



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108282199 A  
(43)申请公布日 2018.07.13

(21)申请号 201810063098.3

(22)申请日 2018.01.23

(71)申请人 四川大学

地址 610000 四川省成都市一环路南一段  
24号

(72)发明人 李彬 郭小龙 谭元 曹函宇

(74)专利代理机构 北京超凡志成知识产权代理  
事务所(普通合伙) 11371

代理人 王文红

(51)Int.Cl.

H04B 7/0413(2017.01)

H04B 7/0456(2017.01)

H04W 52/34(2009.01)

H04B 7/0426(2017.01)

H04B 7/155(2006.01)

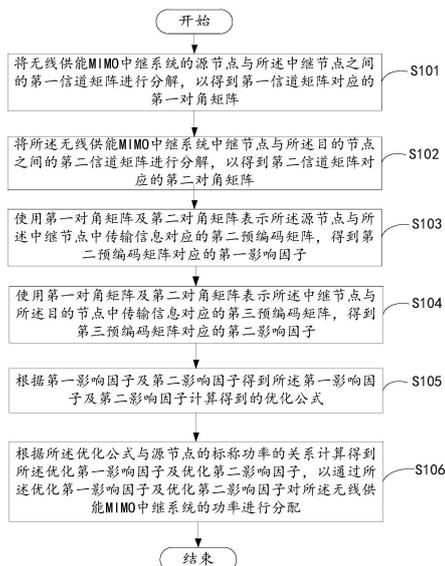
权利要求书3页 说明书10页 附图4页

(54)发明名称

无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法  
及无线供能MIMO中继系统

(57)摘要

本发明实施例提供一种无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法及无线供能MIMO中继系统。所述无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法包括:将所述无线供能MIMO中继系统的第一信道矩阵及第二信道矩阵进行分解,以得到第二信道矩阵对应的第二对角矩阵;使用第一对角矩阵及第二对角矩阵表示所述源节点与所述中继节点中传输信息对应的第二预编码矩阵和第三预编码矩阵,得到第一影响因子和第二影响因子;根据第一影响因子及第二影响因子得到所述第一影响因子及第二影响因子计算得到的优化公式;以通过计算所述优化公式的所述优化第一影响因子及优化第二影响因子对所述无线供能MIMO中继系统的功率进行分配。



1. 一种无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法,其特征在于,应用于无线供能MIMO中继系统,所述无线供能MIMO中继系统包括:源节点、中继节点及目的节点;所述无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法包括:

将所述无线供能MIMO中继系统的源节点与所述中继节点之间的第一信道矩阵进行分解,以得到第一信道矩阵对应的第一对角矩阵;

将所述无线供能MIMO中继系统中继节点与所述目的节点之间的第二信道矩阵进行分解,以得到第二信道矩阵对应的第二对角矩阵;

使用第一对角矩阵及第二对角矩阵表示所述源节点与所述中继节点中传输信息对应的第二预编码矩阵,得到第二预编码矩阵对应的第一影响因子;

使用第一对角矩阵及第二对角矩阵表示所述中继节点与所述目的节点中传输信息对应的第三预编码矩阵,得到第三预编码矩阵对应的第二影响因子;

根据第一影响因子及第二影响因子得到所述第一影响因子及第二影响因子计算得到的优化公式;

根据所述优化公式与源节点的标称功率的关系计算得到所述优化第一影响因子及优化第二影响因子,以通过所述优化第一影响因子及优化第二影响因子对所述无线供能MIMO中继系统的功率进行分配。

2. 如权利要求1所述的无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法,其特征在于,所述根据第一影响因子及第二影响因子得到所述第一影响因子及第二影响因子计算得到的优化公式的步骤包括:

将所述第一影响因子作为第一变量集X,将第一影响因子、第二影响因子及第一对角矩阵计算形成第二变量集Y;

$$\text{初始优化公式可表示为: } \frac{1+a_i x_i + b_i y_i}{(1+a_i x_i)(1+b_i y_i)};$$

根据所述初始优化公式得到初始优化公式的上界表示:

$$\frac{1+a_i x_i + b_i y_i}{(1+a_i x_i)(1+b_i y_i)} < \frac{1+a_i x_i + b_i y_i + 1}{(1+a_i x_i)(1+b_i y_i)} = \frac{1}{1+a_i x_i} + \frac{1}{1+b_i y_i};$$

其中, $X=[x_1, \dots, x_{N_2}]^T$ ;  $Y=[y_1, \dots, y_{N_2}]^T$ ;  $a_i$ 表示第一对角矩阵中第i个对角元素;  $b_i$ 表示第一对角矩阵中第i个对角元素与第二对角矩阵的第i个对角元素的乘积;

将所述初始优化公式的上界作为更新的优化公式。

3. 如权利要求2所述的无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法,其特征在于,所述根据所述优化公式与源节点的标称功率的关系计算得到所述优化第一影响因子及优化第二影响因子,以通过所述优化第一影响因子及优化第二影响因子对所述无线供能MIMO中继系统的功率进行分配的步骤包括:

根据所述优化公式与源节点的标称功率的关系得到表达式为:

$$\sum_{i=1}^{N_2} x_i + \sum_{i=1}^{N_2} y_i \leq P_\alpha;$$

其中, $N_2$ 表示源节点传输的信号的维数;  $P_\alpha$ 表示在时间切换因子 $\alpha$ 条件下源节点的信号标称功率;

引入拉格朗日乘子得到计算公式:

$$L(x, y, v) = \sum_{i=1}^{N_2} \log\left(\frac{1}{1+a_i x_i} + \frac{1}{1+b_i y_i}\right) + v\left(\sum_{i=1}^{N_2} x_i + \sum_{i=1}^{N_2} y_i - P_\alpha\right);$$

其中,  $v \geq 0$  表示拉格朗日乘子;

根据上述计算公式得到第一变量集和第二变量集的迭代表达式;

将所述拉格朗日乘子作为迭代变量迭代计算所述第一变量集和第二变量集的表达式, 以得到优化第一变量集及优化第二变量集;

根据所述优化第一变量集及优化第二变量集计算得到所述优化第一影响因子及优化第二影响因子。

4. 如权利要求3所述的无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法, 其特征在于, 所述根据上述计算公式得到第一变量集和第二变量集的迭代表达式的步骤包括:

在最优化条件下, 对所述计算公式求导可得:

$$\frac{\partial L(x, y, v)}{\partial x_i} = -\left(\frac{1}{1+a_i x_i} + \frac{1}{1+b_i y_i}\right)^{-1} \frac{a_i}{(1+a_i x_i)^2} + v = 0;$$

$$\frac{\partial L(x, y, v)}{\partial y_i} = -\left(\frac{1}{1+a_i x_i} + \frac{1}{1+b_i y_i}\right)^{-1} \frac{b_i}{(1+b_i y_i)^2} + v = 0;$$

根据求导结果进行换算得到所述第一变量集和第二变量集的表达式, 所述第一变量集和第二变量集的迭代表达式表示为:

$$x_i^* = \left[ \frac{\sqrt{b_i}}{(\sqrt{a_i} + \sqrt{b_i})v} - \frac{1}{a_i} \right]^+;$$

$$y_i^* = \left[ \frac{\sqrt{a_i}}{(\sqrt{a_i} + \sqrt{b_i})v} - \frac{1}{b_i} \right]^+;$$

其中,  $[x]^+ = \max(x, 0)$ ;  $x_i^*$  表示第一变量集第  $i$  个变量的优化初始值;  $y_i^*$  表示第二变量集第  $i$  个变量的优化初始值。

5. 如权利要求4所述的无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法, 其特征在于, 所述根据所述第一变量集和第二变量集的表达式计算得到优化第一变量集及优化第二变量集的步骤包括:

计算所述拉格朗日乘子的最大值和最小值作为迭代的初始值;

根据所述最大值及最小值计算得到更新迭代拉格朗日乘子;

以更新迭代拉格朗日乘子更新所述第一变量集和第二变量集迭代表达式;

重复上述步骤直到  $\left| \sum_{i=1}^{N_2} (x_i^* + y_i^*) - P_\alpha \right| < \varepsilon$ , 得到所述第一变量集和第二变量集的迭代表达

式表示对应的第一变量集中各元素的值及第二变量集中各元素的值, 其中,  $\varepsilon$  表示大于零的数。

6. 如权利要求1所述的无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法, 其特征在于, 所述使用第一对角矩阵及第二对角矩阵表示所述源节点与所述中继节点中传输信息对应的第二预编码矩阵, 得到第二预编码矩阵对应的第一影响因子的步骤包括:

通过以下公式表示所述第二预编码矩阵：

$$B_2^* = V_{h,1} \Lambda_2^{\frac{1}{2}};$$

其中， $\Lambda_2$ 表示所述第一影响因子； $V_{h,1}$ 为 $V_h$ 的第一列， $V_h$ 表示第一对角矩阵； $B_2^*$ 表示第二预编码矩阵的优化的初始公式。

7. 如权利要求1所述的无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法，其特征在于，所述使用第一对角矩阵及第二对角矩阵表示所述中继节点与所述目的节点中传输信息对应的第三预编码矩阵，得到第三预编码矩阵对应的第二影响因子的步骤包括：

通过以下公式表示所述第三预编码矩阵：

$$F^* = V_{g,1} \Lambda_f^{\frac{1}{2}} U_{h,1}^H;$$

其中， $\Lambda_f$ 表示第二影响因子； $V_{g,1}$ 包含了 $V_g$ 最左边的 $N_2$ 列； $U_{h,1}$ 包含了 $U_h$ 最左边的 $N_2$ 列； $V_g$ 表示第二对角矩阵； $U_h$ 表示第一信道矩阵的一分解因子。

8. 如权利要求1所述的无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法，其特征在于，所述将所述无线供能MIMO中继系统的源节点与所述中继节点之间的第一信道矩阵进行分解，以得到第一信道矩阵对应的第一对角矩阵的步骤包括：

将所述无线供能MIMO中继系统的源节点与所述中继节点之间的第一信道矩阵进行奇异值分解，分解表达式表示如下：

$$H = U_h V_h^{\frac{1}{2}} \Lambda_h^H;$$

其中， $V_h$ 表示所述第一对角矩阵； $H$ 表示第一信道矩阵。

9. 如权利要求1所述的无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法，其特征在于，所述将所述无线供能MIMO中继系统中继节点与所述目的节点之间的第二信道矩阵进行分解，以得到第二信道矩阵对应的第二对角矩阵的步骤包括：

将所述无线供能MIMO中继系统中继节点与所述目的节点之间的第二信道矩阵进行奇异值分解，分解表达式表示如下：

$$G = U_g \Lambda_g^{\frac{1}{2}} V_g^H;$$

其中， $V_g$ 表示第二对角矩阵； $G$ 表示第二信道矩阵。

10. 一种无线供能MIMO中继系统，其特征在于，所述无线供能MIMO中继系统包括：源节点、中继节点及目的节点；所述无线供能MIMO中继系统按照权利要求1-9任意一项所述的无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法分配功率。

## 无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法及无线供能MIMO中继系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及数据传输技术领域,具体而言,涉及一种无线供能MIMO 中继系统中的功率分配方法及无线供能MIMO中继系统。

### 背景技术

[0002] 无线传感网络 (WSN) 在智能交通和环境监测中有许多成功的应用。然而,WSN是由有限寿命电池供电的能量约束网络。虽然更换电池可以延长WSN的寿命,但是会存在与之俱来的高额花销。此外在很多情况中,由于物理环境的约束,更换电池是很难以实现的。比方说,有时候传感器是被嵌入建筑结构中甚至是在人体内。

[0003] 因此,WSN中能量采集 (EH) 是极具吸引力的,也就是说能量可以从外部环境中获得。常见的EH技术主要依赖自然资源 (如太阳能、风能),但存在着能量难以控制的局限性。因此,这些技术在实际应用中难以实现。

### 发明内容

[0004] 有鉴于此,本发明实施例的目的在于提供一种无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法及无线供能MIMO中继系统。

[0005] 本发明实施例提供的一种无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法,应用于无线供能MIMO中继系统,所述无线供能MIMO中继系统包括:源节点、中继节点及目的节点;所述无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法包括:

[0006] 将所述无线供能MIMO中继系统的源节点与所述中继节点之间的第一信道矩阵进行分解,以得到第一信道矩阵对应的第一对角矩阵;

[0007] 将所述无线供能MIMO中继系统中继节点与所述目的节点之间的第二信道矩阵进行分解,以得到第二信道矩阵对应的第二对角矩阵;

[0008] 使用第一对角矩阵及第二对角矩阵表示所述源节点与所述中继节点中传输信息对应的第二预编码矩阵,得到第二预编码矩阵对应的第一影响因子;

[0009] 使用第一对角矩阵及第二对角矩阵表示所述中继节点与所述目的节点中传输信息对应的第三预编码矩阵,得到第三预编码矩阵对应的第二影响因子;

[0010] 根据第一影响因子及第二影响因子得到所述第一影响因子及第二影响因子计算得到的优化公式;

[0011] 根据所述优化公式与源节点的标称功率的关系计算得到所述优化第一影响因子及优化第二影响因子,以通过所述优化第一影响因子及优化第二影响因子对所述无线供能MIMO中继系统的功率进行分配。

[0012] 本发明实施例还提供一种无线供能MIMO中继系统,所述无线供能 MIMO中继系统包括:源节点、中继节点及目的节点;所述无线供能MIMO 中继系统按照上述的无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法分配功率。

[0013] 与现有技术相比,本发明实施例的无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法及无线供能MIMO中继系统,通过由源节点传输能量给中继节点可以避免现有技术中的中继节点可能采集不到自然能源而导致不能正常工作的可能;另外,通过设置所述第一信道矩阵和第二信道矩阵对所述源节点的能量传输、信息传输以及中继节点对信息的传输进行功率分配,可以使无线供能MIMO中继系统的能量最合理的利用。

[0014] 为使本发明的上述目的、特征和优点能更明显易懂,下文特举较佳实施例,并配合所附附图,作详细说明如下。

### 附图说明

[0015] 为了更清楚地说明本发明实施例的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,应当理解,以下附图仅示出了本发明的某些实施例,因此不应被看作是对范围的限定,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他相关的附图。

[0016] 图1为本发明较佳实施例提供的无线供能MIMO中继系统的示意图。

[0017] 图2为本发明较佳实施例提供的无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法的流程图。

[0018] 图3为本发明较佳实施例提供的无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法的步骤S105的详细流程示意图。

[0019] 图4为本发明较佳实施例提供的无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法的步骤S106的详细流程示意图。

[0020] 图5为本发明较佳实施例提供的无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法中时间切换因子计算方法的详细流程图。

### 具体实施方式

[0021] 下面将结合本发明实施例中附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。通常在此处附图中描述和示出的本发明实施例的组件可以以各种不同的配置来布置和设计。因此,以下对在附图中提供的本发明的实施例的详细描述并非旨在限制要求保护的本发明的范围,而是仅仅表示本发明的选定实施例。基于本发明的实施例,本领域技术人员在没有做出创造性劳动的前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0022] 应注意到:相似的标号和字母在下面的附图中表示类似项,因此,一旦某一项在一个附图中被定义,则在随后的附图中不需要对其进行进一步定义和解释。同时,在本发明的描述中,术语“第一”、“第二”等仅用于区分描述,而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0023] 本申请实施例为了克服传统EH技术的局限性,因此需要一种新的无线信息能量同步传输(SWIET)的技术替换之前的自然能源的采集技术。通过SWIET技术,无线电频率(RF)信号可以不仅只是传输信息也可以用来传输能量,从而对WSN和移动用户提供了良好的便利性。与现有依靠自然资源的EH技术相比,SWEIT技术是一种更具前景和可靠性的选择。

[0024] 本申请实施例提供一种无线供能MIMO中继系统,如图1所示,所述无线供能MIMO中继系统包括源节点100、中继节点200及目的节点300。所述源节点100在中继节点200的帮助

下将信息传递至目的节点300。源节点100安装有天线 $N_s$ 。中继节点200安装有天线 $N_r$ 。目的节点安装有天线 $N_d$ 。本申请实施例中源节点100存在自供能源,所述中继节点200接收源节点100通过的RF传输的能量供能。具体地,在单个通信周期中含有两个阶段。在源阶段,携带能量和承载信息的信号从源节点100传输至中继节点200。在中继阶段,中继节点200接收到的信息信号被线性预编码并传输至目的节点300。

[0025] 本实施例中采用时间切换协议用于在源节点阶段的能量采集和信息传输。在本实施例中的协议中,单个通信周期的全部时间 $T$ 被分成三个时间间隔。在第一个时间间隔中,能量从源节点100传输至中继节点200共花费持续时间 $\alpha T$ ,其中, $0 < \alpha < 1$ 表示时间切换因子(TS因子)。在第二个时间间隔中,信息信号从源节点100传输至中继节点200需花费时间 $(1-\alpha)T/2$ 。在中继节点接收到的信息信号传输至目的节点需花费时间为 $(1-\alpha)T/2$ 。为了便于展示,此后 $T$ 均设为 $T=1$ 。

[0026] 在第一个时间间隔中, $N_1 \times 1$ 的携带能量信号向量 $s_1(t)$ 在源节点被预编码为 $N_s \times N_1$ 的第一预编码矩阵 $B_1$ 并传输至中继节点200。假设 $E\{s_1(t)s_1^H(t)\} = \mathbf{I}_{N_1}$ ,其中 $E\{\cdot\}$ 表示统计期望, $\mathbf{I}_n$ 表示 $n \times n$ 的单位矩阵, $(\cdot)^H$ 表示厄密共轭转置。在中继节点接收到的信号向量可写为:

$$[0027] \quad y_r(t) = \mathbf{H}B_1s_1(t) + v_r(t), 0 \leq t \leq \alpha;$$

[0028] 其中, $\mathbf{H}$ 是一个 $N_r \times N_s$ 的在源和中继节点之间的MIMO第一信道矩阵, $y_r(t)$ 和 $v_r(t)$ 分别为在中继节点200的接收信号和高斯噪声向量。在中继节点200采集到 $v_r(t)$ 的RF能量与接收到的信号成比例关系,可写为下式:

$$[0029] \quad E_r = \eta\alpha (\mathbf{H}B_1B_1^H\mathbf{H}^H);$$

[0030] 其中 $\text{tr}(\cdot)$ 表示矩阵的迹, $0 \leq \eta \leq 1$ 为能量转换效率,与[2]相似,我们将之设为 $\eta = 1$ 。

[0031] 在第二个时间间隔中, $N_2 \times 1$ 承载信息信号向量 $s_2(t)$ 在源节点被预编码为 $N_s \times N_2$ 的第二预编码矩阵 $B_2$ 并传输至中继节点,其中 $E\{s_2(t)s_2^H(t)\} = \mathbf{I}_{N_2}$ 。在中继节点接收到信号向量可表示为:

$$[0032] \quad y_r(t) = \mathbf{H}B_2s_2(t) + v_r(t), 0 \leq t \leq (1+\alpha)/2;$$

[0033] 最后,在第三个时间间隔中,中继节点200将 $y_r(t)$ 线性预编码为 $N_r \times N_r$ 的第三预编码矩阵 $F$ 并传输预编码过的信号向量至目的节点。其中信号向量可表示为:

$$[0034] \quad X_r(t) = Fy_r(t - (1-\alpha)/2), (1+\alpha)/2 \leq t \leq 1.$$

[0035] 目的节点300接收到的信号向量可被写为:

$$[0036] \quad y_d(t) = Gx_r(t) + v_d(t)$$

$$[0037] \quad = GF\mathbf{H}B_2s_2(t - (1-\alpha)/2) + GFv_r(t - (1-\alpha)/2) + v_d(t), (1+\alpha)/2 \leq t \leq 1;$$

[0038] 其中, $G$ 是一个 $N_d \times N_s$ 在中继和目的节点之间的MIMO第二信道矩阵, $y_d(t)$ 和 $v_d(t)$ 分别为目的节点300接收到的信号和附加的高斯噪声向量。

[0039] 另外,源节点100和目的节点300之间的交互信息可表示为:

$$[0040] \quad MI(\alpha, B_2, F) = \frac{1-\alpha}{2} \log \left| \mathbf{I}_{N_2} + B_2^H \mathbf{H}^H F^H G^H \times (GFF^H G^H + \mathbf{I}_{N_d})^{-1} GF\mathbf{H}B_2 \right|;$$

[0041] 其中, $|\cdot|$ 和 $(\cdot)^{-1}$ 分别表示矩阵行列式和矩阵的逆。

[0042] 本实施例中,所述第一信道矩阵H和第二信道矩阵G为二次统计型,且在中继节点200可知。所有噪声假设为带有0均值和单位方差的附加高斯白噪声(AWGN)。在一个实例中,可以假设在源节点100和中继节点200无传输功率浪费, $N_2 \leq \min(\text{rank}(H), \text{rank}(G))$ ,且 $\text{rank}(F) = \text{rank}(B_2) = N_2$ ,其中 $\text{rank}(\cdot)$ 表示矩阵的秩。

[0043] 从源节点用于传输 $s_1(t)$ 和 $s_2(t)$ 的能量分别为 $\alpha \text{tr}(\mathbf{B}_1 \mathbf{B}_1^H)$ 和 $\frac{1-\alpha}{2} \text{tr}(\mathbf{B}_2 \mathbf{B}_2^H)$ ;

[0044] 因此,源节点100的能量损耗约束可表示为:

$$[0045] \quad \alpha \text{tr}(\mathbf{B}_1 \mathbf{B}_1^H) + \frac{1-\alpha}{2} \text{tr}(\mathbf{B}_2 \mathbf{B}_2^H) \leq \frac{1+\alpha}{2} P_s; \quad (\text{a})$$

[0046] 其中, $P_s$ 为源节点100获得的标称功率。在其它实例中,假设的源节点传输能量与信息的不变功率为:

$$[0047] \quad \text{tr}(\mathbf{B}_1 \mathbf{B}_1^H) \leq P_s, \quad \text{tr}(\mathbf{B}_2 \mathbf{B}_2^H) \leq P_s; \quad (\text{b})$$

[0048] 可以看出,在同样的 $\alpha$ 下,(a)与(b)有相同的源节点100能量损耗。然而,(b)是(a)的一种特殊情况且(a)的可行域是大于(b)的。事实上,(a)中的源预编码矩阵 $\mathbf{B}_1$ 和 $\mathbf{B}_2$ 通过一能量约束联系起来。这使得源节点可以在不同功率等级上适用于在第一时间间隔的能量传输和第一时间间隔的信息传输目的,同时相比(b)更具灵活性。因此,基于(a)设计的收发器可拥有相比(b)更优的性能。

[0049] 根据上述第一个时间间隔和第三个时间间隔中的公式可以得到,中继节点上用于传输 $x_r(t)$ 至目的节点300的能量损耗可表示为:

$$[0050] \quad \text{tr}(E\{x_r(t)x_r^H(t)\}) = \frac{1-\alpha}{2} \text{tr}(F(\mathbf{H}\mathbf{B}_2\mathbf{B}_2^H\mathbf{H}^H + \mathbf{I}_{N_r})F^H);$$

[0051] 基于上述公式,中继节点200上的能量损耗约束可以表示为:

$$[0052] \quad \frac{1-\alpha}{2} \text{tr}(F(\mathbf{H}\mathbf{B}_2\mathbf{B}_2^H\mathbf{H}^H + \mathbf{I}_{N_r})F^H) \leq \alpha \text{tr}(\mathbf{H}\mathbf{B}_1\mathbf{B}_1^H\mathbf{H}^H)。$$

[0053] 综上所述,基于上述多个公式对于线性非再生无线供能MIMO中继系统的收发器优化问题可表示为:

$$[0054] \quad 0 < \alpha < \max_{\alpha, \mathbf{B}_1, \mathbf{B}_2, F} MI(\alpha, \mathbf{B}_2, F);$$

$$[0055] \quad \text{进一步地可得: } \alpha \text{tr}(\mathbf{B}_1 \mathbf{B}_1^H) + \frac{1-\alpha}{2} \text{tr}(\mathbf{B}_2 \mathbf{B}_2^H) \leq \frac{1+\alpha}{2} P_s;$$

$$[0056] \quad \text{tr}(F(\mathbf{H}\mathbf{B}_2\mathbf{B}_2^H\mathbf{H}^H + \mathbf{I}_{N_r})F^H) \leq \frac{2\alpha}{1-\alpha} \text{tr}(\mathbf{H}\mathbf{B}_1\mathbf{B}_1^H\mathbf{H}^H)。$$

[0057] 请参阅图2,是本发明较佳实施例提供的应用于图1所示的无线供能MIMO中继系统的无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法的流程图。下面将对图2所示的具体流程进行详细阐述。

[0058] 步骤S101,将所述无线供能MIMO中继系统的源节点与所述中继节点之间的第一信道矩阵进行分解,以得到第一信道矩阵对应的第一对角矩阵。

[0059] 本实施例中,根据上述表示无线供能MIMO中继系统的收发器优化问题的公式进行处理,将所述无线供能MIMO中继系统的源节点与所述中继节点之间的第一信道矩阵进行奇

异值分解,分解表达式表示如下:

$$[0060] \quad H = U_h V_h^{\frac{1}{2}} \Lambda_h^H;$$

[0061] 其中,  $V_h$ 表示所述第一对角矩阵;  $H$ 表示第一信道矩阵。

[0062] 步骤S102,将所述无线供能MIMO中继系统中继节点与所述目的节点之间的第二信道矩阵进行分解,以得到第二信道矩阵对应的第二对角矩阵。

[0063] 本实施例中,将所述无线供能MIMO中继系统中继节点与所述目的节点之间的第二信道矩阵进行奇异值分解,分解表达式表示如下:

$$[0064] \quad G = U_g \Lambda_g^{\frac{1}{2}} V_g^H;$$

[0065] 其中,  $V_g$ 表示第二对角矩阵;  $G$ 表示第二信道矩阵。

[0066] 步骤S103,使用第一对角矩阵及第二对角矩阵表示所述源节点与所述中继节点中传输信息对应的第二预编码矩阵,得到第二预编码矩阵对应的第一影响因子。

[0067] 本实施例中,通过以下公式表示所述第二预编码矩阵:

$$[0068] \quad B_2^* = V_{h,1} \Lambda_2^{\frac{1}{2}};$$

[0069] 其中,  $\Lambda_2$ 表示所述第一影响因子;  $V_{h,1}$ 为  $V_h$ 的第一列,  $V_h$ 表示第一对角矩阵;  $B_2^*$ 表示第二预编码矩阵的优化的初始公式。

[0070] 步骤S104,使用第一对角矩阵及第二对角矩阵表示所述中继节点与所述目的节点中传输信息对应的第三预编码矩阵,得到第三预编码矩阵对应的第二影响因子。

[0071] 本实施例中,通过以下公式表示所述第三预编码矩阵:

$$[0072] \quad F^* = V_{g,1} \Lambda_f^{\frac{1}{2}} U_{h,1}^H;$$

[0073] 其中,  $\Lambda_f$ 表示第二影响因子;  $V_{g,1}$ 包含了  $V_g$ 最左边的  $N_2$ 列;  $U_{h,1}$ 包含了  $U_h$ 最左边的  $N_2$ 列;  $V_g$ 表示第二对角矩阵;  $U_h$ 表示第一信道矩阵的一分解因子。

[0074] 本实施例中,第一预编码矩阵可表示为:

$$[0075] \quad B_1^* = b_1^{\frac{1}{2}} v_{h,1};$$

[0076] 其中,  $b_1$ 为一正定标量,  $v_{h,1}$ 为  $V_h$ 的第一列。

[0077] 本实施例中,从  $B_1^*$ 表达式可以看到最优  $B_1$ 是一个对应向量  $v_{h,1}$ 。这表示了为了最大化中继节点采集到的能量,所有在源节点的传输功率需要被分配给相当于第一时间间隔中  $H$ 的最大奇异值的信道。因此,我们只需要优化  $b_1$ 和  $B_1$ ,而且第一时间间隔源的传输功率为  $tr(\mathbf{B}_1 \mathbf{B}_1^H) = b_1$ 。

[0078] 将第一预编码矩阵、第一预编码矩阵及第三预编码矩阵的表达式代入无线供能MIMO中继系统的收发器优化问题对应的表达式中功率分配问题可转化为:

$$[0079] \quad \max_{\alpha, b_1, \lambda_2, \lambda_f} \frac{1-\alpha}{2} \sum_{i=1}^{N_2} \log\left(1 + \frac{\lambda_{2,i} \lambda_{h,i} \lambda_{f,i} \lambda_{g,i}}{1 + \lambda_{f,i} \lambda_{g,i}}\right);$$

$$[0080] \quad \alpha b_1 + \frac{1-\alpha}{2} \sum_{i=1}^{N_2} \lambda_{2,i} \leq \frac{1+\alpha}{2} P_s;$$

$$[0081] \quad \sum_{i=1}^{N_2} \lambda_{f,i} (\lambda_{h,i} \lambda_{2,i} + 1) \leq \frac{2\alpha}{1-\alpha} \lambda_{h,1} b_1 ;$$

[0082] 其中,  $0 < \alpha < 1, \lambda_{f,i} \geq 0, \lambda_{2,i} \geq 0, i = 1, 2, 3, \dots, N_2$ 。

[0083] 其中  $\lambda_2 = [\lambda_{2,1}, \dots, \lambda_{2,N_2}]^T$ ,  $\lambda_f = [\lambda_{f,1}, \dots, \lambda_{f,N_2}]^T$ ,  $\lambda_{h,i}$  和  $\lambda_{g,i}$  分别表示  $\Lambda_h$  和  $\Lambda_g$  中第  $i$  个对角元素。通过引入  $z_i = \lambda_{f,i} (\lambda_{h,i} \lambda_{2,i} + 1)$ , 上述功率分配问题可以转化为如下表达式:

$$[0084] \quad \max_{\alpha, b_1, \lambda_2, z} \frac{1-\alpha}{2} \sum_{i=1}^{N_2} \log\left(1 + \frac{\lambda_{2,i} \lambda_{h,i} z_i \lambda_{g,i}}{1 + \lambda_{2,i} \lambda_{h,i} + z_i \lambda_{g,i}}\right) ;$$

$$[0085] \quad \text{进一步可得: } \alpha b_1 + \frac{1-\alpha}{2} \sum_{i=1}^{N_2} \lambda_{2,i} \leq \frac{1+\alpha}{2} P_s ;$$

$$[0086] \quad \sum_{i=1}^{N_2} z_i \leq \frac{2\alpha}{1-\alpha} \lambda_{h,1} b_1 ;$$

[0087] 其中,  $0 < \alpha < 1, \lambda_{2,i} \geq 0, z_i \geq 0, i = 1, 2, 3, \dots, N_2, \mathbf{z} = [z_1, \dots, z_{N_2}]^T$ 。

[0088] 对于任意  $b_1$ , 最大化功率转化问题中最优  $z$  需满足  $\sum_{i=1}^{N_2} z_i \leq \frac{2\alpha}{1-\alpha} \lambda_{h,1} b_1$ , 也就是:

$$[0089] \quad \sum_{i=1}^{N_2} z_i = \frac{2\alpha}{1-\alpha} \lambda_{h,1} b_1 .$$

[0090] 使用  $\sum_{i=1}^{N_2} z_i = \frac{2\alpha}{1-\alpha} \lambda_{h,1} b_1$  上述功率分配问题可被等价重表达为:

$$[0091] \quad \max_{\alpha, \lambda_2, z} \frac{1-\alpha}{2} \sum_{i=1}^{N_2} \log\left(1 + \frac{\lambda_{2,i} \lambda_{h,i} z_i \lambda_{g,i}}{1 + \lambda_{2,i} \lambda_{h,i} + z_i \lambda_{g,i}}\right) ;$$

$$[0092] \quad \text{由此可得: } \frac{1-\alpha}{2\lambda_{h,1}} \sum_{i=1}^{N_2} z_i + \frac{1-\alpha}{2} \sum_{i=1}^{N_2} \lambda_{2,i} \leq \frac{1+\alpha}{2} P_s ;$$

[0093] 其中,  $0 < \alpha < 1, \lambda_{2,i} \geq 0, z_i \geq 0, i = 1, 2, 3, \dots, N_2$ 。

[0094] 进一步地, 通过引入  $a_i = \lambda_{h,i}, b_i = \lambda_{g,i} \lambda_{h,1}, x_i = \lambda_{2,i}, y_i = z_i / \lambda_{h,1}, i = 1, \dots, N_2$ , 功率分配问题可表示为:

$$[0095] \quad \max_{\alpha, x, y} \frac{1-\alpha}{2} \sum_{i=1}^{N_2} \log\left(\frac{1 + a_i x_i + b_i y_i}{(1 + a_i x_i)(1 + b_i y_i)}\right) ;$$

$$[0096] \quad \text{进一步可得: } \sum_{i=1}^{N_2} x_i + \sum_{i=1}^{N_2} y_i \leq P_s \frac{1+\alpha}{1-\alpha} ;$$

[0097] 其中,  $0 < \alpha < 1, x_i \geq 0, y_i \geq 0, i = 1, 2, 3, \dots, N_2, X = [x_1, \dots, x_{N_2}]^T, Y = [y_1, \dots, y_{N_2}]^T, X$  表示第一变量集;  $Y$  表示第二变量集。本实施例中, 通过引入  $a_i = \lambda_{h,i}, b_i = \lambda_{g,i} \lambda_{h,1}, x_i = \lambda_{2,i}, y_i = z_i / \lambda_{h,1}$  将其在功率分配问题函数有着关于  $X$  和  $Y$  良好的对称结构。

[0098] 本实施例中, 当时间切换因子确定的情况下, 所述无线供能MIMO中继系统的收发器优化问题可表示为:

$$[0099] \quad \max_{x,y} \frac{1-\alpha}{2} \sum_{i=1}^{N_2} \log\left(\frac{1+a_i x_i + b_i y_i}{(1+a_i x_i)(1+b_i y_i)}\right)$$

$$[0100] \quad \text{进一步可得: } \sum_{i=1}^{N_2} x_i + \sum_{i=1}^{N_2} y_i \leq P\alpha ;$$

[0101] 其中,  $x_i \geq 0, y_i \geq 0, i = 1, 2, 3, \dots, N_2$ 。

[0102] 步骤S105,根据第一影响因子及第二影响因子得到所述第一影响因子及第二影响因子计算得到的优化公式。

[0103] 步骤S106,根据所述优化公式与源节点的标称功率的关系计算得到所述优化第一影响因子及优化第二影响因子,以通过所述优化第一影响因子及优化第二影响因子对所述无线供能MIMO中继系统的功率进行分配。

[0104] 本实施例中,如图3所示,所述步骤S105包括步骤S1051和步骤S105。

[0105] 步骤S1051,将所述第一影响因子作为第一变量集,将第一影响因子、第二影响因子及第一对角矩阵计算形成第二变量集。

$$[0106] \quad \text{初始优化公式可表示为: } \frac{1+a_i x_i + b_i y_i}{(1+a_i x_i)(1+b_i y_i)} ;$$

[0107] 其中,  $a_i = \lambda_{h,i}, b_i = \lambda_{g,i} \lambda_{h,1}, x_i = \lambda_{2,i}, y_i = z_i / \lambda_{h,1}, i = 1, \dots, N_2; \lambda_2 = [\lambda_{2,1}, \dots, \lambda_{2,N_2}]^T, \lambda_f = [\lambda_{f,1}, \dots, \lambda_{f,N_2}]^T, z_i = \lambda_{f,i} (\lambda_{h,i} \lambda_{2,i} + 1), i = 1, \dots, N_2; \lambda_{h,i}$  和  $h_{g,i}$  分别表示  $\Lambda_h$  和  $\Lambda_g$  中第  $i$  个对角元素。

[0108] 步骤S1052,根据所述初始优化公式可以得到初始优化公式的上界表示。

[0109] 具体表示如下:

$$[0110] \quad \frac{1+a_i x_i + b_i y_i}{(1+a_i x_i)(1+b_i y_i)} < \frac{1+a_i x_i + b_i y_i + 1}{(1+a_i x_i)(1+b_i y_i)} = \frac{1}{1+a_i x_i} + \frac{1}{1+b_i y_i} ;$$

[0111] 其中,  $X = [x_1, \dots, x_{N_2}]^T; Y = [y_1, \dots, y_{N_2}]^T; a_i$  表示第一对角矩阵中第  $i$  个对角元素;  $b_i$  表示第一对角矩阵中第  $i$  个对角元素与第二对角矩阵的第  $i$  个对角元素的乘积;  $X$  表示第一变量集;  $Y$  表示第二变量集。

[0112] 将所述初始优化公式的上界作为更新的优化公式。

[0113] 本实施例中,如图4所示,所述步骤S106包括:步骤S1061至步骤 S1065。

[0114] 步骤S1061,根据所述优化公式与源节点的标称功率的关系可以得到关系表达式。所述关系表达式具体表示为:

$$[0115] \quad \sum_{i=1}^{N_2} x_i + \sum_{i=1}^{N_2} y_i \leq P\alpha ;$$

[0116] 其中,  $N_2$  表示源节点传输的信号的维数;  $P\alpha$  表示在时间切换因子  $\alpha$  条件下源节点的信号标称功率;

[0117] 步骤S1062,引入拉格朗日乘子可以得到拉格朗日计算公式。具体表示为:

$$[0118] \quad L(x, y, v) = \sum_{i=1}^{N_2} \log\left(\frac{1}{1+a_i x_i} + \frac{1}{1+b_i y_i}\right) + v\left(\sum_{i=1}^{N_2} x_i + \sum_{i=1}^{N_2} y_i - P\alpha\right) ;$$

[0119] 其中,  $v \geq 0$  表示拉格朗日乘子;

[0120] 步骤S1063,根据上述计算公式可以得到第一变量集和第二变量集的迭代表达式。

[0121] 步骤S1064,将所述拉格朗日乘子作为迭代变量迭代计算所述第一变量集和第二变量集的表达式,以得到优化第一变量集及优化第二变量集。

[0122] 步骤S1065,根据所述优化第一变量集及优化第二变量集计算得到所述优化第一影响因子及优化第二影响因子。

[0123] 本实施例中,所述步骤S1063包括:

[0124] 在最优性条件下,对所述计算公式求导可得:

$$[0125] \quad \frac{\partial L(x, y, v)}{\partial x_i} = -\left(\frac{1}{1+a_i x_i} + \frac{1}{1+b_i y_i}\right)^{-1} \frac{a_i}{(1+a_i x_i)^2} + v = 0;$$

$$[0126] \quad \frac{\partial L(x, y, v)}{\partial y_i} = -\left(\frac{1}{1+a_i x_i} + \frac{1}{1+b_i y_i}\right)^{-1} \frac{b_i}{(1+b_i y_i)^2} + v = 0;$$

[0127] 根据求导结果进行换算可以得到所述第一变量集和第二变量集的表达式,所述第一变量集和第二变量集的迭代表达式表示为:

$$[0128] \quad x_i^* = \left[ \frac{\sqrt{b_i}}{(\sqrt{a_i} + \sqrt{b_i})v} - \frac{1}{a_i} \right]^+;$$

$$[0129] \quad y_i^* = \left[ \frac{\sqrt{a_i}}{(\sqrt{a_i} + \sqrt{b_i})v} - \frac{1}{b_i} \right]^+;$$

[0130] 其中,  $[x]^+ = \max(x, 0)$ ;  $x_i^*$  表示第一变量集第*i*个变量的优化初始值;  $y_i^*$  表示第二变量集第*i*个变量的优化初始值。

[0131] 本实施例中,所述步骤S1064包括:计算所述拉格朗日乘子的最大值和最小值作为迭代的初始值;根据所述最大值及最小值计算得到更新迭代拉格朗日乘子;以更新迭代拉格朗日乘子更新所述第一变量集和第二变量集迭代表达式;重复上述步骤直到

$$\left| \sum_{i=1}^{N_2} (x_i^* + y_i^*) - P_\alpha \right| < \varepsilon, \text{ 得到所述第一变量集和第二变量集的迭代表达式表示对应的第一变}$$

量集中各元素的值及第二变量集中各元素的值,其中,  $\varepsilon$  表示大于零的数。

[0132] 具体地,可以通过以下步骤计算所述拉格朗日乘子。首先,获取第一变量集和第二变量集的表达式之和与  $P_\alpha$  表示在时间切换因子  $\alpha$  条件下源节点的信号标称功率关系式:

$$[0133] \quad \sum_{i=1}^{N_2} (x_i^* + y_i^*) = P_\alpha;$$

[0134] 当  $P_\alpha$  无穷大时,第一变量集和第二变量集的表达式表示为:

$$[0135] \quad x_i^* = \frac{\sqrt{b_i}}{(\sqrt{a_i} + \sqrt{b_i})v} - \frac{1}{a_i}, \quad y_i^* = \frac{\sqrt{a_i}}{(\sqrt{a_i} + \sqrt{b_i})v} - \frac{1}{b_i};$$

[0136] 根据上述两个公式可以得到所述拉格朗日乘子的表达式:

$$[0137] \quad v = \frac{N_2}{Q_\alpha};$$

[0138] 其中,  $Q_\alpha = P_\alpha + \sum_{i=1}^{N_2} \left( \frac{1}{a_i} + \frac{1}{b_i} \right)$ 。

[0139] 本发明实施例的无线供能MIMO中继系统中的功率分配方法,通过由源节点传输能量给中继节点可以避免现有技术中的中继节点可能采集不到自然能源而导致不能正常工作的可能;另外,通过设置所述第一信道矩阵和第二信道矩阵对所述源节点的能量传输、信息传输以及中继节点对信息的传输进行功率分配,可以使无线供能MIMO中继系统的能量最合理的利用。

[0140] 在其它实施例中,可以通过以下方式计算所述时间切换因子 $\alpha$ 。

[0141] 所述时间切换因子 $\alpha$ 包括第一切换因子 $\alpha_u$ 及第二切换因子 $\alpha_1$ ,所述方法可基于黄金分割搜索法计算求得所述系统对应的时间切换因子在满足上述能量约束条件下的最优第一切换因子及最优第二切换因子。

[0142] 其中计算最优时间切换因此可通过以下步骤实现。

[0143] 步骤S21,初始化第一切换因子和第二切换因子。

[0144] 步骤S22,计算得到最优第一切换因子和最优第二切换因子。所述最优第一切换因子和最优第二切换因子之差小于预设的正数。

[0145] 步骤S23,根据最优第一切换因子和最优第二切换因子计算得到最优时间切换因子。

[0146] 其中所述方法可通过如下类似逻辑流程求得所述最优第一切换因子及最优第二切换因子:

[0147] 初始化 $\alpha_1=0$  and  $\alpha_u=1$ ;

[0148] 当 $|\alpha_u-\alpha_1|>\varepsilon$ ;

[0149] 则执行定义 $d1=(\delta-1)\alpha_1+(2-\delta)\alpha_u$  and  $d2=(2-\delta)\alpha_1+(\delta-1)\alpha_u$ ;

[0150] 基于 $\alpha=d1$ 求解得到 $b_2^*$ 及 $c^*$ ,并基于 $\alpha=d1$ 计算 $F(d1)$ ;

[0151] 基于 $\alpha=d2$ 求解得到 $b_2^*$ 及 $c^*$ ,并基于 $\alpha=d2$ 计算 $F(d2)$ ;

[0152] 如果 $F(d1)<F(d2)$ 则使 $\alpha_u=d2$ ;

[0153] 否则使 $\alpha_1=d1$ ;流程结束,其中 $\alpha^*=(\alpha_u+\alpha_1)/2$ 。

[0154]  $\lambda_b^* = \frac{(1-\alpha^*)c^*}{2\alpha^*\xi\lambda_{h,1}} \left( \|Hb_2^*\|^4 + \sigma_r^2 \|HBb_2^*\|^2 \right)$ ;

[0155]  $B_1^* = \lambda_b^{\frac{1}{2}} v_{h,1}$ ,  $F^* = c^{\frac{1}{2}} v_{g,1} b_2^H H^H$ 。

[0156] 其中, $\varepsilon$ 为接近于0的正常数, $\delta$ 等于1.618,  $(\cdot)^*$ 表示最优值,  $\|\cdot\|$ 表示向量欧几里得范数, $\lambda_b$ 和 $c$ 分别为第一预编码矩阵和第二预编码矩阵的用于优化的正定标量, $v_{h,1}$ 和 $v_{g,1}$ 分别为第一信道矩阵的奇异值分解中 $V_h$ 的第一列和第二信道矩阵的奇异值分解中 $V_g$ 的第一列,上述代码中的最后两个等式便可分别表征第一预编码矩阵与第一信道矩阵之间的联系,及第二预编码矩阵与第二信道矩阵之间的联系,其中函数 $F(\alpha)$ 可用下式进行表示:

[0157]  $\frac{1-\alpha}{2} \log_2 \left( 1 + \frac{\|Kb_2\|^2}{\sigma_d^2} + \frac{c\lambda_{g,1} \|Hb_2\|^4}{\sigma_d^2 + \sigma_r^2 c\lambda_{g,1} \|Hb_2\|^2} \right)$ 。

[0158] 可以理解的是,上述代码程序仅为本发明实施例的一种实施方式,不应被看作是

对本发明保护范围的限定,本发明还可采取与上述代码程序类似的程序求得所述系统的最优第一切换因子及最优第二切换因子。将最优的所述第一切换因子及所述第二切换因子进行平均运算,得到最优的所述时间切换因子。

[0159] 在本申请所提供的几个实施例中,应该理解到,所揭露的装置和方法,也可以通过其它的方式实现。以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的,例如,附图中的流程图和框图显示了根据本发明的多个实施例的装置、方法和计算机程序产品的可能实现的体系架构、功能和操作。在这点上,流程图或框图中的每个方框可以代表一个模块、程序段或代码的一部分,所述模块、程序段或代码的一部分包含一个或多个用于实现规定的逻辑功能的可执行指令。也应当注意,在有些作为替换的实现方式中,方框中所标注的功能也可以以不同于附图中所标注的顺序发生。例如,两个连续的方框实际上可以基本并行地执行,它们有时也可以按相反的顺序执行,这依所涉及的功能而定。也要注意的,框图和/或流程图中的每个方框、以及框图和/或流程图中的方框的组合,可以用执行规定的功能或动作的专用的基于硬件的系统来实现,或者可以用专用硬件与计算机指令的组合来实现。

[0160] 另外,在本发明各个实施例中的各功能模块可以集成在一起形成一个独立的部分,也可以是各个模块单独存在,也可以两个或两个以上模块集成形成一个独立的部分。

[0161] 所述功能如果以软件功能模块的形式实现并作为独立的产品销售或使用,可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解,本发明的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品存储在一个存储介质中,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备)执行本发明各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括:U盘、移动硬盘、只读存储器(ROM,Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM,Random Access Memory)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。需要说明的是,在本文中,诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来,而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

[0162] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。应注意到:相似的标号和字母在下面的附图中表示类似项,因此,一旦某一项在一个附图中被定义,则在随后的附图中不需要对其进行进一步定义和解释。

[0163] 以上所述,仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应以权利要求的保护范围为准。

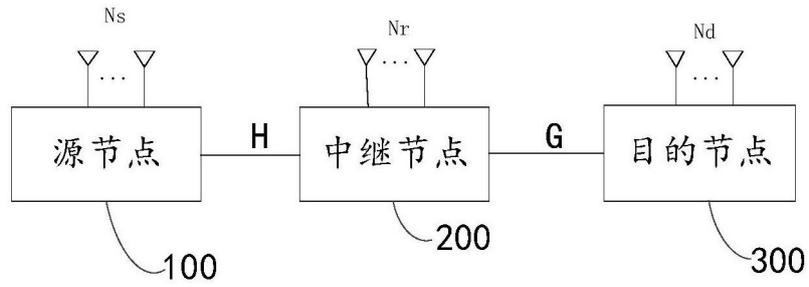


图1

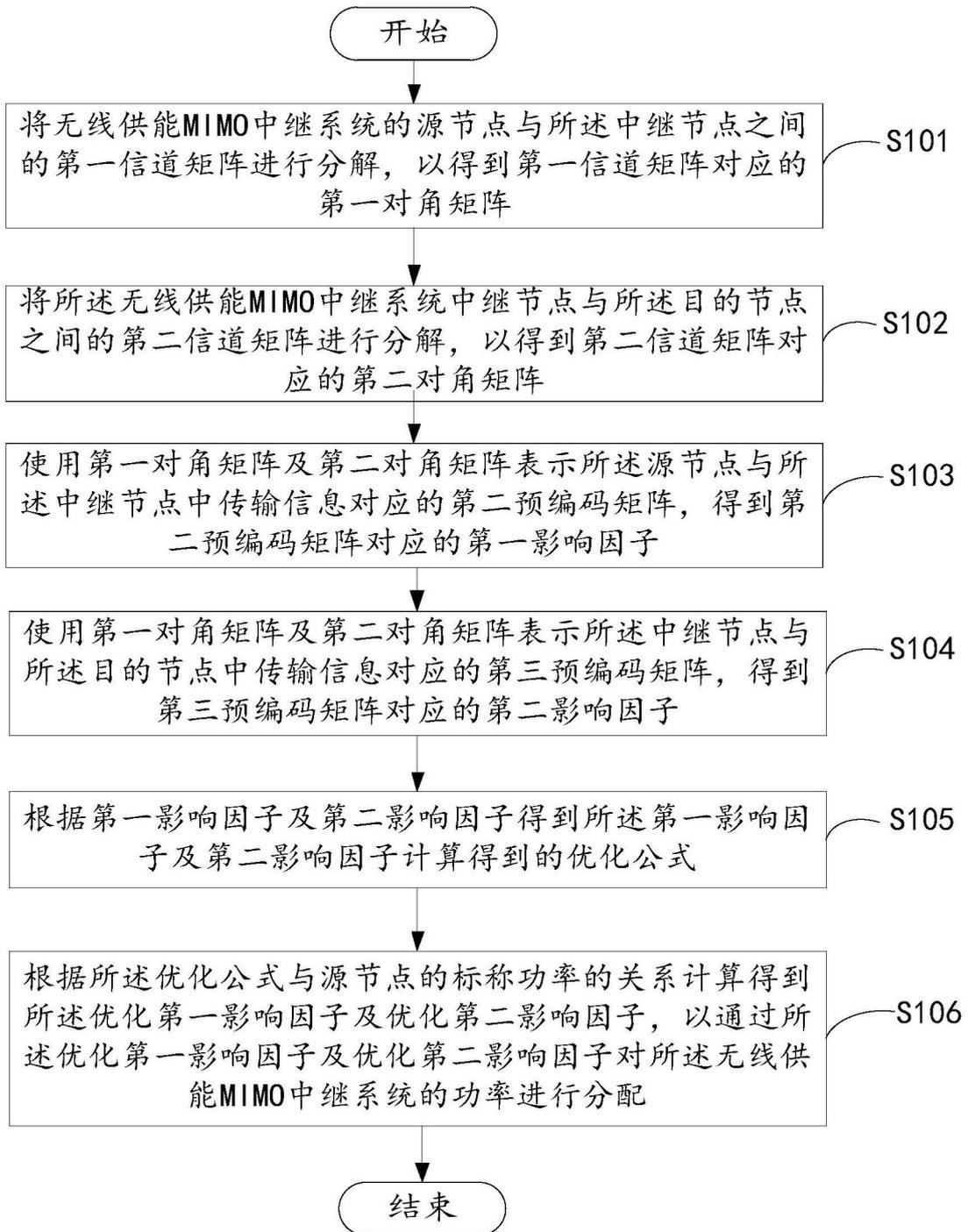


图2

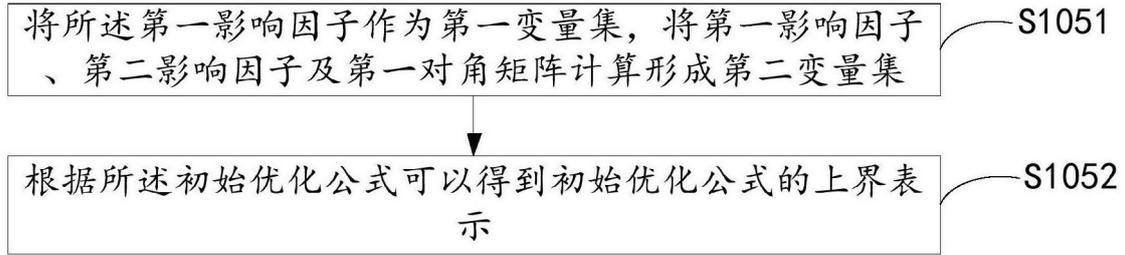


图3

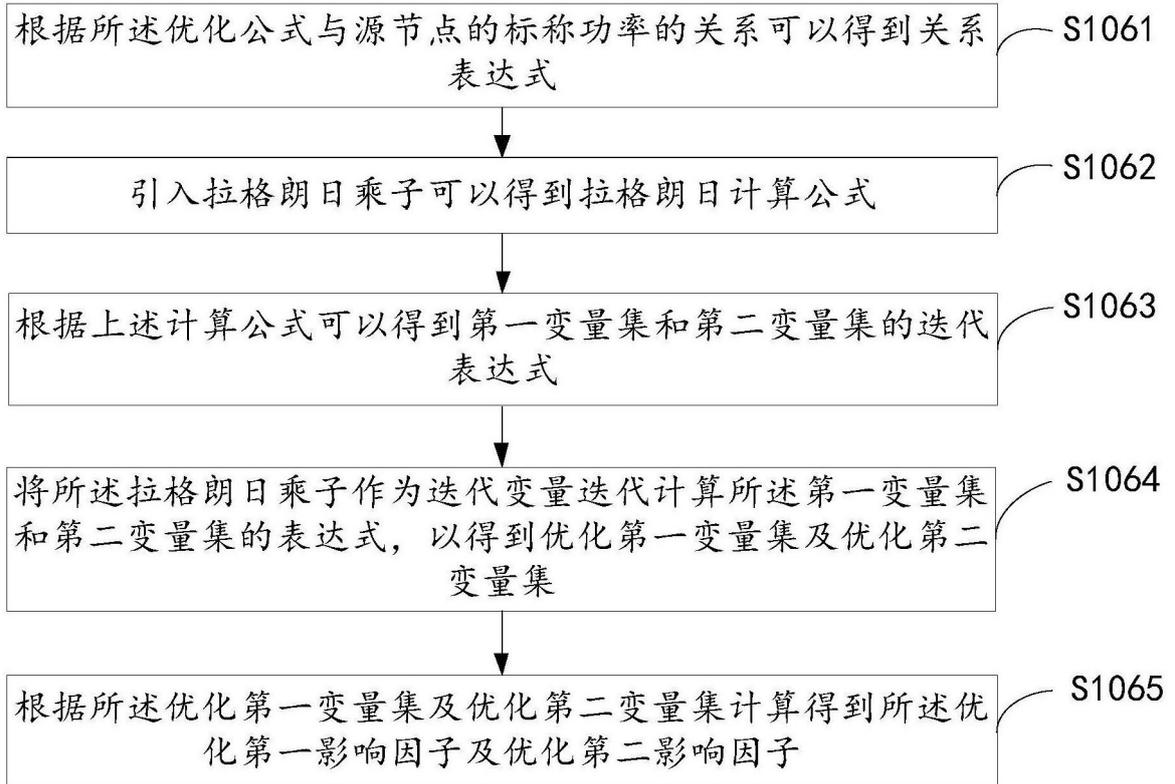


图4

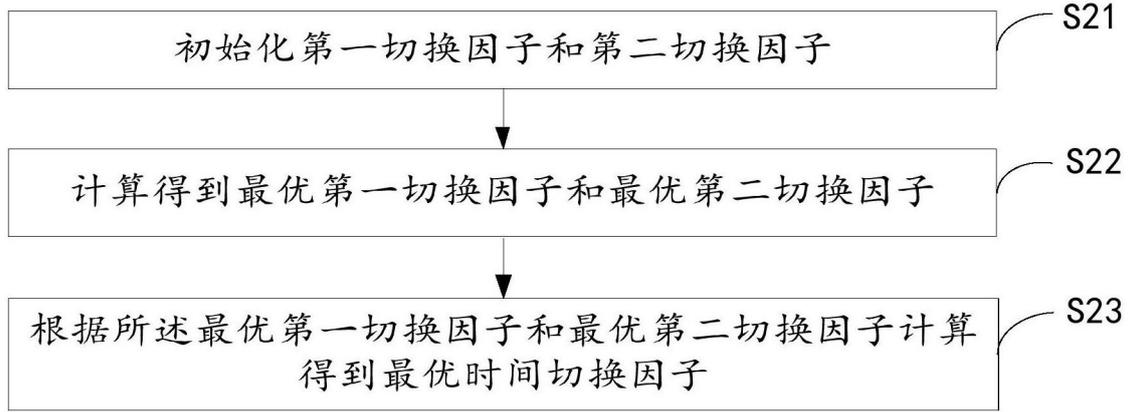


图5