代次数的增加,需要消耗的能量也会越来越多。因此,在许多实际应用场景、特别是下行通信,用户手持终端作为接收器时,其性能常常受到有限能量的制约。

[0003] 信息和能量同时传输技术(SWIPT)能够从无线射频信号中采集能量,为网络中一些能量受限设备提供稳定的电能补充。最近有大量关于多址接入技术与SWIPT结合的研究出现,例如基于正交多址、时分多址的无线信息能量同传技术的研究,已解决下行通信中接收端能量受限问题。但是到目前为止,并没有关于IDMA和SWIPT相结合的研究。

[0004] 另外,现今大多关于SWIPT与多址相结合的研究皆以最大化系统速率为目的,同时在理想信道状态信息(CSI)的基础上分析系统性能,优化资源分配。然而,由于信道估计不准确、反馈误差、反馈时延、信道时变等因素的影响,实际系统中很难获得精确的CSI。当CSI误差较大时,传统的基于精确CSI假设的性能分析也会出现较大误差。

发明内容

[0005] 本发明针对最小化基站端的发送功率的优化目标,提供了一种SWIPT-IDMA系统中基于不完全信道状态信息的功率与时分因子联合分配方法。

[0006] 本发明研究了大尺度衰落对功率分配的影响。

[0007] 术语解释:

[0008] 1、TS(Time Switching)模式:按时间比例将信号传输切分为两个阶段,第一阶段接收到的信号被送往能量接收机进行能量收割,第二阶段接收到的信号被送往信号接收机进行信息译码。

[0009] 2、TS接收机:用来实现TS模式。

[0010] 3、能量接收机:从接收到的射频信号中收集能量,如图2。

[0011] 4、信号接收机:将接收到的信号进行信息译码,如图3。

[0012] 5、时分因子:TS接收机切分信号传输的时间比例。

[0013] 6、信干噪比:信号的能量与干扰能量(如同频干扰,多径等)和加性噪声能量的和的比值。

[0014] 本发明的技术方案为:

[0015] 一种SWIPT-IDMA系统中基于不完全信道状态信息的功率与时分因子联合分配方

法,所述SWIPT-IDMA系统包括1个基站、K个用户,1个基站同时服务K个用户;每个用户均配备TS接收机,TS接收机分别连接能量接收机、信号接收机,TS接收机按时间比例将信号传输切分为两个阶段,第一阶段接收到的信号被送往能量接收机进行能量收割,第二阶段接收到的信号被送往信号接收机进行信息译码,第一阶段收割到的能量用来提供给第二阶段IDMA的多用户检测迭代译码即所述信息译码;假设两个阶段总的信号传输时间为 $T=1$, τ 为TS接收机的时分因子,则第一阶段持续的时间间隔为 $1-\tau$,第二阶段持续的时间间隔为 τ ;包括步骤如下:

[0016] (1) 构建优化问题:以最小化基站端的发送功率 P_{BS} 为目标,以第一阶段收割到的能量足够提供给第二阶段进行所述信息译码及每个用户的信干噪比大于一定的门限值为限制条件:基站端的发送功率 P_{BS} 为每个用户的发送功率之和, $P_{BS} = \sum_1^K P_k$, P_k 为用户k的发送

功率, $1 \leq k \leq K$,所述一定的门限值大于0;以最小化基站端发送功率 P_{BS} 为目标构建的目标函数如式(I)所示:

$$[0017] \quad \min_{\{\tau\},\{P_k\},\{Q_k\}} P_{BS} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_K \quad (I)$$

[0018] 式(I)中, Q_k 为第k个用户的迭代次数;

[0019] 第一阶段收割到的能量足够提供给第二阶段进行所述信息译码,该限制条件如式(II)所示;

$$[0020] \quad \min_{\Delta|H_k| \leq \varepsilon_k} (1-\tau)|H_k + \Delta H_k|^2 \sum_{k=1}^K P_k \geq E_c Q_k (1 + d_k^\alpha) \quad (II)$$

[0021] 式(II)中, H_k 为基站到用户k之间的信道, ΔH_k 为信道误差, E_c 为每次迭代消耗的能量, ε_k 为信道误差范围, d_k 为基站到用户k的距离, α 为路径损耗指数;

[0022] 每个用户的信干噪比大于一定的门限值,该限制条件如式(III)所示;

$$[0023] \quad \min_{\Delta|H_k| \leq \varepsilon_k} \frac{|H_k + \Delta H_k|^2 P_k}{|H_k + \Delta H_k|^2 \sum_{k' \neq k}^K P_{k'} f(\Lambda_{k'}^{Q_{k'}-1}) + \sigma^2 (1 + d_k^\alpha)} + 1 \geq 2^{\frac{\Gamma_k}{\tau}} \quad (III)$$

[0024] 式(III)中, $f(\cdot)$ 为关于信干噪比的函数, $f(\cdot)$ 没有闭式表达式,可以通过蒙特卡洛仿真得到; k' 是指除第k个用户以外的用户, $Q_{k'}$ 为除第k个用户以外的用户的迭代次数, σ^2 为加性高斯白噪声, Γ_k 为第k个用户的速率门限值;

[0025] 信干噪比 γ 与速率R之间的关系为: $\gamma = 2^R - 1$,误码率BER和信干噪比 γ 之间的关系为: $BER = g(\gamma)$,函数 $g(\cdot)$ 通过单用户蒙特卡洛仿真得到,从上述关系可以看出,限定了用户的速率门限值,即限定了用户的信干噪比门限值,即限定了用户的传输误码率BER。

[0026] (2) 简化优化问题;

[0027] (3) 设计次优迭代算法解决该非凸的优化问题。

[0028] 根据本发明优选的,所述步骤(2),简化优化问题,包括步骤如下:

[0029] A、根据绝对值不等式公式得: $|H_k + \varepsilon_k| \geq |H_k| - |\varepsilon_k|$;

[0030] B、 $|\Delta H_k| \leq \varepsilon_k$,代入 $|H_k + \varepsilon_k| \geq |H_k| - |\varepsilon_k|$,得:

[0031] $|H_k + \Delta H_k|^2 \geq |H_k|^2 + \varepsilon_k (\varepsilon_k - 2|H_k|)$;

[0032] C、简化限制条件式(II),得:

$$[0033] \quad (1 - \tau)(|H_k|^2 + \varepsilon_k(\varepsilon_k - 2|H_k|)) \sum_{k=1}^K P_k \geq E_c Q_k (1 + d_k^\alpha) \quad (\text{IV})$$

[0034] 简化限制条件式 (III), 得:

$$[0035] \quad \frac{(|H_k|^2 + \varepsilon_k(\varepsilon_k - 2|H_k|)) P_k}{(|H_k|^2 + \varepsilon_k(\varepsilon_k - 2|H_k|)) \sum_{k' \neq k}^K P_{k'} f(\Lambda_{k'}^{Q_{k'} - 1}) + \sigma^2 (1 + d_k^\alpha)} + 1 \geq 2^{\frac{\Gamma_k}{\tau}} \quad (\text{V})。$$

[0036] 根据本发明优选的, TS接收机按时间比例将信号传输切分为两个阶段, 第一阶段接收到的信号被送往能量接收机进行能量收割, 第二阶段接收到的信号被送往信号接收机进行信息译码;

[0037] 用户k接收到的信号, 如式 (VI) 所示:

$$[0038] \quad Y_k = \frac{(H_k + \Delta H_k)}{\sqrt{1 + d_k^\alpha}} \sum_{k=1}^K \sqrt{P_k} X_k + \Psi \quad (\text{VI})$$

[0039] 式 (VI) 中, H_k 为基站到用户k之间的信道, ΔH_k 为信道误差, $|\Delta H_k| \leq \varepsilon_k$, α 为路径损耗指数, P_k 为用户k的发送功率, X_k 为用户k的发送信息, Ψ 为高斯白噪声;

[0040] 第一阶段接收到的信号被送往能量接收机进行能量收割, 收割的能量如式 (VII) 所示:

$$[0041] \quad P_{EH_k} = \frac{(1 - \tau) |H_k + \Delta H_k|^2}{1 + d_k^\alpha} \sum_{k=1}^K P_k \quad (\text{VII})$$

[0042] 式 (VII) 中, P_{EH_k} 为第k个用户收割的能量;

[0043] 第二阶段信息译码中第q次迭代之后的信干噪比如式 (VIII) 所示:

$$[0044] \quad \Lambda_k^q = \frac{|H_k + \Delta H_k|^2 P_k}{|H_k + \Delta H_k|^2 \sum_{k' \neq k}^K P_{k'} f(\Lambda_{k'}^{q-1}) + \sigma^2 (1 + d_k^\alpha)} \quad (\text{VIII})$$

[0045] 式 (VIII) 中, Λ_k^q 为第q次迭代之后用户k的信干噪比。

[0046] 根据本发明优选的, 所述步骤 (3), 设计次优迭代算法解决非凸的优化问题, 给定迭代次数Q和TS接收机时分因子 τ , 迭代次数 $i=0$, 包括步骤如下:

[0047] a、i加1;

[0048] b、在满足限制条件式 (IV) 条件下, 求解满足限制条件式 (IV) 的最小基站端发送功率 P_{EH}^* , P_{EH}^* 如式 (IX) 所示:

$$[0049] \quad P_{EH}^* = \max_{\{k=1, \dots, K\}} \left\{ \frac{E_c Q_k (1 + d_k^\alpha)}{(1 - \tau)(|H_k|^2 + \varepsilon_k(\varepsilon_k - 2|H_k|))} \right\} \quad (\text{IX})$$

[0050] c、在满足限制条件式 (V) 条件下, 求解满足限制条件式 (V) 的最小基站端发送功率 P_{ID}^* , 假设给定的迭代次数Q足够大, 使IDMA多用户迭代检测趋于收敛, $f(\Lambda_k^{Q_k}) \approx f(\Lambda_k^{Q_k - 1})$, 则将限制条件式 (V) 转化成限制条件式 (X):

$$[0051] \quad \Lambda_k = \frac{|H_k|^2 P_k}{|H_k|^2 \sum_{k' \neq k}^K P_{k'} f(\Lambda_{k'}) + \sigma^2 (1 + d_k^\alpha)} \geq 2^{\frac{\Gamma_k}{\tau}} - 1 \quad (\text{X})$$

[0052] 根据限制条件式 (X), 利用Zvi Rosberg在2007年IEEE Transactions on

Wireless Communication论文中的IDMA功率优化算法,通过变量替换将问题转化为凸优化问题,求解获得基站端每个用户的最小发送功率 P_k^* , $0 < k < K$,求解满足限制条件式(V)的最小基站端发送功率 $P_{ID}^* = \sum P_k^*$;

[0053] d、最小基站端发送功率 $P_{BS}^* = \max \{P_{EH}^*, P_{ID}^*\}$;

[0054] e、讨论最佳功率分配方法 \tilde{P}_k^* ,如果 $P_{EH}^* \leq P_{ID}^*$,则最佳功率分配方法为 $\tilde{P}_k^* = P_k^*$;否则,最佳功率分配方法 $\tilde{P}_k^* = \frac{P_k^* P_{EH}^*}{\sum P_k^*}$;

[0055] f、根据最佳的功率分配方法 \tilde{P}_k^* ,代入式(VII)和式(VIII),更新迭代次数Q和TS接收机时分因子 τ ;

[0056] g、如果 $i > 1$ 且 $P_{BS}^i \geq P_{BS}^{i-1}$,则输出i-1次的最佳功率分配方法 \tilde{P}_k^* 为最优功率分配方法, P_{BS}^i 表示第i次迭代求解出的 P_{BS}^* , P_{BS} 表示第i-1次迭代求解出的 P_{BS}^* ;否则,返回步骤a。

[0057] 本发明的有益效果为:

[0058] 1、本发明针对最小化基站发送功率的优化目标,同时有效保障了用户的通信质量,又使用户解码不需要外界提供额外能量。

[0059] 2、本发明提出的功率分配方案同时考虑了大尺度衰落以及不完全信道状态信息对功率分配的影响,分配方案更完善、更符合实际。

[0060] 3、在解决本发明中的优化问题时,提出了一种次优的迭代算法,该算法迅速收敛,具备较低的复杂度,利于实现。

附图说明

[0061] 图1是本发明中SWIPT-IDMA系统中基于不完全信道状态信息的功率与时分因子联合分配方法实施步骤框图;

[0062] 图2能量接收机结构框图;

[0063] 图3信号接收机结构框图;

[0064] 图4用户终端结构框图;

[0065] 图5是不同算法在随基站到用户之间距离变化的仿真效果图;

[0066] 图6是实施例中提出的算法在不同信道误差下随基站到用户之间距离变化的仿真效果图。

具体实施方式

[0067] 下面结合说明书附图和实施例对本发明作进一步限定,但不限于此。

[0068] 实施例

[0069] 一种SWIPT-IDMA系统中基于不完全信道状态信息的功率与时分因子联合分配方法,如图1所示,所述SWIPT-IDMA系统包括1个基站、K个用户,1个基站同时服务K个用户;每个用户均配备TS接收机,TS接收机分别连接能量接收机、信号接收机,TS接收机按时间比例将信号传输切分为两个阶段,第一阶段接收到的信号被送往能量接收机进行能量收割,第

二阶段接收到的信号被送往信号接收机进行信息译码,如图4所示,图4中,TS Receiver是指TS接收机,Energy Receiver是指能量接收机,Information Receiver是指信号接收机,第一阶段收割到的能量用来提供给第二阶段IDMA的多用户检测迭代译码即所述信息译码;能量接收机结构框图如图2所示,能量接收机包括依次连接的二极管(Diode)、低通滤波器(LPF)、Battery(电池);信号接收机结构框图如图3所示,信号接收机包括射频频带到基带转换模块(Radio Frequency band to baseband conversion)、模数转换模块(Analog To Digital Conversion)、解码模块(Decoding);假设两个阶段总的信号传输时间为 $T=1$, τ 为TS接收机的时分因子,则第一阶段持续的时间间隔为 $1-\tau$,第二阶段持续的时间间隔为 τ ;用户k接收到的信号,如式(VI)所示:

$$[0070] \quad Y_k = \frac{(H_k + \Delta H_k)}{\sqrt{1 + d_k^\alpha}} \sum_{k=1}^K \sqrt{P_k} X_k + \Psi \quad (\text{VI})$$

[0071] 式(VI)中, H_k 为基站到用户k之间的信道, ΔH_k 为信道误差, $|\Delta H_k| \leq \epsilon_k$, α 为路径损耗指数, P_k 为用户k的发送功率, X_k 为用户k的发送信息, Ψ 为高斯白噪声;

[0072] 第一阶段接收到的信号被送往能量接收机进行能量收割,收割的能量如式(VII)所示:

$$[0073] \quad P_{EH_k} = \frac{(1 - \tau) |H_k + \Delta H_k|^2}{1 + d_k^\alpha} \sum_{k=1}^K P_k \quad (\text{VII})$$

[0074] 式(VII)中, P_{EH_k} 为第k个用户收割的能量;

[0075] 第二阶段信息译码中第q次迭代之后的信干噪比如式(VIII)所示:

$$[0076] \quad \Lambda_k^q = \frac{|H_k + \Delta H_k|^2 P_k}{|H_k + \Delta H_k|^2 \sum_{k' \neq k}^K P_{k'} f(\Lambda_{k'}^{q-1}) + \sigma^2 (1 + d_k^\alpha)} \quad (\text{VIII})$$

[0077] 式(VIII)中, Λ_k^q 为第q次迭代之后用户k的信干噪比。

[0078] 包括步骤如下:

[0079] (1) 构建优化问题:以最小化基站端的发送功率 P_{BS} 为目标,以第一阶段收割到的能量足够提供给第二阶段进行所述信息译码及每个用户的信干噪比大于一定的门限值为限制条件:基站端的发送功率 P_{BS} 为每个用户的发送功率之和, $P_{BS} = \sum_1^K P_k$, P_k 为用户k的发送功率, $1 \leq k \leq K$,所述一定的门限值大于0;以最小化基站端发送功率 $P_{B,S}$ 为目标构建的目标函数如式(I)所示:

$$[0080] \quad \min_{\{\tau\}, \{P_k\}, \{Q_k\}} P_{BS} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_K \quad (\text{I})$$

[0081] 式(I)中, Q_k 为第k个用户的迭代次数;

[0082] 第一阶段收割到的能量足够提供给第二阶段进行所述信息译码,该限制条件如式(II)所示:

$$[0083] \quad \min_{\Delta |H_k| \leq \epsilon_k} (1 - \tau) |H_k + \Delta H_k|^2 \sum_{k=1}^K P_k \geq E_c Q_k (1 + d_k^\alpha) \quad (\text{II})$$

[0084] 式(II)中, H_k 为基站到用户k之间的信道, ΔH_k 为信道误差, E_c 为每次迭代消耗的能

量, ε_k 为信道误差范围, d_k 为基站到用户 k 的距离, α 为路径损耗指数;

[0085] 每个用户的信干噪比大于一定的门限值, 该限制条件如式 (III) 所示;

$$[0086] \quad \min_{\Delta|H_k| \leq \varepsilon_k} \frac{|H_k + \Delta H_k|^2 P_k}{|H_k + \Delta H_k|^2 \sum_{k' \neq k}^K P_{k'} f(\Lambda_{k'}^{Q_{k'} - 1}) + \sigma^2 (1 + d_k^\alpha)} + 1 \geq 2^{\frac{\Gamma_k}{\tau}} \quad (\text{III})$$

[0087] 式 (III) 中, $f(\cdot)$ 为关于信干噪比的函数, $f(\cdot)$ 没有闭式表达式, 可以通过蒙特卡洛仿真得到; k' 是指除第 k 个用户以外的用户, $Q_{k'}$ 为除第 k 个用户以外的用户的迭代次数, σ^2 为加性高斯白噪声, Γ_k 为第 k 个用户的速率门限值;

[0088] 信干噪比 γ 与速率 R 之间的关系为: $\gamma = 2^R - 1$, 误码率 BER 和信干噪比 γ 之间的关系为: $\text{BER} = g(\gamma)$, 函数 $g(\cdot)$ 通过单用户蒙特卡洛仿真得到, 从上述关系可以看出, 限定了用户的速率门限值, 即限定了用户的信干噪比门限值, 即限定了用户的传输误码率 BER。

[0089] (2) 简化优化问题; 包括步骤如下:

[0090] A、根据绝对值不等式公式得: $|H_k + \varepsilon_k| \geq |H_k| - |\varepsilon_k|$;

[0091] B、 $|\Delta H_k| \leq \varepsilon_k$, 代入 $|H_k + \varepsilon_k| \geq |H_k| - |\varepsilon_k|$, 得:

[0092] $|H_k + \Delta H_k|^2 \geq |H_k|^2 + \varepsilon_k(\varepsilon_k - 2|H_k|)$;

[0093] C、简化限制条件式 (II), 得:

$$[0094] \quad (1 - \tau)(|H_k|^2 + \varepsilon_k(\varepsilon_k - 2|H_k|)) \sum_{k=1}^K P_k \geq E_c Q_k (1 + d_k^\alpha) \quad (\text{IV})$$

[0095] 简化限制条件式 (III), 得:

$$[0096] \quad \frac{(|H_k|^2 + \varepsilon_k(\varepsilon_k - 2|H_k|)) P_k}{(|H_k|^2 + \varepsilon_k(\varepsilon_k - 2|H_k|)) \sum_{k' \neq k}^K P_{k'} f(\Lambda_{k'}^{Q_{k'} - 1}) + \sigma^2 (1 + d_k^\alpha)} + 1 \geq 2^{\frac{\Gamma_k}{\tau}} \quad (\text{V})$$

[0097] (3) 设计次优迭代算法解决该非凸的优化问题。给定迭代次数 Q 和 TS 接收机时分因子, 迭代次数 $i = 0$, 包括步骤如下:

[0098] a、 i 加 1;

[0099] b、在满足限制条件式 (IV) 条件下, 求解满足限制条件式 (IV) 的最小基站端发送功率 P_{EH}^* , P_{EH}^* 如式 (IX) 所示:

$$[0100] \quad P_{EH}^* = \max_{\{k=1, \dots, K\}} \left\{ \frac{E_c Q_k (1 + d_k^\alpha)}{(1 - \tau)(|H_k|^2 + \varepsilon_k(\varepsilon_k - 2|H_k|))} \right\} \quad (\text{IX})$$

[0101] c、在满足限制条件式 (V) 条件下, 求解满足限制条件式 (V) 的最小基站端发送功率 P_{ID}^* , 假设给定的迭代次数 Q 足够大, 使 IDMA 多用户迭代检测趋于收敛, $f(\Lambda_k^{Q_k}) \approx f(\Lambda_k^{Q_k - 1})$, 则将限制条件式 (V) 转化成限制条件式 (X):

$$[0102] \quad \Lambda_k = \frac{|H_k|^2 P_k}{|H_k|^2 \sum_{k' \neq k}^K P_{k'} f(\Lambda_{k'}) + \sigma^2 (1 + d_k^\alpha)} \geq 2^{\frac{\Gamma_k}{\tau}} - 1 \quad (\text{X})$$

[0103] 根据限制条件式 (X), 利用 Zvi Rosberg 在 2007 年 IEEE Transactions on Wireless Communication 论文中的 IDMA 功率优化算法, 通过变量替换将问题转化为凸优化问题, 求解获得基站端每个用户的最小发送功率 P_k^* , $0 < k < K$, 求解满足限制条件式 (V) 的最小基站端发送功率 $P_{ID}^* = \sum P_k^*$;

[0104] d、最小基站端发送功率 $P_{BS}^* = \max \{P_{EH}^*, P_{ID}^*\}$;

[0105] e、讨论最佳功率分配方法 \tilde{P}_k^* , 如果 $P_{EH}^* \leq P_{ID}^*$, 则最佳功率分配方法为 $\tilde{P}_k^* = P_k^*$; 否则, 最佳功率分配方法 $\tilde{P}_k^* = \frac{P_k^* P_{EH}^*}{\sum P_k^*}$;

[0106] f、根据最佳的功率分配方法 \tilde{P}_k^* , 代入式 (VII) 和式 (VIII) , 更新迭代次数 Q 和 TS 接收机时分因子 τ ;

[0107] g、如果 $i > 1$ 且 $P_{BS}^i \geq P_{BS}^{i-1}$, 则输出 $i-1$ 次的最佳功率分配方法 \tilde{P}_k^* 为最优功率分配方法, P_{BS}^i 表示第 i 次迭代求解出的 P_{BS}^* , P_{BS}^{i-1} 表示第 $i-1$ 次迭代求解出的 P_{BS}^* ; 否则, 返回步骤 a。

[0108] 不同算法在随基站到用户之间距离变化的仿真效果图如图5所示, 图5中, Proposed Algorithm 为采用本实施例所述联合多用户检测迭代次数和 SWIPT 时分因子的功率分配方法, 基站端发送功率随基站到用户之间距离变化的仿真效果曲线。Scheme1 为采用固定多用户检测迭代次数、联合 SWIPT 时分因子的功率分配方法, 基站端发送功率随基站到用户之间距离变化的仿真效果曲线; Scheme2 为采用固定多用户检测迭代次数和 SWIPT 时分因子的功率分配方法, 基站端发送功率随基站到用户之间距离变化的仿真效果曲线; Proposed Algorithm 优化的变量有迭代次数、时分因子、每个用户的功率。而 Scheme1、Scheme2 就是将其中一到两个变量设为定值, 优化剩下的变量; 因为本实施例提供的功率分配方案联合考虑了多用户检测迭代次数、TS 接收机时分因子、不同用户的发送功率三个因素, 而其他算法只考虑了其中的一种或两种, Proposed Algorithm 基站端发送功率明显小于 Scheme1、Scheme2 基站端发送功率。

[0109] 本实施例中提出的 SWIPT-IDMA 系统中基于不完全信道状态信息的功率与时分因子联合分配方法, 在不同信道误差下基站端发送功率随基站到用户之间距离变化的仿真效果图。从图6显示的结果来看, 信道误差对系统的功率分配会造成较为严重的影响, 特别是当信道误差较大时, 产生的功率分配误差也会明显增大。为了功率分配的准确性, 考虑信道误差是必要的。图5、图6皆可以看出, 随着基站到用户之间距离的增加, 基站端发送功率也随之增加。这是因为随着基站到用户之间距离的增加, 大尺度衰落也会增加。另外, 经反复多次实验验证, 本实施例提出的次优迭代算法总能在迭代五次以内趋于收敛。所以, 本实施例中提出的这种基于不完全信道状态信息的功率分配方法能够以较低的复杂度实现更好的性能。

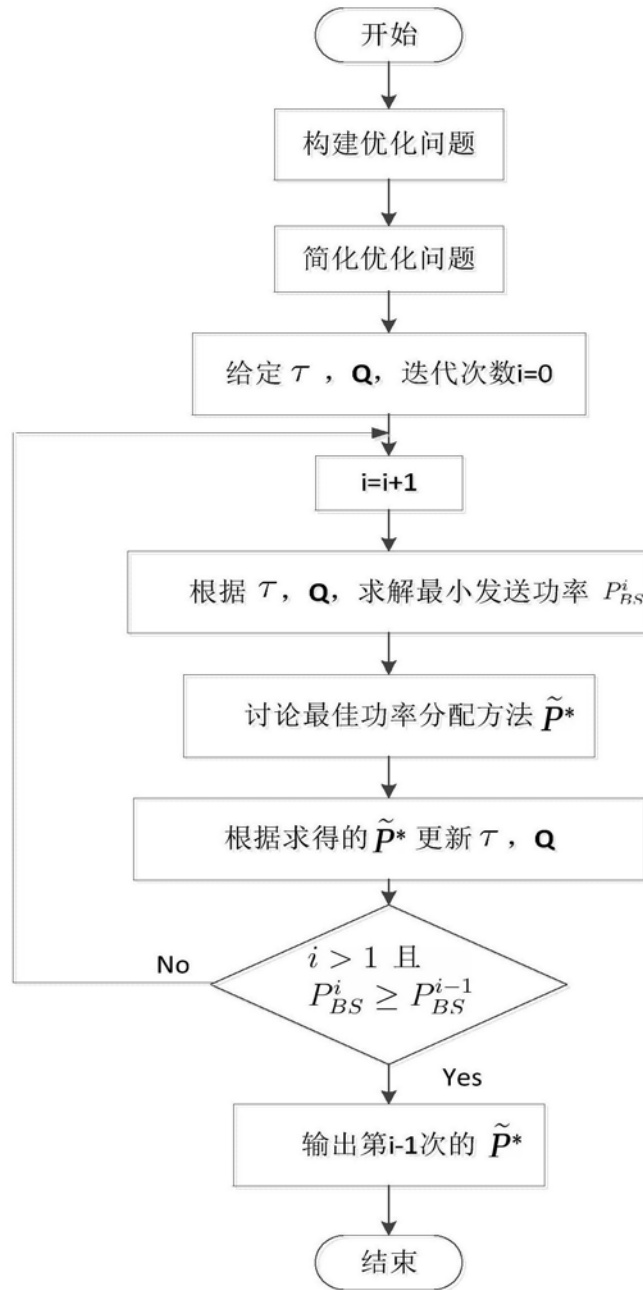


图1

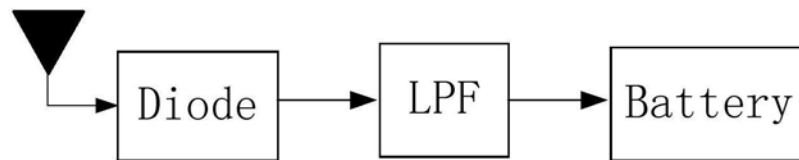


图2

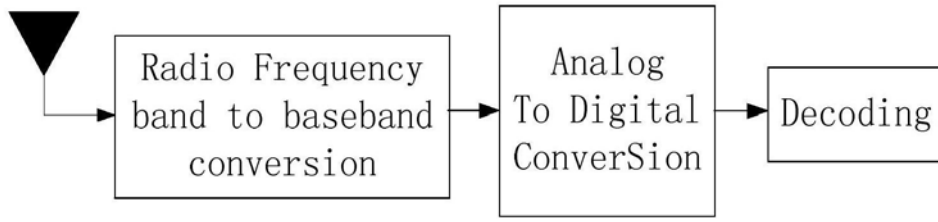


图3

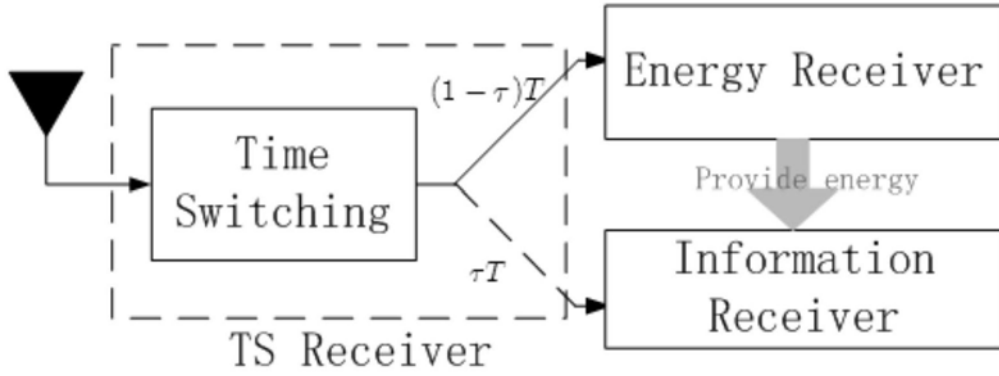


图4

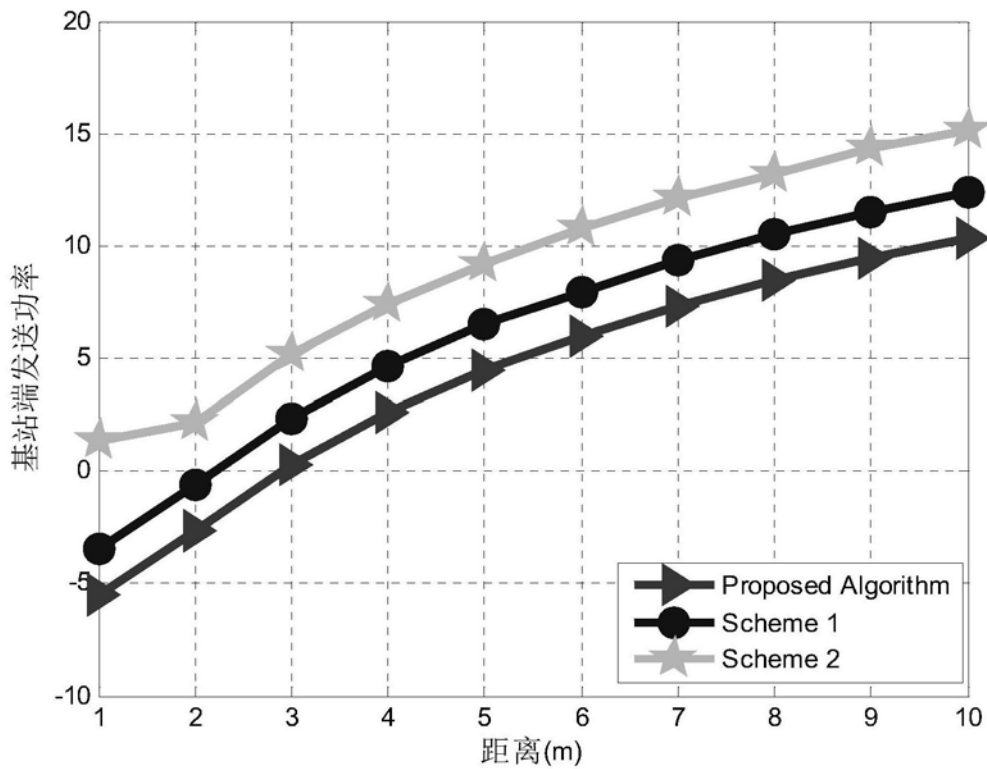


图5

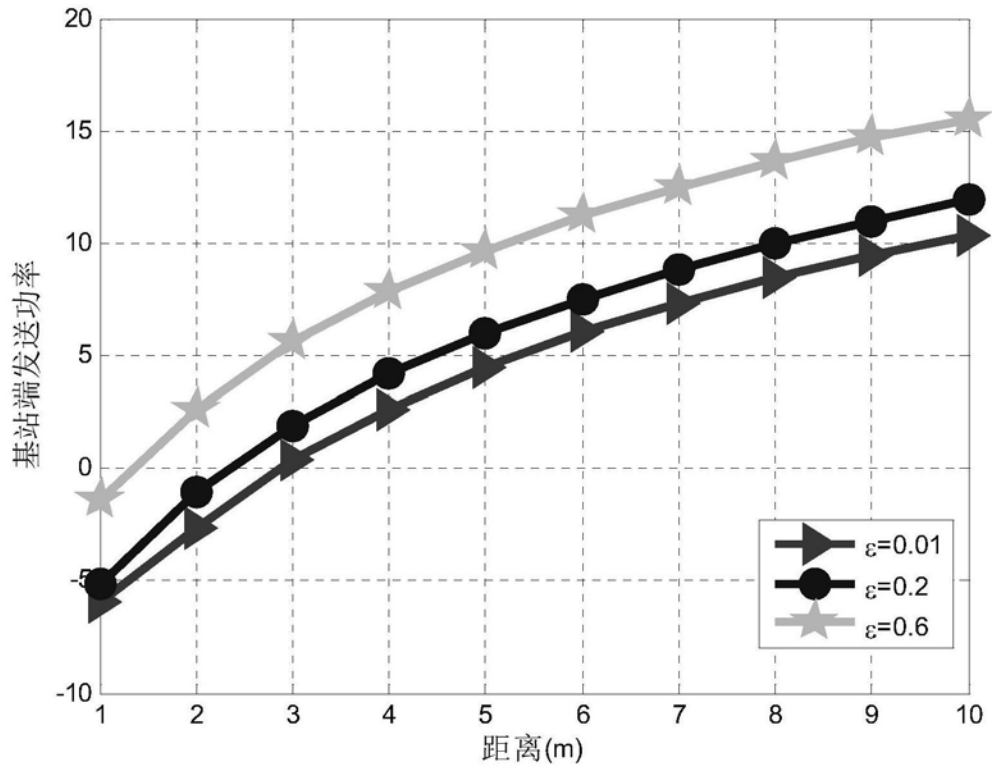


图6