

无线协作网络中存在干扰时的中继选择协议

司江勃, 李赞, 刘增基

(西安电子科技大学综合业务网国家重点实验室)

摘要: 针对无线协作网络中共道干扰影响中继选择的问题, 提出一种存在干扰的中继选择协议(RSI). 该协议以最小化系统中断概率为目标, 选择具有最大瞬时端到端信干比的中继节点转发源节点信息, 并且在考虑直接传输时, 目的节点采用选择合并策略合并直接传输和中继传输, 从而充分利用空间分集增益, 降低了系统的中断概率. RSI协议不需要中继节点之间交互信息, 通过竞争的方式完成数据传输, 节省了系统开销, 具有较好的实用性. 仿真结果表明, 在瑞利信道中, 当中继节点个数为4、中断概率为 10^{-2} 时, 与最大最小中继选择协议相比, RSI协议能够取得约3~4 dB的信噪比增益.

关键词: 无线协作网络; 干扰; 中断概率; 中继选择

中图分类号: TN925 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2010)02-0072-05

Relay Selection Protocol for Cooperative Wireless Networks with Interference

SI Jiangbo, LI Zan, LIU Zengji

(State Key Lab of Integrated Services Networks, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: A relay selection protocol with interference (RSI) is proposed to solve the problem that co-channel interferences affect the relay selection in cooperative wireless networks. The protocol minimizes the system outage probability, and selects the relay with maximum instantaneous end-to-end signal to interference and noise ratio to forward the source message. Moreover, the selection combining scheme is deployed at the destination to combine the direct transmission and relay transmission when the direct transmission is taken into account. This strategy can make full use of space diversity and decrease the system outage probability. Compared with the existing relay selection protocols, the proposed protocol does not need any information exchange between any two relays, and the data transmission is completed by competition. Thus, the proposed protocol has a low system cost and good practicability. Simulation results and comparisons with the max-min relay selection protocol show that when the number of relays is 4 and the outage probability is 10^{-2} , the proposed protocol achieves about 3~4 dB signal to noise ratio gain in Rayleigh fading channels.

Keywords: cooperative wireless network; interference; outage probability; relay selection

协作通信作为一种空间分集技术, 能够提升信道容量, 引起了广泛关注^[1]. 当有多个中继节点存在时, 选择合适的中继节点对协作传输的性能有重要的影响. 文献[2]分析了解码中继(DF)情况下协作

传输的中断概率, 其中所有正确接收源节点信息的中继节点都参与中继传输. 为了避免错误传递, 文献[3-4]提出了一种基于门限的中继选择协议. 在该协议中, 只有接收信噪比(SNR)大于某一门限的中继

节点才能参与协作传输. 考虑到多个中继需要额外的资源, 并且会增加接收机的复杂度, Bletsas 等人^[5-6]提出一种简单的最大最小协议选择单个中继节点传输信息, 并且分别讨论了放大中继 (AF) 和 DF 情况下该协议在瑞利信道中的中断概率. 文献^[7]分析了 Nakagami- m 信道中机会中继选择协议的性能.

然而, 上述所有的中继选择协议都没有考虑干扰对中继选择的影响, 文献^[8]给出了存在干扰时的中继选择协议, 并且推导了该协议在独立同分布瑞利信道中的中断概率, 但是仅仅考虑了干扰对中继节点的影响. 本文针对干扰对中继节点和目的节点都产生影响的情况, 提出一种存在干扰的中继选择协议 (RSI), 选择具有最大瞬时端到端信干比 (SINR) 的中继节点转发源节点信息, 并分别推导了存在一个干扰源节点和同时存在一个干扰源节点、一个干扰中继节点时该协议的中断概率.

1 系统模型

考虑一个无线协作通信网络, 其中包括 2 个应用同一段频谱资源的相邻通信小区 A 和 B. 小区中每个节点都安装了一个全向天线, 工作在半双工模式, 即不能同时发送和接收, 并且所有节点都采用固定的发送功率 $P=1$, 系统模型如图 1 所示. 在小区 A 中, 源节点 S_A 要从中继节点集合 $R = \{R_1, R_2, \dots, R_N\}$ 中选择一个中继节点发送信息到目的节点 D_A . 在小区 B 中, 源节点 S_B 通过中继节点 R_B 传输信息到目的节点 D_B .

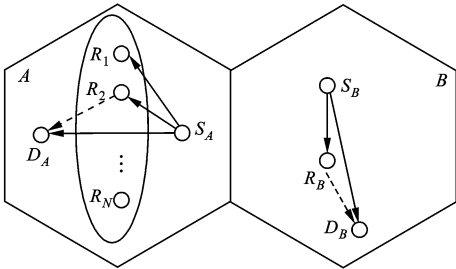


图1 无线协作网络的系统模型

在中继传输中, 中继节点采用 DF 协议和时分的方式发送和接收信息. 在第 1 个时隙源节点 S_A 发送信息, 则在中继节点 R_k ($1 \leq k \leq N$) 和目的节点 D_A 的接收信号分别为

$$y_{S_A, R_k} = P^{1/2} h_{S_A, R_k} x_{S_A} + n_{R_k} + P^{1/2} h_{S_B, R_k} x_{S_B} \quad (1)$$

$$y_{S_A, D_A} = P^{1/2} h_{S_A, D_A} x_{S_A} + n_{D_A} + P^{1/2} h_{S_B, D_A} x_{S_B} \quad (2)$$

式中: n_{R_k} 和 n_{D_A} 分别表示中继节点 R_k 和目的节点 D_A 的背景噪声, 为独立的 0 均值、功率 $N_0=1$ 的加性高斯白噪声; $h_{i,j}$ 表示节点 i 与节点 j 之间的信道衰减系数, 服从独立的均值为 0、方差为 $\sigma_{i,j}^2/2$ 的复高斯分布; x_{S_A} 和 x_{S_B} 分别表示从源节点 S_A 和 S_B 发出的平均能量为 1 的信息. 如果中继节点 R_k 能够正确接收信息, 则在第 2 个时隙传输源节点信息, 此时目的节点 D_A 的接收信号为

$$y_{R_k, D_A} = P^{1/2} h_{R_k, D_A} x_{S_A} + n_{D_A} + P^{1/2} h_{R_B, D_A} x_{S_B} \quad (3)$$

在上面的分析中, 假设源节点 S_A 与 S_B 发送信息完全同步, 中继节点 R_k 与 R_B 发送信息也完全同步.

2 中继协议分析

2.1 源节点 S_B 产生干扰

如果源节点 S_B 直接传输信息到目的节点 D_B , 则只有源节点 S_B 产生干扰. 此时, 中继传输在中继节点 R_k 和目的节点的 SINR 分别为

$$\rho_{S_A, R_k} = \frac{P |h_{S_A, R_k}|^2}{P |h_{S_B, R_k}|^2 + N_0} = \frac{\gamma_{S_A, R_k}}{\gamma_{S_B, R_k} + 1} \quad (4)$$

$$\rho_{R_k, D_A} = \frac{P |h_{R_k, D_A}|^2}{P |h_{S_B, D_A}|^2 + N_0} = \frac{\gamma_{R_k, D_A}}{\gamma_{S_B, D_A} + 1} \quad (5)$$

式中: $\gamma_{i,j}$ 表示节点 i 与节点 j 之间的 SINR, 服从均值为 $\sigma_{i,j}^2$ 的指数分布. 由此, 在基于 DF 协议的时分协作传输中, 信道容量表示为

$$C = \frac{1}{2} W \min(\ln(1 + \rho_{S_A, R_k}), \ln(1 + \rho_{R_k, D_A})) \quad (6)$$

式中: W 表示信号带宽. 为了最小化系统中断概率, RSI 协议选择的中继节点为

$$\hat{k} = \arg \max_{k \in R} \min(\rho_{S_A, R_k}, \rho_{R_k, D_A}) \quad (7)$$

按照式 (7) 选择中继节点后, 中继传输瞬时端到端的 SINR 表示为

$$\gamma = \max_{k \in R} \min(\rho_{S_A, R_k}, \rho_{R_k, D_A}) \quad (8)$$

由此, 当给定 $\bar{\gamma}_{S_B, D_A} = \gamma_{S_B, D_A} + 1$ 时, RSI 协议的条件中断概率表示为

$$P(\gamma \leq \gamma_{th} | \bar{\gamma}_{S_B, D_A}) = \prod_{k=1}^N [1 - (1 - P(\rho_{S_A, R_k} \leq \gamma_{th})) \cdot (1 - P(\gamma_{R_k, D_A} \leq \bar{\gamma}_{S_B, D_A} \gamma_{th}))] \quad (9)$$

式中: $\gamma_{th} = 2^{2R/W} - 1$, R 表示传输速率; $P(\rho_{S_A, R_k} \leq \gamma_{th})$ 和 $P(\rho_{R_k, D_A} \leq \gamma_{th})$ 分别表示 ρ_{S_A, R_k} 和 ρ_{R_k, D_A} 小于等于 γ_{th} 的概率. 在瑞利信道中, 由于源节点 S_B 到中继节点 R_k 的信噪比 γ_{S_B, R_k} 服从均值为 σ_{S_B, R_k}^2 的指数

分布,则 $Y = \gamma_{S_B, R_k} + 1$ 的概率密度函数表示为

$$f_Y(y) = \frac{1}{\sigma_{S_B, R_k}^2} \exp\left(-\frac{y-1}{\sigma_{S_B, R_k}^2}\right) \quad (10)$$

由此, $\rho_{S_A, R_k} = \gamma_{S_A, R_k} / Y \leq \gamma_{th}$ 的概率表示为

$$P(\rho_{S_A, R_k} \leq \gamma_{th}) = \int_1^\infty \int_0^{\gamma_{th}} y f_{\gamma_{S_A, R_k}}(uy) f_Y(y) dy dy = 1 - a_{R_k} \quad (11)$$

式中: $f_{\gamma_{S_A, R_k}}(\cdot)$ 表示 γ_{S_A, R_k} 的概率密度函数; $a_{R_k} =$

$\sigma_{S_A, R_k}^2 \exp\left(\frac{-\gamma_{th}}{\sigma_{S_A, R_k}^2}\right) / (\sigma_{S_B, R_k}^2 \gamma_{th} + \sigma_{S_A, R_k}^2)$. 将式(11)带入

式(9),并对 $\bar{\gamma}_{S_B, D_A}$ 在 1 到 ∞ 的区间上积分,则可得 RSI 协议的中断概率

$$P_{out} = \int_1^\infty f_{\bar{\gamma}_{S_B, D_A}}(\bar{\gamma}_{S_B, D_A}) P(\gamma \leq \gamma_{th} | \bar{\gamma}_{S_B, D_A}) d\bar{\gamma}_{S_B, D_A} = 1 + \sum_{n=1}^N (-1)^n \sum_{U \subseteq R} \prod_{q=1}^n a_{u(q)} \cdot \left(1 / \left(\sum_{q=1}^n \frac{\gamma_{th} \sigma_{S_B, D_A}^2}{\sigma_{u(q), D_A}^2} + 1\right)\right) \exp\left(-\sum_{q=1}^n \frac{\gamma_{th}}{\sigma_{u(q), D_A}^2}\right) \quad (12)$$

式中: $a_{u(q)} = \sigma_{S_A, u(q)}^2 \exp\left(-\frac{\gamma_{th}}{\sigma_{S_A, u(q)}^2}\right) / (\sigma_{S_B, u(q)}^2 \gamma_{th} +$

$\sigma_{S_A, u(q)}^2)$; $U = [u(1), \dots, u(n)]$ 表示从中继节点集合 R 中取出 n 个中继节点的一种组合. 另外,如果考虑直接传输,则直接传输在目的节点 D_A 的 SINR 为

$$\rho_{S_A, D_A} = \frac{P |h_{S_A, D_A}|^2}{P |h_{S_B, D_A}|^2 + N_0} = \frac{\gamma_{S_A, D_A}}{\gamma_{S_B, D_A} + 1} \quad (13)$$

由此,直接传输的信道容量为

$$C = W \log(1 + \rho_{S_A, D_A}) \quad (14)$$

比较式(6)和式(14)可以发现,直接传输仅需要 1 个时隙,由此令 $\gamma'_{th} = 2^{R/W} - 1$. 类似于式(11), $\rho_{S_A, D_A} \leq \gamma'_{th}$ 的概率为

$$P(\rho_{S_A, D_A} \leq \gamma'_{th}) = 1 - \frac{\sigma_{S_A, D_A}^2}{\sigma_{S_B, D_A}^2 \gamma'_{th} + \sigma_{S_A, D_A}^2} \exp\left(-\frac{\gamma'_{th}}{\sigma_{S_A, D_A}^2}\right) \quad (15)$$

由此,在目的节点采用选择合并(SC)策略合并直接传输和中继传输后,RSI 协议的中断概率表示为

$$P_{out_SC} = P(\rho_{S_A, D_A} \leq \gamma'_{th}) P_{out} \quad (16)$$

将式(12)和式(15)代入式(16),则可得目的节点采用 SC 时 RSI 协议的中断概率.

2.2 源节点 S_B 和中继节点 R_B 都产生干扰

如果源节点 S_B 通过中继节点 R_B 发送信息,并且源节点 S_B 与 S_A 同步发送,中继节点 R_B 与 R_k 也

是同步发送,则 RSI 协议选择的中继节点为

$$\hat{k} = \arg \max_{k \in R} \min\left(\frac{\gamma_{S_A, R_k}}{\gamma_{S_B, R_k} + 1}, \frac{\gamma_{R_k, D_A}}{\gamma_{R_B, D_A} + 1}\right) \quad (17)$$

但在实际传输过程中,每对源节点和中继节点都是独立决定发送时隙和接收时隙,由此,RSI 协议选择的中继节点为

$$\hat{k} = \arg \max_{k \in R} \min(\bar{\rho}_{S_A, R_k}, \bar{\rho}_{R_k, D_A}) \quad (18)$$

式中: $\bar{\rho}_{S_A, R_k} = \gamma_{S_A, R_k} / Z_1$ 和 $\bar{\rho}_{R_k, D_A} = \gamma_{R_k, D_A} / Z_2$ 分别表示中继节点 R_k 和目的节点 D_A 的 SINR,其中 $Z_1 = \max(\gamma_{S_B, R_k}, \gamma_{R_B, R_k}) + 1$, $Z_2 = \max(\gamma_{S_B, D_A}, \gamma_{R_B, D_A}) + 1$. 按照式(18)选择中继节点后,中继传输瞬时端到端的 SINR 表示为

$$\bar{\gamma} = \max_{k \in R} \min(\bar{\rho}_{S_A, R_k}, \bar{\rho}_{R_k, D_A}) \quad (19)$$

由此,当给定 Z_2 时,RSI 协议的条件中断概率为

$$P(\bar{\gamma} \leq \gamma_{th} | Z_2) = \prod_{k=1}^N [1 - (1 - P(\bar{\rho}_{S_A, R_k} \leq \gamma_{th})) \cdot (1 - P(\gamma_{R_k, D_A} \leq Z_2 \gamma_{th}))] \quad (20)$$

根据式(20),可得 RSI 协议的中断概率 $\bar{P}_{out}$. 对于 $\bar{P}_{out}$ 的推导及详细表达式见附录 A. 如果目的节点采用 SC 合并直接传输和中继传输,则 RSI 协议的中断概率为

$$\bar{P}_{out_SC} = P(\bar{\rho}_{S_A, D_A} \leq \gamma'_{th}) P(\bar{\gamma} \leq \gamma_{th}) \quad (21)$$

式中: $\bar{\rho}_{S_A, D_A} = \gamma_{S_A, D_A} / Z_2$ 为源节点 S_B 和中继节点 R_B 都产生干扰时,直接传输在目的节点 D_A 的 SINR, $P(\bar{\rho}_{S_A, D_A} \leq \gamma'_{th})$ 表示 $\bar{\rho}_{S_A, D_A} \leq \gamma'_{th}$ 的概率. 式(21)的详细推导可以通过附录 A 中的方法得到,在此不再赘述.

3 仿真结果和分析

采用蒙特卡罗方法仿真 10^8 次,并比较本文的 RSI 协议与已有的中继选择协议的中断概率. 令 $\gamma_{th} = 6.789$ dB, $W = 1$ kHz, 则 $R = 1.2648$ kb/(s · Hz), $\gamma'_{th} = 1.471$ dB. 仿真实验采用图 1 所示的无线协作网络模型,小区 A 中包含 N 个中继节点,任意两点之间的 SNR 服从相互独立的指数分布,并且指数分布的均值分别为 $\sigma_{S_A, D_A}^2 = 5$ dB, $\sigma_{R_k, D_A}^2 = 20$ dB, $\sigma_{S_B, D_A}^2 = 2$ dB, $\sigma_{S_B, R_k}^2 = 4$ dB, $\sigma_{R_B, R_k}^2 = 6$ dB, 和 $\sigma_{R_B, D_A}^2 = 6$ dB. 另外,中继节点 R_k 与其他节点之间的瑞利信道为独立同分布. 仿真过程中,源节点 S_A 与中继节点 R_k 之间的平均 SNR 变化范围为 1~25 dB.

图 2 和图 3 分别给出了存在一个干扰源节点和同时存在一个干扰源节点、一个中继节点,不考虑直接传输时,RSI 协议中断概率的理论值和仿真值. 可以发现,理论值与仿真值完全一致,这证明了第 2 节

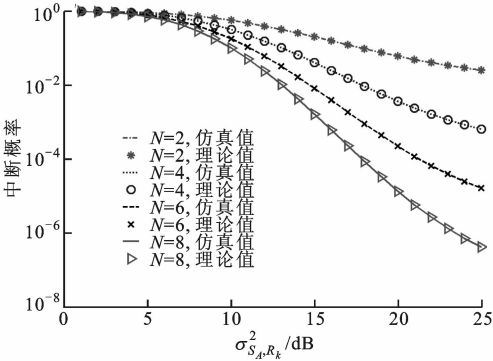


图 2 S_B 产生干扰时 RSI 协议的中断概率

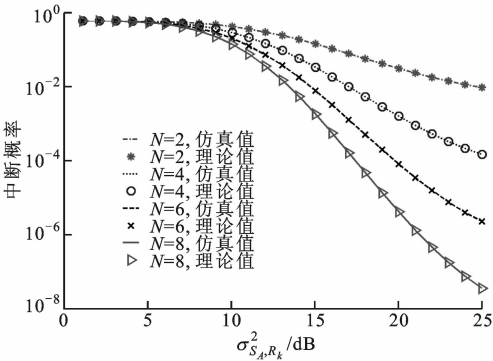


图 3 S_B 和 R_B 均产生干扰时 RSI 协议的中断概率

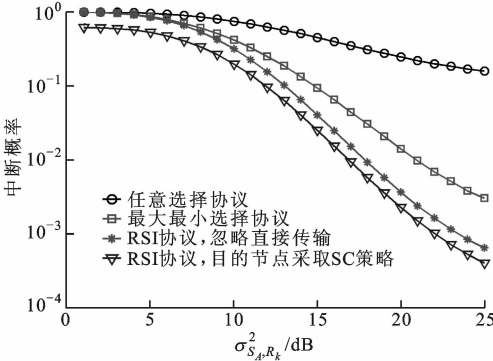


图 4 S_B 产生干扰时不同中继选择协议的中断概率比较

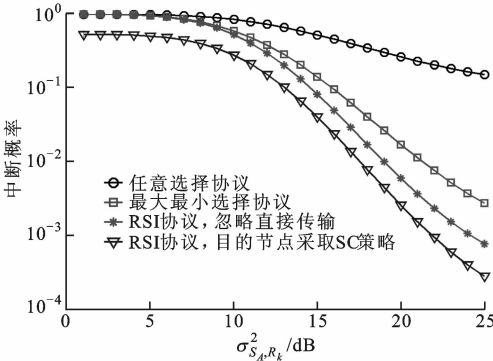


图 5 S_B 和 R_B 均产生干扰时不同中继选择协议的中断概率比较

中对中断概率的分析是正确的. 并且,随着中继节点数目的增加,中断概率逐渐减小. 这是因为节点数目越多,选择到大 SINR 中继节点的概率就越大,从而中断概率就越小. 另外,随着源节点 S_A 与中继节点 R_k 之间平均 SNR 的增加,中断概率是逐渐减小的.

图 4 和图 5 分别给出了存在一个干扰源节点和同时存在一个干扰源节点、一个干扰中继节点时,不同中继选择协议的中断概率. 其中中继节点数 $N=4$,任意选择协议表示随机选择一个中继节点传输信息. 由图 4、图 5 可以看出,RSI 协议明显优于任意选择协议和最大最小选择协议,例如在中断概率为 10^{-2} 时,忽略直接传输的 RSI 协议较最大最小选择协议有 3~4 dB 的信噪比增益,这是因为任意选择协议和最大最小选择协议都没有考虑干扰的影响. 另外,可以看到采用 SC 策略的中继选择协议明显优于忽略直接传输的中继选择协议,这是因为目的节点通过 SC 策略利用了直接传输和中继传输的空间分集增益,从而提高了通信性能. 而且,就中断概率而言,随着源节点 S_A 与中继节点 R_k 平均 SNR 的增加,最大最小中继选择协议与 RSI 协议的差距逐渐增大.

4 结 论

本文针对共道干扰影响中继选择的问题,提出了一种中继选择协议——RSI,并分别推导了存在一个干扰源节点和同时存在一个干扰源节点、一个干扰中继节点时,RSI 协议在瑞利信道中的中断概率. 理论和仿真结果表明,RSI 协议通过对中继节点的合理选择,能够有效地降低系统的中断概率. 下一步将在本文的基础上引入存在多个干扰源节点时的中继选择协议.

参考文献:

[1] LANEMAN J N, TSE D N C, WORNELL G W. Co-operative diversity in wireless networks efficient protocols and outage behavior [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2004, 50(12):3062-3080.

[2] ZHAO Yi, ADVE R, LIM T J. Outage probability at arbitrary SNR with cooperative diversity [J]. IEEE Communications Letters, 2005, 9(8):700-703.

[3] 惠鏵,朱世华,李国兵. 一种基于放大转发的中继选择策略[J]. 西安交通大学学报, 2008, 42(4):450-453.

HUI Hui, ZHU Shihua, LI Guobing. Relay selection

scheme in cooperative networks with amplify-and-forward protocol [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2008, 42(4): 450-453.

- [4] ONAT F A, FAN Yijia, YANIKOMEROGLU H, et al. Threshold based relay selection in cooperative wireless networks [C] // Proceedings of IEEE Globalcom 2008. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008: 1-8.
- [5] BLETSAS A, KHISTI S, REED D P, et al. A simple cooperative diversity method based on network path selection [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2006, 24(3): 659-672.
- [6] BLETSAS A, SHIN H, WIN M Z. Cooperative communications with outage-optimal opportunistic relaying [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2007, 6(9): 3450-3460.
- [7] 黄剑雄, 张太镒, 张璟, 等. Nakagami- m 衰落信道中的机会中继策略[J]. 西安交通大学学报, 2008, 42(12): 1546-1549.
- HUANG Jianxiong, ZHANG Taiyi, ZHANG Jing, et al. Opportunistic relaying in Nakagami- m fading channels [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2008, 42(12): 1546-1549.
- [8] KRIKIDIS I, THOMPSON J S, MCLAUGHLIN S, et al. Max-min relay selection for legacy amplify-and-forward systems with interference [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2009, 8(6): 3016-3027.

附录 A

$Z_1 = \max(\gamma_{S_B, R_k}, \gamma_{R_B, R_k}) + 1$ 的概率密度函数为

$$f_{Z_1}(z_1) = \frac{1}{\sigma_{S_B, R_k}^2} \exp\left(\frac{1-z_1}{\sigma_{S_B, R_k}^2}\right) + \frac{1}{\sigma_{R_B, R_k}^2} \exp\left(\frac{1-z_1}{\sigma_{R_B, R_k}^2}\right) - \left(\frac{1}{\sigma_{S_B, R_k}^2} + \frac{1}{\sigma_{R_B, R_k}^2}\right) \exp\left(\frac{(1-z_1)}{\sigma_{S_B, R_k}^2} + \frac{(1-z_1)}{\sigma_{R_B, R_k}^2}\right) \quad (A1)$$

由此, $\bar{\rho}_{S_A, R_k}$ 小于等于 γ_{th} 的概率为

$$P(\bar{\rho}_{S_A, R_k} \leq \gamma_{th}) = \int_1^\infty \int_0^{\gamma_{th}} Z_1 f_{\gamma_{S_A, R_k}}(uZ_1) f_{Z_1}(Z_1) du dZ_1 = 1 - b_{R_k} \quad (A2)$$

式中

$$b_{R_k} = \sigma_{S_A, R_k}^2 \exp\left(-\frac{\gamma_{th}}{\sigma_{S_A, R_k}^2}\right).$$

$$\left(\frac{1}{\sigma_{S_B, R_k}^2 \gamma_{th} + \sigma_{S_A, R_k}^2} + \frac{1}{\sigma_{R_B, R_k}^2 \gamma_{th} + \sigma_{S_A, R_k}^2} - \frac{\sigma_{S_B, R_k}^2 + \sigma_{R_B, R_k}^2}{\sigma_{S_B, R_k}^2 \sigma_{R_B, R_k}^2 \gamma_{th} + \sigma_{S_A, R_k}^2 \sigma_{R_B, R_k}^2 + \sigma_{S_A, R_k}^2 \sigma_{S_B, R_k}^2} \right) \quad (A3)$$

将式(A2)带入式(20), 并对 Z_2 在 1 到 ∞ 的区间上积分, 则

$$\begin{aligned} \bar{P}_{out} &= \int_1^\infty f_{Z_2}(Z_2) P(\bar{\gamma} \leq \gamma_{th} | Z_2) dZ_2 = \\ &1 + \sum_{n=1}^N (-1)^n \sum_{U \subseteq R} \prod_{q=1}^n b_{u(q)} \exp\left(\sum_{q=1}^n \frac{-\gamma_{th}}{\sigma_{R_k, D_A}^2}\right) \cdot \\ &\left[1 / \left(\sum_{q=1}^n \frac{\sigma_{R_B, D_A}^2 \gamma_{th}}{\sigma_{R_k, D_A}^2} \right) + 1 / \left(\sum_{q=1}^n \frac{\sigma_{S_B, D_A}^2 \gamma_{th}}{\sigma_{R_k, D_A}^2} \right) - \right. \\ &\left. 1 / \left(\sum_{q=1}^n \frac{\sigma_{S_B, D_A}^2 \sigma_{R_B, D_A}^2 \gamma_{th}}{\sigma_{R_k, D_A}^2 (\sigma_{R_B, D_A}^2 + \sigma_{S_B, D_A}^2)} + 1 \right) \right] \quad (A4) \end{aligned}$$

式中: $b_{u(q)} = \sigma_{S_A, b_{u(q)}}^2 \exp\left(-\frac{\gamma_{th}}{\sigma_{S_A, u(q)}^2}\right)$; $f_{Z_2}(\cdot)$ 表示 Z_2 的概率密度函数, 类似于(A1).

[本刊相关文献链接]

- 无线局域网 802.1X 协议安全性分析与检测. 2009, 43(10): 52-55.
- Ad Hoc 网络中基于链路故障的路由修复机制. 2009, 43(10): 47-51.
- 改进的集中式协作用户选择方法. 2009, 43(8): 64-67.
- 放大转发异步协作通信系统中的差分空时频传输方案. 2009, 43(6): 62-66.
- 非均匀分簇的无线传感器网络数据传送机制. 2009, 43(4): 14-17.
- 一种高信道利用率的分簇传感器网络数据聚合协议. 2009, 43(2): 38-42.
- Nakagami- m 衰落信道中的机会中继策略. 2008, 42(12): 1546-1549.
- 用于无线传感器网络的比例公平队列调度算法. 2008, 42(2): 129-132.
- 无线网络中模糊自适应显式窗口流量控制. 2006, 40(2): 170-174.
- 一种新的空域分集技术. 2005, 39(6): 551-557.

(编辑 刘杨)