



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107317618 A

(43)申请公布日 2017. 11. 03

(21)申请号 201710486797.4

(22)申请日 2017.06.23

(71)申请人 广西大学

地址 530004 广西壮族自治区南宁市西乡塘区大学路100号

(72)发明人 唐秋玲 石佳豪

(74)专利代理机构 广西南宁公平知识产权代理有限公司 45104

代理人 黄春莲

(51)Int.Cl.

H04B 7/155(2006.01)

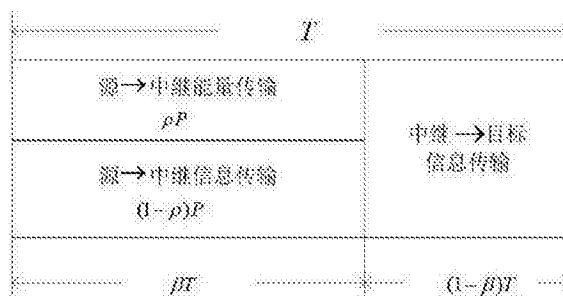
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54)发明名称

速率自适应功率分离中继协议

(57)摘要

本发明公开了速率自适应功率分离中继协议,应用于由源、中继和目标三个节点构成的三节点无线携能通信系统,所述中继的接收端配备有能量接收器与信息接收器,分别从源节点发送的射频信号中获得能量与信息,整个传输周期 T 被分为 βT 、 $(1-\beta)T$ 两个时隙,其中 β 为时间变量, $0<\beta<1$;在第一时隙 βT 内,中继按 $\rho:1-\rho$ 的比率将接收信号功率 P 分成 ρP 和 $(1-\rho)P$ 两部分,功率 ρP 送入能量接收器进行能量收集,功率 $(1-\rho)P$ 送入信息接收器进行信息解码,其中 ρ 为功率分离变量, $0<\rho<1$;在第二时隙 $(1-\beta)T$ 内,中继用在第一时隙 βT 内收集到的所有能量将信号发送至目标。本发明的协议能通过优化时间变量与功率分离变量来最大化系统吞吐量,可优化的维度更高;减少系统中断概率,提高系统的最大吞吐量。



1. 速率自适应功率分离中继协议, 应用于由源、中继和目标三个节点构成的三节点无线携能通信系统, 所述中继的接收端配备有能量接收器与信息接收器, 分别从源节点发送的射频信号中获得能量与信息, 其特征在于, 整个传输周期 T 被分为 βT 、 $(1-\beta)T$ 两个时隙, 其中 β 为时间变量, $0 < \beta < 1$; 在第一时隙 βT 内, 中继按 $\rho:1-\rho$ 的比率将接收信号功率 P 分成 ρP 和 $(1-\rho)P$ 两部分, 功率 ρP 送入能量接收器进行能量收集, 功率 $(1-\rho)P$ 送入信息接收器进行信息解码, 其中 ρ 为功率分离变量, $0 < \rho < 1$; 在第二时隙 $(1-\beta)T$ 内, 中继利用在第一时隙 βT 内收集到的所有能量将信号发送至目标;

源到中继的传输速率和中继到目标的传输速率根据传输时间不同进行相应的调整, 满足关系式: $\beta TV_{SR} = (1-\beta)TV_{RD}$, 其中 V_{SR} 为源到中继的传输速率, V_{RD} 为中继到目标的传输速率;

$$\text{中继接收信号的信噪比为: } SNR_r^{rec} = \frac{P_s |h|^2 (1-\rho)}{\sigma_r^2} \quad (1),$$

$$\text{目标接收信号的信噪比为: } SNR_d^{rec} = \frac{P_r |g|^2}{\sigma_d^2} \quad (2);$$

中继可接收的能量 $E_h = \eta \rho P_s |h|^2 \beta T$, 其中 η 为能量转换效率;
根据香农定理, 得:

$$\text{中继的接收信号信噪比判决门限值 } SNR_r \text{ 为 } SNR_r = 2^{\frac{V}{2\beta}} - 1 \quad (3),$$

$$\text{目标的接收信号信噪比判决门限值 } SNR_d \text{ 为: } SNR_d = 2^{\frac{V}{2(1-\beta)}} - 1 \quad (4),$$

当 $SNR_r^{rec} > SNR_r$ 且 $SNR_d^{rec} > SNR_d$ 时, 系统认定为连通, 否则为中断;

根据源到中继和中继到目标两段链路不同的传输时间和不同的传输速率, 通过优化时间变量 β 与功率分离变量 ρ , 改变中继可接收的能量 E_h 及改变 SNR_r 和 SNR_d , 使系统吞吐量达到最大值;

上述的变量定义: P_s 为源传输功率, $|h|^2$ 为源到中继的信道功率增益, σ_r^2 为中继噪声功率, P_r 为中继转发功率, $|g|^2$ 为中继到目标的信道功率增益, σ_d^2 为目标噪声功率, V 为基准速率, $V/2 = \beta V_{SR} = (1-\beta)V_{RD}$ 。

2. 如权利要求1所述的速率自适应功率分离中继协议, 其特征在于: 所述中继转发功率 P_r 取决于中继可接收的能量 E_h 以及中继到目标的传输时间, 计算公式为: $P_r = \frac{E_h}{(1-\beta)T} = \frac{\eta \rho P_s |h|^2 \beta}{(1-\beta)}$ 。

3. 如权利要求1所述的速率自适应功率分离中继协议, 其特征在于: 所述系统吞吐量 τ 计算公式为: $\tau = (1-p_{out})V_{RD} \frac{(1-\beta)T}{T} = \frac{(1-p_{out})V}{2}$, 其中系统中断概率 p_{out} 为:

$$p_{out} = 1 - p(SNR_r^{rec} > SNR_r, SNR_d^{rec} > SNR_d)。$$

速率自适应功率分离中继协议

技术领域

[0001] 本发明属于无线携能通信技术领域,特别是速率自适应功率分离中继协议。

背景技术

[0002] 三节点无线携能通信系统由一个源节点、一个中继节点和一个目标节点构成,如图1所示。源节点到中继节点与中继节点到目标节点的信道增益分别为 h 与 g 。 h 与 g 为频率无选择性信道增益,且两者均在一个传输块周期内保持不变,但在不同传输块周期之间相互独立。 h 与 g 服从瑞利分布。中继节点本身不具有任何能量,需要从源节点发送的射频(RF)信号中获得能量,然后利用所获得的能量来转发信息。在每个传输块周期内,中继节点收集的能量会全部用完,即不存在能量的保存情况。

[0003] 系统中中继节点为无源节点,需要从源节点发送的射频信号中获得能量与信息,然后利用所获得的能量转发信息至目标节点。利用信息与能量接收器及功率分离装置可实现信能同传,如图4。中继利用功率分离装置将接收到的信号功率分为 $\rho:1-\rho$ 的两部分,对应比值为 ρ 的功率部分送入能量接收器进行能量转化,对应比值为 $1-\rho$ 的功率部分送入信息接收器进行信息解码。

[0004] 中继节点的接收端配备有能量与信息两种接收器,这两种接收器模型如图2、图3所示,能量接收器利用肖特基二极管与无源低通滤波器构成的整流器,可将接收到的射频带信号转化为直流信号,之后将收集到的电量保存到电池中。信息接收器接收到的射频带信号 $y(t)$ 最先通过基带转换器得到基带信号 $y_b(t)$,接着由模数转换器进行采样和数字化,之后再进行解码来获取所接收的信息。

[0005] 通常系统采用的传输协议为功率分离中继协议(power splitting relaying, PSR),如图5所示,在功率分离中继协议中,整个传输周期被平均分为两个时隙。在第一段 $T/2$ 内, P 为中继接收信号的功率, ρ 为功率分离变量,中继按 $\rho:1-\rho$ 的比率将接收信号功率分成两部分,分别送入能量接收器与信息接收器进行能量收集与信息解码;在第二段 $T/2$ 内,中继利用在第一段时隙内收集到的所有能量将信号发送至目标。在一个传输周期中,若分配较少的信号功率给能量接收端,则会导致中继没有足够的能量将信号推送至目标端;若大部分信号功率都用于能量的收集,则信息部分的功率较少,系统的中断概率上升,吞吐量性能也会相应的降低。因此,通过调整接收信号功率分离变量,能够使系统吞吐量达到最大。但是,仍存在以下不足之处:第一,源到中继的传输时间与中继到目标的传输时间必须相同。第二,系统可达到的最大吞吐量较低。

发明内容

[0006] 本发明要解决的技术问题是提供一种速率自适应功率分离中继协议,以便在三节点无线携能通信系统中能应对源到中继的传输速率与中继到目标的传输速率不同的情况,实现速率自适应,减少系统中断概率,提高系统最大吞吐量。

[0007] 本发明采用如下技术方案解决上述技术问题:

[0008] 速率自适应功率分离中继协议,应用于由源、中继和目标三个节点构成的三节点无线携能通信系统,所述中继的接收端配备有能量接收器与信息接收器,分别从源节点发送的射频信号中获得能量与信息,整个传输周期 T 被分为 βT 、 $(1-\beta)T$ 两个时隙,其中 β 为时间变量, $0 < \beta < 1$;在第一时间隙 βT 内,中继按 $\rho:1-\rho$ 的比率将接收信号功率 P 分成 ρP 和 $(1-\rho)P$ 两部分,功率 ρP 送入能量接收器进行能量收集,功率 $(1-\rho)P$ 送入信息接收器进行信息解码,其中 ρ 为功率分离变量, $0 < \rho < 1$;在第二时隙 $(1-\beta)T$ 内,中继利用在第一时间隙 βT 内收集到的所有能量将信号发送至目标;

[0009] 源到中继的传输速率和中继到目标的传输速率根据传输时间不同进行相应的调整,满足关系式: $\beta TV_{SR} = (1-\beta)TV_{RD}$,其中 V_{SR} 为源到中继的传输速率, V_{RD} 为中继到目标的传输速率;

[0010] 中继接收信号的信噪比为: $SNR_r^{rec} = \frac{P_s |h|^2 (1-\rho)}{\sigma_r^2}$ (1),

[0011] 目标接收信号的信噪比为: $SNR_d^{rec} = \frac{P_r |g|^2}{\sigma_d^2}$ (2);

[0012] 中继可接收的能量 $E_h = \eta \rho P_s |h|^2 \beta T$,其中 η 为能量转换效率;

[0013] 根据香农定理,得:

[0014] 中继的接收信号信噪比判决门限值 SNR_r 为 $SNR_r = 2^{\frac{V}{2\beta}} - 1$ (3),

[0015] 目标的接收信号信噪比判决门限值 SNR_d 为: $SNR_d = 2^{\frac{V}{2(1-\beta)}} - 1$ (4),

[0016] 当 $SNR_r^{rec} > SNR_r$ 且 $SNR_d^{rec} > SNR_d$ 时,系统认定为连通,否则为中断;

[0017] 根据源到中继和中继到目标两段链路不同的传输时间和不同的传输速率,通过优化时间变量 β 与功率分离变量 ρ ,改变中继可接收的能量 E_h 及改变 SNR_r 和 SNR_d ,使系统吞吐量达到最大值;

[0018] 上述的变量定义: P_s 为源传输功率, $|h|^2$ 为源到中继的信道功率增益, σ_r^2 为中继噪声功率, P_r 为中继转发功率, $|g|^2$ 为中继到目标的信道功率增益, σ_d^2 为目标噪声功率, V 为基准速率, $V/2 = \beta V_{SR} = (1-\beta)V_{RD}$ 。

[0019] 所述中继转发功率 P_r 取决于中继可接收的能量 E_h 以及中继到目标的传输时间,计算公式为: $P_r = \frac{E_h}{(1-\beta)T} = \frac{\eta \rho P_s |h|^2 \beta}{(1-\beta)}$ 。

[0020] 所述系统吞吐量 τ 计算公式为: $\tau = (1-p_{out})V_{RD} \frac{(1-\beta)T}{T} = \frac{(1-p_{out})V}{2}$, 其中系统中断

概率 p_{out} 为: $p_{out} = 1 - p(SNR_r^{rec} > SNR_r, SNR_d^{rec} > SNR_d)$ 。

[0021] 本发明有优点:

[0022] 1) 应用范围更加广泛,在三节点无线携能通信系统中,无论传输速率是否恒定都适用本发明协议;

[0023] 2) 能通过优化传输时间变量与功率分离变量来最大化系统吞吐量,可优化的维度

更高;

[0024] 3) 提高了系统的最大吞吐量。

附图说明

[0025] 图1是三节点无线携能通信系统的结构框图;

[0026] 图2是图1中中继的功率分离接收模型框图;

[0027] 图3是图2中能量接收器的模型框图;

[0028] 图4是图2中信息接收器的模型框图;

[0029] 图5是现有技术的功率分离中继协议框图;

[0030] 图6是本发明速率自适应功率分离中继协议框图;

[0031] 图7是本发明协议系统吞吐量分析流程图;

[0032] 图8是本发明协议下的系统吞吐量仿真结果图;

[0033] 图9是本发明协议RAPSR和现有技术功率分离中继协议PSR的系统吞吐量比较图,其中 $\beta=0.56$, ρ 为变量。

[0034] 图10是本发明协议RAPSR和现有技术功率分离中继协议PSR的系统最大吞吐量比较图,其中基准速率 V 为变量。

具体实施方式

[0035] 以下结合附图对本发明具体实施方式作详细说明,但不构成对本发明权利要求保护范围的限制。

[0036] 如图6所示,本发明的协议为速率自适应功率分离中继协议(rate adaptive power splitting relaying,RAPSR),设 β 为时间变量,整个传输周期 T 被分为 βT 、 $(1-\beta)T$ 两个时隙。在 βT 时隙内, P 为中继接收信号的功率, ρ 为功率分离变量,中继按 $\rho:1-\rho$ 的比率将接收信号功率分成两部分,分别送入能量接收器与信息接收器进行能量收集与信息解码;在第二段 $(1-\beta)T$ 时隙内,中继利用在 βT 时隙内收集到的所有能量将信号发送至目标。

[0037] 在本发明协议RAPSR中,由于两段链路的传输时间不一样,为保证中继将信息全部转发,所以两段链路的传输速率也不一样,其关系为: $\beta T V_{SR} = (1-\beta) T V_{RD}$, V_{SR} 为源到中继传输速率, V_{RD} 为中继到目标传输速率。

[0038] 与PSR相比,由于传输时间不同,中继收集到的能量多少不同,由于速率变化,两段链路信噪比的判决门限发生改变,因此,通过优化时间变量与接收信号功率分离变量,能够使系统吞吐量达到新的最大值。

[0039] 本发明提出的RAPSR协议与PSR协议不同:1、在RAPSR协议中,前后两段链路传输时间可以不同,而PSR协议中,前后两段链路传输时间必须相同。当 $\beta=0.5$ 时RAPSR协议可以转化为PSR协议;2、在RAPSR协议中,由于前后两段链路传输时间不同,使得前后两段链路传输速率也会做出相应的调整;满足关系 $\beta T V_{SR} = (1-\beta) T V_{RD}$ 。3、该协议下系统吞吐量最大值优于功率分离中继协议。

[0040] 以下为RAPSR协议下系统吞吐量的分析过程:

[0041] (1) RAPSR协议下中继节点能量与信息接收

[0042] 定义源传输功率为 P_s ,源到中继的信道功率增益为 $|h|^2$,中继噪声功率为 σ_r^2 ,则中

继接收信号的信噪比为:

$$[0043] \quad SNR_r^{rec} = \frac{P_s |h|^2 (1-\rho)}{\sigma_r^2} \quad (1)$$

[0044] 利用射频能量收集公式 (收集的能量=能量转换效率*接收信号功率*时间), 则中继可接收的能量 E_h 为:

$$[0045] \quad E_h = \eta \rho P_s |h|^2 \beta T \quad (2)$$

η 为能量转换效率。

[0046] (2) RAPS R协议下目标节点信息接收

[0047] 定义中继转发功率为 P_r , 中继到目标的信道功率增益为 $|g|^2$, 目标噪声功率为 σ_d^2 , 则目标接收信号的信噪比为:

$$[0048] \quad SNR_d^{rec} = \frac{P_r |g|^2}{\sigma_d^2} \quad (3)$$

[0049] 其中 P_r 取决于中继收集到的能量以及中继到目标的传输时间, 其表达式为:

$$[0050] \quad P_r = \frac{E_h}{(1-\beta)T} = \frac{\eta \rho P_s |h|^2 \beta}{(1-\beta)} \quad (4)$$

[0051] (3) RAPS R协议下系统吞吐量

[0052] 定义源到中继的传输速率为 V_{SR} , 中继到目标的传输速率为 V_{RD} , 为保证中继将信息全部转发, 有 $\beta T V_{SR} = (1-\beta) T V_{RD}$ 。定义基准速率 V , 其中 $V/2 = \beta V_{SR} = (1-\beta) V_{RD}$, 得到源传输速率与中继转发速率的代换值为:

$$[0053] \quad V_{SR} = \frac{V}{2\beta} \quad (5)$$

$$[0054] \quad V_{RD} = \frac{V}{2(1-\beta)} \quad (6)$$

[0055] 当给定一个传输速率 H 比特/秒/赫兹时, 根据香农定理可得到接收信号是否正确的信噪比判决门限值 $SNR = 2^H - 1$ 。所以中继与目标的接收信号信噪比判决门限值 SNR_r 与 SNR_d 分别为:

$$[0056] \quad SNR_r = 2^{\frac{V}{2\beta}} - 1 \quad (7)$$

$$[0057] \quad SNR_d = 2^{\frac{V}{2(1-\beta)}} - 1 \quad (8)$$

[0058] 当中继与目标接收信号的信噪比均大于两者的信噪比判决门限值时, 系统认定为连通, 否则为中断。则系统中断概率 p_{out} 为:

$$[0059] \quad p_{out} = 1 - p(SNR_r^{rec} > SNR_r, SNR_d^{rec} > SNR_d) \quad (9)$$

[0060] 根据一个周期内传输的总数据量与中断概率, 可得到系统吞吐量 τ 为:

$$[0061] \quad \tau = (1 - p_{out}) V_{RD} \frac{(1-\beta)T}{T} = \frac{(1 - p_{out})V}{2} \quad (10)$$

[0062] 本实施例仿真系统参数取值如下: $P_s = 1 \text{ Joules/sec}$, 能量转换效率 $\eta = 0.8$, 基准

速率 $V=3\text{bits/sec/Hz}$, 中继及目标节点噪声方差 $\sigma_r^2 = \sigma_d^2 = 0.01$, $|h|^2$ 与 $|g|^2$ 的均值都为1。

[0063] 图8给出了当传输速率 $V=3\text{bits/sec/Hz}$ 时, RAPSR协议下系统吞吐量与时间变量 β 、功率分离变量 ρ 的关系。从图中可以看到, 存在一组 β 与 ρ 值, 使得系统吞吐量最大。即在RAPSR协议下可通过优化时间变量和功率分离变量来最大化系统吞吐量, 而PSR协议仅通过功率分离变量来最大化系统吞吐量。

[0064] 图9给出了当传输速率 $V=3\text{bits/sec/Hz}$ 时, RAPSR和PSR的系统吞吐量比较图, 其中RAPSR协议的时间变量 $\beta=0.56$ 。从图中可以看到, RAPSR协议下的系统最大吞吐量优于PSR协议下的系统最大吞吐量。

[0065] 图10给出了RAPSR和PSR在不同基准速率下的系统最大吞吐量比较图, 其中基准速率 V 为变量。从图中可以看到, 在各个传输速率值下, RAPSR协议下的系统最大吞吐量均优于PSR协议下的系统最大吞吐量。

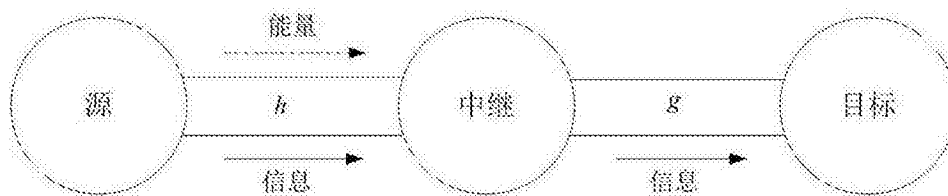


图1

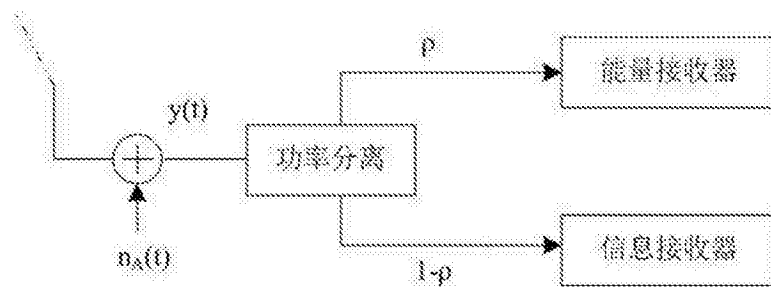


图2

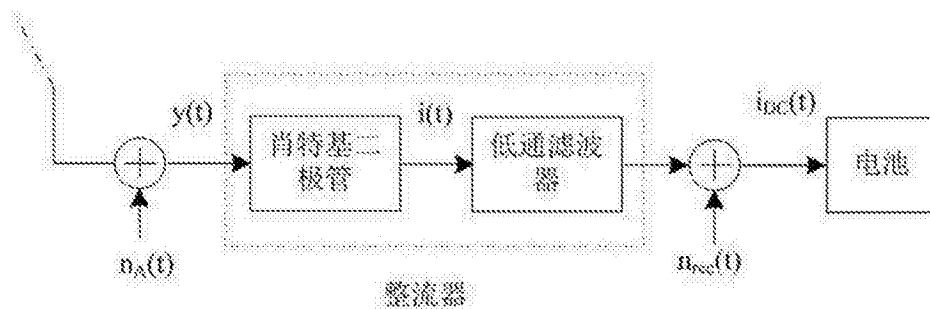


图3

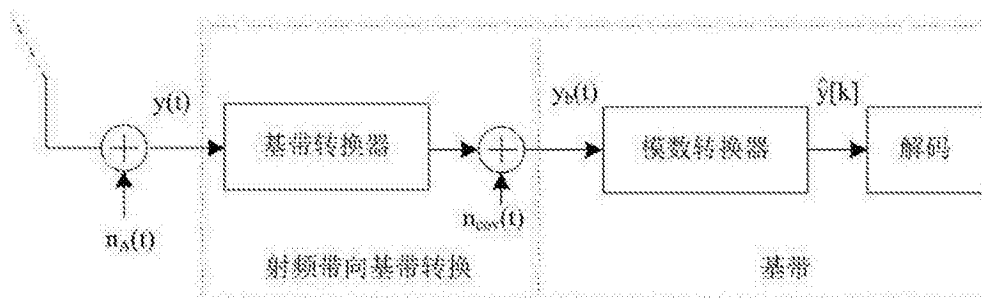


图4

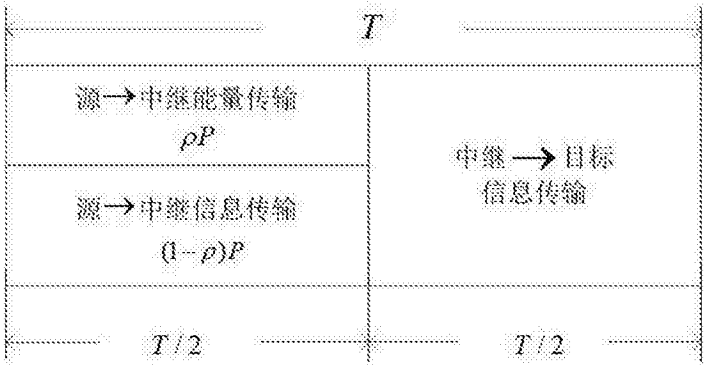


图5

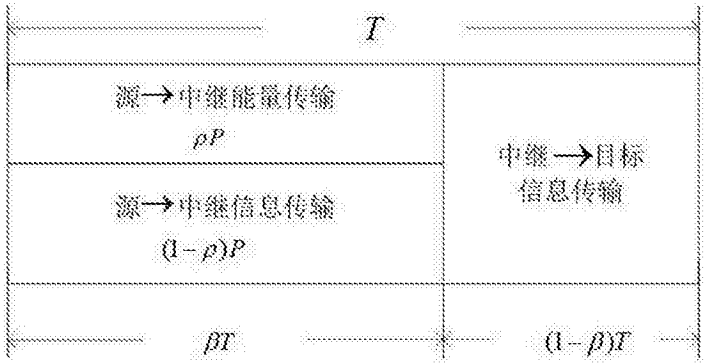


图6

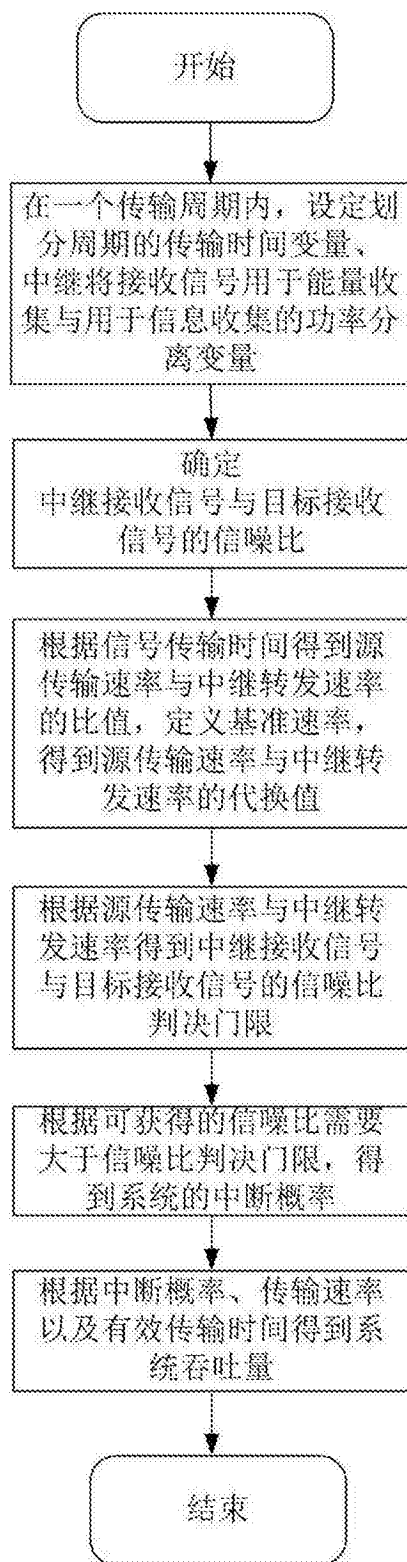


图7

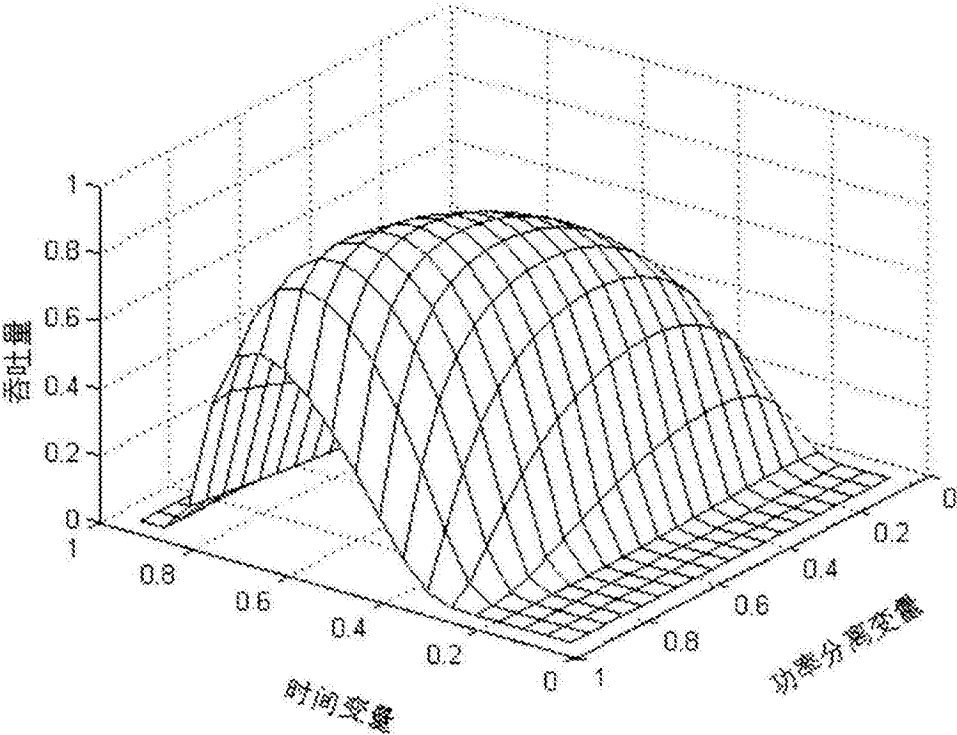


图8

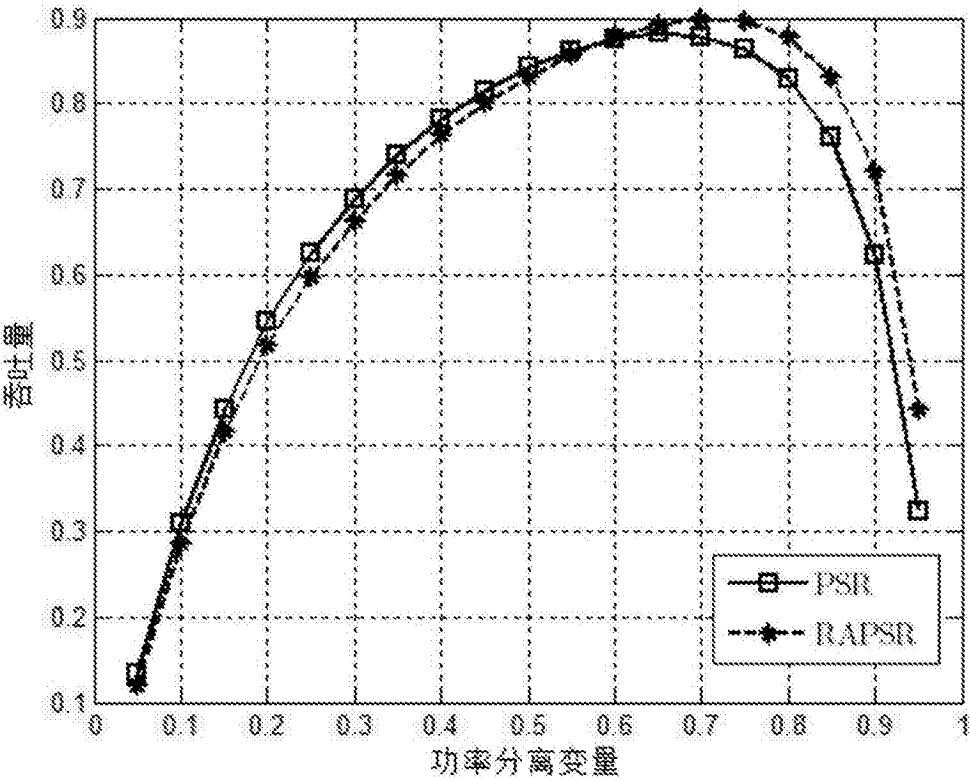


图9

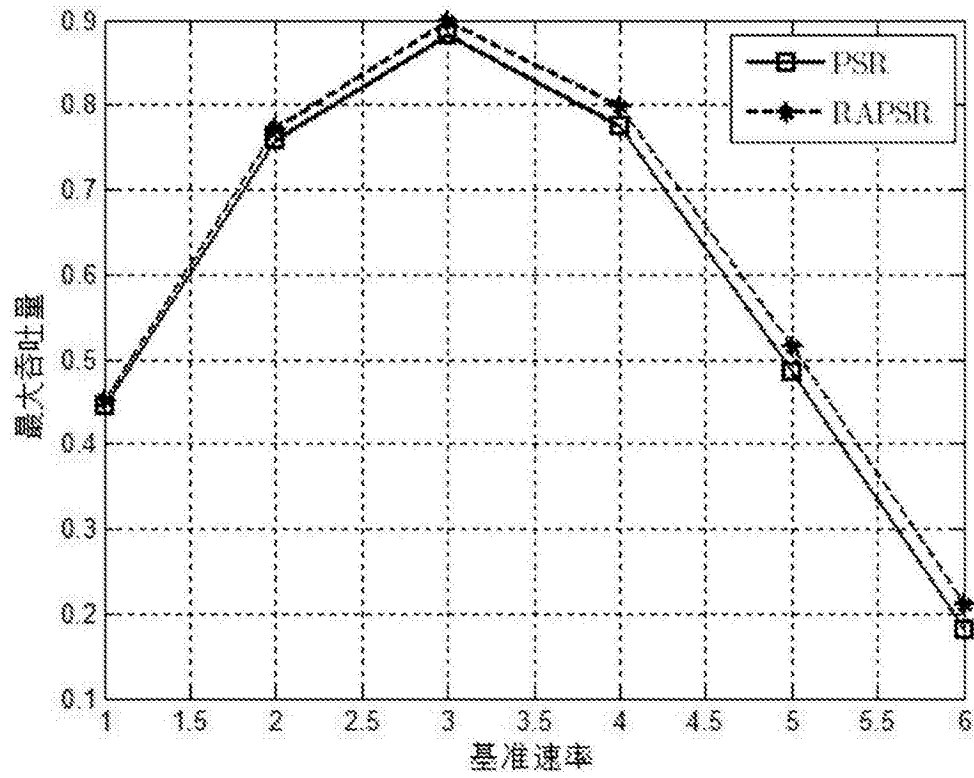


图10