

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.10.017

引用格式:唐思腾,刘紫燕,帅暘.基于萤火虫算法的多中继功率分配[J].电讯技术,2014,54(10):1407-1412.[TANG Si-teng,LIU Zi-yan,SHUAI Yang.Power Allocation for Multi-relay Cooperative Systems Based on Glowworm Swarm Optimization Algorithm[J].Telecommunication Engineering,2014,54(10):1407-1412.]

基于萤火虫算法的多中继功率分配*

唐思腾,刘紫燕**,帅 暘

(贵州大学 大数据与信息工程学院,贵阳 550025)

摘要:为了充分实现中继协作,降低多中继协作通信系统功率分配优化问题的计算复杂度,提出了基于萤火虫算法的多中继功率分配方案。在一定的总功率和节点功率约束下,以最大化平均信噪比为优化目标函数,建立了多中继协作系统的功率分配最优化模型。选取该目标函数作为萤火虫的适应度函数,用向量表示萤火虫的状态,该向量的维数为待分配源节点和中继节点的个数,通过萤火虫聚集得到种群中最好的萤火虫,即可获得渐进最优功率分配。仿真结果表明,与平均功率分配相比,基于萤火虫算法的功率分配方案能降低 2.44%~6.17% 的比特差错率,提高了系统性能。

关键词:多中继协作通信;功率分配;萤火虫算法

中图分类号:TN929.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2014)10-1407-06

Power Allocation for Multi-relay Cooperative Systems Based on Glowworm Swarm Optimization Algorithm

TANG Si-teng,LIU Zi-yan,SHUAI Yang

(College of Big Data and Information Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: To fully realize the potentials of relay-assisted transmission and reduce the computational complexity of power allocation for multi-relay cooperative communication systems, a power allocation scheme based on glowworm swarm optimization (GSO) algorithm is proposed. With a total transmitting power and per-node transmitting power constraints, the power allocation optimization model is presented to maximize the average signal-to-noise ratio (SNR). The objective function is selected as fitness function of GSO, status of fireflies is measured by a vector, of which each element represents power of source node and the relay node, respectively. Most fireflies in the GSO gather at the location where the fitness function value is the best, i. e. asymptotically optimal power allocation scheme is obtained. Simulation and numerical results demonstrate that power allocation scheme based on GSO achieves better performance with lower bit error rate up to 2.44%~6.17% compared with equal power allocation (EPA).

Key words: multi-relay cooperative communication; power allocation; glowworm swarm optimization

1 引言

协作中继技术^[1-5]由于能提高无线通信网络的覆盖范围和可靠性,近年来受到了学者的广泛关注。根据中继转发方式的不同,转发协议分为放大转发

(Amplify and Forward scheme, AF)、译码转发(Decode and Forward scheme, DF)和编码转发(Compress and Forward scheme, CF)方式。相比高复杂度的 DF 和 CF 转发协议,AF 只需简单的对源节点的信息进

* 收稿日期:2014-04-23;修回日期:2014-07-07 Received date:2014-04-23;Revised date:2014-07-07

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61263005);贵州省科学技术基金资助项目([2011]2193号)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China (No. 61263005); The Science and Technology Foundation of Guizhou Province ([2011]2193)

** 通讯作者:leizy@sina.com Corresponding author:leizy@sina.com

行放大处理,因而协议转发方案简单、实用。

在多中继协作通信系统的相关研究中,很多学者研究了 AF 协作模型的功率分配方案^[6-8]。文献[6]考虑协作通信系统中的路径损耗问题,提出了基于平均误码率(BER)和信噪比(SNR)的功率分配算法,结果表明当中继位置处于中间位置或离源节点远的时候,两种功率分配方案对最小化 BER 性能没有差别。文献[7]利用了对偶分解方法求解了多中继的资源分配问题,得到了渐进最优的功率分配方案。文献[8]利用注水算法求解了多中继的功率分配。然而,这些研究工作都没有考虑智能搜索算法。

近年来,仿生智能算法逐渐被用于解决多中继的资源分配问题^[9-11]。文献[9]研究了多中继系统的功率分配方案,为了最小化发送功率,将模拟退火算法用来求解功率分配,使系统的误码率和容量均得到改善。文献[10]将混合蛙跳算法应用到了 MI-

MO-OFDM 系统中,研究了功率分配方案。文献[11]研究了鱼群算法,实现了用户之间的功率分配。萤火虫算法^[12]是一种新型启发式群智能优化算法,具有易于实现等特点。目前,还没有相关文献将萤火虫算法应用到多中继系统的功率分配问题。

本文考虑多中继协作系统,针对多中继功率分配问题,研究了基于萤火虫算法的多中继协作系统的功率分配方案。在该算法中,以最大化目的节点的平均信噪比为优化目标,通过萤火虫搜索方法得到渐进最优的功率分配方案,实现了传输比特差错率最小化。

2 系统模型描述

多中继协作传输半双工系统如图 1 所示,该系统由一个源节点 s 、一个目的节点 d 和多个中继节点 $r = \{r_1, r_2, \dots, r_M\}$ 构成。

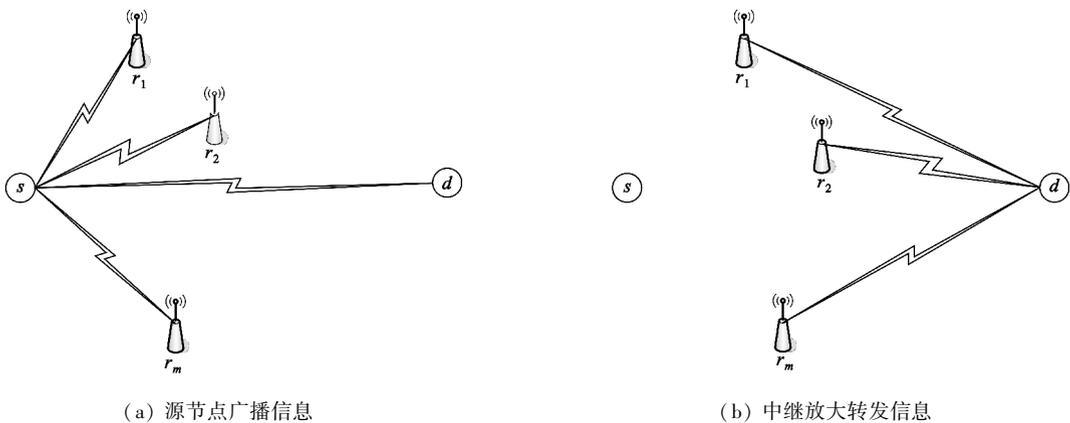


图 1 多中继协作系统

Fig. 1 Multi-relay cooperative communication system

$s-d$ 一次传输过程包括两个时隙,分别如图 1 (a)和图 1 (b)所示。第一时隙, s 向所有中继节点广播信息,所有中继节点监听,第 i 个中继接收到的信息为 y_{s,r_i} 如式(1)所示;第二时隙, s 保持沉默,所有中继对接收到的信息进行放大处理,第 i 个中继节点将接收到的信息放大得到 x_{r_i} ,如式(2)所示,然后转发给目的节点,目的节点接收到来自第 i 个中继和直传链路的信息分别为 $y_{r_i,d}$ 和 $y_{s,d}$,分别如式(3)和式(4)。

$$y_{s,r_i} = \sqrt{P_s} h_{s,r_i} x_s + n_{s,r_i} \quad (1)$$

$$x_{r_i} = A_i y_{s,r_i} \quad (2)$$

$$y_{r_i,d} = \sqrt{P_i} h_{r_i,d} x_{r_i} + n_{r_i,d} \quad (3)$$

$$y_{s,d} = \sqrt{P_s} h_{s,d} x_s + n_{s,d} \quad (4)$$

其中, A_i 为第 i 个中继的放大因子, $A_i = \sqrt{\frac{P_i}{P_s |h_{s,r_i}|^2 + \sigma_{s,r_i}^2}}$, 其中 P_s 为源节点的功率, P_i 为第 i 个中继节点的功率; n_{s,r_i} 、 $n_{r_i,d}$ 和 $n_{s,d}$ 分别为链路 $s-r_i$ 、链路 r_i-d 和链路 $s-d$ 的高斯噪声,其均值为 0, 方差分别为 σ_{s,r_i}^2 、 $\sigma_{r_i,d}^2$ 和 $\sigma_{s,d}^2$; h_{s,r_i} 、 $h_{r_i,d}$ 和 $h_{s,d}$ 分别为链路 $s-r_i$ 、链路 r_i-d 和链路 $s-d$ 的信道系数。平均信道增益 $|h|^2 = Ld^{-\alpha}$, L 是与环境有关的变量, d 是节点之间的距离, α 为路径损耗因子。

定义系统的总功率为 P_{total} , P_s 和 P_i 满足如下关系式:

$$\begin{cases} P_s + \sum_{i=1}^{i=m} P_i = P_{total} \\ P_s \leq P_1, P_i \leq P_r \end{cases} \quad (5)$$

其中, P_s 和 P_r 分别为源节点和中继节点的最大传输功率。

最后,目的节点 d 将来自中继链路和直传链路的信息采用最大比合并方式进行合并。假设 $s-d$ 及 r_i-d 的传输信道为正交信道,即各次传输信息相互独立,信道服从衰落缓慢的瑞利分布。目的节点上界平均信噪比如式(6)所示:

$$\bar{\gamma} = \bar{P}_{s1} d_{s,d}^{-\alpha} + \sum_{i=1}^m \frac{\bar{P}_{s2} d_{1,i}^{-\alpha} \bar{P}_i d_{i,2}^{-\alpha}}{\bar{P}_{s2} d_{1,i}^{-\alpha} + \bar{P}_i d_{i,2}^{-\alpha} + 1} \quad (6)$$

其中:

$$\bar{P}_{s1} = \frac{P_s L}{\sigma_{s,d}^2}, \bar{P}_{s2} = \frac{P_s L}{\sigma_{s,r_i}^2}, \bar{P}_i = \frac{P_i L}{\sigma_{r_i,d}^2}, d_{s,d}, d_{1,i} \text{ 和 } d_{i,2}$$

分别为链路 $s-d$ 、链路 $s-r_i$ 和链路 r_i-d 的距离。

本文以最大化目的节点平均信噪比为优化目标,优化模型表示为

$$\max \bar{\gamma}$$

s. t.

$$\begin{aligned} P_s + \sum P_{i,2} &\leq P_{\text{total}} \quad \forall i \\ P_s &\leq P_1, P_{i,2} \leq P_R \quad \forall i \end{aligned} \quad (7)$$

3 萤火虫算法

萤火虫算法由 Krishnanand 和 Ghose^[12] 于 2005 年提出,最先用来求解多个连续函数最优函数值,近年来受到很多学者的关注^[13-15]。在萤火虫算法中,包含 n 个萤火虫的萤火虫种群随机分配到目标函数解空间中,每只萤火虫 $j(j=1,2,\dots,n)$ 在解空间中随机分配了一个位置 L_j 。萤火虫有自己的荧光素 B_j 以及自己的视野范围 rd_j , 视野范围称为决策半径,其中,萤火虫的荧光素取决于它所在位置的目标值。萤火虫 j 根据其视野范围寻找比它荧光素更高的萤火虫 i , 并向萤火虫 i 的位置移动。最后,萤火虫都聚集在函数最优解附近,从而实现算法的搜索与优化。首先,所有萤火虫都分配相同的荧光素,决策半径也设置为相同的值 r_0 , 萤火虫算法通过迭代来寻找目标函数最优解,整个过程包括萤火虫的荧光素更新过程和萤火虫的移动过程。

(1) 萤火虫更新阶段

在整个萤火虫更新阶段,萤火虫根据当前位置计算目标函数值,依据新的目标函数值,所有萤火虫更新自己的荧光素,第 j 个萤火虫更新荧光素如式(8)所示:

$$B_j(t) = (1-rh) \times B_j(t-1) + \text{gamma} \times \maxfun(L_j) \quad (8)$$

其中, $B_j(t-1)$ 是萤火虫 j 之前的荧光素, rh 表示荧光素挥发因子 ($0 < rh < 1$), gamma 为评价目标函数值参数, $\maxfun(L_j)$ 表示第 j 只萤火虫当前位置的目标函数值, t 代表萤火虫 j 的当前位置。

(2) 移动阶段

萤火虫 j 通过式(9)得到决策范围内比自己荧光素高的萤火虫数目。萤火虫决策范围内的萤火虫数目的公式为

$$\text{Nit}_j(t) = \{i; \|L_i - L_j\| < rd_j; B_i < B_j\} \quad (9)$$

其中, $\text{Nit}_j(t)$ 为萤火虫 j 当前时刻决策范围内萤火虫荧光亮度较高的萤火虫数目, i 是萤火虫 j 视野范围内的萤火虫, rd_j 是萤火虫 j 的视野范围, B_i 和 B_j 分别是萤火虫 i 和 j 的荧光素, $\|L_i - L_j\|$ 为萤火虫 i 和萤火虫 j 的位置。

按式(10)计算萤火虫 j 向 Nit_j 内萤火虫移动的概率大小,其概率公式为

$$p_{ji} = \frac{B_i - B_j}{\sum_{k \in \text{Nit}_j} B_k - B_j} \quad (10)$$

其中, p_{ji} 表示萤火虫 j 向邻域内的萤火虫 i 移动概率的大小。

萤火虫 j 通过轮盘方法在 Nit_j 内选择其中一个移动概率最大的萤火虫 i , 通过位置为 L_i 的萤火虫, 对当前萤火虫 j 的位置进行调整, 移动计算公式如式(11):

$$L_j(t) = L_j(t-1) + s_0 \times \frac{L_i - L_j}{\|L_i - L_j\|} \quad (11)$$

式中, $L_j(t-1)$ 是萤火虫前一时刻的位置, s_0 为移动步长, $\|L_i - L_j\|$ 为萤火虫 i 和萤火虫 j 的位置。萤火虫 j 更新完位置之后, 其决策半径按式(12)更新:

$$rd_j(t) = \min \{rs, \max[0, rd_j(t-1) + \beta \times (nt - |\text{Nit}_j(t-1)|)]\} \quad (12)$$

其中, rs 为感知范围, $rd_j(t-1)$ 为萤火虫 j 前一时刻的决策半径, β 为领域变化率, nt 为邻域阈值, $|\text{Nit}_j(t-1)|$ 为萤火虫 j 前一时刻领域内荧光亮度较高的萤火虫数目。

4 基于萤火虫算法的功率分配流程

向量 $P = [P_s, P_{1,2}, P_{2,2}, \dots, P_{m,2}]$ 表示源节点和 m 个中继节点所分配到的功率, 记 P 为萤火虫的状态, 则第 j 只萤火虫记为 $[P_s^j, P_{1,2}^j, P_{2,2}^j, \dots, P_{m,2}^j]$, 维数为 $m+1$ 。

基于萤火虫算法的功率分配流程如下:

步骤 1: 设置萤火虫个数 n , 邻域阈值 nt , 感知半

径 r_s , 步长 s_0 , 邻域变化率 β , 荧光素挥发因子 rh , 最大迭代次数 $iter_max$ 等参数;

步骤 2: 根据式 (8) 设置每个萤火虫的荧光素, 其目标函数根据式 (6) 和式 (7) 定义如下:

$$f(U) = P_s d^{-\alpha} + \sum_{i=1}^m \frac{P_s d_{1,i}^{-\alpha} P_{R,i} d_{i,2}^{-\alpha}}{P_s d_{1,i}^{-\alpha} + P_{R,i} d_{i,2}^{-\alpha} + 1} + C \quad (13)$$

其中, C 为惩罚项, 其值为

$$C = (-10^4) \times (\max(\delta, P_s + \sum_{k=1}^m P_{k,2} - P_{total})) + (-10^4) \times (\max(-\delta, P_s + \sum_{k=1}^m P_{k,2} - P_{total})) \quad (14)$$

设置惩罚因子 δ 为 10^{-5} ;

步骤 3: 根据式 (9) 选出萤火虫 $j(j=1, 2, \dots, n)$ 决策范围内的满足条件的萤火虫数目;

步骤 4: 根据式 (10) 计算萤火虫 j 向 $Nit_j(t)$ 内的每只萤火虫的移动概率, 利用轮盘方法找出萤火虫 j 的移动方向;

步骤 5: 根据式 (11) 更新萤火虫 j 的位置;

步骤 6: 根据式 (12) 更新萤火虫 j 的决策半径;

步骤 7: 如果达到给定的精度或迭代次数, 则结束返回最优解, 即最优功率分配方案; 否则 $t=t+1$, 跳转到步骤 2。

5 算法仿真结果与分析

本文假设在静态瑞利信道且 $L=1$ 的无线环境下对多中继功率分配方案进行仿真, 源节点到所有中继节点的信道噪声方差相同, 且所有中继节点到目的节点的信道噪声相同。总功率为 10 W, 路径损耗因子为 2, 共 4 个中继参与协作通信。萤火虫算法选取种群大小 n 为 100, 详细参数设置如表 1 所示, 中继距离参数如表 2 所示。

表 1 萤火虫算法的参数设置

Table 1 Values of parameters of glowworm swarm optimization

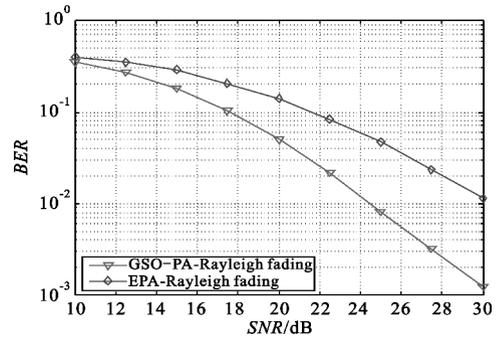
n	rh	γ	β	s_0	nt	$iter_max$	r_s	r_0
100	0.3	0.8	0.2	2	50	50	10	2

表 2 中继位置

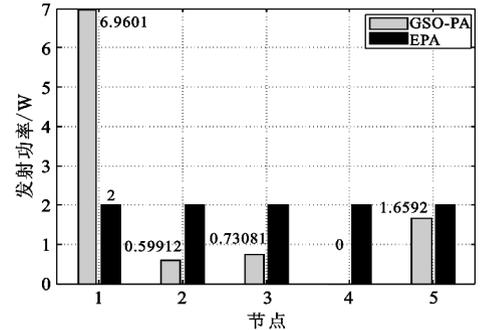
Table 2 Location of relays

$d_{s,d}$	$d_{1,1}$	$d_{1,2}$	$d_{2,1}$	$d_{2,2}$	$d_{3,1}$	$d_{3,2}$	$d_{4,1}$	$d_{4,2}$
1.00	1.87	1.87	0.94	0.54	1.26	1.34	0.42	0.76

本文在不同的信道噪声下对基于萤火虫算法的功率分配方案 (GSO-PA) 和等功率分配 (EPA) 进行了仿真, 如图 2 (a)、图 3 (a) 和图 4 (a) 所示, 图 2 (b)、图 3 (b) 和图 4 (b) 为对应两种功率分配方案的功率。



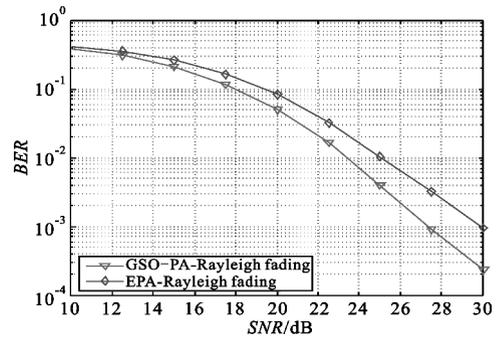
(a) 基于萤火虫算法和等功率分配方案的 BER 比较



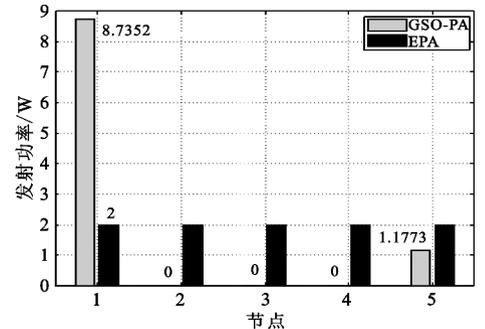
(b) 基于萤火虫算法和等功率分配结果

图 2 基于萤火虫算法和等功率分配方案的 BER 比较 ($\sigma_{sr}^2 = 50, \sigma_{rd}^2 = \sigma_{sd}^2 = 20$)

Fig. 2 BER performance comparison between GSO-PA and EPA when $\sigma_{sr}^2 = 50, \sigma_{rd}^2 = \sigma_{sd}^2 = 20$



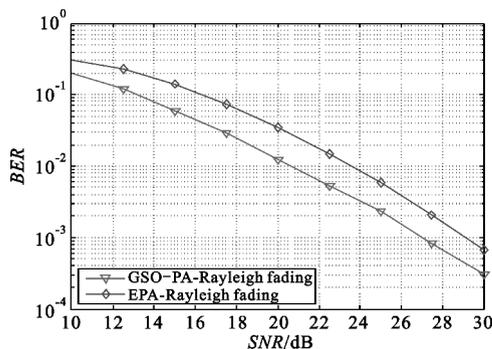
(a) 基于萤火虫算法和等功率分配方案的 BER 比较



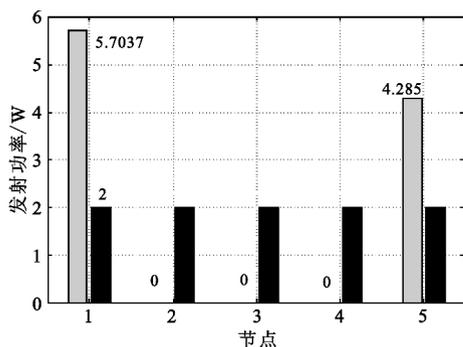
(b) 基于萤火虫算法和等功率分配结果

图 3 基于萤火虫算法和等功率分配方案的 BER 比较 ($\sigma_{sr}^2 = \sigma_{sd}^2 = 20, \sigma_{rd}^2 = 50$)

Fig. 3 BER performance comparison between GSO-PA and EPA when $\sigma_{sr}^2 = \sigma_{sd}^2 = 20, \sigma_{rd}^2 = 50$



(a) 基于萤火虫算法和等功率分配方案的 BER 比较



(b) 基于萤火虫算法和等功率分配结果

图 4 基于萤火虫算法和等功率分配方案的 BER 比较
($\sigma_{sr}^2 = \sigma_{rd}^2 = 20, \sigma_{sd}^2 = 50$)Fig. 4 BER performance comparison between GSO-PA and EPA when $\sigma_{sr}^2 = \sigma_{rd}^2 = 20, \sigma_{sd}^2 = 50$

如图 2(a) 和图 3(a) 所示,当链路 $s-r$ 或链路 $r-d$ 链路的噪声方差比链路 $s-d$ 的噪声方差大时,基于萤火虫算法的功率分配方案比所有节点等功率分配方案有更低的 BER,且随着信噪比增大越明显,分别降低了 6.17% 和 2.44% 的比特差错率;图 2(b) 和图 3(b) 分别为对应的节点的功率分配情况,图中节点 1 代表源节点在两种功率分配下的功率,节点 2~5 为中继节点在两种分配下的功率。可以明显地看出,与等功率分配方案(EPA)相比,基于萤火虫算法的功率分配方案(GSO-PA)获得较小的比特差错率。

如图 4(a) 所示,当链路 $s-r$ 和链路 $r-d$ 的噪声方差比链路 $s-d$ 的噪声方差小时,基于萤火虫算法的功率分配方案比等功率分配方案的 BER 性能好但获得相同的阶数,降低了 4.23% 的比特差错率。

图 4(b) 为对应的功率分配结果。从图 2(b)、图 3(b) 和图 4(b) 中可以看出,由于节点 4(中继)距离节点 1(源节点)近,所以分配到了更多的功率。

6 结论

本文将萤火虫算法应用到多中继功率分配问题

中,以目标函数作为萤火虫适应度函数,给出了基于萤火虫算法的功率分配步骤,通过萤火虫算法迭代得到多中继节点的渐进最优功率分配方案。在不同的噪声背景下,基于萤火虫算法的功率分配方案比等功率分配方案降低了 2.44%~6.17% 的比特差错率。因此,将萤火虫算法应用在多中继功率分配上能有效提高系统性能,为多中继研究提供了新的优化方法。

参考文献:

- [1] Krishna R, Cumanan K, Xiong Zhilan, et al. A Novel Cooperative Relaying Strategy for Wireless Networks With Signal Quantization [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010, 59(1): 485-489.
- [2] Liu K. Temporal Reuse in Cooperative Relay Networks via Destination Feedback [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2014, 63(6): 2712-2722.
- [3] Xiao Y, Leonard J C. Impact of Overhead on Spectral Efficiency of Cooperative Relaying [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2013, 12(5): 2228-2239.
- [4] Michalopoulos D S, Lioumpas A S, Karagiannidis G K, et al. Selective Cooperative Relaying over Time-Varying Channels [J]. IEEE Transactions on Communications, 2010, 58(8): 2402-2412.
- [5] 王丽元, 覃莲, 肖海林, 等. 双中继协作通信的功率分配改进方案 [J]. 电讯技术, 2014, 54(2): 145-150. WANG Li-yuan, QIN Lian, XIAO Hai-lin, et al. Power Allocation for Two Relays Cooperative Communication [J]. Telecommunication Engineering, 2014, 54(2): 145-150. (in Chinese)
- [6] Rasouli H, Anpalagan A. SNR based vs. BER based power allocation for an amplify-and-forward single-relay wireless system with MRC at the destination [C] // Proceedings of 2010 25th Biennial Symposium on Communications. Kingston: IEEE, 2010: 429-432.
- [7] Dang W B, Tao M X, Mu H, et al. Subcarrier-Pair Based Resource Allocation for Cooperative AF Multi-Relay OFDM Systems [C] // Proceedings of 2009 IEEE Global Telecommunications Conference. Honolulu, HI: IEEE, 2009: 1-6.
- [8] Wang C L, Chen J Y, Wang H C. Capacity analysis and power allocation under imperfect channel estimation for AF-based cooperative relay systems [C] // Proceedings of 2012 IEEE Global Communications Conference. Anaheim, CA: IEEE, 2012: 4677-4682.
- [9] 武卓, 杨洪兵, 郑国莘. 多中继放大转发协同通信系统功率分配方法 [J]. 上海大学学报(自然科学版), 2012, 18(1): 20-25. WU Zhuo, YANG Hong-bing, ZHENG Guo-xin. Power Allocation Method for Amplify-and-Forward Cooperative

- Communication Systems with Multiple Relays[J]. Journal of Shanghai University (Natural Science Edition), 2012, 18(1):20-25. (in Chinese)
- [10] 王党社, 乔若飞, 王海蛟. 基于蛙跳算法的 MIMO-OFDM 功率自适应分配[J]. 西安工业大学学报, 2013, 33(3):203-207.
WANG Dang-she, QIAO Ruo-fei, WANG Hai-jiao. MIMO-OFDM Adaptive Power Allocation Based on SFLA Algorithm[J]. Journal of Xi'an Technological University, 2013, 33(3):203-207. (in Chinese)
- [11] 汪照, 李有明, 陈斌, 等. 基于鱼群算法的 OFDMA 自适应资源分配[J]. 物理学报, 2013, 62(12):509-515.
WANG Zhao, LI You-ming, CHEN Bin, et al. OFDMA adaptive resource allocation based on fish swarm algorithm [J]. Acta Physica Sinica, 2013, 62(12):509-515. (in Chinese)
- [12] Krishnanand K, Ghose D. Detection of multiple source locations using a glowworm metaphor with applications to collective robotics [C]//Proceedings of 2005 IEEE Swarm Intelligence Symposium. Pasadena, CA, USA: IEEE, 2005:84-91.
- [13] Aljarah I, Ludwig S A. A new clustering approach based on Glowworm Swarm Optimization[C]// Proceedings of 2013 IEEE Congress on Evolutionary Computation. Cancun; IEEE, 2013:2642-2649.
- [14] He D X, Liu G Q, Zhu H Z. Glowworm Swarm Optimization Algorithm for Solving Multi-objective Optimization Problem [C]// Proceedings of the 9th International Conference on Computational Intelligence and Security. Leshan; IEEE, 2013:11-15.

- [15] Lu X, Sun X S. An improved self-adapting Glowworm Swarm Optimization algorithm [C]// Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Signal Processing, Communication and Computing. Kunming: IEEE, 2013:1-4.

作者简介:



唐思腾(1989—),男,贵州铜仁人,2011年于内蒙古大学获学士学位,现为硕士研究生,主要研究方向为协作通信技术;

TANG Si-teng was born in Tongren, Guizhou Province, in 1989. He received the B. S. degree from Inner Mongolia University in 2011. He is now a graduate student. His research

concerns cooperative communication techniques.

Email:tangsteng@163.com

刘紫燕(1977—),女,贵州都匀人,副教授、硕士生导师,主要研究方向为无线通信、嵌入式通信、下一代通信系统;

LIU Zi-yan was born in Duyun, Guizhou Province, in 1977. She is now an associate professor and also the instructor of graduate students. Her research concerns wireless communication, embedded communication and next communication system.

Email:leizy@sina.com

帅 阳(1990—),男,贵州安顺人,2013年于贵州大学获学士学位,现为硕士研究生,主要研究方向为协作通信技术。

SHUAI Yang was born in Anshun, Guizhou Province, in 1990. He received the B. S. degree from Guizhou University in 2013. He is now a graduate student. His research concerns cooperative communication techniques.