

人才成长专栏

理实交融 踏实做事

陈云霁

中国科学院计算技术研究所

关键词：优青基金 龙芯

我非常荣幸地获得了首届国家自然科学基金优秀青年科学基金和首届中组部青年拔尖人才支持计划的资助。但我自知和很多优秀的青年科学家相比还有很大差距。因此当《中国计算机学会通讯》(CCCF)专栏编委武永卫教授邀请我作为优青介绍一下成长历程时,我甚感惶恐。回首研究之路,自己在处理器设计领域就像挑山工一样,不图登顶豪情,但求踏实做事,付出艰辛,收获坦然。但看到还有很多青年学生与科研人员和我一样,承受学术和工程的双重压力,我还是鼓起勇气总结一下自己在国产处理器龙芯研发过程中有关学术和工程融合的一些经验,希望能对大家有所借鉴。

与体系结构的不解之缘

1997年,14岁的我来到中国科学技术大学读本科。大三上学期,同学们都进了实验室跟随老师搞科研,这使得懵懂的我觉得自己也得找一个实验室。于是我鼓起勇气把中科大计算机系所有实验室的门挨个敲了一遍,问是否接收本科生。最后,当时教《计算机体系结构》课程的周学海教授所在的实验室收下了我。正是这个偶然事件,让我和体系结构结下了不解之缘。

当时周学海教授正在给一款国产处理器开发固件。计算机里的固件对我这样一个毫无处理器基础的本科生来说,是非常神秘的。加上又是给国产处

理器做固件,更加让我激情澎湃。虽然在这个项目里只是给老师和师兄们打下手,但也足以让我掌握一些基础的体系结构知识。同时,我对处理器软硬件的交互、真正的计算机是如何一步一步运行起来的,也有了一些感性认识。更重要的是,固件研发让我感到,做一些有实际意义的工程是非常快乐的事。

大学最后一年,我听说中国科学院计算技术研究所(简称中科院计算所)开始研制国产处理器(即龙芯1号)。如果能加入国产处理器的研发团队,那将是非常光荣的事,因此当时我特别希望能到那里读研究生、做龙芯。

我的工程与学术

2002年,我的心愿达成,来到中科院计算所跟随胡伟武研究员硕博连读,成为了国产处理器龙芯研发团队(当时成立仅一年多)中最年轻的成员。当时龙芯团队人不多,但在胡老师的带领下,团队干劲十足。在这种团队中成长,给思维方式和生活习惯还没有完全定型的我打下了很深的烙印:带着热情解决问题,一个问题如果没有解决就睡觉,我心里会不踏实,也睡不安稳。

读研期间,我主要是跟随龙芯团队进行龙芯1号和龙芯2号的研发工作。根据龙芯工程需求,我的博士论文方向被选定为处理器设计的模块级验

证。这个方向对龙芯的工程有实用价值（英特尔曾经由于奔腾（Pentium）浮点部件验证不完备就销售，付出了数亿美元的代价），也具备一定的理论性，适合博士生做。

2007年博士毕业后，我留在了中科院计算所龙芯团队担任胡老师的助手。我们组那时正开始做多核通用处理器龙芯3A的研发，但龙芯1号和龙芯2号结构设计的骨干们基本都已经投身到了龙芯产业化中。因此，我有机会和一名同事在胡老师指导下进行龙芯3A的总体设计。胡老师言传身教，不仅在业务上教会我许多东西，他努力拼搏的工作作风也对我产生了很大影响。龙芯3A研发最紧张的几个月，我基本就住在实验室，每天除了睡觉和吃饭，就是坐在电脑前工作。

龙芯3A与龙芯1号和龙芯2号有所不同，已从单核发展到多核了。在龙芯3A的工程开发中，我逐渐感受到解决实际工程问题的困难：没有现成的解决方法可借鉴。即使到今天，多核/众核处理器到底应该怎么做，国际上依然存在很多争议。面对多种应用，有多种结构。每种结构有优势，也有劣势。各家走的路线不尽相同，想模仿都很难。可以说，我们在龙芯3A工程中遇到的很多问题，别人可能刚遇到，也可能还没有遇到。

这就逼迫我们要去解决一些国际上其他处理器厂商没解决或者解决不了的问题，因而必须进行体系结构方面的学术研究。我们对互联架构、存储一致性验证、缓存一致性问题进行了独立的思考，取得了一些突破，不但在龙芯3A工程中发挥了很重要的作用，而且具备一定的学术价值。龙芯3A的一些工作发表在了HPCA、Hot Chips和IEEE Micro等高水平的会议和期刊上。

通过龙芯3A的锻炼，我不但积累了工程实施、组织管理方面的经验，在面向工程的学术研究方面也有了一些心得。胡伟武老师一直对我十分支持，把设计龙芯3B的任务也交给了我。与龙芯3A相比，龙芯3B不仅仅是把核数从4个变成8个，更重要的是峰值性能要达到3A的8倍，但由于封装能力的限制，内存带宽却只能和3A相同。一个形象

的比喻是：以前一桌菜给一桌客人吃，现在一桌菜要给8桌客人吃。我们看了很多论文，也找不到现成的解决方法，只能自己摸索。最终，我提出了一种访存协处理器的结构，较好地解决了龙芯3B的高运算带宽比问题。龙芯3B的工作发表在ISSCC和Hot Chips等高水平会议上。IEEE发行量最大的刊物IEEE Spectrum对我进行了采访，以“Chinese chip wins energy efficiency crown”为题报道了龙芯3B。此外，龙芯3B验证和调试方面的工作也得到了国际同行的认可，在ISCA、SPAA、IEEE/ACM Trans.等会议和期刊上发表了一些论文。

心得体会

工作中，我们往往遇到学术和工程孰重孰轻的问题。实际上学术和工程都非常重要。在我国的科研院所里，有很多和我一样的年轻人（包括学生和教师），要把绝大部分时间和精力投入到导师或者领导带领的大型工程项目中去。做好上级交待的工程是一个人的职责，也是在社会上安身立命的基础。但是，团队的长期发展需要学术上的突破创新，学术界的评价体系也要求年轻人发表高质量的论文。因此，对于年轻人来说，学术和工程之间，毋庸置疑存在冲突。

我一直努力去融合自己的学术和工程工作，希望把对立的两方面统一起来。我体验过学术和工程双重压力在短时间内同时爆发的痛苦，当然也体验过做出有价值的学术成果的快乐。这里我想和大家分享一些心得体会。

白天求生存，晚上谋发展

学术与工程在本质上存在很大区别。想要做完一个工程项目的同时，自动地涌现出一篇高水平学术论文，是不现实的。因此，要想把这两件事情同时做好，就要有决心有毅力花接近两倍的时间。我认为见缝插针式地挤时间（也就是干一个小时工程看半个小时论文）效果并不好。最好是白天（或者说上班期间）做好工程，晚上（或者说节假日）集

中精力搞好学术研究。原因如下：

1 做人做事比做学问重要。对于青年科研人员，发表学术论文是锦上添花。上级安排的工程任务，优先级要排到学术之上（例如，当工程的时间点和学术论文的时间点冲突时，我们必须优先完成工程任务）。在上班时间全力做工程，对自己对团队的发展都有好处。如果别人都在忙着干工程，自己却坐在一旁看论文，会给人留下一种不务正业的印象。

2 做工程容易集中精力进入兴奋状态，做学术的启动开销大，很难集中精力，容易被干扰。白天在办公室，人多嘈杂，往往会被一些琐事打断思路。对于学术研究（读论文或者思考问题）来说，思路一旦中断，想要恢复是很困难的。而晚上自己待在家里或者教室里，没有干扰，从事学术研究更容易进入状态。高效率地作3个小时学术研究，效果远胜于低效率地作3天学术研究。

3 学术研究中一个很关键的环节是写作，节假日写作效果最好。有一个成语叫作“文思泉涌”。状态好的时候，几天就能写出一篇文章的初稿。如果错过有写作冲动的时机，往往好几天憋不出一页纸的字（特别是写英文论文）。节假日自己比较有充裕的时间，可以调节写作状态。2008年北京奥运会的时候，单位放假，当时我有个想法构思得差不多了，于是我在一个没有空调的宿舍里写论文。虽然挥汗如雨，但是心里感觉很爽。论文最终被体系结构领域三大旗舰会议HPCA录用，这也是HPCA上第一篇第一作者来自中国大陆的论文。

鉴别和提炼

我非常赞同“从工程中提炼学术问题”^[1]这个说法。

在提炼过程中，鉴别一个工程问题是否具备学术性很关键。有些工程任务即使有再重要的实用意义，也很难从中提炼出学术价值来（一个极端的例子是用电烙铁在电路板上焊元器件）。我认为，绝大多数工程任务都是繁琐、耗时，不具备提炼价值的。就像我们可以从少数石头中剖出玉来，但绝大

多数是普通的石头。与其把精力耗费在这些普通石头上，不如转移注意力，研究一些和工程有关联但并不完全相同的学术领域。

另外，从工程中不仅可以提炼出学术问题，还可以提炼出学术思路。该思路可能对当前工程无用，但对其他问题可能有着重要的作用。在工程中，我曾经花了很大的精力来改造和维护龙芯2号和龙芯3号处理器核的流水线。虽然我没有在多发发射流水线中提炼出新颖的学术问题（甚至没有发表过一篇相关的学术论文），但是我认识到，处理器中处于“未决”状态的指令数是很少的（小于指令窗口的大小）。也就是说，只要两条指令的物理时间距离足够远，不在同一个指令窗口中出现，就会存在一个序关系（称之为时间序）。通过对时间序的认识，我发现传统并行理论仅仅考虑指令之间的逻辑序关系，实际上是不全面的。虽然我们没有利用时间序解决任何多发发射流水线中的问题，却解决了一些多核处理器的验证和调试的工程难题，发表了数篇IEEE/ACM Trans.论文。

丢掉脚镣

身兼学术和工程两项任务的人，都希望自己的学术研究成果能够解决工程实践中的具体问题。但我们没有必要强迫每个学术成果都能在工程中立刻发挥作用。我的学术论文有1/2到2/3应用到了龙芯研发的工程中。一部分我自己感觉做得很满意的工程，并没能写成学术论文；一部分我发表在Trans.或重要会议上的学术论文，实际上没能应用到龙芯工程中。

作学术研究可以以有用作为终极标准，但不必被眼前的工程牢牢拴死。学术成果在眼前的工程中用不上，若在未来的工程中能用上，则依然是很好的工作；在自己的工程中用不上，而在其他单位的工程中能用上，也是很好的工作。很多时候，工程中是否采纳一个学术成果，取决于很多非技术因素（如市场、时间节点，甚至人际关系等）。体系结构领域也存在大量先进技术被落后技术击败的现象。以学术研究是否能应用到工程中来论成败是不

完全合理的。

因此，工程人员可以对学术研究的自由性和探索性持开放的态度，另一方面，学术会议也应重视论文的实用性。体系结构领域高水平会议（如ISCA、HPCA和MICRO）的审稿中，要求很严格。除了要求新颖性，审稿人对于学术研究的可行性也有着很高的要求。一个结构设计如果引入了不现实的带宽、面积、功耗和主频的开销，是很难被录用的。因此，学术工作能被高水平会议录用，就已经在一定程度上说明了工作本身的实用性。

扩展视野

相对专职学术研究者而言，工程人员没有时间去了解每个顶级会议的动态，很难有宽广的视野。要想做好工作，就需要弥补自己的劣势，和其他领域研究者合作，引入其它领域的方法和技巧。

举一个例子。龙芯研发中，设计人员一直面临一个重要问题：如何找到一个最合适的设计参数组合。处理器有多个设计参数，如寄存器数量、指令窗口大小、访存队列大小、流水级数等等。每个参数都有多种选择。因而总的设计空间里有数千万、甚至上亿个可能的参数组合。用模拟的方法评估一组参数组合就需要一周以上的时间。在庞大的设计空间中，评估出一个最优方案无异于大海捞针。我们在龙芯的工程中有过一些设计参数选择上的失误，总结出了一些教训，但是长期以来没有一个完美的解决方法。

2010年，在和南京大学的机器学习专家周志华教授合作中，我们发现机器学习中的半监督学习方法可以高效地建立处理器的性能预测模型。借助此

模型，设计者可以快速准确地进行设计空间搜索。这项工作发表在人工智能领域的重要会议IJCAI和Trans.上。

总结

我的母校中国科学技术大学的校训中包含4个字“理实交融”。我一直将这4个字铭记于心，努力在处理器研发中把理（学术）和实（工程）融合起来。但我深知自己无论在学术上还是在工程上，和其他优秀的青年科学家相比，还有很大差距。因此，我唯有在老师、前辈们的指引和点拨下，踏踏实实做好科研工作。■

致谢：感谢我的导师胡伟武研究员对我的培养。感谢中科院计算所的李国杰院士、徐志伟研究员以及各位同事、中国科学技术大学的陈国良院士、周学海教授、中科院软件所的张健研究员、南京大学的周志华教授等人对我的指导和支持。感谢所有在我的成长过程中关心和帮助我的人。



陈云霁

CCF会员。中国科学院计算技术研究所副研究员。主要研究方向为计算机体系结构。
cyj@ict.ac.cn

参考文献

- [1] 彭思龙，学术和工程的完美结合，中国计算机学会通讯，2012年第8卷，第3期，35-37