

一、项目名称：移动网络的关键路由模型及优化算法研究

## 二、提名单位、奖项种类

提名单位：湖北省教育厅

奖项种类：自然科学奖

## 三、项目简介：

项目属于计算机科学与技术领域。

路由技术主要是将源节点的数据传输到目的节点所进行的路由选择技术。随着移动网络、移动计算、5G 移动网络、人工智能等综合应用能力的提升，路由技术也将持续保持迅猛的发展。路由技术的独有特征在于，能够提供无所不在的高质量、高通信量的数据传输，同时也为用户提供令其满意的便捷及个性化的服务。

然而，路由技术的迅猛发展伴随着三个核心问题的解决：1) 如何在网络多约束、QoS 多播的前提下，提升移动网络的数据分类传输、传输质量和网络吞吐量？2) 作为移动网络的移动节点，如何降低节点的能源消耗，延长节点的寿命？3) 为提高用户的处理能力，如何对网络中的计算任务进行调度及优化？针对以上三个核心问题，本项目在 1 项国家自然科学基金项目、5 项湖北省自然科学基金项目的资助下，系统分析了路由技术的路由选择理论、应用和数学优化规律，主要发现和贡献包括：

1) 揭示了移动网络的带宽、时延、链路容量、多播树的代价及最大链路利用率等网络性能参数间的耦合作用规律，构建了移动网络的多约束 QoS 多播路由模型。揭示了遗传算法理论、模糊控制理论与 QoS 多播路由、QoS 路由分类的融合控制规律。运用模糊控制理论建立了 QoS 路由分类的分组优先级别的规则集、模糊逻辑控制集等，设计实现了移动网络中基于遗传算法理论、模糊控制理论的多约束 QoS 多播路由优化算法。

2) 针对移动节点能源消耗的不确定性问题进行了研究，设计了移动节点能源消耗的概率密度函数、节点发送/接收的能源消耗模型，揭示了移动节点的能源信息熵的理论与多路径间的规律，构建了能源效率的多路径路由模型，确定了基于能源信息熵的移动节点能源消耗评价模型，设计了无线网络中基于能源信息熵的需求距离向量多路径路由算法、设计了基于遗传算法的能源效率多路径路由算法。

3) 针对移动网络中数据传输、任务调度的动态性和分组丢失率高的问题，通过动态多约束优化理论，构造了基于任务调度的多约束遗传优化模型，建立了卫星网络的多约束任务调度机理和任务分配机制，设计了卫星网络的多约束任务调度遗传优化算法。

研究成果得到来自美国、法国、芬兰、德国和新加坡，以及国内的国防科学技术大学、东北大学等研究机构的引用。项目中的“模糊控制的 QoS 路由算法 (FQRA)”在武汉软帝信息科技有限责任公司开发的“基于移动终端的智能交通与指挥系统”中进行了应用；“网络编码的多路径路由算法 (NC-WSN)”在武汉同德兴信息技术有限公司“中小学信息化智能运维平台”中进行了应用。通过应用，证实了该项目的研究成果能够提升数据分组的传输质量以及数据分组的吞吐量。项目成果在国内外产生了较好影响，为移动网络的发展和应用提供了非常重要的理论和实践支持。

该项目的 5 篇代表性论文中的 2 篇论文发表在 SCI 收录的国内英文版科技期刊《Progress in Natural Science》、《China Communications》上，3 篇论文发表在

SCI 收录的国际学术期刊《International Journal of Computers, Communications & Control》、《Wireless Personal Communications》、《Kybernetes》上。论文被《Neural Computing and Applications》、《Information Sciences》、《Engineering Applications of Artificial Intelligence》等国际学术期刊引用和评述，其中 SCI 他引 60 多次。

#### 四、客观评价：

该项目的 5 篇代表性论文中的 2 篇论文发表在 SCI 收录的国内英文版科技期刊《Progress in Natural Science》、《China Communications》上，3 篇发表在 SCI 收录的国际期刊《International Journal of Computers, Communications & Control》、《Wireless Personal Communications》、《Kybernetes》上。代表性论文被《Neural Computing and Applications》、《Information Sciences》、《Engineering Applications of Artificial Intelligence》等国际学术期刊引用和评述。典型他引、评价如下：

1) 代表性论文[1]：建立了一种基于多约束的 QoS 多播路由优化算法 (MQMGA)。

世界著名法国 University of M'Hamed Bougara Boumerdes 的 Y. Meraihi 教授等发表的代表性引文中评价为“Sun et al. [4] proposed a multiple constraint QoS multicast routing optimization algorithm in MANET based GA. The obtained results demonstrated its accuracy and efficiency for the route stability in MANETs”。(通过实验结果证明了该算法对 MANET 路由稳定性的准确性和有效性)。IEEE 会员、中国计算机学会高级会员的山东大学计算机学院王华 (Wang Hua) 教授等发表的引文 (An optimized ant colony algorithm based on the gradual changing orientation factor for multi-constraint QoS routing. *Computer Communications*, 2009, 32(4): 586-593, JCR Q2) 中评价为“Many researchers have attempted to adopt heuristic algorithms like genetic algorithms[10] to solve the problem of ad hoc routing problem in QoS multi-constraints”(采用遗传算法等启发式算法来解决 QoS 多约束下的 ad hoc 路由问题)。

2) 代表性论文[2]：提出了一种基于模糊控制的移动网络 QoS 路由算法。

CCF(中国计算机学会)网络与数据通信专委副主任、CCF 互联网专委副主任、东北大学软件学院原院长王兴伟(Wang Xingwei)教授等发表的代表性引文 2 中大段评述本研究的成果：“In Sun et al. (2009), the QoS multicast routing in mobile ad hoc networks was investigated. It proposes a fuzzy controller based QoS routing algorithm with a multiclass scheme. The multicast algorithm aims to build a multicast tree from the source node to a set of destination nodes. There are lots of works which have been done on QoS multicast. The focus of this paper is on QoS unicast routing”，充分肯定了代表性论文[2]中移动网络的 QoS 多播路由模型以及模糊控制的多类分组控制机制。

3) 代表性论文[3]：建立了一种无线网络中基于能源信息熵的需求距离向量多路径路由算法。

塞尔维亚 Megatrend University 的 M. Tuba 教授等发表的代表性引文中评价为“The network design problem, that was for many decades investigated with emphasis on wide area networks, has been recently revitalized with application to wireless ad-hoc networks and subclasses mobile ad-hoc networks (MANET)[18]”，选用代表性论文[3]的成果为解决网络的设计问题重新焕发了生机。

4) 代表性论文[4]：提出了一种基于遗传算法的能源效率的多路径路由算法。

马来西亚 Universiti Sains Malaysia 的 M. A. Shalabi 教授等发表的代表性引文中大段评述本研究的成果：“Another protocol is called GA for energy-entropy-based multipath routing in WSNs (GAEMW) [27]. In [27], a GA for multipath routing in WSNs was proposed on the basis of finding the node with the least residual energy in each route in the process of selecting multipath routing. To initialize a population, a routing path is presented by a set of integers. These integer numbers represent node

IDs, node energy and other information [27]”，充分肯定了代表性论文[4]中能源信息熵模型、多路径路由模型的原创性，以及遗传算法在这些模型应用中的先进性。

5) 代表性论文[5]: 建立了一种新的多约束、多任务的卫星任务调度模型，提出了一种基于遗传算法的卫星任务调度算法。

中国地质大学陈晓宇(Xiaoyu Chen)、德国 Heidelberg 大学 G. Reinelt 教授等发表的代表性引文 5 中评述本研究的成果：“Sun [16] discretizes the visible time and formulates a 0-1 linear program model for a simplified single satellite mission scheduling problem.”充分肯定了代表性论文[5]中建立的多约束、多任务的 0-1 线性规划模型，该模型较好地可见窗口时间离散化，简化了单卫星任务调度问题。

## 五、代表性论文或专著名称/发表或出版出处/全部作者/发表或出版时间:

1. 孙宝林、皮上超、桂超、曾岳、严冰、王文祥、秦前清. Multiple Constraints QoS Multicast Routing Optimization Algorithm in MANET based on GA. Progress in Natural Science, 2008, 18(3): 331-336, 2008 年 3 月
2. 孙宝林、桂超、张棋飞、陈华. Fuzzy Controller Based QoS Routing Algorithm with a Multiclass Scheme for MANET. International Journal of Computers, Communications & Control, 2009, 4(4): 427-438, 2009 年 12 月
3. 孙宝林、桂超、宋莺. Energy Entropy On-Demand Multipath Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks. China Communications , 2011, 8(7): 75-83, 2011 年 11 月
4. 宋莺、桂超、鲁晓成、陈华、孙宝林. A Genetic Algorithm for Energy-Efficient Based Multipath Routing in Wireless Sensor Networks. Wireless Personal Communications, 2015, 85(4): 2055-2066, 2015 年 12 月
5. 孙宝林、王文祥、谢兴、秦前清. Satellite mission scheduling based on genetic algorithm. Kybernetes, 2010, 39(8): 1255-1261, 2010 年 8 月

## 六、主要完成人情况:

- 1、孙宝林，男，博士，教授，1963 年 3 月生

是本项目的第一完成人，也是项目总负责人。主要负责提出总体思路与方案，申请立项和组织实施，投入工作量占本人总工作量的 90%。

旁证材料：代表性论文 1、2、3、5 为第一作者，代表性论文 4 为通讯作者，湖北省科技成果登记第一完成人。

- 2、宋莺，女，博士，副教授，1975 年 9 月生

是本项目的第二完成人。主要负责移动网络的能源效率及数据传输质量的研究与实验工作，提出了能源信息熵的多路径路由模型、多约束的多路径路由模型以及遗传优化算法，从仿真实验方面对多路径路由模型及优化算法进行了实验研究与数据分析，参与了论文的撰写工作，投入工作量占本人总工作量的 80%。

旁证材料：代表性论文 3（第三作者）、代表性论文 4（第一作者），湖北省科技成果登记第四完成人。

### 3、桂超，男，硕士，教授，1964 年 12 月生

是本项目的第三完成人。提出了多约束的 QoS 多播路由模型、多路径路由模型、能源效率模型，并对些模型设计了相应的遗传优化算法、模糊控制算法，对仿真实验方案进行了指导与制定工作，对仿真实验数据进行了分析与统计，投入工作量占本人总工作量的 80%。

旁证材料：代表性论文 1（第三作者）、代表性论文 3（第二作者）、代表性论文 4（第二作者），湖北省科技成果登记第三完成人。

### 4、陈华，女，硕士，副教授，1977 年 4 月生

是本项目的第四完成人。提出了 QoS 路由模型、多路径路由模型、能源效率模型，并对些模型设计了相应的遗传优化算法、模糊控制算法，根据移动网络数据传输的吞吐量问题，设计了移动网络的网络编码算法，对仿真实验数据进行了分析与统计，投入工作量占本人总工作量的 60%。

旁证材料：代表性论文 2（第四作者）、代表性论文 4（第四作者）。

### 5、张棋飞，男，博士，副教授，1977 年 8 月生

是本项目的第五完成人。提出了模糊控制的路由模型、多类数据分组机制，从仿真实验方面对模糊控制的路由模型、多类数据分组及控制进行了实验研究与数据分析，参与了论文的撰写工作，投入工作量占本人总工作量的 50%。

旁证材料：代表性论文 2（第三作者）。

## 七、完成人合作关系说明：

项目主要完成人的合作关系体现在以下 3 个方面：

1、作为项目组成员，共同申请并获批立项了 1 项国家自然科学基金项目和 6 项湖北省自然科学基金项目。

国家自然科学基金项目：基于滑动窗口的线性连续网络编码的关键技术与算法研究（61572012）。

湖北省自然科学基金项目：（1）滑动窗口网络编码的关键模型与算法研究（2014CFA055）；（2）基于网络编码的无线传感器网络能源效率路由技术研究（2013CFB035）；（3）基于分形特征的无线网络跨层优化研究（2013CFB309）；（4）无线移动 Ad Hoc 网络网格状分簇路由协议的研究（2010CDB05601）；（5）基于移动预测分布式稳定的 Ad Hoc 网络 QoS 路由协议研究(2006ABA301)；（6）

无线移动 Ad Hoc 网络 QoS 多播路由技术研究(2004ABA014)。

2、共同完成了湖北省科技成果登记 1 项。省成果登记编号：  
EK2017A010223001008。

3、发表了相关学术论文 80 余篇（被 SCI 收录 15 篇、被 EI 收录 60 余篇）。

## 八、知情同意证明

### 知情同意证明

经项目申请人孙宝林教授告之，我参与合作的论文将参加 2021 年度湖北省科学技术奖励（自然科学奖）提名申报工作，由于参与提名人数的限制，本人自愿放弃参加此奖的提名人员。

知情人：王文祥  
2021年 6 月 8 日

### 知情同意证明

↵

经项目申请人孙宝林教授告之，我参与合作的论文将参加 2021 年度湖北省科学技术奖励（自然科学奖）提名申报工作，由于参与提名人数的限制，本人自愿放弃参加此奖的提名人员。↵

↵

知情人：曾岳  
2021 年 6 月 10 日↵

## 知情同意证明

经项目申请人孙宝林教授告之，我参与合作的论文将参加 2021 年度湖北省科学技术奖励（自然科学奖）提名申报工作，由于参与提名人数的限制，本人自愿放弃参加此奖的提名人员。

知情人：



2021 年 6 月 10 日

## 知情同意证明

经项目申请人孙宝林教授告之，我参与合作的论文将参加 2021 年度湖北省科学技术奖励（自然科学奖）提名申报工作，由于参与提名人数的限制，本人自愿放弃参加此奖的提名人员。

知情人：



2021 年 6 月 9 日