

# Rice 衰落信道下选择中继的性能 分析与功率分配算法

陈贤明<sup>1</sup> 蔡跃明<sup>1,2</sup> 蔡春晓<sup>1,2</sup> 杨炜伟<sup>1,2</sup>

(1. 解放军理工大学通信工程学院 南京 210007;

2. 东南大学移动通信国家重点实验室 南京 210096)

**摘要:** 本文针对无线传感器网络,研究了 Rice 衰落信道下基于选择中继的两跳译码转发系统的协同中继传输性能与功率分配算法。文中利用概率密度函数推导了选择中继协同传输的中断概率、误符号率的闭式表达式,并给出了高信噪比时的渐近性表达式;然后根据渐近性能进行源与中继节点间的功率优化,进一步提升系统传输性能;最后用蒙特卡洛仿真验证了结果的有效性。仿真结果显示,理论值与仿真结果基本一致,优化功率分配后的传输性能接近于搜索法得到的传输性能,但计算复杂度明显降低。

**关键词:** 无线传感器网络; Rice 衰落信道; 译码转发; 协同中继; 功率分配

**中图分类号:** TN911.2    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1003-0530(2011)03-0381-06

## Performance Analysis and Power Allocation Algorithm for Selective Relay Systems over Rice Fading Channels

CHEN Xian-ming<sup>1</sup> CAI Yue-ming<sup>1,2</sup> CAI Chun-xiao<sup>1,2</sup> YANG Wei-wei<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Communication Engineering, PLAUST, Nanjing 210007, China;

2. National Mobile Communications Research Laboratory, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** In this paper, we research on the transmission performance and power allocation algorithm for selective relay dual-hop decode-and-forward cooperative relaying systems over Rice fading channels in wireless sensor networks (WSNs). Firstly, we derive the closed-form expressions of the outage probability and average symbol error probability, and asymptotic expressions in the high Signal-to-Noise-Ratio regime. For increasing the transmission performance, then we propose an optimizing power allocation algorithm between the source node and the relay node according to the asymptotic performance. At last the Monte Carlo simulations are given to validate our analysis. The results show that the theoretical value is identical to the simulation value and the power allocation algorithm is close to the transmission performance of power searching method, but our algorithm can reduce the complexity of calculation obviously.

**Key words:** WSNs; Rice fading channels; decode-and-forward; cooperative relay; power allocation

### 1 引言

协同传输作为一种能够扩大传输范围、抵抗信道衰落及提高能量效率的新型技术,无线传感器网络是其重要的应用领域之一。目前在这方面的研究中,基本上都

假设协同传输信道为 Rayleigh 衰落信道<sup>[1-3]</sup>,而在实际应用中,许多情况更接近于 Rice 衰落信道<sup>[4][5]</sup>。本文针对无线传感器网络,研究两跳均为 Rice 衰落信道下译码转发(DF, Decode-and-Forward)中继系统的传输性能与优化功率分配问题。

收稿日期: 2010 年 10 月 19 日; 修回日期: 2010 年 12 月 30 日

基金项目: 国家自然科学基金(60972051, 61001107); 国家科技重大专项(2010ZX03006-002-04)和东南大学移动通信国家重点实验室开放研究基金(2010D09)资助课题

文献[6-8]研究了 Rice 衰落信道下放大转发 (AF, Amplify-and-Forward) 单中继系统的中断概率、误符号率及平均渐近误符号率性能。文献[9]研究了 Rice 衰落信道下 DF 单中继系统的中断概率性能,该模型中源节点到目的节点间存在直传链路。文献[10]研究了一般衰落信道下两跳 DF 单中继系统的中断概率。研究表明,通过中继节点选择可以提升系统的协同传输性能<sup>[11]</sup>,而以上文献的模型都没有考虑该问题。本文研究了 Rice 衰落信道下,采用中继节点选择后的两跳 DF 中继系统的传输性能,给出了中断概率、误符号率及其渐近性表达式,并基于渐近性能表达式进行优化功率分配,进一步提升系统传输性能。最后,通过仿真验证了所得结果的正确性。

文章后续部分安排如下:第2部分给出了系统模型,第3部分推导了中断概率、误符号率及其渐近性表达式,第4部分基于渐近性表达式进行了优化功率分配。最后给出了仿真结果和结论。

## 2 系统模型

系统由一个待发送数据的源节点 S、一个目的节点 D(簇头、基站或其它数据接收设备)和 L 个随机分布在源节点与目的节点之间的可选中继节点 ( $R_1, \dots, R_L, \dots, R_L$ ) 组成。我们假设:源节点与目的节点之间没有直传链路;源节点能够知道源到中继和中继到目的端之间的信道状态信息  $h_{SR_i}, h_{R_iD}$ ;符号间能保证同步。在数据传输过程中,为了节省系统的能量消耗,源节点利用  $h_{SR_i}, h_{R_iD}$  以比较简单的 MaxMin 准则<sup>[11]</sup> 选择一个中继节点,然后将数据发送到中继节点,中继节点进行译码后再以一定的功率转发给目的节点。系统模型如图 1 所示。

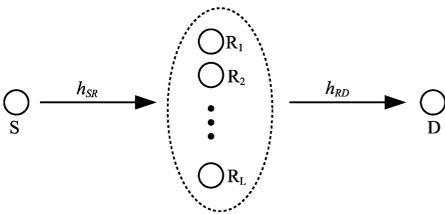


图1 系统模型

定义中继节点  $R_i$  接收到 S 信号的瞬时接收信噪比为  $\gamma_{SR_i} = |h_{SR_i}|^2 P_1 / N_0$ , 目的节点 D 接收到  $R_i$  的瞬时接收信噪比为  $\gamma_{R_iD} = |h_{R_iD}|^2 P_2 / N_0$ , 其中  $P_1, P_2$  为 S 和  $R_i$  的发射功率,  $N_0$  为噪声功率。相应的平均接收信噪比可以定义为  $\bar{\gamma}_{SR_i} = E\{|h_{SR_i}|^2\} P_1 / N_0, \bar{\gamma}_{R_iD} = E\{|h_{R_iD}|^2\} P_2 /$

$N_0$ 。假设  $E\{|h_{SD}|^2\} = 1$ , 则可得到  $E\{|h_{SR_i}|^2\} = (d_{SR_i})^{-\alpha}, E\{|h_{R_iD}|^2\} = (d_{R_iD})^{-\alpha}$ , 其中  $E(\cdot)$  为统计平均值,  $d_{SR_i}$  和  $d_{R_iD}$  为 S 到  $R_i$  及  $R_i$  到 D 之间的距离,  $\alpha$  为信道衰减因子。系统受总功率约束, 即  $P_1 + P_2 \leq P$ 。

该系统模型中, D 接收到 S 信号的瞬时信噪比可等效为:

$$\gamma_{eq_i} = \min\{\gamma_{SR_i}, \gamma_{R_iD}\} \quad (1)$$

源节点根据以下准则选择中继节点:

$$\gamma_{SC} = \max_{i=1 \dots L} \gamma_{eq_i} \quad (2)$$

信道模型为独立同分布的 Rice 衰落信道, 可得瞬时接收信噪比  $\gamma$  的概率分布函数 (CDF, Cumulative Distribution Function) 和概率密度函数 (PDF, Probability Distribution Function) 为:

$$F(\gamma) = 1 - Q_1(\sqrt{2K}, \sqrt{\frac{K(K+1)\gamma}{\bar{\gamma}}}) \quad (3)$$

$$f(\gamma) = \frac{(K+1)e^{-K}}{\bar{\gamma}} e^{-\frac{(K+1)\gamma}{\bar{\gamma}}} I_0(2\sqrt{\frac{K(K+1)\gamma}{\bar{\gamma}}}) \quad (4)$$

其中,  $Q_1(\cdot, \cdot)$  为马库姆 Q 函数,  $I_0(\cdot)$  为修正贝塞尔函数,  $K$  为 LOS 分量与散射分量的功率之比, 当  $K=0$  时, 即退化为 Rayleigh 衰落信道。

## 3 中断概率和误符号率性能分析

中断概率和误符号率 (SER, symbol error rate) 是系统传输性能的重要指标, 可以通过  $\gamma_{SC}$  的 PDF 和 CDF 来求解。本节对 S 和 R 等功率分配时的传输性能进行理论分析。

根据式(1)可得  $\gamma_{eq_i}$  的 CDF 为:

$$\begin{aligned} F_{\gamma_{eq_i}}(\gamma) &= 1 - P(\gamma_{SR_i} > \gamma) P(\gamma_{R_iD} > \gamma) \\ &= 1 - (1 - F_{SR_i}(\gamma))(1 - F_{R_iD}(\gamma)) \\ &= 1 - Q_1(\sqrt{2K_{SR_i}}, \sqrt{\frac{K_{SR_i}(K_{SR_i}+1)\gamma}{\bar{\gamma}_{SR_i}}}) \\ &\quad \times Q_1(\sqrt{2K_{R_iD}}, \sqrt{\frac{K_{R_iD}(K_{R_iD}+1)\gamma}{\bar{\gamma}_{R_iD}}}) \end{aligned} \quad (5)$$

由式(5)可以得到  $\gamma_{eq_i}$  的概率密度函数为:

$$\begin{aligned} P_{\gamma_{eq_i}}(\gamma) &= \frac{d(F_{\gamma_{eq_i}}(\gamma))}{d(\gamma)} \\ &= f_{SR_i}(\gamma) + f_{R_iD}(\gamma) - f_{SR_i}(\gamma) F_{R_iD}(\gamma) - f_{R_iD}(\gamma) F_{SR_i}(\gamma) \\ &= \frac{(K_{SR_i}+1)e^{-K_{SR_i}} e^{-\frac{(K_{SR_i}+1)\gamma}{\bar{\gamma}_{SR_i}}}}{\bar{\gamma}_{SR_i}} I_0(2\sqrt{\frac{K_{SR_i}(K_{SR_i}+1)\gamma}{\bar{\gamma}_{SR_i}}}) \\ &\quad + \frac{(K_{R_iD}+1)e^{-K_{R_iD}} e^{-\frac{(K_{R_iD}+1)\gamma}{\bar{\gamma}_{R_iD}}}}{\bar{\gamma}_{R_iD}} I_0(2\sqrt{\frac{K_{R_iD}(K_{R_iD}+1)\gamma}{\bar{\gamma}_{R_iD}}}) \end{aligned}$$

$$-\frac{(K_{SR_i}+1)e^{-K_{SR_i}}}{\bar{\gamma}_{SR_i}} e^{-\frac{(K_{SR_i}+1)\gamma}{\bar{\gamma}_{SR_i}}} I_0\left(2\sqrt{\frac{K_{SR_i}(K_{SR_i}+1)\gamma}{\bar{\gamma}_{SR_i}}}\right) \times (1-Q_1(\sqrt{2K_{SR_i}}, \sqrt{\frac{K_{SR_i}(K_{SR_i}+1)\gamma}{\bar{\gamma}_{SR_i}}})) \quad (6)$$

由式(2)(5)(6)可得  $\gamma_{SC}$  的 CDF:

$$F_{\gamma_{SC}}(\gamma) = \prod_{i=1}^L P(\gamma_{eq_i} < \gamma) = \prod_{i=1}^L F_{\gamma_{eq_i}}(\gamma) \quad (7)$$

由此可以得到  $\gamma_{SC}$  的 PDF 为:

$$p_{SC}(\gamma) = \frac{d}{d\gamma} F_{\gamma_{SC}}(\gamma) = \sum_{i=1}^L p_{\gamma_{eq_i}}(\gamma) \prod_{i=1, i \neq i}^L F_{\gamma_{eq_i}}(\gamma) \quad (8)$$

### 3.1 理论分析性能

中断概率可以定义为目的端接收信噪比低于一个门限值  $\gamma_{th}$  时的概率,由式(5)、(7)可得系统的中断概率为:

$$P_{out} = F_{\gamma_{SC}}(\gamma_{th}) = \prod_{i=1}^L P(\gamma_{eq_i} < \gamma_{th}) = \prod_{i=1}^L \left( 1 - Q_1\left(\sqrt{2K_{SR_i}}, \sqrt{\frac{K_{SR_i}(K_{SR_i}+1)\gamma_{th}}{\bar{\gamma}_{SR_i}}}\right) \times Q_1\left(\sqrt{2K_{RD}}, \sqrt{\frac{K_{RD}(K_{RD}+1)\gamma_{th}}{\bar{\gamma}_{RD}}}\right) \right) \quad (9)$$

系统的误符号率可以表示为<sup>[12]</sup>:

$$P_s(e) = \int_0^{\infty} P_s(e|\gamma) p_{SC}(\gamma) d\gamma \quad (10)$$

其中  $P_s(e|\gamma)$  为误符号率的条件概率密度函数,具体为:

$$P_s(e|\gamma) = Q(\sqrt{g\gamma}) \quad (11)$$

$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2/2} dt$  是  $Q$  函数,  $g$  为调制系数,如 M-BPSK

调制方式时,  $g_{MPSK} = 2\sin^2(\frac{\pi}{M})$ , QAM 调制方式时,  $g_{QAM}$

$$= \frac{3}{M-1}。$$

### 3.2 渐近性能

前面给出了中断概率和误符号率的闭式表达式,但式中的积分难以计算,下面研究在高信噪比条件下的渐近性能。同文献[12]的方法,设  $\gamma_z = \beta_z \bar{\gamma}_z$ , 其中  $\beta_z = |h_z|^2/E\{|h_z|^2\}$ ,  $z \in \{SR_i, RD\}$ 。在高接收信噪比( $\beta \rightarrow 0^+$ )时, Rice 衰落信道下  $\beta_z$  的 PDF  $p(\beta_z)$  可近似为:

$$p_{\beta_z}(\beta) = (1+K)e^{-K\beta} + o(\beta) \quad (12)$$

由于  $F_{\beta_z}(\beta) = p(\beta_z < \beta) = (1+K)e^{-K\beta} + o(\beta)$ , 可得:

$$F_{\gamma_z}(\gamma) = p(\gamma_z < \gamma) \approx (1+K)e^{-K(\frac{\gamma}{\bar{\gamma}_z})} + o(\gamma) \quad (13)$$

将式(13)代入式(5),得到  $\gamma_{eq_i}$  的近似 CDF  $F'_{\gamma_{eq_i}}(\gamma)$ :

$$F'_{\gamma_{eq_i}}(\gamma) \approx 1 - \left(1 - \frac{(1+K_{SR_i})e^{-K_{SR_i}\gamma} + o(\gamma)}{\bar{\gamma}_{SR_i}}\right) \times \left(1 - \frac{(1+K_{RD})e^{-K_{RD}\gamma} + o(\gamma)}{\bar{\gamma}_{RD}}\right) = \frac{(1+K_{SR_i})e^{-K_{SR_i}\gamma}}{\bar{\gamma}_{SR_i}} + \frac{(1+K_{RD})e^{-K_{RD}\gamma}}{\bar{\gamma}_{RD}} + o(\gamma) \quad (14)$$

同理,由式(7)和(14)可以得到:

$$F'_{\gamma_{SC}}(\gamma) \approx \prod_{i=1}^L \left\{ \frac{(1+K_{SR_i})e^{-K_{SR_i}\gamma}}{\bar{\gamma}_{SR_i}} + \frac{(1+K_{RD})e^{-K_{RD}\gamma}}{\bar{\gamma}_{RD}} \right\} \quad (15)$$

由式(15)可得到中断概率的渐近表达式和  $\gamma_{SC}$  的 PDF:

$$P_{out} \approx P'_{out} = F'_{\gamma_{SC}}(\gamma_{th}) = \prod_{i=1}^L \left\{ \frac{(1+K_{SR_i})e^{-K_{SR_i}\gamma_{th}}}{\bar{\gamma}_{SR_i}} + \frac{(1+K_{RD})e^{-K_{RD}\gamma_{th}}}{\bar{\gamma}_{RD}} \right\} \quad (16)$$

$$p_{SC}(\gamma) \approx \frac{d\{F'_{\gamma_{SC}}(\gamma)\}}{d\gamma} = \sum_{i=1}^L \left( (1+K_{SR_i})e^{-K_{SR_i}\gamma} \frac{1}{\bar{\gamma}_{SR_i}} + (1+K_{RD})e^{-K_{RD}\gamma} \frac{1}{\bar{\gamma}_{RD}} \right) \times \prod_{i=1, i \neq i}^L \left\{ \frac{(1+K_{SR_i})e^{-K_{SR_i}\gamma}}{\bar{\gamma}_{SR_i}} + \frac{(1+K_{RD})e^{-K_{RD}\gamma}}{\bar{\gamma}_{RD}} \right\} \quad (17)$$

对于任意  $n < L-1$ , 根据文献[12]可得到渐近误符号率为:

$$P_s(e) \approx \frac{\prod_{l=1}^{n+1} (2l-1)}{2(n+1)g^{n+1}(n)!} \frac{\partial^n p_{SC}(0)}{\partial \gamma^n} \quad (18)$$

其中  $\frac{\partial^n p_{SC}(0)}{\partial \gamma^n} = \frac{\partial^n p_{SC}(\gamma)}{\partial \gamma^n} \Big|_{\gamma=0}$ , 具体如下:

$$\frac{\partial^{L-1} p_{SC}(0)}{\partial \gamma^{L-1}} \approx (L-1)! L \prod_{i=1}^L \left\{ (1+K_{SR_i})e^{-K_{SR_i}(\frac{1}{\bar{\gamma}_{SR_i}})} + (1+K_{RD})e^{-K_{RD}(\frac{1}{\bar{\gamma}_{RD}})} \right\} \quad (19)$$

将式(19)代入式(18)可得误符号率的渐近表达式为:

$$P_S'(e) \approx P_S'(e) = \frac{\prod_{l=1}^L (2l-1)L}{2Lg^L} \times \prod_{l=1}^L \left\{ (1+K_{SR_l}) e^{-K_{SR_l}} \left( \frac{1}{\bar{\gamma}_{SR_l}} \right) + (1+K_{R,D}) e^{-K_{R,D}} \left( \frac{1}{\bar{\gamma}_{R,D}} \right) \right\} \quad (20)$$

#### 4 功率分配优化

利用闭式解进行功率分配很难用常规的优化方法来解决,本文通过渐近性能来求近似最优解的办法,结合上一节的性能分析,功率优化问题可以表示为:

$$\min_{\substack{P_1, P_2, P_3 = P \\ 0 < P_i < P}} \left\{ P_{out}' = \prod_{l=1}^L \left\{ \frac{(1+K_{SR_l}) e^{-K_{SR_l}} \gamma_{th}}{\bar{\gamma}_{SR_l}} + \frac{(1+K_{R,D}) e^{-K_{R,D}} \gamma_{th}}{\bar{\gamma}_{R,D}} \right\} \right\} \quad (21)$$

$$\min_{\substack{P_1, P_2, P_3 = P \\ 0 < P_i < P}} \left\{ P_S'(e) = \frac{\prod_{l=1}^L (2l-1)}{2Lg^L} \times \prod_{l=1}^L \left\{ (1+K_{SR_l}) e^{-K_{SR_l}} \left( \frac{1}{\bar{\gamma}_{SR_l}} \right) + (1+K_{R,D}) e^{-K_{R,D}} \left( \frac{1}{\bar{\gamma}_{R,D}} \right) \right\} \right\} \quad (22)$$

将  $\bar{\gamma}_{SR_l} = \frac{P_1}{N_0} E \{ |h_{SR_l}|^2 \}$ ,  $\bar{\gamma}_{R,D} = \frac{P-P_1}{N_0} E \{ |h_{R,D}|^2 \}$  和  $P_1 =$

$xP$  代入式(21)(22)可得:

$$P_1 \approx P' = \frac{\left\{ \sum_{l=1}^L (1+K_{SR_l}) e^{-K_{SR_l}} \frac{N_0}{E \{ |h_{SR_l}|^2 \}} \right\}^{0.5} P}{\left\{ \sum_{l=1}^L (1+K_{SR_l}) e^{-K_{SR_l}} \frac{N_0}{E \{ |h_{SR_l}|^2 \}} \right\}^{0.5} + \left\{ \sum_{l=1}^L (1+K_{R,D}) e^{-K_{R,D}} \frac{N_0}{E \{ |h_{R,D}|^2 \}} \right\}^{0.5}} \quad (26)$$

文中功率分配算法的物理意义可以理解为将系统的功率优化问题描述成最小化中断概率和误符号率的功率约束问题。在分析过程中,将最小化中断概率和误符号率的功率约束问题简化为式(25),即通过中断概率和误符号率的渐近性能来简化分析方法,然后可求得功率分配式子(26)。在实际的应用场景中,节点间可以通过信道估计求得相互间的  $K$  值(例如:通过发送扩频训练序列来估算不同路径的幅度和相位),在协同中继传输时,  $S$  根据与  $R_l$  及  $R_l$  与  $D$  之间的信道状态信息按照式(26)求得自己的发射功率,然后在与  $R$  交互过程中告知其发射功率值。

#### 5 仿真结果与分析

为了验证本文的理论结果,下面通过蒙特卡洛仿真进行实验。仿真参数设置为:路径损耗因子  $\alpha=3$ ;接收信噪比门限  $\gamma_{th}$  取 3;仿真中信噪比定为  $0.5P/N_0$ ,且取  $N_0=1$ ;信号采用 BPSK 调制;设  $K=2$ ;中继节点分别

$$\min_{\substack{P_1, P_2, P_3 = P \\ 0 < P_i < P}} \left\{ P_{out}' = \prod_{l=1}^L \left\{ \frac{\gamma_{th}}{P} \left( (1+K_{SR_l}) e^{-K_{SR_l}} \left( \frac{N_0}{xE \{ |h_{SR_l}|^2 \}} \right) + (1+K_{R,D}) e^{-K_{R,D}} \left( \frac{N_0}{(1-x)E \{ |h_{R,D}|^2 \}} \right) \right\} \right\} \quad (23)$$

$$\min_{\substack{P_1, P_2, P_3 = P \\ 0 < P_i < P}} \left\{ P_S'(e) = \prod_{l=1}^L \left\{ \frac{1}{P} \left[ (1+K_{SR_l}) e^{-K_{SR_l}} \left( \frac{N_0}{xE \{ |h_{SR_l}|^2 \}} + (1+K_{R,D}) e^{-K_{R,D}} \left( \frac{N_0}{(1-x)E \{ |h_{R,D}|^2 \}} \right) \right] \right\} \right\} \quad (24)$$

由此可以得到功率优化表达式为:

$$\min_{\substack{P_1, P_2, P_3 = P \\ 0 < P_i < P}} \left\{ P_{outS}(x) = \prod_{l=1}^L \left\{ \left[ (1+K_{SR_l}) e^{-K_{SR_l}} \left( \frac{N_0}{xE \{ |h_{SR_l}|^2 \}} + (1+K_{R,D}) e^{-K_{R,D}} \left( \frac{N_0}{(1-x)E \{ |h_{R,D}|^2 \}} \right) \right] \right\} \right\} \quad (25)$$

可以证明式(25)是凸函数,因此可以得到功率  $P_1$  的近似解为(式 26):

将求得的近似最优功率值代入中断概率和误符号率表达式,即可求得相应的最优近似解。

为 1 至 3 个。

图 2、3 给出了等功率分配下,不同候选中继节点数( $L=1,3$ )时信噪比与中断概率、误符号率之间的仿真图。从图中可以看出,理论值与仿真值基本一致,验证了本文的理论分析和误符号率公式推导是正确的;中断概率、误符号率及其渐近性能都随着信噪比的增加而下降,且随着中继节点的增加而降低。

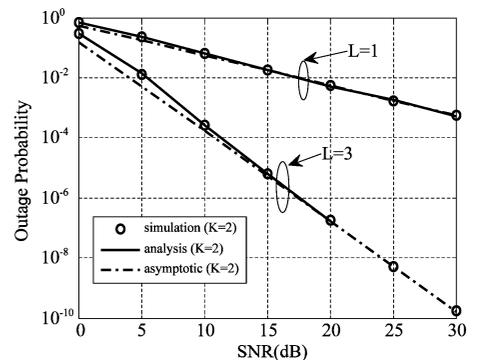


图2 等功率分配时中断概率与信噪比的关系图

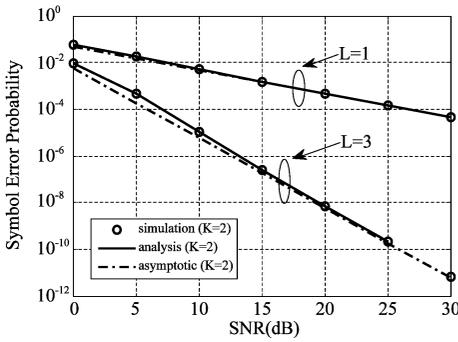


图 3 等功率分配时误符号率与信噪比的关系图

图 4、5 给出了  $L=2$  时, 三种方案的中断概率、误符号率与信噪比的仿真关系图。第一种是平均功率分配 (equal) 算法; 第二种为本文提出的最优渐近功率分配算法 (optimal); 第三种是搜索法 (search)。从图中可以看出, 通过优化功率分配后的传输性能明显优于等功率分配性能, 接近搜索法性能。搜索法可获得较好的性能, 但计算量为优化功率分配法的

$$\left\lfloor \frac{P_{S_{max}} - P_{S_{min}} - P_{step}}{P_{step}} \right\rfloor$$

倍, 其中  $P_{S_{max}}$ 、 $P_{S_{min}}$  为源节点的最大、最小发射功率,  $P_{step}$  为搜索步长,  $\lfloor \cdot \rfloor$  表示向下取整。本文仿真中采用源节点的发射功率  $P_i$  从  $0.01P$  到  $0.99P$  依次进行计算比较, 找出最优功率点的性能, 计算量要比功率分配法大 99 倍以上, 在实际系统中还需要考虑交互能耗, 这对能量受限的 WSN 来说有着更现实的意义。

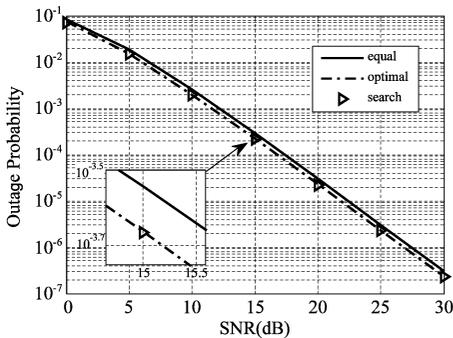


图 4 功率优化后中断概率与信噪比的关系图 ( $L=2$ )

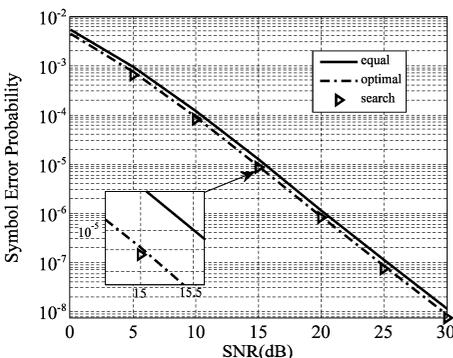


图 5 功率优化后误符号率与信噪比的关系图 ( $L=2$ )

## 6 结论

本文针对无线传感器网络, 研究了 Rice 衰落信道下两跳 DF 协同中继系统的传输性能。文章首先推导了基于中继选择的中断概率、误符号率及其渐近性能的闭式表达式, 然后根据渐近性能进行功率分配优化, 最后用蒙特卡洛仿真验证了结果的有效性。仿真结果显示, 理论与仿真值基本一致, 采用优化功率分配法获得了接近搜索法的传输性能, 但计算复杂度明显降低, 便于实际应用。在以后的工作中, 将进一步研究在不同的中继节点选择方法和不同传输协议时的中继传输性能。

## 参考文献

- [1] Z. Zhou, S. L. Zhou, J. H. Cui, and S. G. Cui. Energy-Efficient Cooperative Communication Based on Power Control and Selective Single-Relay in Wireless Sensor Networks [J]. IEEE Trans. On Wireless Comm., Aug. 2008, vol. 7, no. 8, pp. 3066-3078.
- [2] J. Azizollah, N. K. Masoumeh. Performance Analysis of Transmitter-Sider Cooperation-Receiver-Side-Relaying Schemes for Heterogeneous Sensor Networks [J]. IEEE Trans. On Veh. Tech., May. 2008, vol. 57, no. 3, pp. 1548-1563.
- [3] A. d. Coso et al., Cooperative Distributed MIMO Channels in Wireless Sensor Networks [J]. IEEE Jour. on Selected Areas in Communications, Feb. 2007, vol. 25, no. 2, pp. 402-414.
- [4] I. Ahmed, M. Peng and W. Wang. Optimal Number of Energy Efficient Cooperative Nodes Selection in Wireless Sensor Networks-In Ricean Fading Environment [C]. WiCOM 2007, pp. 2384-2387, Sept. Shanghai, China.
- [5] S. Wyne, P. Singn, F. Tufvesson, et al., A Statistical Model for Indoor Office Wireless Sensor Channels [J]. IEEE Trans. On Wireless Comm., Aug. 2009, vol. 8, no. 8, pp. 4154-4164.
- [6] B. Maham, H. Are. Performance Analysis of Amplify-and-Forward Opportunistic Relaying in Rician Fading [J]. IEEE Signal Processing Let., Aug. 2009, vol. 16, no. 8, pp. 643-646.

- [7] W. Limpakom, Y. D. Yao and H. Man. Outage Probability Analysis of Wireless Relay and Cooperative Networks in Rician Fading Channels with Different K-Factors [C]. VTC Spring 2009, pp, 1-5, April, Barcelona, Spain.
- [8] H. Ding, J. Ge and Z. Jiang. Asymptotic Performance Analysis of Amplify-and-Forward with Partial Relay Selection in Rician Fading [J]. Electronics Let., Feb. 2010, vol. 46, no. 3, 4<sup>th</sup>.
- [9] Y. Zhu, Y. Xin, and P. Y. Kam. Outage Probability of Rician Fading Relay Channels [J]. IEEE Trans. On Veh. Tech., July 2008, vol. 57, no. 4, pp. 2648-2652.
- [10] W. G. Li, M. Chen. Outage Capacity of Dual-hop Decode-and-forward Relaying System over Generalized Fading Channels [C]. ICFCC 2010, Vol. 3, pp. 827-831, Wuhan, China.
- [11] A. Bletsas, A. Khitsi, et al.,. A Simple Cooperative Diversity Method Based on Network Path Selection [J]. IEEE Jour. on Selected Areas in Communications, Mar. 2006, vol. 24, no. 3, pp. 659-672.
- [12] M. K. Simon and M. S. Alouini. Digital Communication over Fading Channels: A Unified Approach to Performance Analysis [M]. New York, NY: Wiley, 2000.

## 作者简介



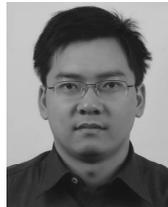
陈贤明(1970-),男,工程师,解放军理工大学通信工程学院在职博士研究生,主要研究方向:无线传感器网络、协同通信等。



蔡跃明(1961-)男,解放军理工大学通信工程学院教授,博士生导师,主要研究方向:移动通信、信号处理、无线传感器网络等。



蔡春晓(1985-),男,解放军理工大学通信工程学院在读博士研究生,主要研究方向:协同通信、无线资源管理等。



杨炜伟(1981-),男,解放军理工大学通信工程学院讲师,主要研究方向:协同通信、信号处理、无线传感器网络等。