



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103716082 A

(43) 申请公布日 2014. 04. 09

(21) 申请号 201410033856. 9

(22) 申请日 2014. 01. 24

(71) 申请人 戴建新

地址 210023 江苏省南京市亚东新城区文苑路 9 号南京邮电大学理学院

(72) 发明人 戴建新 赵君喜 倪振杰 李阳

周军 祁杰 梁经纬 刘帅

(51) Int. Cl.

H04B 7/06 (2006. 01)

H04W 16/28 (2009. 01)

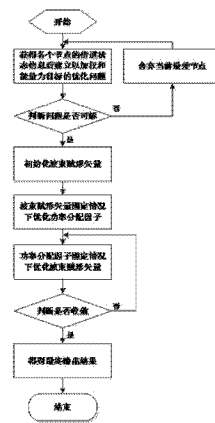
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

用于多节点数据与能量同时无线传输的下行波束赋形方法

(57) 摘要

用于多节点数据与能量同时无线传输的下行波束赋形方法, 本发明通过发送端首先获得所有希望接收信息的节点反馈的信道矢量, 之后建立以加权和能量为优化目标的优化模型, 若问题不可解则舍弃最差用户。迭代优化波束赋形矢量及功率分配因子, 与现有方法相比, 本发明对下行波束赋形与功率分配因子进行联合优化, 并通过一系列转化, 将问题转化为凸优化问题从而利用凸优化方法进行简单有效的进行求解, 降低了算法复杂度。多节点无线通信系统使用本发明提出的波束赋形方法可以在保证各个节点服务质量的情况下有效地提升通过无线信号转化的能量。



1. 用于多节点数据与能量同时无线传输的下行波束赋形方法,其特征在于:包括如下步骤:

一、发送端获得所有希望接收信息的节点的信道矢量;

二、在满足各个接收节点服务质量以及发送端的最大发送功率约束的条件下,建立以加权和能量为优化目标的优化模型;

三、进行可解性分析,若原问题可解则进行迭代优化,否则舍弃最差用户直至问题可解;

四、对步骤三中的可解问题进行迭代求解;

五、结果输出得到最终的波束赋形矢量及功率分配因子。

2. 根据权利要求1所述的用于多节点数据与能量同时无线传输的下行波束赋形方法,其特征在于:所述步骤一的信道矢量表示发送端与第*i*个接收节点之间的信道矢量。

3. 根据权利要求1或2所述的用于多节点数据与能量同时无线传输的下行波束赋形方法,其特征在于:信道矢量包括如下参数:发送端第*j*根天线与第*i*个接收节点之间的信道衰落系数、所有接收信息总的用户数以及发送端的发送天线数。

4. 根据权利要求1所述的用于多节点数据与能量同时无线传输的下行波束赋形方法,其特征在于:步骤二中建立的问题可解,则将问题转化为二阶锥规划问题从而利用凸优化工具进行求解,将得到的最优解。

5. 根据权利要求4所述的用于多节点数据与能量同时无线传输的下行波束赋形方法,其特征在于:所述步骤四包括如下步骤:1)、初始化;

2)、固定波束赋形矢量来优化功率分配因子;

3)、固定功率分配因子来优化波束赋形矢量;

4)、判断迭代是否继续。

用于多节点数据与能量同时无线传输的下行波束赋形方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种适用于多节点数据与能量同时无线传输的下行波束赋形方法,属于无线通信领域。

背景技术

[0002] 对于无线传感器网络等能量受限并且需要通过电池供电的系统来说,发展相对滞后的电池技术已经成为限制其应用的主要障碍之一。并且在某些场景下,更换电池的代价也相对较高,例如植入体内用于监测体征的无线体域网。而近年来新兴的通过无线方式进行能量传输的技术为这一问题的解决提供了可能性。因为发送端发送的无线信号中不仅携带有信息,同时信号本身也蕴含了一部分能量,通过在接收节点放置的能量转化器就可以将能量从无线信号中提取出来,从而在信息解码的同时获取能量用于节点的运行。

[0003] 为了更好地利用无线频谱资源,MIMO 技术已经得到广泛研究。在传统仅进行信息传输 MIMO 系统中,发送端根据信道状态信息进行下行波束赋形发送已经得到广泛研究,但是用 MIMO 进行信息和能量同时传输的波束赋形技术还没有被广泛研究。目前,提出的 MIMO 系统信息和能量同时传输的下行波束赋形方案主要有以下几个:

[0004] 方案一是 R. Zhang 在如下文献中提出的:

[0005] R. Zhang and C. K. Ho, "MIMO Broadcasting for Simultaneous Wireless Information and Power Transfer," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 12, pp. 1989-2001, 2013.

[0006] 该方案考虑了两用户下行传输中的能量与信息量之间的关系,但场景比较特殊,并且要求一个用户接收信息,一个用户接收能量,没有利用能量和信息可以同时进行传输的优势。

[0007] 方案二是 J. Xu 等人在如下文献中所提出:

[0008] J. Xu, L. Liu, and R. Zhang, "Multiuser MISO beamforming for simultaneous wireless information and power transfer," arXiv preprint arXiv:1303.1911, 2013.

[0009] 该方案讨论了多用户信息与能量同时传输时的波束赋形问题,将用户分为接收信息的用户及接收能量的用户,也没有利用能量和信息可以同时进行传输的优势。

[0010] 方案三是 Z. Xun 等人在如下文献中所提出:

[0011] Z. Xun, Z. Rui, and H. Chin Keong, "Wireless information and power transfer: Architecture design and rate-energy tradeoff," in 2012 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), 2012, pp. 3982-3987.

[0012] 该方案考虑到实际系统硬件设备的限制,提出了一种从信号中同时提取信息及能量的方案,也即将信号分为两部分,一部分进行能量转化另一部分用于信息的解码及检测,但没有对最优的分配因子进行讨论。

[0013] 方案四是 L. Liu 等人在如下文献中所提出:

[0014] L. Liu, R. Zhang, and K. -C. Chua, "Wireless Information and Power Transfer: A

Dynamic Power Splitting Approach,"arXiv preprint arXiv:1302.0585, 2013.

[0015] 该方案讨论了单用户场景下最优的功率分配方案,但没有考虑多用户的场景。

[0016] 对现有的这四个方案进行分析可以发现,现有的方法没有考虑多用户场景下的下行波束赋形与动态能量分配的联合优化问题。

[0017] 本发明根据所提出的优化目标函数,给出了复杂性低、性能较好的MIMO系统下行波束赋形方法。

发明内容

[0018] 本发明针对背景技术中的问题设计了一种用于多节点数据与能量同时无线传输的下行波束赋形方法,其目的在于:通过,在发送端能获得各个节点下行信道信息的条件下,提出了一种低复杂度的波束赋形方法,用以保证各个节点服务质量的同时尽可能多地将多余信号转化为各个节点的能量。

[0019] 本发明技术解决方案:

[0020] 用于多节点数据与能量同时无线传输的下行波束赋形方法,其特征在于:包括如下步骤:

[0021] 一:发送端获得所有希望接收信息的节点的信道矢量;

[0022] 二:在满足各个接收节点服务质量以及发送端的最大发送功率约束的条件下,建立以加权和能量为优化目标的优化模型;

[0023] 三:进行可解性分析,若原问题可解则进行迭代优化,否则舍弃最差用户直至问题可解;

[0024] 四:对步骤三中的可解问题进行迭代求解;

[0025] 五:结果输出得到最终的波束赋形矢量及功率分配因子。

[0026] 所述步骤一的信道矢量具体包括 h_1, \dots, h_K , 其中 $h_i = (h_{i1}, \dots, h_{iM})$ 表示发送端与第 i 个接收节点之间的信道矢量, h_{ij} 表示发送端第 j 根天线与第 i 个接收节点之间的信道衰落系数, K 表示所有接收信息总的用户数, M 表示发送端的发送天线数。

[0027] 所述步骤二中优化模型具体公式为:

$$[0028] \quad (P) \begin{cases} \max_{\rho, \mathbf{w}} & \sum_{i=1}^K \alpha_i P_i^{\text{EH}} \\ \text{s.t.} & \gamma_i \geq \gamma_{i,\text{th}} \\ & 0 \leq \rho_i \leq 1 \\ & \sum_{i=1}^K \|\mathbf{w}_i\|^2 \leq P_{\text{max}} \end{cases}$$

[0029] 其中

[0030]

$$\begin{cases} \gamma_i = \frac{(1-\rho_i) |\mathbf{h}_i^H \mathbf{w}_i|^2}{(1-\rho_i) \left(\sum_{j=1, j \neq i}^K |\mathbf{h}_i^H \mathbf{w}_j|^2 + \sigma_i^2 \right) + \zeta_i^2}, \\ P_i^{\text{EH}} = \max \left\{ \rho_i \varphi_i \left(\sum_{j=1}^K |\mathbf{h}_i^H \mathbf{w}_j|^2 + \sigma_i^2 \right) - P_i^{\text{G}}, 0 \right\} \end{cases}$$

[0031] 并且矩阵 $W = (w_1, \dots, w_K)$, 矢量 $w_i \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 为发送端针对节点 i 的波束赋形矢量, 矢量 $\rho = (\rho_1, \dots, \rho_K)$, ρ_i 为节点 i 的功率分配因子也即将占整体比例为 ρ_i 的信号用于能量转化, α_i 为节点 i 的权重受剩余电量因素的影响, σ_i^2 是由接收天线及信道引起的加性高斯白噪声的功率谱密度, ς_i^2 是由信号处理引起的加性高斯白噪声的功率谱密度, P_i^0 为节点 i 用于功率分配及能量转化所消耗的功率, φ_i 为节点 i 的能量转化效率, γ_i 为节点 i 的 SINR, $\gamma_{i,th}$ 为节点 i 的最低 SINR 门限值, P_{max} 为发送端的最大发送功率。

[0032] 步骤二中建立的问题 (P) 可解, 当且仅当问题

$$[0033] \quad (SP) \begin{cases} \min_w & P_T = \sum_{i=1}^K \|w_i\|^2 \\ \text{s.t.} & \frac{|\mathbf{h}_i^H w_i|^2}{\sum_{j=1, j \neq i}^K |\mathbf{h}_i^H w_j|^2 + \sigma_i^2 + \varsigma_i^2} \geq \gamma_{i,th} \end{cases}$$

[0034] 的最优解满足 $P_T \leq P_{max}$, 该问题转化为二阶锥规划问题从而利用凸优化工具进行求解, 将得到的最优解记作 $P_{T,min}$ 。

[0035] 所述步骤四包括如下步骤: 1)、初始化;

[0036] 2)、固定波束赋形矢量来优化功率分配因子 ρ ;

[0037] 3)、固定功率分配因子 ρ 来优化波束赋形矢量;

[0038] 4)、判断迭代是否继续。

[0039] 本发明的有益效果:

[0040] 本发明提出的适用于多节点数据与能量同时无线传输的下行波束赋形方法以最大化加权转化能量为优化目标进行下行波束赋形与功率分配因子的联合优化, 并通过一系列转化, 将问题转化为凸优化问题从而利用凸优化方法进行简单有效的进行求解, 降低了算法复杂度。多节点无线通信系统使用本发明提出的波束赋形方法可以在保证各个节点服务质量的情况下有效地提升通过无线信号转化的能量。

附图说明

[0041] 图 1 为本发明所提预编码方法流程图。

[0042] 图 2 为本发明应用场景示意图。

[0043] 图 3 为本发明接收节点结构框图。

[0044] 图 4 为本发明系统框图。

具体实施方式

[0045] 下面结合附图对本发明作进一步说明:

[0046] 实施例 1:

[0047] 如图 1 至图 4 所示, 用于多节点数据与能量同时无线传输的下行波束赋形方法, 包括如下步骤:

[0048] 一: 发送端获得所有希望接收信息的节点的信道矢量; 其中, 信道矢量具体包括 h_1, \dots, h_K , 其中 $h_i = (h_{i1}, \dots, h_{iM})$ 表示发送端与第 i 个接收节点之间的信道矢量, h_{ij} 表示发

送端第 j 根天线与第 i 个接收节点之间的信道衰落系数, K 表示所有接收信息总的用户数, M 表示发送端的发送天线数。

[0049] 二: 在满足各个接收节点服务质量以及发送端的最大发送功率约束的条件下, 建立以加权和能量为优化目标的优化模型; 其中, 优化模型具体公式为:

$$[0050] \quad (P) \begin{cases} \max_{\rho, \mathbf{W}} & \sum_{i=1}^K \alpha_i P_i^{\text{EH}} \\ \text{s.t.} & \gamma_i \geq \gamma_{i, \text{th}} \\ & 0 \leq \rho_i \leq 1 \\ & \sum_{i=1}^K \|\mathbf{w}_i\|^2 \leq P_{\max} \end{cases}$$

[0051] 其中

[0052]

$$\begin{cases} \gamma_i = \frac{(1 - \rho_i) |\mathbf{h}_i^H \mathbf{w}_i|^2}{(1 - \rho_i) \left(\sum_{j=1, j \neq i}^K |\mathbf{h}_i^H \mathbf{w}_j|^2 + \sigma_i^2 \right) + \zeta_i^2}, \\ P_i^{\text{EH}} = \max \left\{ \rho_i \varphi_i \left(\sum_{j=1}^K |\mathbf{h}_i^H \mathbf{w}_j|^2 + \sigma_i^2 \right) - P_i^{\text{C}}, 0 \right\} \end{cases},$$

[0053] 并且矩阵 $\mathbf{W} = (\mathbf{w}_1, \dots, \mathbf{w}_K)$, 矢量 $\mathbf{w}_i \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 为发送端针对节点 i 的波束赋形矢量, 矢量 $\rho = (\rho_1, \dots, \rho_K)$, ρ_i 为节点 i 的功率分配因子也即将占整体比例为 ρ_i 的信号用于能量转化, α_i 为节点 i 的权重受剩余电量因素的影响, σ_i^2 是由接收天线及信道引起的加性高斯白噪声的功率谱密度, ζ_i^2 是由信号处理引起的加性高斯白噪声的功率谱密度, P_i^{C} 为节点 i 用于功率分配及能量转化所消耗的功率, φ_i 为节点 i 的能量转化效率, γ_i 为节点 i 的 SINR, $\gamma_{i, \text{th}}$ 为节点 i 的最低 SINR 门限值, P_{\max} 为发送端的最大发送功率。

[0054] 三: 进行可解性分析, 若原问题可解则进行迭代优化, 否则舍弃最差用户直至问题可解; 其中, 步骤二中建立的问题 (P) 可解, 当且仅当问题

$$[0055] \quad (\text{SP}) \begin{cases} \min_{\mathbf{W}} & P_T = \sum_{i=1}^K \|\mathbf{w}_i\|^2 \\ \text{s.t.} & \frac{|\mathbf{h}_i^H \mathbf{w}_i|^2}{\sum_{j=1, j \neq i}^K |\mathbf{h}_i^H \mathbf{w}_j|^2 + \sigma_i^2 + \zeta_i^2} \geq \gamma_{i, \text{th}} \end{cases}$$

[0056] 的最优解满足 $P_T \leq P_{\max}$, 该问题转化为二阶锥规划问题从而利用凸优化工具进行求解, 将得到的最优解记作 $P_{T, \min}$ 。

[0057] 四: 对步骤三中的可解问题进行迭代求解; 具体包括如下步骤: 1)、初始化。迭代次数

[0058] 初始化为 $l = 0$, 迭代终止标志为 $\text{flag} = 1$, 定义一个常数 $\varepsilon > 0$, 波束赋形矢量初始化为

$$[0059] \quad \mathbf{w}_i^{(0)} = \mathbf{w}_{i, \min} + \sqrt{\frac{\alpha_i}{\sum \alpha_j} (P_{\max} - P_{T, \min})} \frac{\mathbf{w}_{i, \min}}{\|\mathbf{w}_{i, \min}\|}$$

[0060] 其中 $w_{i,\min}$ 为第三步中问题 (SP) 的最优解。

[0061] 2)、固定波束赋形矢量来优化功率分配因子 ρ 。首先定义集合

$$[0062] \quad \Psi = \left\{ i \mid \rho_{i,\text{th}} \left(\sum_{j=1}^K |\mathbf{h}_i^H \mathbf{w}_j|^2 + \sigma_i^2 \right) \leq P_i^C \right\}$$

[0063] 之后最优功率分配因子 ρ 通过求解如下优化问题来得到

[0064]

$$(P1) \begin{cases} \max_{\rho} & \sum_{i=1}^K \alpha_i \varphi_i \rho_i \left(\sum_{j=1}^K |\mathbf{h}_i^H \mathbf{w}_j|^2 + \sigma_i^2 \right) \\ \text{s.t.} & 0 \leq \rho_i \leq \rho_{i,\text{th}} \text{ for } i \notin \Psi \\ & \rho_i = 0 \text{ for } i \in \Psi \end{cases}$$

[0065] 该问题为标准的线性规划问题,利用相应算法进行求解。

[0066] 3)、固定功率分配因子 ρ 来优化波束赋形矢量。此时问题可以表示为

[0067]

$$(P2.1) \begin{cases} \max & \sum_{i=1}^K \alpha_i \varphi_i \rho_i \left(\sum_{j=1}^K |\mathbf{h}_i^H \mathbf{w}_j|^2 + \sigma_i^2 \right) \\ \text{s.t.} & (1 - \rho_i) |\mathbf{h}_i^H \mathbf{w}_i|^2 \geq \gamma_{i,\text{th}} (1 - \rho_i) \left(\sum_{j=1, j \neq i}^K |\mathbf{h}_i^H \mathbf{w}_j|^2 + \sigma_i^2 \right) + \gamma_{i,\text{th}} \varsigma_i^2 \\ & \sum_{i=1}^K \|\mathbf{w}_i\|^2 \leq P_{\max} \end{cases}$$

[0068] 引入辅助变量 $\mathbf{w}_i \mathbf{w}_i^H = \mathbf{W}_i$, 问题 (P2.1) 等价于

[0069]

$$(P2.2) \begin{cases} \max & \sum_{j=1}^K \text{Tr} \left[\left(\sum_{i=1}^K \alpha_i \varphi_i \rho_i \mathbf{H}_i \right) \mathbf{W}_j \right] \\ \text{s.t.} & (1 - \rho_i) \text{Tr}(\mathbf{H}_i \mathbf{W}_i) - \gamma_{i,\text{th}} (1 - \rho_i) \sum_{j=1, j \neq i}^K \text{Tr}(\mathbf{H}_i \mathbf{W}_j) \geq \gamma_{i,\text{th}} (1 - \rho_i) \sigma_i^2 + \gamma_{i,\text{th}} \varsigma_i^2 \\ & \sum_{i=1}^K \text{Tr}(\mathbf{W}_i) \leq P_{\max} \\ & \mathbf{W}_j \succeq 0, \text{rank}(\mathbf{W}_j) = 1 \end{cases}$$

[0070] 问题 (P2.2) 舍去约束 $\text{rank}(\mathbf{W}_j) = 1$ 后转化为标准的半正定规划问题

[0071]

$$(P2.3) \begin{cases} \max & \sum_{j=1}^K \text{Tr} \left[\left(\sum_{i=1}^K \alpha_i \varphi_i \rho_i \mathbf{H}_i \right) \mathbf{W}_j \right] \\ \text{s.t.} & (1 - \rho_i) \text{Tr}(\mathbf{H}_i \mathbf{W}_i) - \gamma_{i,\text{th}} (1 - \rho_i) \sum_{j=1, j \neq i}^K \text{Tr}(\mathbf{H}_i \mathbf{W}_j) \geq \gamma_{i,\text{th}} (1 - \rho_i) \sigma_i^2 + \gamma_{i,\text{th}} \varsigma_i^2 \\ & \sum_{i=1}^K \text{Tr}(\mathbf{W}_i) \leq P_{\max} \\ & \mathbf{W}_j \succeq 0 \end{cases}$$

[0072] 从而利用凸优化工具进行求解。对问题 (P2.3) 得到的最优解 \mathbf{W}_j 进行 SVD 分解得

到 $\mathbf{W}_i = \mathbf{U}_i \mathbf{\Lambda}_i \mathbf{U}_i^H$, 令第 1 次迭代节点 i 的波束赋形矢量 $\mathbf{w}_i^{(1)}$ 为矩阵 \mathbf{U}_i 的第一列。

[0073] 4)、判断迭代是否继续。令 $\text{flag} = \max_i \frac{\|\mathbf{w}_i^{(t)} - \mathbf{w}_i^{(t-1)}\|}{\|\mathbf{w}_i^{(t-1)}\|}$, 若 $\text{flag} < \epsilon$ 则本方案迭代终止转入第五步, 否则转入步骤 2) 继续迭代。

[0074] 五: 结果输出得到最终的波束赋形矢量 \mathbf{W} 及功率分配因子 ρ 。

[0075] 如图 2 所示, 本发明可用于发送端配置了多根天线, 接收节点配置单天线的 MIMO 无线通信系统, 此外要求发送端可以知道每个接收节点的下行信道信息。

[0076] 如图 4 所示, 本发明所提出的方案, 可以用于该系统的发送端发送机模块中, 具体实施步骤:

[0077] A)、发送端设备的电路设计: 对发送端设备进行电路设计, 提供专用芯片的运行环境。

[0078] B)、专用芯片中的算法电路设计: 在这一步中, 将本发明所对应的算法与发送端的其它算法一起, 用该专用芯片所对应的硬件描述语言 (如 VHDL 语言) 描述。

[0079] C)、将硬件描述语言所描述的专用芯片的结构固化到专用芯片之上。

[0080] D)、将芯片安装到相应的发送端设备电路板上, 即可运行。

[0081] 综上, 本发明达到预期目的。

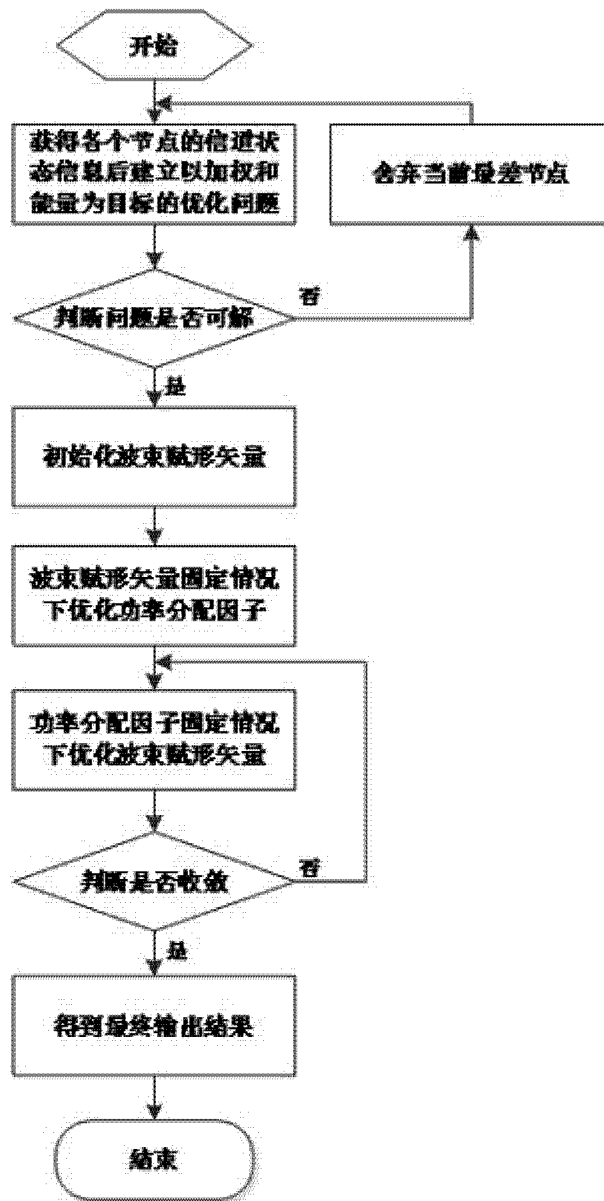


图 1

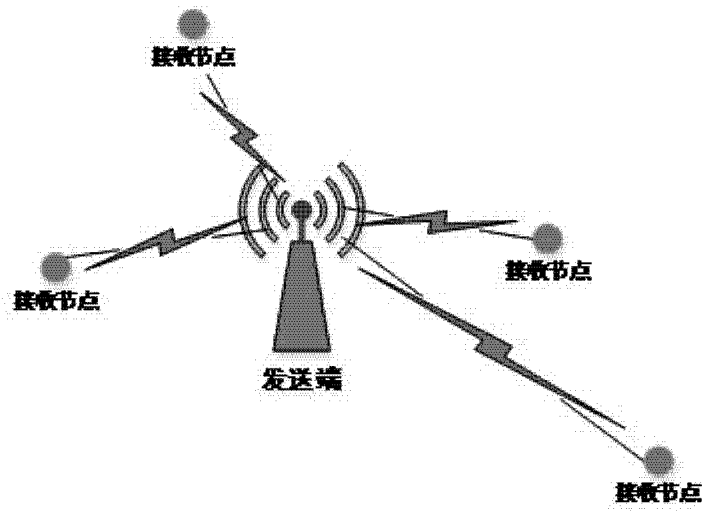


图 2

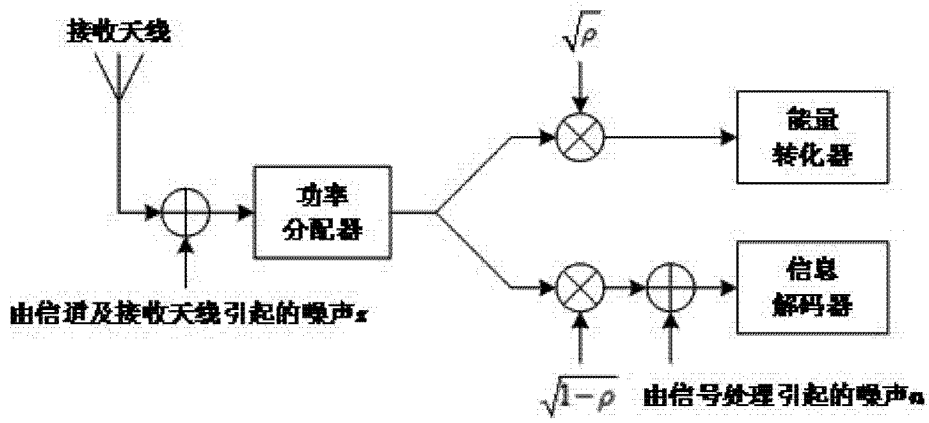


图 3

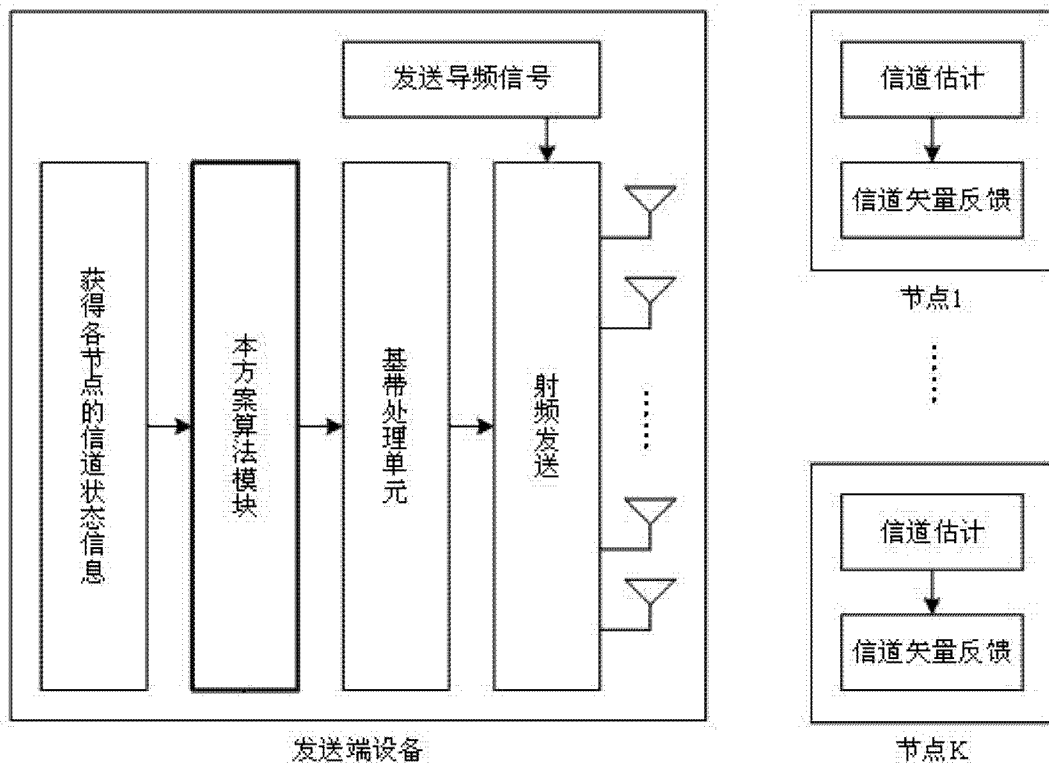


图 4