

# 中国计算机学会通讯



COMMUNICATIONS OF THE CCF

第12卷 第 9 期

总第127期

2016年9月



## 网络领域新兴课程的建设 P8

如何成为优秀计算机学者 P32

形式化数学和证明工程 P40

# CONTENTS 目录

第12卷 第9期 总第127期 2016年9月

## 本期导读

**网络领域新兴课程的建设**

网络技术的发展日新月异，现代工程技术人员只有熟悉并掌握相关技术知识和技能才能适应快速发展的社会。如何培养专业化人才？如何创新、创业？高校信息技术类专业责无旁贷。很多高校已开始着手进行网络领域课程改革，开设新兴课程。本期专题几位作者介绍了他们在开设新兴课程中的思路、经验和体会，希望能给还在教学改革路上探索的教师以启发。

P8

## 敬告读者

欢迎读者对本刊提出意见或建议。编辑部联系方式：

电话：(010)6260 0323

E-mail: cccf@ccf.org.cn

查阅本刊电子版：

<http://www.ccf.org.cn/cccf>

## 主编评语

7 成为优秀学者需要陶冶心灵

## 专题

8 网络领域新兴课程的建设

特邀编辑：王新兵

10 赛博新经济：网络与经济交叉学科的教学探索

徐 恪 王 勇

16 开展互联网创新创业课程教学的思考

崔 勇

20 移动互联网时代对大学课程的挑战

王新兵

25 无线网络技术：从章节到独立课程

金 光 江先亮 苏成龙

## 专栏

32 如何成为优秀计算机学者

高 文

40 形式化数学和证明工程

陈 钢

45 解析软银的安谋收购

万 赞

50 从类鸟飞行到类脑计算：读《莱特兄弟》

张 峰

54 计算机系统核心教学内容之关联

袁春风

58 我国计算机学者在CCF推荐A类会议上发表论文情况

毛 波 吴素贞

62 **The CS David专栏**

对数据的信任

作者：戴维·阿兰·格里尔(David Alan Grier)

译者：吴茜媛 刘双健

# 无线网络技术：从章节到独立课程

金光 江先亮 苏成龙  
宁波大学

关键词：无线网络技术 新课程 建设实践 仿真 + 实测

## 无线网络技术发展方兴未艾<sup>1</sup>

自 20 世纪中叶以来，网络技术的发展日新月异。以互联网技术标准为例，从最初的 1969 年 4 月到 2016 年 4 月，已有超过 7800 项的 RFC<sup>2</sup> 标准<sup>[1]</sup>，平均不到两天诞生 1 项新标准。应当指出，RFC 标准主要关注 TCP/IP 架构的网络层、传输层、应用层和安全等，绝大部分属于有线网络范畴，对物理层和介质访问控制 (Media Access Control, MAC) 层等涉及较少，而这两者恰是无线网络关注的重点。

20 世纪 90 年代末，正值国内互联网基础设施大力建设之时，笔者曾参加过思科 (Cisco) 公司的技术宣讲会。演讲专家预言未来 10 年的网络技术发展趋势将是“更快、更便捷”：“更快”指光纤到桌面，逐步取代传统线缆；“更便捷”指无线网络逐步普及，帮助人们摆脱线缆束缚。现在看来，这个技术预言成功了一半。“光纤到桌面”并未能实现广泛应用，其发展更多体现在骨干网的升级和扩容，连接桌面的有线介质依然以双绞线为主（当然其速率也在不断提升）。而无线网络的发展和应用则远远超出了预期。

究其原因，可概括为以下三点：首先，出于便利考虑，桌面用户在接入互联网时更倾向于采用无线局域网 (IEEE802.11/Wi-Fi)，导致原属于双绞线或光纤的份额减少；其次，蜂窝网络和无线局域网的发展使手机和移动终端接入网络更为方便，甚至导致桌面 PC 销量下降，出货量已不如移动终端，

表1 部分主流应用和对应的无线网络技术

主流应用	对应的无线网络技术
社交网络/应用	蜂窝网络、无线局域网、全球定位系统(GPS)
室外定位/导航	卫星网络(全球定位系统/北斗卫星导航系统)
室内定位	无线局域网、无线传感网、射频识别
移动支付	蜂窝网络、无线局域网、近场通信
智慧健康/医疗	无线体域网、无线个域网、蜂窝网络
智慧物流/零售	射频识别、无线个域网、蜂窝网络
智慧环境	无线传感网
智慧农业	无线传感网
智慧娱乐	无线个域网、无线局域网
智能家居	无线个域网、无线传感网、无线局域网
无人驾驶汽车	无线传感网、车载自组织网、蜂窝网络

<sup>1</sup> 本文所指的无线网络技术，根据学术界的主流观点，包含各种不同的无线网络和通信技术，如无线局域网 (WLAN)、无线城域网(WMAN)、蜂窝网络(3G/4G/5G)、无线广域网(WWAN)、卫星网络 (广电/GPS/北斗)、无线个域网(WPAN)、无线体域网(WBAN)、无线传感网(WSN)、移动自组织网(MANET)、车载自组织网(VANET) 等。对于物联网(IoT)，其主要支撑技术之一也是无线网络，包括射频识别(RFID)、无线传感网、蓝牙、近场通信 (NFC)、无线个域网等。

<sup>2</sup> Request For Comments (请求评议)，是一系列以编号排定的文件。文件收集了有关互联网相关信息，以及 UNIX 和互联网社区的软件文件，几乎所有的互联网标准都收录在 RFC 文件之中。

这是十几年前根本无法想象的；第三，各种无线网络技术的发展催生了全新的物联网技术和产业，大大超出了传统有线网络的樊篱。

如果说计算机网络发展初期，无线网络技术只作为计算机网络技术的一个分支，那么现在的无线网络已足以与传统有线网络并驾齐驱。在突破了线缆束缚之后，移动互联网、物联网、泛在网络等领域不断涌现出各种创新应用。表1列出了目前部分主流的信息技术应用和对应的无线网络技术。限于篇幅，这只是其中的一部分。即使如此，从中不难看出，无线网络技术的研究范畴、影响力、发展潜力等已堪比当初的互联网技术。

以谷歌公司为例，其技术发展历程就印证了从有线到无线的技术演变<sup>[2]</sup>。1999年，谷歌公司依靠互联网搜索引擎起家，初期推出了邮箱、地图、地球、学术等标志性的互联网应用，之后逐步将技术领域扩展到智能硬件、物联网等领域。目前其产品越来越多地依托无线网络，如安卓操作系统（蜂窝网络/无线局域网）、智能眼镜和手表（无线体域网）、高空气球（无线接入网络）、无人驾驶汽车（车载自组织网/无线传感网/蜂窝网络）、Nest智能家居（无线局域网/无线传感网）、Tango增强现实（蜂窝网络/无线局域网/无线个域网）等。而一向专注于软件和大数据的社交网络巨头脸书也新推出了Aquila（天鹰座）无人机<sup>[3]</sup>，计划飞行于2.7万米高空，通过激光和毫米波通信，覆盖半径数十公里的区域，为偏远地区提供无线接入互联网。

回归本文的主题，无线网络技术的发展和产业已对人才培养提出了新的需求，那么高校的专业课程和教学内容是否做好充分准备了呢？

## “无线网络技术”课程水到渠成

回顾历史，“计算机网络”课程在国内高校的大规模开设是在20世纪90年代中后期，彼时恰逢互联网基础设施即“信息高速公路”在全国大力建设，对与组建局域网、连接互联网、开发设计各种万维网（Web）网站相关的技术和人才需求巨大。计

算机网络知识的重要性得以凸显，相应地，“计算机网络”课程的影响也迅速提升。以计算机专业为例，“计算机网络”课程先从普通选修课变成专业必修课，后又成为专业基础课，一个重要标志就是在全国研究生入学考试大纲<sup>[4]</sup>中，“计算机网络”被列为计算机专业统考必备的四门核心内容课程之一。

毋庸置疑，“计算机网络”课程对计算机和其他信息技术相关专业的重要性正如互联网技术对信息社会的重要性。在教学领域，相继涌现了许多经典教材，如塔嫩鲍姆（A.S.Tanenbaum）<sup>[5]</sup>、库罗斯（J.F.Kurose）<sup>[6]</sup>、谢希仁<sup>[7]</sup>、吴功宜<sup>[8]</sup>等知名学者所著的教材，被广大师生和技术人员所认可。

但正如前面所述，近年来，无线网络技术的发展已使其从传统计算机网络技术的一个分支升华到一个相对独立的学科专业方向，无论是从科研还是教学角度，无线网络都应单立门户。对应的教学改革势在必行，而且刻不容缓。其实在课堂之外，这种变革的影响已经很明显，如当前信息技术各专业学生的毕业设计选题、专业竞赛的科技作品、学生科研项目、“互联网+”创新创业实践成果、企业对毕业生的技术能力需求等与无线网络技术的关系变得越来越密切。

如果学生能在课堂上系统学习无线网络技术知识，将非常有利于培养和提高其实践能力。事实上，笔者长年讲授“计算机网络”课程，期间就有选课学生反映现有课程内容陈旧（如经典却不再流行的FTP协议），也有毕业生反馈称企业的技术需求很大一部分涉及无线网络，这些都让我们认识到讲授新技术、新知识的必要性和紧迫性。

我们认为，为了适应技术发展和满足社会需求，在高校的信息技术专业中，尤其是在和计算机网络技术相关度较大的专业方向（如网络工程、物联网工程、计算机、通信等）中，积极开展“无线网络技术”课程教学正当其时，各种条件陆续具备，可谓水到渠成。

许多高校的一线教师与我们的想法不谋而合，也在积极推进这门新兴课程的建设，但总体而言，尚属起步阶段。我们对开课情况进行了初步调研。

早在几年前，计算机专业在全国各高校的覆盖面就已超过 70%。与此形成对照的是，截至 2016 年上半年，“无线网络技术”课程在全国各高校的课程开设率大约是 15%~20%。而考虑到即便开设，也往往作为选修课，参加的人仅是一小部分学生，因此估计该课程在全国高校信息技术各专业学生的覆盖面只有 5%~10% 左右。这说明“无线网络技术”课程未来进一步推广拓展的空间和潜力巨大。

## 课程设置方案

课程设置主要涉及授课对象的专业和层次、开课学期、学时安排等，我们结合自身几年来的实践体会，总结出一套“无线网络技术”课程设置方案，如表 2 所示。

表2 “无线网络技术”课程设置方案

教学对象	三四年级本科生/一年级研究生
面向的专业	网络工程*、物联网*、计算机*、通信*、电子、自动化、信息安全、软件工程等(*为可重点要求)
学时安排	32(理论学时)+16(实验学时)
理论内容	无线通信基础、网络仿真基础、无线局域网、无线城域网、无线广域网、卫星网络、无线个域网、无线传感网、移动自组织网、射频识别、车载自组织网、无线体域网、室内定位、智能家居、无线网络安全等
实验项目	面向各种不同无线网络，分别进行物理测量、室外组网、网络管理、介质访问控制/路由/传输协议仿真测试、室内定位、智能穿戴、其他应用、安全等
实验手段	仿真+实测
课外学习	深入阅读前沿技术文献为主，习题为辅
课外实践	学生科研、学术作品、学科专业竞赛等

考虑到先修课程因素，理想的情况是在本科生第 6 学期或之后开设此课程，但这需要整个专业进行课程体系改革。而目前大多数高校信息技术的各专业中，一方面原有课程计划已饱和，另一方面大四学生要以复习考研或求职招聘为主，这些都会导致许多选修课无法开设。所以也可以考虑在研究生第一学年开设该课程。

当然，根据本科生和研究生的特点，课程对二

者的要求也不一样。本科生的学习特点更多体现在了解原理、掌握知识、开拓视野、参与实践等。而研究生的特点更多体现在深入分析、追踪前沿、动手设计、开发制作等。而且按照研究生的分类，学术型硕士应更多关注前沿技术研究进展，专业型硕士应更多关注技术和实践相结合的创新应用设计。

本科生层面的课程设置有两种方案：一是单独新增“无线网络技术”课程，作为“计算机网络”课程的延伸和补充；二是改革传统“计算机网络”课程，替换部分原有教学内容，新增部分无线网络技术内容。

方案一的涉及面广，需要考虑培养方案、师资力量、实验环境这三大影响因素。

**培养方案** 这涉及到教学计划和课程设置。目前普遍存在课程数量饱和、总学时受限制、新课程较难增设等问题。并且各学校情况各异，思路也不同，增设“无线网络技术”课程需要根据学校具体情况逐步推进。

**师资力量** 通常“计算机网络”课程的任课教师经过适当学习培训，补充适量的无线通信和硬件知识之后，完全可以胜任“无线网络技术”课程的讲授。目前，许多网络领域教师的科研工作中，无线网络所占的比例实际上已远远超过有线网络；在各种学生的课外创新实践项目中，也越来越多涉及无线网络技术。可以说，师资的准备不会有太大困难。

**实验环境** 这一点非常重要。传统有线网络的实验立足于桌面 PC，以操作交换机/路由器设备、捕获分析数据包、设计分析应用协议等为主，尽管也有网络设备管理、网络规划和布线等少量硬件类操作，但总体上，这类实验以面向桌面和软件为主。而无线网络实验涉及十余种不同技术类型，对场地、环境、设备等的要求各不相同，更多体现出嵌入式软件和硬件的特点。如果方案一全面实施，则涉及实验的各方面均会面临诸多困难。针对这一点，我们提出了“仿真+实测”的实验设计思路，下文会有具体介绍。

方案二的影响则相对小些，且更易于操作，但也存在明显的不足之处。传统的“计算机网络”课

程中，有线网络的内容和学时已饱和，通常难以在既有学时内新增教学知识点，除非大幅裁减原有内容。但此举可谓“牵一发而动全身”。以计算机专业为例，由于传统有线计算机网络内容属于研究生入学统考的核心知识点，对其进行删减会带来不少问题。折衷的办法有两种：一是适当增加“计算机网络”课程的学时，这些学时全部用于学习无线网络技术知识；二是将无线网络技术相关教材作为“计算机网络”课程的补充阅读和参考书，在实验环节适当选取部分无线网络实验项目，来替换一些过时内容。

## 课程建设实践

在国内高校中，宁波大学开展“无线网络技术”课程建设相对较早。在制定本校2010版计算机/通信/电子等专业培养方案和课程计划时，就已将“无线网络技术”纳入选修课之列。在教学实践中，我们遇到了许多问题和困难，也积累了不少经验和教训。

### 教材编著

开设新课程，教材是第一要务。筹备之时，国内外可供选择的合适教材极少，已有的其内容也以介绍理论为主<sup>[9]</sup>，难以满足实验要求。笔者了解到，浙江大学等一流研究型大学注重教学科研相结合，往往直接选择前沿技术的英文文献作为补充教材。但这对国内大多数普通地方高校并不适合，苦思之余，不禁产生了“自力更生”的大胆想法——自编教材<sup>[10]</sup>。

“知易行难”。在教材的实际编著过程中，由于可供借鉴的同类教材图书稀缺，需要查找大量原始文献资料，其间所遇到的困难远超出最初预期。譬如“卫星网络”一章，虽然它是覆盖范围最广的一种无线网络，其应用包括广播电视、通信、导航、定位等，但对我们而言，这是一门较为专业和陌生的学科，涉及内容很多，比如卫星设计、地球轨道、星座拓扑、通信频率、数字广播、接入互联网、定位、导航应用等。无论是查阅文献资料还是设计实验项目，都异常艰巨。

为了突出内容的新颖性，我们编著教材时，借鉴了一些用于科学的研究方法，在梳理好脉络结构的基础上，仔细搜集和持续跟踪各相关技术方向的国内外前沿技术文献；通过研读这些文献，重点选择那些能反映技术全貌、核心原理、发展潜力、应用前景的内容；编写过程中，精心设计章节和组织文字，力求做到覆盖全面、重点突出、深浅适中。考虑到技术的快速发展，我们计划每隔3年左右更新一次教材，及时补充新内容。

### 实验设计

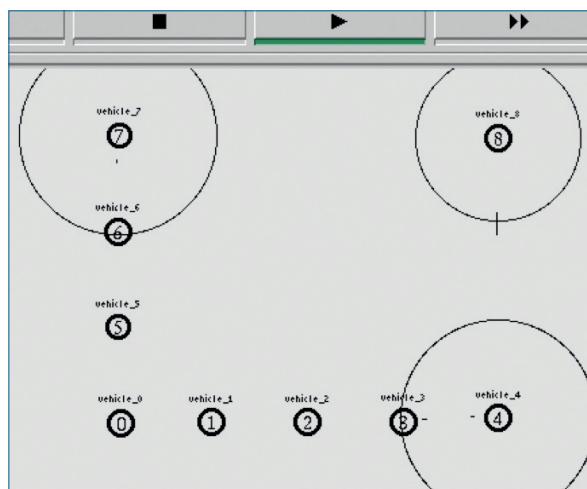


图1 无线车载网络协议NS2仿真场景

工科尤其是信息技术专业的课程始终强调实验实践环节，这也是我们编写教材和开设新课中面临的最大困难。普通院校一般由于实验室条件所限，要完成十余种无线网络技术实验的代价难以承受，并且由于一部分技术更新较快，类型多样，也会导致所需实验设备项目繁杂且价格高昂。还有，无线网络实验环境构建难度较大，易受温度、天气、场地、遮挡等物理因素影响。此外，由于许多无线网络的协议、算法和应用等所需环境在现有实验条件下较难实现或成本太高，也会影响最终的教学效果。我们经过仔细分析，提出了“仿真+实测”的实验思路。

一方面，仿真技术已应用于不少信息技术类课程实验实践教学中，我们从中选择常用于开发网络协议

的权威网络仿真软件（如具有丰富无线网络组件和资源的 NS2），学生使用普通 PC 即可完成实验。我们精心挑选了一些适合通过网络仿真环境来展示效果的协议、原理和应用，设计了相关的实验项目。图 1 为“车载网络”一章的配套仿真实验，在 NS2 仿真环境中，不同车辆节点 0~8 按特定轨迹运动，部分节点之间基于车载网络协议传输数据，随着车辆节点不断运动，其数据传输路径、状态等随之发生变化。

另一方面，实测型实验对培养学生动手能力更为重要，更能彰显实践意义。我们充分考虑降低实验投入的要求，立足于成本低廉、易购易得的设备和材料，如无线路由器、通信模块、传感器、开发板、可编程路由器（OpenWRT）、可穿戴设备、树莓派（Raspberry Pi）、自备手机等，设计制作了部分实测型实验，并不断增加项目，持续更新实验内容和资源<sup>[11]</sup>。图 2 为“无线传感网”一章的配套实测实验，使用 ZigBee/CC2530 传感器节点，在校园中组建长距离的户外多跳无线传感网，覆盖距离可达数百米甚至更远（图中所示可增加路由节点实现更多跳数），

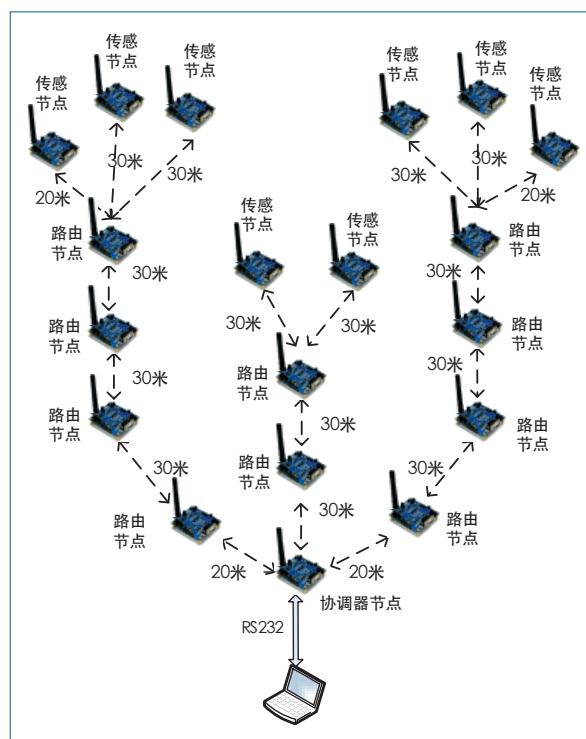


图2 校园长距离多跳无线传感网实测拓扑结构

可监测较大范围内的户外环境信息（如温度、湿度、风速、噪音、气体浓度等）。实验中，学生以分组方式参与，共同体会组建大范围无线传感网的过程。

通过实测型实验，学生接触和熟悉了无线网络和物联网领域的开发设计过程。不少同学还能举一反三，在教师指导下，自己动手设计开发科技作品，积极参与学生科研、各类专业竞赛等。

## 自主学习

由于无线网络领域各项技术日新月异，即使不断修订教材也难以及时反映前沿技术的最新进展，这就需要引导学生自主学习来了解技术的新动态。每次新学期开课前，我们都会搜集领域内的最新高水平原始文献，主要来源包括 SIGCOMM、MOBICOM、INFOCOM 等顶级学术会议，ACM、IEEE 的权威学术期刊，各种无线网络技术工作组的技术动态等。在开学初将学生分组，每组 5~6 人，为其分配 20~30 页的英文文献，并要求其进行翻译。期末各小组派代表上台展示和演讲，对研读的相关技术内容进行介绍、分析和讨论。学生通过这项活动既开阔了视野，也锻炼了英文阅读、翻译、理解和演讲等能力。

而如果是在一年级硕士研究生中开设该课程，则文献阅读和翻译的独立性、深度、扩展性等要求就需要提高，并针对部分软硬件方案，要求学生予以实现，或结合各自拟从事的科研方向设计不同科技作品。这样，研究生的文献阅读、动手实践、独立科研等能力将得到有效锻炼和提升。

## 课程建设感想与体会

在这门新课程的建设实践中，我们“品尝”到了甜酸苦辣，各种滋味。

在萌发建设该课程之初，我们的设想较简单，就是适当参与教学改革，对新课程进行一些探索，也为修读“计算机网络”课程的同学提供更多的扩展阅读内容。但深入之后，发觉还需要自编教材、自己设计实验等，顿觉困难重重。尤其是无线网络领域繁多，技术持续迭代更新，我们需要研读大量

前沿文献，不断学习掌握许多新知识。限于我们的学识、能力、资源、环境等条件，这些困难和挑战都显得异常艰巨，颇有些“欲渡黄河冰塞川，将登太行雪满山”的境况。之后转念一想，既然我们已对这门新课程的重要性和未来潜力胸有成竹，而这项任务又恰如科学的研究一样，困难多、挑战大，不正预示着这是一次不可多得的机遇吗？更进一步说，如果教学研究能做出好的成果，其价值和意义并不亚于科学的研究。

当然不容回避的矛盾是教学和科研的关系，从事这项课程建设，将花费大量时间精力，势必对我们短期的科研工作业绩如项目论文成果等有所影响。但从另一个角度考虑，借此可以接触新的技术领域，拓展新的科研方向，挖掘新的科研问题，触发新的科研灵感。何乐而不为？

在综合考虑该课程建设和教学改革、技术进步大背景、自身科研方向等多方面的关系后，我们将该课程建设作为一项长期工作，制定了长远规划、短期目标和阶段里程碑等，并积极申请相关的学科、专业、教研等建设项目的支持。在具体编写教材和设计实验时，我们立足内容的新颖性，充分考虑读者的可接受性、实验实践的可操作性等，积极听取选课学生的反馈意见，不断琢磨并予以完善。几年来，校内学生选课积极，反响热烈，我们也获得了校级教学创新奖等荣誉。

“无心插柳柳成荫”。令人意外和欣喜的是，我们的课程建设成果走出了校门，得到了教育部高校计算机类教学指导委员会众多专家学者的肯定，吴功宜教授<sup>[8]</sup>等知名前辈也给予了好评。而在许多同行的支持鼓励下，相关教材和实验内容等几年来已在国内外超过150所高校中得到使用。各校师生反馈了大量的建议和意见，使我们受益匪浅。同时我们也认识到自身工作还很肤浅，许多不足亟待改进。

## 结语和展望

技术进步对网络领域的课程内容提出了新的要

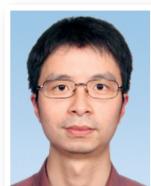
求，“无线网络技术”课程有着重要的技术价值和现实意义，眼下在高校相关专业中积极开设该课程正当其时。我们较早开展了“无线网络技术”课程的教学实践，针对教材内容和实验项目等进行了一些探索，积累了一些经验，也得到了广大师生的肯定。

“路漫漫其修远兮，吾将上下而求索”。展望未来，我们将不断追随技术创新的脚步，持续完善理论内容、实验设计、教学方式等，携手全国高校众多师生，共同促进这门新兴课程的发展，为专业教学改革、培养技术人才、推动经济发展做出贡献。■

### 致谢：

感谢浙江省高等教育课堂教学改革项目、宁波大学研究生优秀示范课程的支持。

#### 金光



CCF专业会员。宁波大学教授。主要研究方向为无线网络、物联网、传输协议等。jinguang@nbu.edu.cn

#### 江先亮



CCF专业会员。宁波大学讲师。主要研究方向为传输协议、拥塞控制、无线网络等。jiangxianliang@nbu.edu.cn

#### 苏成龙



CCF学生会员。宁波大学硕士生。主要研究方向为无线网络、传输协议等。suchenglong@yeah.net

## 参考文献

- [1] IETF RFC. <http://www.ietf.org/rfc.html>, 2016.
- [2] 2016年谷歌I/O大会. <http://tech.qq.com/p/topic/20160518060398/index.html>.
- [3] 详解FB无人机. <http://tech.163.com/16/0727/10/BSVM1TU700097U80.html>.
- [4] 全国研究生入学考试计算机学科专业基础综合考试大纲. 高等教育出版社, 2015.
- [5] A. S. Tanenbaum and D. J. Wetherall. Computer

- Networks(5th ed.), 清华大学出版社, 2012.
- [6] J. F. Kurose and K. W. Ross. Computer Networking: A Top-down Approach (6th ed.), Pearson Education, 2013.
- [7] 谢希仁. 计算机网络(第6版), 电子工业出版社, 2013.
- [8] 吴功宜. 计算机网络(第3版), 清华大学出版社, 2011.
- [9] 汪涛. 无线网络技术导论(第1版). 清华大学出版社,

2008.

- [10] 金光, 江先亮. 无线网络技术教程(第2版), 清华大学出版社, 2014.
- [11] 无线网络技术课程教学与实验资源. <http://www.thinkmesh.net/wireless/>, 2016.