

高质量创新型本科人才的培养实践研究*

程宝雷^{1,2} 樊建席¹ 张广泉¹

1. 苏州大学 计算机科学与技术学院, 苏州 215006
2. 江苏省计算机信息处理技术重点实验室, 苏州 215006

摘要 以苏州大学计算机科学与技术学院软件工程专业数名本科生在体系结构研究方向的选拔过程和培养过程为例, 从交流中了解、实践中锻炼、指导下进步、成果中检验四个步骤详细探讨了高质量创新型本科人才的培养实践研究。所培养的本科生在高质量创新成果如软件著作权和学术论文发表方面各取得多项成果, 在本科生主持项目的验收结果和优秀本科毕业论文的评比方面也获得了较好的成绩。

关键字 创新型本科人才, 独立生成树, 软件著作权, 学术论文

Research on the Training Practice of High-quality Innovative Undergraduate Talents

Baolei Cheng^{1,2} Jianxi Fan¹ Guangquan Zhang¹

1. School of Computer Science and Technology, Soochow University, Suzhou 215006, China;
2. Provincial Key Laboratory for Computer Information Processing Technology, Soochow University Suzhou 215006, China {chengbaolei, jxfan, gqzhang}@suda.edu.cn

Abstract—Taking the selection process and training process of several undergraduate students majoring in software engineering in the School of Computer Science and Technology of Soochow University in the direction of architecture research as an example, this paper discusses in detail the training practice research of high-quality innovative undergraduate talents from the four steps of understanding through communication, exercising through practice, improving through guidance, and testing through achievements. The undergraduate students trained have made many achievements in high-quality innovation achievements, such as software copyrights and academic paper publishing, and have also achieved good results in the acceptance results of the projects hosted by the undergraduate students and the evaluation of excellent undergraduate graduation theses.

Keywords—Innovative undergraduate talents, independent spanning trees, software copyright, academic paper

1 引言

当今社会, 各行各业都需要不断创新, 才能跟上时代的需要。在本科生的培养过程中, 各所高校越来越重视高质量创新型人才的培养^[1]。本科生高质量创新成果在我校(苏州大学)的表现形式主要包括本科生撰写知识产权如软件著作权、发表高质量学术论文、参与大学生竞赛获奖等。上述成果在本科生被推免硕士研究生的评价体系中, 也占有一定的分值权重。

近几年来, 我校越来越重视本科生的教学科研工作, 一线任课老师大部分是资深教授、研究生导师、优秀博士等, 他们都具有丰富的科研经验。与此同时, 我校本科生的创新成果也不断涌现。在我院(计算机

科学与技术学院)软件工程专业, 伴随着工程认证^[2]工作的实施, 学生逐渐具备较好的编程实践能力和较强的分析问题与解决问题的能力。学院管理层也不定期发起“本科生走进实验室”活动来鼓励学生参加科研创新相关工作。

在我院良好的氛围下, 利用导师团队成员担任软件工程专业班主任的优势, 结合团队的体系结构研究方向, 在班中选拔了数名本科生参与科研创新实践研究。从软件的开发、软件著作权的登记、科研创新项目的申请、学术论文的写作^[3]等方面多方位培养学生的这些创新能力。

2 科研创新实践研究总体思路

下面主要结合我院软件工程专业数名本科生的选拔过程和培养过程, 从交流中了解、实践中锻炼、指导下进步、成果中检验四个步骤来加以探讨, 如图 1 所示。

* **基金资助:** 本文得到江苏省高等教育教改研究立项课题(2021JSJG254); 江苏省学位与研究生教育教学改革课题(JGKT23_B045); 国家自然科学基金资助项目(62272333, 62172291); 江苏省教育厅未来网络科研基金(FNSRFP-2021-YB-39)资助。

2.1 交流中了解

结合导师团队的科研经历与同学们讨论如何有计划地从事科研创新工作,与同学们产生思想上的共鸣,强调个人主观能动性的发挥。在我们体系结构方向,仅有想法或雄心壮志是远远不够的,还需要进行脚踏实地的实践锻炼。

2.2 实践中锻炼

注重知识产权如软件著作权的登记。鼓励同学们撰写具有一定系统性和鲜明特色的演示软件,并登记为软件著作权。这里我们强调创新,不受现有软件功能的约束,在软件功能的设计和实现上需要有自己的想法,并用运行结果进行验证。俗话说:“一口吃不成胖子”。经过一段时间的努力,同学们能够静下心来,持之以恒地思考、编程、改进,实现比较完善的软件并整理成比较规范的软件著作权登记文档。

2.3 指导中进步

注重理论能力的提高,提出创新算法并进行实验验证,进一步进行学术论文的撰写。我们导师团队结合其自身在创新算法设计、算法性能改进如降低时间复杂度、算法运行结果改进如降低独立生成树的高度等方面的经验对同学们进行言传身教,精准指导。同学们经过指导后能够提高算法设计能力,编写更高性能的算法程序。我们让同学们先能够通过实验验证在互连网络具备大规模顶点的情况下所设计或改进的算法的正确性,然后通过理论给出严谨的证明。

2.4 成果中检验

注重学术论文的产出、优秀毕业论文奖项的获得等。在学术论文的撰写阶段,我们杜绝“闭门造车”。对于最新文献的引用及其贡献优缺点的点评需到位,在后期撰写英文学术论文过程中我们还邀请了美国蒙特克莱尔州立大学体系结构领域的专家 Dajin Wang 教授对相关论文的内容撰写和英文语句的用词、组织等方面进行大力指导和改进。

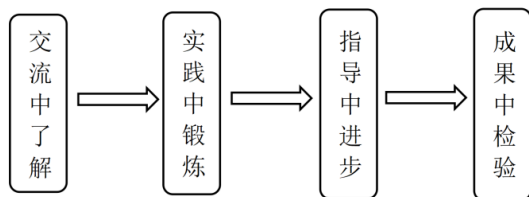


图1 人才培养四步骤

3 交流中了解

结合导师团队多年来在本科生中的教学科研经验,我们通过利用班主任工作的优势,组织一次会议,向

同学们普及导师们所从事的体系结构方向科研知识,提出如下几个常见的问题:

- (1) 我们是否适合从事体系结构方向的研究。
- (2) 我们是否真正理解了研究的问题。
- (3) 我们是否掌握了行之有效的研究方法。
- (4) 本科生从事科学研究一般有哪些高质量创新成果。

结合我们导师团队的学习研究经历,开展一次专题讨论会议,与对科研感兴趣的同学进行交流,强调充分发挥个人主观能动性。俗话说:“宝剑锋从磨砺出,梅花香自苦寒来。”我们一开始就向同学们强调,不经过努力奋斗得到的成果通常不会是高质量的创新成果。我们向同学们提供课题组的一些科研资料、相关论文^[4-6]和一些经典的图论书籍(电子文档)如《Graph Theory and Interconnection Networks》^[7]等。邀请感兴趣的同学进入我们体系结构研究方向研究生的微信群,鼓励同学们在认真学习的基础上,提出问题并在群里讨论。两周后,带领对科研创新工作感兴趣的同学参观课题组所在的实验室,与研究生们进行简短的面对面交流,结合同学们前面对材料的阅读,确立了研究的主题为:独立生成树(含顶点独立生成树(Node-Independent Spanning Trees, NISTs)和完全独立生成树(Completely Independent Spanning Trees, CISTs)两个子方向)以及边不相交生成树。独立生成树与边不相交生成树可用于设计通信网络中的可靠通信协议,容错广播和安全消息分发^[4-5], IP 快速重路由^[8]等,具有较好的应用价值,这也是引起同学们兴趣的原因之一。

4 实践中锻炼

表1 本科生培养前成果

成果类型	数量
主持项目	0
软件著作权	0
CCF 推荐 SCI 期刊论文	0
CCF 推荐会议论文	0
国内核心期刊论文	0
优秀毕业论文(学校)	0
优秀毕业论文(省)	0

明确了问题后,我们为交流后筛选出的本科生每人量身定做一个互连网络演示系统。我们在 2017 级软件工程专业本科生中选出 3 名同学:王懿丰、钱煜、姜若凡,组成一个小组。

该小组在主持项目、软件著作权、CCF 推荐 SCI 期刊论文、CCF 推荐会议论文、国内核心期刊论文、

优秀毕业设计（学校）及优秀毕业设计（省）等方面的初始成果数量皆为 0，如表 1 所示。

首先，我们分别给他们安排了“SWCube 数据中心网络上完全独立生成树演示软件”、“一类数据中心网络上分离树构造展示平台”、“Augmented Cube 上顶点分离树演示软件”等网络性质演示系统的开发。在软件开发的过程中互相交流、互相参与，安排体系结构方向的研究生对系统功能进行验证、指出系统功能的不合理之处并对系统的改进提出具体建议。与此同时，小组成员们加强图论知识的学习，把软件的运行结果结合自己对图论知识的理解、研究生们所提出的建议等进行验证与改进。

对于互连网络的相关概念的理解，如果仅仅阅读其定义，有纸上谈兵的缺点，特别是在思考包含大规模顶点的高纬度互连网络时容易产生偏差。我们指导同学们进行编程实现并找出在编程过程中遇到的典型问题，给他们讲解透彻。经过半年的理论学习和开发实践，同学们的理论知识得到了加强，所撰写的软件具有创新性及其独特性，能够为互连网络的爱好者提供帮助。经过申请登记，成功获得三项软件著作权登记，分别为《SWCube 数据中心网络上完全独立生成树演示软件 V1.0》（登记号：2019SR1061765）、《一类数据中心网络上分离树构造展示平台 V1.0》（登记号：2019SR1059859）、《Augmented Cube 上顶点分离树演示软件 V1.0》（登记号：2019SR1062769）。

进一步，依据我校的规章制度，上述三个软件著作权经学生本人申请，均转换成了本科生的创新学分。

5 指导中进步

在掌握一定的理论和实践经验的基础上，我们指导同学们进行本科生科研创新实践类项目的申请与研发工作。

在项目申请书的撰写方面，我们导师团队指导本科生们认真写好每一部分如项目意义、可行性分析、研究内容、拟采取的技术方案等，并经过多次改进，最终整理出较完善的项目申请书。申请书的撰写锻炼对后期学术论文、毕业论文的撰写帮助较大。首先，我们指导本科生钱煜等成功申请到第二十一批大学生课外学术科研基金资助项目一项，信息如下：

钱煜、王懿丰、姜若凡.HSDC 数据中心网络上顶点独立生成树的构造. 第二十一批大学生课外学术科研基金资助项目, 2019-4-30. 指导老师: 程宝雷、樊建席.

项目团队在研发过程中撰写的软件及技术报告《HSDC 数据中心网络上顶点独立生成树的构造研究》参与苏州大学第二十届“挑战杯”大学生课外学术科技作品竞赛，并被评定为二等奖。

进一步，在获得的软件著作权的研究基础上，王懿丰等同学成功申请到国家级大学生创新训练计划项目（简称国家级大创项目）一项，信息如下：

王懿丰、姜若凡、钱煜. SWCube 数据中心网络上完全独立生成树的构造研究. 苏州大学 2019 年国家级大创项目, 2019-11-8. 指导老师: 程宝雷、樊建席.

由于国家级大创项目要求必须在省级以上刊物发表学术论文才能顺利结题，我们团队高度重视，热情高昂，基本 1-2 周开展一次交流讨论会。

论文的写作与软件著作权的撰写不一样。在论文中，图论符号的表示要严格符合规范要求。基于所学的数据结构课程的基础知识，同学们大约用了两个月时间来学习图论知识及课题组发表的相关论文。对于本科生团队所研究出来的理论结果，我们要求必须进行实验验证，这也符合目前期刊和会议对稿件须有实验验证部分的要求。由于国家级大创项目有一定的经费支持，同学们购买了一些图书资料，参加了一些领域相关的学术会议并与同行专家进行了交流，经过半年多的不懈努力，论文陆续被整理出来并反复进行查错、改进。

6 成果中检验

6.1 学术论文

团队的第一篇学术论文以北图核心期刊为目标，在参阅了大量国内核心期刊论文写法的基础上，钱煜等以一类逻辑图为复合图 $G(K_n)$ 的数据中心网络为研究背景，证明结论如下：

① 若 G 的直径为 d ，则 $G(K_n)$ 的直径为 $2d$ 或 $2d+1$ 。

② 假设 G 是 n -正则 n -顶点连通的且其上存在以任一顶点为根的 n 棵NISTSs，则 $G(K_n)$ 上存在以任一顶点为根的 n 棵NISTSs，提出了一种时间复杂度为 $O(N)$ 的高效算法，并进行了理论证明和实验验证。这里， N 是 $G(K_n)$ 的顶点数。相关成果于2021年发表于北图核心期刊《计算机应用研究》^[9]。

接下来的论文我们以英文会议或期刊论文为目标，经过多周写作方面的培养训练，期间与课题组的博士、硕士研究生交流心得体会，改进不足之处。在一年多时间里，认真撰写、反复改进完善相关论文。整个过程中发表三篇英文论文如下：

(1) 超立方体线图上边不相交生成树的构造

考虑到边不相交生成树可用于网络中信息的可靠通信、容错广播、安全分发等，钱煜等研究了一类重要互连网络超立方体的线图上边不相交生成树的构造，建立了超立方体上边不相交生成树与其线图上边不相交生成树之间的关系，提出了一个构造算法并证明了

其正确性,相关成果发表于中国计算机学会(CCF)推荐C类会议ASAP上^[10]。

(2) 完全图线图上CISTs的构造

考虑到CISTs的存在性是网络鲁棒性的一个指标。王懿丰等给出了完全图线图上最多棵CISTs的构造方法,设计了构造算法,并进行了实验验证。完全图线图是数据中心网络SWCube的一类特殊情形。在该论文的撰写过程中,我们邀请了研究领域为体系结构方向的美国蒙特克莱尔州立大学的Dajin Wang教授对本科生进行共同指导。在英文学术论文的投稿过程中,第一次投稿稿件的质量很重要,我们导师团队对论文质量从内容和英文写法上严格把关,相关成果《Constructing completely independent spanning trees in a family of line-graph-based data center networks》发表于IEEE TC^[11]并被完全独立生成树构造问题的提出者Toru Hasunuma在2022年的最新论文中引用和点评^[12]。该论文是我院本科生首次在CCF推荐A类SCI源期刊IEEE TC上发表论文,在苏州大学主页科研教育栏目^[13]和自媒体教育快讯大观均有报道^[14]。需要指出的是,迄今为止,我院博士生、硕士生也未能再在IEEE TC期刊上发表论文。

(3) 任意互连网络线图上CISTs的构造

进一步,王懿丰等研究了任意互连网络线图上CISTs的构造,建立了给定互连网络上边不相交生成树与其线图上CISTs的关系,首次给出了一个通用算法来构造线图上的CISTs并通过模拟实验讨论了如何减小CISTs的直径。相关成果发表于CCF推荐B类SCI源期刊《The Computer Journal》^[15]。

需要指出的是,在我院人才培养体系中,发表一篇CCF推荐B类SCI源期刊也达到了博士生毕业的基本要求。不难看出,我们组的本科生在高质量论文的发表方面取得较为出色的成果。

6.2 软件著作权与优秀毕业论文

钱煜同学论文中的模拟实验撰写的相关代码及运行结果被整理成软件著作权《超立方体线图上边不相交树演示软件V1.0》(登记号:2021SR0996197)。王懿丰同学论文中的模拟实验撰写的相关代码及运行结果被整理成软件著作权《线图中完全独立生成树的构造平台V1.0》(登记号:2021SR0284537)。在相关软件著作权和学术论文的支撑下,王懿丰等负责的国家级大创项目的中期检查和结题结果皆为优秀。从我院这几年国家级大创项目的结题情况来看,结题为优秀的很少。在优秀本科毕业论文方面,钱煜同学的毕业论文《几类数据中心网络中不相交树结构的构造研究与实现》与王懿丰同学的毕业论文《线图网络中完全独立生成树的构造研究与实现》同时被评为苏州大学

优秀本科毕业论文。需要指出的是,我校校级优秀本科毕业论文的比例为不超过专业总人数的3%,软件工程专业也仅有钱煜和王懿丰两名同学的本科毕业论文被评为校级优秀。同时王懿丰的本科毕业论文被评为江苏省优秀本科毕业论文一等奖^[16]。需要指出的是,同年度苏州大学所有专业一共只有4名同学获得江苏省优秀本科毕业论文一等奖。

此外,在2021年,钱煜同学被保送至南京大学攻读硕士研究生,王懿丰同学被保送至浙江大学攻读硕士研究生。

表2展示了我们指导的小组在毕业时在主持项目、软件著作权、CCF推荐SCI期刊论文、CCF推荐会议论文、国内核心期刊论文、优秀毕业设计(学校)及优秀毕业设计(省)等方面皆取得相应成果。

表2 本科生培养后成果

成果类型	数量
主持项目	2
软件著作权	5
CCF推荐SCI期刊论文	2
CCF推荐会议论文	1
国内核心期刊论文	1
优秀毕业论文(学校)	2
优秀毕业论文(省)	1

7 结束语

为了培养高质量本科创新人才,结合导师团队成员担任班主任的优势,我们在班级学生中进行动员、交流讨论,选出一个小组。学生通过合作的模式,首先通过软件的开发、软件著作权的撰写、图论知识的学习,打下了一定的理论和实践基础;接着深入研究了相关具体科学问题,发表了国内外多篇期刊或会议论文,有效地提高了同学们的创新能力,激发了同学们对科研创新的浓厚兴趣。

参考文献

- [1] 王群,李秋丽,陈蒙.面向新工科的软件工程应用型人才培养模式研究[J].计算机技术与教育学报,2022,10(3):39-42.
- [2] 罗兰花,余长庚,赵方珍,等.工程认证标准下的软件工程毕业达成度评价[J].计算机教育,2022(1):116-119.
- [3] 李向,冯如意,李婷.研究型本科学位论文全过程质量管理研究[J].计算机技术与教育学报,2022,10(4):19-23.
- [4] Nagai S, Nakano S. A linear-time algorithm to find independent spanning trees in maximal planar graphs[J]. IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, 2001, 84(5): 1102-1109.
- [5] Hasunuma T, Morisaka C. Completely independent spanning trees in torus networks[J]. Networks, 2012, 60(1): 59-69.

- [6] 程宝雷. BC 网络上独立生成树构造研究[D]. 苏州大学, 2014.
- [7] Hsu L-H, Lin C-K. Graph theory and interconnection networks[M]. CRC Press, 2008.
- [8] Gopalan A, Ramasubramanian S. IP fast rerouting and disjoint multipath routing with three edge-independent spanning trees[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2016, 24 (3): 1336–1349.
- [9] 钱煜, 程宝雷, 樊建席, 等. 一类数据中心网络中顶点独立生成树的一种通用构造方法[J]. 计算机应用研究, 2021, 38(7): 2130–2134.
- [10] Qian Y, Cheng B, Fan J, et al. Edge-disjoint spanning trees in the line graph of hypercubes[C]. 2021 IEEE 32nd International Conference on Application-specific Systems, Architectures and Processors (ASAP), A Virtual Conference, pp. 61–64, 2021-7-7~2021-7-8.
- [11] Wang Y, Cheng B, Qian Y, et al. Constructing completely independent spanning trees in a family of line-graph-based data center networks[J]. IEEE Transactions on Computers, 2022, 71(5): 1194–1203.
- [12] Hasunuma T. Completely independent spanning trees in line graphs[J]. <http://dx.doi.org/10.48550/arXiv.2209.09565>, 2022.
- [13] 计算机学院 2017 级本科生王懿丰论文被国际高水平期刊 IEEE TC 录用[EB/OL]. 苏州大学主页教育科研栏目, 2021-5-14, http://www.suda.edu.cn/suda_news/jxky/202105/f626ac67-81de-4e03-9a44-0a44de8ba9a0.html.
- [14] 第一作者! 本科生首次取得并验证这一成果, 被国际顶级期刊录用[EB/OL]. 教育快讯大观, 2021-5-19, <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1700180238816202912&wfr=spider&for=pc>.
- [15] Wang Y, Cheng B, Fan J, et al. An algorithm to construct completely independent spanning trees in line graphs [J]. The Computer Journal, 2022, 65(12): 2979–2990.
- [16] 王懿丰. 线图网络中完全独立生成树的构造研究与实现 [EB/OL]. 2021 年度江苏省普通高等学校本专科优秀毕业论文 (设计) (苏教评函 (2021) 1 号), 一等奖, 2022-7-15, http://jyt.jiangsu.gov.cn/art/2022/7/20/art_58320_10546935.html.