

“101 计划”之计算机网络课程建设实践

吴建平, 徐明伟, 崔 勇

(清华大学计算机科学与技术系, 北京 100084)

摘要: 在网络技术飞速发展的形势下, 针对计算机网络课程建设面临的一系列新挑战, 提出筑牢基础、强化理解、培养创新的建设理念, 从课程知识体系顶层设计、计算机网络体系结构的整体统筹、兼顾网络核心功能和新协议新技术、推进高水平教材建设、打造虚拟教研室几方面具体介绍“101 计划”中计算机网络课程的建设方法与建设过程。

关键词: 计算机网络; 课程建设; 知识体系; 教材建设; 虚拟教研室; 101 计划

0 引言

计算机网络经过 50 多年发展, 已经成为人类社会的重要基础设施和国家的重要战略资源, 正在发展成为继陆、海、空和太空之后的人类第五疆域——网络空间。计算机网络课程作为计算机专业学生认识网络、理解网络进而创新网络的一门基础性、原理性课程, 建设好这门课程的重要性不言而喻。随着网络技术的飞速发展, 课程建设也面临一系列新挑战。例如, 课程知识体系缺乏系统性, 教学内容与实际应用脱节, 教材特色不鲜明、定位不清晰等。

在此背景下, 计算机领域本科教育教学改革试点工作(简称“101 计划”)启动实施。该计划致力于集中全国优质教育资源, 推进计算机领域 12 门核心课程建设, 打造中国学科建设与教育改革的新品牌。计算机网络作为核心课程之一, 由清华大学、北京大学、北京航空航天大学等 13 所高校联合组成了课程建设团队。

课程建设团队组建以来, 始终坚持筑牢基础、强化理解、培养创新的课程建设理念, 借鉴各方面的经验, 重新对课程知识体系进行顶层设计; 更加强调计算机网络体系结构的整体统筹,

将计算机网络体系结构单独作为一个知识模块, 突出后续每个知识模块在整个知识体系中的位置与作用; 兼顾网络核心功能和新协议新技术, 在网络层和传送层两个核心知识模块新增软件定义网络、段路由、SRv6 及 QUIC 协议等知识点; 坚持全面考虑与综合设计, 积极推进高水平教材建设; 持续改进虚拟教研室运行模式, 努力将其打造成为课程建设的新平台。

1 注重课程知识体系顶层设计

计算机网络课程具有知识面覆盖范围广、细枝末节多的特点, 基础知识的掌握程度直接影响着后续的学习, 并且仅掌握基础知识还不够, 只有从方法论的角度去理解其工作原理, 才能更好地应用与实践, 进而在实践中不断发现问题、解决问题, 因此, 课程建设应坚持筑牢基础、强化理解、培养创新。

基于上述考虑, 课程建设团队组建之后的首要任务就是重新对课程知识体系进行顶层设计, 通过吸收借鉴多本经典教材^[1-2], 依托计算机网络教案社区建设经验并参考网络工程专业知识体系, 将课程知识体系按照网络分层和功能划分为

基金项目: 创新研究群体项目“下一代互联网体系结构”(62221003)。

第一作者简介: 吴建平, 男, 中国工程院院士, 长期从事计算机网络技术研究、工程建设和人才培养, 是我国互联网和网络空间安全工程科技领域的重要开拓者和学术带头人之一, jianping@cernet.edu.cn。

9 个模块，共计 56 个知识点，具体见表 1。

新的知识体系不仅注重对基础知识的掌握，也更加注重理论与实践相结合。例如，在物理层对应的知识模块，引入了数据通信基本原理相关内容，使学生能够掌握数据通信的基本术语以及不同传输方式的特点；在多个知识模块中都设计了网络协议抓包分析实验，让学生通过实际

操作，所见即所得，进而更加深入理解计算机网络的基本概念和工作原理。此外，新的知识体系还增加了形象生动的优秀案例来系统阐释计算机网络原理的实际应用，教师可以结合这些案例引导学生发现问题、解决问题，鼓励他们提出自己的解决方案，充分挖掘学生的创新潜力。

表 1 课程知识体系

序号	知识模块	知识点个数
1	引言	3
2	计算机网络体系结构	4
3	物理层和数据通信基本原理	4
4	数据链路层和点到点无差错传输	6
5	局域网和介质访问控制	12
6	网络层和路由控制	11
7	传送层和端到端访问	6
8	应用层	6
9	网络基础设施管理和安全	4
总计		56

2 强调计算机网络体系结构的整体统筹

计算机网络体系结构旨在研究网络的各部分功能组成及其相互关系，理解计算机网络体系结构有助于更好地掌握网络各层的典型协议及核心技术。计算机网络课程建设也应当更加强调计算机网络体系结构的整体统筹，全面考虑并整合不同层次、不同协议之间的关系和作用。落实到新的课程知识体系上，有两个较为明显的变化。

(1) 将计算机网络体系结构单独作为第 2 个知识模块，而非传统按照自顶向下或者自底向上的方式建立知识体系。通过增加这一知识模块，学生可以掌握计算机网络的功能和构成、分层模型、参考模型等核心知识点，为课程后续内容的学习提供清晰的基础，并合理制订学习计划。同时，该模块还重点介绍了互联网工程任务组 IETF 的工作机制，IETF 是推动网络协议和标准制定的重要组织，它的主要任务是以 RFC 文

档的形式发布各种网络协议和标准，所有的网络设备都必须遵循 RFC 才能实现互联互通。目前全球约有 9 000 多个 RFC，而我们国家只主导了其中很少量的部分。通过了解 IETF 的工作机制，学生应该认识到我们国家目前只是网络大国，而非网络强国，只有更加关注计算机网络体系结构的前沿发展，参与制定更多的新型网络协议和标准，才能够提升我们国家在网络空间的话语权，捍卫网络空间安全。

(2) 将网络分层与各层的基本原理或核心功能结合起来作为知识模块的名称，更具有系统性和整体性，也更有助于学生理解与把握各组成部分及相关技术的位置和作用。通过深入剖析各层的原理和功能，学生可以更为全面地了解网络的工作原理，培养分析能力和解决问题的能力，这对于他们今后在计算机网络领域进行深入研究具有重要意义。以数据链路层为例，课程知识体系将其进一步细分为两个子层：逻辑链路子层和

介质访问控制子层。①逻辑链路子层主要负责实现点到点的无差错传输,包括数据的封装、解封、错误检测等功能。②介质访问控制子层则负责解决局域网中的多用户访问共享介质的问题,例如如何避免冲突、如何分配带宽等。通过将数据链路层分为两个子层,并明确各子层的主要功能,可以使学生更加清晰地理解这一层的内涵及作用。

3 兼顾网络核心功能和新协议新技术

计算机网络从最初4个节点之间的分组传递,逐渐发展演变为覆盖全球、渗透各行各业的关键基础设施,它所使用的协议和技术也在经历着一次又一次的变革。为了让学生能够更好地适应这种快速发展的形势,计算机网络课程建设必须兼顾网络核心功能和新协议新技术。

网络核心功能仍然是课程建设的基石。虽然新协议新技术不断涌现,但是注重网络核心功能可以避免新协议新技术带来不必要的复杂性,保证学生对基础知识的掌握与理解。充分认识新协议新技术也至关重要。新协议新技术通常是为了解决特定场景下的问题而提出的,它代表着最新的研究成果和研究方向,引导学生探索新协议新技术的特点及其应用,可以帮助他们提升创新意识以及分析问题、解决问题的能力。

课程建设团队密切关注网络技术的更新换代,根据新技术的发展动态及时调整课程知识体系,使得课程内容与时俱进。在新的课程知识体系中,围绕网络层核心功能路由控制,新增知识点路由新技术,主要包括软件定义网络、段路由、SRv6^[3]等新技术,这些新技术的潜在应用场景非常广泛,例如在云网络、5G网络、物联网等领域都可以发挥重要作用,能够大大提高网络的灵活性和可扩展性,同时降低网络的维护与管理成本。类似地,针对TCP协议面临的主要技术问题,在传送层增加了新的知识点——新型传输协议:QUIC^[4-5]。QUIC协议旨在提高网络连接的速度和可靠性,以取代当前互联网基础设施中广泛使用的TCP协议,目前已经被标准化为

HTTP3的底层传输协议。QUIC协议基于UDP协议,通过在应用层实现不同的拥塞控制算法,不需要操作系统内核支持,这使得它能够拥有更好的改造灵活性。

4 积极推进高水平教材建设

教材不仅是知识的载体,更是培养学生能力和素质的重要工具,课程建设团队从教材内容、教材特色、教材定位、教材形式等多方面进行全面考虑与综合设计,积极推进高水平教材的建设。

(1)教材内容既要紧紧围绕课程知识体系,注重系统性、严谨性,也要强调培养学生的能力和素质。课程建设团队通过精心设计配套习题,力求提高学生归纳、演绎的逻辑思维能力。同时,也注重教材内容的与时俱进,以更好地呈现计算机网络的最新发展与应用,使学生能够及时掌握最新的网络技术。

(2)教材特色必须鲜明,具有鲜明特色的教材能够更好地吸引学生的注意力,提高他们的学习兴趣。课程建设团队通过在教材中融入更多的中国元素、思政元素,以培养学生的使命感和责任感,加强价值导向;同时,也引入了校园网、教育网等真实网络案例,将理论知识与实际应用相结合,使学生更好地理解网络技术的实际应用价值。此外,还适当引入了与技术相关的传奇故事,以增加教材的趣味性和启发性。

(3)教材定位必须清晰,定位清晰的教材能够提高教材的适用性和针对性。课程建设团队为了更好地满足不同层次、不同专业学生的需求,分为多个小组,积极建设了多种类型的教材,有的注重原理、协议等基础内容,有的更加注重网络技术和网络应用。

(4)教材形式应当丰富多样,只有全方位建设电子资源,使教学资源更加完备,才能提高教材实用性。课程建设团队积极为教材建设了精美PPT、知识点讲解视频、慕课等配套教学资源。

5 打造虚拟教研室成为课程建设的新平台

虚拟教研室是信息化时代新型基层教学组织建设的重要探索^[6]。为了努力提升全国高校教师特别是中青年教师的业务水平和教学能力，课程建设团队积极采用虚拟教研室这种灵活、高效的教学研究模式，努力将其打造为课程建设的新平台。

在虚拟教研室的建设和管理上，课程建设团队建立了一套合理的成员邀新制度，以确保虚拟教研室的活力和可持续发展，这样不仅可以吸引更多的教师参与，也可以提高教研室的整体水平。为了方便虚拟教研室成员之间的信息共享、问题反馈和决策讨论，课程建设团队定期在虚拟教研室组织召开教学研讨会。通过教学研讨会，教师可以分享各自的教学策略、方法和经验，共同探讨教学中的难题和挑战，也可以进行协同备课、教学观摩等交流活动。这样不仅能够加强教师间的联系与合作，还能够促进教学资源的共享与优化。此外，课程建设团队还积极邀请业内专家进行在线指导，以帮助各位教师解决实际教学中遇到的专业问题。

6 结语

“101 计划”启动实施至今已近 2 年，计算

机网络课程建设取得了一系列显著成果，完成了从课程知识体系顶层设计，到全面覆盖 56 个知识点的 133 页教案，从教材和实验教程的编写出版，到 PPT、视频、慕课等配套资源的制作完善。课程建设是一个长期而持续的过程，绝不能毕其功于一役。随着“101 计划”在数学、物理学、化学等领域的全面实施^[7]，我们更有理由和信心坚持把计算机网络课程做好、做精，为国家培养更多优秀的计算机网络人才。

致 谢

首先，我们要感谢教育部领导和“101 计划”秘书组，以上这些工作的完成离不开他们的积极协调和精心组织。其次，我们还要感谢所有参与课程建设的老师们，他们始终坚持以教书育人为第一要务，付出了大量的时间和精力，由于文章篇幅所限，在此仅列出各个学校的负责老师，他们是北京大学的边凯归老师、北京航空航天大学的张力军老师、哈尔滨工业大学的李全龙老师、上海交通大学的朱燕民老师、西安交通大学的陈妍老师、北京邮电大学的高占春老师、吉林大学的胡亮老师、西安电子科技大学的杨超老师、天津大学的赵增华老师、大连理工大学的申彦明老师、东南大学的刘波老师、山东大学的胡鹏飞老师和华南理工大学的袁华老师。

参考文献：

- [1] Kurose J F, Ross K W. Computer networking: A top-down approach[M]. 8th ed. Upper Saddle River: Pearson, 2020.
- [2] Tanenbaum A, Wetherall D. Computer networks[M]. 6th ed. Upper Saddle River: Pearson, 2020.
- [3] RFC Editor. Segment routing over IPv6 (SRv6) network programming RFC 8986[EB/OL]. [2023-08-20]. <https://www.rfc-editor.org/rfc/inline-errata/rfc8986.html>.
- [4] RFC Editor. QUIC: A UDP-based multiplexed and secure transport RFC 9000[EB/OL]. [2023-08-20]. <https://www.rfc-editor.org/rfc/inline-errata/rfc9000.html>.
- [5] Cui Y, Li T, Liu C, et al. Innovating transport with QUIC: Design approaches and research challenges[J]. IEEE Internet Computing, 2017, 21(2): 72-76.
- [6] 中华人民共和国教育部. 教育部高等教育司关于开展虚拟教研室试点建设工作的通知[EB/OL]. (2021-07-21)[2023-09-10]. http://www.moe.gov.cn/s78/A08/tongzhi/202107/t20210720_545684.html.
- [7] 中华人民共和国教育部. 教育部高等教育司2023年工作要点[EB/OL]. (2023-03-29)[2023-09-10]. http://www.moe.gov.cn/s78/A08/tongzhi/202303/t20230329_1053339.html.

（编辑：赵 原）