



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112073136 B

(45) 授权公告日 2021.10.26

(21) 申请号 202010865128.X

(22) 申请日 2020.08.25

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112073136 A

(43) 申请公布日 2020.12.11

(73) 专利权人 华南理工大学
地址 510640 广东省广州市天河区五山路
381号

(72) 发明人 唐锟 薛泉 廖绍伟

(74) 专利代理机构 广州粤高专利商标代理有限公司 44102

代理人 何淑珍 江裕强

(51) Int.Cl.
H04B 17/382 (2015.01)

(56) 对比文件

CN 103327504 A, 2013.09.25

CN 102833020 A, 2012.12.19

CN 108540964 A, 2018.09.14

CN 104144485 A, 2014.11.12

CN 105357158 A, 2016.02.24

WO 2020167797 A1, 2020.08.20

US 10079626 B1, 2018.09.18

彭传波. 基于博弈论的蜂窝异构网络资源分配方法研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库》.2019,

Chao Zhai等.Cooperative Spectrum Sharing With Wireless Energy Harvesting in Cognitive Radio Networks.《IEEE Transactions on Vehicular Technology (Volume: 65, Issue: 7, July 2016)》.2016,

审查员 陈珺玲

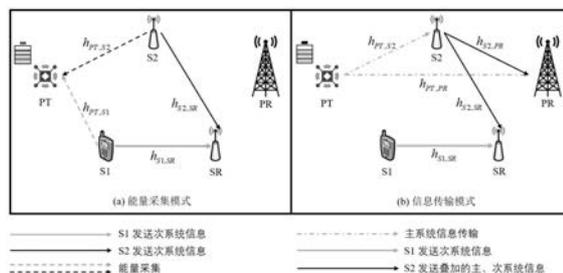
权利要求书3页 说明书9页 附图4页

(54) 发明名称

基于非线性能量采集的双用户协作认知频谱共享方法

(57) 摘要

本发明公开基于非线性能量采集的双用户协作认知频谱共享方法,包括传输模型,传输模型包括主系统发射端、主系统接收端、第一次系统用户、第二次系统用户和次系统接收端,当主系统发射端内的能量达到传输阈值,进入信息传输模式,包括第一个传输阶段和第二个传输阶段,第一个传输阶段中主系统发射端利用存储的能量和部分带宽发送信息给第二次系统用户和主系统接收端,同时第一次系统用户利用剩余的带宽传输信息给次系统接收端,第二个传输阶段中第二次系统用户分别发送主系统信号和其自己的信号,当主系统发射端内的能量未达到传输阈值时,进入能量采集模式。本发明进行非线性能量采集,并通过带宽分配系数进行带宽分配以提升整个系统的频谱效率。



1. 基于非线性能量采集的双用户协作认知频谱共享方法,其特征在于,包括:

传输模型,所述传输模型包括主系统发射端PT、主系统接收端PR、第一次系统用户S1、第二次系统用户S2和次系统接收端SR,定义第二次系统用户S2为中继节点以协作主用户信息的传输,假设所有的传输信道均为独立的瑞利衰落信道,因此信道在一个传输时隙内保持不变,但在不同的传输时隙会产生独立变化;

当主系统发射端PT内的能量达到传输阈值时,进入信息传输模式,所述信息传输模式中一个传输时隙包括第一个传输阶段和第二个传输阶段,通过最优的带宽分配系数 α 来分配所述第一个传输阶段和所述第二个传输阶段的带宽,在所述第一个传输阶段,所述主系统发射端PT利用存储的能量和部分带宽 αB , $0 < \alpha < 1$ 发送信息 x_p 给所述第二次系统用户S2和所述主系统接收端PR,同时所述第一次系统用户S1利用剩余的带宽资源 $(1-\alpha)B$ 传输信息 x_{S1} 给所述次系统接收端SR,在所述第二个传输阶段,所述主系统发射端PT和所述第一次系统用户S1停止传输,所述第二次系统用户S2分别发送经过放大转发解码后的主系统信号和其自己的信号;

当所述主系统发射端PT内的能量没有达到传输阈值时,进入能量采集模式,在整个传输时隙内,所述第一次系统用户S1和所述第二次系统用户S2利用整个带宽资源同时向所述次系统接收端SR发送信号,而所述主系统发射端PT从接收到的两路次系统信号中获取能量;

其中,在一个传输时隙内,所述主系统发射端PT采集到的能量为

$$E_0 = \eta T (P_{S1} |h_{PT,S1}|^2 + P_{S2} |h_{PT,S2}|^2) \quad (1)$$

其中, P_{S1} 和 P_{S2} 分别表示第一次系统用户和第二次系统用户的传输功率, η 表示能量转换效率, T 表示传输时隙长度, $h_{PT,S1}$ 代表主系统发射端与第一次系统用户间的传输信道, $h_{PT,S2}$ 代表主系统发射端与第二次系统用户间的传输信道,同时,次系统接收端SR所接收的信息为

$$y_{SR}^{EH} = \sqrt{P_{S1}} h_{S1,SR} x_{S1} + \sqrt{P_{S2}} h_{S2,SR} x_{S2} + n_{SR} \quad (2)$$

其中, n_{SR} 表示接收的高斯白噪声; $h_{S1,SR}$ 代表第一次系统用户与次系统接收端之间的传输信道, $h_{S2,SR}$ 代表第二次系统用户与次系统接收端之间的传输信道;

其中,在一个传输时隙内,所述第一个传输阶段中所述第二次系统用户S2和所述主系统接收端PR接收的信息分别为

$$y_{S2}^{II} = \sqrt{P_P} h_{PT,S2} x_P + n_{S2}, y_{PR,1}^{II} = \sqrt{P_P} h_{PT,PR} x_P + n_{PR} \quad (3)$$

其中, y_{S2}^{II} 代表第二次系统用户接收的信息, $P_P = 2E_{th}$ 表示主系统发射端的传输功率, $y_{PR,1}^{II}$ 代表主系统接收端接收的信息, n_{S2} 和 n_{PR} 分别表示第二次系统用户和次系统接收端处接收的高斯白噪声, $h_{PT,PR}$ 代表主系统发射端与主系统接收端之间的传输信道;

所述次系统接收端SR接收的信息为

$$y_{SR,1}^{II} = \sqrt{P_{S1}} h_{S1,SR} x_{S1} + n_{SR} \quad (4)$$

其中,在一个传输时隙内,所述第一个传输阶段中,所述第二次系统用户S2接收到所述主系统发射端PT传输的信号后,采用放大转发方式对主系统信息进行解码,解码后的信息表示为

$$\tilde{x}_p = \frac{y_{S2}^{\text{IT}}}{\sqrt{P_p |h_{PT,S2}|^2 + \alpha \delta_{S2}^2}} \approx \frac{h_{PT,S2}}{\sqrt{|h_{PT,S2}|^2}} + \frac{n_{S2}}{\sqrt{P_p |h_{PT,S2}|^2}} \quad (5)$$

其中, α 代表最优的带宽分配系数, δ_{S2} 代表第二次系统用户处的接收噪声;

其中, 所述次系统接收端SR配有第一带通滤波器(1), 所述主系统接收端PR配有第二带通滤波器(2), 在一个传输时隙内, 所述第二个传输阶段中, 所述第二次系统用户S2转发主系统信息给所述次系统接收端SR, 同时传输自己的信息给所述次系统接收端SR, 所述第一带通滤波器(1)和所述第二带通滤波器(2)过滤掉干扰信息, 因此所述主系统接收端PR和所述次系统接收端SR处的接收信息分别表示为

$$y_{PR,2}^{\text{IT}} = \frac{\sqrt{P_{S2}} h_{S2,PR} h_{PT,S2} x_p}{\sqrt{|h_{PT,S2}|^2}} + \frac{\sqrt{P_{S2}} h_{S2,PR} n_{S2}}{\sqrt{P_p |h_{PT,S2}|^2}} + n_{PR}, \quad (6)$$

$$y_{SR,2}^{\text{IT}} = \sqrt{P_{S2}} h_{S2,SR} x_{S2} + n_{SR}.$$

此时, 所述主系统接收端PR处的接收信噪比为

$$\gamma_{PR}^{\text{IT}} = \frac{P_p |h_{PT,PR}|^2}{\alpha \delta_{PR}^2} + \frac{P_p P_{S2} |h_{S2,PR}|^2 |h_{PT,S2}|^2}{\alpha P_{S2} \delta_{S2}^2 |h_{S2,PR}|^2 + \alpha P_p \delta_{PR}^2 |h_{PT,S2}|^2}. \quad (7)$$

其中, $h_{S2,PR}$ 代表第二次系统用户与主系统接收端之间的传输信道, x_{S2} 代表第二次系统用户所发送的数据, δ_{PR} 代表主系统接收端处的接收噪声;

其中, 将PT中的电池的总容量设定为 E_c , 共分为L级, 其中第1级存储的能量为 $E_1 = 1E_c/L$, 在任意传输时隙主系统发射端PT能累积到足够传输能量的概率为

$$\Pr\{E\} = \sum_{i=1}^L \pi_i, \quad \text{s.t. } l = \arg \min_{l \in \{1, \dots, L\}} \{E_l \geq E_{th}\} \quad (8)$$

基于全概率理论的主、次系统的中断概率表达式分别表示为(9)和(10):

$$P_{out}^P = (1 - \Pr\{E\}) P_{out}^{Pe} + \Pr\{E\} P_{out}^{Pc}, \quad (9)$$

$$P_{out}^S = (1 - \Pr\{E\}) P_{out}^{Se} + \Pr\{E\} P_{out}^{Sc}. \quad (10)$$

其中, $P_{out}^{Pe} = 1$, $P_{out}^{Pc} = \Pr\{\alpha B \log_2(1 + \gamma_{PR}^{\text{IT}}) < 2r_p\}$; $P_{out}^{Se} = 1 - \Pr\{R_{SR1}^{\text{EH}} \geq r_s, R_{SR2}^{\text{EH}} \geq r_s\}$,

$P_{out}^{Sc} = 1 - \Pr\{R_{SR1}^{\text{IT}} \geq r_s, R_{SR2}^{\text{IT}} \geq r_s\}$, 其中 r_p 和 r_s 分别表示主、次系统的目标传输速率需求, γ_{PR}^{IT} 代表主系统接收端处的接收信噪比;

$$R_{SR1}^{\text{EH}} = \log_2 \left(1 + \frac{P_{S1} |h_{S1,SR}|^2}{P_{S2} |h_{S2,SR}|^2 + \delta_{SR}^2} \right), R_{SR2}^{\text{EH}} = \log_2 \left(1 + \frac{P_{S2} |h_{S2,SR}|^2}{\delta_{SR}^2} \right). \quad (11)$$

$$R_{SR1}^{\text{IT}} = \frac{(1-\alpha)B}{2} \log_2 \left(1 + \frac{P_{S1} |h_{S1,SR}|^2}{(1-\alpha)\delta_{SR}^2} \right), R_{SR2}^{\text{IT}} = \frac{(1-\alpha)B}{2} \log_2 \left(1 + \frac{P_{S2} |h_{S2,SR}|^2}{(1-\alpha)\delta_{SR}^2} \right) \quad (12)$$

δ_{SR} 代表次系统接收端处的接收噪声, B代表信道的带宽;

在所述信息传输模式中, 通过使得次系统传输速率最大化的同时保证主系统传输速率

不低于目标传输速率 r_p 来获得最优的带宽分配系数 α ,所考虑的优化问题可以表示为

$$\begin{aligned} \max_{\alpha \in (0,1)} \quad & R_{SR}^{\text{IT}} = R_{SR1}^{\text{IT}} + R_{SR2}^{\text{IT}} \\ \text{s.t.} \quad & R_{RP}^{\text{IT}} \geq r_p. \end{aligned} \quad (13)$$

获取最优的带宽分配系数 α 的步骤为:

(1) 将相关表达式带入公式(13),优化问题可以表示为

$$\begin{aligned} \max_{\alpha \in (0,1)} \quad & \frac{(1-\alpha)B}{2} \log_2 \left(\frac{\phi}{(1-\alpha)^2} \right) \\ \text{s.t.} \quad & \frac{\alpha B}{2} \log_2 \left(\frac{\theta}{\alpha} \right) \geq r_p \end{aligned} \quad (14)$$

$$\text{其中, } \phi = \frac{P_{S1} P_{S2} |h_{S1,SR}|^2 |h_{S2,SR}|^2}{\delta_{SR}^4}, \theta = \frac{P_P |h_{PT,PR}|^2}{\delta_{PR}^2} + \frac{P_P P_{S2} |h_{S2,PR}|^2 |h_{PT,S2}|^2}{P_{S2} \delta_{S2}^2 |h_{S2,PR}|^2 + P_P \delta_{PR}^2 |h_{PT,S2}|^2}$$

(2) 将 $G(\alpha) = \frac{(1-\alpha)B}{2} \log_2 \left(\frac{\phi}{(1-\alpha)^2} \right)$ 和 $H(\alpha) = \frac{\alpha B}{2} \log_2 \left(\frac{\theta}{\alpha} \right)$ 分别定义为公式(14)中的

目标函数和限定函数,通过分析 $G(\alpha)$ 和 $H(\alpha)$ 的二次导数可知, $G''(\alpha) < 0$ 和 $H''(\alpha) < 0$;

(3) 根据步骤(2)中的分析结果可知,优化问题符合凹优化函数的定义,可以通过使用Matlab中的CVX凸优化工具来获得所述的最优的带宽分配系数 α 。

2. 根据权利要求1所述的基于非线性能量采集的双用户协作认知频谱共享方法,其特征在于:在任意时隙开始时,PT会检测其存储的能量 E_0 是否超过传输能量阈值 E_{th} ,若 $E_0 < E_{th}$,则主系统发射端PT通过广播比特信令告知其余终端,其将在这个时隙进行能量采集,即进入所述能量采集模式,第一次系统用户S1和第二次系统用户S2将利用整个带宽进行数据传输;若 $E_0 \geq E_{th}$,则主系统发射端PT通过广播比特信令告知其余终端,其将在这个时隙进行能量传输,即进入所述能量传输模式,一个传输时隙被分成两个时长相等的所述第一个传输阶段和所述第二个传输阶段。

基于非线性能量采集的双用户协作认知频谱共享方法

技术领域

[0001] 本发明属于非线性能量采集领域,尤其涉及基于非线性能量采集的双用户协作认知频谱共享方法。

背景技术

[0002] 为了应对日益增长的环境问题和无线传输需求,在无线通信系统的设计中需要特别注重系统的能量效率和频谱效率。近期的研究表明,运用无线信息和能量同传技术可以使得终端从周围的射频信号中同时获取能量和处理信息。虽然通信终端也可以从太阳能和风能中获取电能,但这些传统的能量获取方式受天气等环境因素影响较大,无法很好地满足设备对不间断能量的需求,取而代之从射频信号中获取能量更为可控,更适用于如无线传感器网络等。另一方面,认知无线网络可以根据感知当前的无线传输环境,根据自身性能目标进行动态规划和配置来满足传输要求,是通过频谱共享来提高系统频谱效率的一种有效方法。将能量收集融合到认知无线网络中有望为能量受限终端的运行提供不间断能量,同时提高频谱效率。因此,将认知无线网络与能量采集相结合,可以为无线通信系统同时提高能量效率和频谱效率提供了一种有效的方法。

[0003] 在目前已有的方案中,Z.Wang等在《Cognitive relay networks with energy harvesting and information transfer:Design,analysis,and optimization》(IEEE Transactions on Wireless Communications,vol.15,no.4,pp.2562-2576,Apr.2016.)中提出了基于中继的认知无线网络的射频能量采集和信息传输频谱共享方案,其中次系统内的用户将主用户系统发送的射频信号转换为能量,在辅助主用户数据传输的同时,在不影响主系统传输的前提下发送部分自己的信息,以实现频谱共享;C.Zhai等在《Cooperative spectrum sharing with wireless energy harvesting in cognitive radio networks》(IEEE Transactions on Vehicular Technology,vol.65,no.7,pp.5303-5316,Jul.2016)中通过使用随机几何理论首先分析基于射频能量采集的认知无线网络的传输性能,随后求出主系统和次系统之间进行频谱共享时的能量采集和信息传输所需带宽和时间的最优分配。C.Zhai等早《Cognitive relaying with wireless powered primary user》(IEEE Transactions on Communications,vol.67,no.3,Mar.2019.)中提出了一种频谱共享方案应用于主用户进行射频能量采集的认知无线网络。当主用户在进行能量采集时,两个次系统内用户可以用峰值功率进行数据传输;当主用户利用获取的能量进行数据传输时,次系统用户在避免对主系统传输造成干扰的前提下,减低发射功率进行数据传输。

[0004] 在基于能量采集的认知无线网络中,上述文献所提出的频谱共享方案存在以下的问题:

[0005] 1、所提出的能量获取方式均为线性能量采集。在实际应用场景中,大多终端的发射功率需要达到一定的阈值才能保证数据传输的有效性。因此所考虑的能量获取方式对实际应用时的理论指导有限;

[0006] 2、所提出的频谱共享方案中所涉及的传输参数只有传输时间和功率,而没有考虑带宽优化分配对系统传输性能的影响,这样无法对基于频谱复用的频谱共享方案提供参数优化方面的理论指导。

发明内容

[0007] 本发明目的是提供一种应基于非线性能量采集认知无线网络的双用户协作认知频谱共享方法,用于提高系统的频谱效率,为未来基于认知无线电技术的传感器网络和物联网提供一种可用的频谱效率提升方法。

[0008] 本申请提供了基于非线性能量采集的双用户协作认知频谱共享方法,包括:

[0009] 传输模型,所述传输模型包括主系统发射端、主系统接收端、第一次系统用户、第二次系统用户和次系统接收端,定义第二次系统用户为中继节点以协作主用户信息的传输,假设所有的传输信道均为独立的瑞利衰落信道,因此信道在一个传输时隙内保持不变,但在不同的传输时隙会产生独立变化;

[0010] 当主系统发射端内的能量达到传输阈值时,进入信息传输模式,所述信息传输模式中一个传输时隙包括第一个传输阶段和第二个传输阶段,通过最优的带宽分配系数 α 来分配所述第一个传输阶段和所述第二个传输阶段的带宽,在所述第一个传输阶段,所述主系统发射端利用存储的能量和部分带宽 αB ($0 < \alpha < 1$) 发送信息 x_p 给所述第二次系统用户和所述主系统接收端,同时所述第一次系统用户利用剩余的带宽资源 $(1-\alpha)B$ 传输信息 x_{S1} 给所述次系统接收端,在所述第二个传输阶段,所述主系统发射端和所述第一次系统用户停止传输,所述第二次系统用户分别发送经过放大转发解码后的主系统信号和其自己的信号;

[0011] 当所述主系统发射端内的能量没有达到传输阈值时,进入能量采集模式,在整个传输时隙内,所述第一次系统用户和所述第二次系统用户利用整个带宽资源同时向所述次系统接收端发送信号,而所述主系统发射端从接收到的两路次系统信号中获取能量。

[0012] 进一步地改进,在任意时隙开始时,会检测其存储的能量 E_0 是否超过传输能量阈值 E_{th} ,若 $E_0 < E_{th}$,则主系统发射端通过广播比特信令告知其余终端,其将在这个时隙进行能量采集,即进入所述能量采集模式,第一次系统用户和第二次系统用户将利用整个带宽进行数据传输;若 $E_0 \geq E_{th}$,则主系统发射端通过广播比特信令告知其余终端,其将在这个时隙进行能量传输,即进入所述能量传输模式,一个传输时隙被分成两个时长相等的所述第一个传输阶段和所述第二个传输阶段。

[0013] 进一步地改进,在一个传输时隙内,所述主系统发射端 (PT) 采集到的能量为

$$[0014] \quad E_0 = \eta T (P_{S1} |h_{PT,S1}|^2 + P_{S2} |h_{PT,S2}|^2) \quad (1)$$

[0015] 其中, P_{S1} 和 P_{S2} 分别表示第一次系统用户和第二次系统用户的传输功率, η 表示能量转换效率, T 表示传输时隙长度, $h_{PT,S1}$ 代表主系统发射端与第一次系统用户间的传输信道, $h_{PT,S2}$ 代表主系统发射端与第二次系统用户间的传输信道,同时,次系统接收端SR所接收的信息为

$$[0016] \quad y_{SR}^{EH} = \sqrt{P_{S1}} h_{S1,SR} x_{S1} + \sqrt{P_{S2}} h_{S2,SR} x_{S2} + n_{SR} \quad (2)$$

[0017] 其中, n_{SR} 表示接收的高斯白噪声; $h_{S1,SR}$ 代表第一次系统用户与次系统接收端之间的传输信道, $h_{S2,SR}$ 代表第二次系统用户与次系统接收端之间的传输信道。

[0018] 进一步地改进,在一个传输时隙内,所述第一个传输阶段中所述第二次系统用户

和所述主系统接收端接收的信息分别为

$$[0019] \quad y_{S2}^{\text{IT}} = \sqrt{P_P} h_{PT,S2} x_P + n_{S2}, y_{PR,1}^{\text{IT}} = \sqrt{P_P} h_{PT,PR} x_P + n_{PR} \quad (3)$$

[0020] 其中, y_{S2}^{IT} 代表第二次系统用户接收的信息, $P_P = 2E_{th}$ 表示主系统发射端的传输功率, $y_{PR,1}^{\text{IT}}$ 代表主系统接收端接收的信息, n_{S2} 和 n_{PR} 分别表示第二次系统用户和次系统接收端处接收的高斯白噪声, $h_{PT,PR}$ 代表主系统发射端与主系统接收端之间的传输信道;

[0021] 所述次系统接收端接收的信息为

$$[0022] \quad y_{SR,1}^{\text{IT}} = \sqrt{P_{S1}} h_{S1,SR} x_{S1} + n_{SR} \quad (4)$$

[0023] 进一步地改进, 在一个传输时隙内, 所述第一个传输阶段中, 所述第二次系统用户接收到所述主系统发射端传输的信号后, 采用放大转发方式对主系统信息 x_P 进行解码, 解码后的信息表示为

$$[0024] \quad \tilde{x}_P = \frac{y_{S2}^{\text{IT}}}{\sqrt{P_P |h_{PT,S2}|^2 + \alpha \delta_{S2}^2}} \approx \frac{h_{PT,S2}}{\sqrt{|h_{PT,S2}|^2}} + \frac{n_{S2}}{\sqrt{P_P |h_{PT,S2}|^2}} \quad (5)$$

[0025] 其中, α 代表最优的带宽分配系数, δ_{S2} 代表第二次系统用户处的接收噪声。

[0026] 进一步地改进, 所述次系统接收端配有第一带通滤波器, 所述主系统接收端配有第二带通滤波器。

[0027] 进一步地改进, 在一个传输时隙内, 所述第二个传输阶段中, 所述第二次系统用户转发主系统信息给所述次系统接收端, 同时传输自己的信息给所述次系统接收端, 所述第一带通滤波器和所述第二带通滤波器过滤掉干扰信息, 因此所述主系统接收端和所述次系统接收端处的接收信息分别表示为

$$[0028] \quad y_{PR,2}^{\text{IT}} = \frac{\sqrt{P_{S2}} h_{S2,PR} h_{PT,S2} x_P}{\sqrt{|h_{PT,S2}|^2}} + \frac{\sqrt{P_{S2}} h_{S2,PR} n_{S2}}{\sqrt{P_P |h_{PT,S2}|^2}} + n_{PR},$$

$$y_{SR,2}^{\text{IT}} = \sqrt{P_{S2}} h_{S2,SR} x_{S2} + n_{SR}.$$

[0029] 此时, 所述主系统接收端处的接收信噪比为

$$[0030] \quad \gamma_{PR}^{\text{IT}} = \frac{P_P |h_{PT,PR}|^2}{\alpha \delta_{PR}^2} + \frac{P_P P_{S2} |h_{S2,PR}|^2 |h_{PT,S2}|^2}{\alpha P_{S2} \delta_{S2}^2 |h_{S2,PR}|^2 + \alpha P_P \delta_{PR}^2 |h_{PT,S2}|^2}. \quad (7)$$

[0031] 其中, $h_{S2,PR}$ 代表第二次系统用户与主系统接收端之间的传输信道, x_{S2} 代表第二次系统用户所发送的数据, δ_{PR} 代表主系统接收端处的接收噪声。

[0032] 进一步地改进, 将中的电池的总容量设定为 E_C , 共分为 L 级, 其中第 1 级存储的能量为 $E_1 = 1E_C/L$, 在任意传输时隙主系统发射端能累积到足够传输能量的概率为

$$[0033] \quad \Pr\{E\} = \sum_{i=1}^L \pi_i, \text{ s.t. } l = \arg \min_{l \in \{1, \dots, L\}} \{E_l \geq E_{th}\} \quad (8)$$

[0034] 基于全概率理论的主、次系统的中断概率表达式分别表示为 (9) 和 (10):

$$[0035] \quad P_{out}^P = (1 - \Pr\{E\}) P_{out}^{Pe} + \Pr\{E\} P_{out}^{Pc}, \quad (9)$$

$$[0036] \quad P_{out}^S = (1 - \Pr\{E\}) P_{out}^{Se} + \Pr\{E\} P_{out}^{Sc}. \quad (10)$$

[0037] 其中,

$$P_{out}^{Pe}=1, \quad P_{out}^{Pc}=\Pr\{\alpha B \log_2(1+\gamma_{PR}^{IT}) < 2r_p\}; \quad P_{out}^{Sc}=1-\Pr\{R_{SR1}^{EH} \geq r_s, R_{SR2}^{EH} \geq r_s\},$$

$P_{out}^{Sc}=1-\Pr\{R_{SR1}^{IT} \geq r_s, R_{SR2}^{IT} \geq r_s\}$,其中 r_p 和 r_s 分别表示主、次系统的目标传输速率需求,

$$[0038] \quad R_{SR1}^{EH}=\log_2\left(1+\frac{P_{S1}|h_{S1,SR}|^2}{P_{S2}|h_{S2,SR}|^2+\delta_{SR}^2}\right), R_{SR2}^{EH}=\log_2\left(1+\frac{P_{S2}|h_{S2,SR}|^2}{\delta_{SR}^2}\right). \quad (11)$$

$$[0039] \quad R_{SR1}^{IT}=\frac{(1-\alpha)B}{2}\log_2\left(1+\frac{P_{S1}|h_{S1,SR}|^2}{(1-\alpha)\delta_{SR}^2}\right), R_{SR2}^{IT}=\frac{(1-\alpha)B}{2}\log_2\left(1+\frac{P_{S2}|h_{S2,SR}|^2}{(1-\alpha)\delta_{SR}^2}\right) \quad (12)$$

[0040] δ_{SR}^{IT} 代表次系统接收端处的接收噪声,B代表信道的带宽。

[0041] 进一步地改进,在所述信号传输模式中,通过使得次系统传输速率最大化的同时保证主系统传输速率不低于目标传输速率 r_p 来获得最优的带宽分配系数 α ,所考虑的优化问题可以表示为

$$[0042] \quad \begin{aligned} \max_{\alpha \in (0,1)} \quad & R_{SR}^{IT} = R_{SR1}^{IT} + R_{SR2}^{IT} \\ \text{s.t.} \quad & R_{RP}^{IT} \geq r_p. \end{aligned} \quad (13)$$

[0043] 获取最优的带宽分配系数 α 的步骤为:

[0044] (1) 将相关表达式带入公式(13),优化问题可以表示为

$$[0045] \quad \begin{aligned} \max_{\alpha \in (0,1)} \quad & \frac{(1-\alpha)B}{2}\log_2\left(\frac{\phi}{(1-\alpha)^2}\right) \\ \text{s.t.} \quad & \frac{\alpha B}{2}\log_2\left(\frac{\theta}{\alpha}\right) \geq r_p \end{aligned} \quad (14)$$

$$[0046] \quad \text{其中, } \phi = \frac{P_{S1}P_{S2}|h_{S1,SR}|^2|h_{S2,SR}|^2}{\delta_{SR}^4}, \theta = \frac{P_P|h_{PT,PR}|^2}{\delta_{PR}^2} + \frac{P_P P_{S2}|h_{S2,PR}|^2|h_{PT,S2}|^2}{P_{S2}\delta_{S2}^2|h_{S2,PR}|^2 + P_P\delta_{PR}^2|h_{PT,S2}|^2}$$

$$[0047] \quad (2) \text{ 将 } G(\alpha) = \frac{(1-\alpha)B}{2}\log_2\left(\frac{\phi}{(1-\alpha)^2}\right) \text{ 和 } H(\alpha) = \frac{\alpha B}{2}\log_2\left(\frac{\theta}{\alpha}\right) \text{ 分别定义为公式(14)}$$

中的目标函数和限定函数,通过分析 $G(\alpha)$ 和 $H(\alpha)$ 的二次导数可知, $G''(\alpha) < 0$ 和 $H''(\alpha) < 0$;

[0048] (3) 根据步骤(2)中的分析结果可知,优化问题符合凹优化函数的定义,可以通过使用Matlab中的CVX凸优化工具来获得所述的最优的带宽分配系数 α 。

[0049] 与现有技术相比,本发明能够实现的有益效果至少如下:

[0050] 本发明中当主系统发射端内的能量没有达到传输阈值时,系统即进入能量采集模式,进行能量采集;考虑带宽优化分配对系统传输性能的影响,通过获取最优化的带宽分配系数来对信息传输时的带宽进行分配,有利于提升整个系统的频谱效率。

附图说明

[0051] 图1是本发明实施例提供的基于非线性能量采集的认知无线网络系统模型。

- [0052] 图2是本发明实施例提供的可带宽分配的中继装置模型图。
- [0053] 图3是本发明实施例提供的频谱共享方法流程图。
- [0054] 图4是本发明实施例提供的系统在最优带宽分配系数下系统最大可实现频谱效率。
- [0055] 图5是本发明实施例提供的系统整体频谱效率较非频谱共享时频谱效率的提升百分比。

具体实施方式

[0056] 为了更好地理解本发明,下面结合实施例进一步阐明本发明的内容,但本发明的内容不仅仅局限于下面的实施例。

[0057] 一、传输模型及频谱共享模型图说明

[0058] 本发明所考虑的基于非线性能量采集的认知无线网络如图1所示,其中主系统发射端PT需要将数据传输到主系统接收端PR处;在传输范围内,两个次系统用户S1和S2利用主系统的频谱将信息传送给次系统接收端SR。在传输模型中,假设PT没有持续的电量供应,但其余信息发送端均有稳定的电源供应,因此主系统发射端PT需要从S1和S2广播的发送信息中获取能量用于传输。这种假设非常适用于无线传感器网络,其中主系统的发射端可以被认为是部署在某些极端位置的传感器,因此进行有限充电或更换电池都比较困难;第一次系统内用户S1和第二次系统内用户S2可以分别表示配备大容量电池或接入电网的移动用户和固定用户。为了提高主系统信息的传输速率,固定位置的次系统用户S2可以作为中继节点协作主用户信息的传输。系统内每个终端都假定配备单根天线,并工作在半双工模式下。假设所有的传输信道均为独立的瑞利衰落信道,因此信道在一个传输时隙内保持不变,但在不同的传输时隙会产生独立变化。 $h_{i,j}$ $\{i, j \in (PT, PR, S1, S2, SR), i \neq j\}$ 表示发送端与接收端之间的信道系数, $|h_{i,j}|^2$ 表示信道增益,其服从指数分布且均值为 $d_{i,j}^{-\beta}$, 其中 β 表示路径损耗指数。

[0059] 次系统接收端SR配有第一带通滤波器1,主系统接收端PR配有第二带通滤波器2。以获取所需的信息。

[0060] 针对所考虑的非线性能量采集认知无线网络,根据带宽资源分配提出了相应的频谱共享方法,对于给定的传输时隙,系统将依据主系统发射端处的剩余能量是否足以进行数据传输,以决定系统以能量采集模式(图1(a))或信息传输模式(图1(b))运行。

[0061] 1、当主系统发射端PT内的能量没有达到传输阈值时,系统进入能量采集模式。在能量采集模式下,在整个传输时隙内,第一次系统用户S1和第二次系统用户S2利用整个带宽资源同时向次系统接收端SR发送信号,而主系统发射端PT可以从接收到的两路次系统信号中获取能量。

[0062] 2、当主系统发射端PT内存储的能量达到传输阈值时,系统将进入信息传输模式,其中一个传输时隙可以分为两个传输阶段:

[0063] (1) 在第一个传输阶段,PT利用 αB ($0 < \alpha < 1$) 部分带宽发送信息给第二次系统用户S2和主系统接收端PR,同时第一次系统用户S1利用剩余的带宽资源 $(1-\alpha)B$ 传输信息给次系统接收端SR;

[0064] (2) 在第二个传输阶段,主系统发射端PT和第一次系统用户S1停止传输,第二次系

统用户S2利用可实现带宽分配的中继装置分别发送经过放大转发解码后的主系统信号和其自己的信号。

[0065] 二、可带宽分配的中继装置模型说明

[0066] 在信息传输模式下,系统的传输将分为两个阶段,第二次系统用户S2将作为中继节点来辅助主系统信息传输。此时,作为中继节点的第二次系统用户S2利用带宽分配装置同时转发主系统信息和自己的信息,具体信息和带宽分配过程如图2所示。

[0067] 1、在第一个传输阶段,主系统发射端PT和第一次系统用户S1分别利用 αB 和 $(1-\alpha)B$ 带宽发送各自的信息 x_p 和 x_{S1} ,其中主系统发射端PT和第一次系统用户S1的传输功率分别为 P_p 和 P_{S1} ;第一带通滤波器1和第二带通滤波器2分别表示使用部分带宽的次系统用户接收端和主系统用户接收端的带通滤波器;

[0068] 2、在第二个传输阶段,作为中继节点的第二次系统用户S2首先利用第二带通滤波器2滤除掉来自第一次系统用户S1的干扰信息,同时保留包含主系统信息 x_p 的信号;随后第二次系统用户S2采用放大转发方式对主系统信息 x_p 进行解码为 \tilde{x}_p ;在对主系统信息进行转发时,第二次系统用户S2也将利用 $(1-\alpha)B$ 带宽发送自己的信息,于是第二次系统用户S2将同时发送主、次系统两部分信息,最终实现带宽分配。

[0069] 三、频谱共享方法的流程图及系统性能分析方法

[0070] 1、频谱共享方法流程图说明

[0071] (1) 频谱共享流程图如图3所示。在任意时隙开始时,主系统发射端PT将会检测其电池剩余的能量 E_0 是否超过传输能量阈值 E_{th} ;

[0072] (2) 如果存储的能量没有超过传输阈值,即 $E_0 < E_{th}$,PT将会广播一个1比特信令‘0’,告知网络内其余终端,其将在这个时隙进行能量采集。因此,第一次系统用户S1和第二次系统用户S2将利用整个频谱资源(带宽)进行数据传输。根据系统传输模型图1可以得到在一个传输时隙内采集的能量为

$$[0073] \quad E_0 = \eta T (P_{S1} |h_{PT,S1}|^2 + P_{S2} |h_{PT,S2}|^2) \quad (1)$$

[0074] 其中, P_{S1} 和 P_{S2} 分别表示第一次系统用户和第二次系统用户的传输功率, η 表示能量转换效率, T 表示传输时隙长度, $h_{PT,S1}$ 代表主系统发射端与第一次系统用户间的传输信道, $h_{PT,S2}$ 代表主系统发射端与第二次系统用户间的传输信道,同时,次系统接收端(SR)所接收的信息为

$$[0075] \quad y_{SR}^{EH} = \sqrt{P_{S1}} h_{S1,SR} x_{S1} + \sqrt{P_{S2}} h_{S2,SR} x_{S2} + n_{SR}, \quad (2)$$

[0076] 其中 n_{SR} 表示接收的高斯白噪声; $h_{S1,SR}$ 代表第一次系统用户与次系统接收端之间的传输信道, $h_{S2,SR}$ 代表第二次系统用户与次系统接收端之间的传输信道。

[0077] (3) 如果存储的能量超过传输阈值,即 $E_0 \geq E_{th}$,PT将会广播一个1比特信令‘1’,告知网络内其余终端,其将在这个时隙进行能量传输,此时频谱共享开启,一个传输时隙将被分成两个时长相等的传输阶段,第二次系统用户S2将作为中继协助主用户信息的传输:

[0078] a) 在第一个传输阶段($T/2$):

[0079] 主系统发射端PT利用存储的能量和部分带宽 αB 发送主系统信号给第二次系统用户S2和主系统接收端PR,同时第一次系统用户S1利用剩余的带宽 $(1-\alpha)B$ 发送信息给次系统接收端SR。第二次系统用户S2和主系统接收端PR的接收信息为

$$[0080] \quad y_{S2}^{\Pi} = \sqrt{P_P} h_{PT,S2} x_P + n_{S2}, y_{PR,1}^{\Pi} = \sqrt{P_P} h_{PT,PR} x_P + n_{PR}, \quad (3)$$

[0081] 其中, $P_P = 2E_{th}$ 表示PT的传输功率, n_{S2} 和 n_{PR} 分别表示第二次系统用户和次系统接收端处接收的高斯白噪声, $h_{PT,PR}$ 代表主系统发射端与主系统接收端之间的传输信道; 次系统接收端SR处的接收信号为

$$[0082] \quad y_{SR,1}^{\Pi} = \sqrt{P_{S1}} h_{S1,SR} x_{S1} + n_{SR}. \quad (4)$$

[0083] 在接收到PT的信号后, S2采用放大转发方式对主系统信息进行解码, 表示为

$$[0084] \quad \tilde{x}_P = \frac{y_{S2}^{\Pi}}{\sqrt{P_P |h_{PT,S2}|^2 + \alpha \delta_{S2}^2}} \approx \frac{h_{PT,S2}}{\sqrt{|h_{PT,S2}|^2}} + \frac{n_{S2}}{\sqrt{P_P |h_{PT,S2}|^2}}. \quad (5)$$

[0085] 其中, α 代表最优的带宽分配系数, δ_{S2} 代表第二次系统用户处的接收噪声。

[0086] b) 在第二个传输阶段 (T/2): 主系统发射端PT和第一次系统用户S1停止传输, 第二次系统用户S2将转发主系统信息给主系统接收端PR, 与此同时第二次系统用户S2也将利用部分带宽资源传输自己的信息给次系统接收端SR。在主系统接收端PR和次系统接收端SR部署的第一带通滤波器1和第二带通滤波器2, 将过滤掉干扰信息, 保留自己专属带宽所发送的信息。因此主系统接收端PR和次系统接收端SR处的接收信息分别表示为

$$[0087] \quad y_{PR,2}^{\Pi} = \frac{\sqrt{P_{S2}} h_{S2,PR} h_{PT,S2} x_P}{\sqrt{|h_{PT,S2}|^2}} + \frac{\sqrt{P_{S2}} h_{S2,PR} n_{S2}}{\sqrt{P_P |h_{PT,S2}|^2}} + n_{PR}, \quad (6)$$

$$[0088] \quad y_{SR,2}^{\Pi} = \sqrt{P_{S2}} h_{S2,SR} x_{S2} + n_{SR}.$$

[0089] 此时, 主系统接收端PR处的接收信噪比为

$$[0090] \quad \gamma_{PR}^{\Pi} = \frac{P_P |h_{PT,PR}|^2}{\alpha \delta_{PR}^2} + \frac{P_P P_{S2} |h_{S2,PR}|^2 |h_{PT,S2}|^2}{\alpha P_{S2} \delta_{S2}^2 |h_{S2,PR}|^2 + \alpha P_P \delta_{PR}^2 |h_{PT,S2}|^2}. \quad (7)$$

[0091] 同时, 次系统接收端SR也将根据接收的顺序对信号 x_{p1} 和 x_{p2} 进行逐一解码;

[0092] 其中, $h_{S2,PR}$ 代表第二次系统用户与主系统接收端之间的传输信道, x_{S2} 代表第二次系统用户所发送的数据, δ_{PR} 代表主系统接收端处的接收噪声。

[0093] 本实施例所提出的频谱共享方法更适合应用在基于能量采集的物联网系统中来提升系统的频谱效率。

[0094] 2、系统性能分析方法说明

[0095] (1) 基于马尔科夫链的非线性能量采集模型

[0096] 将PT中的电池的总容量设定为 E_c , 共分为L级, 其中第1级存储的能量为 $E_1 = 1E_c/L$ 。考虑到PT进行能量采集时的充放电行为是一个离散时间的随机过程, 仅依赖于前一时隙的剩余能量状态。因此, 每个传输时隙结束时剩余电量的变化可以看作是L+1个状态的有限状态马尔可夫链。定义 S_1 表示PT处剩余能量为 E_1 的状态标记, $P_{1,1}$ 表示状态 S_1 转变为另一状态 S_1 的状态转移概率。根据所提出的频谱共享方法, 主系统发射端PT的电池状态变化包含以下五种情况:

[0097] a) 电池的电量保持不变 ($S_1 \rightarrow S_1$), 对应PT进行能量采集, 但采集的能量低于 E_c/L , 即表示采集的能量为0, 状态转移概率为 $P_{1,1} = \Pr \{0 < E_0 < E_c/L\}$;

[0098] b) 空电池进行部分充电 ($S_0 \rightarrow S_1$), 对应PT进行能量采集, 所采集的能量为 $1E_c/L$, 状态转移概率为 $P_{0,1} = \Pr \{1E_c/L \leq E_0 < (1+1)E_c/L\}$;

[0099] c) 非空的电池进行部分充电 ($S_1 \rightarrow S_{1'}$), 对应PT进行能量采集, 所采集的能量为 $(1'-1)E_c/L$, 状态转移概率为 $P_{1,1'} = \Pr \{(1'-1)E_c/L \leq E_0 < (1'-1+1)E_c/L\}$;

[0100] d) 非空的电池充满电量 ($S_1 \rightarrow S_L$), 对应PT进行能量采集, 所采集的能量为 $(L-1)E_c/L$, 状态转移概率为 $P_{1,L} = \Pr \{E_0 \geq (L-1)E_c/L\}$;

[0101] e) 电池进行放电 ($S_l \rightarrow S_{l-l_h}$), 对应PT的电池剩余能量超过传输功率阈值, PT将进行信息传输, 因此状态转移概率为 $P_{l,l-l_h} = 1$ 。

[0102] 定义 $M = [P_{1,1'}]$ 为基于马尔科夫链的状态转移概率矩阵, 矩阵大小为 $(L+1) \times (L+1)$ 。根据矩阵M的特性可知存在唯一向量 $\pi = (\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_L)^T = M^T \pi$, 其中 π 表示PT电池所剩余能量的离散分布, 因此 $\pi = (M^T - I + B)^{-1} b$, 其中 M^T 表示矩阵M的转置, I表示单位矩阵, $b = (1, 1, \dots, 1)^T$ 。因此, 在任意传输时隙主系统发射端PT能累积到足够传输能量的概率为

$$[0103] \quad \Pr \{E\} = \sum_{i=1}^L \pi_i, \text{ s.t. } l = \arg \min_{l \in \{1, \dots, L\}} \{E_l \geq E_{th}\} \quad (8)$$

[0104] (2) 主系统和次系统的中断性能分析

[0105] 根据考虑的传输模型和所提出的频谱共享方法, 当主系统发射端PT电池的剩余能量足够进行数据传输时, 频谱共享将被激活。否则, 主系统发射端PT将继续进行能量收集, 而第一次系统用户S1和第二次系统用户S2将其数据传输给SR。因此, 对于有前提条件的频谱共享, 基于全概率理论的主、次系统的中断概率表达式分别表示为 (9) 和 (10) :

$$[0106] \quad P_{out}^P = (1 - \Pr \{E\}) P_{out}^{Pe} + \Pr \{E\} P_{out}^{Pc}, \quad (9)$$

$$[0107] \quad P_{out}^S = (1 - \Pr \{E\}) P_{out}^{Se} + \Pr \{E\} P_{out}^{Sc}. \quad (10)$$

[0108] 在主系统中断概率表达式中, $P_{out}^{Pe} = 1$ 和 $P_{out}^{Pc} = \Pr \{\alpha B \log_2 (1 + \gamma_{PR}^{IT}) < 2r_p\}$; 在次系统中断概率表达式中, $P_{out}^{Se} = 1 - \Pr \{R_{SR1}^{EH} \geq r_s, R_{SR2}^{EH} \geq r_s\}$ 和 $P_{out}^{Sc} = 1 - \Pr \{R_{SR1}^{IT} \geq r_s, R_{SR2}^{IT} \geq r_s\}$, 其中 r_p 和 r_s 分别表示主、次系统的目标传输速率需求,

$$[0109] \quad R_{SR1}^{EH} = \log_2 \left(1 + \frac{P_{S1} |h_{S1,SR}|^2}{P_{S2} |h_{S2,SR}|^2 + \delta_{SR}^2} \right), R_{SR2}^{EH} = \log_2 \left(1 + \frac{P_{S2} |h_{S2,SR}|^2}{\delta_{SR}^2} \right). \quad (11)$$

$$[0110] \quad R_{SR1}^{IT} = \frac{(1-\alpha)B}{2} \log_2 \left(1 + \frac{P_{S1} |h_{S1,SR}|^2}{(1-\alpha)\delta_{SR}^2} \right), R_{SR2}^{IT} = \frac{(1-\alpha)B}{2} \log_2 \left(1 + \frac{P_{S2} |h_{S2,SR}|^2}{(1-\alpha)\delta_{SR}^2} \right). \quad (12)$$

[0111] 3、优化带宽分配方法说明

[0112] 基于所提出的频谱共享方法, 在信息传输模式中将带宽进行分配。通过上述系统性能分析, 我们的目标是获得一个最优的带宽分配系数, 以提高主系统和次系统的可实现传输速率, 这意味着提高数据传输速率可以降低系统的中断概率。因此, 可以通过使得次系统传输速率最大化的同时保证主系统传输速率不低于目标传输速率 r_p 来获得最优的带宽分配系数 α 。所考虑的优化问题可以表示为

$$\begin{aligned}
[0113] \quad & \max_{\alpha \in (0,1)} R_{SR}^{\text{IT}} = R_{SR1}^{\text{IT}} + R_{SR2}^{\text{IT}} \\
& \text{s.t.} \quad R_{RP}^{\text{IT}} \geq r_p.
\end{aligned} \tag{13}$$

[0114] 获取最优的带宽分配系数 α 的步骤为:

[0115] (1) 将相关表达式带入公式 (13), 优化问题可以表示为

$$\begin{aligned}
[0116] \quad & \max_{\alpha \in (0,1)} \frac{(1-\alpha)B}{2} \log_2 \left(\frac{\phi}{(1-\alpha)^2} \right) \\
& \text{s.t.} \quad \frac{\alpha B}{2} \log_2 \left(\frac{\theta}{\alpha} \right) \geq r_p,
\end{aligned} \tag{14}$$

$$[0117] \quad \text{其中} \phi = \frac{P_{S1} P_{S2} |h_{S1,SR}|^2 |h_{S2,SR}|^2}{\delta_{SR}^4}, \theta = \frac{P_P |h_{PT,PR}|^2}{\delta_{PR}^2} + \frac{P_P P_{S2} |h_{S2,PR}|^2 |h_{PT,S2}|^2}{P_{S2} \delta_{S2}^2 |h_{S2,PR}|^2 + P_P \delta_{PR}^2 |h_{PT,S2}|^2}.$$

[0118] (2) 将 $G(\alpha) = \frac{(1-\alpha)B}{2} \log_2 \left(\frac{\phi}{(1-\alpha)^2} \right)$ 和 $H(\alpha) = \frac{\alpha B}{2} \log_2 \left(\frac{\theta}{\alpha} \right)$ 分别定义为公式 (14)

中的目标函数和限定函数,通过分析 $G(\alpha)$ 和 $H(\alpha)$ 的二次导数可知, $G''(\alpha) < 0$ 和 $H''(\alpha) < 0$;

[0119] (3) 根据步骤 (2) 中的分析结果可知,优化问题符合凹优化函数的定义,可以通过使用Matlab中的CVX凸优化工具来获得最优的宽分配系数 α 。

[0120] 采用基于马尔科夫链的非线性能量采集模型可以非常详细地描述实际应用环境中设备进行能量采集时的过程,更加精确地获取系统性能表达式,获取更优化的带宽分配系数,提升整个系统的频谱效率。

[0121] 图4和图5主要对所提出的认知频谱共享方法进行系统级的仿真验证,其中图4主要描述了在不同主系统发射端传输功率和次系统用户S1和S2的传输功率时,系统的最大可实现频谱效率;图5主要描述了在不同主系统发射端传输功率条件下,系统采用所提出的频谱共享方法在较非协作情况下时的系统整体频谱效率提升率。从图中可以看出,在设定的主系统发射端传输功率范围内,系统的整体频谱效率均有所提升,进一步说明所提出的认知频谱共享方法的有效性。

[0122] 本发明未涉及部分均与现有技术相同或采用现有技术加以实现。

[0123] 以上所述仅为本发明的优先实施例,而非对本发明作任何形式上的限制。本领域的技术人员可在上述实施例的基础上施以各种等同的更改和改进,凡在权利要求范围内所做的等同变化和修饰,均应落入本发明的保护范围之内。

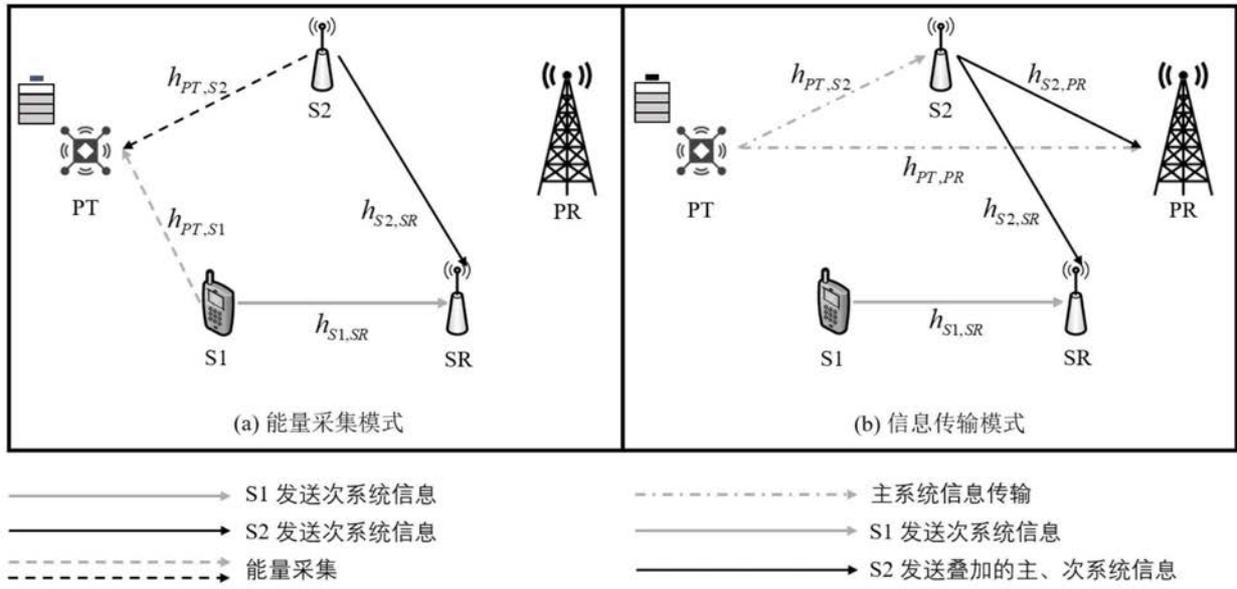


图1

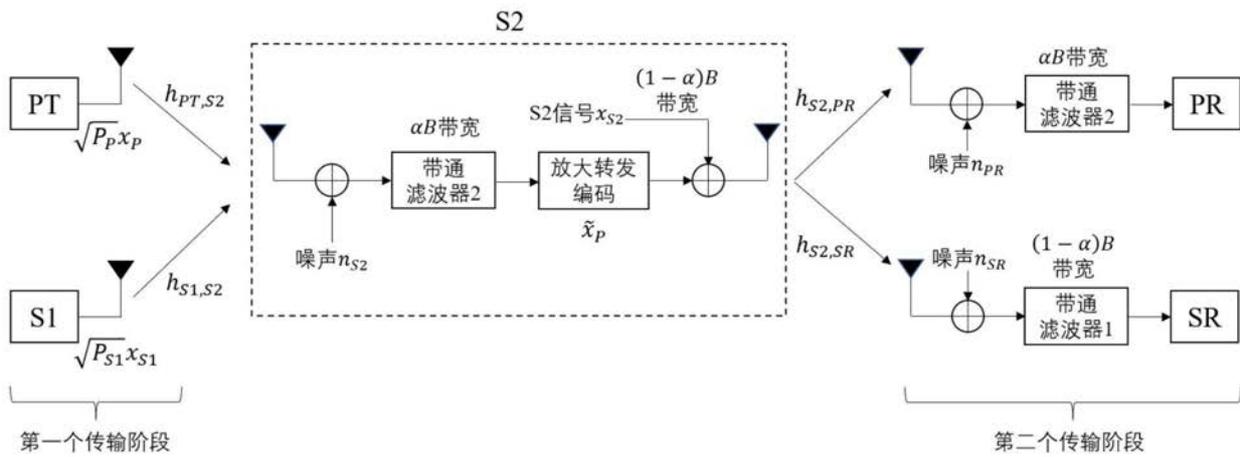


图2

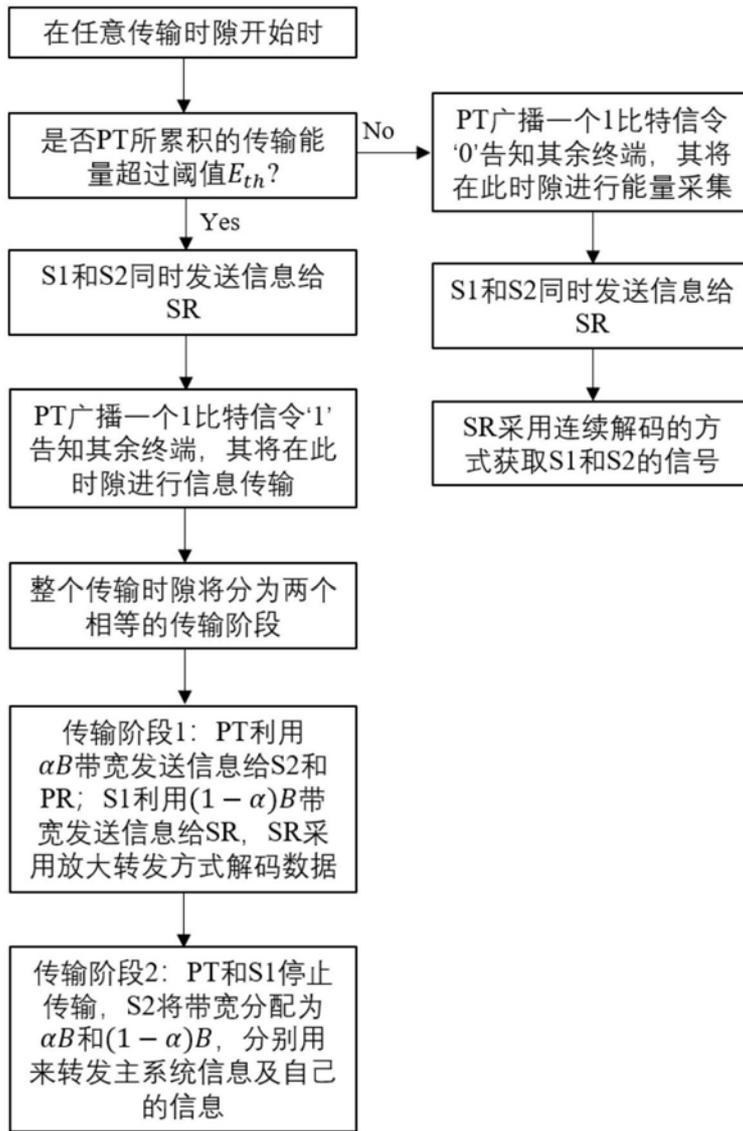


图3

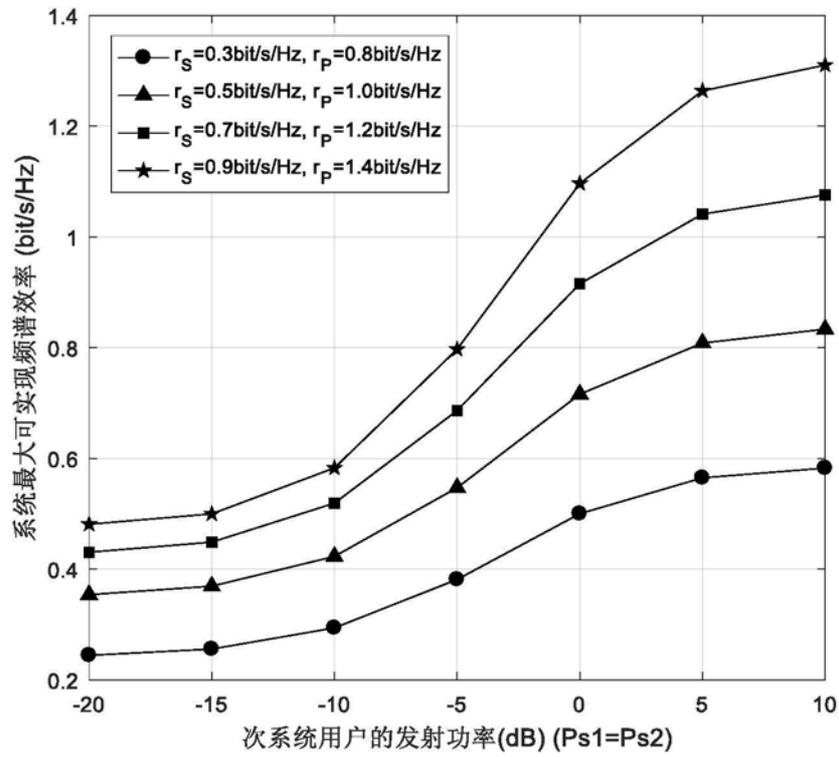
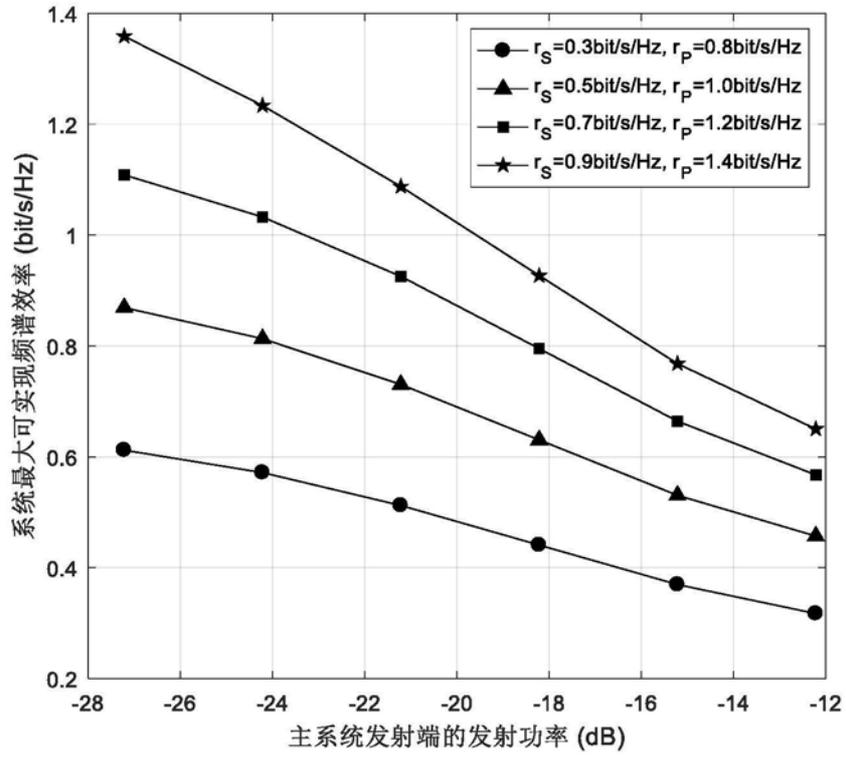


图4

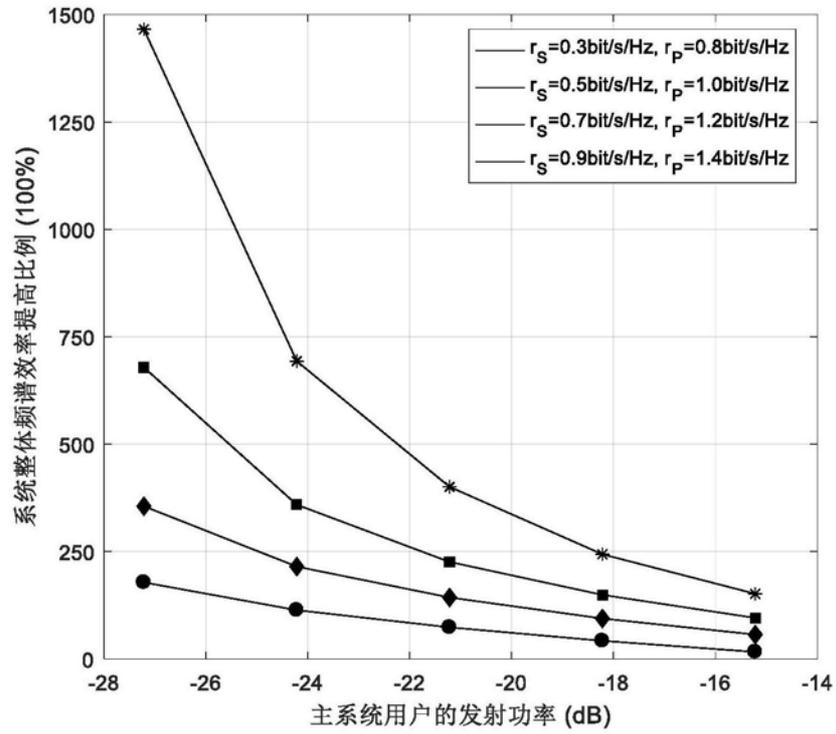
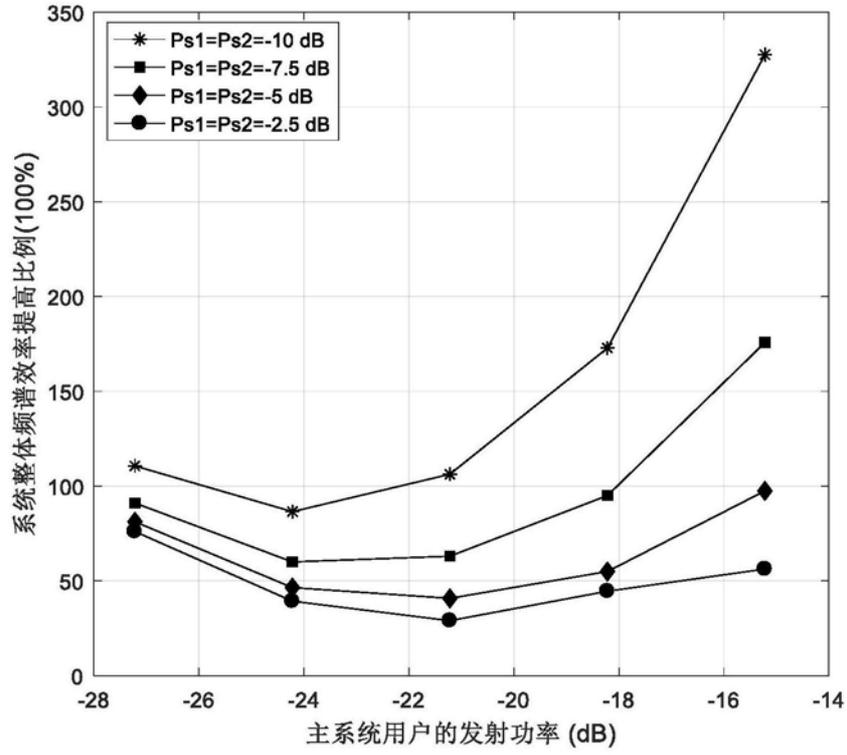


图5