

浅谈科研流程及其中的师生合作

山世光

中国科学院计算技术研究所

特邀专栏作家

关键词：科研流程 师生合作

从1997年读硕士研究生开始算起，自己已在计算机应用领域从事科研工作15年了！回首这15载的科研历程，我从一名懵懂的学生成长为一名博士生导师，对计算机应用领域科研工作流程的认识逐渐清晰，对工作中所涉研究人员（主要是导师和研究生）的角色也越来越明确。本文将介绍我本人对科研过程中师生“合作共赢”关系以及“师在研中教、生在研中学”的认识。

科研工作的一般流程 我认为科学研究（以计算机应用领域的科研为例）应该遵循一个由10个步骤组成的流程（如图1所示）。该过程很像传统软件工程中“需求—设计—编码—测试”的软件开发流程，因为大多数的计算机应用研究是要面向特定需求或以解决特定问题为目标的，所以都会遵循“问题—思路—算法—实验”的类似流程。但二者的根本不同在于，软件开发的目标是确定的，强调的是“满足需求，实现功能”，甚至允许有“不管白猫黑猫，抓住老鼠就是好猫”

的做法；而科学研究的目标往往是不确定的，甚至在很多情况下可能是无解的，因此科学研究强调理论上的简约与完美、逻辑上的严谨与缜密、解决方法的优雅与推广性、算法的最优化（最好能做到“后无来者”——后人不用再做了）以及对前人工作的理性质疑与批判，更强调创新，尤其是“前无古人”的开创性工作。这些特征必然会体现在科学研究流程中的每个步骤上。

步骤1：通过科学的需求分析确定研究课题

科学研究的需求来源非常广，常见的有国家重大需求、产业共性需求、社会发展需求以及人民生活改善需求等等。还有一类需求来源于更纯粹、更抽象的学科发展内在的推动力（比如学科理论基础的完整性和统一性），也可能来源于技术本身发展的惯性趋势（比如一些会引导甚至创造需求的新技术）。此外，研究

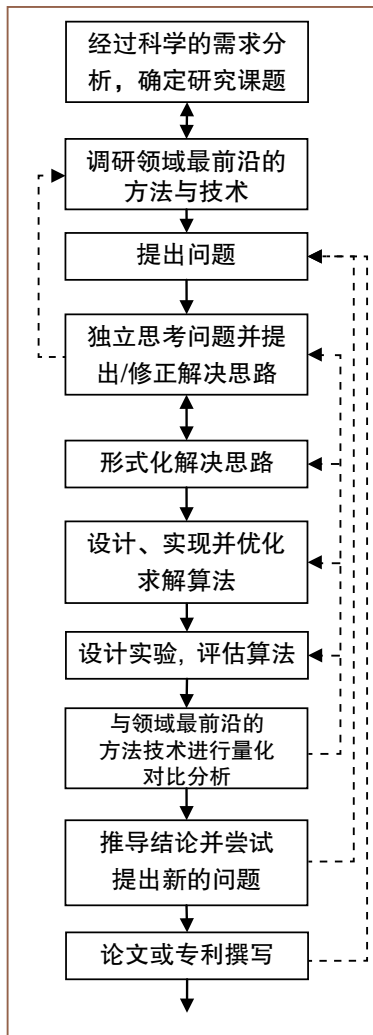


图1 我所理解的科研流程（实线箭头为前馈过程，虚线箭头为反馈过程）

人员的好奇心和个人兴趣也会成为一种内在的科研动力。无论哪种需求,都应该得到理性的尊重。在此阶段,导师或研究团队负责人往往起决定性的作用,研究生大多处于被动接受的地位。导师的研究方向一般都是确定的,所以,研究生在选择导师时一定要审视自己的内心,扪心自问真实兴趣是否与导师的研究方向一致,避免以后因“志不同”而不得不做自己没兴趣的事情。

需求分析的结果往往是一个大问题或大任务,需要审慎地将其分解为多个条件更为可控的子任务或者子问题,这里我称之为研究课题(不是指科研项目)。例如在进行人脸识别这一大问题的研究时,其中有一类单一样本的人脸识别问题,即每个待识别的人在数据库中只注册了一个图像的情况,这就是一个具体的研究课题。

从师生合作的角度来说,研究生往往在入学后不久就被分配一个具体的研究课题,研究生的课题都是由导师指定的。这非常考验导师对科学需求的认识,以及对相关领域研究趋势的把握。过难、过易、过时的研究课题都可能给研究生未来的科研生涯带来不利的影响。特别是过时的题目,可能导致研究生在一些低水平的重复性研究工作上荒废青春。幸运的是,该环节一般与接下来的调研环节是强耦合的,全面、准确的调研可以进一步修正研究课题的具体任务。

步骤 2 : 调研领域最前沿的方法与技术 (state of the art)

这一阶段的任务是:对给定的研究课题,通过调查研究,回答下述问题:在该课题上国内外有哪些研究者?已经做了哪些工作?这些工作如何分类?如何量化和评价这些工作?它们各有什么优缺点?当前最好的方法已经做到了什么程度?还有什么开放问题没有解决?目前的技术趋势是什么?对这些问题的准确回答是科学研究过程中最重要的任务。很多研究工作最终之所以成为同行不屑一顾的“垃圾”,往往是因为调研上出了问题,结果导致重复了别人的工作,或者解决了别人早已解决了的问题,或者做了远不及当前最好方法的工作。

在此环节上,我的经验是:尽快找到该领域 3~5 个最前沿的方法与技术,并尽量完全理解其本质,甚至跟踪实现它们。找到该领域最前沿的方法与技术很重要,因为科研(至少是计算机应用学科)的目标就是要超越现有的最好。如果一个研究者连自己的研究领域内当前最前沿的方法与技术是什么都不知道,谈何超越?

那么该如何调研发现领域内最前沿的方法与技术呢?我的经验有这样几条:(1)先读研究领域内的最新综述,这类文章一般会在题目中包含“调查”(survey)、

“回顾”(review)或“对比研究”(comparative study)等字眼;(2)用 Google scholar 等工具检索出领域内引用次数最多的前 10 篇论文,并精读它们(通常是比较旧但很经典的论文);(3)找出该领域最顶级的国际会议和期刊,把其中最近 3~5 年的相关文章全部泛读一遍,找出被引用特别是被比较次数最多的工作,至少精读 50 篇;(4)找出领域内的“大牛”,并关注他们的研究动向。这一点请读者不要误解为我鼓励读者“迷信”权威,因为对权威的理性质疑往往是突破的契机,但一定要建立在对“大牛”的工作清楚了解的基础上。所以,为了打败“权威”们,先去了解他们吧!(5)找机会多听讲座或者多学习领域内“大牛”的教程(tutorial),现场聆听也许不现实,但网络上的资源足够丰富,比如现在的各种公开课等,都是非常好的资源。

在调研阶段,师生共进是非常重要的。研究生有足够的时间和精力阅读大量的论文,从而能够把握更多的文献和细节,但可能因缺少全局观而判断力不足,难以形成有效的知识体系;而导师在相关领域具有一定的基础,而且知识体系更全面,对领域的发展也更了解,因而可能形成更加准确的判断。在此阶段,研究生应该多与导师交流,共同完成对研究方向的准确把握,从而提炼出真正有价值的学术问题。

步骤3：提出问题

调研的最终结果是提炼出真正有价值的学术问题。让我们再次重温爱因斯坦的至理名言吧：“提出（发现）一个问题往往比解决一个问题更为重要，因为解决一个问题也许只是数学上或实验上的一个技巧而已。而提出新的问题、新的可能性，从新的角度看旧问题，却需要创造性的想象力，而且标志着科学的真正进步”。问题重要，但找到“好问题”并非易事。一个研究工作能否得到国内外同行的认可，关键在于提出的问题是否有价值、是否得到了同行的认可。例如，很多论文评审人都表示，他们经常在看完论文的“序言”（introduction）部分就基本确定了是录用此文还是拒稿，因为序言的最后几句通常就是对问题的描述以及对解决思路的概述。

那么，好问题从何而来？个人认为“问题”来源于研究者对相关领域知识体系的全面把握，尤其是对已有方法优缺点的准确判断和正确认识。对知识体系的全局把握使研究者有可能知道现有体系哪里不完善、不完美、不优雅，哪里有漏洞可以弥补，哪里应该有一个新的增长点。而对已有方法优缺点的认识，特别是对领域内现有最先进的技术和方法之“不能”和“失败案例”的认识，使得研究者可以提出问题：如何克服现有方法的某个缺陷？

如何使其“不能”变“能够”？

在此环节，对于处于“学术童年期”的低年级研究生，导师必须担负起更大的责任，导师对全局观的把控可以帮助研究生提出更具科学价值的问题。师生的互动讨论，则可以提炼出全局和局部上都具有价值的学术问题。而高年级的研究生则应该逐渐承担起更多的责任，特别是在深刻掌握了领域内最先进的技术之后，可以充分考虑这些方法的优缺点从而提炼出有价值的问题。对于已经在领域内的前沿阵地摸爬滚打了一段时间的更高年级的博士生而言，能否独立提出有价值的学术问题应该是检验其是否具备独立从事科研工作能力的重要标准。

步骤4：独立思考并提出解决思路

之所以强调独立思考，是因为我感觉在互联网时代，很多研究者特别是研究生的独立思考能力被“腐蚀”了，非常容易受到前人工作甚至是“网络学术噪声”的影响，因而容易陷入已有研究思路的洪流中不能自拔。特别是一些不成熟的研究者（比如新进入一个领域的研究生）对所谓热门方法的推崇和灌水式跟踪，导致一些并不重要的工作被过多引用，进而吸引更多的研究人员关注和引用，形成恶性循环，最终损毁了“引用数”这一本来最为

重要的学术评价指标的真实意义。因此，对于“热门”话题，导师尤其要保持清醒的头脑，从全局、历史的角度来引导研究生冷静思考、正确对待。高年级的研究生尤其要养成独立思考的“习惯”（独立思考更多的是一种习惯，而不是能力），甚至要养成质疑导师的习惯。我甚至认为，一个博士生在某专业方向上是否超越了自己的导师可以作为其是否可以毕业的参考标准之一。

我建议研究生在此阶段应该少看文献，而多像胡适先生倡导的那样“大胆假设”，或者像美国卡耐基梅隆大学金出武雄（Takeo Kanade）教授说的“像外行一样思考”^[1]。我认为这两种说法本质上都是强调直觉，强调摆脱前人工作划定的条条框框，强调常识逻辑推理的重要性。换句话说，在此阶段不妨“放肆”一下，拿出初生牛犊不怕虎的劲头，胆大包天地反思前人的工作，也许更有利于创新性成果的产出。当然，“大胆假设”后面还有半句，即“小心求证”；而“像外行一样思考”后面也有半句，即“像专家一样实践”，则都在强调后面各个步骤上理性和严谨的重要性。

在此阶段，导师对学生的指导要因人而异。例如，对低年级研究生，导师给出具体、明确的研究思路是非常关键的，因为低年级同学往往“思而无果”。而对高年级研究生，则可以从较高的方法论层次上，或者从技术路线层次上给出指导性解决思路，

然后让研究生细化这些思路,形成明确、具体的解决方案。对于高年级博士生,应该有意识地锻炼其独立解决问题的能力,哪怕导师已有具体的解决思路,也不要急于告知,而是逐步引导学生朝可能的方向探索,最终自己找到解决办法。这样做从短期来看似乎效率很低,但从培养学生的大局和长远发展来看,是一种高效的办法。

步骤 5 : 对解决思路形式化

第 4 步提出的解决思路最初是通过自然语言描述的,语言描述的缺点是不够严谨因而可能存在歧义。这一点我感触颇多,有几次我把自己的解决思路和研究生沟通后,结果研究生设计、实现的算法却并没有遵循我的思路,讨论后才发现我们对同样的语言描述在理解上有偏差。究其原因,是因为我们没有对解决思路进行必要的形式化。形式化不仅可以更精确地描述问题或思路(比如界定清楚目标函数、约束条件和前提假设等),还有利于提前发现其中存在的问题。因此应尽量把对思路的描述从自然语言抽象成形式化的符号语言,这是一个有趣且重要的步骤,非常有利于锤炼研究生的逻辑思维和数学建模能力。以符号系统将思路形式化和抽象化是科学研究的重要特征也是一种习惯,是严谨

和缜密科学精神的具体体现。

导师应该有意识地锻炼研究生这方面的能力。例如导师对解决思路进行语言描述后,安排研究生将之形式化。研究生在和导师讨论完以后,应尽快地将与导师的讨论内容进行整理、形式化,并通过导师确认(这个习惯也适用于与导师沟通的其他环节),或再次共同对形式化后的思路进行审查和讨论,以便形成严谨科学的形式化表述。对高年级博士生而言,将问题和思路准确的形式化,也应该是一项基本能力。

步骤 6 : 设计、实现并优化求解算法

此步骤是指根据形式化后的研究思路具体设计算法的过程。此工作更多的是研究生的职责,导师在该阶段的作用是对设计的算法进行评价或纠偏。当然,如果是低年级研究生,导师可能需要参与到算法设计中。需要注意的是,一个研究思路可能存在多种可能的实现算法,研究生对算法设计能力的强弱在这里可以得到很好的体现:两个研究生同时去实现相同的研究思路,可能会得出不同的结果甚至相反的结论。其原因在于他们设计的算法是否真实反映了当初提出的解决思路。坦率地讲,在这一点上,能力强的学生和能力弱的学生差别很明显:前者可以把一个平凡思路研究得有声有色,而后者

可能会把一个很好的思路做得黯然失色。

算法设计完成后一般应进行编码实现和验证。这主要也是研究生的职责。导师一般认为这应该是研究生的基本功,所以往往不够关注。但事关科研效率,编程能力强的研究生两三天可以完成的事情,让缺少编程经验的研究生实现起来可能需要两个星期甚至一个月,科研效率的差别显而易见。所以,研究生应该重视提高自己的编码和调试能力。

步骤 7 : 设计实验、评估算法

计算机应用专业属于工程性学科。因此,除了一些可以通过理论分析证明思路正确性的工作外,多数情况下,设计实验、评估算法是验证解决思路可行性、算法设计合理性和算法实现正确性的必需手段。评估实验要注意以下 4 点:(1)度量算法好坏的标准应该采用领域内同行公认的指标体系,除非你能证明它们存在问题,并能提出被证明更合理的指标体系;(2)评估实验一定要有量化的结果。即使是主观评测,也应该有足够评价,从而给出量化的统计结果;(3)实验采用的数据应该是国际同行公认的、中等以上难度的数据库,并且是多个,最好是目前领域内最先进的技术方法所采用的测试数据集。如果所研究的问题是新闻

题,则应该自己收集足够规模的测试数据;(4)评估实验必须是无偏向性的,绝对不能只挑选对自己的算法“友好”的数据,也不能只测试对自己有利的评价指标。掩耳盗铃危害巨大。

在此步骤中,研究生是主力,但导师必须要对实验设计进行审核,以确定评估实验是无偏的、量化的、能够匹配所提出的问题。如果学术界没有适合所研究问题的足够数据,导师应调动资源协助研究生获取数据。

步骤 8 : 与最前沿的技术与方法进行量化对比分析

得到评估实验结果并进行对比分析是科学研究过程中最值得期待和令人兴奋的步骤,同时也是考验研究人员洞察力和逻辑推理能力的过程。实验结果是解决思路、算法设计、算法实现和实验评估等多种因素共同作用的结果。在实验结果不好或者感觉结果有异常的时候,我们必须反向推理,去追溯结果不好或异常的根源何在:是研究思路本身有问题?算法设计不合理?算法实现有错误?还是实验设计不合适(比如数据不满足算法假设)?特别值得关注的是应该与什么方法、在哪些数据集上进行对比分析。我的经验是:一定要与最前沿的3~5种方法进行全面、系统的对比,而且在多个不同特性的数据集上进行对比分析,否则是

不宜得出确定性的结论的。如果作为论文投稿,没有这种对比一般不会被审稿人接受。因为计算机应用科学研究的价值更多地体现在对目前最先进技术的不断超越和更迭上。

这个过程尤其需要导师和研究生的密切配合,丰富的研究经验使导师有可能根据实验结果直接就可以追溯出问题所在,甚至观察出实验结果中看似正常实则异常的部分,从而发现有价值的改进线索。所以,除了最终结果之外,研究生还应该尽可能全面地向导师提供各种中间结果,以便导师做出更准确的判断,进而改进解决思路及进行形式化,或重新优化算法设计,或调优算法参数,或改进实验评估策略。很多例子表明:国内外同行在多数问题上的解决思路是趋同的,最终取得成功的往往是那些通过多次反馈调整,把普通思路做到“极致”的研究者。研究生很容易犯的一个错误是在向导师汇报时“报喜不报忧”,这绝对是科研之大忌(如果发生在论文写作中则是违背科研道德的)。“忧”(即不好的结果),往往是带来新问题继而激发创新的敲门砖。从某种意义上讲,科学就是在不断改进“坏结果”中前进的。

步骤 9 : 推导结论并尝试提出新问题

实验结果如果足够充分而且

对比丰富,则为科研提供了宝贵的第一手资料,足以支撑一些基本的结论。更重要的是,“实践出真知”,这些结果和对比分析为我们提供了更为宝贵的科研经验,使我们更深刻地认识到相关课题领域存在的真实问题和有效的解决思路,从而进一步提出新问题或者新的解决思路,这样可以再次回到科研流程的第4个步骤上。在此环节,导师和研究生的深入讨论是发现新问题、诞生新思路的法宝。

需要特别注意的是:结论一定要实事求是、有一说一!低年级研究生往往因为害怕自己的工作贡献小而想方设法地放大自己工作的价值,殊不知这是论文审阅人最不喜欢看到的——他们宁愿接收一篇贡献小的论文,也不接收一篇会误导读者的论文。所以,一定不要在结论中夸大自己的贡献(比如以偏概全),更要避免过分泛化结论(比如故意忽略前提假设)。

步骤 10 : 论文或专利撰写

论文是科研工作被科学共同体中的其他成员了解、继承和推广的主要媒介。这里,我想强调个人最看重的几个关键点:(1)对研究动机(motivation)的描述至关重要,即步骤3的内容;(2)对国内研究者来说,语言不是撰写英文文章的最大障碍,逻辑缺

失才是最大问题；(3)全文撰写逻辑尽量遵循“自顶向下、先广再深”的原则，局部细节一定要在全局介绍清楚后再展开。换句话说，一定要避免读者必须读完全文才了解全局，而应该是让读者尽早把握住文章的全局；(4)从具体行文上看，逻辑主要体现在连词、连接性短语或连接性（即承上启下）句子等“关节”上。一个简单的查验标准是：任意两个相邻的句子、段落是否有“关节”相连，如果没有，一定要加上，否则就可能逻辑的断流；(5)逻辑上尽量遵循从旧知识水到渠成地流到新知识的写法，代表性的经典著作参见文献[2]；(6)结论不同于摘要，应明确区分。摘要应更全面、更抽象地概括全文，而结论则主要强调论文的科研工作对该领域的贡献，例如如何做是好的，如何做可能是有问题的，但不宜过分扩大。

因视野或经验等原因，研究生写文章容易就事论事，或者说不善于在更高的层次上推销自己做的工作。因此，导师应该在这方面多加引导和补充，以便把论文工作置于领域已有知识体系中的恰当位置——个人认为这一点最体现作者的实力，即作者的全局观和知识体系的健全性。

尽管科研流程中的每个步骤都很重要，但我认为这恰如河流，有上下游之分。总体而言，越是上游的步骤，就越重要。例如，问题比思路重要，思路比算法重

要，而算法比实现重要。因此，研究人员的成长过程大都像逆流而上的鱼儿一样力争上游。总体而言，这没有错。我也主张研究生培养可以遵循这样一个过程：在学生低年级的时候侧重在“实现”层面（由导师等其他更资深的合作者完成上游步骤），随着年级的增高，研究生的工作重点逐渐向上游提升，最终具备独立完成从提出问题到得出结论整个过程的能力——所谓独立从事科研工作的能力。当然，这并不是说下游不重要，好问题或好思路，可能因为后续实现过程的种种问题而被扼杀；一个看似普通的思路，做到极致也可能产出非常好的成果。特别是根据评估实验结果分析和对比进而反馈、修正上游步骤的能力，更是至关重要的。

从研究生培养的角度，一方面导师应该加强对研究生科研流程全过程的监控，并在每个环节上给出全局性的建议和帮助，必要时及时纠偏。这一点非常必要，因为研究生很多时候（尤其在其学术童年期）处在科研流程的局部，容易陷入局部最优，而非全局最优；另一方面，研究生培养是个复杂的问题，导师应该牢记“授之以鱼不如授之以渔”的古训，这恰如有人所说的“教育的本质是学生忘记所学后剩下的东西”。“渔”对于研究生来说就是他们独立开展研究的方法。所以，为了培养研究生，导师需要“明知故问”，需要“懂装不懂”，更需要让研究生自己找到新问题和

解决思路，让研究生意识到“这是我的博士论文，不是导师的”。

因导师风格和研究生具体情况的不同，师生合作共赢的模式亦有很大差异，本文所述仅仅是一孔之见。同时，本文所述内容多来自个人经验，也有诸多“拔高”，即我自己没有做到，但感觉可能更好的做法，并没有经过实践检验。其中偏颇之处在所难免，敬请读者批评指正。■



山世光

CCF会员。中国科学院计算技术研究所研究员。主要研究方向为图像处理与理解、计算机视觉、模式识别、智能人机交互界面等。sgshan@ict.ac.cn

参考文献

- [1] 金出武雄(Takeo Kanade)著，马金成、王国强（翻译），《像外行一样的思考，像专家一样实践：科研成功之道》，电子工业出版社
- [2] 周耀旗，《写好英语科技论文的诀窍：主动迎合读者期望，预先回答专家可能质疑》，网文