

文章编号: 1672-2892(2012)01-0007-06

最小功耗的中继选择与功率分配的联合优化

龚渝钧, 朱 宇

(复旦大学 通信科学与工程系, 上海 200433)

摘 要: 研究采用放大转发协议的单向和双向中继网络中的中继选择与功率分配的联合优化策略。该策略以一定服务质量(QoS)要求为约束条件, 以最小化中继网络中各节点的总功率为目标, 建立优化问题。运用凸优化技术, 得到了该优化问题的闭合解。仿真结果表明在满足相同的 QoS 要求下, 该最优联合策略较传统的随机选择与等功率分配策略具有较低的功率消耗。

关键词: 中继协作网络; 功率分配; 中继选择; 凸优化

中图分类号: TN925

文献标识码: A

Joint power allocation and relay selection strategies based on minimizing power consumption for relay networks

GONG Yu-jun, ZHU Yu

(Department of Communication Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: This paper investigates several joint power allocation and relay selection strategies for wireless cooperative networks with Amplify-and-Forward(AF) protocols. These strategies aim at minimizing the total power consumption subject to some given Quality of Service(QoS), which can be formulated to convex optimization problems. Using standard convex optimization techniques, closed-form solutions to these problems are obtained. Simulation results show that the proposed strategies can achieve lower power consumption than the traditional random relay selection and equal power allocation strategy.

Key words: cooperative networks; power allocation; relay selection; convex optimization

中继协作技术不但能克服无线通信中的多径衰落, 延伸基站的覆盖范围, 增加系统容量, 而且能降低用户发射机的发射功率, 减少系统干扰, 因此近年来受到了广泛关注^[1-2]。传统的单向(one-way)中继网络应用于单一方向的通信, 可以使得网络的通信质量得到明显改善^[1]。当 2 个源端在同一中继节点帮助下交互通信时, 相比于采用单向中继方式依次分时隙进行 2 个传输方向的中继传输, 双向(two-way)中继方式可以减少传输时隙, 提高频谱效率^[2]。单向和双向中继网络通常采用 2 种传输协议, 即放大转发(AF)和解码转发(Decode-and-Forward, DF)^[1-2]。其中, 放大转发协议因其具有低复杂度和易实现等特性, 在实际网络中有着广泛应用前景^[1-3]。在单向和双向中继网络中, 通常在 2 个端节点之间存在多个中继节点, 选择不同的中继个数会影响到系统性能和实现复杂度^[4-5]。由于选择多个中继节点的策略将会提高对节点间同步精确度的要求以及增加信令开销, 所以选择单个中继节点成为较为折中的方案^[5-8]。另一方面, 在单向和双向中继网络中, 在端节点和中继节点间的不同功率分配方案也会影响系统性能^[9-10]。一般而言, 根据优化问题的目标不同, 在单向和双向中继网络中的功率分配方案分为 2 种: 一种是在给定服务质量(QoS)下最小化总功率^[11]; 另一种是在给定的功率预算下最优化 QoS^[7]。其中, 研究第一种功率分配方案对于在 ad hoc 网络、传感网络等这一类网络中降低电池损耗、延长网络寿命具有较高的现实意义。本文分别研究采用放大转发协议的单向和双向中继网络中的中继选择与功率分配的联合优化策略。联合优化策略解决了这样一类优化问题, 即在满足一定服务质量(QoS)的约束条件下, 最小化中继网络的总功率。通过分析可以得出该联合优化问题可以归纳成为凸优化问题^[12], 运用凸优化技术, 可求得该优化问题的闭合解。所得的闭合解说明了所提出的联合策略可以通过挑选出多个候选中继节点中的最优单个节点, 并进行端节点与中继节点之间的功率分配, 来实现优化目标。结合文献[13]的思路, 本文提出的中继选择与功率分配的联合策略在实际网络中也可以通过分布式的方法实现。

收稿日期: 2011-07-29; 修回日期: 2011-09-09

基金项目: 国家科技重大专项课题资助项目(2010ZX03003-003-03); 国家自然科学基金资助项目(60802010)

1 系统模型

考虑如图 1 的中继传输网络, 该网络由 2 个源节点和 N 个中继节点组成, 分别标记为 S_1, S_2 和 R_i , 其中 $i=1, 2, \dots, N$ 。假设所有节点装备 1 根天线, 并且工作在半双工模式。分别定义节点 S_1, S_2 和 R_i 的发射功率为 P_1, P_2 和 Q_i 。假设 S_1 与 R_i 之间和 S_2 与 R_i 之间的信道为相互独立的瑞利衰落信道, 分别标记为 f_i 和 g_i , 其方差记为 F_i 和 G_i 。假设各接收机的加性高斯白噪声的单边功率谱密度归一化为 $N_0=1$ 。整个中继网络采用放大转发协议, 并且整个传输过程在 2 个时隙里完成。由于单向中继与双向中继的传输过程不同, 所以分情况讨论。

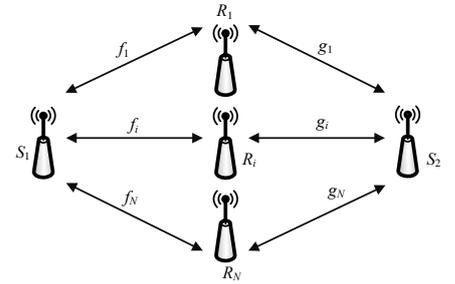


Fig.1 System model
图1 无线中继网络模型

1.1 单向中继

在单向中继网络里, 假设数据由源节点 S_1 发出, 经过中继后传送至目的节点 S_2 。假设在所有候选中继节点中, 第 i 个中继节点 R_i 被选出参与中继传输。在第 1 个时隙, S_1 发射信号 x_1 到 R_i , 则 R_i 的接收信号表示为 $y_{R_i} = f_i x_1 + n_{R_i}$, 其中 n_{R_i} 为 R_i 处的高斯白噪声。在第 2 个时隙, R_i 节点放大所接收到的信号, 为使转发信号满足 R_i 的最大平均功率限制 Q_i , 放大系数为 $\eta_i = \sqrt{Q_i / (P_1 |f_i|^2 + 1)}$, 转发信号表示为 $x_{R_i} = \eta_i y_{R_i}$ 。 S_2 处收到的来自 R_i 的转发数据可以表示为 $y_2 = g_i x_{R_i} + n_2 = f_i g_i \eta_i x_1 + g_i \eta_i n_{R_i} + n_2$, 其中 n_2 为目的节点 S_2 处的噪声。经过推导, 可得到 S_2 处的接收信噪比为:

$$z_{2i} = \frac{|f_i|^2 |g_i|^2 P_1 Q_i}{|f_i|^2 P_1 + |g_i|^2 Q_i + 1} \quad (1)$$

1.2 双向中继

当在图 1 中, 若 2 个源节点借助与中继节点进行相互数据交换, 则称其为双向中继网络。假设在所有候选中继节点中, 第 i 个中继节点 R_i 被选出参与双向中继传输。在第 1 个时隙, S_1 和 S_2 同时发射各自的信号 x_1 和 x_2 , 则在中继节点 R_i 处的接收信号表示为 $y_{R_i} = f_i x_1 + g_i x_2 + n_{R_i}$, 其中 n_{R_i} 为 R_i 处的噪声。在第 2 个时隙里, 中继节点 R_i 放大所接收到的信号, 为使转发信号满足 R_i 的最大平均功率限制 Q_i , 则放大系数为 $\beta_i = \sqrt{Q_i / (P_1 |f_i|^2 + P_2 |g_i|^2 + 1)}$, 转发信号表示为 $x_{R_i} = \beta_i y_{R_i}$ 。假设在 2 个连续传输时隙里信道参数 f_i 和 g_i 不变, S_1 和 S_2 在第 2 个时隙的接收信号分别为 $y_1 = f_i x_{R_i} + n_1$ 和 $y_2 = g_i x_{R_i} + n_2$, 其中 n_1 和 n_2 分别为 S_1 和 S_2 处的噪声。因为 2 个源节点知道各自在第 1 个时隙里发射的信号, 所以它们可以消除接收信号 y_1 和 y_2 中的自身干扰分量。在 S_1 和 S_2 节点消除自干扰后, 等效接收信号可以表示为 $y_{e1} = f_i g_i \beta_i x_2 + f_i \beta_i n_{R_i} + n_1$ 和 $y_{e2} = f_i g_i \beta_i x_1 + g_i \beta_i n_{R_i} + n_2$ 。经过推导, S_1 和 S_2 的接收信噪比分别为:

$$r_{1i} = \frac{|f_i|^2 |g_i|^2 P_2 Q_i}{|f_i|^2 (P_1 + Q_i) + |g_i|^2 P_2 + 1}, \quad r_{2i} = \frac{|f_i|^2 |g_i|^2 P_1 Q_i}{|g_i|^2 (P_2 + Q_i) + |f_i|^2 P_1 + 1} \quad (2)$$

2 中继选择与功率分配的联合优化策略

本节分别讨论了单向与双向中继网络中的联合优化策略, 使得传输链路在满足一定的 QoS 下, 整个网络的总功率消耗最小。联合策略的基本思想是各中继节点根据其到 2 个源节点的信道信息计算出在满足 QoS 指标下的功率分配最优值, 带来最小总功率的那个中继节点将最终被选出。

2.1 单向中继网络

考虑选择 R_i 作为中继节点, 定义整个网络的总功率为 $P_{T,i} = P_1 + Q_i$ 。根据文献[11]的分析方法, 在通信系统中 QoS 约束(如传输错误概率限制)可以转化成信噪比约束, 那么本文研究的单向中继网络中的中继选择与功率分配的联合优化问题归纳为:

$$\begin{aligned} \min_{i \in \{1,2,\dots,N\}} P_{T,i} &= P_1 + Q_i \\ \text{s.t.} \quad z_{2i} &\geq \gamma \end{aligned} \quad (3)$$

式中： P_1, Q_i 和 i 是优化变量； γ 是对应于满足 QoS 要求的最小信噪比。联合优化策略涉及到 2 个方面：一方面是如何选出最优的中继节点；另一方面是如何对网络节点进行功率分配。这一联合优化问题等效为先对 S_1 和 R_i 的发射功率进行最优分配，然后再选出总功率消耗最小的中继节点。首先，功率分配问题可以归纳为如下：

$$\begin{aligned} \min P_{T,i} &= P_1 + Q_i \\ \text{s.t.} \quad z_{2i} &\geq \gamma \end{aligned} \quad (4)$$

观察 z_{2i} 的表达式(1)，可以证明式(1)为关于优化变量 P_1, Q_i 的凹函数(concave function)，故式(4)是 1 个凸优化问题(convex problem)。利用拉格朗日乘子法^[13]，可得到满足式(4)的最优功率表达式为：

$$P_1 = \frac{\gamma[(\gamma+1)|f_i| + \sqrt{\gamma(\gamma+1)}|g_i|]}{\sqrt{\gamma(\gamma+1)}|g_i||f_i|^2}, \quad Q_i = \frac{[\gamma|f_i| + \sqrt{\gamma(\gamma+1)}|g_i|]}{|f_i||g_i|^2} \quad (5)$$

此时总功率为：

$$P_{T,i} = \frac{\gamma|f_i|^2 + 2\sqrt{\gamma(\gamma+1)}|f_i||g_i| + \gamma|g_i|^2}{|f_i|^2|g_i|^2} \quad (6)$$

式(5)和式(6)给出了当节点 R_i 被选中时的最优功率分配和对应的总功率结果，因此比较不同节点 $R_i(i=1,2,\dots,N)$ 对应的总功率 $P_{T,i}$ ，就可以找到最佳的中继节点，这一中继选择准则可以归纳为：

$$b = \arg \min_{i \in \{1,2,\dots,N\}} \frac{\gamma|f_i|^2 + 2\sqrt{\gamma(\gamma+1)}|f_i||g_i| + \gamma|g_i|^2}{|f_i|^2|g_i|^2} \quad (7)$$

上述联合优化策略的实现步骤可以归纳为：首先依照式(7)选出最优中继 R_i ，然后根据式(5)进行功率分配。本节提出的联合策略在实际系统中可以采用集中式或分布式实现。在集中式实现方案中^[7]，中心节点(通常为目的节点)可以依据信道信息挑选出最优中继节点，并将最优中继节点的序号广播到网络中所有的中继节点。只有与广播节点序列号匹配的中继节点才能参与相关的中继传输过程。在分布式实现方案中^[13]，各中继节点依据其与 2 个端节点的信道信息计算出各自的最优功率分配方案，然后按对应的总功率式(6)配置各自定时器初始值，并进行倒计时，当各中继节点同步时，具有最小总功率值的中继节点的定时器最先结束倒计时，最先广播出自己的序号，其他中继节点通过检测该信号得知自己不是最优的中继节点。

对于式(5)~式(7)的中继选择和功率分配联合设计方案，当 $\gamma \gg 1$ 时，简化为以下中继选择准则：

$$b = \arg \min_{i \in \{1,2,\dots,N\}} \frac{|f_i| + |g_i|}{|f_i||g_i|} \quad (8)$$

将 $\gamma \gg 1$ 代入式(5)和式(6)，可得对应的功率分配值与总功率值，表示为：

$$P_1 = \frac{(|f_i| + |g_i|)\gamma}{|g_i||f_i|^2}, \quad Q_i = \frac{(|f_i| + |g_i|)\gamma}{|f_i||g_i|^2}, \quad P_{T,i} = \frac{(|f_i| + |g_i|)^2\gamma}{|f_i|^2|g_i|^2} \quad (9)$$

注意到此时式(8)中的结果仅与信道值有关，与 γ 无关，而且式(8)与式(9)的计算比式(5)~式(7)简单，所以称这一中继选择与功率分配的联合策略为低复杂度策略。下一节仿真将表明，尽管此算法在 QoS 很高的假设下得出，但该策略使系统性能在整个 QoS 范围内都有相应的提高，并且与之前的联合优化策略的性能非常接近。

在某些场景下，为保证参与到中继传输的网络各节点功率消耗的公平性，会要求各节点的发送功率相同。在这一约束下，原始的优化式(3)转化为：

$$\begin{aligned} \min_{i \in \{1,2,\dots,N\}} P_{T,i} &= P_1 + Q_i \\ \text{s.t.} \quad z_{2i} &\geq \gamma \\ P_1 &= Q_i = P \end{aligned} \quad (10)$$

同样地，应用凸优化理论，可以解得：

$$P = \frac{(|f_i|^2 + |g_i|^2)\gamma + \sqrt{|f_i|^4\gamma^4 + |g_i|^4\gamma^4 + 2|f_i|^2|g_i|^2\gamma^2 + 4|f_i|^2|g_i|^2\gamma}}{2|f_i|^2|g_i|^2}$$

2.2 双向中继网络

考虑选择 R_i 作为中继节点，定义整个网络的总的功率为 $P_{T,i} = P_1 + P_2 + Q_i$ 。与在 2.1 节中的分析类似，将 2 个

源端的 QoS 约束转换为各自的接收信噪比约束。双向中继网络中的中继选择和功率分配的联合优化问题可以归纳为:

$$\begin{aligned} \min_{i \in \{1,2,\dots,N\}} P_{T,i} &= P_1 + P_2 + Q_i \\ \text{s.t.} \quad r_{1i} &\geq \gamma_1 \\ r_{2i} &\geq \gamma_2 \end{aligned} \quad (11)$$

式中: P_1, P_2, Q_i 和 i 是优化变量; γ_1 与 γ_2 为 2 个传输方向应满足 QoS 要求的最小信噪比。双向中继网络的最优联合策略也涉及到 2 个方面: 一方面是如何选出最优的中继节点; 另一方面是如何对网络节点进行功率分配。这个问题同样可以等效为先对 S_1, S_2 和 R_i 的发射功率进行最优分配, 然后再选出总功率消耗最小的中继节点。首先, 功率分配问题可以归纳为如下:

$$\begin{aligned} \min P_{T,i} &= P_1 + P_2 + Q_i \\ \text{s.t.} \quad r_{1i} &\geq \gamma_1 \\ r_{2i} &\geq \gamma_2 \end{aligned} \quad (12)$$

观察 r_{1i} 和 r_{2i} 的表达式(2), 可知接收信噪比的倒数为优化变量 P_1, P_2 和 Q_i 的多项式, 所以式(12)是一个几何规划问题(Geometric Programming, GP)^[12]。将该几何规划问题转化成凸优化问题, 再利用拉格朗日乘子法^[12], 可以得到满足该问题的闭合最优解为:

$$P_1 = \frac{\gamma_2 \left(\sqrt{\frac{\gamma_1 + \gamma_2 + 1}{\gamma_1 + \gamma_2}} |f_i| + |g_i| \right)}{|f_i|^2 |g_i|}, \quad P_2 = \frac{\gamma_1 \left(\sqrt{\frac{\gamma_1 + \gamma_2 + 1}{\gamma_1 + \gamma_2}} |g_i| + |f_i| \right)}{|f_i| |g_i|^2}, \quad Q_i = \frac{\gamma_2 |f_i|^2 + \sqrt{(\gamma_1 + \gamma_2 + 1)(\gamma_1 + \gamma_2)} |f_i| |g_i| + \gamma_1 |g_i|^2}{|f_i|^2 |g_i|^2} \quad (13)$$

此时总的功率消耗为:

$$P_{T,i} = (\gamma_1 + \gamma_2) \frac{|f_i|^2 + 2 \sqrt{\frac{\gamma_1 + \gamma_2 + 1}{\gamma_1 + \gamma_2}} |f_i| |g_i| + |g_i|^2}{|f_i|^2 |g_i|^2} \quad (14)$$

式(13)和式(14)给出了当节点 R_i 被选中时的最优功率分配和对应的总功率结果, 因此比较不同节点 $R_i (i=1,2,\dots,N)$ 对应的总功率 $P_{T,i}$, 就可以找到最佳的中继节点, 这一中继选择准则可以归纳为:

$$b = \arg \min_{i \in \{1,2,\dots,N\}} \frac{|f_i|^2 + 2 \sqrt{(\gamma_1 + \gamma_2 + 1)(\gamma_1 + \gamma_2)} |f_i| |g_i| + |g_i|^2}{|f_i|^2 |g_i|^2} \quad (15)$$

这里, 双向中继网络的联合优化策略的实现步骤类似单向中继网络的联合策略, 上述过程可以归纳为: 首先依照式(15)选出最优中继 R_i , 然后根据式(13)进行功率分配。其中, 集中式与分布式的中继选择方案也与单向中继网络类似。

类似地, 对于式(13)~式(15)的联合设计方案, 当 $\gamma_1 \gg 1$ 或 $\gamma_2 \gg 1$ 时, 有 $\sqrt{\frac{\gamma_1 + \gamma_2 + 1}{\gamma_1 + \gamma_2}} \approx 1$, 因此可以简化为以下中继选择准则:

$$b = \arg \min_{i \in \{1,2,\dots,N\}} \frac{|f_i| + |g_i|}{|f_i| |g_i|} \quad (16)$$

将 $\gamma_1 \gg 1$ 或 $\gamma_2 \gg 1$ 代入式(13)和式(14), 可得对应的功率分配值与总功率值, 表示为:

$$P_1 = \frac{\gamma_2}{\gamma_1 + \gamma_2} \frac{|g_i|}{|f_i| + |g_i|} P_{T,i}, \quad P_2 = \frac{\gamma_1}{\gamma_1 + \gamma_2} \frac{|f_i|}{|f_i| + |g_i|} P_{T,i}, \quad Q_i = \frac{|f_i| \gamma_2 + |g_i| \gamma_1}{(\gamma_1 + \gamma_2)(|f_i| + |g_i|)} P_{T,i} \quad (17)$$

$$P_{T,i} = (\gamma_1 + \gamma_2) \left(\frac{|f_i| + |g_i|}{|f_i| |g_i|} \right)^2 \quad (18)$$

注意到此时式(16)中的结果仅与信道值有关, 与 γ_1, γ_2 无关, 而且计算式(16)~式(18)较式(13)~式(15)简单, 所以称这一中继选择与功率分配的联合策略为低复杂度策略。仿真将表明, 尽管此算法在 QoS 很高的假设下得出, 但该策略使得系统性能在整个 QoS 范围内都有相应的提高, 并且与之前的联合优化策略的性能非常接近。

在某些场景下, 同样地为了保证参与到中继传输的网络各节点功率消耗的公平性, 会要求各节点的发送功率相同。在这一约束下, 原始的优化问题式(11)转化为:

$$\begin{aligned} \min_{i \in \{1,2,\dots,N\}} \quad & P_{T,i} = P_1 + P_2 + Q_i \\ \text{s.t.} \quad & r_{1i} \geq \gamma_1 \\ & r_{2i} \geq \gamma_2 \\ & P_1 = P_2 = Q_i = P \end{aligned} \quad (19)$$

解得 $P = \max\{q_1, q_2\}$ ，其中

$$q_1 = \frac{(2|f_i|^2 + |g_i|^2)\gamma_1 + \sqrt{(2|f_i|^2 + |g_i|^2)^2\gamma_1^2 + 4|f_i|^2|g_i|^2\gamma_1}}{2|f_i|^2|g_i|^2},$$

$$q_2 = \frac{(|f_i|^2 + 2|g_i|^2)\gamma_2 + \sqrt{(|f_i|^2 + 2|g_i|^2)^2\gamma_2^2 + 4|f_i|^2|g_i|^2\gamma_2}}{2|f_i|^2|g_i|^2}.$$

3 仿真结果

本节对比了在单向中继网络和双向中继网络中进行中继选择和功率分配的 4 种不同策略的性能。这 4 种策略分别为：随机中继选择和等功率分配策略，等功率约束下的最小化总功率的中继选择优化策略(在单向和双向网络里分别为式(10)和式(19))，联合优化策略(在单向和双向网络里分别为式(5)~式(7)和式(13)~式(15))与低复杂度联合优化策略(在单向和双向网络里分别为式(8)、式(9)和式(16)~式(18))。为了方便讨论，分别将它们记为策略一(Scheme 1)、策略二(Scheme 2)、策略三(Scheme 3)与策略四(Scheme 4)。分别从不同 QoS 要求和节点之间不同相对位置这两个角度来进行仿真，比较这 4 种不同策略的性能。

3.1 单向中继网络

考虑 1 个包含 3 个中继节点的单向中继网络，为方便描述网络中各节点的相对位置，用二维坐标来标记。记源节点和目的节点的位置坐标分别为(0,0.5)和(1,0.5)，3 个中继节点的位置坐标分别为(0.5,0)、(0.5,0.5)和(0.5,1)。这里，损耗因子设为 4。根据位置信息可以算出各自的信道均值 F_k 和 G_k ， $k=1,2,\dots,N$ 。

图 2 显示了 4 种联合策略在不同 QoS 要求下的性能。可以看出，随着 QoS 的要求提高，4 种策略的平均总功率消耗都相应增加。相比之下，本文所提出的 2 种联合优化策略比其他 2 种策略具有更低的总功率。图 2 还显示，尽管策略三是一种次优的算法，且复杂度较低，但它仍然具有和策略四相近的性能。

图 3 展示了 4 种联合策略在网络各节点不同相对位置下的性能。假设上述中继网络中 2 个源端的位置坐标不变，3 个中继节点的位置坐标分别为($D,0$)、($D,0.5$)和($D,1$)。通过改变 D 来调整中继节点与 2 个端节点之间的相对位置。这里假设 QoS 要求固定，即 $\gamma=10$ dB。从图 3 可以看出，当中继与 2 个源端的水平距离为 0.5 时，平均功率消耗达到最小。本文提出的 2 种策略较传统的策略具有更佳的性能，且策略三与策略四的性能非常相近。

3.2 双向中继网络

图 4 展示了 4 种不同的策略在不同 QoS 要求下的性能比较。设 2 个源端的 QoS 要求值分别为 γ_1 和 γ_2 。双向中继网络仿真中的网络拓扑结构与图 2 中的相同。从图 4 看出，只要 QoS 有提高，无论是 γ_1 或 γ_2 ，4 种策略的平均功率消耗都会增加，并且本

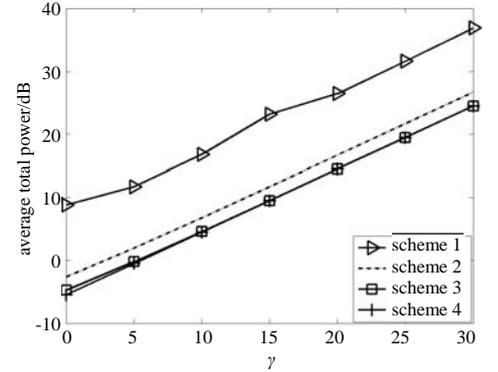


Fig.2 Joint optimization scheme in the one-way network with QoS

图 2 单向中继网络策略与 QoS 关系

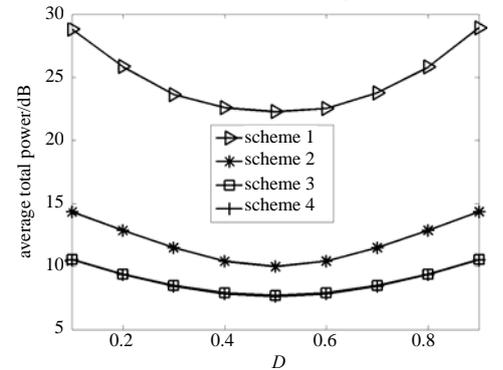


Fig.3 Joint optimization scheme in the one-way network with distance

图 3 单向中继网络策略与距离关系

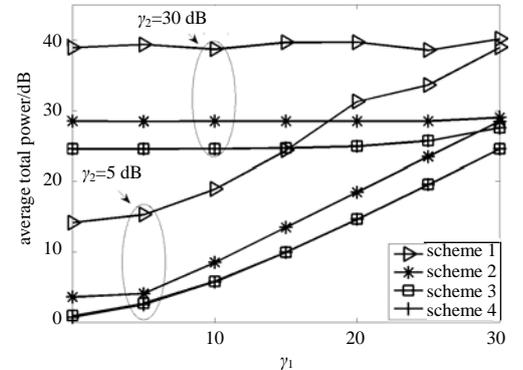


Fig.4 Joint optimization scheme in the two-way network with QoS

图 4 双向中继网络策略与 QoS 关系

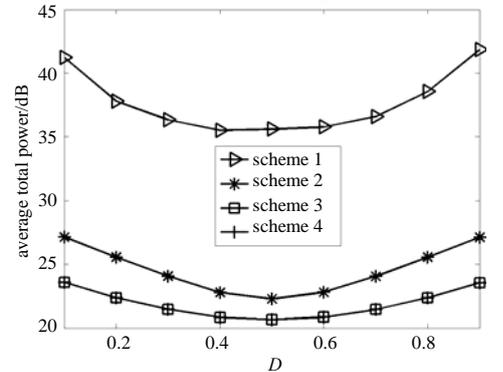


Fig.5 Joint optimization scheme in the two-way network with distance

图 5 双向中继网络策略与距离关系

文所提出的联合优化策略比其他2种策略具有更好的性能。其中当 $\gamma_2=30$ dB时,在 $\gamma_1 \leq 20$ dB的区域网络平均总功率的增加并不明显,这反映出双向中继网络的平均总功率消耗由2个源端之间的较高QoS所主导。

图5展示了4种联合策略在双向中继网络中各节点不同相对位置下的性能。网络拓扑结构与图3涉及的相同。假设QoS要求恒定为 $\gamma_1=\gamma_2=10$ dB。从图5可以得到与图4相近的结论,本文所提出的2种联合策略比传统的2种策略有着更好的性能,节省了更多的功耗。在中继与2个源端的水平距离为0.5时,平均功率消耗达到最小。

4 结论

本文分别提出了采用放大转发协议的单向和双向中继网络中的中继选择与功率分配的联合优化策略。这些策略可以有效降低采用放大转发策略的中继协作网络在满足QoS需求的情况下的网络平均总功率消耗。本文指出了这类联合优化策略可以转化成凸优化问题,运用凸优化技术,求得了这类问题的闭合解。仿真结果表明了在满足相同的QoS要求下,所提出的联合优化策略较传统的随机选择等功率分配联合策略具有较低的功率消耗。

参考文献:

- [1] Laneman J N, Tse D N, Wornell G W. Cooperative Diversity in Wireless Networks: Efficient Protocols and Outage Behavior[J]. IEEE Trans. Inform. Theory, 2004, 50(12): 3062–3080.
- [2] Rankov B, Wittneben A. Spectral Efficient Protocols for Half-Duplex Fading Relay Channels[J]. IEEE J. on Selected Areas in Commun., 2007, 25(2): 379–389.
- [3] 徐娜, 汪翔, 倪卫明. 一种提高协作通信性能的新方法[J]. 信息与电子工程, 2010, 8(6): 742–746.
- [4] Oechtering T J, Boche H. Bidirectional Regenerative Half-Duplex Relaying Using Relay Selection[J]. IEEE Trans. on Wireless Commun., 2008, 7(5): 1879–1888.
- [5] Jing Y, Jafarkhani H. Single and Multiple Relay Selection Schemes and Their Achievable Diversity Orders[J]. IEEE Trans. Wireless Commun., 2009, 8(3): 1414–1423.
- [6] Jing Y. A Relay Selection Scheme for Two-Way Amplify-and-Forward Relay Networks[C]// Proc Conf. WCSP. Nanjing: [s.n.], 2009: 1–5.
- [7] Talwar S, Jing Y, Shahbazpanahi S. Joint Relay Selection and Power Allocation for Two-Way Relay Networks[J]. IEEE Signal Process. Lett., 2008, 18(2): 91–94.
- [8] Song L. Relay Selection for Two-Way Relaying with Amplify-and-Forward Protocols[J]. IEEE Vehicular Technology, 2011, 60(4): 1954–1959.
- [9] Yi Z, Ju M, Kim I. Outage Probability and Optimum Power Allocation for Analog Network Coding[J]. IEEE Trans. Wireless Commun., 2011, 10(2): 407–412.
- [10] Zhang Y, Ma Y, Tafazolli R. Power Allocation for Bidirectional AF Relaying over Rayleigh Fading Channels[J]. IEEE Commun. Lett., 2010, 14(2): 145–147.
- [11] Havary Nassab V, Shahbazpanahi S, Grami A. Optimal Distributed Beamforming for Two-Way Relay Networks[J]. IEEE Trans. on Signal Process., 2010, 58(3): 1238–1250.
- [12] Boyd S, Vandenberghe L. Convex Optimization[M]. London: Cambridge University Press, 2004.
- [13] Bletsas A, Lippman A, Reed D. A Simple Distributed Method for Relay Selection in Cooperative Diversity Wireless Networks, Based on Reciprocity and Channel Measurements[C]// Proceedings of IEEE 61st Vehicular Technology Conference. Stockholm: [s.n.], 2005: 1484–1488.

作者简介:



吴渝钧(1987–), 男, 陕西省汉中市人, 在读硕士研究生, 研究方向为无线通信. email: 09210720092@fudan.edu.cn.

朱宇(1977–), 男, 江苏省扬州市人, 博士, 副教授, 从事宽带无线通信系统与网络、通信中的信号处理等研究. email: zhuyu@fudan.edu.cn.