



(21) 申请号 202011044319.6

H04W 52/26 (2009.01)

(22) 申请日 2020.09.28

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 111542109 A, 2020.08.14

申请公布号 CN 112261662 A

US 10361596 B1, 2019.07.23

(43) 申请公布日 2021.01.22

T. Aruna et al..Performance Analysis

(73) 专利权人 华南理工大学

of Energy Assisted Relaying Techniques in Cooperative Wireless Networks.《2018 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)》.2018,1-4.

地址 510640 广东省广州市天河区五山路381号

(72) 发明人 唐锐 薛泉 廖绍伟

唐锐等.基于能量收割的认识无线传感网络中次用户双向传输方案的研究.《Journal of Central South University》.2018,

(74) 专利代理机构 广州粤高专利商标代理有限公司 44102

专利代理师 何淑珍 江裕强

审查员 邹秋雯

(51) Int.Cl.

H04W 16/14 (2009.01)

H04W 52/24 (2009.01)

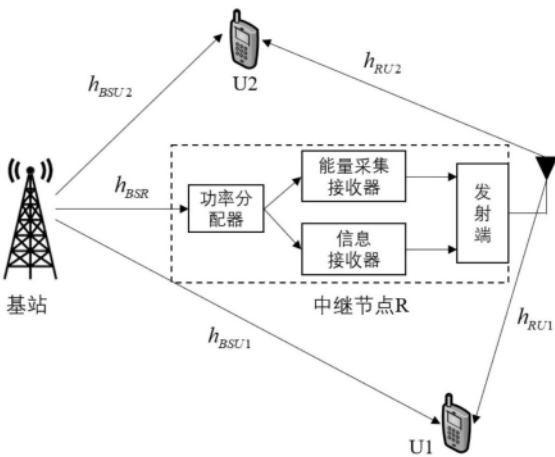
权利要求书3页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

一种提升NOMA协作通信系统能量效率的传输方法

(57) 摘要

本发明公开一种提升NOMA协作通信系统能量效率的传输方法,采用基于中继辅助的NOMA协作认知通信传输模型根据传输协议进行传输,认知通信传输模型包括基站、第一接收端、第二接收端以及用于协作传输的中继节点,假设所有的传输信道均为独立的瑞利衰落信道;传输协议为,在任一传输时隙内包括第一传输阶段和第二传输阶段,第一传输阶段中,基站发送叠加的信号给第一接收端和第二接收端,中继节点也接收该叠加信号,并根据能量分割比例将叠加信号分割成用于能量采集和用来转发信号的两部分。通过最大化系统能量效率的参数获取优化算法获得功率分配因子和能量分割比例的最优值。本发明可以最大化提升系统的能量效率。



1. 一种提升NOMA协作通信系统能量效率的传输方法,其特征在于,包括:

采用基于中继辅助的NOMA协作认知通信传输模型根据传输协议进行传输,所述认知通信传输模型包括基站(BS)、第一接收端(U1)、第二接收端(U2)以及用于协作传输的中继节点(R),假设所有的传输信道均为独立的瑞利衰落信道,信道在一个传输时隙内保持不变,但在不同的传输时隙产生独立变化;

所述传输协议为,在任一所述传输时隙内包括两个传输阶段,定义为第一传输阶段和第二传输阶段,在所述第一传输阶段中,所述基站(BS)发送叠加信号 $x_{BS} = \sqrt{\alpha_1}x_1 + \sqrt{\alpha_2}x_2$ 给所述第一接收端(U1)和所述第二接收端(U2),其中 x_1 和 x_2 分别表示第一接收端(U1)和第二接收端(U2)所需要接收的信号, α_1 和 α_2 分别表示传输信号 x_1 和 x_2 时的功率分配因子,同时,中继节点(R)也接收该叠加信号 x_{BS} ,并根据信息能量分割比例 β 将所述叠加信号 x_{BS} 分割成两部分,其中一部分用于能量采集,另一部分用来转发信号;在所述第二传输阶段中,所述中继节点(R)通过放大转发方式将剩余的基站信号发送给所述第一接收端(U1)和所述第二接收端(U2),所述第一接收端(U1)直接解码其所需的信号 x_1 ,第二接收端(U2)采用连续干扰消除策略,先解码干扰信息 x_1 ,再解码所需的信息 x_2 ;

其中,分别获得所述第一接收端(U1)的接收信噪比和所述第二接收端(U2)的接收信噪比,并基于所述接收信噪比和所述接收信干噪比分别获得所述第一接收端(U1)的中断概率和所述第二接收端(U2)的中断概率,基于所述中断概率通过最大化系统能量效率的参数获取优化算法获得功率分配因子 α_1 和 α_2 和信息能量分割比例 β 的最优值;

其中,所述根据信息能量分割比例 β 将所述叠加信号 x_{BS} 分割成两部分,具体为:

所述中继节点(R)从射频信号 x_{BS} 处所获取的能量为

$$\sqrt{\beta}y_R = \sqrt{\beta P_{BS}} h_{BSR} (\sqrt{\alpha_1}x_1 + \sqrt{\alpha_2}x_2) + \sqrt{\beta}n_R$$

所述中继节点(R)的发送功率为

$$P_R = \eta \beta P_{BS} |h_{BSR}|^2, \quad (2)$$

所述中继节点(R)采用放大转发传输剩余的信号 $\sqrt{1-\beta}y_R$,对应的转发信号表示为

$x_R = G(\sqrt{1-\beta}y_R + n_b)$,其中 $n_b \sim CN(0, \delta_b^2)$ 表示接收噪声, G 表示功率归一化因子;

$$G = \frac{1}{\sqrt{(1-\beta)(P_{BS}|h_{BSR}|^2 + \delta_R^2) + \delta_b^2}} \approx \frac{1}{\sqrt{(1-\beta)P_{BS}|h_{BSR}|^2}}. \quad (5)$$

其中, P_{BS} 表示基站发送功率, h_{BSR} 表示基站与中继节点之间的传输信道, δ_R^2 表示中继节点处的接收高斯白噪声, y_R 表示中继节点在第一传输阶段接收的信号, η 表示能量转换效率, n_R 表示基站处所接收的高斯白噪声, δ_b^2 表示接收的信号从高频到低频时由电路产生的噪声;

所述最大化系统能量效率的参数获取优化算法具体为:

S1: 定义 $\Delta \alpha_1$ 和 $\Delta \beta$ 分别为参数 α_1 和 β 的搜索步长,初始化 $\varpi_{EE}^{\max} = 0$, 其中, ϖ_{EE} 表示系统平均能量效率, $\varpi_{EE}^{\max}$ 表示最大系统平均能量效率;

S2: 针对任意的 $\beta = \beta_0 \in (0, 1)$, 执行步骤S21-S23;

S21: 针对任意的 $\alpha_1 = \alpha \in (0.5, 1)$, 计算 $\gamma_U = \min\{\gamma_{U1}^I, \gamma_{U1}^{II}, \gamma_{U2,2}^I, \gamma_{U2,2}^{II}\}$ 的结果;

如果 $\gamma_U \geq R_D$, 然后计算 ϖ_{EE} , 如果 $\varpi_{EE} > \varpi_{EE}^{\max}$, 则当前优化参数 $\alpha_1^* = \alpha$, $\alpha_2^* = 1 - \alpha$ 和 $\beta^* = \beta_0$, 随后更新 $\varpi_{EE}^{\max} = \varpi_{EE}$; 否则保持原有的优化参数取值;

S22: 更新 $\alpha = \alpha + \Delta \alpha$;

S23: 更新 $\beta_0 = \beta_0 + \Delta \beta$;

S3: 从公式中 $(\alpha_1^*, \alpha_2^*, \beta^*) = \arg \max \text{ Optimization Problem (P1)}$ 获取全局最优解。

2. 根据权利要求1所述的一种提升NOMA协作通信系统能量效率的传输方法, 其特征在于: 中继节点在第一传输阶段接收的信号为

$$y_R = \sqrt{P_{BS}} h_{BSR} (\sqrt{\alpha_1} x_1 + \sqrt{\alpha_2} x_2) + n_R。$$

3. 根据权利要求1-2任一所述的一种提升NOMA协作通信系统能量效率的传输方法, 其特征在于: 所述第一接收端 (U1) 的接收信噪比包括第一接收端 (U1) 分别在第一传输阶段和第二传输阶段的接收信噪比, 所述第二接收端 (U2) 的接收信干噪比包括第二接收端 (U2) 分别在第一传输阶段和第二传输阶段的接收信干噪比。

4. 根据权利要求3所述的一种提升NOMA协作通信系统能量效率的传输方法, 其特征在于: 在第一传输阶段中, 所述第一接收端 (U1) 的接收信噪比为

$$\gamma_{U1}^I = \frac{\alpha_1 P_{BS} |h_{BSU1}|^2}{\alpha_2 P_{BS} |h_{BSU1}|^2 + \delta_{U1}^2}。 \quad (3)$$

所述第二接收端 (U2) 先检测第一接收端 (U1) 的信号, 随后再解码其所需的信号, 因此第二接收端 (U2) 同时检测出两个信号 x_1 和 x_2 的信干噪比分别为

$$\gamma_{U2,1}^I = \frac{\alpha_1 P_{BS} |h_{BSU2}|^2}{\alpha_2 P_{BS} |h_{BSU2}|^2 + \delta_{SU2}^2}, \gamma_{U2,2}^I = \frac{\alpha_2 P_{BS} |h_{BSU2}|^2}{\delta_{BSU2}^2}。 \quad (4)$$

在第二传输阶段中, 所述第一接收端 (U1) 的接收信噪比为

$$\gamma_{U1}^{II} = \frac{\alpha_1 \beta \eta P_{BS} |h_{BSR}|^2 |h_{RU1}|^2}{\alpha_2 \beta \eta P_{BS} |h_{BSR}|^2 |h_{RU1}|^2 + \beta \eta \delta_R^2 |h_{RU1}|^2 + \frac{\beta \eta \delta_b^2}{1 - \beta} |h_{RU1}|^2 + \delta_{U1}^2}。 \quad (7)$$

由于第二接收端 (U2) 采用连续干扰消除, 因此第二接收端 (U2) 连续解码传输信号 x_1 和 x_2 的信干噪比分别表示为

$$\gamma_{U2,1}^{II} = \frac{\alpha_1 \beta \eta P_{BS} |h_{BSR}|^2 |h_{RU2}|^2}{\alpha_2 \beta \eta P_{BS} |h_{BSR}|^2 |h_{RU2}|^2 + \beta \eta \delta_R^2 |h_{RU2}|^2 + \frac{\beta \eta \delta_b^2}{1 - \beta} |h_{RU2}|^2 + \delta_{U2}^2}, \quad (8)$$

$$\gamma_{U2,2}^{II} = \frac{\alpha_2 \beta \eta P_{BS} |h_{BSR}|^2 |h_{RU2}|^2}{\beta \eta \delta_R^2 |h_{RU2}|^2 + \frac{\beta \eta \delta_b^2}{1 - \beta} |h_{RU2}|^2 + \delta_{U2}^2}。 \quad (9)$$

其中, η 表示能量转换效率, δ_i^2 表示噪声功率, δ_{U1}^2 表示第一接收端处的噪声功率, δ_{U2}^2 表示第二接收端处的噪声功率, h_{RU1} 表示中继节点和第一接收端之间的传输信道, h_{RU2} 表示中继节点和第二接收端之间的传输信道, h_{BSU1} 表示基站与第一接收端之间的传输信道, h_{BSU2} 表示基站与第二接收端之间的传输信道。

5. 根据权利要求1所述的一种提升NOMA协作通信系统能量效率的传输方法, 其特征在于: 当第一接收端 (U1) 和第二接收端 (U2) 的可实现率都低于目标数据率 r_D 时, 就会发生信息传输中断的事件, 第二接收端 (U2) 描述这种中断事件的概率表示为

$$P_{out}^{U2} = \left(1 - \Pr\{\gamma_{U2,1}^I \geq R_D, \gamma_{U2,2}^I \geq R_D\}\right) \left(1 - \Pr\{\gamma_{U2,1}^{II} \geq R_D, \gamma_{U2,2}^{II} \geq R_D\}\right), \quad (10)$$

其中 $R_D = 2^{2r_D} - 1$ 表示最低可接收信干噪比, 第一接收端 (U1) 将信号 x_2 看做噪声, 直接解码其所需的信息 x_1 , 因此第一接收端 (U1) 的中断概率为

$$P_{out}^{U1} = \Pr\{\max(\gamma_{U1}^I, \gamma_{U1}^{II}) < R_D\}. \quad (11)$$

其中, P_{out}^{U1} 表示第一接收端的中断概率, P_{out}^{U2} 表示第二接收端的中断概率。

6. 根据权利要求1所述的一种提升NOMA协作通信系统能量效率的传输方法, 其特征在于, 系统能量效率最大化计算公式为:

$$\max_{\alpha_1, \alpha_2, \beta} \varpi_{EE} = \frac{1}{P_{BS}} R_D \left(2 - P_{out}^{U1} - P_{out}^{U2}\right).$$

一种提升NOMA协作通信系统能量效率的传输方法

技术领域

[0001] 本发明属于能量采集认知无线网络领域,尤其涉及一种提升NOMA协作通信系统能量效率的传输方法。

背景技术

[0002] 随着移动通信和物联网(IoT)的飞速发展,对频谱效率和系统容量的需求迅速增长,传统的正交多址(OMA)接入技术已经不能满足用户需求。非正交多址(NOMA)接入技术被认为是一种有发展潜力的多路访问技术,可以通过部署超密集网络来获得更多的频谱效率,因此可以应用于支持5G系统下的大型机器类通信场景。与传统的正交多址接入技术不同,NOMA技术可以有效地利用相同的传输资源(如:时间、频率和功率)来实现多址接入应用,从而可以有效地提高整个系统的传输性能。此外,在认知无线电(CR)网络中已经广泛地开展了频谱共享研究。在CR网络中,二级用户可以访问属于一级用户的许可频谱而不会对其传输造成干扰,或者可以协助一级用户进行数据传输以换取频谱共享的机会。在实际应用中,针对低功率电子设备的同时无线信息和功率传输(SWIPT)也已经开展了研究,它可以在采集能量的同时处理射频信号的信息。将NOMA技术、认知无线网络与能量采集相结合,可以为5G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,Y.Zhang等在《Energy efficiency optimization in cognitive radio inspired non-orthogonal multiple access》(Proc.IEEE 27th International Symposium on Personal,Indoor and Mobile Radio Communications PIMRC,pp.1-6, 2016.)从多用户下行链路系统中的系统能量效率角度研究了NOMA技术。首先,通过引入多天线技术并将一级用户的数量扩展到任意数量,来概括现有的基于NOMA的认知无线电系统;然后,系统的目标是针对每个一级用户,在服从单个服务质量约束条件的情况下,优化所提出系统的能量效率;最后针对非凸的优化问题,作者提出了一种基于顺序凸逼近法的高效算法来实现能量效率最大化,所有传输节点均有稳定的传输能量供应,但是对于大量的小型传感器接入到无线网络中时,无法很好的为所有传感器提供固定的能量供应,因此采用信息能量同传技术更符合未来基于5G通信系统的IoT应用。在W.Zhao等在《Energy efficiency maximization for two-way relay assisted CR-NOMA system based on SWIPT》(IEEE Access,vol.7,2019)中,在双向中继辅助的认知无线电非正交多址网络中研究了系统的能量效率。基于所采集的能量和用户的服务质量需求,作者的目的是最大化二级系统的能量效率。多目标的能量效率优化问题可以分解成三个子优化问题,分别是发射功率优化、功率分配优化和功率分配比优化。其中发射功率的优化问题采用一阶泰勒级数展开函数的拉格朗日对偶算法来解决,功率分配优化和功率分配比优化则通过多目标迭代算数来联合获取。但其所研究的传输模型过于复杂,无法推导出精确的能量效率表达式,因此所提出的优化算法并不能获取所研究参数的全局最优解。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种可以有效提高基于非正交多址接入技术的能量采集认知无线电系统能量效率的方法,包括基于无线信息能量同传的频谱共享协议设计和基于全搜索的参数优化算法,用于最大化系统的能量效率,为未来基于能量采集认知无线电技术的传感器网络和物联网提供一种可用的能量效率提升方法。

[0005] 为实现本发明目的,本发明采用的方案是:

[0006] 一种提升NOMA协作通信系统能量效率的传输方法,包括:

[0007] 采用基于中继辅助的NOMA协作认知通信传输模型根据传输协议进行传输,所述认知通信传输模型包括基站、第一接收端、第二接收端以及用于协作传输的中继节点,假设所有的传输信道均为独立的瑞利衰落信道,信道在一个传输时隙内保持不变,但在不同的传输时隙产生独立变化;

[0008] 所述传输协议为,在任一所述传输时隙内包括两个传输阶段,定义为第一传输阶段和第二传输阶段,在所述第一传输阶段中,所述基站BS发送叠加的信号 $x_{BS} = \sqrt{\alpha_1}x_1 + \sqrt{\alpha_2}x_2$ 给所述第一接收端和所述第二接收端,其中 x_1 和 x_2 分别表示第一接收端和第二接收端所需要接收的信号, α_1 和 α_2 分别表示传输信号 x_1 和 x_2 时的功率分配因子,同时,中继节点也接收该叠加信号 x_{BS} ,并根据能量分割比例 β 将所述叠加信号 x_{BS} 分割成两部分,其中一部分用于能量采集,另一部分用来转发信号;在所述第二传输阶段中,所述中继节点通过放大转发方式将剩余的基站信号发送给所述第一接收端和所述第二接收端,所述第一接收端直接解码其所需的信号 x_1 ,第二接收端采用连续干扰消除策略,先解码干扰信息 x_1 ,再解码所需的信息 x_2 ;

[0009] 其中,分别获得所述第一接收端的接收信噪比和所述第二接收端的接收信干噪比,并基于所述接收信噪比和所述接收信干噪比分别获得所述第一接收端的中断概率和所述第二接收端的中断概率,基于所述中断概率通过最大化系统能量效率的参数获取优化算法获得功率分配因子 α_1 和 α_2 和能量分割比例 β 的最优值。

[0010] 进一步地,所述根据能量分割比例 β 将所述叠加信号 x_{BS} 分割成两部分,具体为:

[0011] 所述中继节点从射频信号 x_{BS} 处所获取的能量为

$$[0012] \quad \sqrt{\beta}y_R = \sqrt{\beta P_{BS}} h_{BSR} (\sqrt{\alpha_1}x_1 + \sqrt{\alpha_2}x_2) + \sqrt{\beta}n_R$$

[0013] 所述中继节点的发送功率为

$$[0014] \quad P_R = \eta \beta P_{BS} |h_{BSR}|^2, \quad (1)$$

[0015] 所述中继节点采用放大转发传输剩余的信号 $\sqrt{1-\beta}y_R$,对应的转发信号表示为 $x_R = G(\sqrt{1-\beta}y_R + n_b)$,其中 $n_b \sim CN(0, \delta_b^2)$ 表示接收噪声, G 表示功率归一化因子,

$$[0016] \quad G = \frac{1}{\sqrt{(1-\beta)(P_{BS}|h_{BSR}|^2 + \delta_R^2) + \delta_b^2}} \approx \frac{1}{\sqrt{(1-\beta)P_{BS}|h_{BSR}|^2}}. \quad (2)$$

[0017] 其中, P_{BS} 表示基站发送功率, h_{BSR} 表示基站与中继节点之间的传输信道, δ_R^2 表示中继节点处的接收高斯白噪声, y_R 表示中继节点在第一传输阶段接收的信号, η 表示能量转换效率, n_R 表示基站处所接收的高斯白噪声, δ_b^2 表示接收的信号从高频到低频时由电路产生的噪声。

[0018] 进一步地,中继节点在第一传输阶段接收的信号为

$$[0019] \quad y_R = \sqrt{P_{BS}} h_{BSR} \left(\sqrt{\alpha_1} x_1 + \sqrt{\alpha_2} x_2 \right) + n_R$$

[0020] 进一步地,所述第一接收端的接收信噪比包括第一接收端分别在第一传输阶段和第二传输阶段的接收信噪比,所述第二接收端的接收信干噪比包括第二接收端分别在第一传输阶段和第二传输阶段的接收信干噪比。

[0021] 进一步地,在第一传输阶段中,所述第一接收端的接收信噪比为

$$[0022] \quad \gamma_{U1}^I = \frac{\alpha_1 P_{BS} |h_{BSU1}|^2}{\alpha_2 P_{BS} |h_{BSU1}|^2 + \delta_{U1}^2}. \quad (3)$$

[0023] 所述第二接收端先检测第一接收端的信号,随后再解码其所需的信号,因此第二接收端同时检测出两个信号 x_1 和 x_2 的信干噪比分别为

$$[0024] \quad \gamma_{U2,1}^I = \frac{\alpha_1 P_{BS} |h_{BSU2}|^2}{\alpha_2 P_{BS} |h_{BSU2}|^2 + \delta_{SU2}^2}, \gamma_{U2,2}^I = \frac{\alpha_2 P_{BS} |h_{BSU2}|^2}{\delta_{BSU2}^2}. \quad (4)$$

[0025] 在第二传输阶段中,所述第一接收端的接收信噪比为

$$[0026] \quad \gamma_{U1}^{II} = \frac{\alpha_1 \beta \eta P_{BS} |h_{BSR}|^2 |h_{RU1}|^2}{\alpha_2 \beta \eta P_{BS} |h_{BSR}|^2 |h_{RU1}|^2 + \beta \eta \delta_R^2 |h_{RU1}|^2 + \frac{\beta \eta \delta_b^2}{1-\beta} |h_{RU1}|^2 + \delta_{U1}^2}. \quad (5)$$

[0027] 由于第二接收端采用连续干扰消除,因此第二接收端连续解码传输信号 x_1 和 x_2 的信干噪比分别表示为

$$[0028] \quad \gamma_{U2,1}^{II} = \frac{\alpha_1 \beta \eta P_{BS} |h_{BSR}|^2 |h_{RU2}|^2}{\alpha_2 \beta \eta P_{BS} |h_{BSR}|^2 |h_{RU2}|^2 + \beta \eta \delta_R^2 |h_{RU2}|^2 + \frac{\beta \eta \delta_b^2}{1-\beta} |h_{RU2}|^2 + \delta_{U2}^2}, \quad (6)$$

$$[0029] \quad \gamma_{U2,2}^{II} = \frac{\alpha_2 \beta \eta P_{BS} |h_{BSR}|^2 |h_{RU2}|^2}{\beta \eta \delta_R^2 |h_{RU2}|^2 + \frac{\beta \eta \delta_b^2}{1-\beta} |h_{RU2}|^2 + \delta_{U2}^2}. \quad (7)$$

[0030] 其中, η 表示能量转换效率, δ_i^2 表示噪声功率, δ_{U1}^2 表示第一接收端处的噪声功率, δ_{U2}^2 表示第二接收端处的噪声功率, h_{RU1} 表示中继节点和第一接收端之间的传输信号, h_{RU2} 表示中继节点和第二接收端之间的传输信道, h_{BSU1} 表示基站与第一接收端之间的传输信道, h_{BSU2} 表示基站与第二接收端之间的传输信道。

[0031] 进一步地,当第一接收端和第二接收端的可实现率都低于目标数据率 r_D 时,就会发生信息传输中断的事件,第二接收端描述这种中断事件的概率表示为

$$[0032] \quad P_{out}^{U2} = \left(1 - \Pr \left\{ \gamma_{U2,1}^I \geq R_D, \gamma_{U2,2}^I \geq R_D \right\} \right) \left(1 - \Pr \left\{ \gamma_{U2,1}^{II} \geq R_D, \gamma_{U2,2}^{II} \geq R_D \right\} \right), \quad (8)$$

[0033] 其中 $R_D = 2^{2r_D} - 1$ 表示最低可接收信干噪比,第一接收端将信号 x_2 看做噪声,直接解码其所需的信息 x_1 ,因此第一接收端的中断概率为

$$[0034] \quad P_{out}^{U1} = \Pr \left\{ \max \left(\gamma_{U1}^I, \gamma_{U1}^{II} \right) < R_D \right\}. \quad (9)$$

[0035] 其中, P_{out}^{U1} 表示第一接收端的中断概率, P_{out}^{U2} 表示第二接收端的中断概率。

[0036] 进一步地,所述最大化系统能量效率的参数获取优化算法具体为:

[0037] S1:定义 $\Delta \alpha_1$ 和 $\Delta \beta$ 分别为参数 α_1 和 β 的搜索步长,初始化 $\varpi_{EE}^{\max}=0$,其中, ϖ_{EE} 表示系统平均能量效率, $\varpi_{EE}^{\max}$ 表示最大系统平均能量效率;

[0038] S2:针对任意的 $\beta=\beta_0 \in (0,1)$,执行步骤S21-S23;

[0039] S21:针对任意的 $\alpha_1=\alpha \in (0.5,1)$,计算 $\gamma_U=\min\{\gamma_{U1}^I, \gamma_{U1}^II, \gamma_{U2,2}^I, \gamma_{U2,2}^II\}$ 的结果;

[0040] 如果 $\gamma_U \geq R_D$,然后计算 ϖ_{EE} ,如果 $\varpi_{EE} > \varpi_{EE}^{\max}$,则当前优化参数 $\alpha_1^*=\alpha$, $\alpha_2^*=1-\alpha$ 和 $\beta^*=\beta_0$,随后更新 $\varpi_{EE}^{\max}=\varpi_{EE}$;否则保持原有的优化参数取值;

[0041] S22:更新 $\alpha=\alpha+\Delta \alpha$;

[0042] S23:更新 $\beta_0=\beta_0+\Delta \beta$;

[0043] S3:从公式中 $(\alpha_1^*, \alpha_2^*, \beta^*)=\arg \max \text{Optimization Problem (P1)}$ 获取全局最优解。

[0044] 进一步地,所述系统平均能量效率的计算方式为:

$$[0045] \quad \varpi_{EE} = \frac{1}{P_{BS}} R_D (2 - P_{out}^{U1} - P_{out}^{U2}) \quad (10)$$

[0046] 与现有技术相比,本发明能够实现的有益效果至少如下:

[0047] 1) 本发明所提供的传输协议和采用的认知通信模型更加贴合实际应用场景,可以更好地利用可进行能量采集的中继节点来辅助信息的传输,有效提升系统整体能量效率;

[0048] 2) 本发明通过设置最大系统能量效率为目标,同时确保每个接收端处的信噪比超过既定的传输速率,提出了简单且可以精确获取优化的功率分配因子和信息能量分割比例的算法,进一步提升整体系统的能量效率。

附图说明

[0049] 图1是本发明实施例提供的基于中继辅助的认知通信模型的示意图。

[0050] 图2是本发明实施例提供系统的传输协议。

[0051] 图3是在不同功率分配因子下的第一接收端U1和U2的中断概率仿真图。

[0052] 图4是在不同目标传输速率条件下的第一接收端U1和U2的中断概率仿真图。

[0053] 图5是采用优化算法时所提方案与直线传输相比系统整体能量效率提高升率。

具体实施方式

[0054] 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。

[0055] 本实施例采用的技术方案包含两个部分,第一部分为基于中继辅助的NOMA协作认知通信传输模型及频谱共享模型图,第二部分为得到最大化系统能量效率的优化参数获取方法。

[0056] 一、传输模型及传输协议模型图说明

[0057] 本发明所考虑的基于非正交多址接入技术的能量采集认知无线网络如图1所示,基站 BS在中继节点R的辅助下向第一接收端U1和第二接收端U2提供信息传输服务,中继节点 R从基站BS处发送的射频信号中收集能量用于协作传输。根据非正交多址方案的部署原则,更多的基站发射功率分配给远端用户,而较少的发射功率分配给近端用户。基站

BS、中继节点R、第一接收端U1和第二接收端U2都配备有一根以半双工模式运行的天线,且假定所有信道都历经准静态瑞利衰落信道。这种传输模型非常适用于基于5G的大规模设备连接场景,在实际应用中,第一接收端U1和第二接收端U2可以看做部署在远端位置的传感器。如果用基站直接传输数据将会使得基站传输负荷过重以及系统能量效率低,而采用所提出的基于中继辅助的认知通信传输模型,将保证系统传输效率的同时极大地提高系统能量效率。 h_{ij} 表示发送端i与接收端j之间的信道系数, $|h_{ij}|^2$ 表示信道增益,其服从指数分布且均值为 $d_{ij}^{-\theta}$,其中d和 θ 分别表示传输距离和路径损耗指数。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。

[0058] 系统的传输协议如图2所示。在任一个传输时隙内,系统将分成如下两个传输阶段:

[0059] 1、在前1/2个时隙即第一传输阶段,基站发送叠加的信号 $x_{BS} = \sqrt{\alpha_1}x_1 + \sqrt{\alpha_2}x_2$ 给第一接收端U1和第二接收端U2,其中 x_1 和 x_2 分别表示第一接收端U1和第二接收端U2所需要接收的信号, α_1 和 α_2 分别表示传输信号 x_1 和 x_2 时的功率分配因子;与此同时,中继节点R也接收到信号 x_{BS} ,根据信息能量分割比例 β 将信号 x_{BS} 分成两个部分,其中一部分用于能量采集,另一部分用来转发信号;

[0060] 2、在后1/2个时隙即第二传输阶段,中继节点R采用放大转发的技术发送基站信号,即经过能量采集后剩余的信号信息;第一接收端U1直接解码其所需的信号 x_1 ,第二接收端U2 则采用连续干扰消除策略,先解码干扰信息 x_1 ,再解码所需的信息 x_2 。

[0061] 二、系统性能分析方法及系统能量效率最大化优化算法

[0062] 1、系统性能分析方法

[0063] (1) 在前1/2个传输时隙即第一传输阶段,各节点所接收的信号分别表示为:

$$y_R = \sqrt{P_{BS}}h_{BSR}(\sqrt{\alpha_1}x_1 + \sqrt{\alpha_2}x_2) + n_R,$$

$$[0064] \quad y_{U1}^1 = \sqrt{P_{BS}}h_{BSU1}(\sqrt{\alpha_1}x_1 + \sqrt{\alpha_2}x_2) + n_{U1}, \quad (1)$$

$$y_{U2}^1 = \sqrt{P_{BS}}h_{BSU2}(\sqrt{\alpha_1}x_1 + \sqrt{\alpha_2}x_2) + n_{U2},$$

[0065] 其中, y_R 表示中继节点在第一传输阶段接收的信号, y_{U1}^1 表示第一接收端在第一传输阶段接收的信号, y_{U2}^1 表示第二接收端在第二传输阶段接收的信号, P_{BS} 表示基站发送功率, $n_i \sim CN(0, \delta_i^2)$ ($i = R, U1, U2$)表示在各节点处所接收的高斯白噪声, δ_i^2 表示噪声功率。根据功率分割法,中继节点R从叠加的信号 x_{BS} 处所获取的能量为

$\sqrt{\beta}y_R = \sqrt{\beta P_{BS}}h_{BSR}(\sqrt{\alpha_1}x_1 + \sqrt{\alpha_2}x_2) + \sqrt{\beta}n_R$,其中 β 表示信息能量分割比例。中继节点R的发送功率可以计算为

$$[0066] \quad P_R = \eta \beta P_{BS} |h_{BSR}|^2, \quad (2)$$

[0067] 其中 η 表示能量转换效率。此时,第一接收端U1的接收信噪比为

$$[0068] \quad \gamma_{U1}^1 = \frac{\alpha_1 P_{BS} |h_{BSU1}|^2}{\alpha_2 P_{BS} |h_{BSU1}|^2 + \delta_{U1}^2}. \quad (3)$$

[0069] 第二接收端U2采用连续干扰消除技术,首先检测第一接收端U1的信号,随后再解

码其所需的信号。因此第二接收端U2同时检测出两个信号 x_1 和 x_2 的信干噪比分别为

$$[0070] \quad \gamma_{U2,1}^I = \frac{\alpha_1 P_{BS} |h_{BSU2}|^2}{\alpha_2 P_{BS} |h_{BSU2}|^2 + \delta_{SU2}^2}, \gamma_{U2,2}^I = \frac{\alpha_2 P_{BS} |h_{BSU2}|^2}{\delta_{BSU2}^2}. \quad (4)$$

[0071] (2) 在后1/2个传输时隙即第二传输阶段,中继节点R采用放大转发方案传输剩余的信号 $\sqrt{1-\beta}y_R$,对应的转发信号表示为 $x_R = G(\sqrt{1-\beta}y_R + n_b)$,其中 $n_b \sim CN(0, \delta_b^2)$ 表示接收噪声,G表示功率归一化因子

$$[0072] \quad G = \frac{1}{\sqrt{(1-\beta)(P_{BS} |h_{BSR}|^2 + \delta_R^2) + \delta_b^2}} \approx \frac{1}{\sqrt{(1-\beta)P_{BS} |h_{BSR}|^2}}. \quad (5)$$

[0073] 在此阶段,第一接收端U1和第二接收端U2所接收的信号分别表示为

$$[0074] \quad y_{U1}^{\text{II}} = \sqrt{P_R} h_{RU1} x_R + n_{U1}, y_{U2}^{\text{II}} = \sqrt{P_R} h_{RU2} x_R + n_{U2}. \quad (6)$$

[0075] 第一接收端U1处的接收信噪比为

$$[0076] \quad \gamma_{U1}^{\text{II}} = \frac{\alpha_1 \beta \eta P_{BS} |h_{BSR}|^2 |h_{RU1}|^2}{\alpha_2 \beta \eta P_{BS} |h_{BSR}|^2 |h_{RU1}|^2 + \beta \eta \delta_R^2 |h_{RU1}|^2 + \frac{\beta \eta \delta_b^2}{1-\beta} |h_{RU1}|^2 + \delta_{U1}^2}. \quad (7)$$

[0077] 由于第二接收端U2采用联系干扰消除技术,因此第二接收端U2连续解码 x_1 和 x_2 的信干噪比分别表示为

$$[0078] \quad \gamma_{U2,1}^{\text{II}} = \frac{\alpha_1 \beta \eta P_{BS} |h_{BSR}|^2 |h_{RU2}|^2}{\alpha_2 \beta \eta P_{BS} |h_{BSR}|^2 |h_{RU2}|^2 + \beta \eta \delta_R^2 |h_{RU2}|^2 + \frac{\beta \eta \delta_b^2}{1-\beta} |h_{RU2}|^2 + \delta_{U2}^2}, \quad (8)$$

$$[0079] \quad \gamma_{U2,2}^{\text{II}} = \frac{\alpha_2 \beta \eta P_{BS} |h_{BSR}|^2 |h_{RU2}|^2}{\beta \eta \delta_R^2 |h_{RU2}|^2 + \frac{\beta \eta \delta_b^2}{1-\beta} |h_{RU2}|^2 + \delta_{U2}^2}. \quad (9)$$

[0080] 当第一接收端U1和第二接收端U2处的接收速率都低于传输数据率门限值 r_D 时,就会发生信息传输中断的事件。根据第二接收端U2的连续干扰消除过程,第一接收端U1的信号首先在两个传输阶段中均被检测。因此第二接收端U2描述这种中断事件的概率可以表示为

$$[0081] \quad P_{out}^{U2} = (1 - \Pr\{\gamma_{U2,1}^I \geq R_D, \gamma_{U2,2}^I \geq R_D\}) (1 - \Pr\{\gamma_{U2,1}^{\text{II}} \geq R_D, \gamma_{U2,2}^{\text{II}} \geq R_D\}), \quad (10)$$

[0082] 其中 $R_D = 2^{2r_D} - 1$ 表示最低可接收信干噪比,即接收信号的功率与噪声功率和干扰功率的值的比值。第一接收端U1将信号 x_2 看做噪声,直接解码其所需的信息 x_1 ,因此第一接收端U1的中断概率为

$$[0083] \quad P_{out}^{U1} = \Pr\{\max(\gamma_{U1}^I, \gamma_{U1}^{\text{II}}) < R_D\}. \quad (11)$$

[0084] 2、系统能量效率最大化优化算法

[0085] 对于功率分配因子 α_1 和 α_2 ,NOMA系统中的用户无法同时实现最佳接收。此外,节点R的传输功率与用于信息传输的剩余信号之间也存在权衡,其中较高的信息分割比例,可以保证中继节点R获取更多能量,但用于信息转发的剩余信号更少。因此,只有当每个用户的接收速率都达到传输要求时,可以联合获得系统的最佳参数。此外,随着5G通信系统的发

展,将会有越来越多的设备接入网络,这将增加整体的能源消耗。因此,从绿色通信的角度来看,能量效率的优化就显得尤为重要。根据第一接收端U1和第二接收端U2的中断概率,本实施例的目标为在最大化系统平均能量效率的前提下保证每个接收端的可实现速率。根据公式(10)和(11)的结果,整个优化问题(P1)可以等效表示为

$$\begin{aligned} \max_{\alpha_1, \alpha_2, \beta} \quad & \varpi_{EE} = \frac{1}{P_{BS}} R_D (2 - P_{out}^{U1} - P_{out}^{U2}) \\ \text{s.t.} \quad & \text{C1: } \gamma_U = \min \{ \gamma_{U1}^I, \gamma_{U1}^{II}, \gamma_{U2,2}^I, \gamma_{U2,2}^{II} \} \geq R_D; \\ & \text{C2: } 0 < \alpha_2 < \alpha_1 < 1, \alpha_1 + \alpha_2 = 1; \\ & \text{C3: } 0 < \beta < 1. \end{aligned} \quad (12)$$

[0087] 其中, ϖ_{EE} 表示系统平均能量效率, γ_U 表示所有用户中的最小接收信干噪;在C1中, $R_D > 0$ 表示第一接收端U1和第二接收端U2处的接收信干噪比的最低要求;C2和C3分别表示功率分配因子和信息能量分割比例的限定条件。由于中断概率 P_{out}^{U1} 和 P_{out}^{U2} 的公式表达复杂性,优化问题(P1)无法求解出参数的解析解。然而,这个问题可以通过一个全搜索算来解决。该算法将计算出系统模型的关键性能指标,当系统能量效率达到最大时,系统中的参数即为全局最优解。具体算法如下:

[0088] S1: 定义 $\Delta \alpha_1$ 和 $\Delta \beta$ 分别为参数 α_1 和 β 的搜索步长,初始化 $\varpi_{EE}^{\max} = 0$, $\varpi_{EE}^{\max}$ 表示最大系统平均能量效率;

[0089] S2: 针对任意的 $\beta = \beta_0 \in (0, 1)$, 执行步骤S21-S23;

[0090] S21: 针对任意的 $\alpha_1 = \alpha \in (0.5, 1)$, 计算 $\gamma_U = \min \{ \gamma_{U1}^I, \gamma_{U1}^{II}, \gamma_{U2,2}^I, \gamma_{U2,2}^{II} \}$ 的结果;

[0091] 如果 $\gamma_U \geq R_D$, 然后计算 ϖ_{EE} , 如果 $\varpi_{EE} > \varpi_{EE}^{\max}$, 则当前优化参数 $\alpha_1^* = \alpha$, $\alpha_2^* = 1 - \alpha$ 和 $\beta^* = \beta_0$, 随后更新 $\varpi_{EE}^{\max} = \varpi_{EE}$; 否则保持原有的优化参数取值;

[0092] S22: 更新 $\alpha = \alpha + \Delta \alpha$;

[0093] S23: 更新 $\beta_0 = \beta_0 + \Delta \beta$;

[0094] S3: 从公式中 $(\alpha_1^*, \alpha_2^*, \beta^*) = \arg \max \text{Optimization Problem (P1)}$ 获取全局最优解。

[0095] 根据该算法可以获得 α_1 、 α_2 和 β 的最优值, 系统采用该最优值进行信息能量传输, 可以最优地为系统中的所有传输节点提供稳定的能量供应, 可以最大化地提高系统的能量效率。

[0096] 图3描述了在不同功率分配系数 α_1 和 α_2 的取值下第一接收端U1和第二接收端U2的中断概率。这些图表明, 随着基站发射功率 P_{BS} 的增加, 两个用户的中断性能都得到了改善。当 $\alpha_1 = 0.9$ 和 $\alpha_2 = 0.1$ 时, 与直接传输时的中断概率相比, 采用所提方案的第一接收端U1的中断性能首先要好于直接传输时的中断性能, 随后要比直接传输的中断性能稍差, 这是因为更高的发射功率可能会带来更多的解码干扰。当 $\alpha_1 = 0.8$ 且 $\alpha_2 = 0.2$ 时, 采用所提方案时第一接收端U1的中断概率(图中位于最上方的曲线)始终高于直接传输中的概率。但是, 在低 P_{BS} 范围内, 所提方案时第二接收端U2的中断性能要比直接传输的性能差, 然后中断性能随着 P_{BS} 的增加而变得更好。

[0097] 图4描述了第一接收端U1和第二接收端U2在不同基站发射功率 P_{BS} 取值下的中断概率, 第一接收端U1和第二接收端U2的中断性能都与图3相似。此外, 随着目标速率 r_D 的提高, 第一接收端U1和U2的中断性能都会降低, 因为传输通道更难支持更高的速率需求。

[0098] 图5给出了所提方案的平均能效较直线传输时的提升率。其中仿真中还采用了所提出的参数联合优化算法。如图所示,尽管所提出方案在能量效率提升率随着 P_{BS} 的增加而变差,但总体能量效率提升率仍保持在100%以上。可见,本发明提供的传输方法能够有效地提高系统的能量效率。

[0099] 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。

[0100] 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。

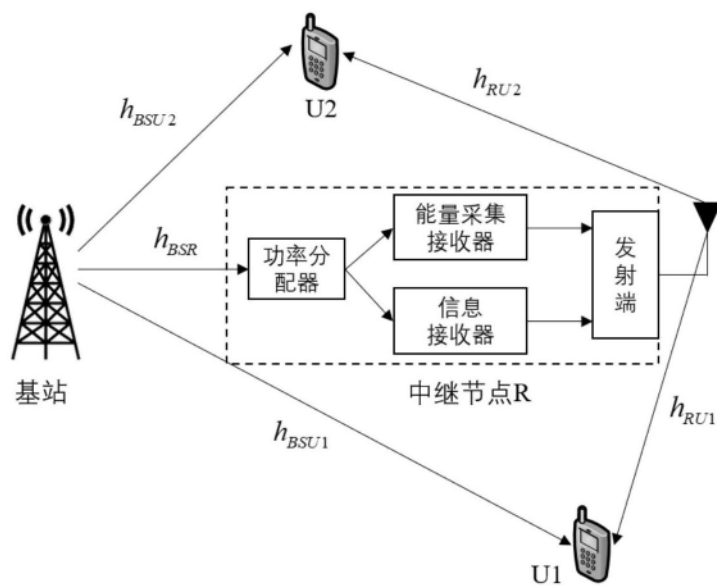


图1

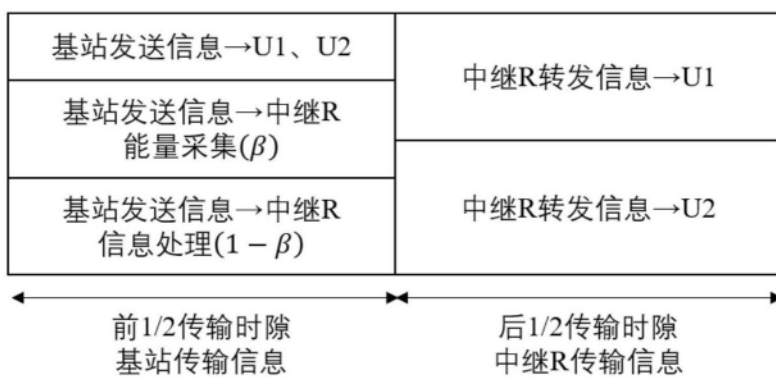


图2

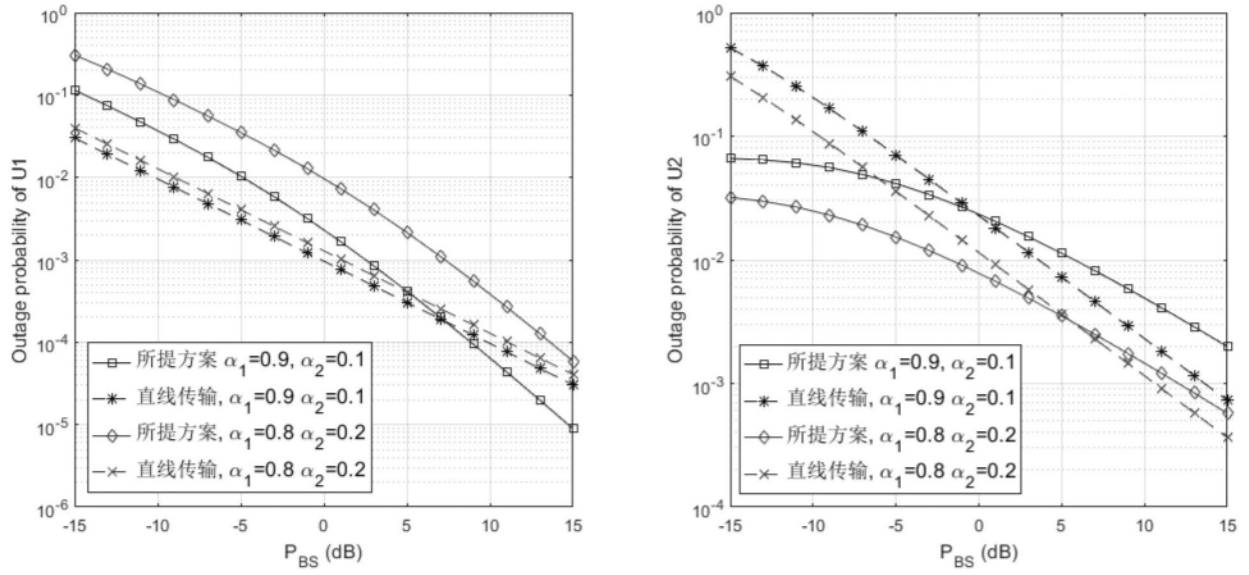


图3

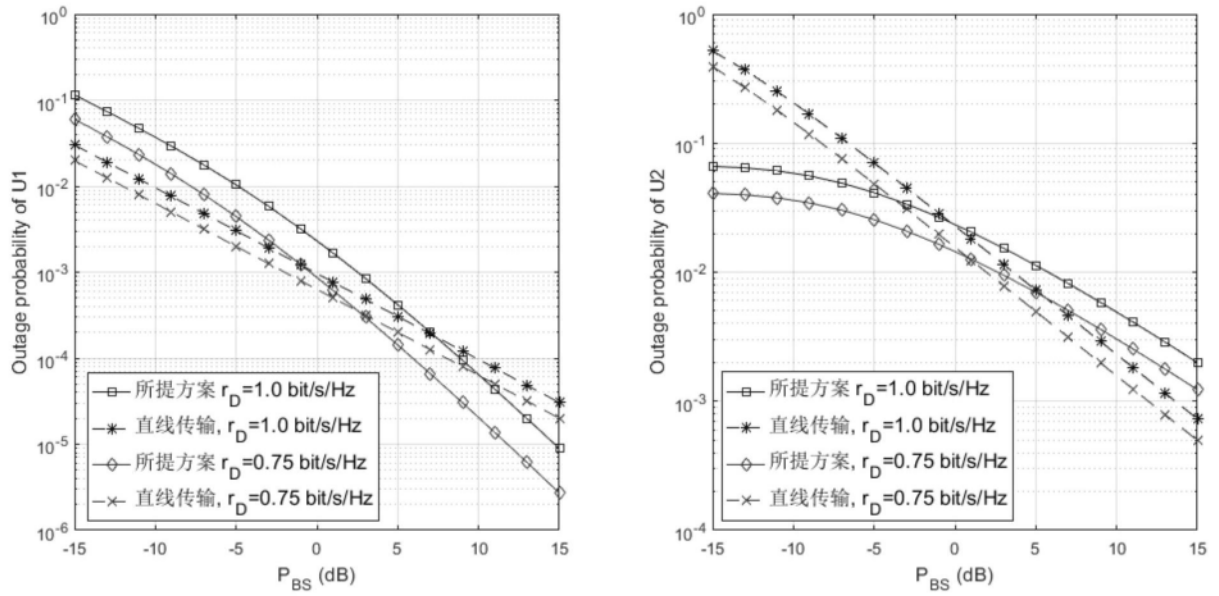


图4

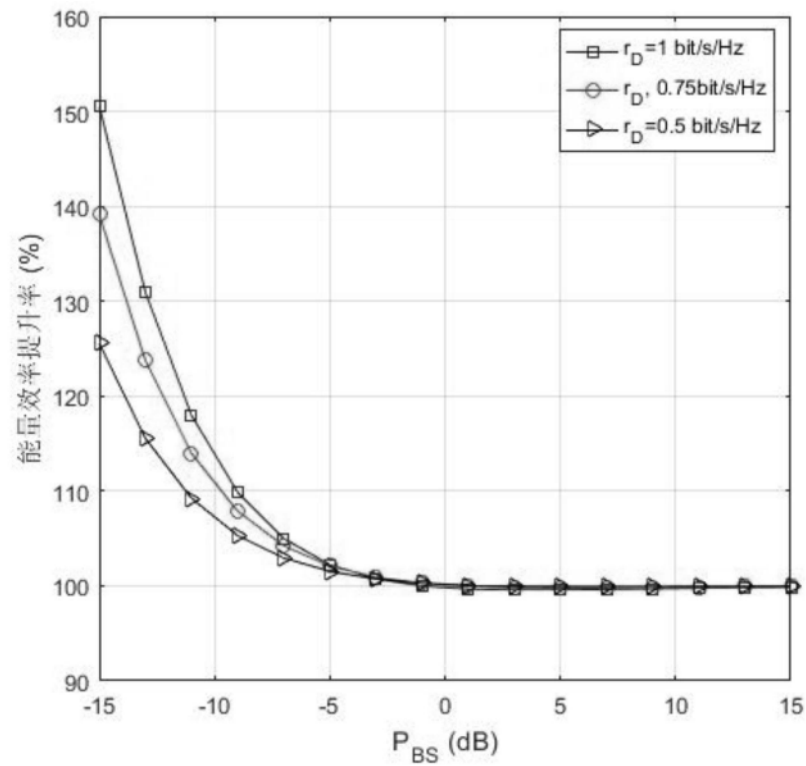


图5