

doi: 10.11830/ISSN.1000-5013.201605026



采用多目标差分进化的移动 Ad Hoc 网络节能路由算法

魏文红, 秦勇

(东莞理工学院 计算机学院, 广东 东莞 523808)

摘要: 为了在节点的能量消耗和最优路由之间找到一个平衡,根据多目标差分进化算法原理,提出一种基于多目标差分进化的移动 Ad Hoc 网络节能路由算法.该算法把路由代价和网络生存时间作为 2 个优化目标,采用适应值变换的约束处理技术、非支配排序和拥挤距离技术进行优化.在优化过程中,提出适合差分进化算法的变异、交叉和选择策略.结果表明:该算法在网络生存时间和最优路由方面具有较好的优势,并保证了较高的包传递率.

关键词: 多目标; 差分进化; 移动 Ad Hoc; 路由; 生存时间

中图分类号: TP 393 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5013(2016)05-0654-05

Energy Efficient Routing Optimization Algorithm for MANET Based Multi-Objective Differential Evolution

WEI Wenhong, QIN Yong

(School of Computer, Dongguan University of Technology, Dongguan 523808, China)

Abstract: To find a balance between energy consumption and optimal routing, according to the principle of multi-objective differential evolution algorithm, an energy efficient routing algorithm for MANET based on multi-objective differential evolution. In this algorithm, the shortest routing paths and network lifetime are considered as two objectives, and the fitness transformation, non-dominated sorting and crowding distance technologies are adopted to optimize the above objectives. In the optimization process, the modified mutation, crossover and selection operations in differential evolution are proposed for. Compared with other routing optimization algorithms, this algorithm can achieve better result between network lifetime and optimal routing, and provide higher packet transmission.

Keywords: multi-objective; differential evolution; mobile Ad Hoc; routing; lifetime

移动 Ad Hoc 网络是一种多跳的、自组织的网络,每个节点既是主机,又是路由器,节点之间的通信通过无线信号覆盖的多跳路由进行.如果对方节点不在自己的信号覆盖范围内,则可借助其他节点进行转发.移动 Ad Hoc 网络由于搭建容易,被广泛应用于各种领域.在移动 Ad Hoc 网络中,根据路由表协议的驱动方式,可以将路由协议分为表驱动路由协议和按需启动路由选择协议^[1-4].按需启动路由在有节点需要发送信息时,才进行路由发现过程,鉴于移动 Ad Hoc 网络动态的网络拓扑结构,按需路由选

收稿日期: 2016-02-03

通信作者: 魏文红(1977-),男,副教授,博士,主要从事网络与并行分布计算、智能优化处理的研究. E-mail:weiwh@dgut.edu.cn.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61103037, 61300198); 广东省自然科学基金资助项目(S2013010011858); 广东省高校科技创新项目(2013KJCX0178)

择比表驱动路由选择具有更大的优势. 许多学者对各类移动 Ad Hoc 网络路由协议, 特别是基于蚁群算法的移动 Ad Hoc 网络路由协议进行了广泛地研究^[4-10]. 近年来, 基于遗传算法和粒子群算法的移动 Ad Hoc 网络的路由算法也受到关注^[11-13], 但利用差分进化算法研究移动 Ad Hoc 网络的节能路由算法却未见报导. 本文基于差分进化算法, 利用多目标求解技术, 同时考虑节点能量消耗的约束, 提出基于多目标差分进化的节能路由算法(MOR-DE).

1 问题模型

移动 Ad Hoc 网络模型都可以用一个加权无向图 $G=(V,E)$ 表示. 其中, $V=\{v_1,v_2,\cdots,v_p\}$ 表示网络中的节点集; $E=\{e_1,e_2,\cdots,e_q\}$ 表示网络中的链路集. 此外, 采用权值向量 w 表示链路间的代价、时延和带宽等.

假设 $s\in V$ 为路由的源节点, $d\in\{V-s\}$ 为路由的目标节点, $|V|$ 为节点总数, $|E|$ 为链路总数, \mathbf{R}^+ 为正实数集合, 则某一条链路 e 上路由代价、时延和带宽函数分别为

$$\text{Cost}(e):E\rightarrow\mathbf{R}^+, \quad \text{Delay}(e):E\rightarrow\mathbf{R}^+, \quad \text{Bandwidth}(e):E\rightarrow\mathbf{R}^+.$$

在路由过程中, 假定 $p(s,d)$ 表示源节点 s 到目标节点 d 的路径, 则整个网络的路由代价函数、时延和带宽函数为

$$\text{Cost}(G)=\sum_{e\in E}\text{Cost}(e), \tag{1}$$

$$\text{Delay}(p(s,d))=\sum_{e\in p(s,d)}\text{Delay}(e), \tag{2}$$

$$\text{Bandwidth}(p(s,d))=\min(\text{Bandwidth}(e)), \quad e\in p(s,d). \tag{3}$$

再假设节点 i 的度为 Deg_i ; 剩余能量为 Eny_i ; $\varphi_{i,j}$ 表示节点 i 到节点 j 的数据流; $\theta_{i,j}$ 表示节点 i 传输一个数据包到节点 j 所消耗的能量.

假定 $\varphi_{i,j}$ 和 $\theta_{i,j}$ 的值在所有的节点中都相等, 则节点 i 和 j 之间能量消耗为 $C_{i,j}=\varphi_{i,j}\times\theta_{i,j}$. 因此, 整个网络的生存时间表示为

$$\text{Tot_life}(G)=\min_{i,j\in v}\left\{\frac{\text{Eny}_i}{\sum_{j\in\text{Deg}_i}C_{i,j}}\right\}. \tag{4}$$

由式(4)可知: 节点的度越大, 节点的能量消耗也越大.

一般情况下, 在移动 Ad Hoc 网络中, 路由代价与网络生存时间是 2 个相互冲突的因素. 因此, 可以考虑把这 2 个因素建模为多目标优化问题, 同时, 把链路上的时延和宽带考虑成约束条件. 最终, 目标函数可表示为

$$\left. \begin{aligned} \text{Min: } f(G) &= \{\text{Cost}(G), -\text{Tot_life}(G)\}, \\ \text{s. t. } \quad \text{Delay}(p(s,d)) &\leq \text{QD}, \\ \text{Bandwidth}(p(s,t)) &\geq \text{QB}. \end{aligned} \right\} \tag{5}$$

在约束条件中, 链路中最大的时延应该小于或等于时延阈值 QD, 最小带宽应该大于或等于某条链路中的最小带宽阈值 QB.

2 MOR-DE 算法

2.1 路径编码

在移动 Ad Hoc 网络中, 路由是从源节点到目的节点的路径组成. 每条路径可以表示 1 个种群个体, 则所有的路径集即可表示差分进化算法中的一个种群. 由于路由中路径的长度未必都是相等的, 而种群个体的维度却是相同的, 所以对于路径长度小于个体维度情况, 可以采用后面补“0”的方式使路径长度等于个体的维度.

2.2 算法描述

MOR-DE 算法采用约束处理技术、非支配排序、拥挤距离和路径编码, 基于多目标差分进化算法原理实现.

1) 种群初始化. 对于移动 Ad Hoc 网络模型 G , 随机生产 NP 条源节点 s 到目标节点 d 的路径, 采用路径编码方法对这 NP 条路径进行编码, 即产生了具有 NP 个个体的初始种群.

2) 变异策略. 差分进化算法中的变异操作是采用差分向量来产生一个变异个体, 以 $\text{rand}/1$ 为例介绍变异过程. 首先, 从种群任意选择 3 个个体 x_1, x_2 和 x_3 , 对于 x_3 , 以概率 p 随机地选择 1 个中间节点, 如 s_j . 然后, 沿着 x_2 , 从目标节点向源节点方向, 查找相同的节点 s_j . 如果节点 s_j 被找到, 则把 x_3 中从 s_j 到 d 的这段路径与 x_2 中从 s_j 到 d 的这段路径交换; 如果没有找到相同的节点 s_j , 则一直重复该过程, 直到找到为止. 经过该操作之后, x_2 和 x_3 就变成 2 条新的路径. 同理, 对于 x_2 , 以概率 p 随机地选择一个中间节点, 如 s_i . 然后, 沿着 x_1 , 从目标节点向源节点方向, 查找相同的节点 s_i . 如果节点 s_i 被找到, 则把 x_2 中从 s_i 到 d 的这段路径与 x_1 中从 s_i 到 d 的这段路径交换; 如果没有找到相同的节点 s_i , 则一直重复该过程, 直到找到为止. 经过上述 2 个操作之后, x_1, x_2 和 x_3 就变成 3 条新的路径, 变异操作完成. 当所有的路径不等长时, 变异策略同样适用.

3) 交叉策略. 对于交叉策略, 以概率 CR 从种群中选择 2 个个体 x_1 和 x_2 , 在 x_1 和 x_2 中随机地选择 2 个节点 s_i 和 s_j 作为交叉的起始端点. 然后, 交换从节点 s_i 和节点 s_j 之间的路径. 如果在 x_1 和 x_2 中没有发现相同的节点 s_i 和 s_j , 则选择过程就一直持续, 直到发现为止.

4) 选择策略. 采用约束处理技术计算父代和子代个体的目标函数值. 当子代个体支配父代个体, 则用子代个体替换父代个体; 如果父代个体支配子代个体, 则丢弃子代个体; 如果父代个体与子代个体之间是非支配的关系, 则父代个体和子代个体同时存档.

综上所述, 算法的伪代码如下:

Algorithm 1: Pseudo code of MOR-DE algorithm

搜索网络模型 G 中从源节点 s 到目标节点 d 的路径集 $x_i (1 \leq i \leq \text{NP})$;

对路径集 x_i 进行编码; // 例如 $x_1 = ss_1^1, s_2^1, \dots, d, x_2 = ss_1^2, s_2^2, \dots, d$.

生成初始种群 $P_0 = (x_1, x_2, \dots, x_{\text{NP}})$;

计算种群 P_0 的目标函数适应值和约束违反程度;

$t=0$; // t 表示代数.

repeat

$t=t+1$;

$P_t = P_{t-1}$;

 for 种群 P_t 中的每一个个体 do

 运用变异策略求出变异向量;

 运用交叉策略求出交叉向量;

 运用选择策略求出子代;

 end

$P_i = P_{t+1}$;

 计算种群 P_t 的目标函数适应值和约束违反程度;

 采用非支配排序和拥挤距离排序技术从种群 P_t 中选择 NP 个个体组成新的种群 P_t ;

until $t > G_{\text{max}}$; // G_{max} 表示最大的代数.

输出: 种群 P_t .

原始差分进化算法的时间复杂度为 $O(G_{\text{max}} \cdot \text{NP} \cdot n)$. 其中, G_{max} 为最大的代数. 非支配排序的时间复杂为 $O(k \cdot \text{NP}^2)$. 其中, k 为目标数. 文中, $k=2$.

由于拥挤距离排序的时间复杂度 $O(k \cdot \text{NP} \cdot \log \text{NP})$, 故 MOR-DE 的时间复杂度为 $O(G_{\text{max}} (\text{NP} \cdot n + 2 \cdot \text{NP}^2 + \text{NP} \cdot \log \text{NP}))$, 即 $O(G_{\text{max}} \cdot \text{NP}^2)$.

3 实验结果分析

为了验证 MOR-DE 算法的有效性, 将 MOR-DE 算法与 SAMP-DSR^[7], QAMR^[9], ACECR^[10] 算法

进行实验比较. 实验环境为 Matlab 2013b 仿真平台, Intel Core Quad CPU 2.83 GHz, 4.00 GB 内存. 采用 Waxman's 随机生产器构建 1 个随机的移动 Ad Hoc 网络结构模型.

3.1 参数设置

参数设置如下: 1) 网络规模 $N=10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100$; 2) 链路代价 $C=\text{rand}(2, 10)$; 3) 链路时延 $D=2/3 \times C \text{ ms}$; 4) 链路带宽 $B=\text{rand}(50, 200) \text{ Kbit} \cdot \text{s}^{-1}$; 5) 节点能量 $E=40 \text{ min}$; 6) 链路最大时延 $QD=\text{rand}(60, 80) \text{ ms}$; 7) 链路最小带宽 $QB=\text{rand}(100, 150) \text{ Kbit} \cdot \text{s}^{-1}$.

3.2 结果分析

由于多目标算法求解的结果 1 个满足所有目标的折中解集, 所以 MOR-DE 算法与单目标算法 SAMP-DSR, QAMR 和 ACECR 等在比较过程中, 选取了 MOR-DE 算法解集中的边界结果与其进行比较. 如果 MOR-DE 算法解集中的边界结果都优于那些单目标算法的解, 那么 MOR-DE 算法的其他解必定更优于其他算法.

MOR-DE 算法与 SAMP-DSR, QAMR, ACECR 算法在路由代价和网络生存时间方面的比较结果, 如表 1 所示. 表 1 中: t 为生存时间.

由表 1 可知: 当网络节点数大于 40 时, MOR-DE 算法获得所有更优的解; 当网络节点数小于 30 时, MOR-DE 获得与 QAMR 和 ACECR 算法非支配的解.

表 1 算法获取的最优解比较
Tab. 1 Comparison of optimal solutions obtained by algorithms

网络 规模	MOR-DE		SAMP-DSR		QAMR		ACECR	
	路由代价	t/s	路由代价	t/s	路由代价	t/s	路由代价	t/s
10	52.120	25.351	52.721	23.561	52.835	23.912	51.364	25.142
20	55.305	20.422	56.153	18.965	56.414	16.905	55.635	20.326
30	61.859	16.042	62.968	14.128	63.689	12.911	62.489	16.301
40	69.254	13.263	72.843	11.825	74.695	9.737	71.061	12.935
50	81.396	11.052	85.285	9.525	85.997	8.008	83.089	10.660
60	95.559	9.215	99.254	7.365	100.879	5.965	98.298	8.354
70	110.335	7.954	115.098	6.015	117.038	4.693	114.222	7.254
80	128.088	6.846	133.652	4.811	136.462	3.459	131.522	6.343
90	146.336	6.137	150.458	3.952	156.710	2.897	148.558	5.552
100	166.792	5.706	171.079	3.501	180.336	2.468	169.406	5.004

对 MOR-DE, SAMP-DSR, QAMR, ACECR 等 4 种算法进行 Friedman 测试及 Wilcoxon 符号秩检验测试^[14], 测试结果如表 2, 3 所示.

由表 2 可知: 无论是对于路由代价目标, 还是网络生存时间目标, MOR-DE 的排名都处于第一的位置.

由表 3 可知: MOR-DE 获得的 R^+ 值明显比 R^- 值要大, 这说明 MOR-DE 算法明显优于 SAMP-DSR, QAMR 和 ACECR 算法.

为了验证算法的收敛性, 对 4 种算法的收敛性进行测试, 其收敛图(网络节点为 40), 如图 1 所示. 图 1 中: n_1 为代数. 由图 1 可知: MOR-DE 算法的收敛速度是最快的, 说明 MOR-DE 算法在收敛性方面明显优于其他 3 种算法.

4 种算法的包传递率(η), 如图 2 所示. 由图 2 可知: 当网络节点数(n_2)较小时, 4 种算法的包传递率相差不明显, 但随着网络节点数的慢慢增大, MOR-DE 算法的优势越加明显.

表 2 Friedman 测试结果
Tab. 2 Test result of Friedman

目标	算法			
	MOR-DE	SAMP-DSR	QAMR	ACECR
路由代价	1.1	3.0	4.0	1.9
t/s	1.1	3.1	3.9	1.9

表 3 Wilcoxon 符号秩检验测试结果
Tab. 3 Test result of Wilcoxon signed-rank

算法	目标	R^+	R^-
MOR-DE-to-SAMP-DSR	路由代价	55.0	0
	t/s	55.0	0
MOR-DE-to-QAMR	路由代价	55.0	0
	t/s	55.0	0
MOR-DE-to-ACECR	路由代价	52.0	3.0
	t/s	52.0	3.0

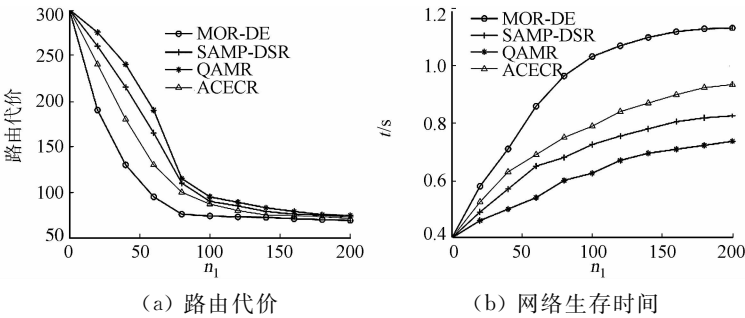


图 1 4 种算法的收敛图
Fig.1 Convergence graph of four algorithms

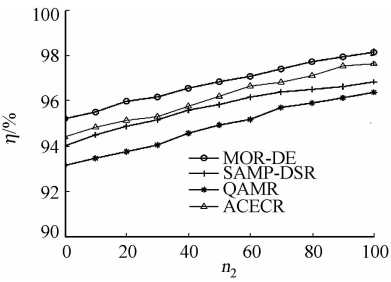


图 2 4 种算法的包传递率
Fig.2 Packet transmission ratio of four algorithms

4 结束语

提出一种基于多目标差分进化算法的移动 Ad Hoc 网络节能路由算法 MOR-DE,修改了差分进化算法的变异、交叉和选择策略,使算法能够适应问题模型. 与 SAMP-DSR,QAMR,ACECR 算法进行比较,MOR-DE 算法在路由代价和网络生存时间方面取得一个较好的平衡,且具有较高的包传递率.

参考文献:

[1] MURTHY J J,GARCIA L A. A routing protocol for packet radio networks[C]//1st Annual ACM International Conference on Mobile Computing and Networking. New York:ACM Press,1995:86-95.

[2] JOHNSON D B,MALTZ A D,BROCH J. The dynamic source routing protocol for multi-hop wireless Ad Hoc networks[M]. New York:ACM Press,2001:139-172.

[3] PERKINS C E,ROYER E M. Ad hoc on demand distance vector (AODV) routing[C]//2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications. Piscataway:IEEE Press,1999:90-100.

[4] SHOKRANI H,SAM J. A survey of ant-based routing algorithms for mobile Ad-Hoc networks[C]//The International Conference on Signal Processing Systems. Piscatawa:IEEE Press,2009:323-329.

[5] WANG Jianping,OSAGIE E,THULASIRAMAN P,et al. A hybrid ant colony optimization routing algorithm for mobile Ad Hoc network[J]. Ad Hoc Networks,2009,7(4):690-705.

[6] 周少琼,徐祎,姜丽,等. 蚁群优化算法在 Ad Hoc 网络路由中的应用[J]. 计算机应用,2011,31(2):332-334.

[7] KHOSROWSHAHI-ASL E,MAJID N,ATIEH S P. A dynamic ant colony based routing algorithm for mobile Ad-Hoc networks[J]. Journal of Information Science and Engineering,2011,27(5):1581-1596.

[8] CHATTERJEE S,SWAGATAM D. Ant colony optimization based enhanced dynamic source routing algorithm for mobile Ad-Hoc network[J]. Information Sciences,2015,295:67-90.

[9] KRISHNA P V,SARITHA V,VEDHA G,et al. Quality-of-service-enabled ant colony-based multipath routing for mobile Ad Hoc networks[J]. IET Communications,2012,6(1):76-83.

[10] ZHOU Jipeng,WANG Xuefeng,TAN Haisheng,et al. Ant colony-based energy control routing protocol for mobile Ad Hoc networks[C]//Wireless Algorithms, Systems, and Applications. Berlin:Springer,2015:845-853.

[11] 詹思瑜,李建平. 基于遗传算法的 Ad Hoc 路由协议优化[J]. 小型微型计算机系统,2012,33(1):24-27.

[12] 朱晓建,沈军. 基于粒子群优化的 Ad Hoc 网络最小能耗多播路由算法[J]. 通信学报,2012,33(3):52-58.

[13] DEEPALAKSHMI P,SHANMUGASUNDARAM R. An ant colony-based multi objective quality of service routing for mobile Ad Hoc networks[J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking,2011,2011(1):1-12.

[14] DERRAC J,GARCLA S,MOLINA D,et al. A practical tutorial on the use of nonparametric statistical tests as a methodology for comparing evolutionary and swarm intelligence algorithms[J]. Swarm and Evolutionary Computation,2011,1(1):3-18.

(责任编辑:钱筠 英文审校:吴逢铁)

《华侨大学学报(自然科学版)》征稿简则

《华侨大学学报(自然科学版)》是华侨大学主办的,面向国内外公开发行的自然科学综合性学术刊物。本刊坚持四项基本原则,贯彻“百花齐放,百家争鸣”和理论与实践相结合的方针,广泛联系海外华侨和港、澳、台、特区的科技信息,及时反映国内尤其是华侨大学等高等学府在基础研究、应用研究和开发研究等方面的科技成果,为发展华侨高等教育和繁荣社会主义科技事业服务。本刊主要刊登机械工程及自动化、测控技术与仪器、电气工程、电子工程、计算机技术、应用化学、材料与环境工程、化工与生化工程、土木工程、建筑学、数学和管理工程等基础研究和应用研究方面的学术论文,科技成果的学术总结,新技术、新设计、新产品、新工艺、新材料、新理论的论述,以及国内外科技动态的综合评论等内容。

1 投稿约定

- 1.1 作者应保证文稿为首发稿及文稿的合法性;署名作者对文稿均应有实质性贡献,署名正确,顺序无争议;文稿中所有事实均应是真实的和准确的,引用他人成果时,应作必要的标注;不违反与其他出版机构的版权协议及与其他合作机构的保密协议;无抄袭、剽窃等侵权行为,数据伪造及一稿两投等不良行为。如由上述情况而造成的经济损失和社会负面影响,由作者本人负全部责任。
- 1.2 自投稿日期起2个月之内,作者不得另投他刊。2个月之后,作者若没有收到反馈意见,可与编辑部联系。无论何种原因,要求撤回所投稿件,或者变更作者署名及顺序,需由第一作者以书面形式通知编辑部并经编辑部同意。
- 1.3 作者同意将该文稿的发表权,汇编权,纸型版、网络版及其他电子版的发行权、传播权和复制权交本刊独家使用,并同意由编辑部统一纳入相关的信息服务系统。
- 1.4 来稿一经刊用,作者须按规定交纳版面费,同时编辑部按篇一次性付给稿酬并赠送该期刊物。本刊被国内外多家著名文摘期刊和数据库列为收录刊源,对此特别声明不另收费用,也不再付给稿酬。
- 1.5 其他未尽事宜,按照《中华人民共和国著作权法》和有关的法律法规处理。

2 来稿要求和注意事项

- 2.1 来稿务必具有科学性、先进性,论点鲜明、重点突出、逻辑严密、层次分明、文字精练、数据可靠。
- 2.2 论文题名字数一般不超过18字,必要时可加副题。文中各级层次标题要简明扼要,一般不超过15字,且同一层次的标题应尽可能“排比”。
- 2.3 署名作者应对选题、研究、撰稿等作出主要贡献并能文责自负,一般以不超过3名为宜。作者单位应标明单位、所在城市、省份及邮政编码。
- 2.4 摘要应包括研究的目的、使用的方法、获得的结果和引出的结论等,应写成独立性短文且不含图表和引用参考文献序号等。其篇幅一般以150~250字左右为宜,关键词以4~8个为宜。
- 2.5 量和单位符号等要符合国家标准和国际标准。
- 2.6 能用文字说明的问题,尽量不用图表;画成曲线图的数据,不宜再列表。图表应有中英文标题。
- 2.7 参考文献仅选最主要的,且已公开发表的,按规范的内容、顺序、标点书写列入,并按其在文中出现的先后次序进行编号和标注。参考文献不少于10篇,未公开发表的资料不引用。
- 2.8 英文摘要应尽可能与中文摘要对应,包括题目、作者姓名、作者单位、摘要、关键词。用过去时态叙述作者工作,用现在时态叙述作者结论,并符合英文写作规范。
- 2.9 文稿首页地脚处依次注明收稿日期;通信作者为可联系作者的姓名、出生年、性别、职称、学历、研究方向、电子邮件地址;基金项目为课题资助背景及编号,可几项依次排列。
- 2.10 投稿请直接登陆学报网站(www.hdxh.hqu.edu.cn)在线投稿。

- 《中文核心期刊要目总览》
- RCCSE 中国核心学术期刊
- 中国期刊方阵“双效期刊”
- 中国科技论文在线优秀期刊
- ISTIC 中国科技核心期刊
- 全国优秀科技期刊
- 华东地区优秀期刊

本刊被以下国内外检索期刊和数据库列为固定刊源

- 美国《化学文摘》(CAS)
- 波兰《哥白尼索引》(IC)
- “STN 国际”数据库
- 中国科学引文数据库
- 中国科技论文统计期刊源
- 中国学术期刊(光盘版)
- 中文科技期刊数据库
- 中国力学文摘
- 中国生物学文摘
- 中国数学文摘
- 俄罗斯《文摘杂志》(AJ, VINITI)
- 荷兰《文摘与引文数据库》(Scopus)
- 德国《数学文摘》(Zbl MATH)
- 中国学术期刊综合评价数据库
- 中国期刊网
- 万方数据库
- 中国机械工程文摘
- 中国化学化工文摘
- 中国无线电电子学文摘
- 中国物理文摘

华侨大学学报(自然科学版)

Huaqiao Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)

(双月刊, 1980 年创刊)

第 37 卷 第 5 期 (总第 151 期) 2016 年 9 月 20 日

JOURNAL OF HUAQIAO UNIVERSITY

(NATURAL SCIENCE)

(Bimonthly, Started in 1980)

Vol. 37 No. 5 (Sum. 151) Sep. 20, 2016

主管单位: 福建省教育厅

主办单位: 华侨大学

(中国 福建 泉州 362021)

(中国 福建 厦门 361021)

编辑出版: 华侨大学学报自然科学版编辑部

电 话: 0595-22692545
电子信箱: journal@hqu.edu.cn
网 址: www.hdxh.hqu.edu.cn

主 编: 乌 东 峰

印 刷: 泉州晚报印刷厂

国内发行: 福建省泉州市邮政局

订 购 处: 全国各地邮政局(所)

国外发行: 中国出版对外贸易总公司

(北京 782 信箱, 邮政编码 100011)

Competent Authority: Department of Education of Fujian Province

Sponsor: Huaqiao University
(Quanzhou 362021, Fujian, China)
(Xiamen 361021, Fujian, China)

Edited and Published by Editorial Department of Journal of Huaqiao University (Natural Science)

Tel: 0595-22692545

E-mail: journal@hqu.edu.cn

Http://www.hdxh.hqu.edu.cn

Editor in Chief: WU Dongfeng

Distributed by China Publication Foreign Trading Corporation

(P. O. Box 782, Beijing, 100011, China)

刊 号: ISSN 1000-5013
CN 35-1079/N

代 号: 国内邮发 34-41
国外 NTZ 1050

国内定价: 8.00 元/期
48.00 元/年

ISSN 1000-5013

