

文章编号:1001-2486(2011)05-0110-06

协同通信中的基于信道统计信息的联合中继选择的功率分配*

王丽洁, 习勇, 唐艺, 魏急波

(国防科技大学 电子科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘要:分析 Rayleigh 信道下分集/无分集的 AF (Amplify and Forward) 和 DF (Decode and Forward) 模式单中继传输的平均中断概率, 给出解析表达式。在总功率约束下推导了 4 种模式下的统计最优功率分配的解析表达式来最小化系统的平均中断概率, 并提出通过最佳中继选择进一步降低系统的平均中断概率。仿真结果表明, 虽然 AF 模式和分集 DF 模式下的功率分配是在高发送 SNR 条件下推导的, 但其在低发送 SNR 下依然有效; 相对于固定功率分配, 依据节点统计信息的最优功率分配可以有效降低系统的平均中断概率, 多中继网络中的最佳节点选择进一步降低了系统的平均中断概率。

关键词: 中断概率; 放大前传; 解码前传; 功率分配; 中继选择

中图分类号: TN929.5 文献标识码: A

Statistically Optimal Power Allocation and Relay Selection in Cooperative Networks

WANG Li-jie, XI Yong, TANG Yi, WEI Ji-bo

(College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense and Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: The average outage probabilities of the amplify-and-forward (AF) relaying and the decode-and-forward (DF) relaying with/without diversity in Rayleigh fading were analyzed respectively, and the analytical expressions were presented. To minimize the average outage probability, with total transmit power constraint, the statistically optimal power allocation problem of the AF relaying and DF relaying were considered, and also the analytical expressions are provided. Then the statistical optimal relay selection was suggested to further minimize the average outage probability. Though the analytical expressions of power allocation for AF and DF with diversity were obtained under the condition of high transmit SNR, the simulation results show that they are also valid in the low transmit SNR region. Compared with fixed power allocation, the statistical optimal power allocation effectively reduces the average outage probability. Meanwhile, the optimal relay selection further reduces the average outage probability.

Key words: outage probability; amplify-and-forward; decode-and-forward; power allocation; relay selection

在无线网络中, 多天线传输技术能够有效地抵抗信道衰落并提高信息传输速率, 近年受到广泛关注^[1-2]。为了解决多天线难以应用于小型终端这个实际问题, 利用多个用户的单天线形成虚拟多天线阵列的协同分集技术应运而生。Sendonaris^[3]首先提出了用户协同的概念, Laneman 等提出了协同通信的两种基本模式: AF (中继将接收到的信号模拟处理后前传) 和 DF (中继对接收到的信号解码, 重新编码后前传)^[4]。多中继网络, 中继节点选择是提高系统性能的有效方式。机会中继^[5]选择端到端即时信噪比最大的中继参与协作以获得多阶分集增

益, 然而基于即时信道节点选择系统开销大, 实现比较复杂。文献[6]提出基于节点间相对位置的带循环冗余校验 DF 下的中继选择, 由于每个中继都试图解码源节点信息, 引起了额外的能量消耗。

协同通信中节点间资源共享与优化可极大提高系统性能^[7]。Hammerstrom^[8]对 AF 模式提出源节点用一半的功率, 所有中继节点平分其余功率, 该方法没有考虑信道对功率分配的影响。Li^[9]基于源-中继和中继-目的的即时信道增益分别给出了 AF、DF 模式的最佳功率分配。根据即时信道增益来进行功率的分配虽可以使系统性

* 收稿日期: 2011-03-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61002032, 60903206); 教育部高等学校博士点专项科研基金资助项目 (20094307110004)

作者简介: 王丽洁 (1981—), 女, 博士生。

能提升,但系统开销较大。Annavaajjala^[10]基于统计信道状态信息,研究了高发送 SNR 下 AF、带循环冗余校验的 DF 的统计最优功率分配。

本文我们分别对 AF 无分集和分集、DF 无分集和分集 4 种模式下单中继协作的平均中断概率进行了分析,获得 DF 模式和高 SNR 下 AF 模式的由每个节点的发送功率和节点间相对位置为参数的平均中断概率的解析表达式。以最小化平均中断概率为目标,进而推导了总发送功率受限下各种模式的统计最优功率分配,提出在统计最优功率分配下的最佳中继节点选择。仿真结果表明:相对于固定功率分配,统计最优功率分配可以有效降低单中继传输的平均中断概率,虽然 AF 模式和有分集的 DF 模式下的统计最优功率分配是在高发送 SNR 约束下推导的,但其结果在低发送 SNR 依然有效。同时在多个中继的网络中,选择统计最优功率分配后平均中断概率最小的中继作为协作中继,进一步降低了系统的中断概率。在很多网络中,各节点的位置信息在网络初始化时就可以获得,并且准静态或者终端慢速移动的网络,不需进行频繁的位置信息的交换,依据节点间的统计信息进行最优功率分配和最佳节点的选择,不需要频繁的位置信息的交换和大量即时信道信息的交互,因此其实现简单,开销小,可达到相对稳定和长期的通信。

1 系统模型

考虑由 1 个源节点 S 、1 个目的节点 D 以及 M 个中继节点 $R_i (i=1, \dots, M)$ 构成的无线系统。各节点工作在半双工方式,节点间的信道为独立的瑞利平坦衰落信道,信道状态在一帧的时间内不变。 $S-D$ 、 $S-R_i$ 、 R_i-D 的信道参数分别为 h_{SD} 、 h_{Si} 、 h_{iD} , 其中 h_{ab} 为 0 均值、方差 $d_{ab}^{-\alpha}$ 的随机变量 ($a, b \in S, R_i, D$), d_{ab} 为节点 a 与 b 的距离, α 为路径损耗系数。定义信道增益 $H_{SD} = |h_{SD}|^2$ 、 $H_{Si} = |h_{Si}|^2$ 、 $H_{iD} = |h_{iD}|^2$ 。各节点处噪声相互独立,为 0 均值、方差 N_0 的加性高斯白噪声。总发送功率受限的系统, S 和任意一个中继 R_i 的发送功率 P_S, P_i 满足

$$P_S + P_i = P \quad (1)$$

其中, P 为系统的总发送功率。则 $S-D$ 、 $S-R_i$ 、 R_i-D 的接收 SNR 分别为 $\gamma_{SD} = P_S H_{SD} / N_0$ 、 $\gamma_{Si} = P_S H_{Si} / N_0$ 、 $\gamma_{iD} = P_i H_{iD} / N_0$ 。 γ_{SD} 、 γ_{Si} 、 γ_{iD} 的均值分别为 $\bar{\gamma}_{SD} = P_S d_{SD}^{-\alpha} / N_0$ 、 $\bar{\gamma}_{Si} = P_S d_{Si}^{-\alpha} / N_0$ 、 $\bar{\gamma}_{iD} = P_i d_{iD}^{-\alpha} / N_0$ 。

本文考虑两种中继协作前传的模式: AF 与 DF。这两种模式下信息的传输都分为两个阶段,

第 1 阶段,源节点 S 发送信息,由于无线传播的广播特性,目的节点和各中继节点都接收到源节点发送的信息;第 2 阶段,协作中继节点将第一阶段接收到的信息处理后发送给目的节点。根据目的节点是否利用第一个阶段接收到的信息并与第二阶段接收到的信息进行最大比合并,可以分为分集模式和无分集模式。

无分集模式下 R_i 采用 AF 的即时系统容量为^[4]

$$C_i^{AF, w/o} = \frac{1}{2} \log_2 [1 + \gamma_{Si} \cdot \gamma_{iD} / (1 + \gamma_{Si} + \gamma_{iD})] \quad (2)$$

无分集模式,中继 R_i 采用 DF 时由于信道条件较差的链路将决定系统的性能,因此即时系统容量为

$$C_i^{DF, w/o} = \frac{1}{2} \log_2 [1 + \min(\gamma_{Si}, \gamma_{iD})] \quad (3)$$

分集模式下, R_i 采用 AF 时的即时系统容量^[4]

$$C_i^{AF, w} = \frac{1}{2} \log_2 [1 + \gamma_{SD} + \gamma_{Si} \cdot \gamma_{iD} / (1 + \gamma_{Si} + \gamma_{iD})] \quad (4)$$

分集模式下, R_i 采用 DF 时的即时系统容量为^[4]

$$C_i^{DF, w} = \frac{1}{2} \min[\log(1 + \gamma_{Si}), \log(1 + \gamma_{SD} + \gamma_{iD})] \quad (5)$$

由于协同中继的传输是分两个阶段完成的,因此在式(2)~(5)中加入了系数 1/2。

2 统计最优功率分配与中继选择

设系统容量目标值为 R , 本节推导各种模式的平均中断概率和总功率约束下使平均中断概率最小的统计最优功率分配。基于推导结果,利用统计最优功率分配下的最佳节点选择进一步降低平均中断概率。

2.1 平均中断概率分析

在中继 R_i 协助前传时,各种传输模式下的平均中断概率分别为:

(1) 无分集 AF 模式

$$\begin{aligned} P_{out,i}^{AF, w/o} &= \Pr(C_i^{AF, w/o} < R) \\ &= \Pr[\gamma_{Si} \cdot \gamma_{iD} / (1 + \gamma_{Si} + \gamma_{iD}) < 2^{2R} - 1] \end{aligned} \quad (6)$$

为求得式(6)的概率,需获得变量 $\gamma = \gamma_{Si} \cdot \gamma_{iD} / (1 + \gamma_{Si} + \gamma_{iD})$ 的一个有效的概率密度函数(PDF),由于其在数学上是难以处理的,因此需要

对式(6)作一些简化。在高的发送 SNR 下,式(6)近似为

$$P_{out,i}^{AF,w/o} \approx \Pr[\gamma_{si} \cdot \gamma_{id}/(\gamma_{si} + \gamma_{id}) < 2^{2R} - 1] \quad (7)$$

文献[12]指出对于独立的满足负指数分布的非负随机变量 X, Y, Z , 如果变量 V_1, V_2 分别满足

$$V_1 = \frac{XY}{X+Y} \quad (8)$$

$$V_2 = Z + \frac{XY}{X+Y} \quad (9)$$

并且 $\rho_{V_1}(0) = 0, \rho_{V_2}(0) = 0, \rho_{V_1}(v), \rho_{V_2}(v)$ 在 0 点的一阶导数分别为 $x_0 + y_0, z_0(x_0 + y_0)$, 其中 x_0, y_0, z_0 分别为概率密度函数 $\rho_X(x), \rho_Y(y), \rho_Z(z)$ 在 0 点的值。文献[11]中指出 SNR 足够高时, 概率密度函数 $\rho(x)$ 可以近似表示为一个 $x \rightarrow 0^+$ 时的单“多项式”项 $\rho(x) = ax^l + o(x^{l+\varepsilon})$, 其中 $\varepsilon > 0, a$ 为一个正值的常数。令 $X = \gamma_{si}, Y = \gamma_{id}, Z = \gamma_{sd}$, 在高 SNR 下, 无分集 AF 模式下的中断概率近似为

$$P_{out,i}^{AF,w/o} \approx (2^{2R} - 1) \cdot \left(\frac{1}{\gamma_{si}} + \frac{1}{\gamma_{id}} \right) \quad (10)$$

(2)分集的 AF 模式

$$P_{out,i}^{AF,w} = \Pr(C_i^{AF,w} < R) = \Pr\{[\gamma_{sd} + \gamma_{si} \cdot \gamma_{id}/(1 + \gamma_{si} + \gamma_{id})] < 2^{2R} - 1\} \quad (11)$$

当 SNR 足够高时, 基于文献[11 - 12], 系统的中断概率就近似为

$$P_{out,i}^{AF,w/o} \approx (2^{2R} - 1) \frac{\frac{1}{\gamma_{si}} + \frac{1}{\gamma_{id}}}{\gamma_{sd}} \quad (12)$$

(3)无分集的 DF 模式

$$P_{out,i}^{DF,w/o} = \Pr(C_i^{DF,w/o} < R) = \Pr[\min(\gamma_{si}, \gamma_{id}) < 2^{2R} - 1] \approx 1 - \exp\left[-(2^{2R} - 1)\left(\frac{1}{\gamma_{si}} + \frac{1}{\gamma_{id}}\right)\right] \quad (13)$$

(4)分集的 DF 模式

$$P_{out,i}^{DF,w} = \Pr(C_i^{DF,w} < R) = \Pr(\min\{\gamma_{si}, \gamma_{sd} + \gamma_{id}\} < 2^{2R} - 1) = \begin{cases} 1 - \exp[-(2^{2R} - 1)\bar{\gamma}_{si}] \{ \exp[-(2^{2R} - 1)\bar{\gamma}_{id}] + (2^{2R} - 1) \exp[-(2^{2R} - 1)\bar{\gamma}_{sd}] / \bar{\gamma}_{id} \}, \bar{\gamma}_{id} = \bar{\gamma}_{sd} \\ 1 - \exp[-(2^{2R} - 1)\bar{\gamma}_{si}] \{ \bar{\gamma}_{id} \exp[-(2^{2R} - 1)\bar{\gamma}_{id}] / (\bar{\gamma}_{id} - \bar{\gamma}_{sd}) - \bar{\gamma}_{sd} \exp[-(2^{2R} - 1)\bar{\gamma}_{sd}] / (\bar{\gamma}_{id} - \bar{\gamma}_{sd}) \}, \bar{\gamma}_{id} \neq \bar{\gamma}_{sd} \end{cases} \quad (14)$$

2.2 统计最优功率分配

(1)无分集 AF、DF 模式的功率分配

通过式(10)和式(13)可以得到 AF 在高 SNR 下的最优功率分配和 DF 的最优功率分配相同, 最小化系统平均中断概率就等价为解决如下的最优化问题:

$$\begin{aligned} & \min_{P_s, P_i} \left(\frac{1}{\gamma_{si}} + \frac{1}{\gamma_{id}} \right) \\ & \text{s. t. } P_s + P_i = P \\ & P_s > 0, P_i > 0 \end{aligned} \quad (15)$$

通过对式(15)构造 Lagrange 方程可以得到最优解为

$$\begin{cases} P_s = d_{si}^{\alpha/2} P / (d_{si}^{\alpha/2} + d_{id}^{\alpha/2}), \\ P_i = d_{id}^{\alpha/2} P / (d_{si}^{\alpha/2} + d_{id}^{\alpha/2}) \end{cases} \quad (16)$$

(2)分集的 AF 模式的功率分配

对式(12)分析可以得到分集的 AF 在高 SNR 下的最优功率分配等价为解决如下的最优化问题:

$$\begin{cases} \min_{P_s, P_i} \frac{\left(\frac{1}{\gamma_{si}} + \frac{1}{\gamma_{id}} \right)}{\gamma_{sd}} \\ \text{s. t. } P_s + P_i = P \\ P_s > 0, P_i > 0 \end{cases} \quad (17)$$

对式(17)构造 Lagrange 方程可以得到最优解为

$$\begin{cases} P_s = (4d_{si}^\alpha - d_{id}^\alpha - \sqrt{d_{id}^{2\alpha} + 8d_{si}^\alpha d_{id}^\alpha})P/4(d_{si}^\alpha - d_{id}^\alpha) \\ P_i = (\sqrt{d_{id}^{2\alpha} + 8d_{si}^\alpha d_{id}^\alpha} - 3d_{id}^\alpha)P/4(d_{si}^\alpha - d_{id}^\alpha) \end{cases} \quad d_{si} \neq d_{id} \\ \begin{cases} P_s = 2P/3 \\ P_i = P/3 \end{cases} \quad d_{si} = d_{id} \end{cases} \quad (18)$$

(3)分集的 DF 模式的功率分配

由于式(14)的中断概率在两种不同的情况下表达式不相同, 首先分别获得两种情况下的最优功率分配, 然后获得两种情况下对应的中断概率, 中断概率小的那种功率分配即为 DF 模式下的最优功率。

在 $\bar{\gamma}_{id} = \bar{\gamma}_{sd}$ 时, 其对应的功率分配为

$$P_s = d_{sd}^\alpha P / (d_{sd}^\alpha + d_{id}^\alpha), \quad P_i = d_{id}^\alpha P / (d_{sd}^\alpha + d_{id}^\alpha) \quad (19)$$

在 $\bar{\gamma}_{id} \neq \bar{\gamma}_{sd}$ 时, 其对应的最优功率分配等价为解决如下的最优化问题:

$$\begin{cases} \min_{P_S, P_i} (1 - \exp[-(2^{2R} - 1)/\bar{\gamma}_{Si}]) \\ \quad \{ \bar{\gamma}_{iD} \exp[-(2^{2R} - 1)/\bar{\gamma}_{iD}] / (\bar{\gamma}_{iD} - \bar{\gamma}_{SD}) \\ \quad - \bar{\gamma}_{SD} \exp[-(2^{2R} - 1)/\bar{\gamma}_{SD}] / (\bar{\gamma}_{iD} - \bar{\gamma}_{SD}) \} \\ \text{s. t. } P_S + P_i = P \\ P_S > 0, P_i > 0 \end{cases} \quad (20)$$

由于式(20)中变量存在于指数项和分数项中,获得变量最优值的解析表达几乎不可得,因此需要对式(20)进行化简。SNR 足够大时,对式(20)中的指数项进行泰勒展开后的中断概率近似为

$$\begin{aligned} P_{out,i}^{DF,w} &\approx (2^{2R} - 1) / \bar{\gamma}_{Si} + \exp[-(2^{2R} - 1) / \bar{\gamma}_{Si}] \\ &\quad [(2^{2R} - 1)^2 / 2\bar{\gamma}_{SD}\bar{\gamma}_{iD}] \\ &\approx (2^{2R} - 1) / \bar{\gamma}_{Si} + [(2^{2R} - 1)^2 / 2\bar{\gamma}_{SD}\bar{\gamma}_{iD}] \end{aligned} \quad (21)$$

基于式(20)的约束条件,可得式(21)的最优解为

$$\begin{aligned} P_S &= \{ 2d_{Si}^\alpha P/N_0 + (2^{2R} - 1)d_{SD}^\alpha d_{iD}^\alpha - \\ &\quad \sqrt{2P(2^{2R} - 1)d_{Si}^\alpha d_{SD}^\alpha d_{iD}^\alpha / N_0 + [(2^{2R} - 1)d_{SD}^\alpha d_{iD}^\alpha]^2} \} \\ &\quad N_0 / 2d_{Si}^\alpha \\ P_i &= \{ \sqrt{2P(2^{2R} - 1)d_{Si}^\alpha d_{SD}^\alpha d_{iD}^\alpha / N_0 + [(2^{2R} - 1)d_{SD}^\alpha d_{iD}^\alpha]^2} \\ &\quad - (2^{2R} - 1)d_{SD}^\alpha d_{iD}^\alpha \} N_0 / 2d_{Si}^\alpha \end{aligned} \quad (22)$$

2.3 中继节点选择

在很多网络场景中,由于 GPS 或者一些距离估计方法的使用,在网络初始化的时候任意两个节点之间的距离都是可知的,距离很大程度上反映了信道状况或者功率消耗状况。对于节点位置相对不变或缓慢变化的情况,在节点间距离已知和系统总功率给定的情况,根据节点位置进行协作中继的选取可以有效地减小系统开销。在网络中任意两节点距离可知的情况下,根据第 2.2 节的研究可以获得给定传输模式下任意一个中继参与协作时其和源节点之间的统计最优功率分配,并获得相应的平均中断概率。因此在中继节点的选择上首先对每个候选中继执行统计最优功率分配,然后从候选中继中选择平均中断概率最小的中继作为协作中继,可以进一步降低系统的平均中断概率。

3 仿真与讨论

通过蒙特卡洛仿真来验证统计最优功率分配和节点选择对系统性能的影响。源节点、目的节点分别位于坐标为(0,0)和(1,0)的位置。系统容量目标值为 $R = 1 \text{bit}/(\text{s} \cdot \text{Hz})$,信道为单位带宽的 Rayleigh 衰落信道,路径衰减系数 $\alpha = 4$,噪声的功率谱密度 $N_0 = 1$,

系统的总发送功率为 P 。

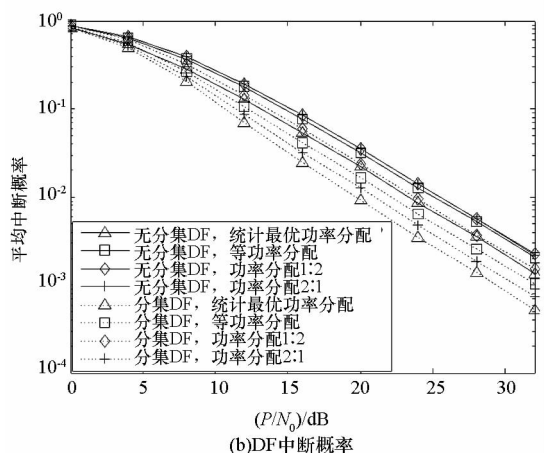
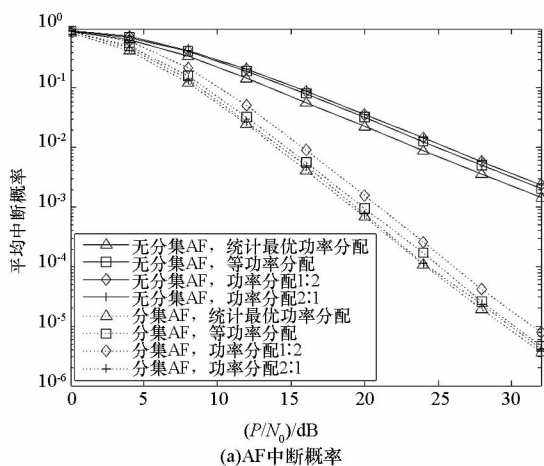


图 1 AF/DF 模式的统计最优、等功率、1:2、2:1 功率分配下的平均中断概率

Fig. 1 Average outage probabilities of AF/DF with statistically optimal, equal, 1:2 and 2:1 power allocation

图 1(a)、图 1(b)分别为单中继 AF 和 DF 模式在统计最优功率分配、等功率分配、1(源):2(中继)功率分配和 2(源):1(中继)功率分配下的平均中断概率。每次仿真中继随机分布在中心为(0.5,0)的单位平方区域。仿真结果观察到在整个仿真区间里,统计最优功率分配的性能优于其它几种功率分配,虽然 AF 和分集 DF 的统计最优功率分配是在高发送 SNR 下获得的,其也适用于在低发送 SNR。无分集 AF 和 DF 等功率分配的性能最接近统计最优功率分配的性能,在平均中断概率为 0.01 时,统计最优功率分配的无分集 AF 和 DF 相对于等功率分配约节省 2dB 的 SNR。分集的 AF 和 DF 下 2:1 的功率分配性能最接近统计最优的功率分配的性能,在平均中断概率为 0.001 时,AF 和 DF 的统计最优功率分配相对于 2:1 的功率分配分别节省了约 0.5dB 的 SNR 和 2dB 的 SNR。功率分配方法相同,AF 和 DF 有分集时的性能优于无分集的性能。对比图 1(a)和图 1(b)可以看到,分集 AF 和 DF 的分集阶数分别为 2 阶和 1 阶,这与式(12)和式(14)

相符。

图2为单中继位于源和目的连线的中间位置时的各种模式下统计最优功率分配的平均中断概率的仿真和理论值。从图中观察到整个仿真区间内,无分集的DF的仿真曲线与理论曲线吻合得很好,虽然无分集的AF和分集的DF模式下的统计最优功率分配是在高发送SNR下获得的,但其在低SNR的理论值与仿真值也基本吻合。分集AF模式下的统计最优功率分配的仿真值和理论值从发送SNR为10dB开始基本上都相差1dB的SNR,这是由于通过文献[12]得到的近似概率密度在求中断概率时积分区间会对其差产生影响,引起一个常数误差,因此可以通过对高SNR下AF有分集的概率密度乘以一个常数来进行修正。

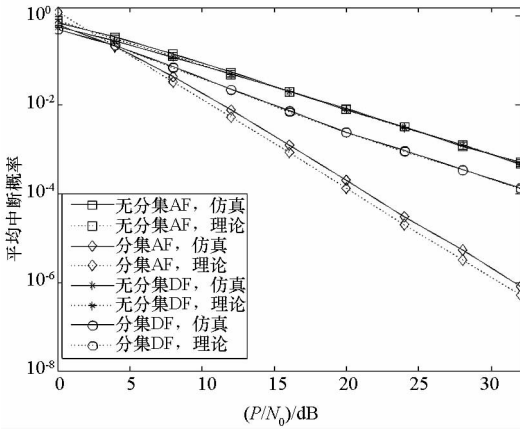


图2 AF/DF 平均中断概率的仿真值 vs. 理论值
Fig.2 The theoretical and emulational average outage probabilities of AF/DF

图3(a)、图3(b)分别仿真了总发送SNR为20dB,单中继下无分集的统计最优功率分配和等功率分配,分集的统计最优功率分配和2:1功率分配的平均中断概率随中继位置的关系(中继位于源和目的连线上),并给出各种模式下统计最优功率分配的理论曲线。从仿真结果可看出无分集模式下统计最优功率分配和等功率分配的性能中心对称,中继位于中间位置时两者的平均中断概率最低且相同,随中继节点偏离中间位置,性能差逐渐增加。分集AF、DF其统计最优功率分配的性能与2:1分配的性能在中继距源较近时差很小,但AF约从中间位置,DF从距源约0.4的位置开始,随中继靠近目的差值逐渐增大。统计最优功率分配下分集AF当中继在中间偏目的位置平均中断概率最低,文中中继距源约0.6。分集DF,当中继中间偏源位置时平均中断概率最低,本文中中继距源约0.3,当中继靠近目的时,分集DF的性能逐渐接近无分集的性能,这是因为源到中继的距离与到目的距

离趋于相同,此时系统性能主要由源到中继或源到目的链路中的某条决定。除分集AF,其他三种模式统计最优功率分配的理论曲线与仿真曲线几乎重合,但分集AF的理论曲线与仿真曲线的变化趋势基本一致,幅度差基本为常数,因此其并不影响统计最优功率的分配。

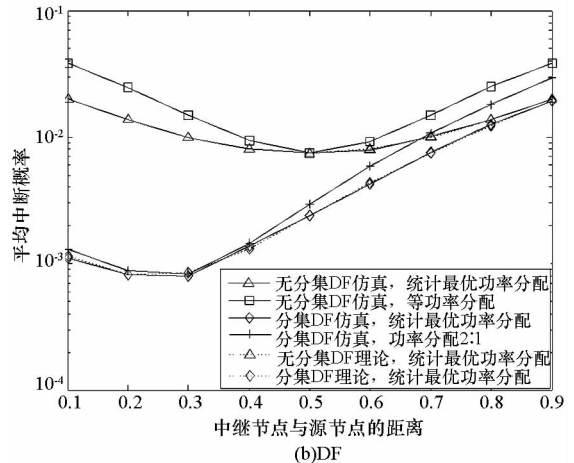
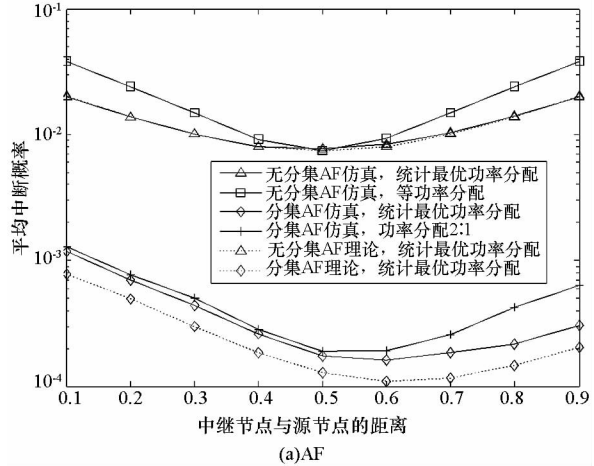


图3 AF/DF 平均中断概率 vs. 中继节点位置
Fig.3 Average outage probability of AF/DF vs. Position of relay

图4(a)、图4(b)分别给出了AF和DF的分集和无分集模式在统计最优功率分配下中继节点数分别为M=1,3,5的最佳中继选择下的平均中断概率。每次仿真,中继节点随机分布在中心为(0.5,0)的单位平方区域。从仿真结果可以看到,统计最佳中继选择相对于单中继传输虽然不能带来分集增益的提升,但改善了编码增益。平均中断概率为0.01时,3中继无分集AF和DF相对于单中继都能带来约2dB的SNR节省。平均中断概率为0.001时,3中继分集AF和DF相对于单中继分别带来约1.5dB和4dB的SNR节省。但随着中继节点数的继续增加,性能的提升下降,如平均中断概率为0.01时,5中继无分集AF和DF相对于3中继时只有约0.5dB的SNR节省。

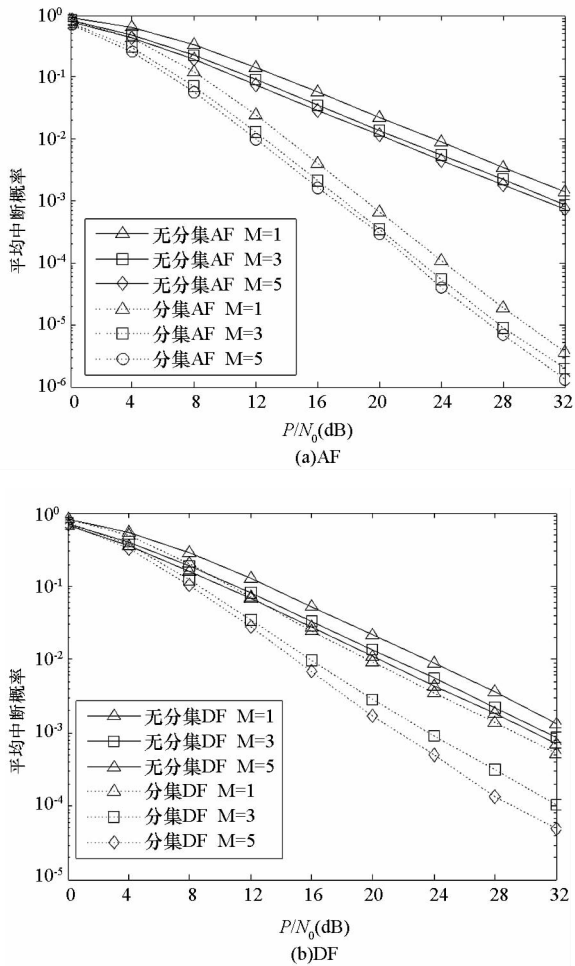


图 4 AF/DF 模式下的平均中断概率 vs. 中继节点数 $M=1,3,5$
 Fig. 4 Average outage probability of AF/DF vs. $M=1,3,5$

平均中断概率为 0.001 时,5 中继分集 AF 和 DF 相对于 3 中继分别约有 0.5dB 和 1.5dB 的 SNR 节省。由于中继节点数越多,系统的管理和调度越复杂,因此需要合理地选择中继节点数,以达到系统性能与复杂度的折中。

4 结论

本文对分集和无分集的 AF 与 DF 前传的协同系统平均中断概率进行了分析,并推导给出了由节点间相对距离和各个节点发送功率解析表达的平均中断概率。为了最小化平均中断概率,在

系统总功率的约束下,本文进一步推导了各种模式下的统计最优功率分配,并提出了依据节点间的相对距离和总发送功率的最佳中继节点选择。基于节点统计信息的最优功率分配和节点选择相比于基于即时信道的最佳中继选择策略,该策略实现简单,系统开销小,相对于固定功率分配和固定中继传输,其中断性能得到了显著改善。

参考文献:

- [1] 徐峰,岳殿武,严秋娜. 基于机会中继和最大比合并下的协作通信系统[J]. 通信学报,2009, 30(12):36-43.
- [2] Kurniawan E, Madhukumar A S, Chin F. Low Complexity Antenna Selection Scheme for Multiuser MIMO Broadcast Systems [C]//IEEE International Conference on Communications, June 2009: 1-5.
- [3] Sendonaris A, Erkip E, Aaxhang B. User Cooperation Diversity - Part I: System Description [J]. IEEE Wireless Communications, 2003, 51(11): 1927-1938.
- [4] Laneman J, Tse D, Wornell G. Cooperative Diversity in Wireless Networks: Efficient Protocols and Outage Behavior [J]. IEEE Trans on Inform Theory, 2004, 50(12): 3062-2080.
- [5] Bletsas A, Shin H, Win M Z. Cooperative Communications with Outage-optimal Opportunistic Relaying [J]. IEEE Trans on Wireless Communication, 2007, 6(9): 3450-3460.
- [6] Wang C L, Syue S J. An Efficient Relay Selection Protocol for Cooperative Wireless Sensor Networks [C]//IEEE Wireless Communication and Networking Conference, 2009: 1-5.
- [7] 林霏,罗涛,路安琼,等. 协同通信系统中基于遍历容量的近似最优功率分配[J]. 通信学报, 2009, 30(6): 26-32.
- [8] Hammerstrom I, Kuhn M, Wittneben A. Impact of Relay Gain Allocation on The Performance of Cooperative Diversity Networks [C]//IEEE Vehicular Technology Conference, 2004: 1815-1819.
- [9] Li Y, Wang W B, Kong G J. Power Allocation and Subcarrier Pairing in OFDM-based Relaying Networks [C]//IEEE International Conference on Communications, 2008: 2602-2606.
- [10] Annavajjala R, Cosman P C, Milstein L B. Statistical Channel Knowledge-Based Optimal Power Allocation for Relaying Protocols in The High SNR Regime [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2007, 25(2): 292-305.
- [11] Wang Z, Giannakis G. A Simple and General Parameterization Quantifying Performance in Fading Channels [J]. IEEE Trans on Commun, 2003, 51(8): 1389-1398.
- [12] Ribeiro A, Cai X, Giannakis G. Symbol Error Probabilities for General Cooperative Links [J]. IEEE Trans on Wireless Commun, 2005, 4(3): 1264-1273.