

Computing Curricula 2020

计算课程体系规范 2020

CC2020

Association for Computing Machinery (ACM)
IEEE Computer Society (IEEE-CS)

编制

ACM中国教育委员会
教育部大学计算机课程教学指导委员会

译

高等教育出版社

Computing Curricula 2020

计算课程体系规范 2020 CC2020

Association for Computing Machinery (ACM)
IEEE Computer Society (IEEE-CS)

编制

ACM中国教育委员会
教育部大学计算机课程教学指导委员会

译

高等教育出版社·北京

CC2020 工作组

联合主席

Alison Clear

Eastern Institute of Technology
New Zealand

Allen Parrish

University of Alabama
United States of America

编委会

Alison Clear

Eastern Institute of Technology
New Zealand

Allen Parrish

University of Alabama
United States of America

John Impagliazzo

Hofstra University
United States of America

Pearl Wang

George Mason University
United States of America

指导委员会

Paolo Ciancarini

University of Bologna
Italy

Alison Clear

Eastern Institute of
Technology
New Zealand

Ernesto Cuadros-Vargas

Latin American Center for
Computing Studies (CLEI)
Peru

Stephen Frezza

Gannon University
United States of America

Judith Gal-Ezer

Open University
Israel

John Impagliazzo

Hofstra University
United States of America

Allen Parrish

University of Alabama
United States of America

Arnold Pears

KTH Royal Institute of
Technology
Sweden

Shingo Takada

Keio University
Japan

Heikki Topi

Bentley University
United States of America

Gerrit van der Veer

Vrije Universiteit
Netherlands

Abhijat Vichare

ACM India
India

Pearl Wang

George Mason University
United States of America

Les Waguespack

Bentley University
United States of America

Ming Zhang

Peking University
China

CC2020 工作组(续)**Hala Alrumaih**

Imam Mohammad Ibn Saud
Islamic Univ.
Saudi Arabia

Renata Araujo

Brazilian Computer Society
Brazil

Jeffrey Babb

West Texas A&M University
United States of America

Olga Bogoyavlenskaya

Petrozavodsk State
University
Russia

Héctor Cancela

Universidad de la República
Uruguay

Juan Chen

National University of
Defense Technology
China

Adrienne Decker

University of Buffalo
United States of America

Eric Durant

Milwaukee School of
Engineering
United States of America

Marisa Exter

Purdue University
United States of America

Beatriz Florián Gaviria

Universidad del Valle
Colombia

Itana Maria Gimenes

Brazilian Computer Society
Brazil

Steven Gordon

Ohio State University
United States of America

Eiji Hayashiguchi

Waseda University, CTO
VJP Co. Ltd.
Japan

Amey Karkare

India Institute of Technology -
Kanpur
India

Richard Le Blanc

Seattle University
United States of America

Paul Leidig

Grand Valley State
University
United States of America

David Lopez

Universitat Politècnica de
Catalunya
Spain

Barry Lunt

Brigham Young University
United States of America

Linda Marshall

University of Pretoria
South Africa

Bruce McMillin

Missouri Univ. of Science
and Technology
United States of America

Tania McVeety

IBM
United States of America

Nancy Mead

Carnegie Mellon University
United States of America

Teresa Pereira

Instituto Politécnico de
Viana Castelo
Portugal

Melinda Reno

Deloitte Consulting
United States of America

Ariel Sabiguero

Universidad de la República
Uruguay

Fermin Sanchez

Universitat Politècnica de
Catalunya
Spain

Nello Scarabottolo

Università di Milano
Italy

Yann Secq

University of Lille
France

Simon

University of Newcastle
Australia

Ye Tian

ByteDance
China

Paul Tymann

Rochester Institute of
Technology
United States of America

Barbara Viola

Viotech Solutions
United States of America

Xi Wu

Chengdu Univ. of
Information Technology
China

Xiaochun (Jane) Yang

Shanghai AchieveFun Info
Tech Co., Ltd.
China

Stuart Zweben

Ohio State University
United States of America



译者序

国际 ACM/IEEE 计算课程体系规范 (Computing Curricula, 简称 CC 规范) 是国际计算机学会 (ACM) 和国际电气和电子工程师协会 - 计算机分会 (IEEE-CS) 联合, 组织全球计算机教育专家共同制定的计算机类专业课程体系规范, 具有很高的权威性。该规范已历经 CC1991、CC2005 两个重要版本, 是国内外一流计算机专业制定课程体系时的重要指导, 我国教育部计算机类教指委和国内一流高校计算机学院持续跟踪 CC 规范的更新。

CC2020 项目组旨在通过对 CC2005 课程体系进行版本更新, 研究当前计算领域的课程设计, 并提供教学指导方针, 以应对未来计算教育面临的挑战。CC2020 项目组由 ACM 和 IEEE-CS 联合来自全球 20 个国家的 50 位相关领域专家组成, 其中 15 位指导委员会成员, 35 位工作小组成员。这 50 位专家中有 5 位来自中国, 包括指导委员会成员北京大学教授张铭, 以及工作小组成员国防科技大学教授陈娟、成都信息工程大学教授吴锡、上海成趣信息科技有限公司独立顾问杨晓春和字节跳动公司技术合作专家田野。参与 CC2020 撰写工作的张铭、陈娟、吴锡、杨晓春和田野这 5 位中国专家合作翻译, 形成了 CC2020 中文版。高等教育出版社韩飞参与了翻译讨论并提出了建设性意见。

CC2020 采用“计算” (computing) 一词作为计算机工程、计算机科学和信息技术等所有计算机领域的统一术语; 同时采用“胜任力” (competency) 一词来代表所有计算教育项目的基本主导思想。其目标就是从知识 (knowledge)、技能 (skills) 和品行 (dispositions) 三部分, 使学生胜任未来计算相关工作内容。

CC2020 采纳了 IT2017 的胜任力模型, 强调元学科规范 (meta curricula), 融合知识、技能、品行三个方面的综合能力培养, 加强了对职业素养、团队精神等方面的要求, 鼓励

各教学机构根据自己的定位设计具体的培养方案。CC2020的胜任力模型对实现我国“新工科”建设所强调的“以能力培养促进工程科技创新和产业创新”的目标有着重要的促进作用。

CC2020的附录 I-Sustainable Computing and Engineering Competence in China(中国计算与工程教育中的可持续竞争力)简明扼要地介绍了中国计算教育 20 人论坛于 2019 年出版的《计算教育与可持续竞争力》蓝皮书,体现了中国计算机教育界的国际影响力。蓝皮书针对当前和未来信息科技与信息化社会变革,探究了未来 10-15 年计算教育的新形态与新模式。该书从新时代的可持续竞争力培养目标出发,全面阐述了可持续竞争力特征与关键要素、敏捷教学概念与内涵,并重点探讨了敏捷教学的教学体系、适应敏捷教学的大学管理与服务支撑体系、面向可持续竞争力的开放教育生态等方面内容。

CC2020 正式出版之际,李国杰院士在 2020 年第 12 期的 CCCF 卷首语“大学计算机教育的改进方向”中特别提到 CC2020 的重要理念,即从“知识本位教育”转向“能力本位教育”,认为 ACM/IEEE-CS 对计算机专业的设置与课程指南的制定值得我国参考借鉴。

针对我国计算机本科专业设置所面临的挑战,需要从计算机类一流人才培养的角度看待专业教育存在的问题,对当前计算机本科专业进行优化。CC2020 对中国计算机本科专业学科设置带来一些启发。1)首先是知识维度的课程体系构建。2)然后是面向技能的课程体系设计。针对胜任力模型多技能等级的能力需求,需要学生进阶式的思考、批判性的思维、多项任务的完成等分阶段逐步培养,设计构建复合企业场景、实践项目中完成的实践教学体系。3)最后是品行、热情维度。这与学生未来职业生涯发展息息相关。对于品行的培养要贯穿于整个本科学习阶段,渗透于整个学习过程。中国计算机专业是一个厚基础、宽口径、重交叉、求创新的前沿理工科专业,CC2020 胜任力模型清晰地描述出未来计算机专业人才的特征,为专业建设和人才培养构建了一个很好的框架。

译者

2021 年 10 月



前言

计算学科极大地影响了科学、工程、商业、教育、慈善事业和人类努力的许多其他领域。在当今世界,几乎每个人都将计算机作为日常生活的一部分。从智能手机和电视到导航系统,计算继续存在于人类生活中。这种计算环境为学生提供了许多具有挑战性的职业机会。对于那些在工业和政府部门工作的人来说,计算现在并将继续成为塑造人类未来的重要组成部分。

计算学科需要从广泛而多样的公众群体中吸引优秀的学生,并使他们准备好成为有能力和负责的专业人士。几十年来,专业和科学计算协会在以各种方式支持高等教育方面发挥了主导作用,特别是在课程体系规范的制定方面。具有里程碑意义的报告《计算课程体系规范(2005年版)》(CC2005),也称为计算学科概述报告,巩固了2005年本科计算课程体系规范。CC2005分析比较了已发布的计算机工程、计算机科学、信息系统、信息技术和软件工程的计算课程体系规范。同时还说明了这五个课程体系的重点,并提供了表格来突出主题强度和毕业生能力要求。CC2005成为了对计算教育的一个积极贡献。

自2005年以来,计算领域和计算教育领域发生了很大变化,同时,计算机工程报告从CE2004进展到CE2016;计算机科学报告从CS2001到CS2008再到CS2013。信息系统从IS2002进展到IS2010,新一版IS报告正在研究制定中。最初的信息技术报告于2005年以草案形式出现,最终成为IT2008,然后是IT2017。软件工程报告SE2004更新为SE2014。此外,计算领域出现了网络空间安全,由此产生了CSEC2017报告。一份数据科学报告目前正在制定中。显然,有必要制定一份《计算课程体系规范2020》(也称

为 CC2020)的当代新报告。

为此,一个由来自 20 个国家的 50 人组成的工作组成立了,其中由 15 人组成的指导委员会承担了主要的运作职责,审查了本科计算课程体系规范指南,并在必要时参考了计算专业和其他相关支撑信息。本报告不涉及研究生计算教育或学士学位预科教育,尽管偶尔也会提到这些领域。

这份 CC2020 报告涵盖了其前一版本的大部分主题。然而,不断变化的计算动态、计算教育研究以及工作场所的变化导致了許多新的“附加组件”和功能特征在早期的报告中没有出现。包括以下一些新增内容。

- 专注于胜任力
- 从基于知识的学习过渡到基于胜任力的学习
- 扩展课程体系的学科方向,已包括网络空间安全和数据科学
- 扩展课程体系和胜任力的图表和可视化呈现
- 建立一个交互式网站,将 CC2020 的结果提供给公众使用
- 绘制一个未来计算课程体系活动的框架

CC2020 报告涵盖了计算机工程、计算机科学、网络空间安全、信息系统、信息技术、软件工程和数据科学(正在开发)的本科培养方案。它还描绘了以往课程体系报告演变的简要历史。CC2020 遵循以下四项重要准则:

1. 报告必须保留和支持当今和未来几十年全世界范围的计算概念。
2. 报告必须从工业、研究和“基层”发展中捕捉未来趋势和描绘未来愿景。
3. 报告必须内容广泛,并支持其成员目前的、新兴的和未来的计算学术专业。
4. 报告必须灵活,以实现全球范围的长期的认可,并在多种教育背景下具有可适应性。

本报告的目标人群包括有意向的学生及其家长、在校学生、行业和政府官员、计算教育工作者以及教育组织和当局。尽管计算作为一门学科已经存在了八十多年,但许多人仍然不清楚该学科领域或其含义。CC2020 报告内在支撑的理念是将计算视为一门元学科——一组以计算为中心的学科集合。

与 CC2005 相比,CC2020 报告从基于知识的学习转向基于胜任力(competency)的学习。胜任力要求用知识和技能来展示人类行为。一般而言,人们可以将胜任力视为个人在工作、角色、职能、任务或职责中发挥作用所必须具备的素质。

教育界普遍认为职业生涯的成功需要三件事。

- 知识 (Knowledge) —— “知道是什么” —— 精通核心概念和内容, 并将学习应用于新场景;
- 技能 (Skills) —— “知道如何做 (技术诀窍)” —— 以确定的结果执行任务的能力;
- 品行 (Dispositions) —— “知道为什么” —— 智力、社会或道德倾向。

因此, 任何胜任力的定义都必须将一个情境或任务中所表示的三个维度联系起来, 如下:

$$\text{胜任力} = \text{知识} + \text{技能} + \text{品行}$$

本报告以胜任力为中心, 并制定了一个胜任力框架。

本报告的一个重要特点是, 它解决了对可视化工具的需求。例如, 通过利用知识、技能和品行的胜任力维度, 可以生成一个可视化图表, 为潜在的学生展示两个计算学科之间的共性和差异。这些基于胜任力的视觉效果以及其他视觉效果为计算学科提供了丰富的视角。

该报告还对未来方向提出了建议。它强调行业需要参与制定职场胜任力, 专业咨询委员会需要参与制定有意义的计算专业培养方案, 例如通过实习计划来制定。

本报告的目的不是要彻底解决围绕计算领域的术语问题。例如, 本报告中使用的“信息技术”是指计算领域的一个子集; 世界上一些地区使用这个术语来代表整个计算领域。这个“通天塔” (Tower of Babel) 挑战可能永远无法达成解决方案。然而, 目标人群必须意识到世界上不同地区使用的不同术语的含义存在细微差别和差异。对于所有领域而言, 普遍接受全球多样性和文化敏感性都是必不可少的, 尤其是在本身非常多样化的计算领域。学位结构在不同的国家, 有时甚至在同一个国家内也是不同的。一般来说, 本科阶段有两年制、三年制和四年制培养方案。

这份 CC2020 报告没有为每个计算学科提供具体的课程体系。相反, 该报告建议并提供了许多方案。它们包括改革教学和教育范式, 从追求知识或成果转变为熟练程度, 以及让毕业生积极参与并挖掘职场胜任力。这些在报告的最后几章中都有描述。

该报告是跨越 20 个国家的几个计算组织之间的一次前所未有的合作努力成果。作

为“计算课程体系规范系列”的其中一卷,它根据当前的课程体系规范指南对六种计算学科进行了重新审视和分析。它们是行业领导者、计算教育者和其他学科的教职员工多年实验和精化的产物。这份报告发布后,学术界与工业界的合伙将有助于为全球的本科生建立更强大的计算专业培养方案。

最后,这份报告不仅仅是课程体系规范指南的概述。首要目标是通向为 21 世纪 30 年代指明一条有用且充满活力的道路。本报告还对当前的主要计算学科以及将来它们可能如何存在提出了一种视角。它将帮助指导学生、行业和学术界为未来的有能力的计算专业毕业生做好准备。CC2020 将有助于塑造计算教育的未来。

—CC2020 工作组



目 录

第 1 章 CC2020 简介	1
1.1 CC2020 期望	1
1.1.1 项目目标、愿景和使命	2
1.1.2 项目策略	3
1.1.3 项目的多样性	3
1.2 目标人群	4
1.2.1 有意向的学生及其监护人	4
1.2.2 在校学生	4
1.2.3 行业	5
1.2.4 计算教育者和课程体系开发者	5
1.2.5 专业协会、教育机构和当局	6
1.3 项目背景	6
1.3.1 简要历史	6
1.3.2 项目组织和结构	7
1.4 计算的总体范围	8
1.4.1 当前的学科结构	8
1.4.2 课程体系规范的时间表	8
1.5 指导原则	10
1.5.1 四大原则	10

1.5.2 报告成员和公众宣传	11
1.6 CC2020 报告结构	12
1.7 本章小结	12
第 2 章 计算教育的演变	13
2.1 什么是计算?	13
2.1.1 早期含义	13
2.1.2 近期企划	14
2.2 计算学科蓝图	15
2.2.1 早期发展	15
2.2.2 当代进步	16
2.3 计算学科报告现状	17
2.3.1 计算机工程	17
2.3.2 计算机科学	18
2.3.3 网络空间安全	18
2.3.4 信息系统	19
2.3.5 信息技术	20
2.3.6 软件工程	20
2.3.7 数据科学(开发中)	21
2.4 计算学科的扩展	22
2.4.1 计算的相互关系	22
2.4.2 新兴的课程体系规范	22
2.4.3 计算 +X	23
2.4.4 X+ 计算	24
2.4.5 其他三级计算模式	25
2.4.6 小学和中学教育中的计算	26
2.4.7 计算专业门类	27
2.5 本章小结	27
第 3 章 基于知识的计算教育	29
3.1 基于知识的学习	29

3.1.1 学习和知识	29
3.1.2 从知识中学习	30
3.1.3 知识与计算教育	30
3.2 重温 2005 计算课程体系	31
3.2.1 CC2005 的意图	31
3.2.2 CC2005 的内容	32
3.2.3 对照表	33
3.2.4 课程体系的可视化	34
3.2.5 全球和其他考虑	35
3.3 以知识为基础观点的局限性	37
3.3.1 技能差距	37
3.3.2 非学位认证	39
3.3.3 技能框架	39
3.4 本章小结	40
第 4 章 基于胜任力的计算教育	41
4.1 胜任力和基于胜任力的学习	41
4.1.1 胜任力及其意义	42
4.1.2 计算领域胜任力的前期工作	42
4.1.3 CC2020 胜任力的起源和发展探索	45
4.2 胜任力模型	45
4.2.1 CC2020 胜任力模型	46
4.2.2 组件定义	46
4.2.3 胜任力表述	47
4.2.4 构成要素	48
4.2.5 关于胜任力的论述	50
4.3 从胜任力到课程体系	52
4.3.1 胜任力的确定与提出	52
4.3.2 胜任力规范与课程体系规范	54
4.4 本章小结	54

第 5 章 课程体系的分析与可视化	55
5.1 关于可视化	55
5.1.1 一些基本功能	55
5.1.2 胜任力分析	56
5.2 基于胜任力的可视化示例	58
5.2.1 学生用例	59
5.2.2 行业用例	61
5.3 基于知识的可视化示例	64
5.3.1 计算教育者	64
5.3.2 教育主管部门	64
5.3.3 计算知识概况表的可视化	64
5.3.4 其他可视化	68
5.4 关于胜任力可视化的挑战	69
5.4.1 一致的词汇	69
5.4.2 实体比较	69
5.4.3 可视化类型	69
5.5 本章小结	70
 第 6 章 全球和专业方面的考虑	 71
6.1 全球情景和计算专业培养方案	71
6.2 计算术语	72
6.2.1 学位名称、职位和职务	73
6.2.2 学位名称和工作场所	74
6.2.3 使用“工程师”一词	74
6.3 全球计算学位结构	75
6.3.1 非洲的计算教育	75
6.3.2 大洋洲的计算教育	75
6.3.3 中国的计算教育	76
6.3.4 欧洲的计算教育	76
6.3.5 印度的计算教育	77
6.3.6 日本的计算教育	78

6.3.7 中东的计算教育	78
6.3.8 拉丁美洲的计算教育	79
6.3.9 北美的计算教育	79
6.3.10 英国的计算教育	80
6.4 全球经济与计算教育	80
6.4.1 创新空间	81
6.4.2 塑造学术专业培养方案的力量	82
6.4.3 计算的创新	82
6.4.4 计算领域的企业家精神	83
6.5 专业精神与职业道德	83
6.5.1 课程体系规范中的道德规范	83
6.5.2 职业道德工作	84
6.5.3 文化敏感性和多样性	84
6.6 本章小结	85
第7章 课程设计——挑战与机遇	86
7.1 向胜任力转变	86
7.1.1 区分胜任力与知识	86
7.1.2 课程动态	87
7.1.3 培养计算胜任力	87
7.1.4 知识迁移	87
7.1.5 技能迁移	88
7.1.6 品行迁移	88
7.1.7 本土适应的需要	89
7.2 针对职场胜任力的业界参与	90
7.2.1 专业顾问委员会	90
7.2.2 勤工俭学和合作项目	91
7.2.3 实习项目	91
7.3 教育机构的资源需求	91
7.3.1 吸引和保留教师	92
7.3.2 需要足够的实验室资源	92

7.4 专业质量保证和认证	93
7.4.1 认证概述	93
7.4.2 专业认证的好处	93
7.4.3 质量保证	94
7.4.4 全球认可	95
7.5 本章小结	96
第 8 章 CC2020 报告的未来发展	97
8.1 CC2020 及未来的技术趋势	97
8.1.1 前沿和新兴技术	97
8.1.2 尚未获得认证课程体系的现有计算领域	98
8.1.3 新兴计算领域	99
8.2 公众参与和 CC2020 项目	100
8.2.1 CC2020 项目网站	101
8.2.2 课程体系与胜任力相互关联	101
8.2.3 项目推广	101
8.3 胜任力在未来课程体系指南中的作用	101
8.3.1 最新课程体系开发	102
8.3.2 未来课程体系开发	102
8.4 胜任力倡导	102
8.5 未来活动	103
8.6 本章小结	104
致谢	105
附录 A 解释 CC2005 课程体系规范可视化的海报	106
附录 B 计算技能框架	107
B.1 信息时代的技能框架	107
B.2 技能和欧洲胜任力框架	111
B.3 技能和 i 胜任力词典	113

B.3.1 任务词典	113
B.3.2 任务字典图表	114
B.3.3 任务评估诊断级别和标准的示例	114
B.3.4 技能词典	116
B.3.5 技能词典图表	116
B.3.6 技能熟练程度	118
B.4 通过企业信息技术获得的技能	118
附录 C 初步的胜任力草案—示例	120
C.1 CC2020 胜任力初步探索	120
C.1.1 起草胜任力	120
C.1.2 培养胜任力的策略	121
C.2 按学科起草胜任力	122
C.2.1 计算机工程胜任力草案	122
C.2.2 计算机科学胜任力草案	127
C.2.3 信息系统胜任力草案	132
C.2.4 信息技术胜任力	137
C.2.5 软件工程胜任力草案	140
C.2.6 硕士阶段信息系统胜任力草案	144
附录 D 基于胜任力模型的计算课程体系	147
D.1 计算学士学位教育中的胜任力	148
D.2 CC2020 中胜任力的定义	148
D.3 胜任力规范的剖析	151
D.3.1 胜任力表述在胜任力规范中的作用	152
D.3.2 胜任力的组成部分:知识,“知道是什么”	153
D.3.3 胜任力的组成部分:技能,“知道怎么做”	158
D.3.4 胜任力的组成部分:品行,“知道为什么”	159
D.4 为胜任力描述构建胜任力规范	161
D.4.1 制定胜任力表述和规范	161
D.4.2 细化胜任力表述	162

D.5 计算教育中的胜任力	168
D.6 胜任力对未来课程体系的指引	169
D.7 总结	170
附录 E 从胜任力到课程体系	171
E.1 未来课程体系中的胜任力项	171
E.1.1 目标人群 (Stakeholders)	171
E.1.2 胜任力目标	173
E.1.3 成果期望和学习规范	173
E.2 识别和开发胜任力	174
E.2.1 自由形式描述与半正式规范	175
E.2.2 引导胜任力	176
E.2.3 胜任力的层次结构	177
E.2.4 从自由描述中推导出半形式规范	177
E.2.5 从胜任力组件创作自由形式的叙述	178
E.3 使用胜任力规范作为课程体系规范的基础	178
E.3.1 现有模式	179
E.3.2 基于胜任力规范构建课程体系指南	181
E.3.3 构建基于胜任力规范的大学课程体系	182
E.3.4 将专业培养成效指定为教学要求的胜任力	182
E.4 胜任力和目标人群方价值	182
E.5 评估胜任力	184
E.6 总结	184
附录 F 存储库开发	185
附录 G 其他可视化和分析	187
G.1 基于用例的分析	187
G.1.1 案例 1: 有意向的学生提出的问题	187
G.1.2 案例 2: 来自行业的问题	189
G.1.3 案例 3: 教师的问题	192

G.1.4 案例 4:教育当局的问题	194
G.2 胜任力详解比较	198
G.3 知识的各种可视化	199
G.4 可视化完整课程体系	202
 附录 H 术语表	 204
 附录 I 中国计算与工程教育中的可持续竞争力	 208
I.1 具备适应性的可持续竞争力	208
I.2 面向可持续竞争力的敏捷教学	209
I.3 计算和工程教育敏捷教学体系的构建因素	211
I.4 面向敏捷教学的开放式教育生态	212
I.5 服务型计算教育	214
 附录 J 贡献者和审稿人	 216
 参考文献	 223

第 1 章

CC2020 简介

计算课程体系规范 2020 (Computing Curriculum 2020, CC2020) 项目是由几个专业的计算学会联合发起的一项计划,旨在总结和综合当前计算领域授予学士学位专业的课程体系规范现状,并提出对未来课程体系规范指南的愿景。该项目不仅旨在反映计算教育和实践领域的最新技术,还旨在洞悉 21 世纪 20 年代及将来的计算教育领域的未来。参与的协会聘请了代表学术界、工业界和政府组织的个人组成工作组,主要涉及国际计算机学会 (ACM) 和 IEEE 计算机分会 (IEEE-CS)。其他组织还包括信息系统协会 (AIS) 和信息系统与计算学术专业人士教育特别兴趣小组 (EDSIG / ISCAP),以及 ACM 计算机人机交互特别兴趣小组 (SIGCHI)。项目合作者包括:日本信息处理学会 (IPSJ)、中国计算机学会 (CCF)、拉丁美洲计算中心 (CLEI)、ACM 印度、全民信息学和欧洲信息学。该计划的结果提供了持久的国际合作,让全球范围内的学生、行业、政府机构、教育机构和公众都受益。本报告是上述国际组织和机构合作的重要成果。

1.1 CC2020 期望

《计算课程体系规范 (2005 年版)》CC2005 [Acm02] 是几个计算组织的开创性努力,旨在为现有的学士学位课程体系规范的若干计算学科提供一个视角。十五年来,计算世界发生了许多变化,地理和作为学科、专业与文化的各种计算概念影响了授予计算专业培养方案的环境。CC2020 项目通过吸引来自全球各个国家 / 地区的成员代表参与该项目,将世界各个地区容纳在内。虽然目前发布的课程体系规范指南 (即计算机工程、计算

机科学、网络空间安全、信息系统、信息技术、软件工程)和当前新兴的课程体系规范模型(即数据科学)构成了 CC2020 的主要兴趣领域,但 CC2020 的成果旨在为重新思考现有的或塑造新的计算学位专业和学科。

1.1.1 项目目标、愿景和使命

以下声明反映了 CC2020 项目的目标。

作为对 CC2005 报告的一个扩展,CC2020 项目目的是在不断发展的计算环境中提供一个全球指导,因为它影响着全球计算领域的学士学位培养方案。

CC2020 报告对现有的课程体系规范指南进行了最新的比较和对比,以便将其置于全球计算教育领域的大环境中。该报告还提供了有助于设计和评估课程体系和内容的计算特性,为可被学术界和产业界用于熟练度开发原型的交互式工具提供了一个案例,这对探索课程体系机遇是有用的。本报告未提供对现有个别课程体系指南的更新。更新这些文档是将来各个课程体系指南委员会需要完成的任务。

CC2020 项目最终应该让学生及其监护人、行业、政府机构和学术界了解计算专业培养方案的现状和未来。本报告应该帮助当前和未来的学生及其父母或监护人,在选择和进入计算学位专业时做出明智的决定。它还帮助行业和政府了解计算学位专业毕业生的概况和期望。此外,它还帮助计算专业在学术和专业上为学生和由此产生的毕业生做好准备,以迎接未来十年的挑战。

CC2020 工作组的愿景是:

CC2020 报告将成为全球范围内(未来的)学生、行业、政府和教育机构使用的一套受欢迎且持久的指导方针,以帮助他们深入了解未来十年计算领域学士学位毕业生的期望。

同样,知识本身不足以让个人在瞬息万变的计算世界中具有生产力。计算专业的毕业生将需要与知识相结合的技术技能和品行,以实现现代职场的专业期望。因此:

CC2020 项目和本报告的使命是建立一个全球公认的框架,用于指定和比较计算学士学位培养方案,以满足不断变化的技术世界日益增长的需求,并对学生、行业和学术界都产生作用。

1.1.2 项目策略

CC2020 工作组制定了一系列目标,以实现该项目的愿景和使命。这些步骤使得 CC2020 报告得以完成。

1. 制定一个项目计划,包括可实现的里程碑,以按时完成正在进行的项目。
2. 开发一份反映项目愿景和使命的强有力的报告。
3. 获得三方成员对本报告制定的反馈。
4. 在全球发布 CC2020 报告。
5. 评估 CC2020 报告的效力。

这些步骤的基础是努力扩展先前的概述报告,使其纳入过去十五年的发展以及未来十年的进展预测。随着时间的推移,计算技术已经发展并继续快速发展,对毕业生的期望、课程体系设计和学习产生了深远的影响。

CC2020 报告提出了一个以学生表现为中心的框架,该框架所传达的理念是,学士学位计算专业的毕业生应该能够学习并表达他们所知道的内容。本报告阐明了计算胜任力能够帮助教职员工去实施学士学位专业,且实施的重点应放在学生应该能够完成的内容而不是讲师应该教的内容。该报告利用学习科学和教育研究与实践,来推动学习和课程体系开发的案例。

1.1.3 项目的多样性

CC2020 报告提出了关于计算在全球范围内渗透社会的合理原则。尽管如此,它不可能涵盖所有的思维方式和学习方式。例如,对体验式学习的全面分析超出了本报告的范围。个别机构及其院系应采用创新策略,使学生参与学习过程。

计算领域涉及许多教学上的挑战和机遇。虽然本报告强调了使所有人都能获得信息的必要性,但并未讨论如何实现这一点。工作组成员认为,这种关注应该在机构一级进行,并通过学者和从业人员不断进行的研究加以实施。

该报告的一个基本主题是发展社会各阶层和群体的计算人才。多样性的缺乏限制了创造力和生产力。它排除了许多潜在的合格个人,这可能是许多雇主关注的一个重大问题。例如,在一些国家,女性在计算领域的代表性不足已经受到了很大的关注[Reg1]。本报告认识到多样性的重要性,并建议学术计算部门推广最佳的实践做法,以吸引和保留更大的学生多样性。

CC2020 报告的制定从其成员组成的第一步起就将包容作为其活动的核心。该工作

组的多样性组成包括性别、工作类型、从属关系、地理位置和全球专业人员组成。以下是工作组的一些统计数据。

工作组成员人数:50

所代表的大洲数量:6

代表国家数量:20

女性人数:21;男性人数:29

工作组联合主席:1 名女性;1 名男性

指导委员会:5 名女性;10 名男性

所代表的国际专业协会数量:11

行业 – 政府成员数量:7

学术界成员人数:43

工作组成员意识到,他们无法满足所有人的愿望。他们竭尽全力将这份报告置于更广泛的计算领域中。作为一份全球性文件,本报告为不同的社团提供了指引,其建议并非指令性的。

1.2 目标人群

CC2020 报告的制定确定了五组目标人群,其成员可能会受益于本报告中描述的基于胜任力 (competency-based) 的计算教育方法。目标人群包括:(a) 有意向的学生及其父母或监护人;(b) 在读学生;(c) 行业;(d) 教育者;以及 (e) 教育组织和当局。工作组成员相信,所有目标人群都将从 CC2020 项目的成果中受益。

1.2.1 有意向的学生及其监护人

当有意向的学生在父母或监护人的支持下考虑在大学学习计算专业时,他们在做出选择时需要了解计算专业的差异。该报告和项目的网站将使他们能够对专业进行比较,从而评估专业与他们对工作或职业道路的期望的一致性程度。学生可能明白他们想要学习计算机,但很少人可能会明白存在许多学科以及它们之间的区别。一名有意向的学生提出的一个典型问题可能是:

我正在考虑一个符合我喜好的计算专业学位。在候选学校中,有几个计算专业可以考虑。那么这些专业的毕业生主要是从事个人的工作(例如,编写代码)还是与其他人一起工作?

1.2.2 在校学生

目前在高校就读的学生可能会面临自己所在院校或其他院校的课程选择。目标人

群类别也可适用于其他学科的学生,他们正在考虑混合课程,包括计算组件,如计算学科的辅修课程。当前学生提出的一个典型问题可能是:

与当前的信息系统课程体系相比,我所在大学的信息系统课程更强调(覆盖面更广或持续时间更长)哪些领域?

1.2.3 行业

“行业”是指这样的实体:(1)招聘毕业生;(2)与大学合作选择或专门开设某门课程,或需要某门特殊课程;或(3)通过提供实习机会合作开设某门课程。对于行业代表(例如招聘经理),最重要的问题是,与特定雇主的期望相比,毕业生对专业的准备情况。更重要的是,行业雇主和招聘人员需要了解新员工学到了什么。例如,招聘软件开发人员的雇主可能更喜欢雇佣那些在软件工程或计算机专业中从事过深入研究的人。另一方面,如果雇主要找的是研究过计算机组成问题、有扎实的计算机基础知识的人,那么他们更喜欢信息系统课程体系毕业的学生。行业目标人群想要回答的相关问题可能是:

我们的行业要求我们的员工在相关的知识水平上有特定的知识,并具备几个关键的品行。XYZ 课程体系中是否有适合我们员工继续职业教育的课程成效呢?

1.2.4 计算教育者和课程体系开发者

计算教育者是学校或大学中计算学术单位的教职员工或教师,以及负责设计和实施与计算学科相关的教育经验的课程体系开发者。这些人包括学术管理人员(例如,院长和系主任)。这些计算教育者应了解他们当前的课程或未来的课程如何符合公认的课程推荐。如果他们能够将自己的课程与专业课程指南进行比较,以帮助他们了解可能缺失的内容,这将是很有用的。他们可能会问以下问题。

哪些知识领域适用于我的课程?我是否可以采用其他地方现有的课程来填补空缺,或提供其他选择?

1.2.5 专业协会、教育机构和当局

教育组织或机构是对大学教育有一定权威的实体。类似的目标人群可能包括专业组织或协会、管理和资助大学的国家或地区教育部,以及评估、认证大学教育或定义认证资格的国家或国际机构。下面是一个教育当局可能希望得到回答的典型问题。

我们是否可以接受特定课程 X 的学生完成课程 Y?

1.3 项目背景

六十年来,计算课程体系规范指南一直是高等院校及其教员感兴趣的课题。以下是项目背景的总结。

1.3.1 简要历史

在 20 世纪 80 年代,国际计算机学会(ACM)和电气电子工程师协会—计算机分会(IEEE-CS)成立了一个联合委员会,目的是更新计算课程体系规范(Curriculum'78)。该委员会的目标是面向学士学位,计算领域的本科学位培养方案开发更现代的计算课程体系规范(CC)指南。在该委员会的努力下,创建了《计算课程体系规范(1991 年版)》[Tuc1],也被称为 CC1991 或 CC'91。该报告被许多教育工作者解释为计算机科学,但只得到了适度的认可,因为到 20 世纪 90 年代初,不同的计算学科正在成熟(如信息系统)或出现(如计算机工程、信息技术、软件工程)。然而,CC'91 委员会的努力产生了一系列综合报告,这些报告不仅反映了成熟的计算学科,而且也反映了新兴的计算学科。许多这样的文件可以在 ACM 网站[Acm01]上找到。此外,欧洲还通过欧洲高等教育区(EHEA)给出了对计算的定义[Eur2]。

在 20 世纪 90 年代后期,ACM 和 IEEE-CS 联合撰写了代表一些重大进展的 CC2001 报告[Acm01]。该报告要求创建一份概述文件;它还要求当时认可的每个主要计算学科都要制定自己的课程体系规范报告。当时的主要领域包括计算机工程、计算机科学、信息系统、信息技术和软件工程,尽管信息系统在 20 年前就发布了自己的学科报告。CC2001 报告承认了计算领域的快速发展和动态特性。与计算相关的学科数量正在不断增加。因此,课程体系开发的工作是要去接受新出现的计算学科。CC2001 报告中确立的原则最终产生了具有广泛影响力的 CC2005 概述报告[Acm02],该报告由 ACM、信息

系统协会 (AIS) 和 IEEE-CS 共同发起和赞助。

这份 CC2005 报告通过对比不同计算学科领域的差异和共性,获得了全世界的赞誉。它是几个计算组织的首次努力,为存在学士学位课程体系的几个计算学科提供视角。它还描述了“各自的计算本科学位培养方案如何相互比较和互补。”[Acm02 p1] CC2020 报告的第 3 章更深入地回顾了 CC2005 报告。

自 CC2005 出版以来,发生了很多变化。2005 年所描述的每一门课程都进行了更新,在某些情况下还更新了好几次。计算领域的新领域已经获得突出地位,可以保证制定他们自己的课程体系规范指南。计算的全球性和跨学科性在今天变得更加明显[Sim1]。2005 年版本自己承认“以北美为中心”,并提到了未来此类文件在范围上更加国际化的必要性。CC2020 项目实现了这一承诺。

1.3.2 项目组织和结构

2015 年,国际计算机协会 (ACM) 开始探索更新概述报告的途径。2016 年,ACM 决定推进 CC2020,并设立了一个考察委员会,以确定是否需要一份新的报告。最初,ACM 和 IEEE-CS 成为 CC2020 项目的主要赞助商。其他专业组织也为此提供了额外的赞助。这些组织包括 ACM 中国、信息系统协会 (AIS)、信息系统和计算专业人士的教育特别兴趣小组 (EDSIG/ISCAP) 以及计算机人机交互特别兴趣小组 (SIGCHI)。项目合作者包括 ACM 印度、中国计算机学会 (CCF)、意大利计算机科学家协会 GRIN、全民信息学 (I4All)、欧洲信息学、日本信息处理学会 (IPSJ) 和拉丁美洲计算机研究中心 (CLEI)。

ACM 和 IEEE 计算机分会最初分别任命了两名 CC2020 项目联合主席。2017 年,每位联合主席招募主办单位的代表成员加入 CC2020 指导委员会。指导委员会已扩大为一个由五十名志愿者组成的工作组,他们参与了该项目的工作并编写了这份报告。图 1.1

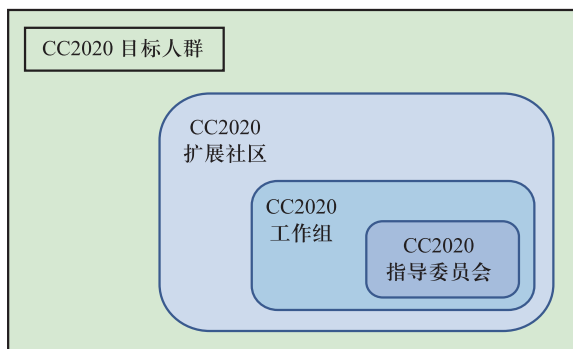


图 1.1 CC2020 项目结构

说明了 CC2020 项目的当前组织架构。指导委员会的职责是确定该项目的方向和内容,并采纳工作组所有成员和扩展团队的意见。指导委员会负责撰写这篇书面报告,并且指导委员会内的一个核心写作编辑团队做出了特别重要的贡献。

1.4 计算的总体范围

存在许多类型的计算学位培养方案。关于不同类型的计算学位专业数量的可靠信息很难获得。然而,在过去的 15 年里,可供学生选择的计算学位专业的数量和类型急剧增加。这份报告对未来的计算课程体系规范指南可能的发展提出了建议。为此,CC2020 报告不仅描述了目前由课程体系文档确定的计算子学科,而且承认计算学科的边界已经扩大,并将继续大幅扩大。

1.4.1 当前的学科结构

在撰写本文时,计算课程体系已经存在或正在建设的学士学位学科如下。

Computer engineering 计算机工程 (CE)	Information systems 信息系统 (IS)
Computer science 计算机科学 (CS)	Information technology 信息技术 (IT)
Cybersecurity 网络安全 (CSEC)	Software engineering 软件工程 (SE)
	Data science 数据科学 (DS) ^①

这些学科都有一个最近由 ACM 和 IEEE-CS 赞助的(或即将完成的),由一个或多个国际专业和科学协会认可并出版的本科课程体系指南卷。这些学科影响了世界范围内主修计算专业的大部分本科生。

人们会期望计算领域其他学科的小组能够努力创建和维护国际本科课程体系指南。在这种情况下,这些准则将成为本报告未来版本的一部分。

1.4.2 课程体系规范的时间表

CC2020 报告的基础是现有的一套针对计算相关专业本科学位培养方案的课程体系标准。图 1.2 中的图表说明了什么已经成为“计算课程体系规范系列”,顶层概述块 CC2020 表示此报告。对于现有的 6 个学科特定课程体系卷,每一个都代表了相关专业、科学和教育协会的志愿者的最佳判断。每一份报告都定义了这些学位课程应该是什么

^① 在 ACM 的支持下正在开发中。

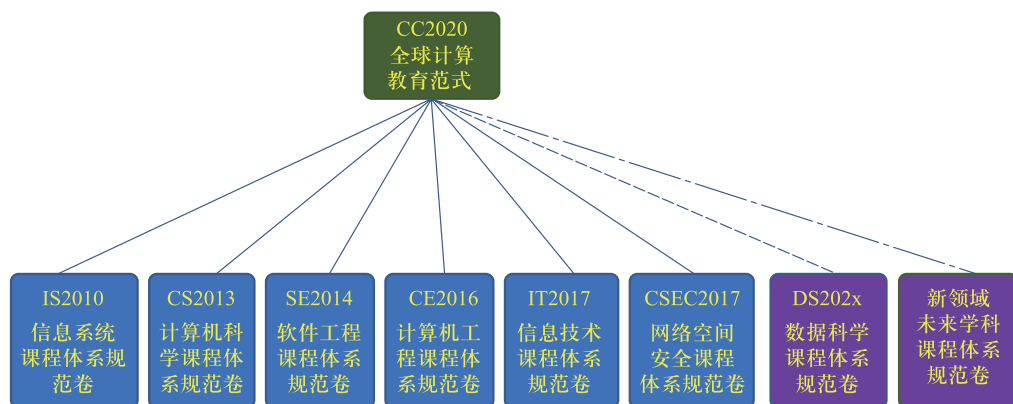


图 1.2 计算课程体系规范系列结构图

和完成什么。

CC2020 报告涵盖了近期和正在进行的课程体系规范指南工作,包括以下内容。

- Information Systems 信息系统 2010(IS2010)
- Computer Science Curricula 计算机科学课程体系规范 2013(CS2013)
- Software Engineering Curricula 软件工程课程体系规范 2014(SE2014)
- Computer Engineering Curricula 计算机工程课程体系规范 2016(CE2016)
- Information Technology Curricula 信息技术课程体系规范 2017(IT2017)
- Cybersecurity Curricula 网络空间安全课程体系规范 2017(CSEC2017)
- Data Science Curricula (under development) 数据科学课程体系规范(正在计划中) 202x(DS202x)
- Other emerging disciplines 其他新兴学科

目前正在开发的数据科学课程体系规范指南报告涉及对数据工程、大数据和数据分析有用的计算组件。其他最近在该领域有影响的出版物包括:《EDISON 数据科学框架》[Edi1]、《数据科学学科展望:本科视角:中期报告》[Nas1]。

专业组织应将上述计算课程体系规范报告视为建议的指导方针,而不是严格的规定。课程体系开发者已经并仍具有为他们的支持者采取独立行动的自由。预计本科学士学位培养方案将大大超过这些和后续课程体系报告中建议的最低限度。

虽然在撰写本文时,提到的一些报告正在进行修订(如 IS2010),但工作组没有努力更新其内容,因为这超出了本项目的使命和权限。相反,CC2020 工作组将当前的课程体系卷进行了比较,并综合了它认为重要的描述性和可比性信息。当前的课程卷包含了很

多详细信息,这里没有包括在内。读者如果想了解本报告中涉及的任何学科の詳細信息,请查阅 ACM 网站[Acm01]上的原始资料。

除了使用这些报告之外,工作组还在准备 CC2020 报告时参考了计算专业人士和其他必要的支持信息。该报告没有关注其他类型的本科计算学位培养方案,也没有关注针对计算领域研究生教育,也没有关注计算领域研究团体的身份。此外,该报告不包括与供应商和政府特定的认证专业,以及大规模开放在线课程(MOOC)相关的非传统计算教育的任何信息或评论。这些领域仍然值得评价,但这类工作超出了本报告的范围。

1.5 指导原则

CC2020 报告的目的是提供一个框架,来概念化计算教育以及资质、知识体系、专业概况、教育背景和学位培养方案之间的关系。CC2020 工作组承认,所使用的术语从未达成普遍一致,而且可能会有很大的变化。诸如“计算机工程”、“计算机科学”和“信息技术”等术语,对于世界不同地区乃至全国各地的计算教育工作者和从业者而言,有着截然不同的含义。第 6.2 节讨论了计算领域的命名法和术语。

1.5.1 四大原则

CC2020 工作组在制定这份 CC2020 报告时遵循了这四个原则。

1. 无论是现在还是将来,它都必须在全球范围保护和支持计算的概念。

术语“计算”确定了涉及计算机的广泛领域,并反映了这个词在全球普及的现实。工作组认识到,世界上有些地区使用不同的术语,如“信息学”或“信息和通信技术(ICT)”来代表一个领域,这些术语的含义与“计算”一词类似。这份报告归纳了这些相同点和不同点。

2. 它必须捕捉来自行业、研究和整个社会的未来趋势和愿景。

这个原则有很多方面。CC2020 项目必须保持对一般教育需求、技术变化以及现有和新兴技术的响应。本报告的目标受众包括学生、行业 / 雇主、政策制定者、专业团体、认证机构和学术机构。

3. 它必须是可扩展的,并为其组成部分支持现有的、新兴的和未来的计算专业培养方案。

对比不同类型的计算专业培养方案很重要。这一原则对于 CC2020 项目及其组成部分(如学生和未来的学生)很重要,可以帮助他们了解一个计算学科(如计算机工程)与另一个计算学科(如信息技术)的区别。这一原则对教育项目的创建者也很重要,他

们将使用这些资源来指导健全的学位专业的发展和提高。该工作组还寻求建立对用于描述不同专业领域计算机毕业生预期能力的术语的普遍理解。

4. 它必须是灵活的,以实现全球长期接受,并适应多种教育背景。

计算教育领域的作者必须使用全球通用中立的语言(并非特定于教育系统或上下文的)来反映诸如《博洛尼亚宣言》[Bol1]之类的文档。在某种程度上,本报告的读者应该能够使用它的不同部分来满足自己的需要。

1.5.2 报告成员和公众宣传

作为本报告的后续,CC2020 项目网站正在开发中,将包含比本报告所能传达的更多的信息。预计该网站将包括一个交互式程序工具箱,以帮助本报告的成员和公众。其目标是为未来的学生和那些建议他们帮助他们做出明智选择的人提供按需信息。另一个是提供比较不同国家背景的计算专业培养方案的方法,并为寻找评估和发展现代和未来计算课程体系规范的信息提供支持。CC2020 网站的登录页面如图 1.3 所示[Cew1]。



图 1.3 CC2020 网站登录页面(部分)

计算本身将继续发展。此外,可能会出现新的计算相关领域。随着现有特定学科报告的更新以及新的计算领域的其他报告的出现,本报告的更新版本可能会产生。访问 ACM 网站 [Acm00] 或 IEEE-CS 网站 [Cos1] 将允许用户访问该报告和其他课程体系规范指南报告的最新版本。

1.6 CC2020 报告结构

这份 CC2020 报告讨论了计算领域的学士学位培养方案。报告正文除第 1 章 CC2020 简介外,共七章。第 2 章,计算教育的演变,介绍计算及其一般学科和计算领域。第 3 章,基于知识的计算教育,讨论计算课程体系规范指南和来自 CC2005 的知识。第 4 章,基于胜任力的计算教育,阐述市场力量、技能和品行的重要性,以及 CC2020 对胜任力的定义。第 5 章,课程体系的分析与可视化,使用现代可视化为项目的目标人群提供课程体系表示。第 6 章,全球和专业方面的考虑,涉及世界范围内的术语和学位结构,以及全球计算课程专业的示例。第 7 章,课程设计 – 挑战与机遇,考察了计算教育成功实施的各个方面。第 8 章,CC2020 报告的未来发展,总结了 CC2020 报告。

附录 A 展示了一个海报示例,该海报向更广泛的受众展示了 CC2005 报告的使用情况。附录 B 介绍了几个计算技能框架。附录 C 举例说明了各种计算课程体系的胜任力。附录 D 探讨了基于胜任力的计算课程体系的本质。附录 E 说明了计算学位培养方案中胜任力的使用。附录 F 介绍了开发可视化仓储的策略。附录 G 包含了大量可视化示例。附录 H 提供了术语表以及在全球各地使用的横切命名法。附录 I 总结了关于敏捷教学的中国“蓝皮书”项目。附录 J 表彰了 CC2020 项目的贡献者以及审阅者的贡献。

CC2020 工作组预计,这份报告将帮助学生决定计算学习路径,帮助行业代表提高他们对毕业生概况的理解,以及教育工作者创建有效的课程体系或改进他们已有的课程体系。这份 CC2020 报告及其建议和插图应该成为全球计算教育的指路明灯,其目的是帮助那些培养学生计算胜任力的人,从而使学生在未来的职业生涯中取得职业成功。

1.7 本章小结

第 1 章回顾了 CC2020 报告的愿景、使命、目的和发展。它描述了项目战略和项目目标人群,以及他们将如何从本报告中受益。它还回顾了与 CC2020 报告相关的背景和报告制定的指导原则。最后,本章预览了报告的结构。

第 2 章

计算教育的演变

本章讨论与 CC2020 报告相关的一些背景,以及计算的意义和前景。它描述了由 ACM 和 IEEE-CS 发布的或正在开发的七份课程体系规范报告。它还提到了计算学科的扩展,如新兴课程、计算 +X 和 X+ 计算等场景,以及其他课程体系规范报告。本章内容主要从学术的角度来表述。行业视角将在第 4 章开始介绍。

2.1 什么是计算?

在本报告中,“计算”一词是指以目标为导向的活动,这些活动需要、受益于、或与计算机的创建和使用相关。正如最初在 CC2005 [Acm02] 中所阐述的那样,计算包括各种解释,例如为广泛的目的设计和构建硬件和软件系统;处理、构造和管理各种类型的信息;通过寻找问题的解决方案或证明解决方案不存在来解决问题;使计算机系统行为智能化;创造和使用通讯和娱乐媒体;查找和收集与任何特定目的相关的信息。

2.1.1 早期含义

早期,计算具有某种单一的含义。在其短暂的历史中,各种不同的解释随着各种专业化而演变。例如,具有信息系统背景的人对计算的看法与计算机工程师的看法略有不同。新信息技术产业的出现,社会各方面对计算的依赖程度的增加以及全球经济对计算需求的变化,反映了该领域及其广泛应用的变化[Nrc1]。因为社会需要人们做好计算,因此理解计算不仅是一个职业,而且是一个学科的集合很重要[Acm02]。

计算不仅仅是一个单一的研究领域,更是一系列研究领域的汇集。在二十世纪 90 年代,计算、通信技术及其社会影响的重大变化导致了这一学科系列的重大变化。这些变化包括以下方面。

- 从电气工程中兴起的计算机工程
- 计算机科学发展成为更成熟的学术学科
- 随着计算机成为组织流程和工作环境的基础,信息系统不断扩展
- 信息技术作为一门促进计算基础设施建设和维护的新学科出现
- 软件工程是一门基于计算机科学和计算机工程而兴起的学科

二十世纪 90 年代以后,世界各地的计算专业培养方案都趋于成熟。它们不断发展,从而为学生和教育机构创造了更广泛的学习机会 [Acm02]。此外,还有许多工作侧重于软件的使用,而不是加速软件成熟的设计和开发。

2.1.2 近期企划

全球课程体系规范发展的进步扩大了传统计算学科的范围:计算机工程、计算机科学、信息系统、信息技术和软件工程。新课程体系规范的努力使得网络空间安全、数据科学和其他新兴研究领域取得重大发展。虽然这些努力普遍认为是在计算教育的前沿领域,但计算的核心是什么,以及这个核心如何支持计算教育的将来扩张尚不清楚。

本报告第 2.3 节描述了上述传统计算研究领域的课程体系规范发展的最新更新。此外,它还涉及了 2017 年发布的一份网络空间安全课程体系规范报告。同时它还预览了 ACM 在数据科学方面的新成果。人工智能研究这一重新引起人们关注的领域,没有包括在本报告中,因为目前没有一份 ACM/IEEE-CS 发起的课程体系规范指南。

2018 年,美国国家科学院、工程院和医学院对计算领域的变化描述如下 [Nas2]。

在过去十年中,有两个方面成为了中心:对信息安全的持续和不断增长的需求,以及作为决策资源和驱动力的数据。数字信息和数据的保护;保护软件和硬件系统和网络免受未经授权的访问、更改和破坏;教育用户遵循最佳安全实践对每个组织都至关重要。我们所依赖的是一个互联的、网络化的、复杂的网络空间,网络上的漏洞几乎不断受到攻击……

在过去十年中,随着机器学习的成熟、数据科学的出现和“大数据”革命,计算已经走上了一条新的、更靠经验驱动的道路。数据科学结合了计算和统计方法,来识别现有数据的趋势并产生新的知识,在所有经济部门都有重要应用,包括营销、零

售、金融、商业、医疗保健和医药、农业、智慧城市等。

用于动画、可视化、虚拟现实和概念化的软件工具和系统已经成为艺术的一种媒介(数字媒体和多媒体实践),并正在推动娱乐业的发展(电影和视频游戏中的计算机生成图形,以及音乐录制中的数字技术),以及使用虚拟环境的培训和教育。

计算已经在许多学科中变得越来越普遍,不仅仅是无处不在的软件工具的的实际使用。新的算法方法和发现正在帮助推动一系列领域的进步,导致新的合作,学者和研究人员对更深层次的计算知识需求的增加,挑战传统的学科边界。

预计这份美国国家科学院的报告将对全球数据工程和数据科学,以及计算机安全的发展产生深远的影响。

2.2 计算学科蓝图

本章节提供了有关计算演变的历史和当代视角。本节将计算置于计算专业人士所认为的环境中。

2.2.1 早期发展

在计算机发展的最初阶段,计算机工作的教育和培训与计算机技术的研究和发展紧密相关,这体现在工业生产的人工制品的制造商。不久之后,大学开始提供与计算相关的课程。到二十世纪50年代末,美国约有150所大学和学院开设了计算课程,涉及的主题广泛,从“计算机逻辑设计”到“数字计算机程序设计”,从“信息存储和检索”到“商业和工业分析”[Fei1, Ted1]。费恩还提供了一个富有洞察力的讨论,探讨了“计算机科学”学科的概念,并提议有可能出现这样一个研究领域。费恩[Fei1]继续提到:

本研究中讨论的计算机、数据处理和相关领域的大多数方面现在符合(论文中阐明的一门学科的规范),或可能在未来十年内符合要求。

费恩还明确地将计算定义为一个由多个学科组成的研究领域,提出了五个不同的分支:计算机、运筹学、信息与通信、系统和组成哲学。一个当代的解释是大致对应于当前的学科,例如计算机科学/计算机工程、运营学/管理科学、信息科学、信息系统和计算伦理。有趣的是,该领域的广度将计算作为一门学术学科与实际应用和环境联系起来[Fei1]。

在 20 世纪 60 年代,出现了三种主流的学术型计算专业类型:计算机科学、计算机工程和信息系统。这三者有着截然不同的观点:计算机科学是一门高度理论化的研究,研究的是“信息结构和过程,以及这些结构和过程如何在数字计算机上实现”[Ted1 p45];计算机工程是电气工程的一个分支,专注于将既定的工程实践和过程应用于计算硬件的设计和构建;(管理)信息系统侧重于计算在组织(主要是企业)中的实际应用。计算机科学和信息系统都有 ACM 赞助的课程推荐项目,最终产生出计算机科学课程体系规范 Curriculum 68 [Acm13],以及研究生(1972)[Acm14]和本科(1973)[Acm15]课程的信息系统(IS)课程体系规范。

1989 年,计算机科学核心工作组将计算学科定义为三个独立但紧密交织的组合:理论、抽象(建模)和设计 [Den1]。这些方面依赖于三种不同的知识传统(工作组称之为范式):数学(或分析、理论或形式主义)传统;科学(或经验)传统;以及工程(或技术)传统 [Ted2 p153]。

2.2.2 当代进步

在 20 世纪 70 年代、80 年代和 90 年代,计算教育的结构变化相对较小——计算机工程、计算机科学和信息系统都在发展,但仍然具有独立的身份,这使得未来的学生在不同选项中进行选择相对容易。然而,在 21 世纪 00 年代初,计算教育的版图开始发生重大变化。经过数十年的组织实践和研究,软件工程作为一门具有课程体系规范推荐的学科出现。信息技术课程开始填补毕业生的需求,重点是开发和维护计算基础设施以及支持用户。同时,五个既定的计算学科(CE、CS、IS、IT 和 SE)加强了合作,使计算获得了更强的综合身份。CC2005 的成果之一是形成了一个综合计算学科,这是分析、记录和澄清五个子学科之间关系的结果。该文件用图 2.1 说明了计算教育的一般特征,图 2.1 总结了从 20 世纪 90 年代开始发生的转型期间该领域的发展。

在 21 世纪 10 年代,在更广阔的计算领域中出现了两个新的领域:网络空间安全和数据科学。2017 年,出现了网络空间安全课程体系规范推荐和认证标准。然而,数据科学往往有不同的实例化和可能的方向,这取决于参与讨论的人的学科背景 [Cas1]。

如图 2.1 所示(基于学术课程体系规范报告),硬件和软件以不同的形式出现。计算硬件主要是计算机工程领域,通常与电气工程关系密切。以软件开发为重点的学科是计算机科学和软件工程。计算机科学是一门基础学科,强调与程序设计、算法和数据结构相关的发现,而软件工程则更多地关注于设计可靠、安全和高质量软件系统所需的过程和操作。信息技术和信息系统分别从基础设施和信息/组织过程的角度关注组织需

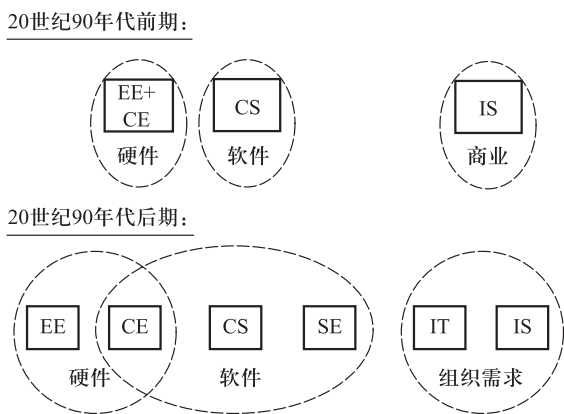


图 2.1 来自 CC2005 的计算学科比较

求和计算用途。

2.3 计算学科报告现状

本节简要描述了 ACM 和 IEEE-CS 以及 AIS 在过去十年作为本科课程体系规范推荐发展的七个计算学科。这七个领域包括计算机工程、计算机科学、网络空间安全、信息系统、信息技术、软件工程和数据科学(进行中)。本节以教育专业为重点描述学科。

2.3.1 计算机工程

计算机工程(CE)将计算和电气工程结合在一起,体现了现代计算系统、计算机控制设备和智能设备网络的软件和硬件组件的设计、构建、实施和维护的科学和技术。CE 是一门计算学科,它明确关注作为计算系统的硬件嵌入式元素的硬件和软件接口的开发。2016 年计算机工程课程体系规范报告,也被称为 CE2016,代表了计算机工程本科学位专业培养方案的课程体系规范指南 [Acm06]。该工作的目标包括整合过去和未来的发展需求,支持负责在全球范围内教授计算机工程学位专业的专业人员。

计算机工程毕业生的能力综合了电气工程、软件工程和计算机科学的能力,并非常重视以数学为基础。CE2016 清楚地表明,从计算机工程专业毕业的学生应该具备设计计算机、设计基于计算机的系统和设计带有附加规格网络的能力,设计需要超越简单的配置和组装。计算机工程是一门特殊的工程学科,毕业生必须具备广泛的数学和工程科学知识,并为工程领域的专业实践或研究生工作做好准备。许多国家/地区根据当地政

府规定,为计算机工程毕业生提供成为注册专业工程师的机会。

计算机工程学科使毕业生能够分析和设计电路、管理计算机硬件组件的设计,以及开发网络硬件解决方案。对于有兴趣获得将计算能力与计算硬件相结合的经验的学生,计算机工程可能是一个合适的学位专业选择。计算机工程也为现代技术的设计和开发提供了良好的准备,这些技术将物理世界和人工世界紧密地结合在一起。

2.3.2 计算机科学

计算机科学课程体系规范 CS 2013 项目在开发其后续报告 CS2013 [Acm04]时有两个导向。它们包括:(1) 对计算课程体系规范 CC2001 和 CS2008 的回顾;(2) 寻求不同受众的意见,以扩大对计算机科学(CS)的参与。CS2013 也有几个高层次主题,为其报告的编写提供了总体指导。这些包括采纳学科的外部视角、课程体系规范的规模管理、提供实际范例来识别和描述现有的成功课程和课程体系规范,以及响应机构的需求、目标和资源限制。

由于其理论基础,计算机科学通常被视为一门基础学科。然而,它有时被错误地等同于所有的计算。这种误解是可以理解的,因为计算机科学的理论根源是从计算机早期的工程传统中分离出来的[Ted1 p3.2]。虽然物理科学是基础科学,为工程领域提供理论基础,但没有一门学科能将其他学科包括在内,而且每门学科都有自己的独特特性。同样,本报告及其前期版本已成功地建立了与计算机科学相关的独立身份。

在其他计算学科中,计算机科学仍然是理论性较强的学科,它与抽象数学的联系仍然很强。仅凭计算机科学学位通常不能提供适用于计算的特定环境方面的专业知识。相反,计算机专业培养方案强调抽象的计算能力。CS2013 将抽象、复杂性和进化变化确定为计算机科学中反复出现的主题,同时将共享公共资源、安全性和并发性作为通用原则。这些原则与程序设计和软件开发的熟练程度密切相关,而这在大多数计算机专业中尤为重要。CS2013 将大约 40% 的核心时间分配在算法和复杂性、程序设计语言、软件开发基础和软件工程上。

2.3.3 网络空间安全

网络空间安全(CSEC)是一个高度跨学科的研究领域。特定的学位专业培养方案通常在概念上和实践中与既定的学科之一相关联,在某种程度上对专业的基本属性有重大影响。2017 年网络空间安全课程体系规范报告 [Acm08],也称为 CSEC2017,2017 年公布。该报告推荐了八个领域的安全性,包括数据、软件、组件、连接、系统、人员、组织和社

会。CSEC2017 的使命是在网络空间安全教育中制定全面而灵活的课程体系指南,以支持未来的专业发展,并编制一卷课程体系规范,以构建网络空间安全学科,并为寻求开发或修改一个具有更广泛培养方案的计算专业的机构提供指导。

该报告明确指出,网络空间安全工作范围很广,从技术(如密码学、网络防御)到管理(如政策和法规遵从)职位。同时,它还认识到网络空间安全专业的每个毕业生都需要技术技能和商业敏锐度,本质上是对确保系统级安全所需的组织行动的管理理解。网络空间安全学位为毕业生提供广泛的应用领域,包括公共政策、采购、运营管理、风险管理、研究、软件开发、IT 安全运营和企业架构。

网络空间安全专业毕业生所需具备的专业能力的需求几乎每天都在发生。世界各地的组织都面临着各种类型的持续挑战,他们必须保护有关客户的数据。保护组织数据的解决方案是多维的,从高技术到组织政策以及社会法律和监管响应,这使得对专业人员的需求巨大,这些专业人员需具有广泛专业安全知识和通用的个人基本能力(如解决问题、批判性思维、口头和书面沟通、团队合作、谈判),这些也是所有计算专业人员所需要的。

与网络空间安全教育相关的活动已经存在一段时间了。例如,在美国,国家安全局学术卓越中心计划已经活跃了 15 年 [Nsa1],与网络空间安全和教育相关的学术会议至少已经举办了 10 年,认证机构如 ABET [Abe1] 最近已建立了网络空间安全认证标准。

2.3.4 信息系统

顾名思义,信息系统 (IS) 学科侧重于信息(即特定上下文中的数据)以及支持决策制定的信息捕获、存储、处理和分析/解释。IS 领域还涉及将信息处理构建到组织过程和系统中,使过程成为永久的、持续的能力。该学科强调了构建系统解决方案的重要性,最好是使它们能够持续改进。同时,IS 认识到在许多技术计算知识领域和技能方面,它依赖于其他计算学科开发的知识。

《信息系统本科学位专业课程体系规范指南 2010 报告》也称为 IS2010 [Acm03]。IS 学科也在准备新的课程体系规范指南 (IS2020),将于 2021 年推出。新的 IS 报告将强调信息系统作为一门学科可以对包括商业在内的多个领域做出重要贡献,并且其核心专业领域对这些领域内的最佳实践是非常有价值的或是必不可少的。IS 学科侧重于计算在人类活动领域内实现变革性变化的能力,有时称为 IS 环境。也就是说,IS 解决了计算技术的持续和创新使用,使人类活动能够以更好、更快、更便宜、更少痛苦、更清洁或更有效的方式实现其目标。

信息系统学位专业培养方案始终包括计算和信息技术方面的课程和其他教育经验,同时还包括信息系统环境(如商业)的覆盖范围。信息系统培养了对所有计算学科都很重要的基础专业能力。鉴于信息系统作为桥梁建造者和集成者的角色,沟通和领导技能的重要性甚至超过了其他计算学科。在分析学背景下,IS 专注于将分析学集成到组织系统中。

2.3.5 信息技术

信息技术(IT)强调用户需求的核心作用。《2017 年信息技术课程体系规范》报告,也称为 IT2017,是全球相关的,并以教育研究为依据[Acm07]。其工作组力求平衡教育工作者、从业者和信息技术(IT)专业人士的观点。IT2017 报告采取了未来主义的方法来推荐课程体系规范,并提出了一个以学习者为中心的培养方案框架,为成功的 IT 毕业生的职业生涯或进一步的学术学习做好准备。它排除了所有关于主题和学习成效的概念,通常由一长串知识活动来代表。相反,工作组开发了对胜任力的使用,这些胜任力被定义为知识、技术技能和(人类)品行的组合。IT 工作组遵循与医学院类似的教学研究和实践。

信息技术学位专业培养方案于 20 世纪 90 年代开始出现。它们是二十一世纪 00 年代通过制定 IT2008 课程体系规范建议和认证标准的发展而出现的这一学科的先驱。IT 是对专业人员需求的回应,这些专业人员有能力开发、获取、维护和支持现代组织日益复杂的计算技术需求。信息技术是“研究选择、开发、应用、集成和管理安全计算技术的系统方法,以使用户实现他们的个人、组织和社会目标。”[Acm07 p18] 对于 IT 来说,主要关注技术,与用户目标紧密一致。

在 IT 毕业生画像规范中,重点是问题和用户需求的分析、计算需求的规范以及基于计算的解决方案的设计。作为一般的专业能力,沟通、做出合乎道德判断的能力,以及作为团队成员有效发挥作用的能力,这些能力增强了这一画像。在当前确定的计算学科中,IT 最直接地处理组织情境中特定的、具体的技术组件。

2.3.6 软件工程

软件工程(SE)是一门工程学科,专注于开发和使用严格的方法来设计和构建软件神器,以可靠地执行指定任务。术语“软件工程师”——用于表示一种职业——比“软件工程”作为一门学术学科或学位专业培养方案的使用范围要广泛得多。拥有“软件工程师”职称或专业身份的人比那些从软件工程专业毕业的人要多得多。更令人费解的是,

软件工程或软件开发往往是计算机工程和计算机专业培养方案的一部分。

《软件工程 2014: 软件工程本科学位专业课程体系规范指南报告》(又称为 SE2014), 旨在为学术机构和认证机构提供关于什么应该构成本科软件工程(SE)教育的指导 [Acm05]。SE2014 报告确定了一组描述 SE 毕业生素质的学生成果。其中包括专业知识、技术知识、团队合作、最终用户意识、设计解决方案、性能权衡和持续专业发展。同样, 该报告提出了一份原则列表, “包括通用计算原则, 以及反映软件工程特殊性的原则, 并将其区别于其他计算学科的原则。”

尽管 SE 专注于创建基于软件的解决方案, 但它远不止是程序设计。SE 强调使用适当的软件开发实践, 并将工程严谨性与应用计算机科学中开发的高级算法和数据结构的能力相结合。软件工程的重点是设计可靠、可信、安全和可用的软件系统。训练有素的软件工程师的能力通常适用于具有高可靠性和安全性要求的大型系统, 例如复杂的制造系统、工业应用、业务关键系统、医疗设备、自主运输系统和军事解决方案。

2.3.7 数据科学(开发中)

数据科学(DS)是一个计算新领域, 它与数据分析和数据工程领域密切相关。数据科学的一个定义是“指导从数据中提取知识的一套基本原则……[并且]包括通过(自动)数据分析来理解现象的原则、过程和技术。”[Pro1]

近年来出现了几个 DS 项目, 其中包括《EDISON 数据科学框架(2017)》项目 [Edi1]、《美国国家科学院本科生数据科学报告(2018)》[Nas1]、《公园城市报告(2017)》[Par1]、《商业高等教育框架(BHEF)数据科学与分析(DSA)胜任力图(2016)》[Bhe1], 以及《本科专业商业分析课程体系规范(2015)》[Ban1]。ACM 于 2015 年举办了首次 DS 研讨会; 一份报告描述了讨论情况, 反映了意见的多样性, 并提出了一份对该领域有用的知识领域清单 [Cas1]。2017 年 8 月, ACM 教育委员会成立了一个工作组, 明确阐述计算在 DS 领域中的作用 [Dat1]。工作组于 2019 年 2 月 [Dat2] 编制了初步报告草案, 暂定为 (DS202x), 随后于 2019 年 12 月 [Dat3] 编写了第二份报告草案。

第二稿描述了一个“胜任力框架”, 它描述了知识领域, 代表了数据科学学位专业培养方案的素材主体, 这些知识领域可以获取高水平的胜任力、技能和品行。知识领域包括 (a) 计算基础知识, (b) 数据获取和治理, (c) 数据管理、存储和检索, (d) 数据隐私、安全性和完整性, (e) 机器学习, (f) 数据挖掘, (g) 大数据, (h) 分析和展示, 以及 (i) 专业精神。对于完整的课程体系规范, 这些领域需要增加课程, 包括微积分、离散结构、概率论、基础统计、统计学高级主题和线性代数。

2.4 计算学科的扩展

计算远比任何单独的学科都重要。对于当前七个计算学科中任何一个学科的学生来说,了解其他学科提供了什么是非常有用的,特别是在它们特定的优势领域。所有计算学科都强调个人从业者所需的专业知识,包括解决问题、批判性思维、沟通和团队合作。这些专业能力使计算学科更加紧密地联系在一起,而不是彼此分开。

2.4.1 计算的相互关系

第 2.3 节的讨论说明了两件事——计算学科之间存在明显的差异,而且它们都有对其个人身份至关重要的显著特征。CE 是唯一一门专注于硬件、软件和信号处理集成的学科,这些学科在诸如信息物理系统、数据通信或医学成像等领域至关重要。CS 非常专注于开发强大的概念基础和计算能力。CSEC 探索了贯穿整个计算领域的安全性(safety)、安全性(security)和连续性问题。IS 专注于使用计算能力发现和实施积极的组织变革,特别强调由信息产生的价值。IT 强调构建和维护组织计算基础架构能力和用户支持。SE 解决了大规模软件开发流程,特别是在安全(safety)和安全(security)关键领域。DS 处理基于数学和统计学的大规模数据管理、存储和检索。

图 2.2 说明了与硬件、软件和组织需求相关的计算的三个层次(基础、技术、领域活动)。内部区域是虚线状的,因为它们不是绝对的。信息技术平台和基础设施将硬件和软件集成到技术解决方案中,使基于计算的解决方案具有与数据存储、处理、人工智能和可视化相关的功能。计算机工程、计算机科学和软件工程为这些计算技术能力的存在提供了所需的组件。信息技术着重于为个人和组织用户提供和保持这些信息。数字智能和转型领域涵盖数据的捕获、管理和分析,使个人、组织和社会能够以帮助他们更好地实现目标的方式开展活动。信息系统(和数据科学)领域使数字智能和转型成为可能。安全渗透到计算的整个空间中。这些是组织使用计算能力进行改变的过程。

2.4.2 新兴的课程体系规范

不同形式的计算课程体系规范提供了丰富领域,这些领域还在迅速扩展。因此,专注于特定科学或商业领域交叉的教育领域的数量继续增长。在新兴的与计算相关的新学科中,最有趣也是最复杂的是人工智能和增强智能(AI)。AI 的根源可以追溯到 20 世纪 50 年代,这些计算领域在过去十年里蓬勃发展。人工智能及其机器人领域已成为计

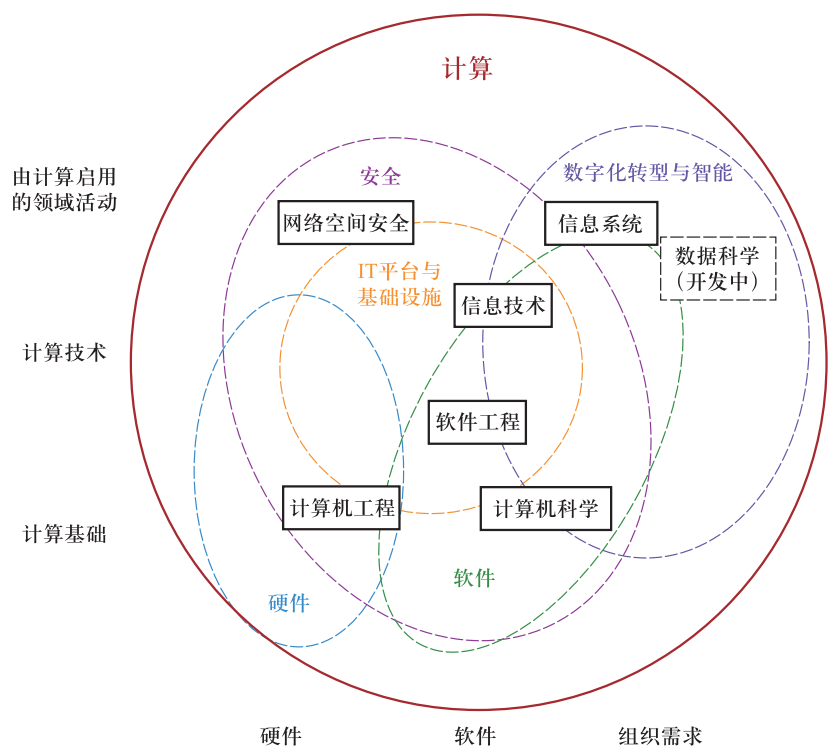


图 2.2 计算教育蓝图的当代视角

算领域的热门研究领域。尽管在撰写本文时还没有正式的专业认可的 AI 课程体系规范，但在未来几年内，这些领域的课程体系规范建议可能会出现。

近年来出现的课程体系领域包括云计算、智慧城市、可持续发展、并行计算、物联网和边缘计算。此外，预测的十大新兴计算趋势是(a)深度学习(DL)和机器学习(ML)、(b)数字货币、(c)区块链、(d)工业物联网、(e)机器人、(f)辅助交通、(g)辅助/增强现实和虚拟现实(AR/VR)、(h)隐私、安全和责任伦理、法律和政策、(i)加速器与 3D，以及(j)网络安全与人工智能 [Iee1]。所有这些领域都包含在现有的课程体系规范指南中，有些领域(例如网络安全)甚至有自己的正式指南。其他领域包括 3D 图形和加速器。人们只能猜测，在接下来的十几年里，这十大趋势是否仍然可行。第 8.1.1 节概述了一些当前和正在出现的技术趋势。

2.4.3 计算 +X

近年来，人们对扩展到非计算学科(如航空电子或金融)的计算专业培养方案(如

软件工程或信息系统)的发展越来越感兴趣。这被称为“计算+X”,其中“计算”代表一个计算学科,“X”是非计算学科。这种学习模式的目标是将非计算研究领域整合为计算领域的扩展。例如,如果X是语言学,那么CE+X代表计算机工程专业的语言学扩展。此类专业允许学生在其他学术领域追求他们对计算的兴趣。它还允许计算专业的学生追求灵活的专业学习计划,将计算学科的坚实基础与其他领域的技术或专业结合起来。

围绕计算+X的相对较近的举措并不是什么新鲜事。几十年来,计算专业培养方案为各种学科领域提供了学科方向轨迹、重点研究领域或辅修课程,以扩展学生对计算专业的知识基础。这些专业一直持续到今天。然而,人们对这一长期实践的程度在增加。因此,计算+X现象仍在继续,而X可能出现在天文学、化学、经济学、语言(languages)、语言学(linguistics)、音乐和其他计算扩展领域。计算+X允许学生发现计算和非计算领域之间的转换关系。此类学位通常包含术语“信息学”,如医疗信息学、卫生信息学、法律信息学、生物信息学或化学信息学。在许多方面,信息系统的计算领域是最初的“计算+X”学科,主要是将计算与商业相结合,以改变商业和其他企业的运作方式。

2.4.4 X+ 计算

计算无处不在,几乎涵盖了所有可以想到的领域。因此,在其他学科中对计算的研究也就自然而然地产生了。也就是说,计算成为一门既定研究学科的延伸。这种表示是“X+ 计算”,其中“X”是通常在科学、商业或人文学科中建立的非计算领域。例如,计算生物学专业培养方案将其根源于生物学的某个方面,并通过与之相关的计算研究加以增强。计算金融学是计算成为金融学延伸的另一个例子。考古学使用计算的许多方面来了解在哪里发现以及如何研究遗骸,这是另一个例子。

和以往一样,几十年来,非计算专业培养方案提供了各种学科领域的跟踪、集中或辅修课程,以扩展非计算专业学生的知识基础。“X+ 计算”实践一直持续到今天,其中“X”可能是主要的兴趣领域,如会计、生物学、艺术或其他计算扩展。“X+ 计算”允许非计算专业的学生发现他们的主要研究领域和计算之间的转换关系。因此,“X+ 计算”不同于“计算+X”,因为前者的基础领域是非计算学科(如化学),而后者的基础领域是计算学科(如计算机工程)。

无论是X+ 计算还是计算+X,这两个名称都反映了计算对其他非计算领域的广泛影响。毫不奇怪,在德语世界中,术语商业信息学(Wirtschaftsinformatik)被用于与

信息系统相关的全球一致的学位培养方案 [Hel1]。在所有扩展学位培养方案中,基本问题都是相同的:计算和计算思维如何改变那些在非计算领域 X 中工作的人实现目标的方式? 在实践中,这种思维模式需要三种能力:领域能力、计算能力和与计算领域提供的变革机会相关的综合能力。毕业后,毕业生可以从跨学科研究和终身学习中获益。

有许多类似的例子来表示计算的其他领域。例如,高性能计算(HPC)领域就是一个具有代表性的跨学科领域。在 HPC 领域工作的学生不仅需要计算领域知识,还需要领域相关的知识以及超级计算机系统维护知识。

2.4.5 其他三级计算模式

除了传统的三年或四年制学士学位专业培养方案模式外,全世界还有数以千计的学术机构提供非传统的计算教育专业培养方案。美国两年制大学就是一个例子。根据 ACM 教育政策委员会 2018 年的“点亮道路”报告,41% 的美国大专学生就读于社区学院,而这一数字在大多数少数族裔中略高 [Acm16]。目前,ACM 为信息技术 [Acm09] 和计算机科学 [Acm10] 的两年制专业培养方案提供课程指南建议。ACM CCECC 关于两年制网络安全专业的课程规范指南最近发布,并得到了 ACM 教育委员会的认可 [Acm17]。

计算教育已经成为传统大学和其他学术机构、其他教育提供者以及雇主的共同利益所在。尽管很难找到基于特定研究的具体数据,但从事与计算相关工作的人数远高于实际拥有计算学位的人数 [Nas2 p7]。最近美国国家科学院的一份报告 [Nas2 App.C] 提到,从其他研究领域转移来的人才,是填补计算机科学领域空缺的人才来源。然而,这份报告并没有讨论其他广义的与计算相关的工作角色。但有趣的且众所周知的是,许多具有其他领域教育背景的人(或那些没有完成高等教育的人)成功地担任与计算相关的职位(例如,IBM 的“新领”职位)。

拥有不同领域学术背景的人至少有五种常用途径,可以获得在计算相关领域表现良好所需的熟练程度。包括 [Dab1, Per3, Wag1]:

1. 没有任何正规教育来源的自学;
2. 使用免费或低价的大量在线计算教育资源进行自学,包括各种开放大学,Udemy、EdX、Coursera、Khan 研究院和 SkillShare 等供应商;
3. 程序设计训练营——通常为 8–12 周——只专注于为学生提供软件开发和相关技能,为学生提供即时就业机会;

4. 程序设计、软件工程或其他相关培养的专门学校——此类学校的例子有：巴黎 École 42、硅谷 42 和最近成立的赫尔辛基 Hive；这些机构的描述表明，它们与行业合作伙伴运作非常密切，并宣称自己在没有教师、没有课程和班级的情况下运作；

5. 计算专业文凭和硕士程度专业培养方案，为当前非计算学科毕业生提供转专业课程。

有许多种方法可以过渡到计算领域并取得成功。思科、CompTIA 和微软提供认证来实现这一目标 [Cis1, Com3, Mic1]。此外，一些大学提供通往研究生院的衔接途径，政府也提供安全认证以提高职业水平。

2.4.6 小学和中学教育中的计算

世界各地的计算教育界已经做了大量的工作，来提高小学和中学计算相关课程的可利用性和质量，并特别关注于提高选择计算作为职业的学生的多样性。在这一领域有影响力的行为者的例子如下。

1. 在美国，计算机科学原理是一门在高中开设的为期一年的课程，向学生介绍计算机科学的基本概念，并挑战他们探索计算和技术如何影响世界。这是一门严谨、引人入胜且易理解的课程，探索了计算的许多基本概念，因此所有学生都明白这些概念是如何改变我们生活的世界的。Code.org 是一家获批的大学先修课程 (AP) CS 原则提供者，也是 Hadi Partovi 创立的非营利组织，致力于“扩大学校对计算机科学的了解，增加女性和弱势少数群体的参与”。除其他活动外，code.org 组织了每年有数百万人参加的“程序设计一小时”活动，为小学和中学教育提供计算机科学课程图书馆，并主要在美国与政策制定者一起倡导计算机科学教育。此外，CSforAll 是全美“全民计算机科学”运动的中心，该运动致力于使所有从幼儿园到十二年级 (K-12) 的学生都能获得计算机科学素养，并将其作为其教育经验的一个组成部分。它目前拥有 355 个成员组织，包括内容提供商、教育协会、公司和非营利组织作为资助者 [CSf]。

2. 计算机科学教师协会 (CSTA) 是面向计算机科学领域的中小学教师的会员组织，在 145 个国家拥有超过 2.5 万名成员 [CSTA]。CSTA 的使命是“为全球 K-12 计算机科学教师赋权、参与和倡导”。ACM 于 2004 年成立了该组织。

3. 教师如何接受教育的重要性不容忽视。在欧洲，计算机 (即信息学) 通识教育的重要性已得到认可。数字素养、计算思维和其他与信息学相关的胜任力对大学预科生来说是很重要的，特别是因为它们能激发人们对计算真正是什么的兴趣和理解。参见 ACM 欧洲理事会，全民信息学 [ACM18]。

4. CSpathshala 是一个 ACM 印度教育倡议计划,旨在将现代计算机课程引入印度学校 [Csp1]。CSpathshala 于 2016 年推出了一项“不插电”课程,在印度,头八年中在不使用计算机的情况下讲授计算思维(CT)。超过 30 万名学生(主要来自印度农村公立学校)正在使用 CSpathshala 课程规范学习计算思维。印度政府最近发布的“2019 年国家教育政策”草案也承认 CT 是一项基本技能,并建议从 6 岁开始使用精心设计的工作表教授 CT。

5. 芬兰、新西兰、瑞典、英国和整个欧洲都有类似的倡议 [Cas2, Fra1, Ins1, Roy1]。中东地区的计算专业介绍见第 6.3.7 节。

2.4.7 计算专业门类

计算领域中存在许多专业门类领域。一个可以追溯到二十世纪 40 年代的领域是科学计算——它被认为是由算法和相关方法组成的,用于解决涉及连续数学问题的离散逼近。数值方法和计算科学是这一领域的其他名称,涉及解决问题的数学模型、系统优化方法,以及支持工程和科学问题的计算基础设施。

另一个领域是数字游戏设计和开发(DGDD),另一个是媒体的发展。仅在美国,目前就有 500 多个 DGDD 项目 [Are1],世界范围内还有更多。关于游戏和媒体的专业培养方案正在进行中。游戏和媒体行业开发的专门硬件和软件现在正在高等教育中使用。仅在美国,该行业的收入就达 434 亿美元 [The1, Deal1],从而使这一新兴领域成为全球性现象。

未来,世界应该期待看到在计算机科学和软件工程(软件),特别是在计算机工程(软硬件集成)的核心计算能力的发展上日益专业化。计算学位专业培养方案的类型数量也大幅增加,应该关注的是将计算专业培养方案转换为人类活动的特定领域(如信息系统和计算 +X),以及计算在现有领域或其他学科(如 X+ 计算)中的更大集成。世界还应见证更多的专业学位培养方案,广泛的主题在多个领域(如网络安全、数据分析、人工智能)产生广泛影响,以及持续的学位专业培养方案贡献,为专业人士提供专注于组织计算基础架构(如信息技术)角色做准备。

2.5 本章小结

本章考察了计算教育的持续发展。在本科培养方案背景下,计算可以指与计算机工程、计算机科学、网络安全、数据科学、信息系统、信息技术以及软件工程学位等学科报告

相对应的一系列研究领域,这些学科规范报告由 ACM 和 IEEE-CS 与 AIS 在最近几十年里合作开发。另一方面,计算环境的不断变化已使人们认识到信息安全和数据作为决策资源的重要性。在计算教育领域,存在着丰富的、不断拓宽的领域,包括计算 +X 和 X+ 计算学位的机会,以及计算专业培养方案的第三模式。在世界范围内,计算教育也已扩展到小学和中学。与此同时,诸如科学计算或数字游戏设计等专业领域也催生了新的学位专业培养方案,这一趋势将持续下去。

第3章

基于知识的计算教育

CC2020 报告的理念是将计算视为一门元学科——以计算为中心的学科集合。本章解释了基于知识学习的概念以及几十年来该概念如何贯穿于计算教育。本章回顾了 CC2005 报告,其内容主要基于知识体系而设计。此外,该报告还讨论了工作场所和就业动态如何影响基于知识的学习和相关问题。

3.1 基于知识的学习

本节讨论了基于知识的学习 (knowledge-based learning, 简称 KBL) 的一些基本观点。探讨了学习和知识的定义、以知识为基础学习的属性以及以知识为基础的学习和计算课程体系之间的关系。

3.1.1 学习和知识

在讨论基于知识的学习之前,很有必要先理解学习和知识的情境含义。学习 (learning) 一词指的是“通过教学 (instruction) 或钻研 (study) 获得的知识 (knowledge) 或技能 (skill)” [Mer3] 的努力过程,通常是在有利于学习活动的环境中进行的。反过来,知识一词指的是“对科学、艺术或技术的熟悉或理解” [Mer4]

知识和学习这两个词之间存在着密不可分的联系。前者指的是内容,而后者指的是活动。因此,人们通过学习的过程获得内容和技能。人类几乎从出生时就开始不断地获得 (学习) 内容 (知识)。在本报告中,内容获取指的是在课堂或在线环境等正式场合或结

构中的学习。

最近,内容知识一词开始使用,它是指教师在一个学科或内容领域中教授和学生应该学习的知识和信息体系。内容知识一般是指在特定的学术课程[Edg1]中教授和学习的事实、概念、理论和原则。这种知识形式发生在核心课程(core course)的学习、课程体系(curriculum)或学习标准(learning standard)中。

3.1.2 从知识中学习

一般来说,学习是建立在一个人已经拥有的知识基础上的。也就是说,一个人,即一个学生,要在现有知识的基础上建立新的知识。基于知识的学习(KBL)描述了这种学习活动的形式。更正式地说,“知识型学习是围绕着学生已经拥有的知识和通过工作要达到的理解而进行的学习。”[Tes1]

学生、教师和大众都经历过以知识为基础的学习。基础教育允许从一个年级上升到下一个年级,其依据是在前一年级获得的经过验证的知识。通常,通过测试、口头考试或书面考试、面试和其他工具来评估学生的知识内容来确认,这些工具有助于评估学生是否达到了既定级别的预期知识储备。在大学里,先修课程(course prerequisite)要确保学生拥有学习下一个课程级别所需的必要知识。

基于知识的学习已经存在了几千年。无论是正式的还是非正式的,基于知识的学习(KBL)都使用了在全球范围内提升人类知识的方法。教师向学习者传递信息,然后检查他们的学业水平。反思性学习者可以根据获得的新知识评估自己。教师指导学习者了解他们需要知道的内容,并检查他们是否学会了。使用这种方法并提供可靠的评价,教师可以帮助学生看到他们在哪里学到了知识或在哪里犯了错误。

基于知识的学习有很多好处。它建立在学习者现有知识的基础上;能帮助学习者看到他们是如何进步的,并帮助他们关注知识差距。有了明确的学习目标,学习者可以看到他们现有的知识将如何帮助自己完成任务[Dso1]。使用基于知识的技巧可以使学习者识别需要加强提高的地方。通过建立在一个人已经拥有的知识基础上,基于知识的学习向学习者展示了他们拥有完成任务所需的知识,从而提升了学习者的信心[Icd1]。

3.1.3 知识与计算教育

对于计算和其他学科来说,知识一直是学习研究领域的重点。计算课程体系通常通过知识领域(KAs)、知识单元(KUs)和学习成效(LOs)来描述一门学科。有时,人们将这种结构称为“知识领域、知识单元、学习成效”(KA-KU-LO)模型,其中包含与每个知识

单元相关的主题列表。这些课程体系报告通常不提供与技能相关的指导,也不提供与工作场合行为相关特别是职场绩效行为相关的指导。

这些内容反映了 KBL 的概念,KBL 传统上被视为一种学习形式,包括学生学到的和已经拥有的知识,以及他们将通过工作实现的理解[Cla1]。也就是说,教师通过经验、笔记、教科书或其他方式将知识传授给学生;学生会因为获得了知识而期望获得相应的成就,并努力展示这种成就。几乎世界上所有的大学都通过基于知识的学习方式来培养学生。

然而,传统的以知识为基础的学习模式本身可能不足以应对未来教育的所有挑战。现在技术影响着新的学习方式。学生使用许多非传统的学习形式,从而挑战传统的方法。此外,大学培养的计算专业毕业生可能在智力上很聪明,但在工作场合却会遇到困难。计算教育中的学习需要将知识与其他属性结合起来。

3.2 重温 2005 计算课程体系

CC2005 报告向读者概述了 2000 年代初可用的五个本科计算学位方向。当时有五个方向的计算课程体系报告,包括计算机工程(CE2004)、计算机科学(CS2001)、信息系统(IS2002)、信息技术(一项当时还未完成的工作,后来作为 IT2008 出版)和软件工程(SE2004)。这些计算领域相互关联,但彼此相当不同。

CC2005 报告解释了各种计算类本科学位方向的特点,并帮助人们确定哪些方向最适合自己的目标和情况。该报告的受益者包括来自行业和政府的招聘人员、学生和潜在学生、正在为计算相关专业制定培养计划和教学体系的各大学教职员工和管理人员。此外,受益者包括那些对计算专业认证感兴趣的人,以及公共教育中的管理方,包括教育委员会、政府官员、当选代表和其他寻求代表公共利益的人。

3.2.1 CC2005 的意图

在 21 世纪初,很难确定不同类型的计算学位培养方向的可靠信息。因此,我们只关注五个重要的计算领域(CE、CS、IS、IT、SE)。这些计算领域课程体系符合委员会的标准,即具有适当的包容性和足够区分度的本科课程体系指南。这五个计算领域能够代表大多数专攻或主修计算科目的本科培养方向。尽管如此,当时委员会就预计将会有新的计算学科产生,从而需要在现有报告上体现可扩充性。未来版本的候选项目可能包括尚未存在的新领域或没有普遍受认可的课程体系指南的既定领域。最终,CC2005 报告中

反映的五个学科特定课程类别中的每一个都代表了相关专业、科学和教育协会的最佳判断,并作为这五个计算学位课程体系的定义。

CC2005 委员会没有试图更新现有课程体系报告的内容,因为这超出了委员会的使命和权限。相反,委员会审查了五个学科方向,将其内容相互比较,并综合了他们认为重要的描述性和比较性信息。除了使用五个学科课程体系报告作为 CC2005 报告的基础之外,委员会还在必要时参考了计算专业组织和其他支持信息。委员会没有关注其他类型的本科计算学位专业(如副学士或类似培养项目)、计算研究生教育、计算研究团体或非传统的计算教育,如厂商特定的认证项目。此外,CC2005 委员会意识到计算本身将继续发展,新的计算相关领域可能会出现。

3.2.2 CC2005 的内容

CC2005 报告中最重要部分是对五个计算学科(CE、CS、IS、IT 和 SE)的明确阐述。除了讨论 21 世纪初的计算前景,该报告还定义了“计算”的含义,并提供了 1990 年代之前、1990 年代和 1990 年之后计算的演变简史,如图 2.1 所示。然后逐个描述(并定义)了五个计算学科,以及这五个学科问题空间的可视化图示(graphical visual)。关于这些图示的讨论将在本章 3.2.4 小节进行。

CC2005 中一个很有用的部分是讨论对各学科方向毕业生的期望。讨论围绕两个主题展开。一个主题是课程摘要用于对各学位课程进行对比,采用表格来显示知识点在各学科方向中的使用建议(0-5 分)。另一个主题侧重于预期的学位成果,用各学位的预期毕业生工作能力来进行比较。这两个主题的表格都呈现了有益于对比五个计算学科人才培养成果的有用元素。

CC2005 报告还承认了学术界的快速变化,以及计算可能如何影响所提供的学位,特别是这五个重点学位领域:计算机工程、计算机科学、信息系统、信息技术和软件工程。变化的速度特别反映了工作场所发生的持续变化。由于这种变化,计算学位专业应该做出应变。

此外,CC2005 报告讨论了制度方面的考虑,如学位专业的演变和监测课程组合的策略。它探讨了多样性挑战、教师发展、适应性以及组织和课程体系的结构。考虑到市场力量和学术完整性对课程体系的影响,该报告还讨论了在美国和英国现行的品质保证(quality assurance)和专业认证(program accreditation)的方方面面。不管使用什么指标,所有人都同意人才培养项目的质量对所有计算学科都至关重要。

3.2.3 对照表

CC2005 提供了五种计算学位课程体系对计算主题重视程度的比较视图。在第一栏中,对照表提供了本科阶段计算学科中研究主题的摘要。其余各栏显示了五种计算学位专业中每个主题的数值。这些数值在 0(最低)和 5(最高)之间,代表了每种类型的计算学位专业可能对每个给定主题的预期相对重视程度。

除了这个对照表之外,CC2005 报告还提供了一个表格,显示了按学科划分的计算毕业生的相对工作能力[Acm02 p28,Tab3.3]。该表侧重于结果,它总结了计算毕业生的相对工作能力期望。表 3.1 为该表的摘录。

表 3.1 计算专业毕业生概况(示例来自[Acm02,28 Tab3.3])

领域	绩效能力	CE	CS	IS	IT	SE
算法	验证理论结果	3	5	1	0	3
	对程序设计问题能给出解决方案	3	5	1	1	3
	能开发出概念验证性程序	3	5	3	1	3
	判断是否能开发出更快的解决方案	3	5	1	1	3
应用型项目	开发一个文本处理器的程序	3	4	1	0	4
	能很好使用文本处理器的功能	3	3	5	5	3
	培训及支持文本处理器的用户	2	2	4	5	2
	开发电子表格程序(比如,Excel)	3	4	1	0	4
	能很好使用电子表格程序的功能	2	2	5	5	3
	培训及支持电子表格程序的用户	2	2	4	5	2
计算机程序设计	进行小型程序设计	5	5	3	3	5
	进行大型程序设计	3	4	2	2	5
	进行系统程序设计	4	4	1	1	4
	开发新软件系统	3	4	3	1	5
	创建安全攸关系统	4	3	0	0	5
	管理安全攸关项目	3	2	0	0	5
硬件及设备	设计嵌入式系统	5	1	0	0	1
	实现嵌入式系统	5	2	1	1	3
	设计计算机外围设备	5	1	0	0	1
	设计计算机传感系统	5	1	0	0	1

3.2.4 课程体系的可视化

CC2005 报告的一个亮点是描绘了五个计算学科的二维可视化图表。这些图表展示了计算学科之间的共性和差异。不同维度突出了计算学科关注理论与实践的相对程度,也突出了计算学科关注硬件与人的程度。如图 3.1 所示,它们建议了每个学科应该处在计算问题空间框架的位置。图表解释的重点是每个学科的学生毕业后通常从事什么工作,而不是学生可能学习的所有主题。有些人的职业角色超出了这些简介里所描述的情景。

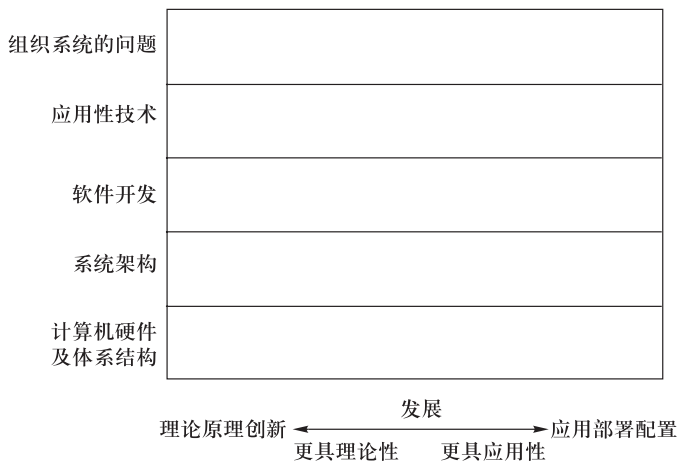


图 3.1 问题空间框架 (CC2005)

横轴显示了从左边的理论、原则和创新,到右边的应用、部署、配置。因此,喜欢发明新事物的想法或喜欢在大学环境中发展新理论的人,会希望在左边区域中的学科工作。相反,想要帮助人们选择和使用合适的技术或想要整合现成产品来解决组织问题的人,会想要站在右边区域的学科领域。因为有许多种工作任务介于两个极端之间,人们不应该只看最左边和最右边,而应该考虑两个极端之间的可能性。

纵轴从底部的计算机硬件和架构,到顶部的组织问题和信息系统,当我们沿着纵轴向上走时,焦点从底部的电线、硬件、芯片和电路转移到顶部的人、信息和组织问题。因此,喜欢设计电路或对计算机内部工作好奇的人会关心图表的下方区域;想看看技术如何为人们工作或对技术如何影响组织感到好奇的人会关心上面区域。我们可以一起考虑横向和纵向维度。关心让事情为人们服务并且对设备比组织更感兴趣的人

会对右下角感兴趣,而想发展关于信息如何影响组织的新理论的人会对图表的左上角感兴趣。

图 3.2 提供了课程体系插图,勾勒了五个计算学科各自占据的概念领域。这些是用于传递 CC2005 工作组对各个学科的主观解释的非正式插图。它们没有任何精确的定量基础。此外,它们只显示了计算兴趣或主题。计算机工程占据了广泛的底部领域,因为计算机工程涵盖了从理论、原理到使用硬件、软件设计和实现产品的实际应用的范围。计算机科学涵盖了最顶部和最底部之间的大部分垂直区域,因为计算机科学通常涉及操作系统和网络浏览器等理论和软件开发。信息系统占据了大多数最上方的阴影区域,因为它涉及计算系统与其服务的组织之间的关系,并经常根据企业的需求定制应用技术。信息技术覆盖了右上角边缘的阴影区域,因为它关注组织和人员在广泛范围内的应用、部署和配置需求。软件工程横跨图表中间的整个水平维度,因为这一主题涵盖了软件系统开发方面的大规模软件应用。图 3.2 中的图片在计算教育界广受好评。它们出现在许多情景中,如附录 A 中的海报。

3.2.5 全球和其他考虑

CC2005 报告和相关的五类计算课程体系在一定程度上受益于国际投入。尽管如此,CC2005 工作组非常清楚在这一工作中没有包含更多的来自全球的贡献。工作组认识到,未来的努力必须大幅扩大国际参与。一些全球性差异包括学年结构、对学位专业中计算研究的重视以及质量控制机制,如对认证的不同期望和做法。此外,在确定学位专业重点的方法和术语等方面也存在差异。

CC2005 报告也讨论了其他对全球计算社区有帮助的问题。CC2005 工作组认识到计算领域正在不断发展,因此,它为学术界如何跟上变革步伐提供了建议。它还认识到工作场所存在的变革步伐,计算学位专业的毕业生应该有能力抓住自己的职业机遇。此外,CC2005 报告讨论了制度因素,并敦促各机构关注计算学位专业的发展,启动战略性变革管理的方法,并通过教师适应和发展以及组织和课程结构来处理多样性问题。

CC2005 报告作为当时区分计算学位专业的文件获得了普遍认可。教育工作者、学生 and 行业专业人士熟悉图 3.2 中的插图和附录 A 中的海报。总的来说,CC2005 项目对学生、行业和计算学术界做出了积极贡献。

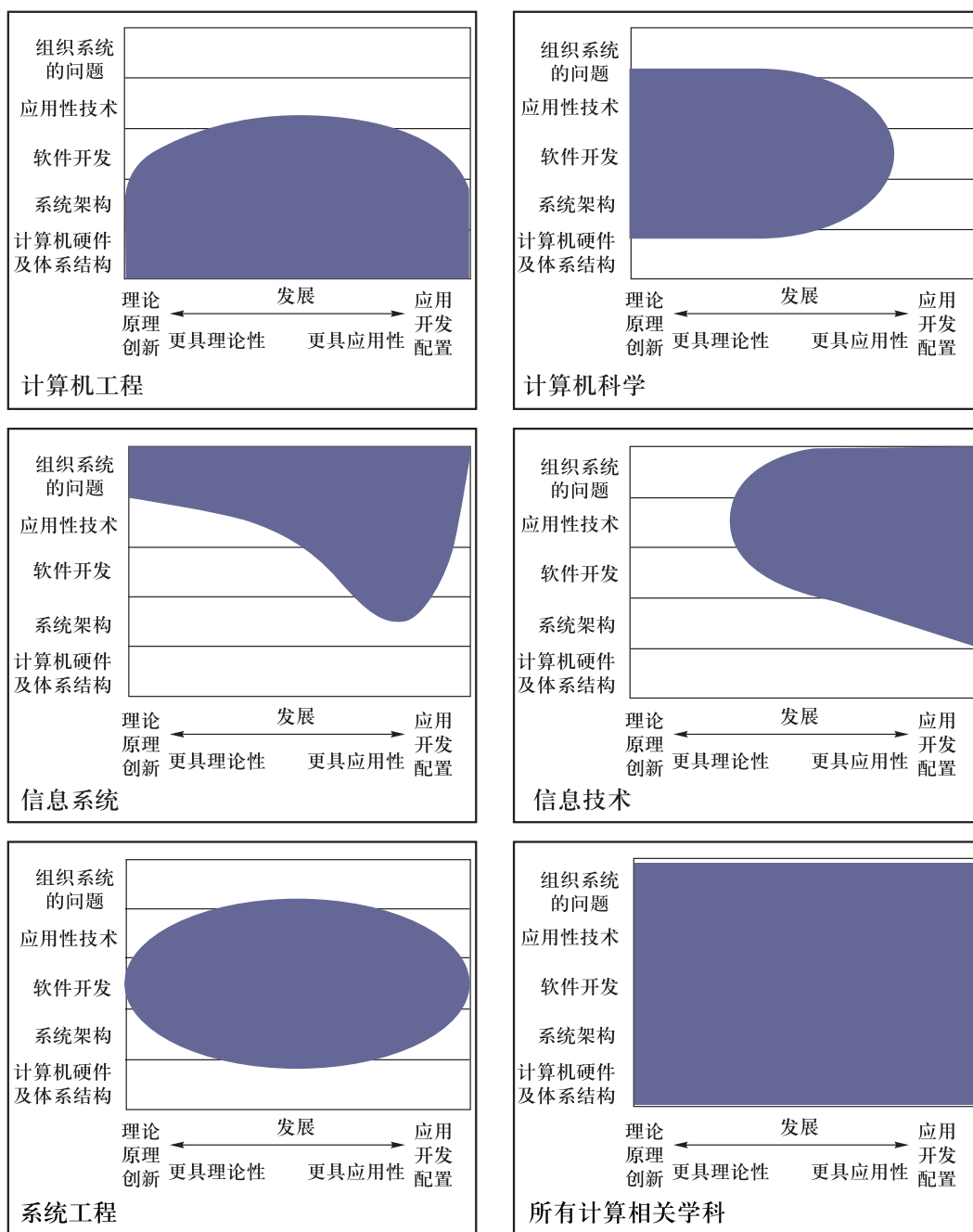


图 3.2 CC2005 的可视化图示

3.3 以知识为基础观点的局限性

CC2005 反映了以知识为基础的计算教育观点。这种观点使人们可以根据所知的知识类型对专业知识体系进行系统性的概念化,如图 3.2 所示。这种观点有助于建立不同专业的课程结构,也反映了传统的教育模式。同时,它也反映了在一系列课程中教授的主题,虽然人们在课程中学到的技能在很大程度上取决于课程设计的不同。就所学技能而言,两种截然不同的课程都可以同时满足相同的以知识为基础的课程要求。

3.3.1 技能差距

上述差异是大多数学科基于传统教育的普遍结果。然而,对于需要特殊技能的工作,即使是在基于知识体系课程下毕业的计算机毕业生,也可能不具备这些相关技能。这不可避免地将培训的责任交给了产业界,以满足企业对劳动力的要求。然而,随着计算领域快速迭代变化,产业往往不再愿意培训新的计算机专业毕业生。一些行业和公司期望在雇佣后几乎立即有业绩(和利润)。会寻求计算相关职业的人只有具备了相关技能和适当的品行,才会有更大的成功潜力。

目前计算行业仍有大量工作岗位需求,而且这一趋势预计在近期内继续下去。例如,在美国,劳工统计局(BLS)最近的一项研究估计:到 2024 年,美国计算相关就业将增加 12% [Bls1],其中信息安全以 36.5% [Bls2]增长居首。2014—2024 年,信息安全分析师职业的就业增长率预计为 18%。其他计算职业的预计增长更大:应用软件开发人员(所有行业 19%,计算机行业 31%)、计算机系统分析师(所有行业 21%,计算机行业 33%)和网络开发人员(所有行业 27%,计算机行业 39%)。具体数据见图 3.3 展示。

因此,仍有大量的工作可供选择,但并不是每个毕业生都拥有成功所需要的技能和品行。当今大学毕业生的技能与雇主期望的技能之间的差距通常被称为**技能差距**。世界不同地区中也存在计算行业的技能差距,差距的具体程度需要对劳动力和经济数据进行分析,这超出了本报告的范围。有趣的是,PSI Services(译者注:一家提供测评服务、技术和人才管理解决方案的国际公司)公司最近的一项调查发现,美国存在以下情况 [Psi1]。

- 80% 的美国人同意接受技能差距的存在,35% 的人认为这会影响他们个人。
- 根据纽约联邦储备银行的数据,截至 2018 年 3 月,42.5% 的应届毕业生还在寻找工作。

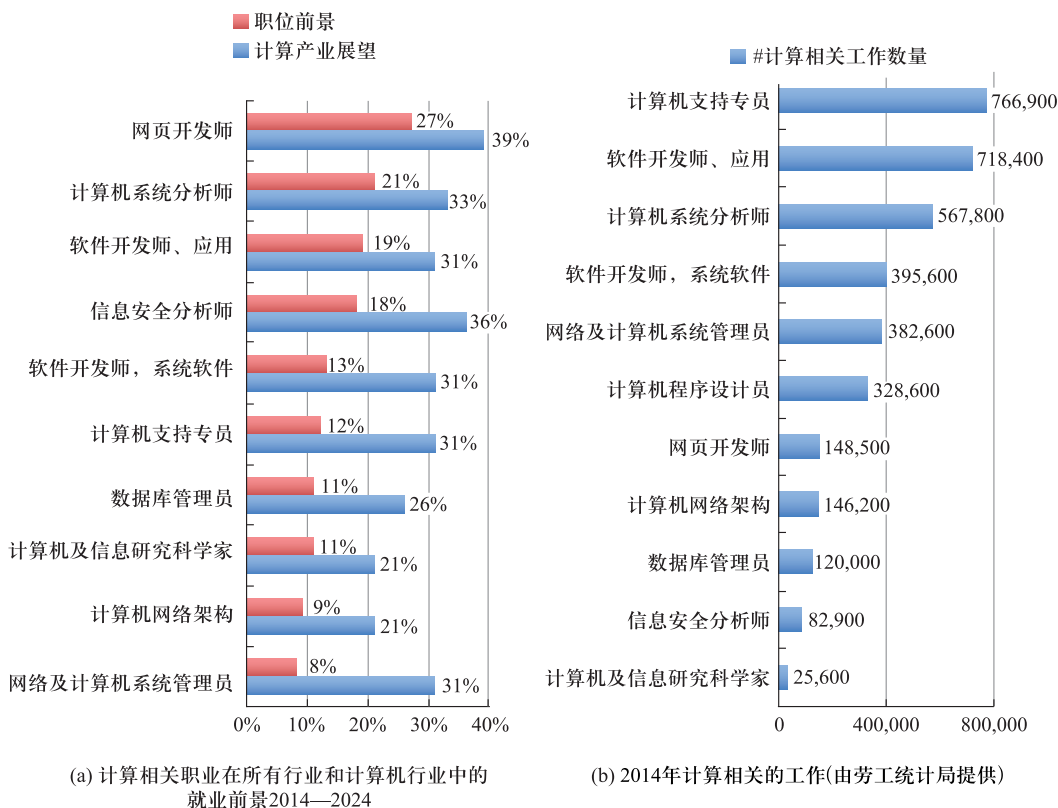


图 3.3 计算行业就业趋势

- 根据经济研究中心的研究人员的计算：每年由于技能差距引起的美国公司成本约 1 600 亿美元。
- 60% 的美国雇主提供的职位空缺持续 12 周或更长时间。职位空缺的平均成本每年至少 80 万美元。
- 81% 的雇主表示，未来的员工缺乏批判性思维和分析推理技能。75% 的人认为毕业生缺乏足够的创新和多样性技能。

大学计算专业毕业的学生可能会认为，学士学位是获得职位的基本资格，那些拥有学士学位的人们很容易在计算领域就业。目前对计算专业人员的高需求也强化了这一想法。然而，至少在当今世界的一些地方，大学毕业生普遍存在的技能差距是真实存在的。随着计算毕业生的供应大大落后于对计算毕业生的需求，这种技能差距只会进一步加剧已经严重的人才短缺。

类似的技能差距分析可以在世界其他地方进行[Iee2]。我们鼓励读者调查自己的情况。

3.3.2 非学位认证

为了应对技能挑战,行业市场的力量催生了非学位认证,这些认证对学术机构产生了一些影响。其中一些认证甚至已经成为一些大学计算课程体系的一部分,例如在学校的网络课程中获得网络认证。完成认证考试的个人可以使用这些证书向潜在雇主补充其学术教育的价值。潜在员工可以使用认证来证明他们的工作准备状态和对课外活动的追求,向潜在雇主展示信息技术技能。表 3.3 列出了 CRN 媒体渠道[Nov1]编制的 2017 年一些领先的计算相关认证。CC2020 公共网站将显示全球范围内更具包容性的认证集合。

表 3.3 通用计算认证

入门级网络和安全 (CompTIA, Cisco)	项目管理(项目管理学院, Axelos)
专业网络、路由和交换(思科、思杰)	安全 (ISC2)
虚拟化和网络 (Citrix VMWare)	安全管理 (ISC2)
Windows 服务器和基础设施(微软)	云计算(亚马逊)
IT 服务管理 (Axelos)	风险管理 (ISACA)
	IT 审计 (ISACA)

3.3.3 技能框架

非学位认证是弥补计算技能差距的一种尝试。行业界也利用了技能框架。附录 B 提供了一些关于计算行业的技能摘要,如 SFIA、e-CF 和 iCD 框架。这些技能框架是与专业协会协商开发的,被用作招聘过程考察的一部分,以表达对特定类型工作的期望 [Sfi1]。

企业可以利用技能框架来定义其招聘需求,将学位和技能认证的组合作为凭证区分合适的工作候选人。学士学位计算教育的问题是:有没有一种方法可以重新定义课程体系,以便更真实的匹配行业需求? 行业和学术界需要利用同一种语言来定义结果和期望。对于学术界来说,对技能的思考是朝着正确方向迈出的一步。第 4 章将提供一个更完整的答案。

3.4 本章小结

本章讨论了基于知识的学习相关的概念,这些概念一直是传统计算教育的重点。CC2005 报告主要是对其制定时存在的五个计算学科报告进行阐述。它提供了这些学科的可视化比较,并反映了一种有助于建立不同课程体系的教育模式。学生在这些课程中学习到的技能依赖于不同课程体系的设计。然而,正如最近的就业报告所指出的,传统的计算教育模式可能导致计算毕业生不具备从事计算职业所需的技能和特质。

第4章

基于胜任力的计算教育

正如第3章所讨论的那样,虽然早期定义计算课程体系模型的工作是以知识为基础的,但最近的研究一直在向基于胜任力的计算教育观点转变。这一趋势是定义课程体系标准的另一种重要支点,这些标准将不仅仅是简单的知识交流。在行业、职业和社会的更大背景下,以胜任力为中心的课程体系着重于描述个人在为社会提供实用和专业服务中执行和应用其计算教育的能力。

定义计算课程体系的连贯胜任力模型应该向其目标人群:学生、捐助者、教师、管理人员、雇主、认证机构、立法者和社会清楚地描述项目的实际利益。在实践背景下描述计算胜任力将课程体系重点从描述与学科领域相关的知识转移到学生的实际成就和表现上。对毕业生在实际情况下能做什么的描述取代了对内容学习和记忆的描述。胜任力更有效地描述了结果预期。它向教育工作者提出了挑战,要求他们培养更熟练的计算专业人员,并使社会能在胜任力框架内认识到计算教育的目的和好处。

4.1 胜任力和基于胜任力的学习

胜任力不是一个新的概念。这一概念可以追溯到几个世纪甚至几千年前。吉萨金字塔或罗马斗兽场就是个例子,它是当时有胜任力的专业人士设计建造的。一般词典将胜任力定义为“具有足够知识、判断力、技能或力量的表现或状态”[Mer1]值得注意的是,这个词的使用总是发生在一定背景下:在法律上有胜任力并不意味着在医学上有胜任力。

4.1.1 胜任力及其意义

《哈佛大学胜任力词典》[Har2]通过以下定义和解释描述了什么是有用的胜任力。

胜任力(Competency),用最通俗的话来说,就是一个人在工作、角色、职能、任务或职责中必须表现出的有效的“事物”(things)。这些“事物”包括与工作相关的行为(一个人说什么或做什么会导致良好或不良的表现)、动机(一个人对工作、组织或地理位置的感受)和技术知识/技能(一个人对事实、技术、职业、流程、工作、组织等的了解/展示)。胜任力是通过对工作和角色的研究来确定的。

因此,胜任力与工作相关的行为和表现密切相关。它是一个以人为本的概念,需要展示人类行为以及技术技能和知识。

CC2020项目将胜任力作为其活动的一个基本主题,并作为CC2020报告的一个主要组成部分。工作组成员认为,计算领域的每一条职业道路,无论是工业、学术、政府还是任何其他职业,都建立在胜任的基础上。报告指出,知识只是胜任力概念的一个组成部分。虽然计算领域工作胜任力的定义可能会发生变化,但采用胜任力的概念作为学术专业设计的基础思想,可以使教育产品和工作场所的专业实践需求更加一致。因此,胜任力应该成为衡量计算教育学习目标和 workplaces 胜任任务的基础。这种方法确保所有计算专业的毕业生都做好准备,能够有效地在特定的职业道路上发挥作用。

4.1.2 计算领域胜任力的前期工作

2017年,欧洲信息学教育质量保证网络(EQANIE)认证委员会协同成员以及其他目标人群[Eqa1]协商,公布了商业信息学或信息系统或相关专业认证的新的专业培养成效。EQANIE将专业培养成效描述为“课程认证体系从知识、技能和胜任力几方面作为毕业生从事相关职业或研究学习的质量标准”。欧盟委员会的数字胜任力框架2.0(DigComp 2.0)确定了数字胜任力在5个方面的关键组成部分,可以概括为(1)信息和数据素养(Information and data literacy), (2)沟通和协作, (3)数字内容创建, (4)安全和(5)解决问题[Eco1]。

IT2017项目是ACM/IEEE学士学位课程项目中第一个将胜任力概念作为课程体系主要特征的项目。IT2017报告[Acm07]的到来,预示着从知识领域(KAs)、知识单元(KUs)和学习成效(LOs)思维的转变,并将重点转向工作表现。该报告指出,“胜任力

是指与职业或许可组织成员资格相关的绩效标准”,并且“评估某种水平的绩效经常被用作衡量胜任力的标准,这意味着衡量一个人工作胜任力的各个方面。”不同于 IT2017, MSIS2016 报告[Acm11]介绍了硕士水平的胜任力,指出“胜任力代表了认知和元认知技能、知识和理解的展示、人际交往、智力和实践技能以及道德价值观的动态组合。”**软件工程胜任力模型**[Iee3]将胜任力定义为“在规定的水平上进行工作活动的能力证明”。这三份出版物表明,胜任力是在计算领域中知识、技能以及人类行为的结合。

信息技术

《信息技术课程体系规范》(IT2017)采用了基于胜任力的学习,而不是知识领域(KAs)、知识单元(KUs)和学习成效(LOs)模型,主要是因为几乎所有信息技术学位的毕业生都进入了行业和工作场所。该报告采用了与工作场所绩效相关的胜任力这一术语,即毕业生应该为工作带来什么。

在教育领域,职业准备的成功通常要求学生发展三个方面的品质:知识、技能和品行,因此**胜任力**必须将这三个要素或维度联系起来。IT2017 报告简单地描述了这一概念:

$$\text{胜任力} = \text{知识} + \text{技能} + \text{品行} \cdots (\text{在某背景下})$$

这些相互关联的维度具有以下含义。知识是指对核心概念和内容的认识和理解。教师在设计教学大纲时,院系在制定课程体系时,认证组织在制定认证标准时,都会关注知识的层面。这是“知道是什么(know-what)”的维度。技能是指通过有意识的练习和与他人互动而逐渐形成的能力和策略。技能还要求参与更高层次的认知活动,例如程序设计。这是“知道怎么做(know-how)”维度。品行包括社交技能、行为和态度,这些特征表征了执行任务的意愿以及知道何时以及如何进行这些任务的敏感性[Per1]。对学术界而言,这种“知道为什么(know-why)”维度是最具挑战性的,因为一些计算机系的教师在教育环境中可能会忽略品行。

教育界普遍认为,职业准备的成功需要学位专业的学生发展一系列通常按照这三个维度组织的品质。IT2017 报告还讨论了学习方法。它没有采用内容驱动的模式,即使用可细分为领域、单元和主题的学科知识体系来构建课程体系的指导方针,以追踪快速变化的计算领域的最新发展。相反,它提议使用“用设计思维来理解(understanding by design)”的方法将基于内容的课程体系模式转变为基于胜任力的课程体系框架。在这里,

学习迁移是多方面的,融合了技能和品行。品行与元认知意识有关,例如,负责任、适应性强、灵活、自我导向和自我激励,以及自信、正直和自我控制的。它们还包括如何与他人合作以实现共同的目标或解决方案。

信息系统

MSIS2016 课程模型没有像以前的 MSIS2006 报告那样指定一套知识体系或一套课程,而是确定了一套毕业生该具备的胜任力体系。在这里,术语“胜任力”指的是毕业生为成功完成特定任务运用知识、技能、态度的能力。该报告使用了更正式的胜任力定义,如前一节所述[Loc1 p21]。

胜任力代表认知和元认知技能、知识和理解的展示、人际交往、智力和实践技能以及道德价值观的动态组合。

在这种情况下,胜任力是一个综合的概念,它汇集了毕业生水平的知识、技能和态度。

该报告还规定了四种不同的类别成就水平:知道(awareness)、新手(novice)、支持(角色)(Supporting Role)和独立贡献者(independent contributor)。**知道**意味着毕业生知道胜任力类别的存在,并意识到它对实践领域很重要的原因。**新手**水平规定,毕业生可以就与胜任力相关的事项进行有效沟通,在监督下执行活动,并发展与胜任力相关的在职经验。**支持(角色)**级别表示毕业生已经达到一定的知识和技能水平,能够以支持性的角色与达到更高能力水平的同事进行有效合作,以产生预期的结果。最后,**独立贡献者**级别是指毕业生已经达到一定的知识和技能水平,可以在没有持续支持/监督的情况下完成达成预期结果所需的任务。更高水平的胜任力确实存在,即专家级的能力。

MSIS2016 课程模型建议,不同的专业培养方案不应该期望让学生在所有胜任力类别中获得相同水平的胜任力。不同的职业有不同的需求,某个培养方案希望其毕业生达到的专业水平可能会有所不同。也就是说,各培养单位应该决定其毕业生应该达到胜任力类别的水平。

软件工程胜任力模型

软件工程胜任力模型(SWECOM)[Iee3]描述了参与软件密集型系统开发和变更的软件工程师的能力。该模型规定了技能领域、技能领域内的技能以及每个技能的工作内容。工作内容发生在 5 个熟练度不断提高的层次上。

SWECOM 建议胜任力是知识、技能和能力的结合。一个有胜任力的人有知识和能力来完成特定能力水平的工作活动(即技能)。胜任力模型包括认知属性、行为属性和技术技能。一些认知技能包括推理、分析、解决问题和创新技能。行为属性包括能力、热情、值得信赖、文化敏感性以及沟通、团队合作和领导技能。该模型还指定了生命周期技能领域、交叉技能(如质量、安全、安保)和相关活动。它还将胜任力水平定义为技术员(能够遵循指示)、初级从业人员(能够在一些监督下协助执行活动)、从业人员(能够在很少或没有监督的情况下执行活动)、技术领导者(能够领导和指导参与者)和高级软件工程师(能够创建新流程和修改现有流程)。

SWECOM 的理念与 IT2017 和 MSIS2016 的胜任力理念非常相似。知识和技术(计算)技能与品行或能力相对应的行为属性整合在一起。胜任力是该模型的核心,它提供了前瞻的视角,并有望在计算教育中产生卓越的效果。

4.1.3 CC2020 胜任力的起源和发展探索

如上所述,对 CC2020 的兴趣不仅在于确定过去几年中向基于胜任力模型课程体系的发展,而且在于提出一种合理而清晰的描述胜任力方法,以期这些方法对于将来的课程体系建设工作有帮助。本章讨论前者。为了追求后者,CC2020 工作组在 2017—2018 年组织来自不同计算学科的专家分组,初步探索了创建胜任力描述。他们的初步工作创建了与“胜任力 = 知识 + 技能 + 品行”的定义相一致的胜任力表述。附录 C 介绍了一套由这一早期努力和其他工作产生的计算机工程、计算机科学、信息系统、信息技术和软件工程胜任力的初步草案。这些从 2018 年开始的初步探索激发了更详细的胜任力表达,将在下一节中介绍。

4.2 胜任力模型

CC2020 工作组制定了胜任力的定义并制定了学士学位计算教育主题事项的模板。这一定义是根据 IT2017 报告、MSIS2016 报告、SWECOM 报告中提及的不同教育框架以及第 4.1.3 节中提到的在 CC2020 范围内发展胜任力的初步工作成果演变而来的。

本报告中的 CC2020 工作可以用于为课程体系规范编写提供与胜任力要求一致的、可扩展的模型。人们也可以将其用于课程体系的自动可视化和比较。然而,这份 CC2020 报告只提供了一个创建胜任力的框架。它没有创建新的胜任力,因为它们可能因用途、任务或背景而有很大差异。也就是说,CC2020 报告为读者提供了一个胜任力框

架,它允许每个培养机构或课程体系群(program unit or curricular group)根据自己的目的和兴趣开发自己的一套胜任力模型。

4.2.1 CC2020 胜任力模型

CC2020 阐述了胜任力作为实用教育目标的概念[Wag5, Fre5, Tak1, Top5],该概念完善了 IT2017 报告中推广的知识 - 技能 - 品行(K-S-D)框架。虽然计算的知识维度在各种计算课程体系中得到了广泛探索,但技能和品行的含义却没有得到足够的关注。CC2020 报告扩展了以前的工作,将胜任力指定为由任务执行中观察到的 K-S-D 维度组成。

$$\text{胜任力} = \text{任务中的}[\text{知识} + \text{技能} + \text{品行}]$$

胜任力规范列举了在完成一项任务时可以观察到的知识、技能和品行,这项任务规定了工作环境中的目标[Wag5]。图 4.1 说明了胜任力的概念结构。

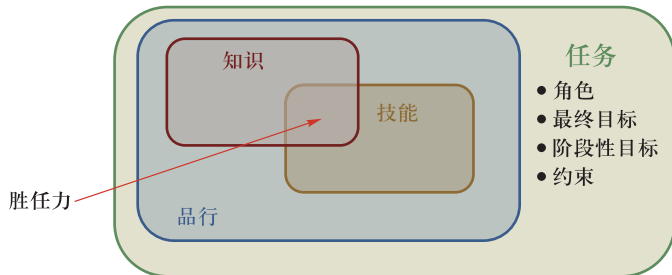


图 4.1 CC2020 胜任力模型的概念结构

4.2.2 组件定义

这里定义了构成胜任力规范的四个组成部分(知识、技能、品行和任务)。

1. 知识

知识是作为事实理解的胜任力的“知道是什么(know-what)”维度。这个维度反映了教师在大纲中作为主题的列举,院系在他们开发学位专业的课程中的分配和平衡,认证组织在他们的认证标准中的规定,雇主在其员工的职位描述中的确认。知识的某个元素对应着一个对胜任力至关重要的核心概念。然而,一个概念是静态的且有惰性的;

它必须在一定程度的专业知识作用下才能成为一种行为。

2. 技能

技能介绍了运用知识主动完成任务的能力。因此,技能表达了一种能够熟练定义胜任力的“知道怎么做(know-how)”维度的知识要素。技能需要时间和实践来发展。因此,技能发展通常需要参与到更高阶的认知过程的渐进式层次结构中。CC2020 对胜任力的定义采用了布鲁姆的认知过程水平[Acm16]来详细说明成功完成任务所需的技能程度。

人们经常通过观察工作的过程或质量来间接评估胜任力的技能层面。由“知道是什么(know-what)”激活的“知道怎么做(know-how)”将知识和技能层面融合在一起。因此,胜任力规范中任何知识元素的有用性只有在应用于技能层面时才能得到理解,即被解释成或被视作布鲁姆认知过程(Bloom' cognitive process)的一个层次。因此,每个知识元素和必要的技能水平在胜任力说明中必然是自然对应的。

3. 品行

品行决定了胜任力的“知道为什么(know-why)”维度,并规定了任务执行中的性情特征。品行调节应用“知道是什么”的行为,使之成为“知道怎么做”。品行如何调节知识和技能可以被认为是预测因素和标准之间关系的解释[Bar1],因为品行将知识和技能的“更好”或“正确”应用与情景和原因联系起来。

品行是一种习惯性倾向,即社会情感倾向、偏好和态度(如可信赖性)。品行控制着个人是否以及如何使用他/她的技能。品行可以表示指导应用知识的价值观和动机,同时指定表明专业表现标准的知识质量。

4. 任务

任务是让知识熟练应用并使品行具体化的一种架构。以口语、平实形式表述的任务提供了得以展现品行环境,个人可以调整自己的选择、行动和努力,以高效和有效的方式追求并达到成功。从这个意义上说,任务包含了胜任力有目的的背景,揭示了知识、技能和品行的一体性。为此,任务定义规定了务实的参与行为,反映了与某一培养计划毕业生特定目标相关的专业实践。因此,任务描述为该计划提供了一个明确的背景,以便开展相应的教学法,使毕业生能够展现出作为计算专业人员的胜任力。

4.2.3 胜任力表述

一个有效的胜任力说明是一个口语化的通俗易懂的综合体,它规定了一项任务,以及成功完成该任务所必需的 K、S 和 D (knowledge, skills and dispositions) 要素的组成结构。本质上,胜任力规范表达了一个知识模型,这个知识模型熟练并专业地应用于一些任务执行。

与胜任力规范相对应的胜任力描述是一种自由形式的口语表达,简明扼要地表达了通过学习过程获得的相关能力和目标,或与在工作场所成功执行任务相关的能力。胜任力描述用广大受众熟悉和理解的术语表达胜任力,通常使用目标人群受众熟悉和引起共鸣的词汇。由此,胜任力描述在结构上得到增强,并在列举知识、技能和品行方面得以扩展,从而完成了规范。

虽然胜任力表述的自然语言有利于公众理解,但胜任力组成部分的结构更正式,因为它详细列举了组成部分,例如,在技能水平上展示的知识要素和在任务中展示胜任力所需的调节品行能力。这种对组成部分的枚举方式对于自动化比较分析和课程体系可视化至关重要。更正式的组成部分枚举,与自由形式的胜任力表述更体现了这两种出发点其实是一致的。两种形式之间的任何不同都表明需要更仔细地思考一种或两种表述的正确性。

4.2.4 构成要素

胜任力是知识、技能和品行的特定组成的集合。表 4.1、4.2、4.3 和 4.4 列出了这些维度的建议元素。胜任力的知识维度包括技术(计算概念)、基础和专业(表明工作场景)以及特定领域(任务设置)的概念。附录 D 更详细地阐述了这些组成元素。

表 4.1 说明了六个类别的 34 个缩写知识领域及其排序。尽管该表不完整,但它提供了一个示例,说明了植根于不同计算领域集体智慧的计算知识高级词汇表。这个计算知识领域的总结代表了一个易于理解并理解一致的词汇表,可以让我们从中获取计算胜任力的表述。

表 4.1 计算知识要素

用户与组织	系统模型	系统架构与基础设施	软件开发	软件基础知识	硬件
社会问题与专业实践 安全策略与管理 信息系统管理与领导力 企业架构 项目管理 用户 体验设计	安全问题与原则 系统分析与设计 需求分析与规范 数据与信息管理	虚拟系统与服务 智能系统 物联网 并行与分布式计算 计算机网络 嵌入式系统 集成系统技术 平台技术 安全技术与实施	软件质量、验证与确认 软件流程 软件建模与分析 软件设计 基于平台的开发	图形可视化 操作系统 数据结构、算法与复杂度 程序设计语言 程序设计基础 计算系统基础	架构和组织 数字设计 电路与电子学 信号处理

表 4.2 中列出的 13 个基础知识和专业知识元素,代表了从 IT2017 报告以及本报告附录 D 专业列表的子集。计算专业人员通常被期望在应用这些知识方面表现出高水平的技能,这在学士学位专业中值得重点关注。

领域知识代表了任务背景中的一些元素。一般来说,这些元素可能代表学科(例如,商业、医学、制造)。更详细地说,它们可能更具体(例如,国际货币兑换、放射成像、汽车装配)。在任何情况下,领域知识的范围和详细程度有助于胜任力的使用(即计算 +X 或 X+ 计算,参见第 2.4 节)。

表 4.2 基础知识与专业知识要素

知识要素	释义
分析与批判性思维	将复杂信息简化为基本部分,并评估结果,以做出正确决定的思想过程
协作与团队精神	将具有挑战性的任务分配至更简单的任务中,通过共同努力高效完成
伦理与跨文化视野	个体在其价值观的背景下看待问题的不同角度的伦理观点
数学与统计	抽象使用数学理论,特别是在数据收集与分析方面
多任务优化管理	可同时处理若干问题任务,并根据重要性排序
口头交流与表达	对受众感兴趣的话题和目标,使用可视化工具进行实时口头传达信息
问题解决和故障排除	逻辑有序地发现问题根源,解决并使其重新运行起来
项目和任务的组织规划	为项目的组织与计划提供决策,以取得成功的结果
质量保障 / 控制	根据规定的质量标准使用技术、方法和流程来识别和预防缺陷
关系管理	保持企业与其客户或其他企业之间持续接触的策略
研究与自学 / 学习者	可自行开始承担工作项目,而不需要指导或激励的一类人
时间管理	有效利用时间、有成效地开展工作的能力
书面交流	使用书面形式在人与组织之间互动,提供有效信息传递方式

如同 CC2020 定义了技能 – 知识的熟练运用——表 4.3 总结了技能(认知技能)的六个累积级别的有序序列以及缩写定义。这些级别与布鲁姆分类法相关,允许采用 2001 年修订的布鲁姆教育目标分类法 [And5] 中描述的共同认可的词汇。该表将认知技能列为动词。

表 4.3 基于布鲁姆分类法的认知技能水平

记忆	理解	应用	分析	评估	创建
通过记忆事实、术语、基本概念和答案来展示以前学习的知识	通过组织、比较、翻译、解释和描述来展示对事实和想法的理解	通过以不同方式应用获得的知识、事实、技术和规则来解决新情况下的问题	通过识别动机或原因来检查和分解信息；做出推断并找到证据来支持解决方案	通过对信息的有效性和材料的质量做出判断来表达和捍卫观点	通过以新模式组合因素或提出替代解决方案,以不同方式将信息编译在一起

品行定义了胜任力的第三个维度。表 4.4 展示了 11 种从文献中得出的预期品行特征。作为胜任力的内在组成部分,品行代表了在工作场所预期的机构和方案价值的表达机会。品行的期望丰富了对胜任力和 / 或相关教学法的描述 / 评估。为胜任力赋予一种品行元素,表明对自我反思和检查的明确承诺,将胜任力与学习成效明显区分开来。

表 4.4 品行组成元素

元素	说明	元素	说明
适应性:	灵活,敏捷,适应变化	专业:	专业精神,谨慎,道德,精明
协作性:	团队合作,愿意与他人合作	目标导向:	目标驱动,实现目的,有商业头脑
创造性:	探索性,根据前瞻性提出解决方案	责任感:	判断力,谨慎行事,行为得体
严谨性:	注意细节,完整性,准确性	反应灵敏:	礼貌,反应迅速,积极主动
热情:	信念坚定,承诺坚定,令人信服	自我指导:	自我激励,有决心,独立
主动性:	主动,自发,独立		

品行对于结构良好的胜任力模型来说是一个必要特征,其与工作场景或学术研究所涉及的内容息息相关。人们本来就知道并意识到人类行为的这些要素。虽然品行教育很难开展,但教职员工可以通过评估设计、练习、持续实践、阅读、案例研究和展示他们自己的例子等方式向学生传递这些概念。职业工作场景和学会团体认为表 4.4 所示的每项品行特征是每个合格的计算专业毕业生期望具备的。

4.2.5 关于胜任力的论述

本《CC2020 报告》中采用的胜任力模型表明,胜任力包括与知识相匹配的技能水平和品行特征。具体可参考如下案例,三个案例中每个代表案例都有一个特定的胜任力任务描述,并逐一列出了可以快速有效完成该项任务的特征因素。

案例 A: 计算机工程领域

胜任力标题:A		
胜任力描述		
能够使用合适的工具为制造厂商管理计算机系统的设计,设计数字电路,包括布尔代数的基本元件、计算机编号系统、数据编码、组合和序列元素等。		
知识体系 [表 #]	技能水平 [表 4.3]	
架构与组织[4.1]	可创建水平	
数字设计[4.1]	可创建水平	
电路 / 电子学[4.1]	可创建水平	
分析与批判性思维[4.2]	可应用水平	
数学与统计[4.2]	可应用水平	
问题解决和故障排除[4.2]	可应用水平	
研究与自学胜任力[4.2]	可应用水平	
品行特征 [表 4.4]		
自我指导	严谨性	创造性

案例 B: 信息技术领域

胜任力标题:B		
胜任力表述		
从鲁棒性、可扩展性以及吞吐量等角度分析与比较云计算企业中的网络拓扑结构。		
知识体系 [表 #]	技能水平 [表 4.3]	
计算机网络[4.1]	可分析水平	
平台技术[4.1]	可分析水平	
分析与批判性思维[4.2]	可应用水平	
数学与统计[4.2]	可应用水平	
质量保障[4.2]	可应用水平	
品行特征 [表 4.4]		
自我指导	目标导向	责任感

案例 C: 软件工程领域

胜任力标题:C		
胜任力表述: 作为需求团队的一员,在与目标人群的工作会议上,运用已知的需求获取技术,确定和记录系统需求,使用促进性技能。		
知识体系 [表 #]	技能水平 [表 4.3]	
需求分析[4.1]	可评估水平	
口头交流[4.2]	可应用水平	
书面交流[4.2]	可应用水平	
团队协作[4.2]	可应用水平	
品行特征 [表 4.4]		
目标导向	责任感	协作性

4.3 从胜任力到课程体系

清晰连贯的胜任力模型允许以有利于其相关受众群体的方式定义计算课程体系(即学习经历的结构化集合),相关受众群体包括学生、捐助者、教师、行政人员、雇主、认证机构、立法者和学会团体。研究关键目标人群如何识别和提出胜任力,以及如何根据与胜任力相关的预期开发课程体系,是非常有用的。本节总结了附录 E 中更全面的讨论,并回顾了对胜任力的实际定义和使用至关重要的主题。

4.3.1 胜任力的确定与提出

不同受众群体可能希望确定并提出胜任力的集合。大学计算教育者希望确定一个胜任力集合,以定义大学计算学士学位专业的预期结果。代表专业或学术团体的计算教育者希望明确胜任力,以建立国家或全球层次的示范课程体系的预期结果。行业代表,则希望无论是在特定工作方面还是通用型层面,可以使用一个胜任力集合来确定他们对学位专业毕业生的期望。

如前所述,相关受众群体既可以使用叙事性的表述来明确胜任力,又可以分别通过

与知识匹配的技能 and 品行特征来丰富胜任力组成的表述。在大多数情况下,确定和提出胜任力需要与那些最了解在毕业后不久和整个职业生涯中面临期望的人合作,来获得相应的胜任力表述。例如,需要编写胜任力表述的教育工作者可能与雇主、学生、主管教育的政府职能部门或机构合作。

发现一个专业指定胜任力的方法和技巧,与系统需求的征询是类似的,包括访谈、调查和对现有需求的评估。

为了定义一个专业、一门课程或者其他课程体系单元的最高水平或者最抽象的胜任力,有必要在一个背景下阐明相关所需知识、技能和品行特点等组成部分。如果在一个形式自由的文档里做胜任力表述,大家通常会聚焦在预期胜任力的结果。以这种方式来表述特定胜任力,知识、技能、品行特点等信息可能不会完整详细地体现出来。相反,用户可能需要从自由形式的表述中推断细节。因此,阐明胜任力表述的背景是至关重要的,为相关受众群体提供了动力,使学习和履行这种胜任力变得有意义。

这些文献为开发胜任力表述提供了一些见解[Perl]。在这种情况下,编写胜任力表述的人员应该:

- ✓ 规定它们是以学习者为中心的基本必备胜任力;
- ✓ 用“清晰、具体、朴实、简明的语言”量化胜任力;
- ✓ 结构化表述:以行动为导向,即使用能够“最准确地描述实际、首选结果的行为动词”作为开头进行胜任力表述;
- ✓ 胜任力表述要与“标准、实践和现实世界对工作的期望”一致,从而体现出“从业者实际上需要具备的胜任力”
- ✓ 制定胜任力有助于打造一个“毕业生为实现所预期的整体成效结果所需的能力集群”

与胜任力表述完全一致的组成部分对于比较和分析目标至关重要。此外,将自由形式的胜任力表述转化为组成部分规范化的过程中可能会发现一些与该表述不相关的非预期特征,并可能提供重大改进的机会。从自由形式的表述中导出组成部分规范化的过程是迭代的,需要有意愿和能力来解释这些陈述,以便能够识别从叙述性表述中推断出的组件。

在某些情况下,从胜任力组成部分开始是有帮助的。在构建胜任力表述之前,确定胜任力的知识、技能和品行特征等组成部分也是一个很好的起点。当目标胜任力的确定不完全清楚,首先需要在组成部分规范化水平上进行校准时,这一点尤其适用。

4.3.2 胜任力规范与课程体系规范

关于学生在毕业之前通过什么样的教育经历来获得预期胜任力的问题,胜任力本身并不能给出答案。特定胜任力的成果预期需要转化为由教育活动组成的课程体系,这些教育活动可以帮助支持学生在不同领域里取得进步。

一些之前关于源自胜任力的教育经历的研究或许有帮助:如,MSIS 2016 年报告[Acm11]、国际宇航科学院(IAA)空间工业系统工程胜任力模型[Squ1]和胜任力规范业务课程[Chy5]。相关指导经验如下:

- ✓ 确定能够构成“基于特定胜任力结果预期的课程”的学习经验特点。
- ✓ 指出专业胜任力作为课程体系规范的基础,从现有的胜任力模型中(例如,那些由行业、政府或专业协会开发的胜任力模型)获益。
- ✓ 发展教育经验,不仅需要确定胜任力,还需要说明从新手到专家的预期达到的水平。
- ✓ 推导出与每个胜任力相关的初始学习成效集;然后,将学习成效组织成学习经验。每个学习经历中的学习成效集决定了学生应该参与的主题和参与时预期的教学形式。
- ✓ 持续评估。所实施的学习经验在多大程度上使学生达到预期的胜任力水平。

给学生提供发展技能和培养品行的机会对于特定专业胜任力的预期结果是正向的,且具有潜在的资源密集型效应。在许多情况下,这种方法需要一套不同的教学假设和方法,而不是主要基于知识的可评估结果规范。在实践中,基于胜任力的结果规范可以带来更广泛的学习体验类型,包括更加注重各种形式的体验学习,从互动模拟到强化项目,到实地体验,再到实习和与行业的合作项目。特定领域的技能和品行需要不同于传统课堂环境的学习环境来建立。

4.4 本章小结

本章讨论了胜任力的本质——CC2020 项目的一个显著特征。本章提出了若干胜任力表述案例进行说明。胜任力型课程体系有益于学习目标的建立,同时有助于更好表述毕业生工作描述和行业需求。迄今为止,尽管许多计算学科规范是采取基于知识的方法建立的,计算学科课程体系的新发展说明其组成部分不仅应该包括知识和技能,还应该包括品行、技能水平和毕业学生期望的具体(也许是“实用”)任务。胜任力模型的使用还可以帮助实现计算课程的自动比较分析和可视化。基于这些原因,CC2020 工作组建议未来的课程体系报告采用这种基于胜任力的方法来描述计算课程体系。

第5章

课程体系的分析与可视化

本章描述了对使用不同方法指定的课程的分析 and 可视化。目的是利用这些课程体系的数字表示法来分析在第3章和第4章中描述的范式指定的课程、专业培养方案和整个课程体系。本章提供了说明性的可视化例子,尽管这些例子并不详尽。

该讨论是基于 ACM 和其他专业组织已经建立的课程体系。因此,这些说明性例子是对现有课程体系的分析和可视化,并没有引入新的课程体系规范详解。读者应该查阅原始报告以了解课程体系规范详解。

5.1 关于可视化

上一章介绍的胜任力模型特别适用于可视化和分析。在本节中,将介绍一个可视化工具集,并介绍一种正式分析使用该胜任力模型定义的课程体系的方法。

数据是分析和可视化的基础。一个给定的详解(例如,由知识元素与技能对以及品行组成的胜任力表述)构成了一个基本数据集。存储知识和胜任力详解的存储库是数据及其分析的核心。知识、技能、技能水平和品行的要素出现在前一章的表 4.1、4.2、4.3 和 4.4 中。

5.1.1 一些基本功能

这套工具的基本功能包括以下内容。

1. 内容管理:用户可以输入各种格式的胜任力详解。

2. 报告/演示:用户可以检索、显示、格式化和传播胜任力详解的表示。

3. 分析:用户可以查询指定任何类别属性或规范内容的存储库内容,并将查询结果表示为列表、比较或可视化以进行分析

第一个功能(内容管理)支持收集和整理知识、技能和品行的词汇表,以及同义词和翻译。储存库的内容可以手动输入,也可以使用公布的格式和协议自动地导入/导出(参见附录 F)。这不仅能适应正式课程体系指南制定的具体胜任力,也能适应行业对专业和就业胜任力的描述。

第二项功能(报告/演示)提供了一种功能,用于表示胜任力详解的格式,以便复制到正式的组织或机构文件中,例如学术培养方案、认证标准或专业资格报告。

第三个功能(分析)涉及对知识或胜任力详解的分析和可视化。分析工作可能是个别或集合的相互比较。“低层次”的分析涉及个别规范,而“高层次”的分析涉及规范的集合。这种方法对各种用户和目标人群(stakeholders)都很有用。

5.1.2 胜任力分析

胜任力可以组合成诸如课程体系、课程体系规范标准、具体工作要求或工作类别要求等集合。所有这些规范在性质和结构上都是相似的。因此,可以定义“胜任力目标”的一般概念,它反映了由胜任力集合所定义的实体。

表 5.1 列出了四个能力目标。表中的“单项-集合”维度反映了目标是针对单一实体还是针对一类实体。教育-劳动力维度反映了目标是与教育产品有关还是与劳动力产品有关。

表 5.1 胜任力目标

	教育	劳动力
单项	专业	工作
集合	子学科	职业

这四个目标中的每一个都代表了胜任力的重要应用。专业是由学院和大学提供的单个计算教育专业。子学科代表由专业协会制定的每个计算子学科的课程体系标准,例如计算机工程或计算机科学的未来课程体系报告。工作反映了一种具体的工作机会,行业或政府可以用一组胜任力来指定要求。职业是由相似工作组成的类别,行业或政府可以用一组胜任力来规定整个类别的要求。

由于一组胜任力可以表征一个目标,因此可以将每个胜任力规范的结构化 K-S-D 部分视为三维空间中的一个点,而将一组胜任力视为一个点云。这种方法适合于需要进一步探索的胜任力的可视化,如本章和附录 G 所述。

尽管此模型中胜任力的可视化可能会提供一些见解,但考虑目标的接近性的想法也是一个有前途的概念。基于获取度量标准的有序值思想,开发两个目标之间的特定距离度量标准是未来研究的潜在领域。这样的距离度量可以使成对的目标按照“接近”的相似度进行排名。例如,假设一个未来想成为网络管理员(即“职业”)的学生正在搜索相关的教育专业(即“专业”)。如果潜在专业和期望的职业都存在胜任力详解,根据专业与期望职业的接近程度,采用距离度量指标可以对专业进行排名。与网络管理员职业目标最接近的教育课程可能是学生的最佳学位课程。

可以使用距离度量来支持所有四种类型目标之间的比较。以下情况提供了目标接近的机会。

- 对于教育提供者,有机会缩小与某一专业相关的胜任力与该专业所针对的目标工作和职业之间的距离。对这一距离的阐述,可以使教育提供者做出改变,缩小差距,并积极地确立这一距离的缩小。
- 对于教育提供者,有机会通过评估提供者的专业与该子学科的课程体系标准之间的距离,将专业与各领域的国家和国际标准进行校准。
- 对于大学预科学生,有机会根据其胜任力与期望的工作或职业之间距离最短的专业来选择专业。
- 对于雇主而言,有机会量化一个职位所需的胜任力与不同候选人在完成各种教育专业和过程后所表现出的胜任力之间的距离。
- 对于大学毕业生,有机会根据个人胜任力与目标职业所需胜任力之间的距离来寻找工作。

基于目标对,表 5.2 将此框架可以解决的几个问题概念化。

表 5.2 问 题 框 架

目标 1	目标 2	问题范例
专业	职业	ABC 大学的信息技术专业如何培养某人成为网络管理员?
子学科	职业	XYZ 大学的计算机工程学位为某人成为首席信息安全官做了哪些准备?
专业	工作	ABC 大学的计算机专业为某人成为 ACME 公司的高级程序员做了哪些准备?

续表

目标 1	目标 2	问题范例
专业	职业	ABC 大学的信息系统专业为在校商科学生在程序设计方面的职业发展做了哪些准备?
专业	专业	ABC 大学的计算机工程专业和 XYZ 大学的软件工程专业有什么区别?
专业	子学科	ABC 大学当前的计算机专业培养方案与即将发布的 CS202x 报告所支持的(假设的)基于胜任力的课程体系规范有多大的一致性?

目标邻近方法试图统一计算的教育和劳动力两个方面。过去的方法是根据知识领域、知识单元和学习成果来定义计算课程体系规范标准。目标邻近方法是对学术界方法的补充,并利用了高等教育作为知识管理者的经典作用和范畴。

在劳动力方面,已经有成功的尝试,即通过制定胜任力框架,用胜任力定义工作要求。回顾前面提到的示例,有关信息时代的技能框架(SFIA)、欧洲胜任力框架(e-CF)和 i 胜任力词典(iCD)的信息,请参阅附录 B。

如第 4 章所述,计算教育者在几年前就已经开始将最近的一些示范课程体系向胜任力过渡。然而,这一过程离使用一种超越教育和劳动力的共同语言还有很长的路要走。许多以前的胜任力概念缺乏正式的结构,这意味着报告的支持者无法按照表 5.2 中的问题量化和分析胜任力。本 CC2020 报告主张随着时间的推移,过渡到一种共同语言,目标人群可以利用这种语言来理解和并尽量缩小教育产出(毕业生)与成功为全球计算劳动力做出贡献所需投入之间的差距。

5.2 基于胜任力的可视化示例

每个目标人群通常提出的问题或查询可以为查询结果的各种可视化处理提出建议。用户选择这些表现形式来展示图形交流的表达潜力。本书无意描述支撑图形的数据所需的计算。但是,它们都被认为是从实现胜任力详解语法的胜任力存储库结构派生而来的。它们都被认为是来自实现能力规范语法的能力库结构。关于用例以及许多与 CC2020 项目一致的可视化,请参见附录 G。

以下讨论中使用的过程假定数据可供使用和分析。在此基础上,有可能将胜任力可视化以供目标人群使用。

5.2.1 学生用例

一个学生很有兴趣在本科阶段学习计算相关专业,想知道哪种类型的专业课程体系规范最适合她的兴趣。她可能对与她将来想要学习的专业课程体系规范相关的品行元素有一些想法,并且/或者对可以为她提供未来工作机会的领域有初步的看法。她可能会从检查比较有把握的品行元素开始(或者,她可能会从选择知识类别和领域开始——这里显示的是第一种情况,但另一种情况会得出相同的结果)。她将看到可供选择的品行清单(图 5.1(a)),从中进行选择,结果显示如图 5.1(b)所示的选定品行。请注意,由于品行元素没有排序,因此以颜色区分不同品行。

	品行		品行
	主动性	✓	主动性
	自我指导		自我指导
	热情	✓	热情
	目标导向		目标导向
	专业		专业
	责任感	✓	责任感
	适应性		适应性
	协作性		协作性
	反应灵敏	✓	反应灵敏
	严谨性		严谨性

(a) 选择前 (b) 选择后

图 5.1 选择一名有意向的学生的品行

学生还可以指出她对哪些知识类别和知识领域感兴趣。图 5.2 和 5.3 显示了一个可能的过程。她首先选择了三个类别:用户和组织、系统建模和软件基础知识。在图 5.2 中,这三个类别的椭圆用红色边框突出显示。如果需要,学生可以指出哪些单个知识领域是最相关的。图 5.3(a) 显示了所选三类中每一类的知识领域。该学生选择了“用户和组织的用户体验设计”知识领域,以及“系统分析和设计以及系统建模类的需求分析和规范”类别;同样,所选知识领域的椭圆用红色边框标出。该学生不想在“软件基础知识”类别中做详细的选择。结果选择如图 5.3(b) 所示。

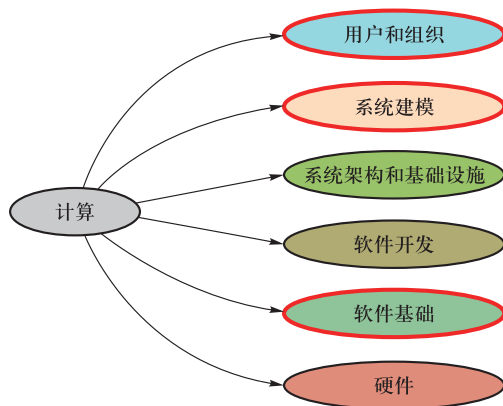


图 5.2 学生选择的计算类别

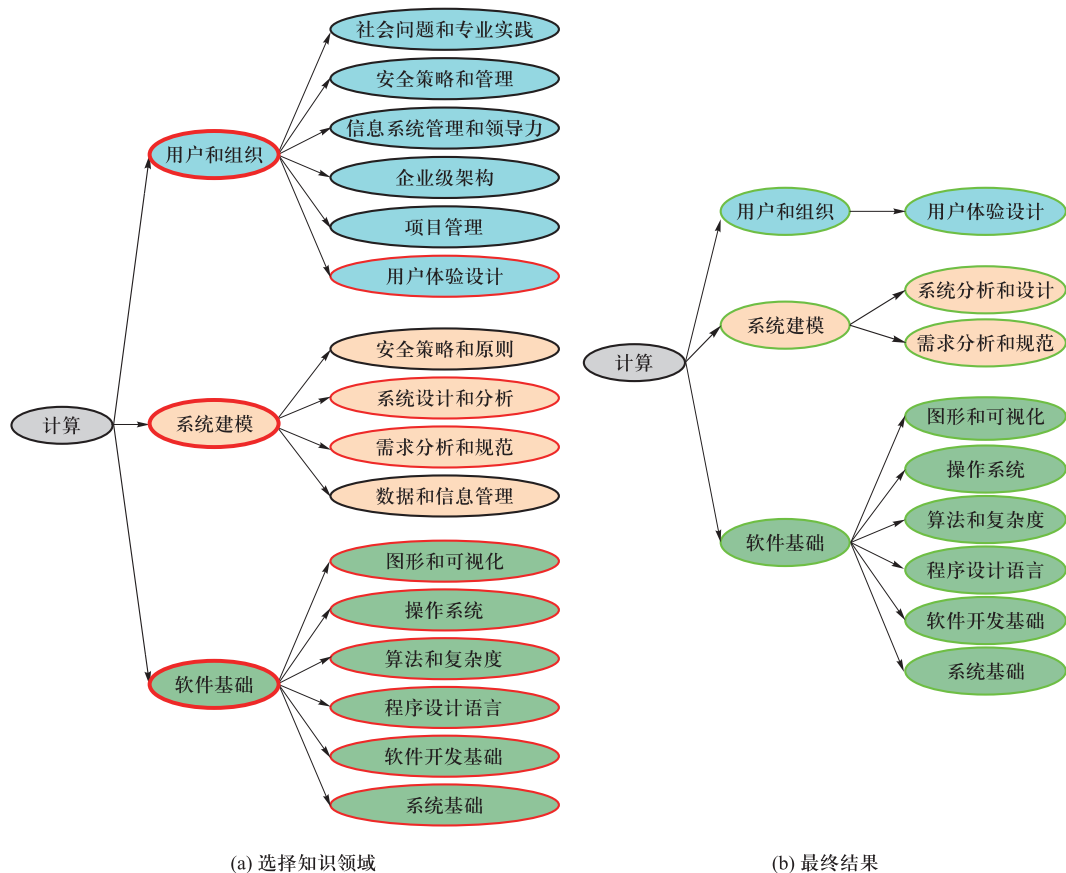


图 5.3 知识领域的详细选择

如果学生对这组知识领域感到满意,她可以确认并要求对各种专业课程体系规范如何与她的兴趣相匹配进行全局观察。根据学生的选择,系统会搜索符合该预期内容的专业课程体系规范。在图 5.4 中,为每个专业课程体系指南映射了预期的知识类别(已部分规定到知识领域)。蓝色方块表示该知识领域 / 类别在专业课程体系规范中的相关程度。绿色方块是学生选择的内容与专业课程体系规范的相对匹配程度。蓝色和绿色方块的大小的计算方法还不固定,但是例如,绿色方格可以根据表 5.3 中的权重来计算。由于学生对软件建模更感兴趣,根据图 5.4 中给出的信息,学生决定探索有关软件工程和她喜欢的知识类别的详细信息。将鼠标悬停在一个方块上(图 5.5),相应的胜任力描述就会被列出。图 5.5 也可以显示与胜任力相关的品行以及根据学生选择计算出的相对水平。

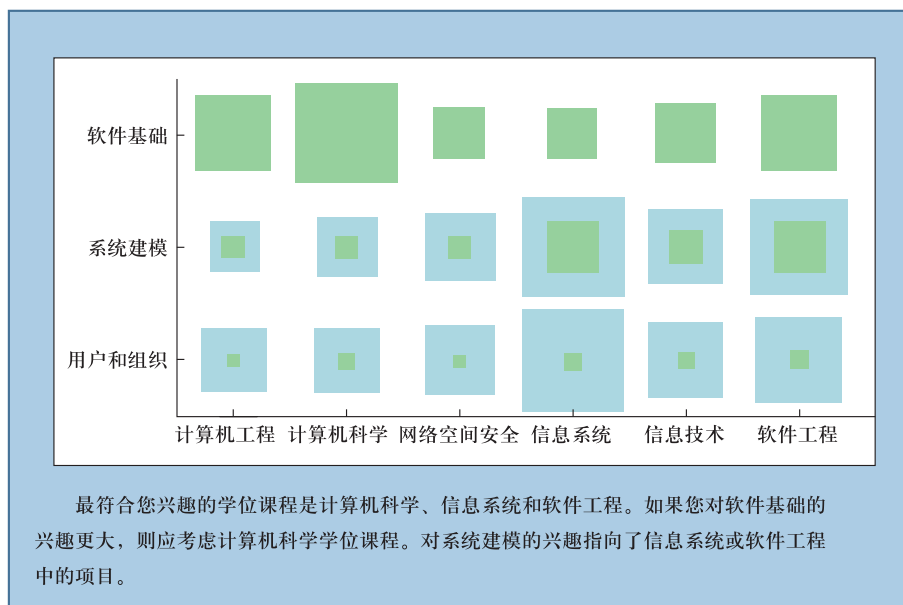


图 5.4 所选知识类别与六个课程指南的映射

5.2.2 行业用例

一位来自行业的用户制定了一份相关知识领域的清单,公司的计算员工需要这些领域的相关技能、知识水平和 / 或品行。她想找出哪些课程体系规范有可能为公司员工提供专业教育。最初,计算机科学和信息技术这两个专业似乎是可用的和有希望的。

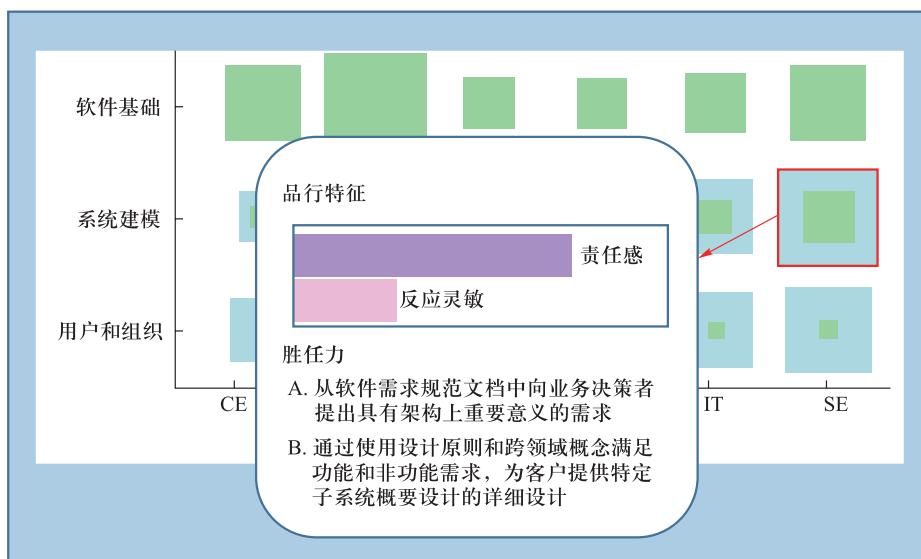


图 5.5 品行和胜任力详细信息

与 5.2.1 节中的图 5.2 和 5.3 中的学生的过程类似,行业用户决定选择“硬件”,“软件基础知识”和“软件开发”作为看似相关的类别,并删除其他三个类别。然后,她检查每个所选类别的知识领域,并选择她认为与她相关的领域,如图 5.6 所示。

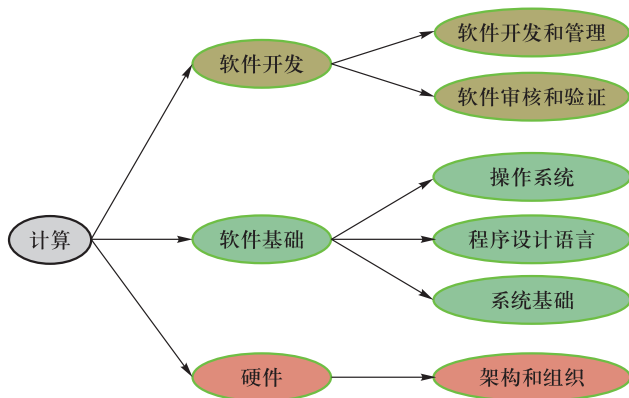


图 5.6 知识领域选择的结果

现在,用户能够为每个选择的知识领域指出,或者同时指出需要什么样的技能水平,以及什么样的品行元素是相关的。假设用户表示她愿意提供“软件基础知识”这一知识

领域的规范。在图 5.7 中,技能水平是通过使用滑块指定的,品行是通过从菜单中选择来指定的。

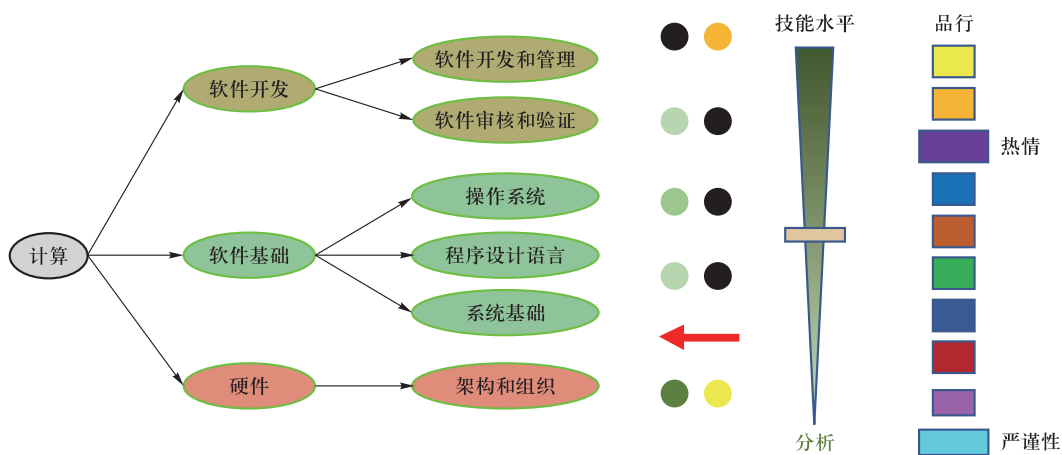


图 5.7 细化技能和品行

当所选知识领域的所有相关规范都被提供后,系统会生成一个雷达图,比较所选课程体系的知识水平。与中心的距离表示与每个知识类别相关的技能水平。图 5.8 比较

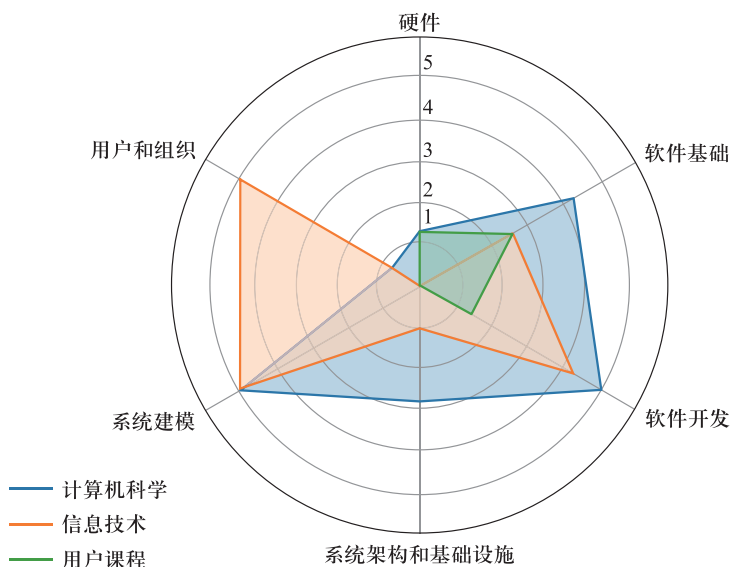


图 5.8 基于知识水平的计算机科学和信息技术的比较

了计算机科学和信息技术的课程体系规范。雷达图已根据用户的说明进行了扩充。在该示例中,计算机科学似乎是最符合用户要求的知识水平的。这是因为用户的知识规范和专业课程体系规范的内容是完全覆盖的;也即,蓝色表示的计算机科学轮廓与绿色表示的用户规范轮廓完全重合。

这两个案例也已经发表[Tak1]。

5.3 基于知识的可视化示例

以下讨论中所使用的过程假定数据是可以使用和分析的。在此基础上,有可能将知识领域可视化,以供目标人群使用。

5.3.1 计算教育者

一位计算教育工作者的问题是:“我的专业培养方案如何与国际课程体系指南相适应?”图 5.9 以实线形式显示了一个机构对其专业的评价与基于第 4 章表 4.1 中所列知识领域的评价的比较。在这种情况下,评价表示计算机科学子学科中每个知识要素的权重。图中显示了该机构与指南的匹配情况以及该机构的不同之处。例如,与“标准的”计算机科学课程体系规范相比,该机构更强调企业架构和嵌入式系统等知识要素,以及电路和电子等硬件相关要素。

5.3.2 教育主管部门

教育主管部门也可以使用图 5.9 来回答“此专业课程体系规范是否符合专业课程体系规范 X 的指导原则?”的问题。图 5.9 显示,该机构的评价没有一项低于“标准的”计算机专业课程体系规范体系的最低值。结果表明,该机构的计算机专业课程体系符合标准计算机专业课程体系。请注意,不同的目标人群可以用同一个图来解决不同的问题。

5.3.3 计算知识概况表的可视化

表 5.3 展示了计算知识的概况。从结构上讲,它类似于 CC2005 报告中的表 3.1。但是,它是使用不同的过程生成的,其组织结构也有所不同。

表 5.3 中的数值反映了综合计算知识领域(以行为单位)对于所包含的每个计算学科(以列为单位)的本科学位专业培养方案的相对重要性。每个计算学科都规定了一个

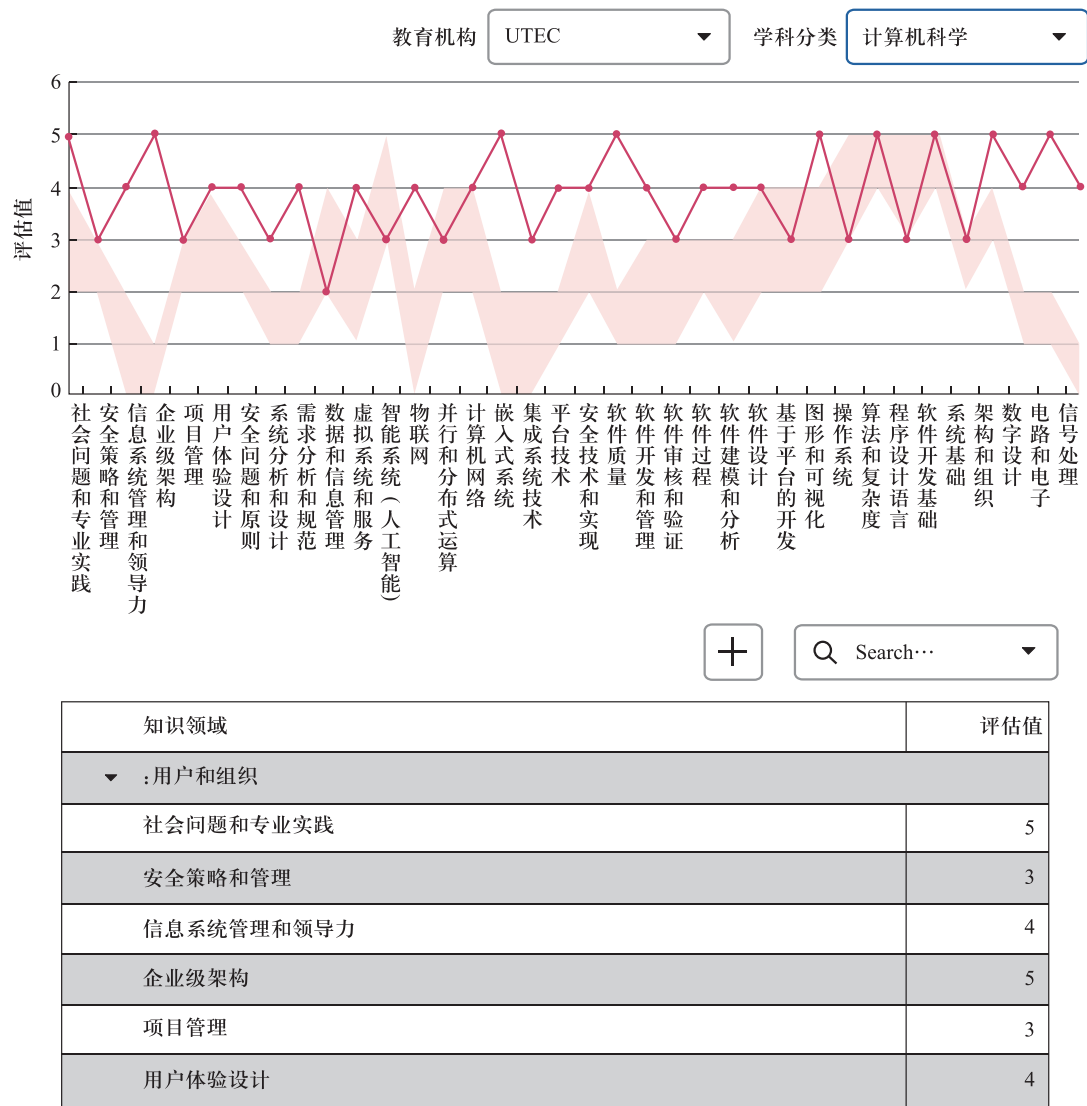


图 5.9 一个机构的评价与知识表评价的比较

最小值和最大值,表明了大多数学位专业培养方案可能属于的重要性范围。该表被用作表 4.1 中规定的知识领域集以及本节中的可视化示例的基础。

表 5.3 计算知识的概况

		CE		CS		CSEC		IS		IT		SE	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1. 用户和组织	1.1. 社会问题和专业实践	2	5	2	4	2	4	3	5	2	4	3	5
	1.2. 安全策略和管理	1	3	2	3	4	5	2	3	2	4	2	4
	1.3. 信息系统管理和领导力	0	2	0	2	1	2	4	5	1	2	1	2
	1.4. 企业级架构	0	1	0	1	1	2	3	5	1	3	1	3
	1.5. 项目管理	1	3	2	3	1	2	4	5	2	3	2	4
	1.6. 用户体验设计	1	3	2	4	1	3	2	4	3	4	3	5
2. 系统建模	2.1. 安全问题和原则	2	3	2	3	4	5	2	4	3	4	2	4
	2.2 系统分析和设计	1	2	1	2	1	2	4	5	1	3	2	4
	2.3. 需求分析和规范	1	2	1	2	0	2	2	4	1	3	3	5
	2.4. 数据和信息管理	1	2	2	4	2	3	3	5	2	3	2	4
3. 系统架构和基础设施	3.1. 虚拟系统和服务	1	3	1	3	1	2	1	2	3	4	1	3
	3.2. 智能系统(人工智能)	1	3	3	5	1	2	1	2	1	2	0	1
	3.3. 物联网	2	4	0	2	1	3	1	3	2	4	1	3
	3.4. 并行和分布式计算	2	4	2	4	1	2	1	3	1	3	2	3
	3.5. 计算机网络	2	4	2	4	2	4	1	3	3	4	2	2
	3.6. 嵌入式系统	3	5	0	2	1	3	0	1	0	1	0	3
	3.7. 集成系统技术	1	2	0	2	0	2	1	3	3	4	1	3
	3.8. 平台技术	0	1	1	2	1	2	1	3	2	4	0	2
	3.9. 安全技术和实现	2	3	2	4	4	5	1	3	2	4	2	4

续表

		CE		CS		CSEC		IS		IT		SE	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
4. 软件开发	4.1. 软件质量、审核和验证	1	3	1	3	1	2	1	3	1	2	3	5
	4.2 软件过程	1	2	1	3	0	2	1	3	1	3	3	5
	4.3 软件建模和分析	1	3	1	3	1	2	2	4	1	3	4	5
	4.4. 软件设计	2	4	2	4	1	3	1	3	1	2	4	5
	4.5 基于平台的开发	0	2	2	4	0	1	1	3	2	4	1	3
5. 软件基础	5.1. 图形和可视化	1	2	2	4	0	1	1	1	0	1	0	2
	5.2. 操作系统	2	4	3	5	2	3	1	2	1	3	1	3
	5.3. 数据结构、算法和复杂性	2	4	4	5	1	3	1	3	1	2	2	4
	5.4 程序设计语言	2	3	3	5	1	2	1	2	1	2	2	3
	5.5 程序设计基础	2	4	4	5	2	3	1	3	2	4	3	5
	5.6 计算系统基础	2	3	2	3	1	2	2	3	1	3	2	3
6. 硬件	6.1 架构和组织	4	5	3	4	1	3	1	2	1	2	1	3
	6.2 数字设计	4	5	1	2	0	2	0	1	0	1	0	2
	6.3 电路和电子	4	5	1	2	0	1	0	1	1	2	0	1
	6.4 信号处理	3	4	0	1	0	2	0	1	0	1	0	1

表中的数值是基于专家意见的(而不是例如对学科的代表性调查)。它们是通过以下过程得出的。

1. CC2020 指导委员会分析了包括计算机工程、计算机科学、网络安全、信息系统、信息技术和软件工程等六个领域的课程体系规范推荐中的知识领域。在此过程中,出现了 39 个知识领域,它们共同涵盖了计算本科学位专业培养方案中包含的计算主题。通过后续分析,这些知识领域合并为最终的 34 个领域。

2. 指导委员会成员被要求对六个计算学科中每个学科的知识领域的重要性进行评分。表中的数值是答复的四舍五入的算术平均值。

3. 指导委员会的一个小组根据符号学阶梯[Liu1,Sta2]组织知识领域,并将六层类别标记为用户和组织、系统建模、系统架构和基础设施、软件开发以及软件基础知识和硬件。最终表中知识领域的组织遵循了这个过程。

对于表 5.3 中的数据,可以做多种类型的可视化处理。图 5.10 是一个雷达图,显示了知识领域的最大重点。附录 G 的第 3 节也给出了同一数据集的柱状图和折线图,以及也可用于同一数据集的丝带图。

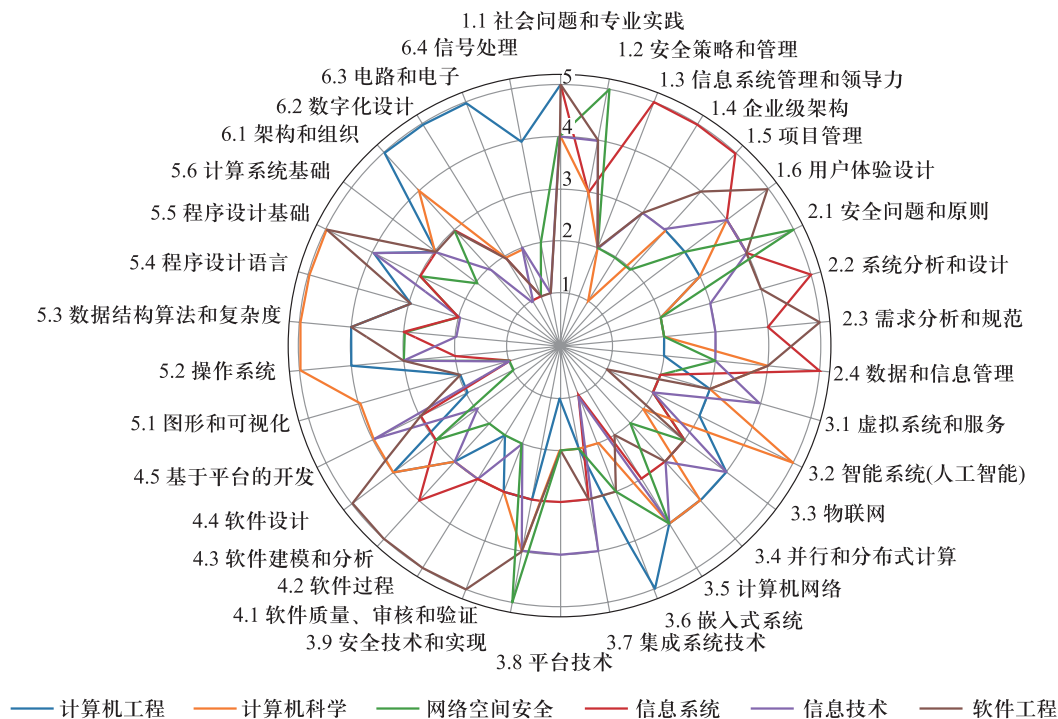


图 5.10 雷达图显示了知识领域的最大重点

请注意,指导委员会将这六个特定的计算机学科(CE,CS,CSEC,IS,IT,SE)纳入这一综合分析中,因为它们是主流计算学会已经批准的本科课程体系规范推荐的学科。第七个学科数据科学没有包括在内,因为在本次分析时还没有类似的推荐。这同样适用于出现课程体系规范推荐的其他新计算学科。事实上,在现有建议的新版本出现后,该过程应定期重复。

5.3.4 其他可视化

其他基于知识的可视化,包括整个课程体系规范的可视化,请参见附录 G。

5.4 关于胜任力可视化的挑战

将课程体系和胜任力的各个方面可视化会面临不少挑战。这些挑战包括对术语和词汇的解释或对两个实体的比较。

5.4.1 一致的词汇

知识的标准化或一致性词汇的问题是存在的一个问题。例如,“重构”同时出现在 CS2013 和 SE2014 中。在 CS2013 中,重构一词是“软件设计”和“软件演进”知识单元的一部分。在 SE2014 中,重构是“软件过程”知识单元的一部分,但不在“软件设计”知识单元中。这表明重构在这两个课程体系中可能具有微妙的不同含义,或者说“软件设计”具有微妙的不同含义。

在一个理想的世界中,人们会开发一个所有计算课程体系指南都会遵守的本体。遗憾的是,这在实践中可能并不可行,因为可能存在以下问题。

- (1) 人们能够开发这样的本体吗?
- (2) 所有计算子学科都会遵守它吗?
- (3) 如何处理新兴的子学科?

这三个问题是未来工作可以考虑的有趣话题。

5.4.2 实体比较

还有一个问题是“比较”实体的含义。一个简单的比较将是检查是否相等。但这可能并不总是合适的。例如,由于技能水平具有排序的特点,因此如果知识 K 的一个元素被要求达到“理解”的技能水平,那么任何知识 K 处于更高技能水平的胜任力,例如“应用”“分析”“评估”“创建”应该满足或足以达到比较的目的(仅针对该知识 K)。

另一个问题是复合胜任力详解的比较。比较两个单一胜任力详解可以很直接,方法是比较两个单一胜任力详解各自的知识-技能对和品行元素。但比较复合胜任力详解可能有多种方式。例如,一种可能是向下钻取并比较叶子胜任力详解。另一种可能是在顶级胜任力详解上进行比较。

5.4.3 可视化类型

即使是同一个数据集,可视化也可以采用多种形式。例如,附录 G 的第 3 节显示了

同一数据的几种可视化形式。不同的人可能更喜欢不同类型的图表来理解比较。事实上, 尽管颜色是可视化的重要部分, 但对于有色觉障碍的人来说, 颜色的选择可能会妨碍他们的理解。例如, 有些人会混淆红色和绿色, 即使大多数人认为这些颜色明显不同。另一个重要的问题是在一个可视化中所呈现的数据量。

因此, 这里存在两个挑战。一个是要有一种反馈机制来了解哪些可视化效果优于其他可视化效果。另一个挑战是要有一种机制, 允许用户更改可视化效果, 这可能意味着在不同类型的可视化效果之间“切换”, 改变颜色的使用或者过滤显示的信息量。这两个要素都将是未来工作的一部分。

5.5 本章小结

本章描述了课程体系规范信息的分析和可视化, 其中信息的形式是知识和胜任力详解。首先描述了可视化工具集将具有的基本功能(即内容管理、报告 / 演示和分析)。目标人群通过他们可能会提出的典型问题来生成可视化的内容。可视化有助于回答目标人群可能提出的问题, 并且可以回答不同目标人群的不同问题。本章还讨论了一个可行的工具集所需的一些挑战, 该工具集会不断发展并变得持续有用。附录 G 包含许多其他可视化示例。

第6章

全球和专业方面的考虑

本章涉及围绕计算教育的一些全球性问题。这些问题包括但不限于不同国家和地区之间缺乏通用的术语,世界各地不同形式的学位培养方案,以及可能影响大学培养合格计算专业毕业生的胜任力的各种动态。读者应注意,本章不可能涵盖主题、观点、国家、个人或地区的所有方面。他们应考虑把所介绍的内容作为不同情况的示例,并在这些领域中开展进一步的研究。

6.1 全球情景和计算专业培养方案

有必要以一种中立方式来表达课程体系模式和建议,让所有人都能接受和理解。术语和命名法是其中一方面。另一个是任何建议如何在全球范围内反映文化背景。

《通天塔》是《圣经》中一个著名的故事,人们在建造通向天堂的塔楼时,他们的独特言语被混淆了,以至于他们无法再理解对方。在某种程度上,这似乎也是当今计算的情况。本报告既不打算也不可能确定适用于全球计算教育的单一术语。本报告最初是用英文撰写的,但英文可能不是世界上许多国家的通用语言。尽管本报告是用英语术语编写的,但它并不打算告诉其他语言的使用者应该在这些语言中使用哪些术语。

例如,在欧洲的大多数国家/地区中,与计算学位相关的单词直接翻译成英语就是“信息学”。1957年,卡尔·斯坦贝克(Karl Steinbuck)创造了德语单词 Informatik [Ste1],随后其他语言也采用了该单词。例如,法语的“l’informatique”,意大利语和其他语言的“informatica”,西班牙语的“informática”和阿尔巴尼亚语的“informatikës”。在将这些单词

翻译成英语时,除了可能的美国“计算 + x”术语之外,它们有时还被翻译为“计算科学”。然而,最近越来越多的人倾向于使用“计算”这个词来等同于“信息学”。在美国,信息学系列名称的发展独立于计算机科学这一术语的发展,而且大约在同一时间。“计算机科学”这个术语第一次出现在印刷品中是在 1959 年,三年后才出现了第一个名为“计算机科学”的学习专业[Ted1]。当不作为学位名称使用时,大学和国家内部有时会使用信息学作为该学科的总体名称,例如爱丁堡大学的信息学学院或萨塞克斯大学的信息学系。

在拉丁美洲,人们倾向于在学位名称中包含“工程”一词。一个工作组研究了拉丁美洲和其他地区的“计算机工程”学位,得出的结论是,期望每个人都使用一组通用的专业名称是不合理的。相反,它开发了一组通用的类别来描述学位的内容。例如,将这些类别应用于乌拉圭的系统工程学位后,发现该学位对计算机科学和软件工程的概念覆盖率很高,对信息系统和信息技术的概念覆盖率较低,尽管它的名称是计算机工程,但对计算机工程的概念覆盖却很弱[Ram1]。仅通过这个例子就足以说明,即使翻译成英语,术语也不统一。

大洋洲(包括澳大利亚、新西兰和一些邻近的岛屿)提供了另一个例子,这次以“信息技术”作为其术语。大洋洲使用信息技术来指代整个计算学术领域。例如,在撰写本文时,澳大利亚莫纳什大学信息技术办公区的入口处印有以下消息。

“信息技术:算法、分布式系统、数据库、软件工程、网络、信息系统、计算、知识管理、分析、移动计算、设计、电子商务、模型、数据挖掘、接口、业务决策支持”

将这些术语与美国或加拿大典型的信息技术学位中的术语进行比较,就会发现,同样的术语在大洋洲的含义与在美国和加拿大的含义完全不同。

6.2 计算术语

本报告采取了积极的立场,试图使计算领域的术语使用正常化。如果计算领域的专业人员不能就其使用的词汇的含义达成一致,公众就不能将计算视为一个有效的专业。诸如医学等成熟的科学和专业对它们所使用的词语有明确的含义。这种简单的理解在计算领域并不存在。与成熟的科学和专业相比,计算领域相对较新,而且各领域和术语的含义是独立出现的。这种术语的混合只会给该领域带来更多的混乱。幸运的是,本 CC2020 报告通过附录 H 和其他关于计算教育术语的全球解释的文献[Sim1],帮助消除了这种疑虑。

本报告必然使用特定的术语。针对已确定的计算子领域的配套报告必然使用特定

的术语。遗憾的是,在计算或计算教育中没有通用的术语,即使在英语世界中也是如此。对某些人来说,在特定的背景下,诸如计算机工程、计算机科学、信息系统、信息技术、软件工程和信息学等术语具有相当明确的含义。然而,对于其他语境中的其他个人来说,这些术语(尤其是信息学)可以有完全不同的含义,而这些不同的含义也同样具有合法性。

人们在撰写关于学位的文章时,尤其是在严格意义上的本地读者范围内,或者在阅读非自己所在地区的学位相关内容时,需要意识到所有这些差异性。由于这些原因,本报告中使用的术语是为了方便起见。它通常与美国和加拿大使用的术语相一致。它并不是对世界各地的人们和大学应该如何命名其学位、专业或个别学习课程的规定。

为了消除这种误解,CC2020 报告建议公众使用“计算”一词来描述整个领域。计算一词将需要一些时间来普及。然而,明智地使用该词,最终将开始向计算专业靠拢。例如,“工程”一词有相对较好的普遍理解。计算应该会有类似的普遍理解。

还有许多其他需要澄清的词语。附录 H 提供了术语的等值表。在试图理解计算术语的含义以及人们在全球范围内如何使用这些术语时,该表应提供一些指导。

6.2.1 学位名称、职位和职务

计算学位名称(如 6.2.2 中所讨论的)和职务名称的不同可能会导致混淆。专业资格执照的概念可能也会受到类似的影响。

在当今世界,人们对一个人的工作和一个工作岗位的内容常常感到困惑。例如,“软件工程师”这个短语是一个通用名称,许多人用它来识别创建或开发软件的人。这个人可能是一个数学家,一个医生,一个土木工程师,甚至是一个没有任何具体大学学位或头衔的从业人员。在英语中,这个短语通常指的是担任工作岗位的人。在其他语言中,例如在西班牙语中,通常是根据人们在完成本科学习时获得的头衔来称呼他们。例如,在英语中可能会有这样的公告:“X 公司寻求招聘三千名软件工程师”以履行一项大型政府合同。在这种情况下,所指的是准备创建或开发软件的人,不管他们获得的学位名称是什么。在这种情况下,如果认为 X 公司正在寻找具有特定软件工程大学学位的人,那将是错误的。

专业资格执照提供了一个人被政府某个部门许可从事某种职业的证明。例如,为了获得驾驶的权利,几乎所有发达国家都需要驾驶执照。要从事医学、牙科、护理或法律工作,政府机构要求一个人拥有从事某种职业的许可证。对于医学等专业来说,这种执照是在一个人完成正式学习并获得医学学位等学位后才获得的。

世界各地的一些大学颁发“执照”学位。它指的是低于博士学位的学位。诸如“*licentia docendi*”这样的术语指的是允许或许可进行教学;“*licentia ad practicandum*”

(“实践执照”)一词指的是某人拥有专业实践的许可(许可证)。使用“许可证”会在计算领域造成很多混乱,最好避免使用该术语,除非是为许可的实践而颁发的,如许可的专业工程师、许可的计算机工程师、或许可的软件工程师。这种专业执照需要严格的法律规定,涉及正式考试、获得的大学学位和多年的专业实践。

6.2.2 学位名称和工作场所

学位并不是学生在计算领域可以获得的唯一资格类型。在世界各地,各种类型的学院在计算的不同方面提供证书、文凭和高级文凭。例如,微证书可以通过实践创造的证据来证明对某项特定技能的胜任力。在某些情况下,这些资格证书为其持有者提供了进入传统大学学位的机会;在其他情况下,它们为其毕业生提供了直接进入专业就业的机会。虽然这些资格是典型的职业资格,但如果认为它们比大学学位差,那就错了[Tan1]。

值得一提的是,“计算学位”并不是唯一的就业资格。计算领域的学位和其他资格在其持续时间、对计算机的关注程度以及所研究的其他材料的范围方面有着惊人的多样性。学位的术语多种多样,同样的名称用于完全不同的学习经历;同样,各种不同的名称可以对应于类似的专业。

计算学位命名的不一致性已经达到了这样的程度:在一些就业市场上,这些术语比描述毕业生在工作场所能够提供的任何胜任力更令人困惑。事实上,许多雇主倾向于忽视学位名称的价值。也就是说,尽管拥有学士学位很重要,但学位的名称并不重要。雇主们更感兴趣的是毕业生的技术技能和毕业生所具备的人文气质。从学生和有意向的学生的角度来看,他们最好是进入一个他们渴望并有能力胜任的计算专业,而不是进入一个听起来很时髦的计算专业。

6.2.3 使用“工程师”一词

“工程师”一词在世界的不同地方有不同的含义。在一些地方,它有很高的声望,在声誉上等同于“医生”或其他重要的职业。在其他地方,它只是学位名称或工作职位中的一个普通表达。在某些情况下,大学不必要地把这个词强加到学位名称中,以暗示一种声望的因素,这往往是吸引学生进入其专业学习的一种方式。在这些情况下,使用“信息学工程”或“系统工程”可能没有与其实际意义相称的专业质量。因此,一所大学如果把一个典型的计算机专业改名为信息学工程专业,自然会吸引更多的学生,因为这个名字更吸引人或更有“名望”。例如,在拉丁美洲,计算相关学位之所以有一个“系统工程”的学位名称,主要是由于工业界提倡的企业立场。

“民用”一词的使用同样会令人困惑。具体来说,在智利,“民用工程”与“军事工程”形成对比。民用这个词指的是人或为人服务的工程。因此,“民用计算机工程师”实际上是“计算机工程师”,而不是具有计算背景的土木或建筑工程师。这些类型的传统可能会造成混乱和不必要的问题,特别是对于国际理解和学生交流和认证的过程而言。

6.3 全球计算学位结构

由于世界各地的计算学位种类繁多,因此,计算教育中的术语和名称的差异会造成混乱。本节提供了一些反映全球学位结构的示例。建立此类结构的完整清单超出了本报告的范围。

6.3.1 非洲的计算教育

在非洲开设的计算课程大多是以计算机科学为专业的理科学士学位专业。历史较长的院校往往会提供更多种类的计算课程。在许多情况下,这些专业都在同一个系里。很少有大学有专门的计算机科学和信息系统(也被称为信息学)系。计算机科学课程通常授予“理学士”学位,其中课程体系规范包括数学、统计学和科学。信息系统专业授予“商科学士”学位,授予该学位的专业课程体系规范包括经济和管理科学研究。当计算机科学和信息系统之间的区别不明确时,该专业就成为信息技术专业。这些专业可能包括计算以外的学科学习。颁发工程学位的大学可能有计算机工程专业。对软件工程的关注倾向于纳入理学专业。

整个非洲存在不同的学位结构。可以理解的是,人们正在努力制定这些结构之间的映射关系。主要区别在于学士学位专业的形式。在某些国家/地区,获得学士学位需要四年时间;在其他国家,四年制学位专业被视为专业(职业)级专业。所有其他学位专业均为三年制,之后是一年的优等生独立研究课程。

6.3.2 大洋洲的计算教育

大洋洲的学位具有混合名称,在某种程度上与美国和加拿大的专业以及欧洲的三年制专业相对应。计算机科学学士、信息科学学士和软件工程学士等学位名称很常见。学生在开始大学学习之前选择特定的学位专业,而不是在进入更通用的学位专业的途中选择专业。一些学位的重点是针对英国的,但也有更广泛的学位,所学习的课程中可能有三分之一是计算机以外的内容。

例如,考虑纽卡斯尔大学的信息技术学士学位[New1]。在构成该学位的 24 门课程中,有 10 门是核心课程,所有学生都必须学习。学生们通常利用他们的专业课和 / 或选修课,用非计算机领域的知识来补充他们的计算学习,以便为他们未来在这些领域的计算工作做好准备。

6.3.3 中国的计算教育

根据中国国家高等教育目录,有六个与计算相关的类别。它们包括:计算机科学与技术、软件工程、网络工程、信息安全、物联网工程和数字媒体技术^①。该课程体系规范通常包括政治、英语和文科方面的通识教育,数学、物理和电子工程的基础课程以及计算课程体系规范。必修课和选修课构成了一个专业的所有课程。中国的教育系统包括提供两年和三年制学位的大专院校,其要求比大学低。这些大专院校提供职业类专业以及允许转入大学的专业。

中国教育部出台了从毕业生层次教育角度进行大学评价的平行分类系统。计算有 3 个一级学科:计算机科学与技术、软件工程和网络安全。在计算机科学与技术下,有六个二级子类:信息安全、软件工程、计算机软件与理论、计算机系统结构、计算机应用技术和计算机技术。还有一些跨学科的二级类别,如电子与计算机工程、信息系统管理、信息与通信工程、医学信息学、生物信息学和地理信息科学。

此外,中国及其教育部已经将胜任力视为计算和工程专业培养方案中的重要组成部分。附录一总结了中国的“蓝皮书”项目[Blu1],该项目涉及大学环境中的胜任力需求,尤其适用于计算和工程教育培养方案。

6.3.4 欧洲的计算教育

英国和欧洲部分地区的学位从一开始就专注于一个专业领域的学习。学生不是从普通学位开始,然后再选择一个专业;他们从一开始就进入一个专业学位。例如,埃克塞特大学的三年制计算机科学学士学位专业培养方案[Exe1]包括必修的计算和数学课程,可选的选修课程,以及一个伴随着可选经历的主要项目。

博洛尼亚进程确保了高等教育资格标准和质量的可比性。该进程有 48 个参与国。

① 2012 年《普通高等学校专业目录》中计算机类专业除了这 6 个基本专业,还包括智能科学与技术、空间信息与数字技术、电子与计算机工程 3 个特设专业。2016 年,又增加了数据科学与大数据技术、网络安全专业。2017 年,则增加了新媒体技术、电影制作这几个特色专业。2020 年,又增加了保密技术、服务科学与工程、虚拟现实技术、区块链工程等专业。

博洛尼亚框架[Bol1]规定了三个高等教育资格周期:学士(三年)、硕士(两年)和博士(三年)。欧洲方法的一个重要部分是欧洲高等教育区的资格框架。所谓的“都柏林描述符”提供了“与代表博洛尼亚周期每个周期结束的资格相关的成就和能力的典型期望的通用描述”[Bol2 p65],涉及五个类别:知识和理解;应用知识和理解;作出判断;交流技能;和学习技能。这些描述符对每个学位周期的要求提供了独立于学科的描述。

“全民信息学”是一个新的联盟,包括 ACM 欧洲、欧洲信息学会和欧洲专业信息学会理事会(CEPIS)。其目的是在欧洲范围内促进信息学教育的发展,主要是在小学和中学教育层面。在对整个欧洲的信息学教育状况进行调查后,“全民信息学”制定了一个两层战略。(1)信息学必须成为向所有学生传授的重要基础学科,(2)信息学融入其他学科的教学,使这些其他学科的教育形式更加深入[Acml8]。这些活动在欧洲得到了很多支持。

6.3.5 印度的计算教育

在印度,大学教育资助委员会(UGC)主要管理印度的教育[Ind1],并定义了大学运作的框架,包括它们可以授予的学位名称。大学系统结构包含两个层次:大学本身和一系列附属属于它的学院。大学决定了附属学院开展的大多数学位培养方案的课程体系规范和评估方法,而学院则作为“交付”机制。在印度,设计本科计算教育的专业培养方案主要有两大策略。四年制课程是计算机工程(CE)和信息技术(IT)学位专业的标准。第一年专门学习物理科学、数学和工程统计学。大多数课程在 CE 和 IT 之间是通用的,商业课程是 IT 与 CE 的主要区别。另一方面,三年制课程是计算机科学和计算机应用专业的标准,一些机构提供额外的第四年学习,通常称为“荣誉”专业。大多数三年制的计算机专业侧重于应用方面。此外,计算机应用硕士专业通常也是一个三年制项目,因为大学设想将其作为拥有其他学科科学士学位的学生的第一个专业。因此,虽然被命名为“硕士专业”,但它往往成为计算领域的第一级学位。

印度有 895 所大学、42 338 所学院和 3 225 所工程学院[Ind1,Ind3]。表 6.1 说明了三类教育机构的招生数字。

表 6.1 印度大学的招生数据(2017 年)

	男性(x100 000)	女性(x100 000)	总计(x100 000)
大学教育资助委员会(包括所有)	15.27	14.16	29.43
大学教育资助委员会(非工程的计算机科学)	不适用	不适用	9.68
全印度技术教育委员会	5.30	2.20	7.50

国家评估和认证委员会(NAAC)[Ind2]是UGC下属的一个自治机构,负责印度高等教育机构的质量保障。此外,全印度技术教育委员会(AICTE)负责监管技术、工程和药学等技术类专业[Ind3]。国家认证委员会(NBA)是AICTE的一个自治机构,负责在印度推广技术教育的国际标准[Ind4]。

6.3.6 日本的计算教育

在日本,与计算相关的学士学位专业有两种类型:侧重于计算的课程,如计算机科学,以及主要侧重于其他领域的专业。前一种类型中的大多数都属于工学学士学位或理学学士学位的大范畴。一些大学有更具体的名称,如信息学学士或计算机工程学士[Bac1]。对于那些第二种类型的学位,学位名称可能是,例如,商业和信息学学士,但学位的实际重点可能是在商业和设计等领域。在这些情况下,计算(信息学)将是学位的一个相对较小的部分。一项已发表的调查[Kak1]也描述了这种情况,其结果发现,在“计算”系中,有将近一半的学生在学习CC2005所定义的那些领域之外的计算领域。这样的学生属于跨学科系,例如一个专注于商业的系,其中有计算的成分。

即使是第一类学位,各大学在学生如何取得学位方面也有很大的差异,特别是在开始阶段。在一些大学,学生在第一年学习一系列基础课程,如物理、化学、数学和信息学。然后他们在第二年开始学习实际的专业。在其他大学,学生将在第一年开始他们的实际专业。计算机程序设计是任何计算相关学位的基本要求,突出了这种差异;一些大学在学生的第一年开设第一门程序设计课程,而其他大学则在第二年开设。

6.3.7 中东的计算教育

中东和北非(MENA)是一个由20个国家组成的复杂地区,人口近6亿。中东和北非国家的大多数大学都遵循ACM/IEEE的计算课程体系指南。例如,自2000年代中期以来,大多数国家/地区都遵循《信息技术本科学位专业课程体系规范指南》,即IT2017[Acm07]和以前的IT2008[Lun1]。这些报告推荐了程序设计以外的计算领域,并提供了开展项目、实习和研究的可能性,同时强调了提高学生实践经验的组成部分。这样的学位专业也促进了对就业市场需求变化的适应性,通过易于互换的特定专业提供深入的知识。因此,中东地区受人尊敬的信息技术专业在这些原则下获得了成功,它们成为该地区信息技术专业的典范。

中东和北非地区的计算对当地发展和现代技术非常重要。由于计算机渗透到生活的各个方面,该地区需要计算专家。为了应对计算领域国家能力的预期需求这一现实,

各国正在创建未来主义和专业的学术计算专业。例如,在沙特阿拉伯,未来主义的方法产生了需求量很大的计算机工程和计算机科学的创新专业,它导致了信息系统、软件工程和信息技术三个额外专业。该国的几所大学正在效仿这些创新,而且这一概念正在向该地区的其他大学传播。另一个例子是,二十多年来,以色列的高中像教授物理学、生物学和化学一样教授计算机科学。近年来,小学和初中在扩展的试点阶段引入了计算机科学。对于非计算专业的教师,政府建立了一个教师中心,因此没有教师感到孤立。该中心作为一个载体,教师可以与他们的同事联系,找到材料,并收到参加研讨会和会议的邀请。

在中东和北非地区,除了当地或政府的认证机构之外,许多计算专业还寻求 ABET 等西方机构的认证。此外,许多中东和北非国家已经开始努力使计算成为中学的核心或必修课程。这些课程将涵盖计算领域的基本主题、程序设计介绍以及智能设备的技术和程序设计。一些国家已经开始实施数字化转型计划,使之成为中级和初级学校的教育内容,以培养技术先进的一代。

6.3.8 拉丁美洲的计算教育

在拉丁美洲,一个典型的学位学习需要四到五年的时间,其中一些额外的内容专门用于一般科目,如文学、写作、数学、逻辑和其他相关科目。随后的几年则更多地集中在计算主题上。此外,拉丁美洲的学位有几个混合名称,大多以教授使用技术的方法为导向。拉丁美洲的学生在开始大学学习之前就选择了一个学位方向。大多数重点突出的学位在第一学期就开始学习计算。遵循国际建议的最好例子是巴西,该国提供明确的专业组。几乎所有的计算专业都以 ACM 和 IEEE-CS 的计算机课程体系中提出的指导原则为导向。此外,由于历史原因,智利的学位区分了民用(人民)工程师和军事工程师。类似的情况也发生在秘鲁、哥伦比亚、赤道几内亚和委内瑞拉。几十年前,IBM 曾影响了早期的计算机专业,根据 IBM 的职位名称,将计算专业的学位命名为“系统工程”,这一错误甚至在几十年后的今天仍然存在。墨西哥也努力将其专业的名称减少到计算机工程、计算机科学、信息系统和软件工程,人们在该地区通常称之为“信息化”。

6.3.9 北美的计算教育

在美国和加拿大,两年制学位和四年制学位包含了所有可能的学位结构。在美国和加拿大的这些四年制学位中,大多数都有理学士(BS)学位、文学士(BA)学位、工程学士(BE)学位或其他学士学位描述的名称。社区学院专业中的计算主题应相当于四年制专

业学习中至少一整年的学习。它还包括相关的数学和科学,作为计算专业的其他重要组成部分。额外的专业要求(通常称为通识教育要求),取决于专业和教育机构的特点和任务。美国几乎有一半的本科生就读于两年制学院,超过一半的首次上大学的一年级学生就读于社区和技术学院。两年制社区学院专业的学生经常获得副学士学位[Aac1]。两年制专业的机构和四年制专业的机构之间通常存在衔接协议,以促进两年制专业向四年制专业的无缝过渡。

6.3.10 英国的计算教育

在英国,计算机已经充分融入了中小学教育,并在国家层面制定了强制性标准。在英格兰,英国政府的教育部确定了这些标准。在威尔士和北爱尔兰,由当地政府制定标准,但这些标准与英格兰大致相同。在苏格兰,政府规定了涵盖小学和中学教育的卓越课程体系规范(CfE)。苏格兰教育部门规定了所有小学高年级和中学低年级学生的四年 CfE 课程。英国所有的大学都有计算机和相关学科专业,这些大学绝大多数都是公共机构。独立的高等教育质量保证机构(QAA)规定了计算课程体系的课外教学国家标准(post-school national benchmark)。例如,计算机科学基准[6]明确地遵循 ACM/IEEE 课程体系。英国计算机学会(BCS)对英国的计算机专业培养方案进行认证;其指导方针遵循 QAA 的声明[Bri1]。关于各国计算课程体系的更全面的概述,参见[Com1,Com2,Dep1,Edu2]。

6.4 全球经济与计算教育

全球数字经济继续推动就业机会的产生,也维持着已有的就业机会。这种数字经济的发展导致了对劳动力数量增加的大量需求。这种情况导致了劳动力短缺,因此学士学位专业的产出已经不足以满足劳动力的需求。教育界为了适应劳动力的需求,在短期专业的基础上创造了教育和培训的替代途径。社区(两年制)大学课程(通常是美国特有的专业)的学生入学率大幅提高。

此外,通过短期和在线专业(或自学)获得微证书的想法正变得越来越流行,专门用于短期培训的编码“训练营”和“学院”也是如此。这些市场力量对各种计算学科的影响尚不完全清楚。通常,这些短期专业的重点领域是基于与各种计算学科相关的“及时”市场情况。但是,对于这些短期专业,并不存在普遍接受的标准预期结果或胜任力。

6.4.1 创新空间

数字革命为世界提供了大量的新技术,改善了人们的生活。智能手机、医学图像、航空和航天、现代汽车、通信基础设施和工具以及复杂的视频游戏只是计算和数字技术所触及的少数应用。计算以某种方式影响着所有的人,新兴技术仍然处于起步阶段。

未来,人们有望对计算创新影响生活和计算教育的方式有更高的期待。计算教育必须足够灵活,以应对该领域的快速变化。接受现状的态度将很快使这些专业过时,或者其毕业生缺乏有酬就业的必要技能和人文气质。现代课程必须改变以适应技术创新的任何增长。

大学中似乎普遍出现的一项活动是创建创客空间实验室,特别是在工程和商业环境中。创客空间,例如在新西兰[Min1]中使用的创客空间,是建构主义运动的一部分,该运动允许学生(尤其是一年级学生)可以开放获取随时可用的材料,这些材料提供了现代技术的支持、可用于发明和创新的物品以及人工询问。创客空间现在正在世界各地的小学 and 高中兴起。他们将重点从教学转向学习。计算教育者可以关注这一全球运动,并考虑创建创客空间实验室,并将其使用作为其计算专业的初识和不可或缺的一部分。图 6.1 展示了两个创客空间实验室的示例 – 图 6.1(a) 显示了非洲 Open Air 的创客运动[Ope1],图 6.1(b) 显示了美国密苏里州圣查尔斯林登伍德大学的创客实验室[Lin1]。



(a) Open Air非洲创客运动中的创客空间



(b) 林登伍德大学的创客空间实验室

图 6.1 创客空间的示例

6.4.2 塑造学术专业培养方案的力量

本 CC2020 报告描述了七个基本类别的计算学士学位专业:计算机工程、计算机科学、网络安全、数据科学(正在开发)、信息系统、信息技术和软件工程。很少有学术机构提供超过三个这样的专业学士学位专业,尽管这种情况在未来十年可能会发生变化。与编写 CC2005 时的情况一样,提供学士学位专业的大学往往比较谨慎和保守。学术学位专业的复杂性使其难以快速实施重大变革。COVID-19 新冠疫情大流行使促进变革的能力更加复杂。

大学的学士学位专业通常会争夺潜在的计算机专业学生,有时甚至在同一机构内竞争。这种外部和内部学术力量可能会影响计算专业的质量,因为某些专业可能会降低其学术标准以招收更多的学生。一些高等院校甚至在该机构内创建实体(例如,继续教育学校),提供类似于该机构学术专业中所提供的精简课程,这些课程可能不适用于学术学位。

根据计算专业的目标和内容,有意向的学生应该在选择最符合他们愿望的专业时做出明智的选择。数学薄弱的学生可能不愿意攻读计算机工程学位或数据分析学位。考虑计算机工程或数据分析课程的学生应该意识到这些课程通常对数学要求较高。程序设计技能和熟练使用计算机语言似乎是计算机科学和软件工程专业标准。适合任何职业领域的胜任力集可以涵盖许多计算子学科的内容。

6.4.3 计算的创新

计算领域充满了发明和创新。创新意味着“将想法或发明转化为创造价值或客户愿意支付的商品或服务的过程。”[Dic1] 创新者经常将信息、想象力和主动性结合起来。创新的想法应该满足特定的需求,为社会带来利益,并且在经济上具有可复制性。

在计算背景下,创新有助于学生和专业人士创造创造性的方法来解决计算问题。创新通常是一个持续的过程。这种动态创新是通过技术或流程中的许多渐进式进步来实现的,比如硬件或软件的渐进式改进。当计算创新是激进的或革命性的时候,其应用可能会成为一项颠覆性技术。最近颠覆性创新的例子包括区块链技术和物联网。

人们常常认为,承担风险是创新的同义词。那些创造革命性技术的人应该准备好承担风险。学士学位专业的学生可能发现在学习期间很难成为创新者,尽管有一些反例。尽管如此,教师们应鼓励学习过程中可能出现的创新者,并为那些真正有希望成为创新者的学生提供支持。

6.4.4 计算领域的企业家精神

创业精神正在成为一个重要的研究领域,包括在计算领域。创业精神是指“为了盈利而发展、组织和管理商业企业及其任何风险的能力和意愿”。[Dic2]成功的关键因素是在瞬息万变的全球市场上推动创新、承担风险和成功的创业精神。

在计算课程中注入创业经验是非常可能的。商学院通常会教授此类课程。在最简单的形式下,计算专业的教师可以建议学生修读一门创业课程替代选修课程。技术选修课也可以采取同样的行动;一些学生(尽管不是全部)可能会从创业经历和额外的技术选修课中获益更多。一个更积极的方法是商学院的课程相结合,为计算专业的学生构建一个辅修课或系列课程。例如,一个学生选修两门创业课程,两门商业课程(例如市场营销和管理),以及两门课程的主要项目计算经验,就足以建立正式的辅修经验。

在当今世界,商业敏锐度可能与技术的计算知识一样重要。教师顾问可能有机会鼓励愿意承担风险的学生参加一些适合创业教育环境的课程组合。这些经验可能使他们终身受益,并为社会做出积极贡献。

6.5 专业精神与职业道德

专业精神和职业道德应该是任何计算课程体系规范的永久要素。以下讨论(6.5.1和6.5.2)摘自IT2017报告,阐明了这些要素可以成为计算专业培养方案的一部分的方式。

6.5.1 课程体系规范中的道德规范

将专业精神和职业道德纳入每个计算专业的背景中,必须是一种有意识的、主动的努力,因为许多材料已经融入了现有课程体系的结构中。例如,该专业的入门课程可以包括关于计算和互联网对社会的影响以及专业实践的重要性的讨论和作业。随着学生进入二年级课程,他们可以开始像专业人士那样,以需求、设计、测试文件和项目文件(如章程和项目报告)的形式,保留他们工作的记录。

额外的材料,如计算机历史、数字图书馆、解决不明确问题的技术、具有个人责任的团队合作、现实生活中的道德问题、专业标准和指导原则、法律约束和要求,以及道德论证的哲学基础,也可以出现在专门的课程中或分布在整个课程体系规范中。分布式方法的优点是在真实的应用领域中展示这些材料。另一方面,分布式方法也有问题,因为教

教师们常常为了给技术材料找到足够的时间而尽量减少专业精神和道德规范。然而,项目可以为这些材料提供一个自然的出口,特别是如果教师可以招募需要非关键系统的外部客户。当他们在社区参与服务学习项目或与外部客户合作时,学生开始从完全不同的角度看待道德行为的必要性。结果是,这些学生学到了更多关于如何满足客户不明确的问题的需求。然而,无论教师如何将专业实践纳入课程体系规范中,关键是他们要通过适当的评估来加强这些材料。

对于有足够数量的教职员工和资源的系,专门教授专业实践的课程可能是合适的。对于那些资源有限的系,这些内容应该在专业实践、道德、计算机法律等课程以及其他适当的课程中涵盖。此外,关于项目管理、财务管理、质量、安全和安保的更高级课程可能是经验的一部分。这些课程可以来自信息技术以外的学科,它们仍将对学生的专业发展产生深远影响。

6.5.2 职业道德工作

支持学生获得专业实践经验的学习环境包括以下要素[Acm07]。

- 评估
- 在传统课程评估(作业、项目、考试、演示、报告等)中适当加入专业实践的内容
- 对学生作业进行合理的测量,以显示学生的进步和提高
- 学生参与审查和评估过程
- 来自行业、政府或其他信息技术专业毕业生雇主的专业人士参与评估学生在实习、合作项目和外部客户项目中的表现
- 由专业协会验证的标准化测试
- 毕业后对校友进行调查,以了解校友对学校教育为其职业生涯所做准备的看法
- 专业认证以证明符合某些专业实践的教育标准
- 满足雇主需求的课程实验室,以确保学生获得专业经验

评估过程应鼓励学生采用良好的技术实践和高标准的诚信和道德规范。评估过程应该让学生对个人负责,即使他们在团队中集体工作。它应该具有一套一致的衡量标准,以便学生习惯于使用它们,并学会如何将它们与自己的进步联系起来。

6.5.3 文化敏感性和多样性

人们应该在全球背景下理解计算学位专业。认为“我们的学位专业”是计算学位专业的唯一存在方式可能会适得其反,尤其是在试图与不同的人进行合作和理解时。重

要的是,要意识到人们和他们所代表的计算学位专业之间确实存在文化上的相似性和差异。

普遍接受全球多样性在所有领域都是至关重要的,尤其是在如此多样化的计算机领域。那些可能对文化多样性不敏感的人应该探索获得更多知识的方法。计算专业的毕业生很可能会在全球范围内与专业人士互动,因此,培养对全球习俗和特征的敏感性,与同行进行有效沟通、认真倾听以及对时区和假期保持敏感,这对弥合文化敏感性差距有很大帮助。计算专业的毕业生可以通过学习更多他们将与之工作的人的全球习俗和礼仪而受益匪浅。

所有人都应该可以方便地使用计算机,特别是残疾人士。以计算技术为重点的辅助技术中心在全球范围内越来越普遍。这些中心的目标是使所有人类都能过上正常的生活。对有特殊需要的人的敏感度很重要。因此,教育者应确保课程体系和教育系统允许充分包容残疾人。他们还应该向学生传授必要的技能,因此计算机系统和应用程序也能实现充分的包容性。大多数国家都有针对这些问题的政策。

6.6 本章小结

本章鼓励读者认识到世界各地开展计算教育的丰富背景。本章简要地介绍了一些术语,指出同一个词可以用来表示不同的事物,而不同的词可以用来表示同一事物。CC2020 报告建议目标人群接受“计算”一词作为总体学科的名称。此外,不存在标准的学位结构,本章阐述了国家和地区之间的许多差异。本章还讨论了教育需求在多大程度上可能受到经济需求的驱动以及大学对后者的回应。最后,本章论述了道德操守和专业精神必须明确地纳入全世界的计算课程体系规范中。

第7章

课程设计——挑战与机遇

本章重点介绍了现代计算专业的发展所面临的一些挑战。本章还探讨了行业和政府如何通过专业顾问委员会、勤工俭学项目和实习,在现代计算类专业建设中发挥特殊作用。教育机构也必须积极支持现代高水平的计算专业发展,以造福其毕业生。

7.1 向胜任力转变

CC2020 报告概述了全球范围内与本科(学士学位)专业相关的计算教育。此外,本报告提供了许多观点和视角,旨在对之前的 CC2005 报告进行更新,并提出了未来课程规范的可能框架。

7.1.1 区分胜任力与知识

CC2020 报告的中心主题是,胜任力应成为描述计算课程体系的标准。无论有意与否,传统的以知识为中心的课程体系描述都过分地强调了为信息而信息。胜任力构建了一个扩展的教育视角,基于知识(知道是什么),运用技能(知道如何做),在目标驱动下(知道为什么)来完成一项任务并获得有价值的成果。这一扩展视角强调了在教育中学生学习的重要性,使毕业生具备专业从业者的能力,在工作中做到有效、熟练、符合道德标准。基于胜任力的课程体系三角设计(是什么、如何做、为什么)重新调整了教育方向,不仅促使学生有效且合乎道德地使用知识,也能服务于社会。

知识(即知识体系的知识)在教育中的地位依然重要,但正是在职业活动中有意识

地运用这些知识,对社会各个方面带来有价值的效益,才使得基于胜任力的课程体系描述与众不同。技能明确了在相关场景和环境中的成功实践所需熟练应用的知识。成功需要知识的熟练运用,而品行能够赋予从业者的行为以价值。相互交织的胜任力维度(知识、技能和品行)提供了一份全面的词汇来描述课程体系,该课程体系涵盖的学习目标适用于教师、学生以及教育机构面向的各行各业。

从这个意义上说,CC2020 鼓励计算专业创建良好的教育环境,并呼吁未来的课程体系和课程规范将胜任力纳入其框架和建议。

7.1.2 课程动态

计算课程体系始终处于不断变化的状态。持续变化的计算领域是动态的,几乎每天都会出现新的观点和发明。因此,计算课程体系必须是灵活的,能够应对各种变化。计算专业的学生和毕业生必须能够面对变革,并在推动变革方面具有创造性。

应对这一挑战的方法之一是将创新、创业和创客空间活动融入计算专业培养方案。虽然基础课程或核心课程很重要,但同样重要的是让学生体验新技术、进行发明创造,甚至有空间去想象他们可能想要从事的新方向。工程学科已经这样实施了一段时间,他们在第一学期的学习中就引入了工程探索实验室。非工程计算专业正在尝试这种行之有效的做法。如果希望自己专业的毕业生在迅速变化的计算世界中取得成功,计算专业培养方案应该有扎实的理念基础,并且能够去应对现代和未来学生体验的挑战。建议进行定期的专业认证,包括对培养实践技能的所有学科进行认证。

7.1.3 培养计算胜任力

教师的角色以及教师培养胜任力的方式对于培养优秀的计算专业毕业生非常重要。如第4章所述,胜任力是知识、技能和品行三者合一。没有一种单一的方式可以培养由这三个要素构成的胜任力。我们的目标是培养出来的计算专业毕业生能够胜任工作,或顺利进入研究生阶段学习,抑或以某种方式为社会做出建设性贡献。以下的讨论基于第4.3.2节中的简要描述,就如何培养学生的胜任力提出一些建议。

7.1.4 知识迁移

知识的迁移是学术研究和大学教育的基础。千百年来,教师一直在向学生传授知识。他们通过自己的学识,使用教科书、个人笔记和其他知识迁移机制来传授知识。他们通过测验、考试和其他评估方式来确定学生是否已掌握必要的知识。这是学生学习的传统

模式。

现在,学生可以通过非传统方式来学习一个学科的知识。常见的方法是利用互联网搜索某一主题的辅助材料或额外材料,如视频剪辑、维基百科、专业发展经验、慕课和其他可供公众使用的在线材料。鼓励学生探索这些资源可以帮助他们培养终身学习能力,因为学生从计算专业毕业后很长一段时间都必须继续学习。

除了传统的授课模式,现在还有许多其他知识迁移方式。教师可以鼓励学生以小组形式学习(如结对学习),创建由三到四个学生组成的学习小组(如团队),并向学生介绍其他学习策略。探索新的学习方法可以增强知识的学习,并让学生在相互交流中发展新的技能,在和他人共同学习中培养沟通能力和团队合作能力。

7.1.5 技能迁移

虽然教师掌握了知识,但可能有时不是特别了解学生所需的具体技能,而且往往认为学生能够在没有指导的情况下自主发展技能。

计算学术单位和院系应该确定一套学生在毕业时都应掌握的技能。由于各个计算专业具有独特性,因此无法限定其学术部门如何去培养这些技能。尽管如此,计算学术单位和教师应该提供指导,让学生知道如何将这技能作为胜任力的重要元素来进行发展。

7.1.6 品行迁移

教育工作者有时会缺乏对品行的认识,或者缺乏培养计算专业学生品行的方法。这也无可厚非,因为这可能不是他们自己专业教育的组成部分。第4章指出了十一种品行:适应性、协同合作、创新性、细致、热情、主动性、专业性、目标导向、责任心、响应式和自我驱动。其他类型的品行可能超过这十一种。

由于各个计算专业具有独特性,可能无法具体要求他们的学术单位应该如何去培养学生的这些品行。尽管如此,计算学术单位(例如院系)应该明确一组学生在毕业时所应具备的行为标准,其范围应该比所述的十一种品行更广泛。这些品行是胜任力的重要组成部分,计算专业教师以及学术单位应该指导学生如何培养这些品行。学生可以通过向个人或者同伴榜样学习,观察职场人士的工作态度,或者以专业人士的身份参加相关研讨会等方式来培养这些品行。

学生可以选修其他院系开设的课程,如社会科学和心理学,这些课程可能有助于学生品行的培养。尽管这些领域的课程在概念上(在知识层面)可能涵盖与这些品行相关

的主题,但并不意味着它们能帮助学生去培养这些品行。而且有些品行可能无法很好地跨情境迁移;在一个类别中表现出来的品行,可能不会迁移到另一个类别的真实情境中。学生只有通过跨领域的反复练习才能学会。此外,还可以通过榜样示范和文化熏陶来培养品行。教育机构需要有意识地通过“合作式”或“响应式”活动、课程体验、实习和其他互动体验,逐步塑造和培养学生的这些品质。

7.1.7 本土适应的需要

任何课程体系的设计都是一项艰巨的任务,一部分原因是这项任务与教育机构的特点以及教师的兴趣和专长密不可分。即使所有教育机构都能就本科教育的同一套知识、技能和品行达成一致,仍然有许多其他因素会影响课程设计。这些因素包括以下几个方面。

- 教育机构的类型及毕业预期。不同教育机构在使命、结构以及毕业要求上各不相同。在一个国家的一所小型院校中适用的课程体系,放在世界其他地方的一所研究型大学中可能完全不适用。

- 学生在大学毕业后的选择。一所主要目的是为行业培养熟练劳动力的教育机构,与一所为科研和研究生学习培养人才的教育机构相比,其课程目标可能会有所不同。每所学校都必须确保所提供的课程能够使学生为他们最终的学业和职业道路(包括那些当前兴趣以外的道路)做好必要的准备。

- 新生背景和入学要求。不同教育机构的学生,甚至通常同一个教育机构里的学生,在入学的准备程度上都有很大差异。因此,计算院系通常需要调整他们的引导型课程,以满足学生的实际需求。

- 教师资源。在一些学校,支持一个计算专业培养方案的教师数量可能不足五人,而在一所大型研究型大学中,这个数字也有可能超过一百。专业规模在很大程度上会影响其灵活性和选择余地。除了专业规模,教职员工也需要为如何使用有限的资源设定优先顺序。

- 教师的研究方向及科研水平。单个课程通常因特定的研究领域和院系的知识库而异。

想要创建切实可行的课程体系,就必须在这些因素之间找到平衡,这使得不同教育机构会做出不同的选择。没有任何一个课程体系适用于所有教育机构。所有大学和学院都需要考虑本文中提到的各种模型,然后设计一种方案以应对实际需求。

7.2 针对职场胜任力的业界参与

行业支持教育的一个重要方式就是在帮助学生成长方面发挥更大的作用。这些行业专家可以通过多种方式提供支持。

- 为教师提供方法和见解来培养他们任教学科的学生胜任力。
- 在项目中担任学生的导师。
- 向学生和教师做专题报告,介绍他们的公司、工作和发展历程。
- 担任兼职讲师,以实用的方式传授教学内容,充实大学的课程设置。
- 进行现场考察。
- 在专业研究、流程或软件工具方面,为教师和学生提供内部培训材料和 / 或课程。
- 探索行业赞助的顶级项目经验。
- 在行业顾问委员会任职,这项服务能使他们就学生的优点和缺点向学校和院系提供有价值的反馈。

通过上述每一种方式,私营和公共部门的企业都可以与为其提供未来雇员的教育机构建立重要的沟通渠道。

除了校园内的各种机会外,企业和政府还可以将教师和学生带到学术界以外的环境中,开展有效的专业实践。例如,学生和教师可以去当地公司进行实地考察,并与之建立良好的关系。

对于教师而言,他们与行业和政府的合作可以作为在课程中培养学生胜任力的途径。这样的联系也提供了互惠互利的机会,并且在教师和企业之间建立了更高的信任度。通过这些举措,雇主、学生和教师之间加深了彼此了解,也更愿意推动项目的发展。

从长远来看,合作、实训和实习的机会可以让学生更好地了解职场生活。此外,学生可能会对学习更感兴趣,并利用重新激发的兴趣来增强他们的就业潜力。学生还可以与特定的雇主建立联系,毕业后更有可能回到那家公司工作。

7.2.1 专业顾问委员会

工作组成员的经验表明,专业或行业顾问委员会对于建设高水平的计算专业至关重要。来自业界和政府的专业人士是了解职场需求的重要资源。这些组织可以成为连接计算专业与行业和政府需求的强大推动者。他们还在计算专业、学生和职业领域之间建立了个人联系。

因此,工作组成员建议每个计算专业都有一个专业的顾问委员会。理想情况下,顾问委员会应该每学期开一次会,也可以每年召开一次会议。顾问委员会的主席不应该是该专业的教职员工。可以通过会议纪要来记录顾问委员会的活动。也可以通过电子邮件或其他电子媒体来更新内容。一个专业顾问委员会还应该监督计算专业的培养目标,以确保培养目标与学校的使命和职场的要求保持协调一致。

7.2.2 勤工俭学和合作项目

所有计算专业培养方案都应该考虑将勤工俭学或合作项目作为其课程体系的一部分。通常,这些项目允许学生在毕业前进入行业或政府。这段经历可能设置在学生学业成熟时的一到两个学期,通常是在四年学制的第三年。这些项目通常会给学生学分,并允许学生在为公司或政府做贡献的同时获得工资。一些大学将合作项目经验作为一项要求,并相应地调整课程顺序。

合作项目既有好处,也有挑战。挑战之一是,学生可能会在正常期限(如四年)之后毕业。如果培养方案不是每学期提供必修课程,那么参加一学期合作项目的学生可能会损失两个学期的时间。因此,每个计算专业都应评估合作性的勤工俭学项目是否能满足自身需求并符合学生利益。

7.2.3 实习项目

与通常持续一整个学期的合作项目相比,计算专业培养方案应考虑将实习项目作为计算课程体系的必要组成部分。实习是短期经历,比如在夏季,常规课程不上课的时候。实习也可以是兼职经历,学生在一个学期内每周一天或者每周两个半天进入公司实习。实习是相当普遍的,世界各地的许多计算专业培养方案都要求将实习作为学生学业的组成部分。学生通常可以通过实习获得学分,而且在大多数情况下,企业会为学生服务支付报酬。

7.3 教育机构的资源需求

CC2020 报告和相关课程书籍为寻求发展或完善其本科专业培养方案的高校提供了重要的资源。然而,要成功地实施一个课程体系,每个高校都需要考虑广泛的战略和战术问题。本节列举了其中的一些问题,并说明了解决这些问题的方法。

7.3.1 吸引和保留教师

计算专业相关院系面临的最艰巨的挑战之一是如何吸引并留住高质量的教职员工。在计算领域,广告上登出的职位通常要比高质量的求职者还要多。申请成为教师的求职者稀缺,加之在学术界之外的计算机人才通常可以获得较高的薪水,使得高校难以吸引和留住教师。教育机构需要制定一种积极的方案来招募和保留教职员工;诸如入职礼包和调整教学职责之类的激励机制可能会产生有益的影响。此外,积极关注职业机构,与同行项目负责人建立社交联系,进而可以有机会见到和接触到潜在的教师候选人。与其他项目或教育机构合作或者开展跨学科合作也是一种潜在的策略。

虽然计算专业可以吸引相关专业领域的教师,但作为一个专业领域,必须要有一个经过专业训练、富有经验的核心教师团队。此外,教师必须密切关注领域的发展,保证自己能跟上相关领域的发展步伐。教育机构必须为教师的职业发展提供适当的便利条件,无论是通过科研、参加会议、学术休假(也许是在业界)、交流访问还是其他活动来实现。教育机构还应该像对待科研教员一样,认可、尊重和奖励教学教员。

7.3.2 需要足够的实验室资源

教育机构必须认识到,支持计算专业培养方案所需的资金资源是十分重要的。软件的购买和维护占据了总成本中相当大的一部分,尤其是包括课件和教学软件的开发成本。在硬件方面,采购及维护用于实验或提供给学生让他们自行开发系统的仪器设备是很昂贵的。另外,聘用足够的人员管理和维护实验室设施并提供辅导支持也会是一笔开销。因此,想要取得成功,计算专业必须取得足够的资金支持来满足师生的实验室需求,创建有利于学习的环境。

技术在飞速革新,然而计算机硬件却不能跟上技术的步伐,它们通常在无法正常运行之前就已经过时了。计算机系统,尤其是那些服务于高级实验室和安装了最先进软件工具的计算机系统,有效使用期可能只有两三年。因此,有必要制订计划,定期更新或替换计算机系统,并将其编入预算。计算课程通常包含许多必需的实验室,而且对实验室工作人员的需求也在增加,以协助材料的开发以及实验室教学。这一发展将增加建设高质量计算专业的成本。与相关行业密切联系,可以获得有趣和最新的案例研究材料,还可以为学生提供实习机会。定期更新实验室资源有助于不断激励新生。

最后,随着互联网上可以获得最新的参考资料,教育机构还应提供访问在线参考文献和资源的权限,诸如 IEEE Xplore Digital Library, the ACM Digital Library, AIS e-library,

Webinars, 电子书, 在线课程, 慕课以及其他相关可用的资源。这些资源可以在 ACM Learning Center 上查询。

7.4 专业质量保证和认证

专业认证是推动教育机构及其学位专业持续发展的一种方式。认证的学位专业必须符合一些特定的要求,以提高公众对这些专业的信心。

7.4.1 认证概述

认证可以在一个学术机构的不同层级进行。教育机构层面的认证可以证明一所大学是否达到合法的高等教育机构所必需的教学资源(如实验室或图书馆)和工作程序(如招生政策)的最低要求。类似的指导方针也适用于教育机构内部开设相关领域学位专业的部门(例如商学院)。对一个开设了各种专业的学术单位进行认证,可以为教育机构的认证建立一种模式,但更有针对性。

最详细的认证形式是对单个学位专业进行评估。独立组织或者政府机构也会参与其中,这些组织和机构为特定学科的学位专业建立质量标准。针对具体专业的认证涉及对学位专业的评审,以证明该学位专业符合既定标准,并且有严格的流程进行持续改进和发展。认证并不适用于每一个学科,但它确实适用于计算机学位专业。认证以及常规的认证标准通常包括学生满意度、教学设施和质量保证流程等方面。

在可以进行不同级别认证的国家,一个组织(例如,与政府相关的实体)可能会对大学进行认证,但不会对其计算专业进行认证。例如,美国的一所大学可能有未经认证的学位专业,即使该大学本身已经获得认证。计算专业的认证将由另外一所机构进行。值得注意的区别在于,一所大学或学院获得认证并不意味着它的计算机学位专业满足为计算学科建立的质量标准,除非计算专业通过了专门针对该专业的认证。

7.4.2 专业认证的好处

学科认证或专业认证可以为其所在的教育机构和专业带来了以下两大好处。

- 认证可以证明一个学位专业符合由独立的专业学会或科学协会或政府机构制定的最低质量标准。这将有助于教育机构推广自己的专业,并让公众和未来的学生对学位专业的质量充满信心。
- 认证专家团队会对专业进行现场咨询,专家会就专业的优缺点以及具体改进要

求提供专家意见。这种现场互动可以帮助教育机构更全面地了解其专业的开展情况,以及教育机构必须采取哪些措施来提高其办学质量。

因此,认证既有助于提高专业知名度,吸引学生报考,也提供了有助于质量提升的专家咨询。不过,一些教育机构可能并不需要通过认证来提高知名度。

一些教育机构致力于认证,主要原因是认证有助于他们保持和提高专业质量,从而进一步巩固机构的声誉。在一些国家,教育机构别无选择,因为认证是专业得以生存的必要条件。学科认证决定了一个候选学位专业是否符合一定标准。认证不仅评定该专业是否为足够的合格教师提供了合适的工作量,还评定该专业如何使用材料和布置任务,如何评估作业和考试,以及如何持续评估和改进。

职业机构也通过专业认证来确保学位专业至少在一定程度上满足其职业资格的要求。在某些情况下,学生必须从一个获得认证的学位专业毕业,才能从事某一职业。这意味着,对于那些希望从事某一职业的学生来说,仅仅获得相应学科的学位是不够的;更确切地说,他们必须从一个获得认证的专业中取得学位。一个学位专业不能选择其认证状态是否具备这些职业要求,而认证则能决定该国的专业学科通常应符合哪些标准。

对于认证最大的误解或许是认为教育机构追求专业认证只是为了获得公众形象的认可。那些不熟悉学科认证的人往往不了解认证在帮助一个专业了解如何提高课程和毕业生质量方面所起的重要作用。

7.4.3 质量保证

专业认证是证明一个学位专业符合独立质量标准的一种方式,但该标准的含义却不尽相同。标准的严格程度取决于认证机构的政策和实践,以及可能适用的任何政府法规。在某些情况下,认证可以证明学位专业达到了最低质量标准。在其他情况下,既有最低标准,也有更高标准。

虽然学科认证涉及专业质量,但不应对认证和质量之间的关系得出毫无根据的结论。要得出恰当的结论,必须熟悉学科和国家背景。缺乏专业认证并不意味着专业质量低下。反之,经过认证的专业也并不意味着这个专业就是高质量的。所有经过认证的专业都必须符合给定标准的最低要求,并没有质量的高低之分。

尽管如此,有几个方面可以反映出专业的高质量。其中包括优秀的教师,教师的工作量(使教师既能充分地专注于他们的课程,又能跟上相关领域的前沿发展),以及充足的师资支持和基础设施。此外,重要的是,要有证据证明有严格的程序来持续监

测和提高质量。

对于高水平的专业,将质量监控的过程与改进质量的措施相结合应该形成一个持续的循环。这个过程包括监察成效、计划及实施新的改进工作,以及评估结果;然后循环往复。正确地做到这一点并不难。然而,想要取得成功,需要一定程度的投入、纪律和信息共享。

7.4.4 全球认可

认证已经被许多国家所接受。尽管细节各不相同,但人们普遍认为,代表某个专业的专家小组会根据既定的标准来评审专业的质量,从而有助于建设高水平的计算专业。认证是强制性的还是强烈建议的,或是完全自愿的,在每个国家情况各不相同。一些国家有严格的专业标准,要求认证标准适用于任何大学或学院开设的每一个专业。而在另一些国家,认证是完全自愿的。

不同国家对认证的管理也各不相同。在一些国家(如澳大利亚、加拿大和英国),专业协会对各自领域进行专业认证。在其他国家(如美国),由指定的机构负责监督和/或执行认证。在一些国家(如爱沙尼亚和阿拉伯联合酋长国),由政府机构开展认证。

在一些计算学科中,认证机构也跨越国界进行合作。评审和认证程序的互认机制促成了一系列国际协议,例如工程专业的华盛顿协议、计算专业的首尔协议、技术专业的悉尼协议和都柏林协议。其他协议包括欧洲国家工程协会联合会(FEANI)和国际注册专业工程师(IRPE)。这类协议有很多签署国,但它们都有一个共同的目标,那就是促进专业人员跨国流动。也就是说,他们承认这些机构认证的专业在本质上是相等的。例如,澳大利亚计算机协会(ACS)对澳大利亚的计算专业进行认证;ABET对美国和其他国家的计算专业进行认证。ACS认证专业的毕业生和ABET认证专业的毕业生享有相互认可的就业和其他职业福利。

在美国,认证是自愿的,因为没有法律或法规要求学位专业必须获得认证。而实际上,一些计算学科比其他学科更愿意获得认证。例如,在计算机工程领域,存在强烈的专业团体意识,国家监管的工程师执照可以要求申请者需要持有ABET认证专业的工程学位。相比之下,工程之外的计算领域更像是一个由科学家和研究人员组成的松散网络,而不是由专业人员组成的紧密团体。从历史上看,对于非工程计算专业的认证没有强制性的职业压力。

7.5 本章小结

本章讨论了教育机构在调整其计算课程体系以适应当前环境方面所面临的挑战。强调了从基于知识的教学转向基于胜任力的学习,并相信这一转变需要在不同的教育环境下进行不同的管理。本章明确指出,大学有必要与业界合作,调整课程体系,并概述了进行合作的方式。本章还解释了教育机构必须采取哪些措施保持专业的认可度,并就教育机构如何应对相关专业的就业单位不断变化的需求和期望提出了一些建议。本报告最后总结了未来可能对计算教育产生重大影响的新兴技术。

第 8 章

CC2020 报告的未来发展

CC2020 报告对计算学科进行了调查研究,并提供了一个包含多个子学科的计算学科结构视图,其中包括了最近出现的一些子学科。对计算学科的研究是基于 ACM 和 IEEE-CS 批准的 2020 年已有的计算课程,目前包括网络安全和正在开发的数据科学课程。然而,本报告的重要贡献并不是对当前的学科进行定义,而是建立了基于胜任力的课程体系规范基础。这种基于胜任力的计算学科教育理念强化了先前的工作;明确了未来的发展方向,即胜任力模型将在未来普遍使用。在未来的计算课程体系开发中将重心转向胜任力的培养可能是这项工作最重要的贡献。要让这个核心观念产生影响,宣传和推广至关重要。本章就观念的推广以及向胜任力模型转变等方面展开讨论。

8.1 CC2020 及未来的技术趋势

本节介绍极度依赖计算并与各种类型的人类活动日益紧密结合的技术趋势。

8.1.1 前沿和新兴技术

前沿和新兴技术有可能对社会各个方面产生重大影响,如计算专业人员之间交流或互动的方式、进行商业活动、组织决策以及人们学习的方式。一些成熟的技术作为独立的研究领域存在于计算世界,并且有自己的课程体系规范(例如,网络安全、数据科学),而一些其他技术几乎没有走出研究实验室(例如,DNA 计算)。

“网络安全”和“数据科学”的课程体系已经是专门的研究领域。它们与计算领域密

切相关,有自己的课程体系规范报告(CSEC2017)[Acm08],或者报告正在准备的过程中[Dat2]。

第8.1.3节介绍的新兴技术反映了全球主要技术咨询公司和世界经济论坛(WEF)的趋势和报告。其中包括埃森哲(Accenture)[Acc1]、德勤(Deloitte)[Del1]、高德纳(Gartner)[Gar1]、英复德(Info-Tech)[ITec]、毕马威(KPMG)[Kpm1]和世界经济论坛(WEF)[Wef1]。

8.1.2 尚未获得认证课程体系的现有计算领域

本节中讨论的计算驱动系统和技术基础设施的四个领域已经存在,但它们尚未成为具有全球公认课程体系的学术学科。其课程可能存在于一个国家或地区,但没有得到权威机构(如ACM和IEEE)的认可。

物联网(Internet of Things, IoT)是指“数字技术与物理对象之间的互联系统,它使这些(传统上很普通的)物品展现出计算属性,并在人类干预或不干预的情况下彼此交互”。[Bai1]物联网技术使物理对象能够识别事物状态并将状态信息传送给类似的其他物体,并提供集中的数据收集机制,以实现协调的数据驱动操作。中国等一些国家在本科和研究生阶段开设了完善的物联网学位专业。

云计算(Cloud computing)是指在互联网或其他共享网络上提供计算能力(特别是数据存储和处理能力)作为网络服务的一种计算操作,通常根据使用情况来收费,并由服务提供商管理。云计算本质上实现了以下想法:提供计算能力和存储能力(基础设施即服务)、与平台服务(平台即服务)集成的基础设施或作为商品服务的应用程序(系统即服务)。

狭义人工智能(Narrow artificial intelligence),也被称为“弱人工智能”,其在狭窄的、定义明确的环境中支持特定的任务。弱人工智能已经存在于各种各样的系统中,以协助人类的决策。通用人工智能(强人工智能)和超级人工智能(模仿并通常超过人类能力的人工智能形式)目前尚不存在。然而,在伦理和道德角度,这一领域已经处于激烈的争论之中。

高性能计算(High-performance computing, HPC)是指以每秒千万亿次的计算速度处理数据和执行复杂计算,比普通高速计算机快多个数量级。HPC对于当今流行的计算领域至关重要,如人工智能(artificial intelligence, AI)、网络空间分析(cyber analytics, CA)、数据科学与工程(data science and engineering, DSE)和物联网(IoT)。高性能计算领域的多样性给其教学带来了挑战。由于高性能计算的重要性,从计算学科到非计算学科,从本科到研究生阶段都需要高性能计算教育。近年来,各种基于实践的高性能计算教学

和人才培养方法得到了广泛的认可和实施[Che1,Che2,Che3]。但是,将高性能计算融入计算和工程课程体系仍然存在诸多挑战[Che3 p2,Raj1 p5]。创建包含一系列 HPC 知识、技能和品行的胜任力模型可能会为将来的课程体系开发提供有用的指导[Raj1 p7]。

8.1.3 新兴计算领域

数字化体验(digital experience)是指在从小型可穿戴设备到大型工作站等一系列不同的数字平台上,为各种组织目标人群(如客户)提供个性化和持续性的体验。用来描述这组技术的术语包括:数字化体验(digital experience)(Accenture 用来指 5G 增强现实);多重体验(multi-experience)(Gartner 用来指与数字世界交互的多种渠道);数字体验(digital experience)(Deloitte 将其定义为人类体验平台),例如使用集成的 AI 功能,基于个人的行为、偏好和情感,个性化定制的情感智能数字化体验。其他创新的计算领域包括:分布式账本技术(distributed ledger technology),人工智能(artificial intelligence),扩展现实(extended reality),量子计算(quantum computing), (这四个领域简称为 DARQ, Accenture 将其称之为的一组关键性的新兴技术),以及数字现实(digital reality)(Deloitte 确定其为宏观力量之一)。

此外,**交互技术领域(interactive technologies)**正在迅速从传统的指向 / 点击 / 滑动界面转向大多数用户会觉得更自然的界面(比如说话和手势,未来可能还有思考)。这些技术中有许多与其他功能相结合,通过现实与虚拟的融合来增强用户体验,这些技术通常被称为增强现实、虚拟现实或混合现实。

环境计算(ambient computing)是指人类与技术之间的交互体验与自然的人类体验紧密结合的情境,在这种环境中技术变得“不可见”。这一现象有多种描述方式,例如, Gartner 称之为人体增强、Deloitte 称之为数字现实(即增强现实 / 虚拟现实,AR/VR)、混合现实、语音接口、语音识别、环境计算、360° 视频和沉浸式技术。其他技术包括 Deloitte 所描述的环境体验,即输入方式从非自然演变为自然(如说话、手势和思考),人类和技术之间的交互从被动(如回答问题)转变为主动(如提出意想不到的建议),以及可穿戴设备,这些技术被 KPMG 和 WEF 确定为未来主要发展趋势。

认知技术(cognitive technologies)领域经常被用来指解决复杂的组织和社会问题的各种人工智能技术。例如,Deloitte 将这些功能的类别划分为机器人流程自动化、文本和语音自然语言处理、机器学习和计算机视觉。这些类别的其他表述包括 Accenture 提出的“人工智能和我”(AI and me),以及 Gartner 提出的由人工智能和机器学习支持的超级自动化。其他与认知技术相关的领域包括机器学习、神经网络、机器人流程自动化、机

机器人、自然语言处理,以及 Deloitte 提出的更广泛人工智能领域,还有 Accenture 提出的 DARQ 技术中的人工智能。

区块链或分布式账本 (blockchain or distributed ledger) 是指一组技术,该技术允许一组参与者以可验证和永久性的方式在共享数据存储环境中维护分布式交易记录。区块链最初以作为加密货币的基础技术而广为人知,但其潜在的应用领域已经扩展到金融服务、合同管理、健康记录、供应链物流、教育成果等更多领域。示例报告中提到的分布式账本技术有不同的名称,如 Accenture 的 DARQ 技术之一、Gartner 的实用区块链技术、Deloitte 宏观力量的区块链分布式账本技术,以及 WEF 的分布式账本技术。

机器人技术 (robotics) 是在过去几十年发展起来的,如今汇集了广泛的专业领域来创造非人力产品 (包括有形的和无形的),以便在日益丰富的环境中执行各种任务。机器人技术最著名的应用领域可能是制造业,但最近在许多其他领域的发展也非常迅速,包括仓储、医疗、军事行动,甚至商业流程。报告中提到的机器人技术有很多表述方式,比如 Accenture 对机器人技术应用领域的广泛扩展,Gartner 的自主化设备,以及 Info-Tech 的共生机器人。

量子计算 (quantum computing) 将广泛的学术学科和工业研究实验室活动结合在一起,形成一种新型的计算模式。该计算模式利用亚原子粒子水平的量子现象来解决传统计算模型无法解决的复杂问题。Deloitte 选择量子计算机作为其宏观力量之一,并将其核心贡献定义为解决某些高度复杂问题的能力,这些问题对于目前的超级计算机来说都过于庞大和混乱,涉及从数据到材料科学的广泛领域。

虽然数据隐私 (data privacy) 和数字伦理 (digital ethics) 本身并不是技术,但需要注意的是,每一代新的数字技术,以及本小节中提到的所有技术,都提出了关于人与技术之间关系的重要问题。隐私通常是这些问题的首要背景,但实际上,问题的范围要广泛得多。Gartner 的透明度和可追溯性以及 Info-Tech 的数据公平性是支持隐私和道德伦理的两个方面。

8.2 公众参与和 CC2020 项目

重要的是,CC2020 项目的成果应该向全世界公众开放。CC2020 项目要想取得成功,就必须让公众参与进来。实现这一目标的一种方法是通过交互式网站,另一种方法是通过由专业机构、工业界和政府发起的大力宣传和推广。

8.2.1 CC2020 项目网站

CC2020 项目已经建立了一个初步网站,公众可以在那里获得有关该项目的信息。这些信息包括 CC2020 报告的最新文档、关于 CC2020 项目结构的信息、胜任力和可视化示例,以及其他附带材料。

项目网站的一个重要补充功能是将来它能够让学生、家长、业界、政府专业人员以及教师与项目网站进行动态互动。这包括不同计算学科培养方案的比较,同一计算学科内培养方案的比较,胜任力的对比,以及其他有趣的活动。该项目的这一动态发展正在进行中,并将在 CC2020 报告发布之后持续进行。

8.2.2 课程体系与胜任力相互关联

正如 CC2020 报告前几章指出,CC2005 项目侧重于知识和基于知识的学习,与之相比,“胜任力”的概念是 CC2020 项目的显著特征。重要的是,未来的课程活动和课程体系规范的制定都应考虑采用胜任力模型。工作组成员认识到,今后的工作需要作出更大的努力,在品行、技能和知识之间取得适当的平衡。然而,由于大多数(可能 99%)计算专业的毕业生将进入工业、政府或其他工作机构,因此所有未来的课程体系开发人员都应该采用基于胜任力的方法。

8.2.3 项目推广

CC2020 项目需要在全球范围内进行推广。这项工作需要专业组织和协会以及教育机构的支持来推动,这应该是在 CC2020 报告发布后的几年中持续进行的工作。

项目的推广应激发人们对基于胜任力的学习和课程结构产生新的兴趣。推广活动应促进新的研究,获得拨款资助,以培养能胜任行业工作的毕业生,并为研究生或学士学位后的教育做好准备。CC2020 项目应该成为这些工作的催化剂。

8.3 胜任力在未来课程体系指南中的作用

CC2020 报告强调胜任力是 CC2020 项目的显著特征之一,并对胜任力进行了详细解释和描述。这些表述可能有助于制定各种学科的统一规范。如前所述,基于胜任力的方法有助于计算学科之间的比较。前面也提到,胜任力意味着达到专业的卓越水平和表现,而不仅仅是掌握一个领域的知识,还包括在职场的技术技能和个人品质都应达到合

适的水平。现在重要的工作是,在一个共同的参考框架内,将基于胜任力的理念扩展到未来课程体系指南的制定中。

8.3.1 最新课程体系开发

CC2020 工作组成员认为,在当前和未来的计算课程体系报告中使用胜任力,这将是 CC2020 报告的一个重要成果。在当今世界,毕业生除了学科知识之外,在职场还必须具备适当的技术技能和人文素养。

ACM 于 2017 年 12 月发布了名为 CSEC2017 的网络安全学科课程体系项目。该项目采用传统的“知识领域”、“知识单元”和“学习成果”方法来制定其学科建议和学习目标。与 CC2020 项目平行开展的另一项工作是 ACM 数据科学课程体系项目。这项工作的领导者已承诺将胜任力作为其项目的一个持续主题。关于信息系统学科的课程体系规范指南目前正在进行修订,计划于 2021 年完成。这份报告将以基于胜任力的模式呈现。

8.3.2 未来课程体系开发

鉴于大多数计算专业毕业生在毕业后都将进入职场工作,因此,所有计算专业都应 为他们的毕业生做好充分的准备,使他们能够成为专业人员,开展富有成效的工作。虽然 CC2020 报告只能提出建议,但工作组成员相信,世界各地的计算专业人员、组织机构和学科专业都会采纳报告中的建议并做出改变,使胜任力成为他们未来工作的核心。

当然,其他课程体系,例如软件工程、计算机科学和计算机工程,在未来将继续修订和更新。工作组成员希望未来所有的课程体系规范都会采用基于胜任力的方法。

8.4 胜任力倡导

使用胜任力的统一表述来描述课程体系、工作和职业,这一理念使计算学科的所有参与者都能达成一致的立场。为了使这项工作取得成功,所有参与者都应该就表述的细节达成一致。未来新课程体系规范的制定者应该采取一些方法来支持统一使用基于胜任力的方法。工业界、学术界和专业团体需要在这个方面共同努力。这项工作还应组建一个利益共同体来监督其发展。

计算专业协会有必要发挥领导作用,在制定示范课程体系标准中采用胜任力模型。工作组成员建议,计算专业协会应成为任何目标人群联盟的成员,并且专业协会可以要

求在未来的示范课程体系开发过程中使用胜任力模型。工作组成员还建议,胜任力的发展应采用本报告所倡导的结构,既要有平实的语言陈述,又要有明确的知识、技能和品行这三个构成要素,这有助于进行可视化呈现和比较分析。

CC2020 项目已经为建设一个高质量的公共网站平台打好了基础,该网站能够对胜任力目标进行适当的分析,并提供职业探索和相关建议。这个网站应该提供不同类型的计算机职业信息,以及不同类型的学位培养方案信息,这些信息将帮助人们为从事计算职业做好准备。该网站可以提供多种功能,例如根据相似程度比较大学专业培养方案,以及培养方案与标准课程体系(如信息系统的示范课程体系)之间的相似程度,还有教育方案与特定工作和职业之间的相似程度。

当使用者获得胜任力方法的经验时,胜任力的有效性就能体现出来。一旦各种计算学科有了基于胜任力的详细规范,就有可能在学科之间产生比较直观的分析,类似于CC2005 报告中专门的可视化呈现,但具有更正式的结构基础。

8.5 未来活动

以下列表总结了未来几年应开展的与课程体系相关的发展活动。

- 将 CC2020 报告添加到“计算课程体系指南系列”。
- 为“计算课程体系指南系列”中每一册指南的修订工作制定新的时间表。
- 大力倡导将基于胜任力的方法(而不仅仅是基于知识的学习)作为未来所有计算课程体系开发工作的一部分。
- 鉴于计算领域的飞速发展,考虑对计算课程体系报告进行更频繁的修订,也许每六年修订一次,而不是像过去每十年或十二年修订一次。
- 为更频繁地修订课程体系寻求支持。
- 不断收集有关“计算课程体系指南系列”中每一册指南的反馈。
- 建立新的流程来持续评估“计算课程体系指南系列”中每一册指南是否充分有效。
- 改进当前计算专业培养方案的可视化方法。
- 开发计算专业培养方案可视化的新方法。
- 勇于创新,探寻新的计算课程体系领域,并将其添加到“计算课程体系指南系列”。

上述规划活动将提升全球的计算教育。受益者是将要进入这些计算专业的学生,以及这些专业的毕业生,他们将发现自己有能力胜任职场工作或者在学业上继续深造。

8.6 本章小结

当前的计算领域和计算教育比以往任何时候都更加重要。本章强调了在专业组织和教育机构的支持下,在全球范围内推广 CC2020 报告的必要性。CC2020 项目进一步倡导,当前和未来的所有计算课程体系都采用胜任力方法,以便更好地培养未来的计算专业人员。本章最后介绍了今后几年应开展的与课程体系相关的工作。



／ 致 谢 ／

CC2020 项目感谢为这项重要工作做出贡献的组织和成员。该项目感谢国际计算机学会 (ACM)、电气与电子工程师协会计算机分会 (IEEE-CS)、信息系统协会 (AIS)、信息系统和计算学术专业人士教育特别兴趣小组 (EDSIG/ISCAP) 以及 ACM SIGCHI。其他获得认可的项目合作者还包括,如日本信息处理学会 (IPSJ)、中国计算机学会 (CCF)、拉丁美洲计算中心 (EL Centro Latinoamericano de Estudios en Informática, CLEI)、ACM 印度、GRIN (意大利计算机科学家协会)、ACM 欧洲、Informatics 欧洲、I4All 和 West Texas A&M 大学。

CC2020 项目感谢来自 ACM 的 Yan Timanovsky、ACM 教育委员会联合主席 Jane Prey 和 Mehran Sahami 以及 Microsoft 的 Chris Stephenson,感谢他们在使该项目成为可能方面给予的帮助和支持。CC2020 项目还感谢密西西比州立大学国家战略规划与分析研究中心 (NPARC) 对本项目 Web 开发的支持,以及对该项目相关出版开支的支持。

CC2020 项目还感谢参与该项目的许多人员,包括 CC2020 工作组及其指导委员会以及附录 J 中列出的人员,他们为该项目做出了贡献,并在 CC2020 报告的进展过程中自愿抽出时间来审查 CC2020 报告。

附录 A 解释 CC2005 课程体系规范可视化的海报

计算领域

计算，是需要计算机、并从计算机中受益、或创造计算机的目标为导向和电子与电气工程协会计算机分会 (IEEE-CS) 赞助了一组报告，指出了向的活动。是一个充满活力和挑战性的学术和专业领域。计算的扩展 计算学科之间的共性和差异。这张海报提供了对这些报告的综合解读，突出了计算机工程、计算机科学、信息系统、信息技术和软件工程这五个主要的计算学科。为了相关的，但彼此截然不同，要计算学科的问题空间域、主要知识领域和核心能力。

国际计算科学会 (ACM)、信息系统协会 (AIS)

计算机工程



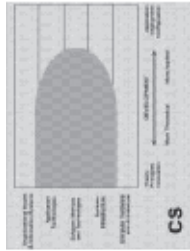
主要知识领域

- 计算机体系结构与组成
- 计算机系统工程
- 数字逻辑
- 编程基础
- 分布式系统
- 电路与系统
- 电子学

核心能力

- 设计并实现计算机系统、计算机控制设备和通信软件
- 维护涉及软硬件集成的计算机系统

计算机科学



主要知识领域

- 软件开发基础
- 算法与复杂性
- 软件工程
- 编程语言
- 离散结构
- 系统基础
- 计算机体系结构与组成

核心能力

- 设计并实现软件
- 开发对计算问题的解决方案
- 优化编程解决方案
- 证明理论结果
- 设计使用计算机的新方法

信息系统



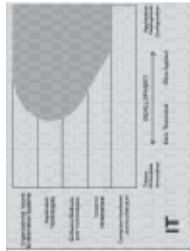
主要知识领域

- 信息系统基础
- 数据和信息管理
- 信息系统策略、管理与获取
- 企业架构
- 系统分析与设计
- 信息技术基础设施
- 项目管理

核心能力

- 改进组织流程
- 利用技术创新
- 定义信息需求
- 设计企业架构
- 安全数据和基础设施
- 管理信息系统风险

信息技术



主要知识领域

- 技术支持
- 编程基础
- 信息管理
- 信息技术基础
- 系统集成
- 数学基础
- 人际沟通

核心能力

- 培训和支持用户
- 计划、配置和维护信息系统基础设施
- 系统基础设施
- 建模、设计、选择、配置和管理数据库
- 配置和集成业务应用程序

软件工程



主要知识领域

- 计算要点
- 软件建模与分析
- 软件设计
- 软件验证与确认
- 专业实践
- 数学与工程基础
- 项目管理

核心能力

- 做小规模和大规模的编程
- 开发软件系统
- 管理软件项目
- 实现信息系统
- 定义信息技术需求

来源

CC (2006). 计算课程体系规范2005—概述报告. ACM, AIS与IEEE-CS联合推出.
CE (2004). 计算机工程本科学位培养方案课程体系规范指南. IEEE-CS与ACM联合推出.
CS (2013). 计算机科学本科学位培养方案课程体系规范指南. ACM与IEEE联合推出.
IS (2010). 信息系统本科学位培养方案课程体系规范指南. ACM与IEEE联合推出.
IT (2008). 信息技术本科学位培养方案课程体系规范指南. ACM与IEEE-CS联合推出.
SE (2004). 软件工科学位培养方案课程体系规范指南. IEEE-CS与ACM联合推出.

Produced by

Filipe de sa-Soares, PhD-fss@dsi.uminho.pt
Department of Information Systems
Centro ALGORITMI
School of Engineering
University of Minho
Guimarães, Portugal



May 2014
Version 1.0

计算技能框架

IEEE 计算机学会 [Cos1] 的一份报告中介绍了不同的技术和信息技能。企业信息技术知识体系指南 (EITBOK) [Ent1] 是成功交付对所有企业至关重要的计算服务通常所需的高级知识领域的概要。EITBOK 定义了信息技术 IT(计算)专业的关键知识领域,它体现了 IT 领域公认的良好实践的概念,适用于大多数 IT 活动。该报告强调了全球范围内的能力。框架能够识别在企业 IT 工作场所中履行职责和履行职责所需的技能和能力。讨论的框架包括信息时代的技能框架(SFIA) [Sfi1], 欧洲能力框架(e-CF) [Eur1] 和日本的 i 胜任力词典(iCD) [Icd1]。SFIA 和 e-CF 对 MSIS2016 报告产生了重大影响。

B.1 信息时代的技能框架

SFIA 技能和胜任力框架于 2000 年首次发布,在过去的 15 年中已真正全球化,在 180 多个国家 / 地区使用。它有 10 种语言版本:英语、德语、西班牙语、阿拉伯语、日语、中文、法语、波兰语、意大利语和加拿大法语。SFIA 最初是为英国开发的,以二十世纪 80 年代的举措为基础,从一开始就旨在满足行业和企业的需求,使他们能够规划、获取和发展所需的技能和胜任力。SFIA 框架是技能和胜任力的全球通用语言,支持组织用来确保他们拥有所需技能和胜任力的技能和胜任力管理流程(图 B.1)。

非营利性 SFIA 基金会的成立是为了维护 SFIA 框架并支持全球 SFIA 生态系统。有一个治理委员会,包括英国计算机协会和工程技术学院,一个国际 SFIA 理事会,有行业代表来领导基金会的活动,以及一个国际设计管理局委员会,负责监督和批准 SFIA 框

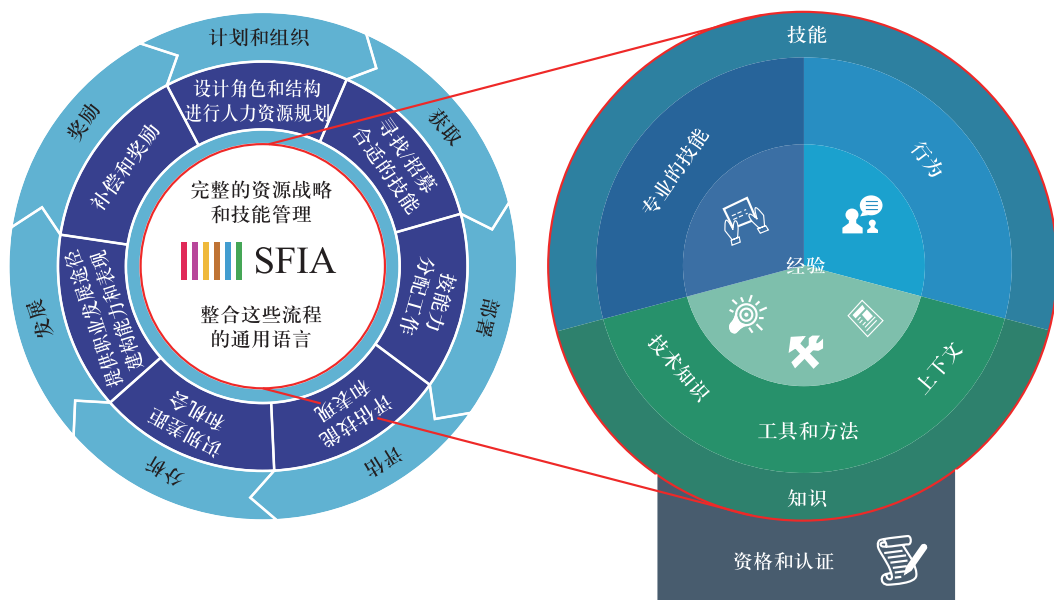


图 B.1 SFIA 的背景——行业中支持技能和胜任力的发展

架及其支持资产的最新情况。SFIA 不接受来自政府或商业利益相关者团体的中央资金。它通过许可证模式获得资金,该模式允许大多数用户(组织和个人)在免费许可证下使用 SFIA。大型分布式组织和商业开发每年的许可费不高。SFIA 框架和所有 SFIA 支持资产都可以从 SFIA 网站上看到和获得[S61]。

SFIA 框架使用完善的公开咨询流程进行更新,该流程涉及整个行业和世界各地的志愿者,以造福 IT(计算)行业 and IT 专业人员。例如,IEEE 计算机协会是 2018 年软件工程更新的重要贡献者。每 3 年发布一次版本,通过这一公开咨询流程反映行业不断变化的技能和胜任力需求。SFIA 7 是最新版本,已于 2018 年更新。SFIA 8 的征求意见版本还在进行中,计划于 2021 年第三季度发布。来自任何技术领域或国家的任何人都可以为 SFIA 框架的更新做出贡献。

SFIA 技能和胜任力框架汇集了行业需要的许多要素,包括专业技能、行为、知识、资格和认证,重点是执行技能或胜任力的经验,因为这正是行业所重视的(图 B.1)。个人拥有特定级别的技能,因为他们已经展示了在真实情况下在该级别执行特定技能(技能、行为和知识)的经验。

SFIA 框架有 7 个责任级别(作为一个维度),每个级别都有 5 个通用属性(自主、影响、复杂性、知识和业务技能),每个属性在每个 SFIA 级别(作为第二个维度)进行描述(图 B.2)。

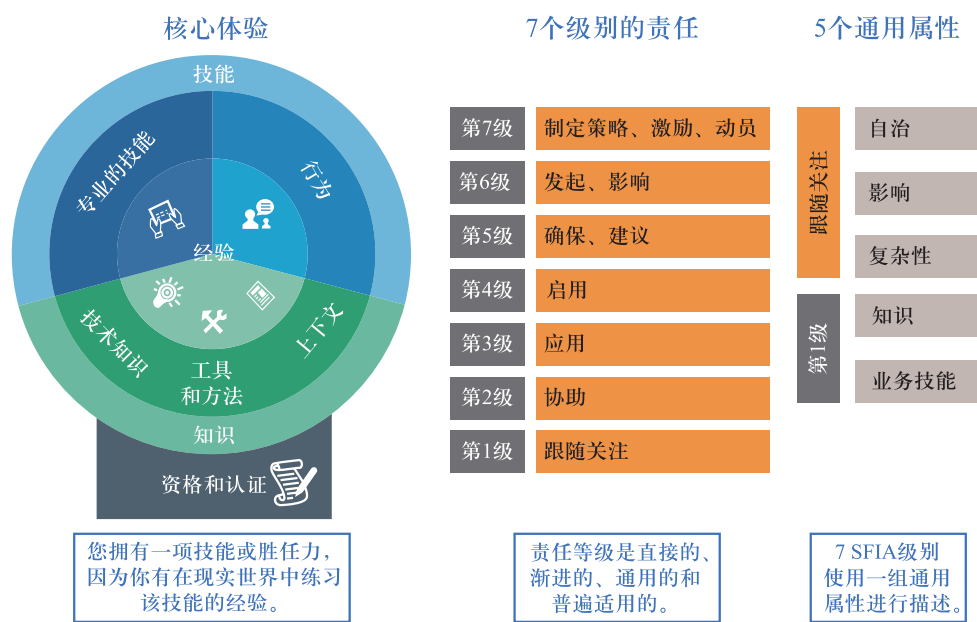


图 B.2 SFIA 背景——核心体验

然后,SFIA 在每个合适的 SFIA 级别(图 B.3)识别并定义跨 IT 和支持领域(作为第三维度)的 102 个专业技能。

SFIA 框架明确承认知识,但没有定义所需的特定知识,因为它高度敏感(技术、领域、工具和方法学、手段和国家要求,例如当地的地方性法规要求);知识也在迅速变化。因此,SFIA 在处理知识时,取决于上下文,它们与许多可能适当的知识体系有联系。目前,SFIA 网站上提供了 37 个 BoK 的链接,包括 EITBOK、SWEBOK、SEBOK、NIST、CYBOK 等。

SFIA 框架认识到资格和认证的重要性和地位,但未列出具体要求。这是因为它们对上下文高度敏感,可能只反映知识回顾(而不是对经验的验证)。虽然 SFIA 没有规定特定的资格和认证,但许多专业机构使用 SFIA 作为其专业认证计划的基础,通常分两个级别——技术员、SFIA 3 级和特许或认证 SFIA 5 级;一个专业机构也使用 SFIA 7 级进行 CIO 认证。

SFIA 技能和胜任力通常按类别和子类别分组(图 B.3),但这些分组纯粹是为了便于在整个框架中导航。还采用了一致的结构和样式来进一步辅助导航:例如,使用技能名称、技能代码、技能描述(独立于级别)描述技能,然后用技能级别描述每个适当级别的技能。

SFIA 的标准视图(图 B.3)是全球公认的。SFIA 基金会还针对特定环境发布了替代的 SFIA 视图,包括:数字转换视图、软件工程视图、DevOps 视图、信息 / 网络空间安全视图、大数据 / 数据科学视图。其他 SFIA 视图正在准备中。这些 SFIA 视图可从 SFIA 网站上获得。

SFIA 框架和全球 SFIA 生态系统的一个关键方面是它的开放性——所有 SFIA 资产都可以从 SFIA 网站轻松获得,其中包括核心文档集、完整的 SFIA 参考、SFIA 摘要图表和 Excel 文件中的 SFIA 框架(10 种语言)。这种访问使组织能够建立自己的内部技能和胜任力支持门户,或将 SFIA 上传到其公司人力资源或学习和开发系统中。

SFIA 框架可轻松扩展以涵盖其他领域(EIT/ICT 之外),许多组织在内部执行此操作,或在每次 SFIA 更新期间提出建议。SFIA 的开放性是双向的——正如 SFIA 基金会提供 SFIA 框架一样,它也欢迎增强和更新的想法,以及为内容的创作、审查和支持做出贡献的努力。

B.2 技能和欧洲胜任力框架

来自欧盟的欧洲电子胜任力框架(e-CF)提供了在 ICT 职场表现所需的 40 项胜任力的参考,使用了一种在整个欧洲都可以被理解的共同语言,用于胜任力、知识、技能和熟练程度。整个欧洲的公司和组织使用 e-CF 来支持 ICT 部门相关人力资源规划和开发的透明度、流动性和效率。

作为欧洲资格框架(EQF)的第一个特定行业实施,e-CF 可供 ICT 服务、需求和供应组织以及管理人员和人力资源部门使用。此外,它们对教育机构和培训机构很有用,包括高等教育、专业协会、工会、市场分析师和政策制定者,以及公共和私营部门的其他组织和政党。该框架的结构基于图 B.4 所示的四个维度。

有五个 e-CF 熟练程度级别,即 e-1 到 e-5,与 EQF 学习级别 3 到 8 相关。表 B.1 显示了对 EQF 级别的描述[Eur3]。

表 B.1

e- 胜任力级别	EQF 级别	e- 胜任力级别	EQF 级别
5(最高)	8	2	4 和 5
4	7	1	3
3	6		

维度 1	五个电子胜任力 (e-Competence) 领域源自 ICT 业务宏观流程计划 - 构建 - 运行 - 启用 - 管理。维度 1 的主要目的是促进通过框架进行导航。
维度 2	一套针对每个领域的参考电子胜任力 (e-Competence), 以及每个胜任力的一般描述。总共确定的 40 项胜任力提供了该框架的欧洲通用参考定义。
维度 3	每个电子胜任力 (e-Competence) 的熟练程度提供了 e-Competence 级别 e-1 到 e-5 的欧洲参考级别规范, 这些级别与 EQF 级别 3-8 相关。
维度 4	与维度 2 中的电子胜任力 (e-Competence) 相关的知识和技能示例。提供它们是为了增加价值和背景, 并非详尽无遗。

图 B.4 e-CF 框架的四个维度

与 SFIA 一样, 并非所有技能都受制于所有五个级别。图 B.5 显示了每种技能的胜任力水平的分布。

维度1 5个e-CF领域 (A-E)	维度2 40个被认可的e-胜任力	维度3 e-胜任力熟练水平 从e-1到e-5, 与EQF级别3-8相关				
		e-1	e-2	e-3	e-4	e-5
A. 计划	A.1. IS和业务战略的一致性					
	A.2. 服务水平管理					
	A.3. 商业计划制定					
	A.4. 产品/服务规划					
	A.5. 架构设计					
	A.6. 应用设计					
	A.7. 技术趋势监测					
	A.8. 可持续发展					
	A.9. 创新					
B. 创建	B.1. 应用开发					
	B.2. 组件集成					
	B.3. 测试					
	B.4. 解决方案部署					
	B.5. 文档制作					
	B.6. 系统工程					
C. 运行	C.1. 用户支持					
	C.2. 变更支持					
	C.3. 服务交付					
	C.4. 问题管理					

维度1 5个e-CF领域 (A-E)	维度2 40个被认可的e-胜任力	维度3 e-胜任力熟练水平 从e-1到e-5，与EQF级别3-8相关				
		e-1	e-2	e-3	e-4	e-5
D. 启用	D.1. 信息安全战略发展					
	D.2. ICT质量战略发展					
	D.3. 教育和培训规定					
	D.4. 购买					
	D.5. 销售提案制定					
	D.6. 渠道管理					
	D.7. 销售管理					
	D.8. 合同管理					
	D.9. 人员发展					
	D.10. 信息和知识管理					
	D.11. 需求识别					
	D.12. 数字营销					
E. 管理	E.1. 预测发展					
	E.2. 项目和投资组合管理					
	E.3. 风险管理					
	E.4. 关系管理					
	E.5. 流程改进					
	E.6. ICT质量管理					
	E.7. 业务变更管理					
	E.8. 信息安全管理					
	E.9. IS治理					

图 B.5 欧洲胜任力框架概述

B.3 技能和 i 胜任力词典

i 能力词典 (iCD)[Icd1] 由日本信息技术促进机构 (IPA) 开发和维护。它由一个综合的任务词典和相应的技能词典组成。任务词典包含 EIT(企业信息技术)外包商或 EIT 部门预期完成的所有任务,而相应的技能词典提供执行这些任务所需的技能。

图 B.6 到 B.11 中的图表显示了如何构建任务和技能词典以便一起使用。在任务与技能表中列举了胜任每项任务所需的技能。这些图表显示了完整 iCD 中包含的任务和技能的数量。可以从 IPA 网站[Ipa1]获得完整的 iCD 任务词典(第 1-4 层)和技能词典(第 1-4 层)。

B.3.1 任务词典

任务词典旨在供公司和组织使用和应用,以确定符合其组织战略或组织计划的任

务。任务用于定义其组织功能和人员角色。字典的结构假定了广泛的企业活动,使任何一种商业模式的公司都可以使用和应用它。任务字典由四层组成,分为三个任务层和任务评估项目层,如图 B.6 所示。

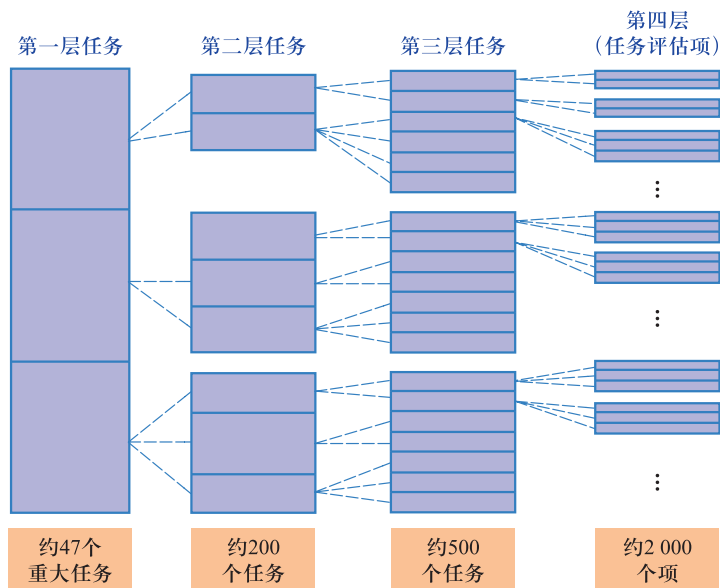


图 B.6 iCD 任务字典结构

B.3.2 任务字典图表

任务字典图表(图 B.7)可用于在第 1 层任务级别上获得整个任务字典的鸟瞰图。该图以垂直线(战略、规划、开发、利用、评估和改进)为组织生命周期,以水平线(规划与执行、管理与控制、促进与支持)表示与整个生命周期相关的任务组成的任务结构。

B.3.3 任务评估诊断级别和标准的示例

图 B.8 将任务诊断级别与诊断标准相关联。诊断标准可应用于任务评估项目或适当层的任务,以评估一个人的任务执行能力。级别从 L0 到 L4。该诊断标准可应用于个人,通过汇总所有部门成员的结果,为每个部门获得总任务执行能力。

生命周期			计划与执行		管理与控制		促进与支持	
策略	规划	发展	ST01	业务运营策略的制定	CM01	线路管理	CM01	市场营销
			ST02	业务运营策略的理解和制定支持	CM02	业务连续性管理	CM02	复用
			ST03	产品与服务策略制定	CM03	网络安全安全管理	CM03	采购与外包
利用率	评估与改进		PL01	IT战略制定与执行推进	CM04	质量管理	CM04	标准制定、维护和管理
			PL02	系统规划	CM05	合同管理	CM05	标准制定、维护和管理
			DV01	系统需求定义与架构设计	CM06	合规性	CM06	数据科学
			DV02	运营设计	DV014	项目管理	CM07	通过创造新价值开发新产
			DV03	过渡设计			CM08	
			DV04	基础设施系统建设			CM09	
			DV05	应用系统开发	US06	服务管理		
			DV06	软件产品开				
			DV07	嵌入式软件开发				
			DV08	网站开发	US01	服务台		
			DV09	系统测试	US02	运营控制		
			DV010	过渡与安装	US03	系统运营管理		
			DV011	软件维护	US04	网站运营管理		
			DV012	软硬件产品安装	US05	设施运营管理		
			DV013	设施设计与施工	EV01	系统评估与改进		
					EV02	IT战略评估与改进		
					EV03	产品与服务战略评估与改进		
					EV04	业务运营策略评估与改进支持		
					EV05	业务运营策略评估与改进		
					EV06	资产管理与评估		

图 B.7 iCD 任务字典字符

诊断水平	诊断标准
L0	没有知识或经验
L1	拥有基于培训的知识
L2	可以在支持下进行或有这样的经验
L3	可以独立进行或有这样的经验
L4	可以指导他人或有这样的经验

图 B.8 任务评估诊断级别和标准的示例

B.3.4 技能词典

技能是处理相关知识项以执行任务所需的能力。技能词典由四层组成,分为三个技能层和相关知识项,如图 B.9 所示。技能词典引用和分类来自世界上主要知识体系 / 过程和技能标准的项目。

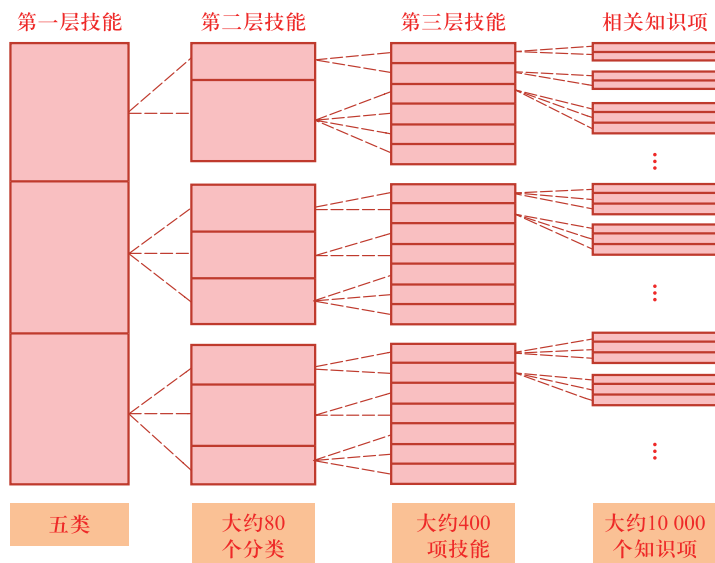
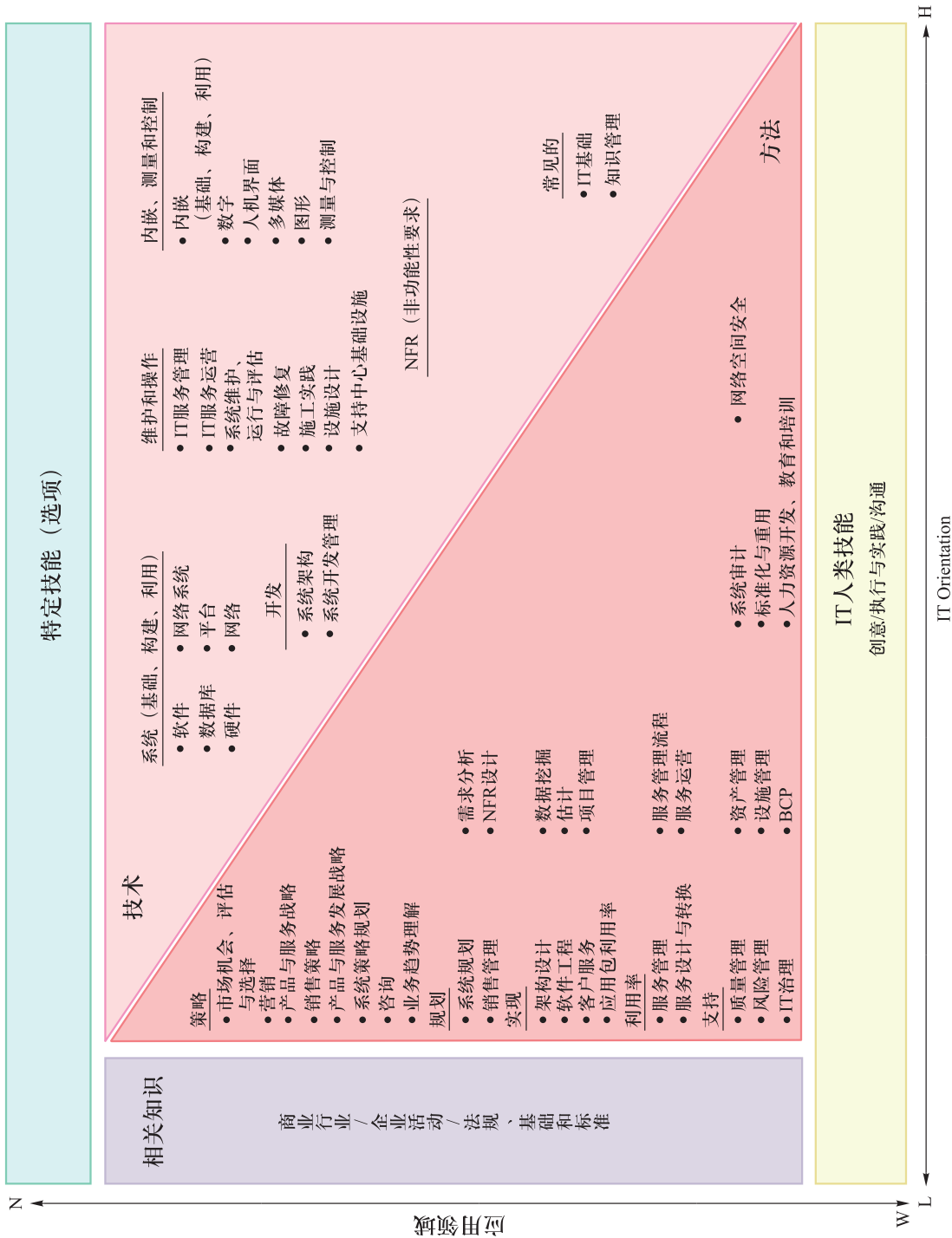


图 B.9 iCD 技能词典结构

B.3.5 技能词典图表

技能词典图表(图 B.10)可用于在第 1 和第 2 技能层上获得整个技能词典的鸟瞰图。



技能词典根据技能特征分为五类:方法论、技术、相关知识、IT(人类)技能和特定技能(可选)。这张图表代表了从 IT 方向(水平线:高-低)和应用领域(垂直线:宽-窄)的角度来看的技能结构。

B.3.6 技能熟练程度

图 B.11 中的图表使用七个级别的技术熟练标准来衡量技能熟练水平。1 级至 4 级标准根据技术 / 方法 / 相关知识的内容而有所不同。技能熟练程度 4 级是完成任务技能的最高获取级别。5 到 7 级标准是跨类别定义的,并根据专业人士的社会贡献程度进行评估。

第 7 级	具有对市场有影响力的行业领导者水平的技能		
第 6 级	具有行业公认贡献者水平的技能		
第 5 级	在相关协会和组织内公认的贡献者水平的技能		
第 4 级	能够制定考虑非功能性需求、跳出既定策略、并通过高级信息技术考试的最佳解决方案的水平	已掌握并能选择最合适的方法,并能根据情况自由运用方法	能够与他们所涉及的行业或业务的高级管理人员讨论需要做的事情
第 3 级	能够创建功能需求,并在有限的情况下独立工作	能根据问题应用正确的方法,并在现场运用方法并得出结论	对所涉行业和业务中的 IT 相关问题点提出解决方案
第 2 级	有实施经验,如果有技术指导可以使用和应用技术	能够使用该方法进行分析,或者能够在指导下使用该方法	了解所涉行业和业务中与 IT 相关的问题点
第 1 级	具有一定的知识,理解技术内容的讲座和演示	理解关于该方法的讲座和演示,理解并能解释它是什么,并能理解有关该方法的教科书	了解并能说明所从事的行业和业务,了解证券报告等公开信息
类别	技术	方法	相关知识

图 B.11 技能熟练程度

B.4 通过企业信息技术获得的技能

随着企业 IT (EIT) 和 ICT 总体上在全球范围内变得不可或缺,对胜任力的重视已经变得国际化了。EIT 和 ICT 源于对胜任力、知识、技能和熟练程度的通用语言需求的日益增长的理解,这种语言可以跨越国界理解的。通用框架能够识别在 EIT 工作场所成功

履行职责和履行职责可能需要的技能和能力。它们为 EIT 员工的选拔和招聘提供了共同基础,并为 ICT 专业人员的就业协议、专业发展计划和绩效评估奠定了基础。

许多国家和地区政府已经开始要求对 EIT 从业人员进行认证。因此,他们不得不制定自己的 ICT 胜任力定义。鉴于 EIT 劳动力日益国际化,EITBOK 包含了来自三个正在成为区域间主要框架的信息。总的来说,这些框架致力于对胜任力达成共识,例如,e-CF 将其定义为“应用知识、技能和态度以实现可观察结果的能力”。

初步的胜任力草案一示例

在 CC2020 项目开始时,工作组专家小组探讨了针对不同计算学科的胜任力陈述。为了完成这项任务,这些专家使用了一个隐含的过程来生成胜任力草案。IT2017 报告已经通过腾出知识领域/单元方法,以及消除学习成果和主题来指定胜任力。它在一组基本和补充域集合中发布了这些胜任力。

本附录提供了一种生成计算机工程、计算机科学、信息系统和软件工程胜任力草案的初步方法。它还包括 IT2017 报告中已发布的胜任力,以及信息系统硕士培养方案的胜任力草案。这些胜任力由工作组分组在 2017–2018 年创建,没有使用第 4 章中所述的集群模型。相反,工作组分组使用了下文 C.1 节所述的“常识方法”。

C.1 CC2020 胜任力初步探索

对于每个既定的计算报告 (IS2010、CS2013、SE2014、CE2016),项目团队的各自专家使用了基于知识的策略而不是胜任力方法。综合输出产生了从这些已发布的报告中得出的数千个学习成果。掌握一门学科的所有学习成果是无法实现的。

C.1.1 起草胜任力

通过使用结构化或算法方法,CC2020 工作组的一些成员将四份本科课程报告中的基本学习成果转化为胜任力。这项活动并不容易,因为胜任力的含义很新颖,并且因为胜任力在计算教育中的创新应用。尽管如此,CC2020 指导委员会还是创建了一个焦点

小组并将其分为多个分组,每个分组均由上述计算学科之一确定。

2017—2018 年,每个分组使用 IT2017 规范定义

胜任力 = 知识 + 技能 + 品行[在某背景下]

六个多月的时间里,这些分组为各自的计算学科建立了胜任力原型。每个学科的胜任力草案陈述数量各不相同;三打是一个目标数字。IT2017 报告已经有 47 项陈述的胜任力,因此它不是这些分组活动的一部分,尽管其已公布的胜任力是本附录的一部分。

C.2 节中的子节描述了计算机工程、计算机科学、信息系统和软件工程胜任力分组的工作结果,以及为信息技术发布的胜任力分组的工作结果。它还包括从信息系统硕士(MSIS2016)报告中生成的胜任力。在总结生成的胜任力之前,以下内容描述了用于制定胜任力声明草案的程序或“算法”。

C.1.2 培养胜任力的策略

由于 CC2020 报告侧重于本科培养方案,因此最好使用非相关课程规范指南作为此任务的模型或示例。在这种情况下,MSIS2016 报告是一个很好的候选者。其中,“业务连续性和信息保障(Business Continuity and Information Assurance,BCIA)”课程领域可以作为一个例子。MSIS2016 报告的第 16 页有一个说明区域,描述如下。

业务连续性和信息保障胜任力领域主要涉及信息系统的连续性、审计和保障。它通常涵盖风险规避、安全管理和质量审计等领域。与业务连续性和信息保障相关的具有挑战性的问题涵盖从战术和战略到技术和运营层面。它们通常涉及一系列流程,从管理(如政策和标准制定)到实践技能(如系统应急和恢复计划)。

根据此描述,生成 BCIA 胜任力草案的第一次尝试可能是以下设置。

- A. 分析业务连续性和信息保障的政策和标准,并将结果提交给一组同行。
- B. 规划用于在灾难恢复情况下管理安保和安全的程序、操作和技术。
- C. 监控小公司信息系统内硬件和软件的保护和增长。

请注意,对于每种胜任力,动作动词(分析、计划和监控)描述了所需的技能。所需的知识在于活动的内容。处置的概念出现在活动的背景下,例如向一组同行展示、制定有用的程序或监控小公司的活动。

当然,还存在许多其他可能性,并且胜任力集不是绝对的或唯一的。BCIA 的胜任力草案集必须考虑发展的背景。因此,两个不同的研究生培养方案很容易拥有不同的胜任力。

另请注意,在 2018 年,要为 BCIA 或任何计算领域生成胜任力,需要胜任力满足胜任力的规范定义,即知识 + 技能 + 在某背景下或任务中的品行。知识来源于 IS 内容的语料库。技能是指为了取得成就而采取的知识活动。品行是在工作场所实践计算和信息系统的专业人员所期望的集体人类属性或特征。

对“品行”进行简单搜索会产生数十种属性,包括第 4 章表 4.3 中所述的 11 种属性。IT2017 报告的作者和四个分组的成员做出的假设是每个人(毕业生)都拥有这些与生俱来的特点,但侧重点或比例不同。例如,对于“守时”品行属性,毕业生 X 和毕业生 Y 都具有此属性。然而,毕业生 X 可能更倾向于守时,而毕业生 Y 可能是一个更好的团队合作者。

C.2 按学科起草胜任力

本节描述了 2018 年 5 月完成的计算机工程、计算机科学、信息系统和软件工程四个胜任力分组的工作成果。它还包括信息技术领域和信息系统的研究生培养方案。它不包括网络空间安全,因为分组在该项目结束之前就开始了他们的工作。

C.2.1 计算机工程胜任力草案

下面的计算机工程材料包含相同 CE 胜任力的两个版本。CE 分组曾多次讨论是否应将“品行”维度作为独立声明包含在内,或将品行嵌入到每个胜任力声明中。左列显示了在项目 B 中具有(人类)品行的前一个版本。右列显示了具有嵌入品行的后一个版本。CE 工作组是中立的,这是首选代表。

<i>Self-contained Disposition Version</i> 独立声明的品行描述版本	<i>Embedded Disposition Version</i> 内嵌的品行描述版本
对于每个知识领域: A. 向技术受众者传达计算机工程历史的基本要素,包括工具、标准和约束的开发。[历史与概述; 相关工具、标准、约束] B. 以适当的环境方式运用所有 CE 能力,表明对道德、文化、背景和人际关系的适度考虑。[品行 – 人的因素]	对于每个知识领域: A. 向技术受众者传达计算机工程历史的基本要素,包括工具、标准和约束的开发。[历史与概述; 相关工具、标准、约束]

续表

<i>Self-contained Disposition Version</i> 独立声明的品行描述版本	<i>Embedded Disposition Version</i> 内嵌的品行描述版本
CE-CAE — 电路和电子 1. 使用电子设备分析和设计电路,并在使用这些组件的新系统和现有系统的背景下进行创新,以在不同复杂程度的基础上创建新功能,并牢记所涉及的权衡。 [历史与概述;工具和标准;电量、元件和电路;电子材料与器件;MOS 晶体管;数据存储单元]	CE-CAE — 电路和电子 1. 为使用电子设备的本地工程公司分析和设计电路,并在使用这些组件的新系统和现有系统的背景下进行创新,以在不同复杂程度的基础上创建新功能,并牢记所涉及的权衡。 [历史与概述;工具和标准;电量、元件和电路;电子材料与器件;MOS 晶体管;数据存储单元]
CE-CAL — 计算算法 1. 设计和 / 或实现经典和特定于应用程序的算法,包括在与用户和客户的尊重和有意义的交互中,通过工程、营销、商业或法律约束内的相关工具在多线程算法中并行。 [相关工具;算法 – 常见的,分析,策略] 2. 使用复杂术语的顺序分析算法的正确性、效率、性能和复杂性,并向专业或非专业人士诚实、全面地呈现分析结果。 [算法复杂性;调度算法;可计算性理论]	CE-CAL — 计算算法 1. 设计和 / 或实现经典和特定于应用程序的算法,包括在与用户和客户的尊重和有意义的交互中,通过工程、营销、商业或法律约束内的相关工具在多线程算法中并行。 [相关工具;算法 – 常见的,分析,策略] 2. 使用复杂术语的顺序分析算法的正确性、效率、性能和复杂性,并向专业或非专业观众诚实、全面地呈现分析结果。 [算法复杂性;调度算法;可计算性理论]
CE-CAO — 计算机体系结构与组成 1. 管理计算机硬件组件的设计,并将这些组件集成在一起,以提供完整的硬件系统,这些系统功能可靠且高效地展示了对构思它们的设计范围上下文的敏感性。 [测量性能;处理器组成;分布式系统架构;多核 / 众核体系结构;外围子系统] 2. 模拟和评估并行和串行的硬件解决方案的性能,以及在设计复杂硬件系统时涉及的权衡,考虑内存和算术单元的设计,以及使用适当的指标表征系统性能。 [处理器组成;内存系统组成与体系结构;计算机算术;输入 / 输出接口和通信]	CE-CAO — 计算机体系结构与组成 1. 为多学科研究项目管理计算机硬件组件的设计,并集成这些组件,以提供完整的硬件系统,这些系统功能可靠且有效地展示了对构思它们的设计范围上下文的敏感性。 [测量性能;处理器组成;分布式系统架构;多核 / 众核体系结构;外围子系统] 2. 提交一份报告,讨论并行和串行硬件解决方案的性能的模拟和评估,以及在设计复杂硬件系统时涉及的权衡,考虑内存和算术单元的设计,以及使用适当的指标表征系统性能。 [处理器组成;内存系统组成与体系结构;计算机算术;输入 / 输出接口和通信]

续表

<i>Self-contained Disposition Version</i> 独立声明的品行描述版本	<i>Embedded Disposition Version</i> 内嵌的品行描述版本
CE-DIG — 数字设计 1. 使用适当的工具,设计数字电路,包括布尔代数的基本构建块、计算机编号系统、数据编码、组合和顺序元素。 [工具和标准;编号系统和数据编码;布尔代数;数字逻辑,组合和顺序] 2. 使用可编程逻辑设计控制或数据通路电路,并考虑相关的系统设计约束和可测试性问题。 [控制和数据通路;可编程逻辑;系统约束;故障模型及测试] CE-ESY — 嵌入式系统 1. 设计和 / 或实现基本和高级 I/O 技术,包括同步和异步以及串行 / 并行,包括中断和时间考虑。 [并行 / 串行 I/O;同步 / 异步 I/O;中断和计时] 2. 在非电子设备中设计并实现一个嵌入式系统示例,包括传感器反馈、低功耗和移动性。 [数据采集和传感器;嵌入式系统特性;低功耗操作] CE-NWK — 计算机网络 1. 在相关标准和利益相关者群体的需求的背景下,开发、部署、维护和评估无线和有线网络解决方案的性能,并展示对该地区的基础和历史的认识。 [历史和概述;相关工具、标准] 2. 考虑到安全和隐私方面以及解决方案对公民和社会的影响,将一般网络能力与物联网中的集成解决方案联系起来。 [网络体系结构;局域网和广域网;网络协议;网络应用;网络管理;数据通信;绩效评估;无线传感器网络]	CE-DIG — 数字设计 1. 使用适当的工具为制造商管理计算机系统的设计,设计数字电路,包括布尔代数的基本构件、计算机编号系统、数据编码、组合和顺序元素。 [工具和标准;编号系统和数据编码;布尔代数;数字逻辑,组合和顺序] 2. 使用可编程逻辑为小公司设计一个控制或数据通路电路,并考虑相关的系统设计约束和可测试性。 [控制和数据通路;可编程逻辑;系统约束;故障模型及测试] CE-ESY — 嵌入式系统 1. 向一组同行展示基本和高级 I/O 技术的设计和实现,包括同步、异步和串行 / 并行,包括中断和时间考虑。 [并行 / 串行 I/O;同步 / 异步 I/O;中断和计时] 2. 为专业研讨会设计和实现一个非电子设备中的嵌入式系统示例,包括传感器反馈、低功耗和移动性。 [数据采集和传感器;嵌入式系统特性;低功耗操作] CE-NWK — 计算机网络 1. 根据相关标准和利益相关者群体的需求,为制造商开发、部署、维护和评估无线和有线网络解决方案的性能,并展示对该地区的基础和历史的认识。 [历史和概述;相关工具、标准] 2. 考虑到安全和隐私方面以及解决方案对公民和社会的影响,将一般网络能力与物联网中的集成解决方案联系起来。 [网络体系结构;局域网和广域网;网络协议;网络应用;网络管理;数据通信;绩效评估;无线传感器网络]

续表

<i>Self-contained Disposition Version</i> 独立声明的品行描述版本	<i>Embedded Disposition Version</i> 内嵌的品行描述版本
CE-PPP — 专业实践准备 1. 分析沟通技巧在团队环境和计算机工程小组环境中的重要性,讨论并确定这些技巧如何有助于优化组织目标。 [沟通与团队合作] 2. 评估在解决涉及政治背景下系统开发的计算机工程问题时,维持全球关系所必需的哲学和文化属性。 [哲学、文化和社会问题] 3. 开发硬件策略,包括与全球工程公司相关的专业、法律和道德考虑。 [专业、道德和法律问题] 4. 评估当前计算机工程项目面临的问题,并使用商业敏锐度和成本/收益分析制定有效的项目计划。 [当代、商业和管理问题]	CE-PPP — 专业实践准备 1. 分析沟通技巧在团队环境和计算机工程小组环境中的重要性,讨论并确定这些技巧如何有助于优化组织目标。 [沟通与团队合作] 2. 评估在解决涉及政治背景下系统开发的计算机工程问题时,维持全球关系所必需的哲学和文化属性。 [哲学、文化和社会问题] 3. 开发硬件策略,包括与全球工程公司相关的专业、法律和道德考虑。 [专业、道德和法律问题] 4. 评估当前计算机工程项目面临的问题,并使用商业敏锐度和成本/收益分析制定有效的项目计划。 [当代、商业和管理问题]
CE-SEC — 信息安全 1. 评估当前网络空间安全工具在提供数据安全性、侧信道攻击和完整性方面的有效性,同时避免技术和人为因素造成的漏洞。 [数据安全和完整性;漏洞;网络和 Web 安全;侧信道攻击] 2. 设计一个网络空间安全解决方案,提供资源保护、公钥和私钥加密、身份验证、网络和 Web 安全以及可信计算。 [资源保护模式;秘密和公钥密码学;消息身份验证码;身份验证;可信计算]	CE-SEC — 信息安全 1. 撰写一份报告,评估当前网络空间安全工具在提供数据安全、侧信道攻击和完整性方面的有效性,同时避免技术和人为因素造成的漏洞。 [数据安全和完整性;漏洞;网络和 Web 安全;侧信道攻击] 2. 为提供资源保护、公钥和私钥加密、身份验证、网络和 Web 安全以及可信计算的网路公司设计一个网络空间安全解决方案。 [资源保护模式;秘密和公钥密码学;消息身份验证码;身份验证;可信计算]
CE-SGP — 信号处理 1. 设计信号处理系统,应用采样和量化的知识,以桥接模拟和数字域。 [变换分析;频率响应;采样和混叠;光谱] 2. 评估信号处理挑战(例如检测、去噪、干扰去除)以支持选择和实现适当的算法解决方案,包括非递归和递归滤波器、时频变换和窗口函数。 [相关工具、标准和约束;卷积;窗口函数;多媒体处理;控制系统]	CE-SGP — 信号处理 1. 与工程团队一起设计信号处理系统,应用采样和量化知识连接模拟和数字域。 [变换分析;频率响应;采样和混叠;光谱] 2. 评估信号处理挑战(例如检测、去噪、干扰去除)以支持选择和实现适当的算法解决方案,包括非递归和递归滤波器、时频变换和窗口函数,并将结果呈现给电子工程团队。 [相关工具、标准和约束;卷积;窗口函数;多媒体处理;控制系统]

续表

<i>Self-contained Disposition Version</i> 独立声明的品行描述版本	<i>Embedded Disposition Version</i> 内嵌的品行描述版本
CE-SPE — 系统和项目工程 1. 管理一个需要对系统(硬件和软件)进行分析的项目,包括系统需求、技术(包括功能和性能需求)和适用性、可用性和包容性方面,从整体的角度来制定规范和评估可靠性。 [项目管理原则;用户体验;风险、可靠性、安全性和容错性;需求分析和提取;硬件和软件流程;系统规范;系统架构设计与评估;并行硬件和软件设计;系统集成、测试和验证;可维护性、可持续性、可制造性] CE-SRM — 系统资源管理 1. 考虑到经济、环境和法律的限制,分析单用户、移动、网络、客户端—服务器、分布式和嵌入式操作系统、中断和实时支持在管理系统资源和硬件、软件元素之间的接口方面的作用。 [操作系统的历史和概述、管理系统资源、移动设备操作系统、并发处理支持] 2. 为标准和虚拟系统设计和实施适当的性能监控程序。 [实时操作系统设计,系统性能评估;支持虚拟化] CE-SWD — 软件设计 1. 评估和应用程序设计范式和语言来解决各种各样的软件设计问题,同时注意包括可维护性、效率和知识产权约束在内的权衡。 [程序设计结构和范式;解决问题;历史与概述;相关工具、标准、约束] 2. 设计软件测试,以在完整的软硬件系统环境中评估子系统的各种性能标准(包括可用性、正确性、正常故障和效率)。 [软件测试与质量]	CE-SPE — 系统和项目工程 1. 为需要对系统(硬件和软件)进行分析的组织管理项目,包括系统需求、技术(包括功能和性能要求)和适用性、可用性和包容性方面,从整体的角度来看工艺规范和评估可靠性。 [项目管理原则;用户体验;风险、可靠性、安全性和容错性;需求分析和提取;硬件和软件流程;系统规范;系统架构设计与评估;并行硬件和软件设计;系统集成、测试和验证;可维护性、可持续性、可制造性] CE-SRM — 系统资源管理 1. 考虑到经济、环境和法律限制,分析单用户、移动、网络、客户端—服务器、分布式和嵌入式操作系统、中断和实时支持在管理系统资源和硬件、软件元素之间的接口方面的作用。 [操作系统的历史和概述、管理系统资源、移动设备操作系统、并发处理支持] 2. 预先为一个组织设计和实施适当的性能监控程序的标准和虚拟系统。 [实时操作系统设计,系统性能评估;支持虚拟化] CE-SWD — 软件设计 1. 为制造商写一份关于程序设计范例和语言的评估和应用报告,以解决各种各样的软件设计问题,注意权衡,包括可维护性、效率和知识产权约束。 [程序设计结构和范式;解决问题;历史与概述;相关工具、标准、约束] 2. 为一个工程团队设计软件测试过程,在一个完整的硬件—软件系统环境中,评估子系统上各种性能标准(包括可用性、正确性、正常故障和效率)。 [软件测试与质量]

起草胜任力数量 = 24

计算机工程分项工作组成员

Barry Lunt (牵头)

Olga Bogoyavlenskaya

Eric Durant

John Impagliazzo

Arnold Neville Pears

C.2.2 计算机科学胜任力草案

AL- 算法和复杂性

A. 向一组同行展示可能导致特定算法不同行为的条件或假设的数据特征,并从分析中说明实证研究,以验证有关运行时度量的假设。

B. 非正式地说明算法的时间和空间复杂度,并正式使用大 O 符号分别表示时间和空间复杂度的渐近上界和预期案例边界。

C. 使用递归关系,通过求解基本递归关系来确定递归定义算法的时间复杂度,并将结果呈现给一组学者。

D. 为一个行业问题确定一个适当的算法方法,并使用适当的技术(例如,贪婪方法、分治算法、递归回溯、动态规划或启发式方法),考虑暴力解决之间的权衡。

E. 实现基本的数值算法方法(例如,搜索算法、常见的二次和 $O(N \log N)$ 排序算法、基本图算法、字符串匹配算法)来解决一个行业问题,并为特定上下文选择好的算法。

F. 为本地工程团队设计一个确定的有限状态机,接受指定的语言并生成正则表达式来表示该语言。

AR- 架构和组成

A. 使用 CAD 工具进行捕获、合成和模拟,以对本地工程公司的简单计算机设计的简单构件进行评估。

B. 评估在逻辑电路级实现的简单处理器的时序图行为,并编写一份报告来表达结果。

C. 在汇编 / 机器级别编写一个简单的程序,用于字符串处理和操作,并将数字数据转换为十六进制形式。

D. 用机器语言和汇编语言实现一个基本的高级构造,并将结果呈现给一组同行。

E. 计算在各种缓存和内存配置下的平均内存访问时间,并编写一份简短的调查结果。

果报告。

CN- 计算科学

A. 为真实世界的情况创建一个简单、正式的数学模型,并在本地科技公司的模拟中使用该模型。

DS- 离散结构

A. 向对等组展示一些适当的集合、函数或关系模型的实际示例,并在上下文中解释相关的操作和术语。

B. 使用符号命题和谓词逻辑,通过应用形式化方法(例如,计算公式的有效性和计算符号逻辑的范式),对现实生活中的行业应用进行建模。

C. 应用推理规则来构造证明,并将结果呈现给一组专业人士、适当的证明或逻辑推理以解决一个战略性问题。

D. 将现实世界的应用程序映射到适当的计数形式,并应用基本的计数理论(例如,计数参数,鸽子洞原则,模块化算术以及计算一组的排列和组合)来解决行业问题。

E. 分析一个行业问题,以确定潜在的递推关系,并利用各种基本递推关系向专业人士提出解决方案。

F. 使用适当的图策略(例如树、图和树的遍历方法、图的生成树)对现实世界的问题进行建模,并确定两种图方法是否同构。

G. 计算相关或独立事件的不同概率和随机变量的期望来解决一个问题,并向一组同伴展示计算给定概率分布方差的方法。

GV- 图形和可视化

A. 使用标准 API 设计和开发一个用户界面,并结合本地组织使用的视觉和音频技术

HCI- 人机交互

A. 设计一个交互式应用程序,运用以用户为中心的设计周期,使用相关的工具和技术(模式、导航、视觉设计),以优化企业环境中的可用性和用户体验。

B. 分析和评估用户界面,考虑使用环境、利益相关者需求、最先进的响应交互时间、考虑普遍接入、包容性、辅助技术和文化敏感设计的设计模式。

C. 为当地慈善机构设计和开发一个交互式应用程序,运用以用户为中心的设计周期,使用相关的词汇、工具和技术来优化可用性和用户体验。

D. 创建并执行一个简单的可用性测试,来分析和评估用户界面,该用户界面要考虑到使用环境,同时考虑到通用访问和文化敏感的设计。

E. 创建一个简单的应用程序,连同帮助和文档,支持企业的图形用户界面,并进行定量评估和报告结果。

IAS- 信息保障和安全

A. 在对常见的输入验证错误进行分类后,为网络空间安全公司编写正确的输入验证代码。

B. 向一组安全专业人士演示一些防止竞争条件发生的方法和处理异常的方法。

IM- 信息管理

A. 将信息与数据和知识进行对比,向一组专业人士描述集中数据控制的优缺点。

B. 向一组对等方展示一种声明性查询语言从数据库中提取信息。

C. 对比不同类型数据的适当数据模型,包括内部结构,并向一组专业人士展示应用程序,以使用关系数据模型的建模概念和符号。

IS- 智能系统

A. 确定一个智能系统必须解决的给定问题的特征,并将结果呈现给项目团队。

B. 用自然语言(例如英语)将指定的行业问题表述为约束满足问题,并使用适当的技术(例如时间回溯算法或随机局部搜索)来实现。

C. 针对行业问题,通过表征有信息算法的时间和空间复杂度,或设计必要的启发式评价函数来保证最优解,实现合适的无信息或有信息搜索算法。

D. 将企业查询系统的自然语言(如英语)句子转换为谓词逻辑语句,将逻辑语句转换为子句形式,并对一组逻辑语句进行解析以回答查询。

E. 使用贝叶斯定理对现实世界的行业问题进行概率推理,以确定给定证据的假设概率。

NC- 网络和通信

A. 为企业客户设计和开发一个简单的基于客户端-服务器套接字的应用程序。

B. 通过考虑影响网络性能的因素,设计并实现一个简单可靠的行业网络协议。

C. 对比固定和动态分配技术以及当前解决拥堵的方法,并将结果呈现给公司高管。

OS- 操作系统

A. 运用计算理论和数学知识来解决问题,并为专业或非专业观众全面展示解决方案的结果和方法。

B. 考虑目标系统的能力和限制条件,在系统约束下实施软件解决方案,并向技术和非技术听众记录和解释实施过程。

C. 使用概率和期望知识预测随机事件下系统的行为,并告知用户其潜在的行为。

D. 使用机密性、可用性和完整性的知识,并了解风险、威胁、漏洞和攻击载体,评估系统的安全性,并将其社会和道德影响与系统的组成部分联系起来。

基于 PBD 平台的开发

A. 为客户设计一个响应式 Web 应用程序,利用 Web 框架和演示技术来支持多样化的在线社区。

B. 为一家公司开发一款在多个设备上可用、高效且安全的移动应用程序。

C. 为一个公司模拟一个行业平台。

D. 通过特定平台的 API 开发和实现程序设计任务,并将结果呈现给一组同行。

E. 给出一个移动工业系统的分析,并说明正确的安全漏洞。

PD- 并行和分布式计算

A. 通过应用基于任务的分解或数据并行分解,为计算机公司设计一个可扩展的并行算法。

B. 为客户端编写一个程序,该程序在所有并发任务终止时,通过考虑参与者和 / 或响应进程、死锁和正确同步的队列来正确终止。

C. 为公司编写一个测试程序,揭示并发程序设计错误(例如,当两个活动都试图增加一个变量时,丢失了一个更新)。

D. 通过识别可并行化的独立任务和确定并行执行图的关键路径,给出程序中工作量和跨度的计算结果。

E. 为客户端实现一个并行的分治(和 / 或图算法),通过映射和减少实际行业问题的操作,并凭经验衡量其相对于顺序模拟的性能。

PL- 程序设计语言

A. 展示一个考虑面向对象封装机制的类的设计和实现(例如,类层次结构、接口和私有成员)。

B. 生成一个关于基本算法实现的简要报告,该算法考虑在一个程序中使用动态分派,避免对两种不同语言的可变状态赋值(或考虑引用相等)。

C. 给出一个有用函数的实现,该函数接受并返回其他函数,考虑到程序中的变量和词法作用域以及函数的封装机制。

D. 在两种程序设计语言中使用迭代器和其他聚合操作(包括以函数为参数的操作),并向一组专业人员展示为每种语言选择最自然习语的方法。

E. 对比并向同行展示(1)过程 / 功能方法(为每个操作定义一个函数,函数体为每个数据变体提供一个案例)和(2)面向对象的方法(为每个数据变量定义一个类,类定义

为每个操作提供一个方法)。

F. 为 Web 开发人员编写事件处理程序,以便在响应式系统(如 GUI)中使用。

G. 演示使用泛型或复合类型的程序片段(例如函数、类、方法),包括用于编写程序的集合。

H. 为客户端编写一个程序来处理代码的表示,说明了一个解释器、一个表达式优化器和一个文档生成器的合并。

I. 使用类型错误信息、内存泄漏和悬空指针为工程公司调试程序。

SDF- 软件开发基础

A. 创建一个合适的算法来说明迭代、递归函数以及分治技术,并使用程序设计语言来实现、测试和调试算法,以解决一个简单的行业问题。

B. 为客户端分解一个程序,识别多个抽象数据类型的数据组件和行为,并实现一个一致的抽象数据类型,组件和行为之间松散耦合。

C. 设计、实现、测试和调试一个工业程序,该程序使用基本程序设计结构,包括基本计算、简单和文件 I/O、标准条件和迭代结构、函数定义和参数传递。

D. 展示动态和静态数据结构实现的成本和收益,选择合适的数据结构来建模给定的工程问题。

E. 为软件工程公司应用一致的文档和程序风格标准,有助于软件的可读性和可维护性,使用提供的清单对程序组件进行个人和小团队代码审查。

F. 演示常见的编码错误,使用所选程序设计语言提供的标准库来构造和调试程序。

G. 通过识别应用过程抽象的机会来重构一个行业程序。

SE- 软件工程

A. 对本地项目的一组软件需求进行评审,区分功能性和非功能性需求,并评估该集合展示良好需求特征的程度。

B. 向客户展示使用建模符号(例如 UML)的简单软件系统的设计,包括对设计如何结合系统设计原则的解释。

SF- 系统基础

A. 使用逻辑设计的基本构建块,设计一个简单的顺序问题和同一问题的并行版本,并使用适当的工具来评估商业组织的设计,并评估两个问题版本。

B. 为本地组织开发一个包含错误检测和恢复的程序,该程序包含适当的程序跟踪和调试工具。

C. 为公司设计一个简单的并程序,通过同步原语管理共享资源,并使用工具来评

估程序性能。

D. 设计并实施一个以性能为导向的模式识别实验,结合状态机描述符和简单的调度算法,以利用本地工程公司可用的冗余信息和数据校正,并使用适当的工具来衡量程序性能。

E. 计算平均内存访问时间,并描述本地工程公司在容量、失效率/命中率,和访问时间方面的内存层次性能的权衡。

F. 度量运行在本地工程公司独立虚拟机上的两个应用程序实例的性能,并确定性能隔离的效果。

SP- 社会问题和专业实践

A. 为当地组织进行系统分析,并以非技术的方式向他们展现结果。

B. 整合跨学科知识,为当地组织制定计划。

C. 记录行业趋势、创新和新技术,并生成影响目标职场的报告。

D. 向一组专业人员展示一个创新的计算机系统,使用特定的语言和例子来说明小组的需求。

E. 编写一份有助于他人的文件,说明技术带来的社会变化的影响。

F. 采用过程来跟踪客户的要求、需求和满意度。

G. 比较不同的错误检测和纠正方法的数据开销、实现复杂度以及编码、检测和纠正错误的相对执行时间,并确保任何错误都不会对人类产生不利影响。

起草胜任力数量 = 84

计算机科学分项工作组成员

Bruce McMillin (牵头)

John Impagliazzo

Richard LeBlanc

Ariel Sabiguero Yawelak

Ming Zhang

C.2.3 信息系统胜任力草案

识别和设计 IT 支持的组织改进的机会

1. 分析 当前 IT 战略与组织战略之间的契合度,并在必要时采取纠正措施使两者保持一致。

2. 理解一般系统理论,包括其关键原理和应用。
3. 使用至少一种现代业务流程建模语言对组织流程进行建模。
4. 从未来状态过程模型中提取信息系统需求。
5. 以风险管理理论为基础,将风险分析应用到实际组织中。
6. 根据已证明的组织控制需求确定信息系统需求。
7. 识别过程性能指标和监视器,应用行业建议,如 ITIL。
8. 了解新兴技术,以识别基于这些技术的创新业务机会。
9. 根据组织中新兴技术的使用,开发业务建议。
10. 运用创业和创造性思维,来改造使用新兴技术的组织。
11. 分析和记录各种业务利益相关者对拟议系统的信息需求。
12. 将现代工业实践和技术应用于系统文档和用户访谈(即 ITIL 和 PMBOK)。
13. 将人机交互原理的基础知识,应用于系统和用户界面设计。
14. 将数据可视化和表示的知识,应用于与分析和复杂数据表示相关的应用程序。

分析权衡

15. 识别和设计技术替代方案,并在信息系统项目中跨各种选项管理风险,以根据组织需求选择最合适的选项,并实现解决关键业务问题的解决方案。

16. 从技术可行性、商业可行性和成本效益方面评判信息系统项目的合理性,以证明项目的可行性。

17. 根据各种标准和政策分析和比较解决方案,根据它们促进组织需求的程度来评估不同的可能解决方案。

18. 为基于 IT 的解决方案和采购选项制定预算,使组织能够确定每个选项的财务影响。

19. 分析影响全球商业环境的文化差异,展示文化标准和期望如何对商业成功产生积极影响,以支持在选项之间进行选择的过程。

设计和实施信息系统解决方案

20. 通过识别 EA 变更需求和解决领域需求及技术开发,使用正式方法设计企业架构(EA)。

21. 根据信息系统解决方案的要求,应用系统方法来指定系统解决方案选项,考虑内部开发、第三方供应商的开发或购买的商业现货(COTS)包。

22. 为目标用户设计和实现高质量的 UX(用户体验),以有效地支持用户在其环境中的目标。

23. 在组织层面设计信息技术安全和数据基础设施的设计原则,使他们能够计划、开发和执行安全任务,并将其应用于组织系统和数据库。

24. 在集成分析、设计、实现和运营的流程环境中,设计和实现满足用户需求的 IT 应用程序。

25. 确定数据和信息管理备选方案,并根据组织信息需求提出最合适的选项。

26. 设计与组织流程一致的数据和信息模型,并与数据和信息安全管理标准兼容。

27. 根据外部采购选择标准,选择合适的外包承包商,管理开发团队的人员,包括多个项目和复杂情况下的选定承包商。

28. 了解组织用于管理信息系统项目的流程、方法、技术和工具。

29. 对信息系统项目实施现代项目管理方法,证明对复杂的基于团队的活动理解是项目管理的固有部分。

管理正在进行的信息技术操作

30. 制定并实施行动计划以优化企业技术资源的使用。

31. 开发评估应用程序性能和可扩展性指标。

32. 监控应用程序性能指标并实施纠正措施。

33. 建立优化信息系统使用的实践,并为信息系统的长期生存能力制定计划。

34. 监视和控制 IS 以跟踪其表现并符合组织需求。

35. 必要时通过修改系统来实施纠正措施。

36. 与技术服务提供商协商并执行合同,以保持所提供技术和服务的运营完整性,并遵守所有相关方的角色和责任。

37. 基于风险管理模型开发、实施和监控安全计划策略。

38. 必要时实施正确的安全措施。

39. 规划和实施用于管理安保和安全的程序、操作和技术,以确保业务连续性和灾难恢复情况下的信息保障。

领导与协作

40. 管理跨文化、跨职能团队中的人际关系。

41. 为团队提供清晰的愿景,使其能够朝着共同的目标努力。

42. 支持团队中的每个成员努力实现他们最好的个人表现水平。

43. 为团队指定足够具有挑战性的目标。

44. 为全局分布式项目创建工作分解结构、任务依赖模型和项目进度表。

45. 确保项目拥有足够的资源,并以与环境相适应的方式管理这些资源。

- 46. 以公平和可实现的方式将项目任务分配给项目资源。
- 47. 监控项目的进展情况。
- 48. 尊重团队成员之间的不同观点。
- 49. 将团队成员之间的差异视为财富和资源。
- 50. 倾听并仔细考虑所有团队成员的观点。
- 51. 建立并支持确保所有团队成员参与机会均等的决策结构。
- 52. 调整组织结构,以支持其目标的实现。
- 53. 根据已知有效的标准选择组织形式。
- 54. 执行组织结构的转换,以免不必要地中断其工作。
- 55. 持续监控组织结构的有效性。

沟通

- 56. 在相关的组织环境中,使用适当的沟通方法,从各种利益相关者那里获得有关利益领域的事实和意见。
- 57. 使用现代数据检索工具从数字档案中提取信息。
- 58. 在广泛的组织背景下进行有效的书面交流。
- 59. 为特定的组织情况选择适当的书面沟通形式。
- 60. 在各种组织情况下,有效地使用最先进的虚拟协作工具(例如 wiki、博客和共享协作空间)。
- 61. 在各种组织情况下,使用不同的渠道与不同的受众进行有效的口头交流。
- 62. 确定并清晰地表达一个有说服力的陈述的关键元素,以支持一个特定的观点。

谈判

- 63. 应用详细的问题分析来确定谈判中各方的利益,以提供所需资金、时间和人员的明确建议。
- 64. 根据保证所提供服务的描述、可靠性、响应性、报告问题的过程、监视和报告服务水平、不履行服务义务的后果,以及逃脱条款或约束,明确并证明 IT 服务的服务级别。
- 65. 展示服务定义级别中每个领域的规范和度量,以便对服务质量进行基准测试。
- 66. 确定并应用一种更加积极和自信的方法,与每个供应商进行谈判,以支持项目设计的质量提升,并确保项目准备和实施的质量。
- 67. 对关键决策点进行分类,确定参与决策的人员,并了解在内部利益相互竞争的背景下,在信息系统团队中做出此类决策所需的行动和信息。

分析和批判性思维,包括创造力和道德分析

68. 解释并遵守有关 IT 实践的法律和法规要求,以及 IT 实践的行业标准。了解企业文化和道德规范如何塑造合规行为。
69. 分析所有 IT 实践的隐私和完整性指南。
70. 识别复杂情况并分析实践指南,以确保符合企业道德和法律要求。
71. 确定系统的价值。
72. 识别系统的漏洞。
73. 识别可能利用旨在危及系统的系统漏洞的威胁的发生情况。
74. 在环境中识别一个复杂的问题,但要与环境分离。
75. 运用知识和理解来解决已识别的问题。
76. 运用创造性的方法解决与技术相关的问题。
77. 选择适当的数据收集方法和技术来调查领域活动。
78. 使用适当的概念建模技术捕获和结构化数据和信息需求。
79. 根据定量分析的结果,与有学识有经验的听众进行有效的推理。
80. 根据数据分析目标,运用足够的定量分析技术。
81. 根据现有技术或新技术本身的新用途,开发创新和创造性的模式。
82. 制定一项计划,在组织内为新目的开发新的和正在出现的方法和技术。
83. 在考虑启用和增强信息技术应用程序的效果时,设计在不同级别(个人、团队、过程和组织)构造和执行领域活动的新方法。
84. 评估新设计的好处,评估其实施的后果,并预测潜在的不利后果。

数学基础

85. 确定那些可以用数学方法解决的感兴趣的问题领域,并为这些问题找到一个数学公式。
86. 使用逻辑思维过程将问题分为更小的部分,并基于问题的部分进行推理。
87. 选择并实施有效的数学策略。
88. 将数学结果有效地传达给各种利益相关者。

起草胜任力数量 = 88

信息系统分项工作组成员

Eiji Hayashiguchi(牵头)

Hala Alrumaih

Teresa Pereira

Ariel Sabiguero

Heikki Topi

John Impagliazzo

C.2.4 信息技术胜任力

ITE-CSP 网络空间安全原则

A. 评估网络空间安全技术的目的和功能,识别降低数据泄露风险的工具和系统,同时实现重要的组织实践。(网络空间安全功能)

B. 实施系统、应用工具和使用概念来最小化组织网络空间的风险,以应对网络空间安全威胁。(工具和威胁)

C. 使用风险管理方法,对包含高价值信息和资产(如电子邮件系统)的系统的网络攻击做出响应并从中恢复。(应对和风险)

D. 制定应对和补救信用卡系统遭受的网络攻击所需的政策和程序,并描述一个恢复基础设施功能的计划。(政策和程序)

ITE-GPP 全球专业实践

A. 分析沟通技巧在团队环境中的重要性,并确定这些技巧如何有助于优化组织目标。(沟通与团队合作)

B. 评估在 IT 职业中保持持续就业所需的特定技能,包括在环境背景下进行系统开发。(就业能力)

C. 在组织内制定 IT 政策,包括与公司环境相关的隐私、法律和道德考虑。(法律和道德)

D. 评估 IT 项目所面临的相关问题,并使用成本 / 收益分析制定项目计划,包括从开始到完成创建有效项目计划的风险考虑。(项目管理)

ITE-IMA 信息管理

A. 描述互联网的增长和对信息的需求如何改变了数据处理和交易分析处理,并导致了特殊目的数据库的创建。(需求)

B. 设计并实现一个物理模型,该模型基于给定场景的适当组织规则,包括规范化和索引的影响。(需求与发展)

C. 为简单和中间查询创建工作 SQL 语句,以创建和修改数据和数据库对象、存储、操作和分析企业数据。(测试和性能)

- D. 分析数据碎片、复制和分配在企业环境中影响数据库性能的方式。(整合与评估)
- E. 执行主要的数据库管理任务,如创建和管理数据库用户、角色和权限,备份和恢复数据库对象,以确保组织效率、连续性和信息安全。(测试和性能)

ITE-IST 集成系统技术

- A. 说明如何在计算机中编码和存储字符、图像和其他形式的数据,并说明为什么在合并不同的计算系统时,数据转换通常是必要的。(数据映射和交换)
- B. 展示一个常用的系统间通信协议是如何工作,包括它的优点和缺点。(系统间通信协议)
- C. 设计、调试和测试包含选择、重复和参数传递的脚本。(集成程序设计和脚本)
- D. 说明安全编码的目标,并展示如何使用这些目标作为指南,以防止缓冲区溢出、包装代码和保护方法访问。(防御性整合)

ITE-NET 网络

- A. 分析和比较各种通信协议的特点,以及它们如何支持电信系统中的应用需求。(需求和技术)
- B. 分析和比较几种网络拓扑在健壮性、可扩展性和在云企业中使用的吞吐量。(技术)
- C. 描述分布式计算设置中不同的网络标准、组件和网络协议要求。(网络协议技术)
- D. 制定管理政策来解决银行系统中的服务器故障问题。(风险管理)
- E. 解释与网络管理相关的不同主要问题。(网络管理)

ITE-PFT 平台技术

- A. 描述硬件和操作系统计算平台的历史发展如何产生我们今天所拥有的计算系统。(计算系统)
- B. 展示如何在操作系统选项中进行选择,并在计算机设备上安装至少一个操作系统。(操作系统)
- C. 证明在 IT 环境中对功率和热量预算的需求,并记录在计算系统中考虑功率和热量时所需的因素。(计算基础设施)
- D. 制作一个框图,包括计算机主要部件的相互连接,并说明在计算机上用于存储和检索数据的方法。(架构和组织)

ITE-SPA 系统范式

- A. 证明组织中的 IT 系统可以代表使用不同架构的利益相关者,以及这些架构与系统生命周期相关的方式。(需求和发展)

B. 演示软件和硬件的采购过程,并解释可能用于测试影响 IT 系统性能的关键问题的程序。(测试和性能)

C. 评估中间件平台的集成选择,并演示这些选择如何影响 IT 系统开发中的测试和评估。(整合与评估)

D. 利用信息技术知识和对组织目标和约束的敏感性,在治理环境下制定和监控有效和适当的系统管理政策。(系统治理)

E. 在一个共有环境中制定和实施程序,并使用技术来实现管理政策。(经营活动)

F. 在技术中心将人员和信息技术资源组织到适当的管理区域中。(操作域)

G. 使用适当的新兴技术来提高系统性能,发现系统性能问题的原因。(性能分析)

ITE-SWF 软件基础

A. 使用多级抽象并选择合适的数据结构来创建一个与社会相关并需要团队合作的新程序。(程序开发)

B. 评估如何根据程序风格、特定输入的预期行为、程序组件的正确性和程序功能的描述来编写程序。(应用开发实践)

C. 开发算法来解决计算问题,并解释程序如何在指令处理、程序执行和运行过程方面实现算法。(算法开发)

D. 基于用户体验设计、功能和安全分析,协作创建一个有趣的相关应用(手机或 Web),并使用标准库、单元测试工具和协作版本控制来构建应用程序。(应用开发实践)

ITE-UXD 用户体验设计

A. 设计一个交互式的应用程序,运用以用户为中心的设计周期和相关的工具和技术(例如原型设计),以企业环境中的可用性和相关的用户体验为目标。(设计工具和技术)

B. 对于以用户为中心的设计案例,分析和评估使用环境、利益相关者需求、最先进的交互机会和设想的解决方案,考虑用户态度和应用相关工具和技术(如启发式评估),以普遍获取和包容性为目标,并表现出响应式的设计态度,考虑辅助技术和文化敏感的设计。(涉众需求)

C. 评价以用户为中心的设计,明确评价标准和符合相关标准(基准和标准)

D. 在设计和分析中,应用相关学科的知识,包括人类信息处理、人类学和人种学、人体工程学/人为因素。(综合设计)

E. 将体验设计应用于与多个学科相关的服务领域,关注多个利益相关者并在跨学科设计团队中协作。(应用设计)

ITE-WMS Web 和移动系统

- A. 设计一个响应式的 web 应用程序,利用 web 框架和表示技术来支持多样化的在线社区。(Web 应用程序开发)
- B. 开发一个在多台设备上可用、高效、安全的移动应用程序。(移动应用开发)
- C. 分析 web 或移动系统,修正安全漏洞。(Web 和移动安全)
- D. 使用适当的文件、数据库或流媒体格式在 web 应用程序中实现数字媒体的存储、传输和检索。(数码媒体储存及传送)
- E. 描述一个网络系统的主要组成部分以及它们是如何一起工作的,包括网络服务器,数据库,分析和前端。(网络系统基础设施)

起草胜任力数量 = 47

C.2.5 软件工程胜任力草案

软件需求

1. 作为需求团队的一名贡献成员,在与利益相关者的工作会议中应用已知的需求获取技术,使用辅助技能,来识别和记录软件需求。
2. 作为需求团队的一名贡献成员,分析软件需求的一致性、完整性和可行性,并建议改进的需求文档。
3. 作为需求团队的一名贡献成员,使用为项目选择的标准规范格式和语言指定软件需求,并能够以一种可理解的方式向非专家(如终端用户、其他涉众或管理经理)描述需求。
4. 作为需求团队的一名贡献成员,使用标准技术,包括检查、建模、原型化和测试用例开发,来验证和确认需求。
5. 作为需求工程团队的一名贡献成员,遵循为项目确定的过程和产品管理程序。

软件设计

1. 向业务决策者展示来自软件需求规范文档的架构上的重要需求。
2. 评估和比较满足功能性和非功能性需求的可选设计可能性的权衡,并为客户撰写一份简要建议,总结关键结论。
3. 通过考虑架构和设计模式,生成特定子系统的高级设计,使其能够呈现给非计算用户。
4. 通过使用设计原则和横切方面来满足功能和非功能需求,为特定子系统高级设

计的客户端生成详细的设计。

5. 在为开发人员 / 制造商设计子系统和模块时,评估软件测试的质量属性。

6. 创建软件设计文档,与软件设计客户(如分析师、实施者、测试计划人员或维护人员)有效沟通。

软件构建

1. 使用面向对象语言和扩展库设计和实现一个 API,包括小型项目中的参数化和泛型。

2. 作为项目团队的一员,在考虑大型项目中基于状态的表驱动结构的运行时模式下,根据现代软件实践(如防御性程序设计、错误和异常处理、可接受的容错)评估一个软件系统。

3. 开发一个分布式的基于云的系统,该系统包含一个中型项目的基于语法的输入和并发原语,然后作为项目团队的成员进行性能分析以微调系统。

软件测试

1. 通过与客户协作,使用黑盒和用例技术来对软件组件进行综合测试和分析。

2. 为客户执行软件组件的回归测试,根据经验数据和预期用途考虑特定于应用程序的操作配置文件和质量属性。

3. 使用适当的测试工具进行测试,重点是质量控制团队和客户指定的理想质量属性。

4. 计划和执行流程以使用白盒和黑盒技术为组织设计测试用例,以衡量覆盖率和性能方面的质量指标。

软件维护

1. 描述过渡到维持状态的标准,并协助确定适用的系统和软件操作标准。

2. 联系业务支持人员对文档和培训的需求,帮助开发软件转换文档和业务支持培训材料。

3. 帮助确定软件变更对操作环境的影响。

4. 描述软件支持活动的要素,如配置管理、运营软件保证、帮助台活动、运行数据分析和软件退役。

5. 执行软件支持活动;并与其他软件支持人员有效互动。

6. 协助实施软件维护流程和计划,并对软件进行更改,以实现维护需求和请求。

软件过程和生命周期

1. 与团队合作,将软件开发过程转化为各自职责范围。

2. 承诺并执行与分配的或商定的责任领域相关的任务。
3. 作为软件开发团队回顾活动的一部分,根据团队能力、项目进度数据和质量分析,提出并证明软件生命周期过程的改进。

软件系统工程

1. 提供系统工程概念和活动的描述,以识别问题或机会,探索替代方案,创建模型,并对其进行测试。
2. 在上下文和环境中开发系统的整体图景,来简化和改进系统架构,以支持系统设计人员。
3. 开发与其他子系统交互的接口。使用信息隐藏来隔离子系统中的内容和协作,这样子系统的客户就不需要知道子系统的内部设计。
4. 与来自其他学科的工程师和开发人员有效地合作,以确保有效的交互。

软件质量

1. 区分运行时可辨别的质量属性(性能、安全性、可用性、功能性、可用性)、运行时不可辨别的质量属性(可修改性、可移植性、可重用性、可集成性和可测试性)以及与内在相关的质量属性架构和详细设计的质量(概念完整性、正确性和完整性)。
2. 在项目团队中设计、协调和执行小型软件子系统和模块的软件质量保证计划,考虑质量属性是如何被识别的。相应地,测量、记录和适当地交流结果。
3. 执行对等代码检查,以评估在运行时无法识别的质量属性。
4. 解释软件执行过程中质量评估的统计性质;开发、部署和实施收集统计使用和测试结果数据的方法;对结果数据进行统计分析。
5. 与包括客户、用户和审计机构在内的外部实体互动,以传达过程和质量目标。

软件保密安全性

1. 作为项目团队的贡献成员,应用项目选定的安全生命周期模型(例如,Microsoft SDL)。
2. 作为软件项目团队的贡献成员,通过应用选定的安全需求方法来识别安全需求。
3. 作为软件项目团队的贡献成员,将安全需求合并到架构、高级和详细的设计中去。
4. 使用安全编码标准开发软件。
5. 执行特定于安全性的测试用例。
6. 作为软件项目团队的一名贡献成员,坚持项目的软件开发过程。
7. 开发支持项目质量目标并符合质量要求的软件。

软件可靠安全性(或软件防危安全性)

1. 描述软件系统开发的主要活动,涉及安全问题(与需求、设计、构造和质量相关的活动)。
2. 创建和验证初步危险清单;进行危害和风险分析,确定安全要求。
3. 实施和验证设计解决方案,使用安全的设计和编码实践,以确保减轻危害,并满足安全要求。
4. 要意识到开发不安全软件的后果,即对那些使用或接受该软件服务的人的负面影响。

软件配置管理

[None][无]

软件测量

1. 使用适当的方法、工具和能力,为软件过程和工作产品的度量制定和实施计划。

人机交互

[None][无]

项目管理

1. 解释小型项目团队管理的主要要素。
2. 协助小型项目团队的管理工作,包括软件评估、项目计划、跟踪、人员配备、资源分配和风险管理。
3. 使用适当的方法和工具,为软件过程和工作产品的度量制定和实施计划。
4. 在项目管理活动中与其他团队成员有效合作。

行为属性

1. 与团队成员合作解决问题,有效运用口头和 / 或书面沟通技巧。团队合作的工作按时完成;它符合在团队中所扮演的角色;它使用已建立的质量程序;它促进了团队的努力。
2. 考虑来自不同文化、需求和 / 或地理位置的利益相关者的需求,协助分析和展示复杂的问题。帮助找出问题的解决方案,并将其呈现给利益相关者,解释所提出的解决方案的经济、社会 and / 或环境影响。识别不确定或不明确的领域,并解释如何管理这些领域。
3. 从各种社会和法律角度分析软件雇佣合同,确保最终产品符合专业和道德要求,并遵循标准的许可实践。
4. 定位和理解学习资源,并利用这些资源扩展知识、技能和品行。反思自己的学习,

以及它如何为未来的成长奠定基础。

起草胜任力数量 = 56

作为工作组成员的软件工程分组成员

Nancy Mead (牵头)

Hala Alrumaih

Marisa Exter

Rich LeBlanc

John Impagliazzo

Barbara Viola

不在工作组成员名单中的软件工程分组成员 (贡献者)

Kai H. Chang, Auburn University

Dick Fairley, Software and Systems Engineering Associates

Kevin Gary, Arizona State University

Thomas Hilburn, Embry-Riddle Aeronautical University

Gabriel Tamura, Universidad Icesi, Colombia

Chris Taylor, Milwaukee School of Engineering

Jim Vallino, Rochester Institute of Technology

Norha M. Villegas, Universidad Icesi, Colombia

C.2.6 硕士阶段信息系统胜任力草案

业务连续性和信息保证 [BCIA]

- A. 分析业务连续性和信息保证的政策和标准,并将结果呈现给一组同行。
- B. 规划用于在灾难恢复情况下管理安保和安全的程序、操作和技术。
- C. 监控小公司信息系统内硬件和软件的保护和发展。

数据、信息和内容管理 [DATA]

D. 识别并报告小型组织的数据和信息管理技术替代方案,并根据组织信息需求向管理层建议最合适的选项。

E. 识别与团队环境中的数据和信息管理相关的组织政策和流程,以及如何解决违反政策的信息和内容管理解决方案。

企业架构[EARC]

F. 通过识别 EA 变更需求和通过书面报告处理领域需求和技术开发,使用正式方法来评估企业架构(EA)。

G. 向一组管理人员描述一个企业架构(EA),通过收集来自企业的输入来评估所涉及的维护水平,从而突出软件开发和维护。

道德、影响和可持续性[ETIS]

H. 采用可持续的系统方法,在确保人员隐私和完整性的方式下,为企业环境整合多种 IT 实践。

I. 制定一项可在企业或政府内使用的合同政策,确保安全和卫生标准符合监管法规和要求,不考虑文化和个人特征。

创新、组织变革和创业[IOCE]

J. 向组织的新 IS 方法和趋势的管理层报告,并建议依赖现有技术的新用途的创新活动模式。

K. 解释在不同层面(个人、团队、流程和组织)利用新兴技术的方法,并解决信息技术应用的启用或增强效果。

L. 向同行报告新信息系统设计的好处,并强调系统潜在的不利后果。

IS 管理和运营[ISMO]

M. 识别设计和管理有效的 IS 组织所需的专业管理技能,以确保服务交付的运营效率。

N. 分析并报告支持在组织中使用的 IS 项目管理原则。

O. 评估信息系统和资源的使用情况,并将结果提交给组织的管理层。

IS 战略和治理[ISSG]

P. 识别信息系统对行业、公司和机构的影响,并向组织管理者提出计划,以最大限度地提高与信息系统设计、交付和使用相关的公司利益。

Q. 向同行报告一些监督机制,通过这些机制,组织利用一个或多个治理框架和组织决策实践,来评估、指导和监控组织的 IT。

R. 向组织管理者推荐一些最小化环境影响的实践,并建议一些针对长期组织生存力的方法。

IT 基础设施[INFR]

S. 评估一个中型规模的综合通信网络,包括局域网和广域网络技术,并指定大规模网络扩展的要求。

T. 分析并提供一份书面报告,针对使用内部硬件资源的组织数据处理系统的实现架构。

U. 加强涉及多个 IT 基础设施服务提供商的合同的财务方面。

系统开发及部署 [SDAD]

V. 向观众描述一个 IT 工件的需求,它增强了现有领域活动的结构和执行方式。

W. 考虑非功能性需求和组织约束,报告满足特定需求的 IT 工件。

X. 在集成分析、设计、实施和操作的流程环境中部署满足用户需求的 IT 应用程序。

起草胜任力数量 = 24

基于胜任力模型的计算课程体系

计算课程体系是定义学士学位专业学习过程的教育任务。CC2020 项目认为,未来在战略上的当务之急,就是通过重塑定义课程体系目标的语言来塑造计算教育。在工业、职业和整个社会的更广泛背景下,以胜任力为中心的课程体系描述侧重于将计算教育应用于为社会提供实际服务的个人能力。

整个以胜任力为中心的课程体系可以为教育学、学术和专业评估、道德操守、与行业和社会的相关性提供信息。有效的计算教育必须使个体明确知识内容、知识方式以及参加计算教育的原因。为了更好地实现这些目标,CC2020 报告提出了通过采用适用于课程体系规范的胜任力模型来对计算课程体系的形式和重点进行质的转变。

通过采用清晰的胜任力模型来定义计算课程体系将更清楚地促进描述计算专业对学生、捐助者、教师、管理人员、雇主、认证者、立法者和整个社会的实际收益。在实际环境中,描述计算胜任力就是将课程体系的重点从描述与学科领域相关的知识转移到实际的学生成就上。对毕业生在实际情况下能做什么的描述取代了对内容和课堂时间的描述。胜任力更有效地描述结果期望:推动教育者培养更熟练的计算专业人员,并引导社会认识到计算教育的目的和收益。

本附录介绍了 CC2020 的胜任力定义和一个指定计算学士学位教育的模板。胜任力模板由任务的叙述性表述和一个结构化的组成元素列表组成:知识、技能和品行特征。模型结构是通过检验每个组成元素与其他组成元素的关系,从而作为一个整体来阐述的。这是与识领域(KAs)、知识单元(KUs)和学习成效(LOs)模型等由来已久的定义形成对比。我们将讨论不同受众群体在不同水平下的本科教育/首个周期的计算专业中

如何利用胜任力。本章最后进行了致谢,包括将胜任力纳入计算课程体系指南的近期研究,这些成果为 CC2020 采用胜任力提供了信息和支持[Wag5、Fre5、Tak1、Top1]。

D.1 计算学士学位教育中的胜任力

CC2020 致力于将以胜任力为导向的学士学位教育植根于计算领域的特定学科。然而,计算知识本身从来不是计算专业学生毕业的限制。它只是其中一个部分,当然是一个至关重要的部分,但不是与受过教育、富有成效的计算专业人士相关的全部胜任力。无论是正规教育的终点、获得更高学位的渠道,还是最常见地加入计算专业职业大军,学士学位教育都必须强化与社会计算实践相关联的更广泛的胜任力。传统出版的计算课程体系指南几乎完全聚焦在计算专业上[Fre2]。即使大多数(如果不是所有的话)计算学科、专业学士学位专业声称培养实践专业人员,他们将在各种各样的工作场所[Bai1、Han1、Rad1]应用他们的计算能力。为此,我们不能忽视那些远远超出实用计算技术知识所强调的能力范围。

正如学习目标的使用一样,良好的胜任力模型可以为学习体验的目标提供丰富的语言表达。胜任力模型提供了用语言表达学习体验关联性的能力,这种语言可以更好地将毕业生的期望和更广泛的教育目标联系在一起[Wag5、Fre5]。胜任力模型的其他优势还包括它将知识和技能联系在一起,因为它们有望在实际任务中被观察到。另一个是将非技术知识和 / 或技能作为教育的目标或结果,并且像学习成效一样,胜任力应该在一定的技能水平上观察,最好是在相关的任务执行中观察。

本附录简要介绍了该理论,并概述了 CC 2020 胜任力模型的方法和结构。我们相信,这一成果可以成功地应用在众多计算学科及其基础教育机构中。尽管 CC2020 的使命在理念和框架上定义了服务于计算的胜任力,但我们得出的结论是,这种胜任力模型可以支持其他不可或缺的专业能力领域,这些领域对于教育计算专业人员而言是不可或缺的。胜任力的其他方面同样发挥着重要作用,强烈建议未来课程体系设计者考虑。以下各节将更详细地介绍 CC2020 胜任力模型,并通过综合阐明某一计算专业学士学位的知识领域来说明其应用。

D.2 CC2020 中胜任力的定义

CC2020 对胜任力的定义是从不同教育框架中开发和应用的众多胜任力模型演变而

来的。《哈佛大学胜任力词典》[Har2]中提供了有关胜任力的有参考性的描述,该词典提供以下说明。

一般来说,胜任力是指个人必须在工作、职业、职能,任务或职责上展现出的有效的“东西”。这些“东西”包括与工作相关的行为(一个人说或做的事会导致绩效好坏),动机(一个人对工作,组织或地理位置的感受)以及技术知识/技能(一个人知道或展示出有关事实、技术、职业、流程、工作、组织等的东西)。

CC2020 详细阐述了胜任力作为表达教育目标的实用手段[Bai1,Han1,Rad1]这一理念,它完善了 IT2017 课程体系指南[Acm07]中普遍提及的知识-技能-品行(K-S-D)框架。虽然在各种计算课程体系中广泛探讨了计算的知识维度,但技能和品行的含义却明显较少。扩展以前的工作,我们将胜任力详细描述为由在任务 T 的情境中观察到的 K-S-D 维度组合。

$$\text{胜任力} = \text{任务中的}[\text{知识} + \text{技能} + \text{品行}]$$

胜任力规范列举了在完成任务时可观察到的知识、技能和品行,一项任务在工作环境中规定了目的[Bai1]。图 D.1 提供了胜任力概念结构的图解说明。

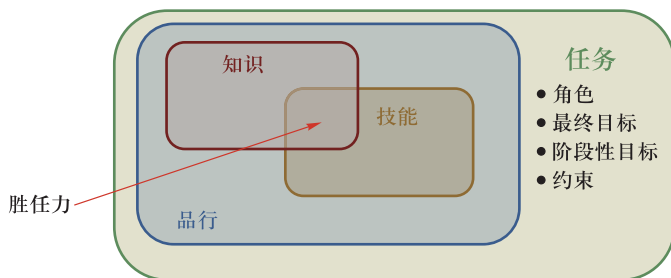


图 D.1 胜任力的概念性结构

构建胜任力规范的四个组成部分含义如下：

“知识”是胜任力的“知道是什么”维度,可以理解为事实。知识元素是胜任力必不可少的核心理念。此维度反映了那些列在教学大纲中的主题,会被相关职能部门在学术专业的课程开发中进行分配和平衡,被学位评审机构在其评估标准中规定,被雇主在其职位说明中标识出来。传统上,计算教育的课程体系指南主要由基于科学推论或事实的

知识元素来决定。

“技能”是指在特定背景下应用“知识”执行任务的能力和策略。当将“知道是什么”的知识应用于行动以完成任务时,才能实现胜任力,因此在应用中,技能表达了“知道怎么做”。技能通常是随着时间的推移和实践而发展起来的。因此,技能发展通常需要参与高阶认知过程的渐进层次结构。CC2020 的胜任力定义采用了 Bloom 的认知过程水平 [Acm015] 来指定成功完成任务所期望的技能程度。

胜任力的技能维度通常是通过观察所产生的工作过程或质量来间接评估的。由于知识和技能二个维度的融合,“知道是什么(know-what)”通过“知道怎么做(know-how)”而被赋予了更生动丰富的内涵。正因为如此,胜任力规范中关于知识元素的有用性只有在技能水平上应用时才能更好理解,比如,作为 Bloom 认知过程的一个层面来详细描述或观察。因此,知识要素和应用它的技能水平在胜任力规范中必然要自然地融合在一起。通过这种方式,CC2020 胜任力模型实现了基于工作表现的认识论,这一认识论使知识要素在任务完成中变得更动态。

“品行”决定了胜任力的“知道为什么(know-why)”维度,并规定了任务执行中必不可少的特征或质量。品行强化了“知道是什么(know-what)”和“知道怎么做(know-how)”的区分度。针对即将完成的任务,品行会通过对理想预期结果的提示或暗示,对从业者的选择进行调节和影响。品行如何调节知识和技能被认为是“解释预测变量和标准之间关系的程度”[Bar1],因为品行将知识和技能的“更好”或“正确”应用与情境联系起来并应用。例如,品行能够调节从业者的能力,这一能力可以将一项任务区分为“专业完成”而不是简单地“完成”。从这个意义上说,品行能够反映出胜任力背后的专业价值观。

品行代表了社会情感倾向、偏好和态度,体现了执行任务的倾向以及知道何时以及如何参与这些任务的敏感性[Per1]。因此,品行表示指导应用知识的价值观和动机,同时指定与专业绩效标准相称的知识质量。“知道为什么(Know-why)”表现为约定俗成的价值观,并且由于难以评估价值观和意图,品行通常是通过观察行为模式或反思实践来间接评估的。

“任务”是使知识技能应用与品行具体化的一种架构。以通俗常规方式表述的任务提供了显化品行环境,个人可以在此调整他们的选择、行动和努力,以高效和有效的方式追求和成功。从这个意义上说,任务包含了有目的的胜任力背景,揭示了知识、技能和品行的一体性。为此,任务定义规定了务实的参与,反映了与培养目标相关的专业实践。从这个意义上说,任务描述为开发教学法以及毕业生展示计算机专业胜任力方面提供了

明确的场景。

D.3 胜任力规范的剖析

胜任力的有效规范包括 (1) 通俗易懂地阐明任务的胜任力表述 (2) 成功完成该任务所必需的 K、S 和 D 要素的组成结构。胜任力规范如图 D.2、D.3、D.4 和 D.5 所示。

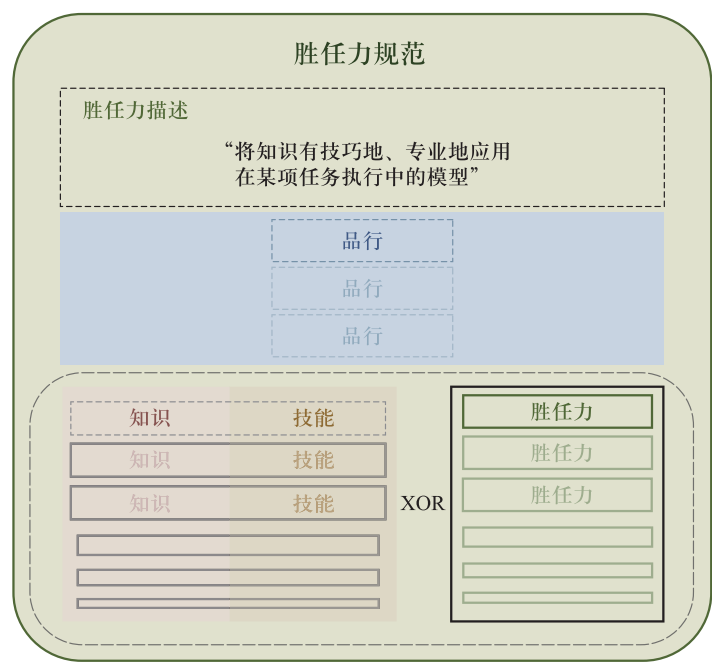


图 D.2 胜任力规范的概念性结构

CC2020 的胜任力定义是将知识、技能和品行与任务结合在一起,建立了一个旨在全面描述标准的框架,以支持理解教学法中的课程体系主题,以及该主题所涉及的工作场景中任务执行的必要条件。胜任力的表述是对胜任力的一种自然语言表达,对于课程体系的普通听众来说更容易理解,而更清楚表达的组成元素结构则便于审核和分析。图 D.2 说明了自然语言(自由形式)胜任力表述与知识、技能和品行所组成结构表示之间的关系。

在最简单的形式中,单一胜任力规范可能会满足这些目标,为单一工作职能或课程元素构建起由 K、S 和 D 组成 [Wag5] 的合适的胜任力描述,如图 D.3 所示。根据图 D.4,

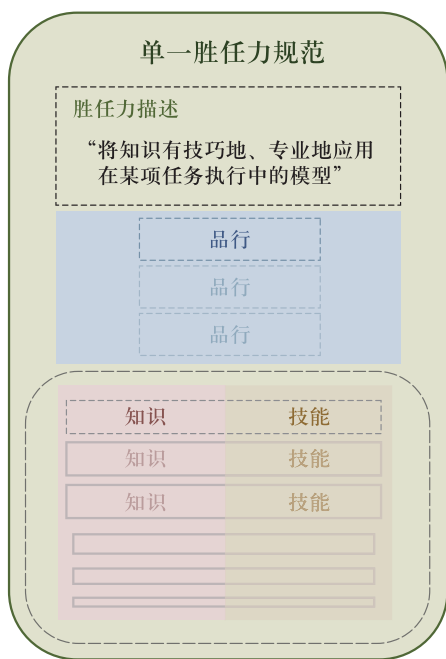


图 D.3 单一胜任力规范(A)

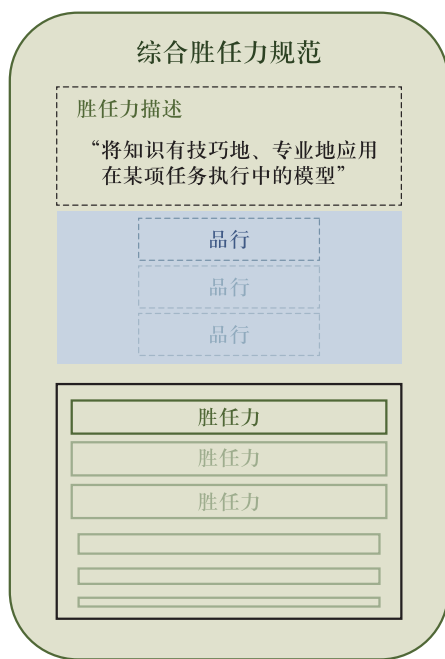


图 D.4 综合胜任力节点:(C)

该单一胜任力可能被引入成为更复杂(复合)胜任力的组成部分。复合胜任力规范以具有分支和叶节点的树结构展开。图 D.5 说明了这种情况,其中复合胜任力规范(C)可以结合单一(A)和其他复合(C)胜任力。胜任力规范通常被综合考虑,因为它们常常用于制定各种受教育能力描述:工作描述、学习计划、学位、培训证书、专业认证和执照,以及绩效评估标准。从这个意义上说,更复杂的胜任力模型由其他元素组合而成,用来支撑整体胜任力[Fre5]。

在以下各节中,我们将对胜任力规范进行剖析:胜任力表述,知识部分(knowing what),技能部分(knowing how)和品行部分(knowing why)

D.3.1 胜任力表述在胜任力规范中的作用

总体而言,胜任力规范表示了一种知识模型,该知识模型可以熟练专业地应用于某些任务执行中。胜任力规范中的胜任力表述是一种通俗易懂的表达,它简洁地传达了通

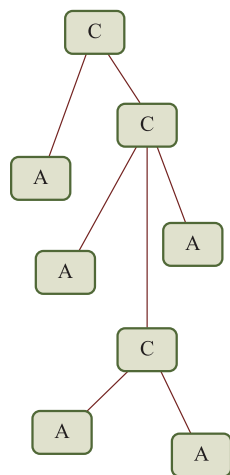


图 D.5 单一(A)和复合(C)节点的胜任力树

过学习课程要达到的相关能力目标,以及在工作场景中成功执行任务相关的能力。胜任力自由形式的表述以广泛受众熟悉和理解的术语表示胜任力,通常使用受众熟悉并能引起共鸣的词汇。对胜任力表述的结构在此基础上进行扩充和放大,以完成胜任力规范中有关知识、技能和品行的详细描述。

胜任力表述的自然语言偏向于公众受众,而胜任力组成部分则更为正式,因为它列举了组成部分,例如以技能水平展示的知识要素和确定胜任力所必需的适度品行。这种结构枚举对于自动化比较分析和课程体系可视化至关重要。将胜任力表述的自由形式与更正式的特定组成部分枚举联合使用,可以证明这两种观点是一致的。从这些角度看,任何分歧都表明需要对一种或两种表述进行更深入的思考。

D.3.2 胜任力的组成部分:知识,“知道是什么”

单一胜任力表示在某些任务执行中熟练专业地运用的知识;它的词汇通常会从某些隐含或明确表述的胜任力中汲取,这些隐含胜任力是在某种技能水平上反映出来的,而这种胜任力是通过将预期目标背景下的某些任务反映出来的。关键之处是如何表达:例如,如何以有意义的方式表述组成部分,应用了哪些知识,熟练应用知识的期望程度,以及应该在成功完成的任务中展示出哪些品行方面的表述等。

最丰富和最具表现力层面的知识是可以被技能所应用的知识。以下小节概述了适用于建立专业计算胜任力模型知识的三个观点。每个观点都在计算专业毕业生和从业人员的预期管理中发挥作用。通常要求计算专业的毕业生能够熟练地应用计算学科知识(与其学术专业相关)、与学士学位教育一致的基础知识,以及作为专业人士如何运作相关的专业知识。将某些知识领域确定为“学科性的”、“基础性的”和“专业性的”可能是武断的,但最终,需要的是一个可理解的词汇表,对受众来说是清晰一致的胜任力表述。

D.3.2.1 计算交叉学科知识

半个世纪以来,在知识领域(KAs)、知识单元(KUs)和学习成效(LOs)模型等方面沉淀而成的计算知识百科全书,为计算教育各分支学科的计算胜任力目录的制定提供了丰富的基础。这些学科胜任力的实际概念是普遍使用的,但需要标准化编制以促进学术和行业相关受众群体之间的操作性和可重用性。雇主经常规定特定技术或通用知识领域(例如,网络、云计算、系统分析和数据库)作为计算课程系列的基础,学科知识有时在计算子学科(例如,计算机科学、信息系统)中被不同地标记或描述。CC2020 致力于将胜任力提升为描述计算在课堂和工作场景中的作用的总体框架,这为规范描述计算胜任力的

词汇提供了机会。基于现有知识领域(KAs)、知识单元(KUs)和学习成效(LOs)课程规范的标准化词汇表可以阐明教育者识别学科知识及其熟练应用的术语。

表 D.1 是计算知识领域的代表性总结,摘录自 CC2005 以来发布的计算学科规范文档。虽然该表不完整,但它提供了一个基于不同计算领域集体智慧的计算知识高级词汇样本。

表 D.1 计算知识领域的代表性总结

分类	计算知识领域
1. 用户和组织	K(C-1.1) 社会问题与专业实践
	K(C-1.2) 安全政策与管理
	K(C-1.3) 信息系统管理与领导
	K(C-1.4) 企业架构
	K(C-1.5) 项目管理
	K(C-1.6) 用户体验设计
2. 系统建模	K(C-2.1) 安全问题与原则
	K(C-2.2) 系统分析与设计
	K(C-2.3) 需求分析和规范
	K(C-2.4) 数据与信息管理
3. 系统架构和基础设施	K(C-3.1) 虚拟系统与服务
	K(C-3.2) 智能系统 (AI)
	K(C-3.3) 物联网
	K(C-3.4) 并行与分布式计算
	K(C-3.5) 计算机网络
	K(C-3.6) 嵌入式系统
	K(C-3.7) 集成系统技术
	K(C-3.8) 平台技术
	K(C-3.9) 安全技术与实操
4. 软件开发	K(C-4.1) 软件质量、验证与确认
	K(C-4.2) 软件流程
	K(C-4.3) 软件建模与分析
	K(C-4.4) 软件设计
	K(C-4.5) 平台开发

续表

分类	计算知识领域
5. 软件基础	K(C-5.1)图形可视化
	K(C-5.2)操作系统
	K(C-5.3)数据结构、算法与复杂性
	K(C-5.4)程序设计语言
	K(C-5.5)程序设计基础
	K(C-5.6)计算系统基础
6. 硬件	K(C-6.1)架构与组织
	K(C-6.2)数字化设计
	K(C-6.3)电路与电子
	K(C-6.4)信号处理

这个计算知识领域的总结描述了一个易于理解且一致的词汇表,我们将以极高的抽象水平展示计算胜任力描述及其组成从而开发合理的胜任力规范的说明。为了在之后的胜任力可视化说明中清晰表达,我们按照 Stamper 等人开发的符号学框架对计算知识领域进行排序。该框架解释了通过人类交流来进行思想、知识和意义的表达和传递[Liu 1,Sta2,Sta3]。参见表 D.2。展现了元素在笛卡儿空间中的有序排列。

表 D.2 符号阶梯

符号阶梯	符号层描述
社交世界	信念、期待、功能、承诺、合同、法律、文化
语用学	内涵、沟通、对话、谈判
语义学	意义、主张、有效性、真实性、重要性、表示
句法学	形式结构、语言、逻辑、数据、记录、推论、软件、文件
经验的	模式、种类、噪音、熵、信道容量、冗杂、有效、代码
物理层面	信号、轨迹、物理区别、硬件、组分密度、速度、经济

虽然表 D.1 总结了从六种已经发布的计算课程体系规范(如[Acme07、Acme05、Kra2])中收集整理计算领域知识,但该词汇表并没有涉及计算实践中不可或缺的许多领域知识。它缺乏描述许多计算学科共有的基础和 / 或专业性质知识的词汇。表 D.1

也没有涉及商业、科学或政府的职能领域,在这些领域,对应用场景的理解对于有效计算至关重要。以下几节简要说明了学士学位教育中应该给予胜任力关注的一些领域。

D.3.2.2 专业知识和基础知识

仅凭计算学科知识不足以使毕业生为成功的职业生涯做好准备。尽管学科知识把计算专业人员与其他专业人员区分出来,但除了计算之外,还有许多基础知识领域,在社会和工作场所是必不可少的。基础知识应该在计算课程体系中详细描述,因为它是理解和成功应对计算从业者所面临的所有挑战所不可或缺的。

有一些工作场所行为的基础能力以个人为中心(例如,数学、物理科学、语言、社会科学的基本学术品行)。其他典型的基础知识包括书面、口头和演示媒介中的有效沟通——例如,时间的自我管理、礼仪、礼节和许多其他方面。尽管对这些领域中的任何一个进行深入学习可能都更需要专门的课程,但对基础知识应用的期望还应该在计算学科学士学位专业中有所规定。

雇主需要的是能够将其计算机技术知识应用于特定的商业任务,并具有专业洞察力的审慎程度的人才。据报道,随着计算在商业、政府和社会中的作用不断扩大,对精通技术的求职者的需求不断增长。计算招聘广告中为具有计算和/或基本工作技能的求职者提供了大量的机会。然而,申请人能否有效地将计算知识应用于雇主的要求中,往往是评估中的重要内容。除了提到的应用具体“专业”知识之外,常见的对多年经验的要求也验证了这一点,“经验”是实际的、已证明的工作场所敏锐度的代名词。

行业用人经理通常认为,仅有计算方向的专业知识或者基础敏锐度不是雇佣计算专业毕业生的主要标准。例如,计算专家与其他来自不同背景的专业人士合作是有效开展项目的核心。团队合作的理念是“一群人作为一个团队或为了共同的事业而共同行动地合作或协调努力”[Dic2]要成为专业人士,从业者必须通过连贯和清晰的沟通来展示有效的思想交流。在团队中工作通常是计算课程体系的规范部分。理想情况下,有效的团队合作应该包括跨学科的机会,其中团队包括计算专业知识以及从其他学习领域获得的熟练程度。虽然不是计算专业人员独有的,但发展和掌握其中某些能力对于帮助初学者从初学者过渡到专业人士至关重要。

在基础和专业领域与胜任力描述相关的地方,基础和专业领域的词汇一致性将是至关重要的。表 D.3 展示了基础和专业知识的样本词汇。这些是代表性术语,而不是详尽的列表。与表 D.1 相似,该词汇表来自国际认可的计算课程体系指南 IT2017 [Acm07] 和 MSIS2016 [Acm11]。该表列出了对计算专业毕业生的画像具有增值作用的工作场所敏锐度的建议备选领域。

表 D.3 专业和基础知识领域示例

K (P-1)	口头交流和表述	K (P-8)	关系管理
K (P-2)	书面交流	K (P-9)	分析与批判性思维
K (P-3)	问题解决与故障排除	K (P-10)	时间管理
K (P-4)	项目和任务的组织精神规划	K (P-11)	质量保障 / 控制
K (P-5)	协作与团队精神	K (P-12)	数学与统计
K (P-6)	研究与自学 / 学习者	K (P-13)	伦理与跨文化视野
K (P-7)	多任务优化与管理		

D.3.2.3 应用领域知识

计算领域的专业实践体现在组织或商业环境中。每一个计算人工制品都存在于某种社会环境中——也就是说,服务于个人、社区或两者皆有的意图。对社会环境的了解告诉计算从业者所面临的选择是恰当的、有益的,还是无益的。为了做出恰当的选择,计算专业人员必须拥有基础、专业和应用情境的知识,并将其与专门用于计算的知识结合起来。为了使未来的学生、雇主、立法者和公民选民受益,计算课程体系指南应该尽可能明确地以有计划的方式发布基础、专业和应用领域的经验。

尽管在过去十年中,各种专门针于软件开发技术的计算培训项目(包括程序设计训练营和学术人才培养项目)激增[Wag1],但计算学士学位专业应该包括应用领域教育和经验的要求,以让专业人员了解熟悉其在实践领域的潜力。文化或社会背景也可能需要规划好的教育活动和经验——政府、非营利组织、国内或国际的。

计算常见的应用领域包括商业[Top1]、医学、工程、交通、娱乐等。有许多子学科;一些是计算 +X,另一些是 X+ 计算,其中“X”的位置表明“X”是否是主要的学科重点,或者它是计算的应用领域。例如,信息系统的计算子学科本身有许多衍生,X-IS 信息系统专业,(例如,会计 - 信息系统、营销 - 信息系统、金融 - 信息系统、医疗 - 信息系统)。这些 X-IS 信息系统专业中的每一个都是一门通过计算增强的学科。任何划定的应用领域都需要知识、技能的细节,也许还有独特的品行,有助于做出明智、敏锐的选择,巧妙地将知识应用于生产、项目的设计和参与。

这些计算知识的示例领域中的每一个都应当进行认真的分类并制定实践活动和学习目标,这些目标可以通过编写相关的胜任力规范来实现。在某些情况下,这些领域中的知识将被整合到有针对性的项目或子学科的长期目标和短期目标的计算胜任力规范中。其他知识可能分布在学术项目中的兄弟学科里或工作场所的特定职业发展活动中。

当与计算胜任力相关的这些知识领域的需求和价值的阐述促进了讨论和学科间和学科内规范化的可能性时,学术界和工业界都将从中获益。

表 D.1 和 D.3 中提供的知识领域的综合是高度抽象的。这里提供这些是为了说明;一般来说,实际胜任力规范需要更详细地规定知识点。

D.3.3 胜任力的组成部分:技能,“知道怎么做”

胜任力描述侧重于巧妙地应用知识,特指“**在行动中观察到的知识**”。通过将计算技能识别为实质上的规范认知而不是精神层面的,可以大大简化撰写和构建胜任力表述。这种简化与布鲁姆分类学中的认知领域理论相关联,并且允许在 2001 年对布鲁姆教育目标分类法的修订版中采用有共识的词汇[And5]。这种分析论证逻辑里,“**知道怎么做**”被表达为与实践中观察到的技能水平相匹配的知识组件。表 D.4 列出了表示技能水平的动词。

表 D.4 修订后的布鲁姆认知技能表[And5]
(列表不按字母顺序排列)

	B-I 记忆	B-II 理解	C-III 应用	B-IV 分析	B-V 评估	B- VI 创造
定义	通过回忆事实、术语、基本概念和答案来展示对先前学习材料的记忆。	通过组织、整理、翻译、解释、描述,展示对事实和想法的理解	通过运用获得的知识、事实、技术规则,在新环境下解决问题。	测试并把信息分为几部分,以识别动机和原因。做出推论并找到支持的证据。	根据信息、想法的有效性或者质量做出判断并提出并捍卫观点	通过以新模式组合元素或者提出替代方案,以不同的方式编译信息
动词	选择、定义、发现、如何、标记、列表、匹配、名字、忽略、回忆、涉及、选择、展示、拼写、告诉、什么、何时、哪里、哪个、谁、为什么	分类、比较、对比、证明、解释、扩展、证明、推断、解释、大纲、涉及、改写、展示、总结、翻译	应用、建立、选择、构建、发展、实验、和、确认、面试、做、使用、关于、模型、组织、计划、选择、解决、利用	分析、假设、分类别、分类、比较、总结、对比、发现、解剖、分辨、分开、测试、功能、界面、推理、检查、列表、动机、关系、简化、调查、参与、测试、主题	同意、评价、评估、奖励、选择、比较、总结、标准、批评、决定、扣除、防守、定义、反对、预估、评估、解释、重要性、影响、解释、判断、证明合法、标记、测量、观点、预测、优先、证明、估计、推荐、规则、选择、支持、价值	适应、建立、改变、选择、混合、编译、撰写、构造、创新、删除、设计、发展、讨论、精心制作、估计、制定、发生、假设、证明、发明、弥补、最大化、最小化、修改、原来的、起源、计划、预测、提出、解决方案、解决、认为、测试、理论

这种表述为“行动中的可观察知识”的技能,需要通过描绘一个可观察到能熟练应用知识的情境,以及一个要实现的目标来表达。在操作术语中,K+S 通常在完成一项任务时才能被观察到,任务传递了目标,并让行动者以特定水平的技能来应用知识。任务既是观察行动者实践 K+S 的环境,又生动体现出品行 D 调节了行动者完成任务的表现以及衡量成功的标准。

D.3.4 胜任力的组成部分:品行,“知道为什么”

胜任力的元语言,“知道是什么”、“知道怎么做”和“知道为什么”,贯穿科学事实、实践行为和文化规范的各个领域。科学的(技术上合理的)事实和实践行为有助于进行分类评估:对或错、存在或不存在、一致或不一致、有效或无效。品行包含了那些不容易进行分类评估的智力、社会和道德偏好或倾向。这些偏好反映了不可接受科学证明的价值判断。不管是个人还是在社会文明中,价值观或者价值观认知可能不同。而且,价值判断也经常随着时间的推移而变化——受到实践经验的影响!

在更广泛的文化领域中,品行可能会对几乎任何激励人类行为的理想品质(如道德、正直、同理心、责任心、诚实、尊重)中有所体现。但最终,品行形成最终是通过个人运用自己的知识和技能,通过自己的行为来实现的——个人通过负责任的决定和行动来发挥自己的才智[Gra1]。在这种应用情境下,品行意味着通过行动者的选择、决定和行动反映其表达的价值观的内在美德[Ann1]。

品行规范中的一个重要考虑因素是专业知识或基础知识(如沟通清晰度、领导力、创造性思维和时间管理,其中包括“知道怎么做”类别的重要组成部分)的熟练应用与品行(“知道为什么”)的区分。例如,表 D.5 中提供的品行类别的阐述是通过分析职务说明[Nwo1, Cle1]和其他相关来源[Gra1]的研究来完成的,然后删除那些可以识别为 K-S 对的表述,或者显示为结合 K-S、D 和其他成分的胜任力。因此,像领导力这样复杂的事物最好被建模为胜任力,因为它意味着 K-S 组合和一个或多个品行。其他情况很可能是 K-S 组合的集合,它们是胜任力的组成部分。

表 D.5 提供了从文献中得出的预期品行的简短列表,以完善作为胜任力组成部分的知识、技能和品行。作为胜任力的内在组成部分之一的品行,代表了可以清晰表达出的对毕业生在工作中所被期望展现出来的学术机构和学术专业的价值观。品行期望丰富了对胜任力和 / 或相关教育学的描述 / 评估。将品行归因于一种胜任力,表明了对自我反思的明确承诺和对使命、目标和目标的清醒审视,以达到清晰的目的,使其能够有效地融入课程体系设计、教学机构和专业精神的特质。

表 D.5 预期品行[Nwo1,Cle1,Gra1]

品行	细 化
D-1 主动性	有主动性 / 自我启发 表现出独立性。独立评估和开始活动的胜任力,无需被告知该做什么。愿意带头,不等别人开始活动或等待指示。
D-2 自我指导	自我激励 / 自我指导 表明决心继续努力继续任务。不需要其他人的指导就可以将任务继续朝着其期望的目标前进。
D-3 热情	充满激情 / 信念 坚定地致力于并热衷于实现任务或目标。为了任务、项目、团队或实现目标的方式的成功与利益提供有力的理由。
D-4 目标导向	有目的地参与 / 有目的性 目标导向,有意识地采取行动并致力于实现组织和项目目标。反映出对决策、工作或工作产品所服务的组织目标的态度。例如,业务敏锐度。
D-5 专业	具有专业精神 / 职业道德。反映出的受过训练的和熟练的人员有关的素质:诚实行事、正直、承诺、决心和奉献精神,以及完成任务所需要的品质。
D-6 责任感	凭借判断力 / 谨慎 / 责任 / 正直 反思条件和担忧,然后根据情况采取适当的行动。利用专业知识、经验、理解和常识进行负责任的评估并采取行动。例如责任心、专业的敏锐度。
D-7 适应性	适应性强 / 灵活 / 敏捷 能够或愿意调整方法以响应不断变化的条件或需求。
D-8 协作性	合作 / 团队合作伙伴 / 影响 愿意与他人合作;从事其他人员和组织的适当参与对任务有帮助。力争在达成共同目标时要尊重和多产。
D-9 反应灵敏	响应 / 尊重 反应迅速而积极。尊重沟通的时间安排和实现工作目标所需的行动。
D-10 严谨性	注重细节 通过关注相关细节来实现任务的彻底性和准确性。
D-11 创造性	探索性 / 创新性 超越简单的解决方案;检查替代的想法和解决方案;寻找,生产和整合适当的选择

品行能明确区分胜任力与学习成效,是结构良好的胜任力描述里的一个基本特征。因此,它显著延伸了表达学习目标的语言,增加了胜任力描述,并增加了职业要求中常见的语言。然而,当以自由形式使用时,这些术语可能很容易变得模糊或难以解释。这就是胜任力的规范变得更有价值的地方,它是自由格式文本与在 T 框架中组成部分 K+S+D 的结合。胜任力表述用平淡、简洁的语言,传递了课程体系规范的基本目标,而 K-S 对和 D 元素的结构化枚举传递了行为的意图。

以下是构建结构良好的胜任力表述及其规范的说明。其目的与其说是为所有计算毕业生定义特定的要求或期望的胜任力,不如说是探讨在制定这些表述过程中存在哪些困难点,有什么价值,以及模型中应包含哪些细节。表 D.1 中提供了词汇(尽管是高度抽

象的),表 D.3、D.4 和 D.5 这些示例提供了合理的说明,展示了如何为一个学术专业、课程体系或工作描述制定结构良好的胜任力表述。

D.4 为胜任力描述构建胜任力规范

胜任力表述并不是表达学习目标或结果的最常见手段。恰当的胜任力表述应该是表达清晰、相关且可操作的规范。因此,它们与学习成效的不同之处在于它们意味着一个或全部四个(T 中的 K、S 和 D)组件。在实践中,有用但不完整的胜任力表述可能只提及了其中的一些组件,因为它们的主要目的是沟通,而不是完整性。在 CC2020 工作组进行的胜任力探索(见附录 C)中,收集的自由形式的胜任力表述很少包括所有四个组成部分。事实上,许多计算胜任力表述是不完整的,并且只对一些组成部分而不是所有组成部分进行了明确的表述。不完整的胜任力表述的缺点是它们在评估、比较或其他形式的分析中用处较小。因此,将自由形式的表述与其详细的 K、S 和 D 规范配对能帮助解释彼此的意图,也在实践中充当了评估一致性的手段。结构良好的语句应该含有结构化的组成部分,特别是介绍出某种任务背景,而且在这个任务背景中,胜任力应该是可观察的。

D.4.1 制定胜任力表述和规范

在制定一个好的胜任力表述时,作者/设计者最好参考任务执行的结果来设计,这些结果以清晰、相关和可操作的方式描述期望的参与者行为。表 D.1–D.5 中的 K、S 和 D 词汇提供了用于开发和/或解析胜任力表述的示例结构。一个特定的胜任力表述可以有许多 K 和 S 组合作为组成部分。类似地,K–S 组合可以由一个或多个 D 标签进行调节。这一理念遵循胜任力理论,这一理论为胜任力建模提供了有层次的描述结构[Fre5]。在这种表述中,胜任力可以单独建模为 T 中的 K、S 和 D,也可以作为其他胜任力的组成部分。

在实践中,课程体系使用的胜任力表述不应该局限于像表 D.1–D.5 中那样的结构化语言。这种局限限制了胜任力在特定情境中的表达。利用 T 结构中的 K、S 和 D,使用结构化语言详细解释自由形式表述的含义,这具有很重要的价值。在这一过程中,更加明确了隐含组成成分,这使得胜任力表述在表达和意义上都更加丰富——更清晰、相关和可操作。

使用结构化语言对胜任力表述建模可以改善沟通和评估。对于沟通,将胜任力表述

结构化为结构化语言的过程记录了显式含义,并有助于揭示表述中的隐含含义。对于评估,识别的不同 K+S 和 D 组件通常以不同的方式进行评估。识别和分类目标组件有助于评估单个组成部分的清晰度。

正如第 5 章所阐述的那样,分析胜任力表述的各种 K、S 和 D 在 T 模型中的胜任力能够用于比较胜任力表述[Tak1]。通常,很难比来自不同计算课程体系描述中的非结构化胜任力表述。但是,如果表述的组成部分可以使用通用的结构化词汇,则可以通过使用自动化的可视化来对胜任力进行比较和建模。

在课程体系中,任务中可以观察到品行的理念为提高学生理解计算学科或学术专业相关的知识和技能提供了可能。胜任力表述为学生提供了通过计算教育使能力变得更加全面综合的机会。通过应用相关的品行,学生学习的内容有了明确的方法,学生受教育的过程更有指导性,这些都提供了提升学习的手段。因此,目标人群将直接受益于计算专业毕业生的这些特质。

D.4.2 细化胜任力表述

为了说明胜任力表述的制定过程,这项工作列举了表述的知识、技能、品行和任务元素。这里,我们首先提供了一个来自系统/软件工程领域的示例语句,然后是来自信息系统领域的另一个示例。根据图 D.3,这两个示例(图 D.6—D.9)被用作图 D.10—D.12 中复合胜任力的示例。

这些例子的目的是说明如何以结构化的形式展开短语分解,三种不同自由形式的胜任力描述,展示了显性和隐性的 K-S-D-T 组成部分的拆解。这些被映射到结构性词汇上并进行完整性分析。胜任力表述的这种详细映射有多个目的。首先,它非常有助于理解表述的完整性,以及明示或暗示的 K-S 组合。该表述的完整性表明了某个情境中例子的性质,这有机会产生多种独特的评估可能。它还提供了与预期评估内容的关联,例如,不仅包含学生做了什么,也包含他们是如何做的;他们的工作结果质量和完成工作的过程质量。

这项练习最重要的地方是能够支撑在学术专业中实现此项胜任力。它提供了一种结构化的方式来表达所需要教授的内容,确定如何更好地管理学习活动的框架,以及明确了如果要更好地评估专业中所要求的胜任力的不同方面,我们该关注什么。例如,旨在支持发展某一胜任力的学习模块可以存在一门课程中,也可以出现在多门课程中。它可以在必修课程中,也可以在描述某项关键任务的课程中,甚至在实习或其他环境的练习中。

通过在与目标人群的工作会议中应用已知的需求获取技巧,使用引导技巧,
作为需求团队的重要成员,识别和记录系统需求。

图 D.6 系统需求中的胜任力表述自由格式样本

图 D.6 的自然语言文本可以被解析成三个组成胜任力短语进行分析。下面的列表建议对显式和隐式 K-S 对以及整个语句的隐含背景进行检查。

利用表 D.1、D.3 和 D.4 的抽象词汇表,产生以下几组映射:

(i) “识别和记录系统要求”(在某种程度上)明确期望学生应用[S(B-Ⅲ)]**要求分析和规范**[K(C-2.3)]知识和理解,还暗示学生展示应用[S(B-Ⅲ)]适当的**书面交流**[K(P-2)]知识和技能。

(ii) “在与目标人群的工作会议中应用已知的需求引出技术”明确期望学生应用[S(B-Ⅲ)]**需求分析和规范**[K(C-2.3)]知识和理解,并暗示学生应用[S(B-Ⅲ)]**系统分析和设计**[K(C-2.2)]知识和理解。

(iii) “使用促进技能,作为需求团队的贡献成员”明确期望学生应用[S(B-Ⅲ)]**需求分析和规范**[K(C-2.3)]知识和理解,并应用[S(B-Ⅲ)]**协作和团队精神**[K(P-5)]知识和技能。

将其扩展为包含所涉及的品行元素(例如,表 D.5)增加了一个额外的映射:

(iv) 在语境中,整个表述意味着学生有能力“**评估**[S(B-V)]”“**需求分析和详述**[K(C-2.3)]”和“**分析**[S(B-IV)]”“**协作和团队合作**(P-5)”的能力。这些行为预计将由学生证明他们“**有目的地参与**(D-4)”“**判断**(D-6)”和证明“**有协作精神的**(D-8)”来调节。

最后,完整性保证包括表述或暗示的任务规范:

(v) 该语句明确了工作中某个特定(虽然未指明)的任务(T)

图 D.6 中的这个示例表述提供了一个基于胜任力的方法来描述可能的学术专业或课程级别的目标或培养成效的例子。这个表述看起来很完整,因为它在与相关词汇相一致的抽象水平上合理地捕捉了一个有用的胜任力表述的所有四个 K-S-D-T 元素。值得注意的是,有了更详细的词汇表(未呈现),每个 K 元素都可以扩展到其他胜任力组成中。基于这种级别的分析,该语句扩展为单一(atomic)胜任力,如图 D.7 所示。

本胜任力表述侧重于系统分析的核心方面。如果在课程或专业中使用,它为教学系统和 / 或软件要求单元(或课程)的教育者提供了机会(和挑战),他们不仅需要建立学习环境,让学生参与到情境中,还要让教师观察学生的行为,以评估学生在多大程度上展示了 K-S-D 组成部分。第五章将更详细地探讨与学术专业定义和评估的关系。



图 D.7 示例系统要求胜任力规范

为了说明计算中不同领域的这种表述 / 分析过程, 图 D.8 展示了与企业架构领域相关的信息系统 (IS) 领域的第二个示例。

根据组织业务模型分析企业架构。考虑几种合适的云服务方法。
用成本效益细节来验证方案, 并提交给管理决策者。

图 D.8 企业架构中的云服务

利用表 D.1、D.3 和 D.4 的抽象词汇, 这将产生以下几组映射:

(i) “对照组织商业模式分析企业架构”它明确期望学生分析 [S(B-IV)] 企业架构 [K(C-1.4)] 利用这些知识和理解。这种期望也利用了对信息系统管理和领导力 [K(C-1.3)] 的理解 [S(B-II)]。

(ii) “考虑几种合适的云服务方法”明确期望学生分析 [S(B-IV)] 虚拟系统和服务 [K(C-3.1)] 的知识和理解。

(iii) “用成本效益细节来验证方案, 并提交给管理决策者”明确期望学生评估 [S(B-V)] 利用信息系统管理和领导力 [K(C-1.3)] 的知识和理解。这项工作包括检查和分解细节, 即分析 [S(B-IV)] 研究和自学 / 学习者 [K(P-6)]。然后, 通过应用 [S(B-III)] 口头交流和表述 [K(P-1)] 知识和技能以及应用 [S(B-III)] 书面交流 [K(P-2)] 知识和技能来传达这些信息。

将其扩展到包含所涉及的品行元素(例如,表 D.5),增加了一个额外的映射:

(iv) 根据第(i)和(iii)项,本表述意味着学生展示分析[S(B-IV)]**企业架构**[K(C-1.4)]和评估[S(B-V)]利用**信息系统管理和领导力**[K(C-1.3)]知识和理解的能力。在学习环境中,这些行为预计将由学生展示他们是**主动的**(D-1),以**自我驱动的**(D-2)方式寻找所需的信息。适合管理层的演示文稿的**目的是展示专业**(D-5)的态度和行为。

(v) 最后,完整性保证包括所述的任务规范(T),但在企业架构的应用中也允许不同的设置。

与前面的例子类似,考虑到所使用的抽象词汇,这给出了一个相当完整的语句。图 D.9 展示了这个语句及其映射。



图 D.9 企业架构中的云服务

图 D.6-D.9 展示了单一胜任力(例如,那些不依赖于先前表述/建模的胜任力)。图 D.10 展示了一个可以被建模为依赖于这些表述的表述。这个例子涉及与云服务主题相关的胜任力,并反映在信息系统领域。

提出基于组织商业模式并与组织使命和目标相一致的企业架构，
架构应提出与组织要求相一致的合适的前沿技术。

图 D.10 企业架构中的云服务

利用表 D.1、D.3 和 D.4 的抽象词汇,以及图 D.10 的胜任力,产生以下几组映射:

(i) “提出基于组织业务模型的企业架构”包含了图 D.8 中显示的并在图 D.9 中建模为 C-002 的企业架构胜任力。短语“与组织的使命和目标一致”在规范上是有效商业建模的一部分,因此在该胜任力范围内被考虑。

(ii) “提出适当的……符合组织要求的技术”明确利用了图 D.6 中显示的系统要求胜任力,并在图 D.7 中建模为 C-001。

将其扩展到包括所涉及的配置元素(例如,表 D.5),增加了一个额外的映射:

(iii) 在学习环境中,这些行为会被学生调节,以证明他们是以**创造性**(D-10)的方式**严谨性地**(D-10)寻找信息。

(iv) 最后,完整性保证包括所述的任务规范(T),但在企业架构的应用中也允许不同的设置。

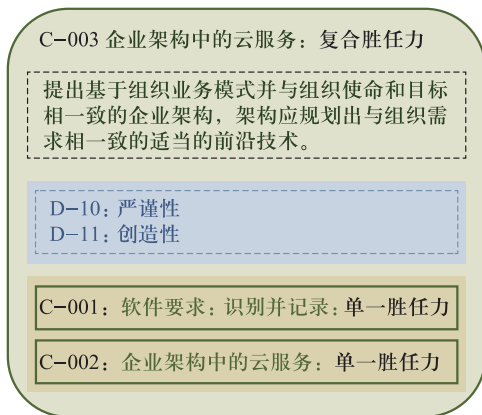


图 D.11 企业架构中的云服务



图 D.12 复合胜任力规范

D.5 计算教育中的胜任力

正如此处所描述的,胜任力是对可以更好定义学位、课程、学习模块等预期目标的一种更宽泛的表述 [Fre5]。胜任力代表着专业学位(或者其他学生在履行的项目,简单起见,我们使用英文术语 program,根据语境相应地译为“专业”“培养方案”“项目”等)水平上的结果期望。学习体验是课程、模块或其他类似的学习活动集,它们共同构成了一个培养计划。每次学习经历都会带来一系列学习成效,这些成果共同使学生能够获得所需的胜任力。课程体系至少为每个学习经历指定主题、教学方法和学习成效等内容。

在其他文章的描述中,胜任力的表述通常是二元的;要么有这种胜任力,要么没有。然而,这不是这里描述的胜任力的本质,也不是对计算教育有用的胜任力。相反,与其他类型的学习成效一样,它们是在特定技能水平上展示的。T 公式中的 K、S 和 D 的目的是提供可证明的目标,这些目标可以观察到,并在教育环境中评估学生对这些目标的实现情况。除了传统的学习成效之外,胜任力的表述还包括品行或“约定俗成的价值观”(enacted value)等学习要素。因此,任何教育水平的胜任力规范都可以为教学法提供信息并为评估提供依据。

胜任力最关键的方面之一就是使用一致的词汇。T 框架中的 K、S 和 D,仅在用于任何组成部分术语对其组成部分具有一致含义时,才起作用。从历史上看,用于描述胜任力的许多术语都高度依赖于上下文或含糊不清 [Fr5, Per5]。因此,作者和读者都需要有用的、经过评审的词汇,特别是用于描述知识、技能、品行的术语,这对于交流和理解隐含的含义都是必不可少的。例如,表 D.1 和 D.3 的词汇非常抽象,而自 CC2005 以来开发的许多知识领域、知识单元层次结构则相对详细。使用更详细的词汇,可以描述更详细的胜任力。

这种基于胜任力的方法提供了一种新的机制来处理、描述课程体系,以反映毕业生可以做什么,而不是他们所知道的。从知识领域(KAs)、知识单元(KUs)和学习成效(LOs)模型向基于胜任力的学习转变的原因之一,是行业需求与计算专业毕业生的能力之间存在技能差距。特别是,表 D.3 和 D.4 中利用的胜任力词汇全部来自计算职位描述中使用的词汇。通过基于胜任力的方法促进这种与工作场景的关联很重要。对于大学来说,绝大多数计算专业的毕业生都是直接进入职场的。虽然大学不是工业界的培训基地,但经常有报道称大学生生产的产品(计算毕业生)与工业需求之间存在脱节 [Rad1, Bil1]。将专业培养的期望指定为胜任力,这使得计算领域的雇主合作伙伴以及毕业生和其他成员

更容易理解。这些主题(和其他主题)在附录 E 中有更详细的阐述。

CC2020 项目已将胜任力作为其基本主题和本报告的主要组成部分。项目工作组认为,计算领域的每条职业道路,无论是工业、学术、政府或任何其他职业,都需要有针对性的适用胜任力水平。而知识只是胜任力的一个组成部分。采用胜任力作为学术专业培养方案设计的基础模型,将更有效地连接学术界可以达到的人才培养目标与社会的人才需求。因此,本报告应该促进基于胜任力的学习而不是基于知识的学习,这是合乎逻辑的。当有意使用这种方法时,可以确保计算专业的毕业生在职业道路上更好的发展。

D.6 胜任力对未来课程体系的指引

CC2020 项目工作组致力于在当前和将来的计算课程体系中使用胜任力,并建议继续胜任力表述的研究。基于胜任力的方法,将使比较计算学科和推动详细比较成为可能。胜任力意味着获得超越仅拥有某个领域知识的专业卓越和绩效水平。这些扩展包括在工作场景中,以可接受的技能水平运行的技术和专业技能。在一个共同的参考框架内,在未来课程体系指南的制定中采用基于胜任力的方法是很重要的。这是第 5 章的主要主题,它开发了一种收集和比较国际课程体系指南结果的方法,并且不仅可以收集课程体系模型,还可以收集和比较世界各地实际课程体系的模型。

该报告还假设特定计算毕业生所需要的知识、技能和品行不在我们的工作范围之内。设计详细的胜任力是特定学科课程体系的责任,更具体地说,是单个计算专业培养方案本身的责任。

鉴于大多数计算专业的毕业生都进入了工作岗位,因此所有计算专业都必须为他们的毕业生做好适当的准备,这样他们才能像专业人士一样工作并从事富有成效的职业,这一点至关重要。尽管 CC2020 项目只能表明我们的信念,但工作组相信全球计算组织和计算专业将听取本报告中提出的建议,并转变为行为,使胜任力成为未来发展中的核心。在当今世界,毕业生必须能够凭借技术和专业知识、技能以及更好的机会在工作中发挥作用,同时需要发展有助于使他们的知识和技能在工作中发挥作用的品行。

随着 CC2020 工作的进展,其他国际课程体系开发工作也取得了进展,包括 IS2020。这个网络安全项目也构成了与 CC2020 项目并行的持续课程体系工作。ACM 于 2017 年 12 月发布了这份名为 CSEC2017[Acm07]的报告。一些即将启动的项目包括信息系统,报告将于 2021 年提交。当然,其他课程体系更新包括软件工程、计算机科学和计算机工程。CC2020 工作组希望所有未来的课程体系都会考虑采用基于胜任力的方法。

胜任力中包含任务这个组成部分,意味着有机会进行工作场景的学习体验,这些体验涉及工业实操的真实问题,并鼓励雇主通过实习、合作培养项目和专家指导积极参与支持专业发展。通过任务的执行,可以促进不同团队品行培养,对基于任务中的协作规范以及促进有效决策和持续学习等批判性思维的培养很有帮助。

CC2020 报告中提出的计算领域教育的胜任力模型,概括了未来课程规范指南的模式和理念,同时对基于胜任力的课程体系描述的操作性进行了仔细考虑。该模型通过比较来确定课程体系之间可能存在的重叠或遗漏,从而有助于对课程体系规范进行分析。以胜任力形式表示课程体系、课程体系片段和工作描述的潜力促进了广泛的研究和分析。CC2020 的任务是开发计算领域教育的胜任力模型,并不包括具体计算课程体系的编写,这一任务必须通过各计算子学科的课程体系指南来完成,并需要与教育机构在重塑和发展其计算专业的过程相结合。支持采用基于胜任力课程体系规范的最大动力,也许是在学术界和工业界之间建立更有效的合作伙伴关系,从而实现推动计算对社会发展的共同目标。

D.7 总结

本附录涉及胜任力的本质——CC2020 项目的显著特征,在此提出了胜任力描述,并举例说明了该理论的应用。基于胜任力的课程体系在学习目标中更具表现力,并且更容易翻译成适合毕业生和行业要求的工作描述语言。认识到迄今为止在许多计算课程体系中采用都是基于知识的方法,计算课程体系的最新发展意味着计算课程体系的组成部分不仅应包括知识和技能,还应包括品行、技能水平和预期的(可能是“实际”)任务。CC2020 工作组建议未来的课程体系报告采用这种胜任力方法来描述计算课程体系,并扩展课程体系设计的理论基础。

从胜任力到课程体系

第4章介绍并定义了胜任力概念,简要讨论了胜任力如何与毕业生对学位专业的成果期望相关联。这一模型的基础是假设毕业生胜任力规范为设计学习体验提供了基石,这也是毕业生作为计算专业人员执行相关任务所需能力的基石。在本附录中,我们将讨论基于胜任力的方法的各种应用。我们将概述可能从基于胜任力模型中受益的利益相关者群体,以及这些群体,如雇主、学生和监管/认证机构,在教育生态系统中可以从基于胜任力的方法中受益并有效利用它的各种方式。此外,我们将描述胜任力项识别和撰写过程的特点。我们也将讨论如何从一系列胜任力项中衍生出课程体系。

我们在本附录中讨论的基础问题是:①在特定背景下,为特定教育项目推演胜任力项的最合适过程和信息来源是什么?②如何利用胜任力项来指导课程体系设计和修订过程?

E.1 未来课程体系中的胜任力项

本节定义并讨论了对任何基于胜任力方法在实际使用中的几个关键概念:目标人群、胜任力目标,以及针对特定计算子学科,传统方法和基于胜任力的方法之间的区别。

E.1.1 目标人群(Stakeholders)

CC2020项目确定了五组目标人群,其成员可能会从基于能力的方法中受益,以明确结果预期。

- 有意向的学生及其家长
- 在校学生
- 行业专业人士
- 教育工作者
- 教育机构和政府

在父母或监护人的支持下,有意向的学生考虑在大学学习计算相关专业。当他们在大学和专业之间做出选择时,需要了解计算相关专业的差异。有意向的学生和他们的父母可能只有基本的理解,就是学生对计算这个研究领域感兴趣,但可能很少有学生理解计算子学科的多样性或它们之间的差异。这个利益相关者小组的成员有兴趣比较不同的子学科,理解不同子学科的特定专业和课程体系标准特性之间的关系,专业目标和某个工作期望之间的关系,或是专业/子学科和某种职业生涯之间的关系。

学生是在高等教育机构注册的学生。他们可能会考虑从自己的学院或另一个学院(在某些情况下,当学生要选择多个子学科的混合课程时,这意味着不同的院系),甚至在另一个国家选择课程。又或者,他们可能有兴趣转学到另一个教育机构。这些学生特别有兴趣比较不同机构之间的培养方案。

行业是指(1)正在招聘毕业生的组织,(2)正在与大学合作,选择或专门制定课程体系或需要定制类的课程,或者(3)通过在课程中合作中提供实习机会。最重要的是,行业专业人士和招聘人员需要了解有意向的新员工学到了什么,即他们在学习期间获得了哪些胜任力。计算专业人士需要各种特定的技能。例如,寻找软件开发人员的雇主可能会寻找在软件开发方面有很强胜任力的个人,因此他们可能会对软件工程类毕业生感兴趣。另一方面,如果雇主希望个人除了计算基础之外,还能理解并通过技术对组织产生影响,那么他们可能更喜欢信息系统课程体系的毕业生。因此,了解特定类型的课程体系是否符合雇主的需求将有助于确定他们更偏向选择哪种类型的毕业生。

计算教育者是学院或大学中负责设计和实施教育体验的教职员工,教育体验可能包括通向学位的完整课程体系,也可能包括一个或多个课程体系中的单独课程或模块。这些人可能是担任设计和教授课程、设计教育资源(书籍、大规模开放在线 MOOC 课程、网站、演示幻灯片)、管理学校教授的课程体系或评估学生入学或毕业水平的大学教职员工或团队。计算教育工作者需要了解他们当前或未来的课程体系如何与所推荐的标准课程体系保持一致,以及了解毕业生的胜任力如何与目标市场内的行业需求相匹配。

教育管理者是对大学教育拥有权力的组织,如管理和资助大学的(国家)教育部以及对(大学)教育进行评级、评估、认证或定义资格及证书的国家或国际(如欧洲)机构。

教育管理者需要了解特定专业与其宣称教授的领域的课程体系标准相匹配。在许多国家或更广泛的地区,教育当局负责为各种子学科制定当地课程体系标准,因此他们必须按照本附录后面描述的过程应用胜任力模型。

E.1.2 胜任力目标

胜任力目标反映了通过一套胜任力项来定义的实体。这些胜任力目标可以分为几类——课程体系、课程体系标准、工作和职业。实际上,任何可以用一套胜任力项来描述的东西都是潜在的目标。

大学预科生和大学生都在一定程度上受到最终职业选择的驱动。我们的胜任力模型不仅可以应用于子学科和大学专业,还可以应用于职业和工作。我们注意到职业反映了一个广泛的特定工作类别,就像一个子学科反映了一个广泛的特定专业类别一样。表 E.1 澄清了这些概念。

表 E.1

	教育	劳动力
单数的	(学位)专业	工作
聚集体	子学科	职业生涯

为这些目标制定胜任力规范可以在不同的目标之间进行比较。例如,基于胜任力的职业规范可以形成一个基线,用于与不同的子学科进行比较。职业和不同子学科之间的关系可以推动学生选择合适的专业。人们可以根据理想职业和子学科之间的差距务实地选择一个专业,类似的差距度量可以为学位专业的筹备提供指导,以适应特定的工作或职业。

E.1.3 成果期望和学习规范

本节简要回顾了基于胜任力的方法和传统方法在制定学位专业上的差异。在计算领域,长期的传统是以课程体系的形式阐明教育项目的指导和建议,并以课堂时间的形式规定特定知识单元要花的时间。知识单元通常进一步归类为更高抽象水平的知识领域。除了规定专门的时间之外,一般来讲知识单元也包含了知识点列表和学习成效。对于大多数计算学科来说,课程体系规范并没有定义如何将知识点结构化到具体课程中,尽管其中许多课程体系规范包括课程示例,以帮助学位专业确定如何覆盖知识点并组织

成结构化的学习经历(课程)。在 ACM 课程规范中惟一的例外是 IS(信息系统)课程体系规范,该规范目前的版本是 IS2010,IS 课程体系规范是以课程集的形式呈现的。

在传统的计算课程体系建议中,一个知识单元规范可能包括 5 到 10 个主题和类似数量的学习成效。因此,学习成效的抽象水平显然很低。例如,在 CS2013 中,信息管理概念知识单元包括 8 个主题和 13 个学习成效,总共需要三个核心课时(即,学生工作时间总数为 12–15 小时)。学习成效必须严格规定才能在可用时间内实现。此外,在这种方法中,每个学习成效都与一个特定的知识单元相关联。该结构不包括来自多个知识单元(或知识领域)的更高层次的学习成效。

作为学位成果规范的胜任力与知识单元级学习成效有很大不同:学位成效规范里的胜任力项明显处于更高的抽象层次,并且是处于与组织任务相关的绩效要求的情景下。正如第 4 章所讨论的,胜任力项在特定的任务背景下整合了知识、技能和品行多个维度。胜任力规范阐明了毕业生在获得专业学位时所能展现的胜任力。因此,胜任力项本身并不能定义课程体系。为了从胜任力(作为结果)到课程体系(一套学习经历),必须确定 a) 每个胜任力项的知识、技能和品行组成部分,b) 这些组成部分的学习顺序要求,c) 一套有效的教学方法,让学生获得所需的胜任力。第四章介绍了这一过程的概念基础,E.3 在更详细的层面上讨论了这一过程。

正如前面第 4 章所讨论的,胜任力项具有层级依赖结构。在各种学习经历中开发的胜任力将进一步与其他胜任力整合成更大规模的胜任力,作为长期整合过程的一部分。

E.2 识别和开发胜任力

在本节中,我们讨论了各种目标人群开发满足其目的的胜任力描述的过程。这些过程因目标人群而异,如以下示例所示。

- 教师团队创建胜任力要求,以作为全球课程体系的推荐基础
- 教师团队为某一大学课程体系创建胜任力要求
- 政府或行业团体,阐明在特定国家或地区某一行业工作的专业人员所需要的胜任力要求
- 雇主为某一特定工作岗位撰写胜任力要求
- 雇主为普通本科生招聘撰写胜任力要求
- 潜在雇员向可能的雇主展示自己而描述自己的胜任力

在过去的几十年里,胜任力的形成过程作为一种描述教育成效的方法出现了,支持

从各种目标人群的角度就教育的期望进行对话,并阐明雇主对各种工作或职业的需求。在高等教育政策辩论中,胜任力的普遍使用一直是促进理解教育和教育经历价值的一种手段。本节从计算课程体系的角度讨论胜任力的发展描述,并探讨在胜任力规范与课程体系设计和开发中与目标人群合作的方式之间的相互作用。

正如第四章所描述的那样,胜任力项是在职业和对专业专长有所期望的背景下,反映毕业生所展现的理想素质的一种手段。从计算教育的角度来看,这些情景是我们的毕业生与计算环境、系统和过程产生互动的情况。

对胜任力的描述,尽管有时往往不完整,但已经在世界范围内以学习成效和与课程和学位相关的毕业生成果的形式被普遍使用。从学术目标人群的角度来看,学习成效是获得胜任力的一个很好的起点。然而,缺点是这些成果通常被构造为将知识或技能应用于问题或情景的能力。在需要审慎判断的事项上,例如对道德标准的承诺、对结果质量的个人投入、对个人质量标准的投入、沟通和协作行为的投入往往缺失或描述不当。

为了解决这个问题,我们强调了与目标人群合作得出胜任力项过程的几个观点。所有这些方法都采用了计算从业者熟悉的需求分析模型,并以第4章中提出的定义和胜任力组成部分结构为指导。

E.2.1 自由形式描述与半正式规范

第4章提出了胜任力描述的半正式要素结构,便于理解胜任力概念,并且为以结构化方式分析和比较基于胜任力的学位专业规范奠定坚实的基础。正如第四章所解释,基于要素的结构规范并不总是描述课程体系的最佳方式。例如,迄今为止遵循基于胜任力的方法的计算课程体系指导文件(IT2017、MSIS2016和SWECOM)都介绍了胜任力描述,但没有任何正式的规范、或限定结构,或提供胜任力描述语言。

在IT2017和MSIS2016的编写过程中,除了学术研究之外,还参考了行业和政府文件(如SFIA、e-CF 3.0[Eur3]和Clinger-Cohen[Cio])作为典型胜任力描述形式的规范来源。胜任力描述通常以命令动词开头,用于表达对一个组织里特定岗位在特定任务环境中的期望值集合。胜任力描述的一般期望是它应该反映知识、技能和品行的元素,但是当以典型的自由形式叙述时,这三个组成部分不一定能作为独立要素识别出来,特别是在没有进一步分析工作的情况下。

将胜任力发展与其他学科课程体系的经验得出,胜任力描述的初始写作过程不受固定要素结构或狭义选项列表的限制是很重要的[Chal, Wei1]。当雇主阐明他们的新员工在开始工作后有望拥有或迅速获得的胜任力时,期待雇主们愿意将这些描述限制在有

限的词汇里或严格规定的语法里是不现实的。同样,如果课程体系指导文件(无论是本地还是全球)中的胜任力描述的目的是将其传达给未来的学生或未来的雇主,限制词汇或强制采用高度受限的结构不太可能便于理解。胜任力描述需要以将要使用它们的关键目标群体可以理解的方式来撰写。

与此同时,如第4章所讨论的,有充分的理由阐明胜任力描述的正式要素结构,并限制每个要素类型的可能要素集合:在实践中,除非自由形式的叙述能以某种方式转换成半结构化的格式,否则不可能有效地分析、比较和可视化胜任力描述。正如我们将在后面讨论的那样,通过使用结构性和词汇分析来提高自由形式叙述的质量也是可能的,以此提高它们对第4章中所规定的胜任力结构的覆盖面。

E.2.2 引导胜任力

在许多方面,为特定情境制定胜任力描述是一项规范需求的任务。胜任力描述不是描述软件应用程序或系统性能的要求,而是在特定情境中为专业人员制定绩效表现的要求。尽管如此,引出和制定胜任力项的过程与需求发现和结构化过程有着许多共同的特征。

首先,胜任力规范通常是多个目标人群群体之间的合作过程。胜任力应该来自与目标人群群体的互动,如雇主、学生和监管/认证机构,以及课程体系设计者的合作。

可以使用一系列策略来描述胜任力项,包括多方法知识发现过程的所有典型工具,如访谈、调查、观察、面对面和在线焦点小组以及其他协作过程。无论目标人群类型如何,驱动这一过程的基本问题通常是:毕业生/未来员工在完成特定专业体验时,应该能够在真实的环境中完成哪些任务?发现过程应该引导出对专业期望的描述。

令人惊讶的是,关于胜任力描述编写过程的现有文献很少。钱伯斯(Chambers et al.)等人描述了一个提炼出胜任力项的过程,以及用于描述胜任力项的有限语言[Cha1],伦伯格(Lenburg)[Len1]也是如此。Squires和Larson在《空间系统工程》[Squ1]中介绍了如何处理胜任力项以及课程体系设计和实施的其他好例子。

虽然我们不可能为每一个目标群体和可能出现的胜任力类型提供具体的指导,但可以为编写胜任力描述提供通用的指导。伦伯格[·伦1]为编写胜任力描述提供了以下建议。

- 它们应该被表述为以学习者为导向的基本胜任力
- 它们应该用“清晰、具体、朴实和简明的语言”来表达,并且应该是可衡量的
- 它们应该以行动为导向,以“最准确地描述实际、首选结果的行为动词”开始

- 它们应该与“标准、实践和现实世界对工作的期望”保持一致,从而反映出“从业者实际上需要能够做什么”。

- 它们应该服务于“毕业生为实现所预期的整体成效结果所需的能力集群”

在自由形式的胜任力描述中,重点通常是在具体情境中的胜任力的通用结果;在这种表达胜任力项的方式中,知识、技能和品行的组成部分可能不会完全提炼出来;相反,它们需要以 E.2.4 节中描述的方式从自由形式的表述中推演出来。然而,阐明情境总是至关重要的,因为它为学生提供了动力,使学习和履行这种胜任力变得有意义。因此,重要的是开发胜任力的核心内容,同时练习和发展相关技能,展现能积极影响学习者自我意识和与他人合作的责任的品行。

E.2.3 胜任力的层次结构

为了定义一个专业、课程或课程体系单元的最高水平或最抽象的胜任力,有必要阐明与真实情境相关的知识、技能和品行元素的组成。课程体系情境中的胜任力学习可以表现为一种进步,这种观点也允许课程体系设计者有机会定义低阶胜任力,从中可以获得更高水平的胜任力。不依赖于其他前序胜任力的胜任力为课程体系设计者提供了自成一体的基本学习活动,因为它们涉及基本知识和与在适当情境中有意义地应用这些知识和技能所需的具体品行相关的技能。

在我们的方法中,出于胜任力设计的目的,我们假设学习者在学习进程中提升胜任力,并在这一过程中利用她已经获得的胜任力来发展新胜任力。因此,一般来说,胜任力并不是独立的,而是共存于相互依赖的框架中,每个胜任力除了其知识、技能和品行学习元素之外,还可能与一组前序胜任力相关联。这导致了一个有向无环胜任力图,其中每个胜任力都有一组独特的相关学习元素。请注意,优先级图不一定是一棵树,在大多数情况下也不一定是,原因有二——在学习进程中可能没有单一的最终胜任力,单一胜任力可能是后续进展中多个胜任力的组成部分。

E.2.4 从自由描述中推导出半形式规范

E.2.1 节讨论了半正式胜任力规范和自由形式胜任力说明之间的差异,在这一节中,我们描述了根据开发的自由形式说明导出半正式规范的过程,例如,与相关外部目标人群的讨论。这项活动的目的是发现自由形式胜任力说明的潜在元素结构,我们在 E.2.2 中讨论了其发展过程。通过这个过程,我们不仅获得了可以用于分析或可视化的胜任力,而且还将获得对胜任力细微差别明显更复杂的理解。

来自 Squires Larson [Squ1]的工作可以为这一过程提供一个例子。他们借鉴了空间系统工程界的早期工作,界定了一系列与该专业实践有关的胜任力。正如他们的论文中所引用的,这些胜任力是自由形式的,本质上相当抽象。

例如,“管理系统工程”意味着在空间工程背景下维护复杂工程系统解决方案的知识库与空间工程原则和过程的结合。在空间工程背景下,对过程结果的质量和故障保险性质的承诺显然具有很高的价值,并且在系统管理和开发中的个人决策背景下总是显而易见的。

之后,这些表述被分析、分解,并最终在第 4 章中描述的形式重新组合,使用原始数据作为推导胜任力描述的方法,这些描述包括知识、技能以及与应用中的专业精神相关的品行。

就上面给出的“管理系统工程”胜任力示例而言,我们推荐的过程会涉及分解和扩展步骤,因为高级胜任力被拆解成知识、技能和情境中的品行,正如这一示例中随后的解释性文本所展示的。一旦这些高级自由形式的表述被转化为第 4 章中开发出来的结构,课程体系设计者和教学设计者就可以将它们转化为描述学习活动和经验的表述,在这些表述中可以创建相关的背景,以便观察胜任力。

E.2.5 从胜任力组件创作自由形式的叙述

通过首先关注组件,也可以在另一个方向和作者自由形式的叙述中分析。首先确定胜任力的知识、技能和品行可能是一个很好的起点,如果对目标胜任力完全不清楚,需要首先在组件水平上进行校准。这种方法的危险性在于,作者可能会忽略这一个事实,即整体通常不仅仅是组件的简单集合。然而,如果作者能够具体说明组件结构,则一定能为制定胜任力描述提供有价值的指导。

E.3 使用胜任力规范作为课程体系规范的基础

对于任何正在开发基于胜任力的方法的学位专业或其他学习经历集合的学术管理人员或教职员工来说,一个重要的问题是:我们如何确定一套教育方案,如果不能完全确保,但至少会显著增加拟设定的培养计划毕业生能够达到胜任力期望可能性。除非有一个有意义的机制来识别和构建一套能够让学生达到特定胜任力的学习经历,否则将胜任力指定为专业培养成效是没有用的。换句话说,一套胜任力表述必须转化为一种由教育活动组成的课程体系形式,这种教育活动将有助于支撑学生在各种类型的领域取得进步。

在本节中,我们将讨论几个现有模型的例子,这些模型是为了将一组胜任力期望转换成课程体系而提出的。正如你将看到的,它们似乎有一些基本特征。

作为提醒,我们使用以下术语:**胜任力**是专业学位(或学生正在学习的其他总体结构;为了简单起见,我们使用英文术语 program,根据语境相应地译为“专业”“培养方案”“项目”等)水平上的结果期望。**学习经历**是课程、模块或其他类似的学习活动,它们共同构成了一个专业培养过程。每一段学习经历都会产生一系列学习成效,这些学习成效都共同作用于学生获得所需的胜任力。课程体系至少规定了每段学习经历的主题、教学方法和学习成效。

E.3.1 现有模式

MSIS2016 [Acm11]提出了一个基于一组胜任力规范(见图 E.1)得出一组学习经历(作为模块引用)的过程。该过程假设一个类似于 MSIS2016 的潜在胜任力模型,包括 10 个胜任力领域、88 个胜任力类别(每个与一个胜任力领域相关)以及每个类别中的几个详细胜任力。此外,它承认每个胜任力类别(意识、新手、支持、独立和专家)的五个成就水平,并明确指出教育项目很少能帮助任何人达到专家水平。

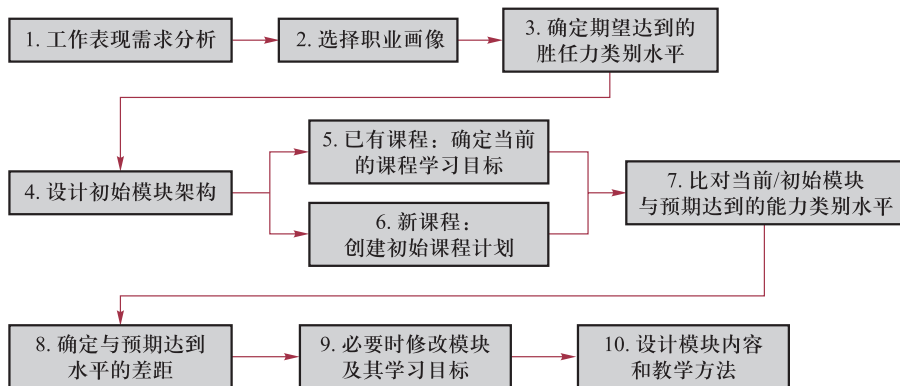


图 E.1 从胜任力描述中获得学习体验的过程(改编自 MSIS 2016)

在 MSIS2016 模型中开发学习经历的过程从专业培养方案需求分析(步骤 1)开始,结合该专业培养方案关注的工作角色的确定(步骤 2)。根据前两个步骤的结果,专业培养目标确定其假设毕业生达到的胜任力[类别]成就水平(步骤 3),包括纳入潜在的全新胜任力描述。接下来,模型建议该专业应该为学习经历开发或确认初始架构(步骤 4),然后要么在学习目标层面验证学习经历(步骤 5;培养方案基于现有的课程),要么起草

一套新的学习经历和学习目标(步骤6;新培养方案)。接下来,模型建议在步骤7中,步骤5/步骤6的结果与步骤3中规定的胜任力实现水平相映射。在步骤8中,识别步骤3和步骤7之间的差异。第9步是为了确定对学习经历和/或其学习成效的必要修改,以解决第8步中确定的差异。最后,在第10步中,设计了详细的学习经历,包括主题和教学方法。

Squires [Squ1]总结了使用国际宇航科学院(IAA)空间工业系统工程胜任力模型根据一套胜任力开发课程体系的另一种方法。该模型本身由10个胜任力领域和37种能力组成,每个胜任力领域都与其中一个胜任力领域有关。此外,该模型规定了四个熟练水平:参与(知道)、应用(执行)、管理(领导)和指导(战略)。Squires的过程包括以下步骤。

- 选择要使用的胜任力模型。
- 验证最重要(关键)的胜任力。
- 确定当前课程体系的能力,使学生达到所需的熟练程度。
- 确定未来课程体系需要达到的熟练程度。
- 确定当前和未来课程体系之间的差距。
- 评估和弥补差距。

在这个模型中,第六步是课程体系设计过程的一部分,它指导了如何修订课程体系(主题和教学法)(或在新培养方案下创建),以便课程体系能使达到所需的熟练程度。

最后,Chyung等人[Chy5]提出了另一个六步过程,涵盖胜任力的创作和基于它们的课程体系设计。在这个过程中,前三个步骤包括——借用作者的术语——使用三个数据来源来确定胜任力(校友和行业分析、专业标准和课程体系标准、院系目标和课程体系审查)。因此,第四步,胜任力的实际发展,将基于两类外部资源(雇主需求和国家及全球胜任力/课程体系规范)以及内部目标和审查过程。Chyung等人[Chy5]将学习体验的发展作为第五步,在此期间,“这一持续过程的关键是仔细调整既定的课程目标、适用于该课程的胜任力和分级的课程作业。”[Chy5 p311]。在这个过程中,重要的是要确保课程目标与“适用的胜任力”相一致,并且课程包括“既帮助学生获得这些胜任力,又评估他们取得成功的程度”的学习过程。

总结这三个模型的关键发现可以得出以下建议。

- 在所有模型中,构成课程体系的学习经验的特征,是根据所规定的胜任力结果期望来确定的。
- 所有模型都假设专业胜任力是基于现有胜任力模型(由行业/政府团体或专业协会开发)来确定的(至少某一部分)。

- 三种模式中的两种模式认识到,将成果预期确定为一套胜任力是不够的;此外,在这些模式中,需要为每种胜任力规定预期的实现水平。

- 没有一个模型为从胜任力中获得学习经历的过程提供了具体指导。这些模型似乎意味着首先要获得一组与每个胜任力相关的学习成效。然后,学习成效需要组织成学习体验。每个学习经历中的学习成效集合将决定学生需要参与的主题和参与的形式(教育学)。

- 每种方法都提供了这些提示,即需要不断评估所实施的学习经历在多大程度上帮助了学生获得相应水平的预期胜任力。

E.3.2 基于胜任力规范构建课程体系指南

本节讨论了向大规模教育项目提供教育建议的组织在制定这些建议时需要遵循的特殊流程。如本报告前面所述,现有的两个建议(IT2017[Acm07]和 MSIS2016[Acm11])是基于胜任力的方法。这些报告是单独开发的,它们并不完全相互一致。其他课程体系指南(CE2016、CS2013、CSEC2017 和 SE2014)只有一个例外(IS2010),是基于知识领域(KAs)、知识单元(KUs)和学习成效(LOs)的模型。

未来课程体系建议的作者需要做出的最重要的决定是:a)他们是否会遵循某种基于胜任力的方法,首先关注与胜任力相关的结果期望;b)如果第一个问题的答案是肯定的,除了胜任力之外,他们是否还会包括传统知识领域、知识单元、学习成效材料和/或课程示例这两个问题都不是小事,尤其是在第二个问题的背景下,有论据支持这两种方法。一方面,仅仅关注胜任力强调了这样一个事实,即由于当地教育架构和基本要求的差异,提供关于课程体系要素(学习经验、知识领域、知识单元、学习成效要素)的全球适用指导是相当具有挑战性的。仅仅用胜任力来制定结果期望并为将胜任力转化为课程体系组成部分提供强有力的指导就比较有效了。另一方面,许多采用专业的社会课程体系指南的学校和部门没有所需的资源,能够从胜任力中得出(课程)规范,这是一项耗时和资源密集型的过程。他们期望学习已有的(课程)规范。此外,提供以学习成效期望为基础的人才培养方案建议,并不会代替一直在实践中应用的知识领域(KAs)、知识单元(KUs)和学习成效(LOs)这一结构,这一结构仍然是有用的。

职业协会推荐应该使用哪些资源来确定所需胜任力?显然,学术专业知识仍然重要,就像之前的课程体系规范建议一直在起的作用一样。与此同时,在基于胜任力的方法中,与相关行业合作伙伴进行对话比过去更加重要。毕竟,它的主要好处之一是,它允许学位专业与雇主的期望保持高度一致,并通过正式的映射过程使一致性清晰可见。

巧合的是,有几个计算 / 信息技术胜任力模型是在广泛、资金充足的政府 / 私营部门流程中开发的,例如 e-CF 3.0 [Eur3] 和 SFIA (见附录 B)。将它们作为参考并用于深入理解行业要求是有意义的。对于一些子学科,可能有专门的行业或政府在投入精力提供额外的更聚焦的规范(例如,Clinger-Cohen 报告对 MSIS2016 [Acm11]起到的作用;CIO Council 首席信息官协会[Cio])。

E.3.3 构建基于胜任力规范的大学课程体系

第 5 章第 5.2 节和第 5.3 节中描述的例子在大学一级具有相对良好的直接匹配性。大学里基于胜任力的成果期望这一目标,识别胜任力的过程包括关键雇主和 / 或校友合作伙伴的输入、专业 / 学术社会指导以及学术专业自身的定位和资源可用性。一旦胜任力被确定,学习经历的设计就需要根据胜任力确定学习经历结果,将学习成效配置成不同的学习体验阶段,然后根据学习成效在每个学习经历阶段中设计学习活动。显然,这很少是一个从头开始的过程——现有的学习经历构成了这一工作的基础。

E.3.4 将专业培养成效指定为教学要求的胜任力

在许多情况下,与基于知识的结果规范(及其评估)相比,让学生发展技能和品行需要一套不同的教学假设和方法,这种改变是积极的,但潜在问题是也需要很多资源来实现。在实践中,基于胜任力的学习成效规范将导致更广泛的学习体验类型,通常包括更强调各种形式的体验学习,如互动模拟、强化项目、实地体验、实习和合作等等。特别是特定领域的技能和倾向需要不同于传统课堂环境的学习环境。

E.4 胜任力和目标人群方价值

通过其任务背景,胜任力比传统的知识领域(KAs)、知识单元(KUs)和学习成效(LOs)模型更接近雇主的需求。所以,胜任力规范比基于知识的规范更直接、更透明地传达(潜在)雇主组织的价值。因此,胜任力规范可以帮助其他目标人群,如学生、家长和政府部门,了解学位专业与未来职业的关联度。

胜任力要求作为评估高等教育成果的概念框架,可以追溯到 20 世纪 70 年代美国的法律、护理和教师职业培训项目。这些项目强调应获得优秀专业人士表现出的行为,以此作为通过教育和培训来识别和发展所需技能的一种方式。由此产生的方法侧重于通过模仿理想行为来进行培训,最终没有产生预期的胜任力。因此,这个实验没有吸引

多少追随者。在整个 20 世纪 80 年代末,劳工组织和职业教育对这一概念重新出现产生了兴趣,但直到 20 世纪 90 年代末,高等教育才开始重新参与。Klink、Boon 和 Schlusman [Van2, p2] 强调了以下积极因素:1) 就业市场向职业和职业流动性增加的变化;2) 知识工作者和知识经济的出现,其中知识和技能的应用以及“不断学习的动力”被认为是个人和职业成长的必要条件;3) 高等教育的新趋势,以应对日益变化和复杂的世界,这使得技术知识的获取有所不足;4) 学习科学和教育的创新,如参与式学习、深度学习和情境化。随着这些趋势融入高等教育的主流,“从了解到学习”,最终转变为在专业环境中以相关和高价值的方式表现的能力。

长期以来,胜任力和专业精神以及相关领域的高水平专业表现之间的联系一直是公开或私下升职加薪流程的一部分。胜任力出现在招聘广告和雇主要求的话术中。具有讽刺意味的是,范德克林和布恩 [Van1] 认为这一概念之所以受欢迎,是因为胜任力一词缺乏清晰度,并且“无法估量”。[Van2] Stoof、Marten 和 Van Merriënboer [Sto1] 的一项文献研究将这个�词归入“邪恶的词语”的类别之中,意思是它的界限很难确定,这使得难以对它达成完全一致的共识。尽管这个词仍然模糊不清,但它有望弥合教育成效和工作要求之间的差距 [Ken1]。

CC2020 对胜任力的定义使从业者胜任力有机会成为有共识的规范,将申请人所拥有的特质与雇主所要求的特质联系起来。对计算雇主和学院来说,在课程体系胜任力和雇主工作描述之间发展规范标准化将使计算雇主和学院可以互惠互利。模型化胜任力为学术计算提供了一个机会,可以清楚地描述他们毕业生的胜任力,同时帮助雇主更清楚地传达他们的职能工作要求。在这种情况下,计算教育工作者将有机会根据行业需求调整他们对教育目标。因此,行业内的人力资源活动将更容易确定毕业生的可能机构来源,这些具有相关胜任特征的毕业生可以作为未来的雇员。

胜任力提供了一个情境化的模型,通过这个模型可以实现毕业生从业能力的交流。这反过来更好地加强计算教育机构与该行业人力资源之间的协调和合作。此外,对于那些想将所学与未来职业发展紧密结合的学生来说,这种模型可以更好地为他们提供建议。与此同时,这种合作可以通过更好地了解他们可能希望服务的就业市场来影响教育项目的课程体系。在任何情况下,特定的胜任力描述都为学术界和工业界在当地、国家和国际上的对话搭建起有效沟通的桥梁。

CC2020 直接将知识和技能进行融合,这强调了实践在具象化“认识(knowing)”过程中的作用。[Wig2] 通过加强现有的学习成效(课程体系描述的显著特征),胜任力提倡对知识和技能融合,在课程体系描述中明确体现实践专业能力的目标。任务在教育学

和评估中的内在作用为明确[Van1]阐明课程体系和就业能力的相互依存关系提供了自然的机会。

E.5 评估胜任力

为了使胜任力建模对计算教育有用,有效结合评估和课程体系期望也很重要。在研究与胜任力建模相关的问题时,这实际上是文献[Bau1]中普遍存在的问题之一。学位专业和课程水平的结果评估对有效教育过程的质量管理至关重要。在当前的实践中,计算中大多数成果评估的目标主要是与计算的描述性知识和技能有关(例如,Bologna proceess [Bau1]中对学习成效的定义)。富勒(Fuller)证实了这一点,他发现,“对计算专业而言,毕业生的专业技能和处事态度日益成为衡量他们胜任力的重要指标。学校评估学生的知识水平和认知技能,却没有评估他们的态度。把课堂所学应用到工作场景,态度很重要。”[Ful2]

因此,对态度的评估,尤其是评估学生在态度、技能和知识上的整体表现,给了课程体系设计者更大的发挥空间,能让他们在各种抽象的等级划分中明确对结果的界定。

E.6 总结

本附录重点关注与计算专业学位规范中的胜任力相关的问题:第一,应该使用哪些过程来生成胜任力描述(以及我们如何确定所产生的表述是期望的结果),第二,我们如何根据胜任力要求制定课程体系(学习经历的规范)。此外,该附录还讨论了基于胜任力的方法对各个目标人群群体的价值,并指出胜任力指标在评估中可以发挥重要作用。总的来说,本附录的目的是为在学位专业和课程体系指南开发中使用胜任力模型提供应用指导。

存储库开发

为胜任力编码的最终结构创建实验性资源库是一种可以采用的方法。本附录描述使用屏幕抓取和词汇机器学习工具从已发布的课程体系规范指南中提取的数据,为数字存储库开发探索性架构。目标是设计一个框架,以容纳胜任力的三个维度的概念(知识、技能和品行),无论人们如何定义这三个维度。

在实验性存储库中,一个精选团队使用 Eduglopedia [Edu1]作为知识领域元素的来源。这本开放和免费的全球高等教育百科全书包含来自大约五百家机构的三千多种课程描述和九百多种专业培养方案说明。此外,它使用 Bloom 的认知过程维度[And5]定义技能的程度(意译)。

存储库开发使用 Beautiful Soup(一个 Python 应用包)屏幕抓取 Eduglopedia,该 Eduglopedia 生成对课程体系中各个知识领域和关系的 XML 描述。它还使用同义词搜索和机器学习等工具来生成计算分类法,并识别适用于布鲁姆认知过程维度不同级别的特定动词。它生成了技能和知识数据库,作为查询的来源,最终使课程体系规范可视化。图 F.1 显示了存储库开发过程的结果。存储库数据收集和可视化支持的步骤如下。

- 使用 Python 库 Beautiful Soup 屏幕抓取 Eduglopedia,并获取课程体系规范中各个知识领域和关系的 XML 描述。
- 使用诸如同义词搜索和机器学习(以及人类专家的审查)之类的工具来:
 - 生成计算分类法,并且
 - 确定适用于布鲁姆的特定认知过程水平的动词集。

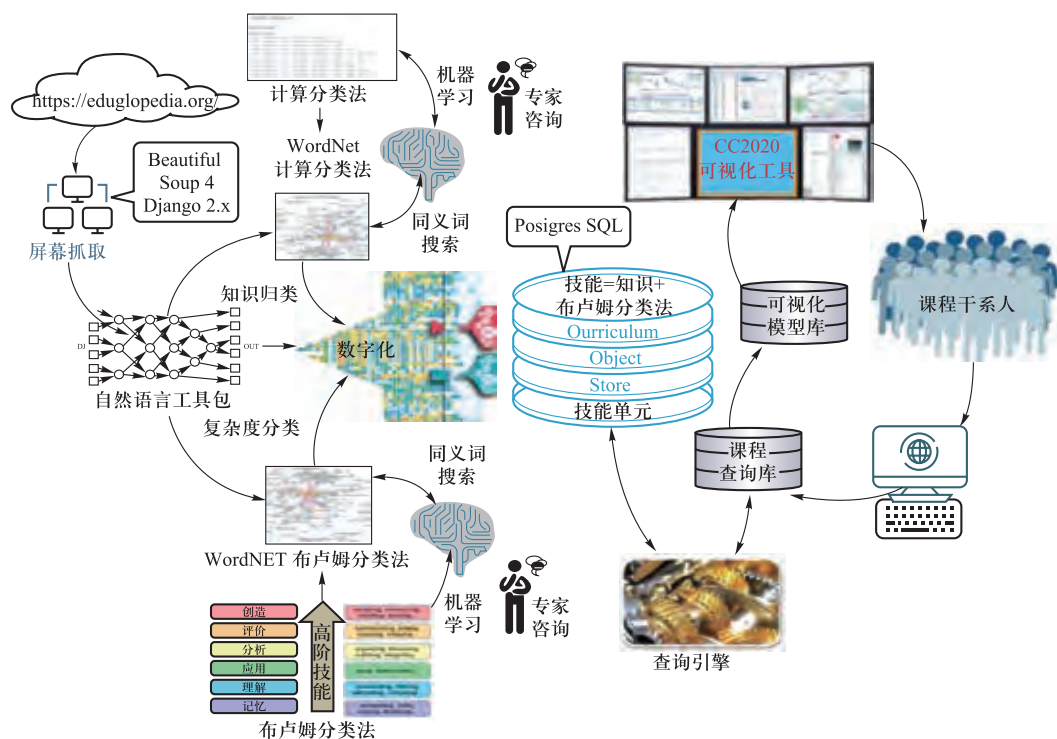


图 F.1 存储库开发过程

● 生成 / 数字化按知识符号顺序排列的知识要素和技能数据库,作为布鲁姆的认知过程排序中的应用知识。

最终的存储库(课程体系规范对象库)用作查询的源,该查询与表示模型的库进行交互,允许用户选择、可视化和 / 或比较课程体系规范:课程体系规范指南、专业培养方案目录、课程描述、认证标准和招聘广告。

其他可视化和分析

本附录显示了 CC2020 项目中考虑的可视化效果。请注意,本附录中出现的某些术语不一定与第 4 至 6 章中给出的术语一致。

G.1 基于用例的分析

本节提供了四个用例示例。注意,G.1.1 和 G.1.2 中的两个用例取自 [Tak1]。

G.1.1 案例 1:有意向的学生提出的问题

一个学生很有兴趣在本科阶段学习计算相关专业,想知道哪种类型的专业课程体系规范最适合她的兴趣。她可能对与她将来的专业课程体系规范相关的品行元素有一些想法,并且 / 或者对可以为她提供未来工作机会的领域有初步的看法。她可能会从检查比较有把握的品行元素开始(或者,她可能会从选择知识类别和领域开始 – 我们仅显示第一种情况,但其他选择会得出相同的结果)。她将看到可供选择的品行元素清单(图 G.1 (a)),结果显示如图 G.1 (b) 所示的选定品行。请注意,由于品行元素没有排序,因此以颜色区分不同品行。

学生还可以指出哪些知识类别和知识领域对她来说很有趣。图 G.2 和 G.3 显示了一个可能的过程。她首先选择了三个类别:用户和组织、系统建模和软件基础知识。在图 G.2 中,这三个类别的椭圆用红色边框突出显示。如果需要,学生可以指出哪些个人知识领域最相关。图 G.3 (a) 显示了所选择的三个类别中每个类别的知识领域。学生选

	品行		品行
	主动性	√	主动性
	自我指导		自我指导
	热情	√	热情
	目标导向		目标导向
	专业		专业
	责任感	√	责任感
	适应性		适应性
	协作性		协作性
	反应灵敏	√	反应灵敏
	严谨性		严谨性

(a) 选择前

(b) 选择后

图 G.1 选择有意向学生的品行

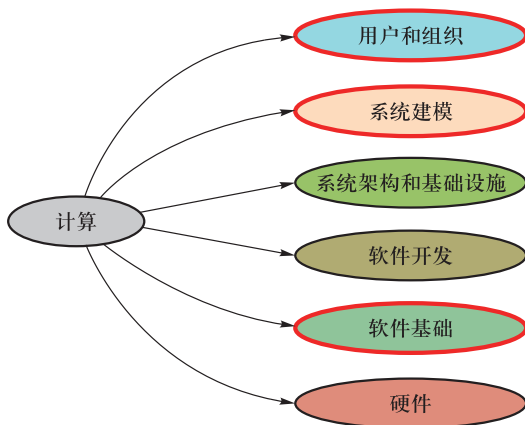


图 G.2 学生选择的计算类别

择了知识领域“用户和组织的用户体验设计”类别,以及“系统分析和设计以及系统模型的需求分析和规范”类别;同样,所选知识区域的椭圆用红色边框突出显示。该学生不想在“软件基础知识”类别中进行详细选择。最终的选择如图 G.3(b)所示。

如果学生对这组知识领域感到满意,她可以确认并询问对各种课程体系如何与自己的兴趣相匹配的全局视图。根据学生的选择,系统会搜索适合该预期内容的课程体系。

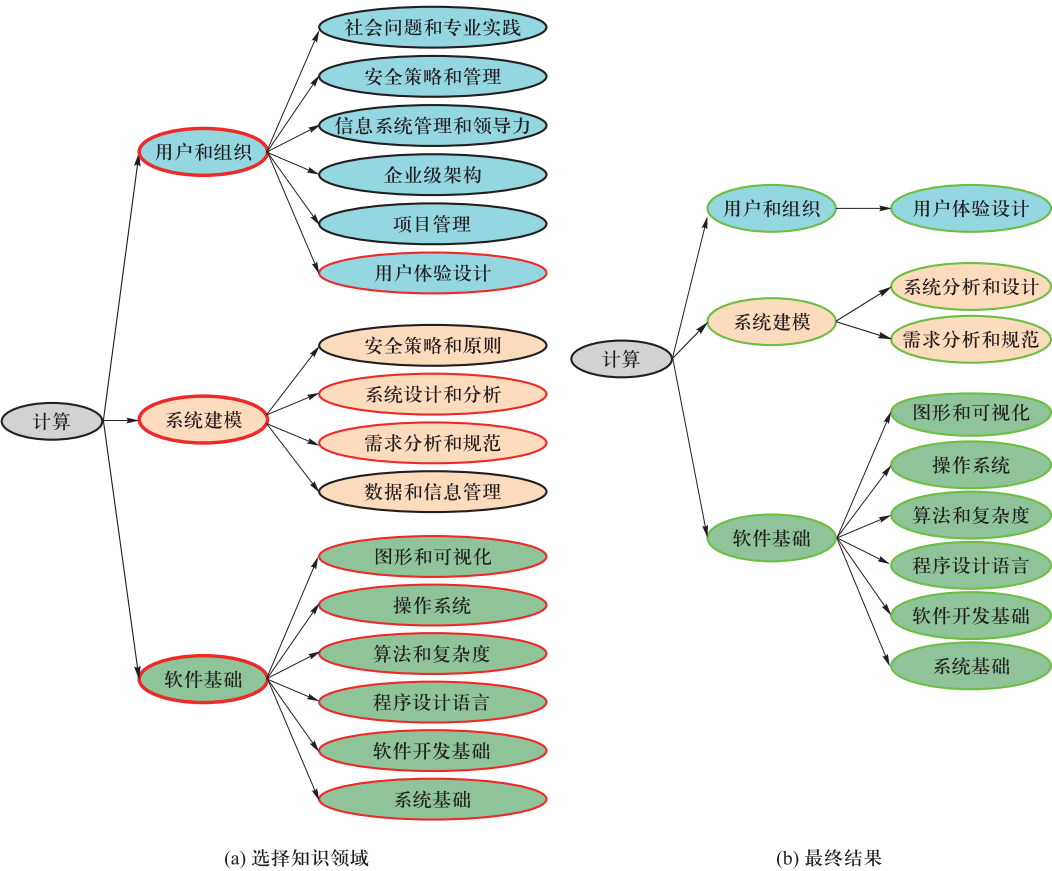


图 G.3 知识领域的详细选择

在图 G.4 中,为每个课程体系指南映射了预期的知识类别(已部分指定到知识区域中)。蓝色方块表示相应专业课程体系中知识领域 / 类别的相关程度。绿色方块是学生选择的内容与专业课程体系规范选择的相对匹配程度。蓝色和绿色方块的大小的计算尚未确定,不过例如,绿色方块可以基于附录 D 知识表中给出的权重。由于学生对软件建模更感兴趣,根据图 G.4 中给出的消息,学生决定探索有关软件工程和她喜欢的知识类别的详细信息。将鼠标悬停在方块上(图 G.5),将列出相应的胜任力描述。图 G.5 也可以显示与胜任力相关的品行以及根据学生选择计算出的相对水平。

G.1.2 案例 2:来自行业的问题

来自行业的用户制定了一份知识领域的列表,公司的计算员工需要这些领域的相关

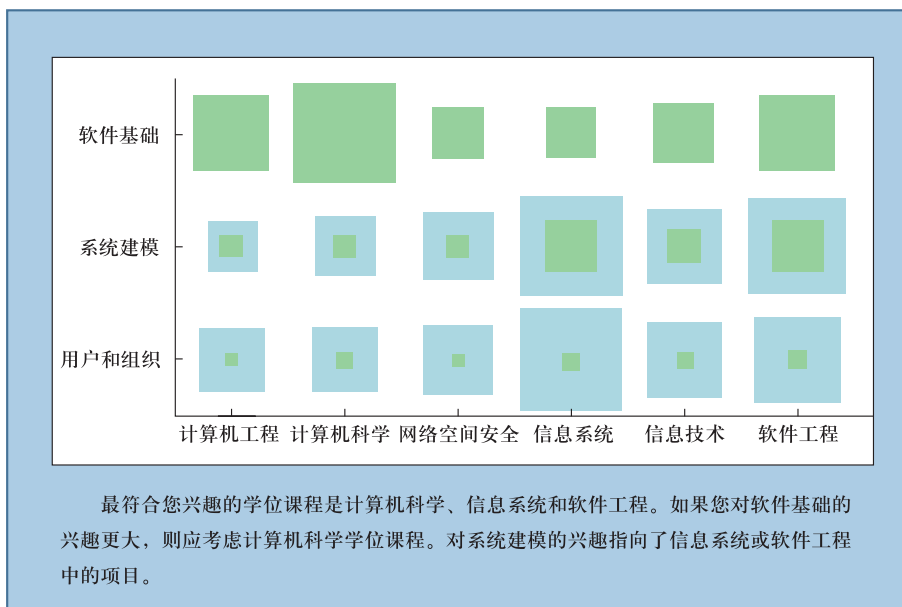


图 G.4 将所选知识类别映射到课程体系指南

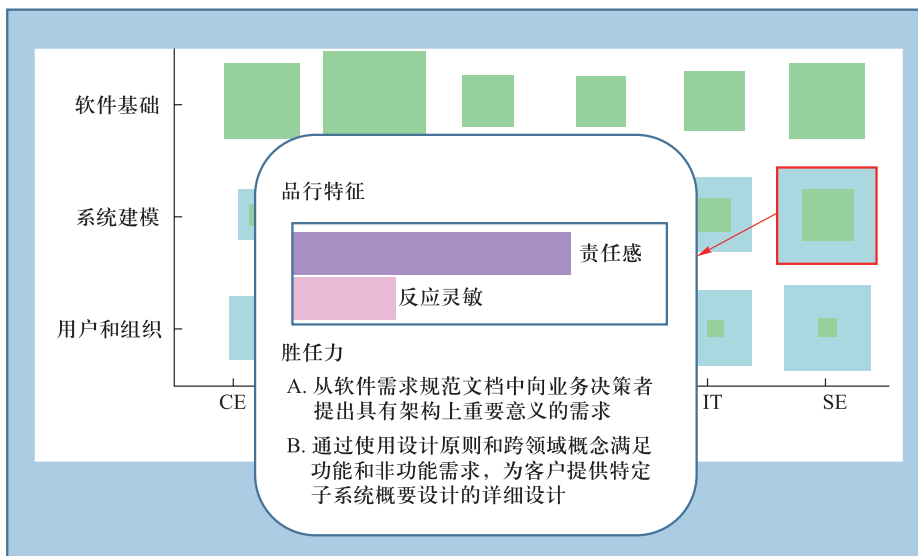


图 G.5 品行和胜任力详细信息

技能、知识水平和 / 或品行。她想找出哪些专业的课程体系规范可能为公司员工提供专业教育。刚开始的时候,计算机科学和信息技术这两个专业似乎可以使用并且前景广阔。

与学生在案例 1 中图 G.2 和 G.3 中采用的过程类似,她决定选择“硬件”,“软件基础知识”和“软件开发”作为看似相关的类别,并删除其他三个类别。然后,她检查每个所选类别的知识领域,并选择她认为与她相关的领域,如图 G.6 所示。

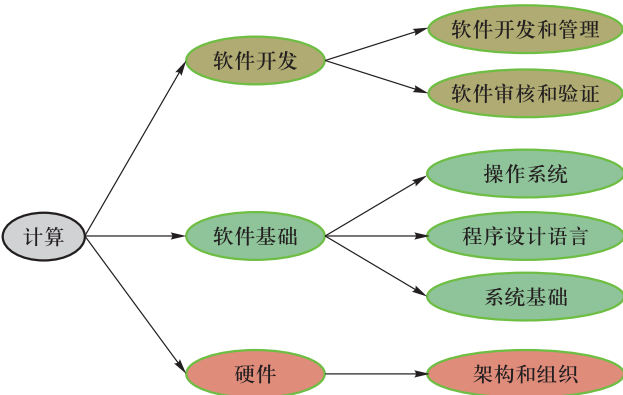


图 G.6 知识领域选择的结果

用户现在可以为每个选定的知识领域指明所需的技能水平和相关的品行元素。假设用户表示她愿意为知识领域“系统基础知识”提供规范。在图 G.7 中,技能水平是通过使用滑块指定的,品行是通过从菜单中选择来指定的。

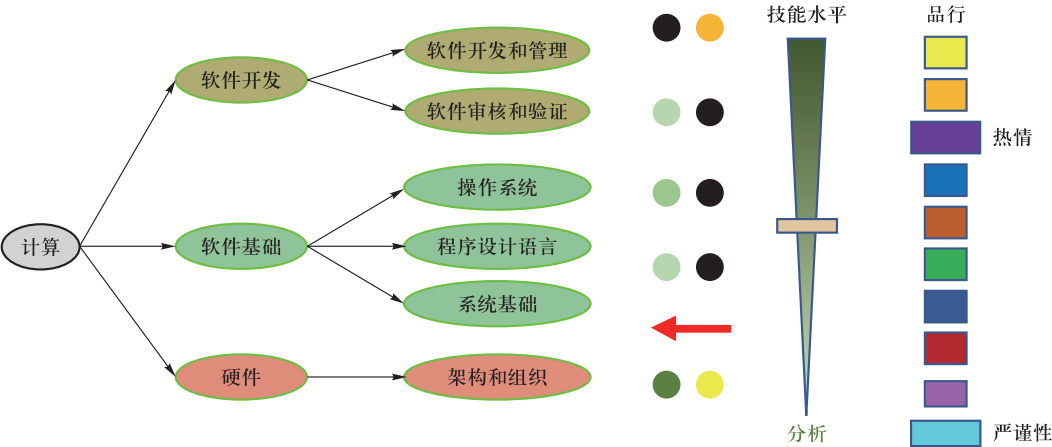


图 G.7 细化技能和品行

当提供了所选知识领域的所有相关规范后,系统会生成一个雷达图,比较所选课程体系的知识水平。与中心的距离表示与每个知识类别相关的技能水平。图 G.8 比较了计算机科学和信息技术的课程体系。雷达图已根据用户的要求进行了扩充。在该示例中,计算机科学(此处原文误写为“信息技术”)似乎最适合用户所需的知识水平。这是因为用户的知识规范和专业课程体系规范的内容有完整的覆盖;也即,蓝色表示的计算机科学轮廓与绿色表示的用户规范轮廓完全重叠。

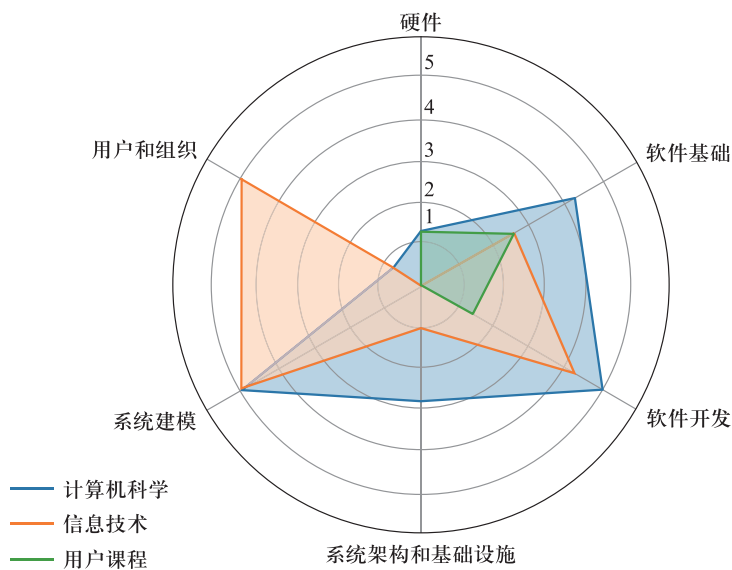


图 G.8 基于知识水平的计算机科学和信息技术比较

G.1.3 案例 3: 教师的问题

高校计算机系的一位教师想为她的领域“计算机中的人为因素”开发一门课程。除了课程,它也可以是教科书、交互式电子学习环境或这些的混合体。本课程的内容将被视为信息技术、软件工程和计算机科学等系本科专业课程体系规范的重要组成部分。她决定找出与这些专业课程体系指南中的每一个相关的内容,以便编写适合所有系的课程。

与学生在案例 1 中的图 G.1 和 G.2 中采取的过程类似,她决定选择软件基础知识、软件开发以及用户和组织作为看似相关的类别,并删除其他三个类别。然后,她检查每个选定类别的知识领域,并选择她认为与她相关的领域,如图 G.9 所示。

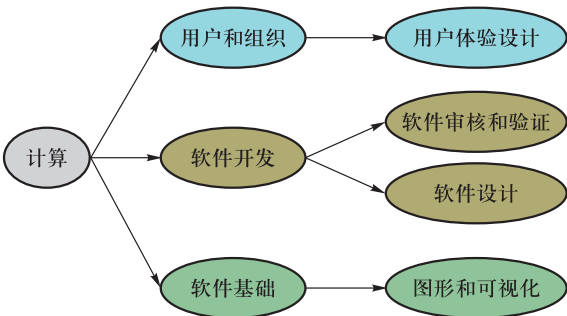


图 G.9 选择新课程设计的知识领域

对于每个选定的知识领域(用户体验设计;软件验证和确认;软件设计;以及图形和可视化),她将能够从选定的课程体系规范指南(信息技术、软件工程和计算机科学)中找到相关的胜任力陈述和品行元素。图 G.10 显示了在她选择了课程设计的品行和胜任力之后,她将在“用户体验设计”领域获得什么。对于其他选定的知识领域,该过程是相同的。

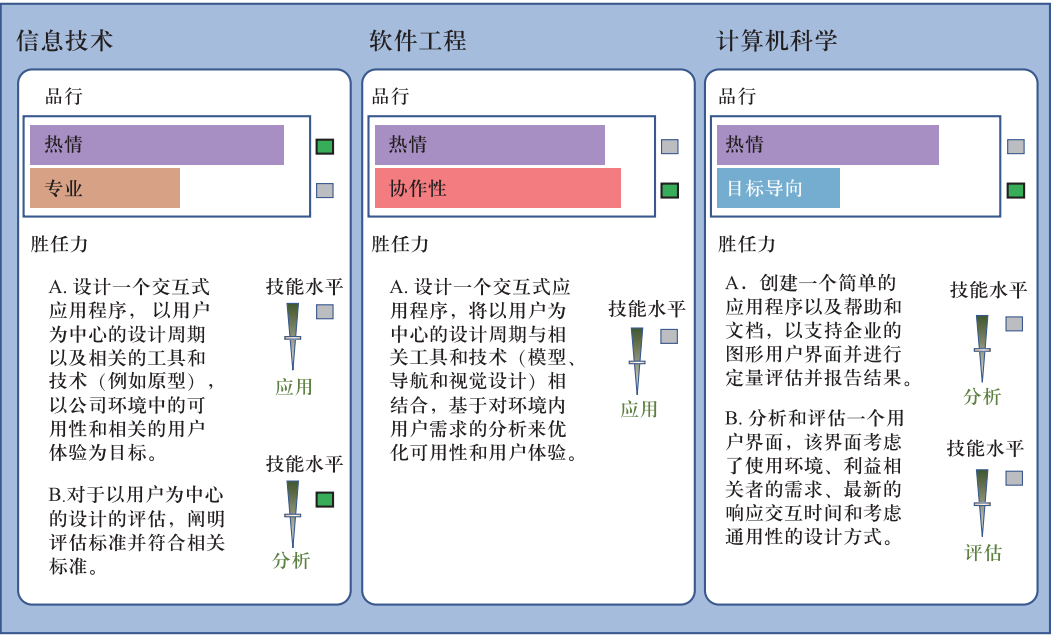


图 G.10 “用户体验设计”领域的与技能水平、品行元素相关的潜在胜任力

则将其视为其课程的用户体验部分,以服务来自不同系别的学生。



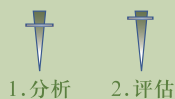
胜任力

1. 对于以用户为中心设计的评估，阐明评估标准并符合相关标准。
2. 分析和评估一个用户界面，该界面考虑了使用环境、利益相关者的需求、最新的响应交互时间和考虑通用性的设计方式。

知识一技能

A. 软件基础-图形和可视化

1. 用户体验设计
2. 人机交互



品行

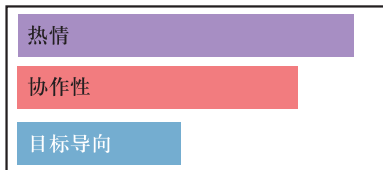


图 G.11 最终选择的胜任力和品行集合

度”的品行元素。

G.1.4 案例 4:教育当局的问题

要评估的大学名称,然后选择其中一个系的专业培养方案,例如软件工程(SE)(图 G.12)。

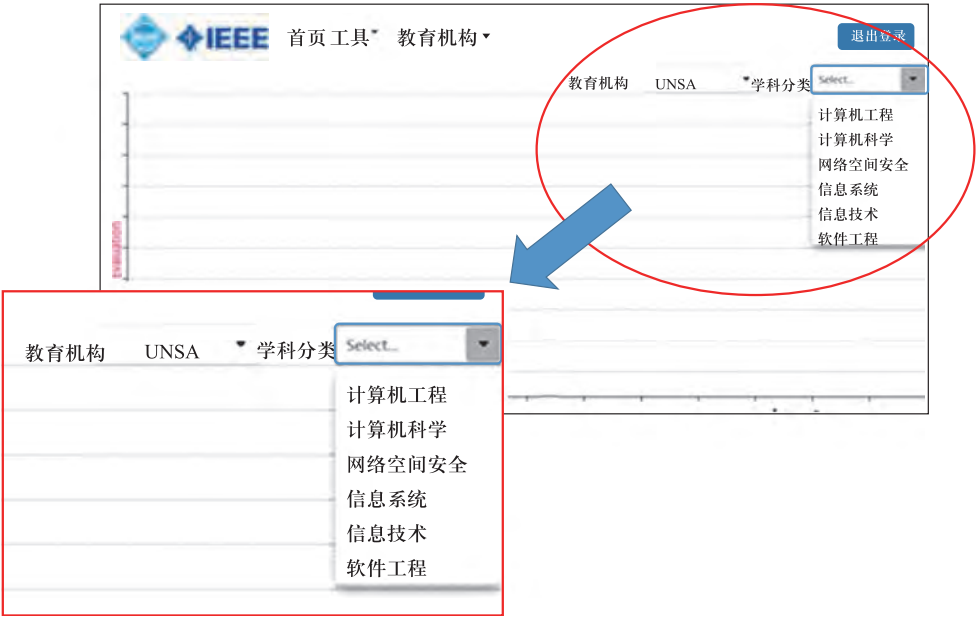


图 G.12 指明要评估的机构并选择专业课程体系规范

图 G.13 显示了结果:一张图表,显示了软件工程课程体系规范指南中每个知识元素的最小和最大权重(在 X 轴上给出)。在图表下方,显示六个知识区域。

用户可以扩展这些知识区域中的每一个以访问每个知识元素。在图 G.14 中,用户扩展了“用户和组织”知识类别,得到了诸如社会问题和专业实践、安全策略和管理等知识元素。在右侧,用户已开始插入每个元素的实际权重,如所评估部门的本科学位课程体系规范描述中所示。对于插入的每个权重,交互式可视化方法将更新图表,以显示机构师资得分与课程体系指南的比较情况。例如,在图 G.13 中,由于尚未输入机构值,因此所有知识元素的评估值均为 0(在 y 轴上)。在图 G.14 中,该图已更新以反映输入值,例如,“社会问题和专业实践”的值是 6。

当用户完成所有知识领域的输入过程后,结果比较如图 G.15 所示,表明该师资普遍符合指南,在用户和组织领域相对较强,而在软件开发方面相对较弱。



图 G.13 软件工程课程体系规范指南中知识领域的权重范围

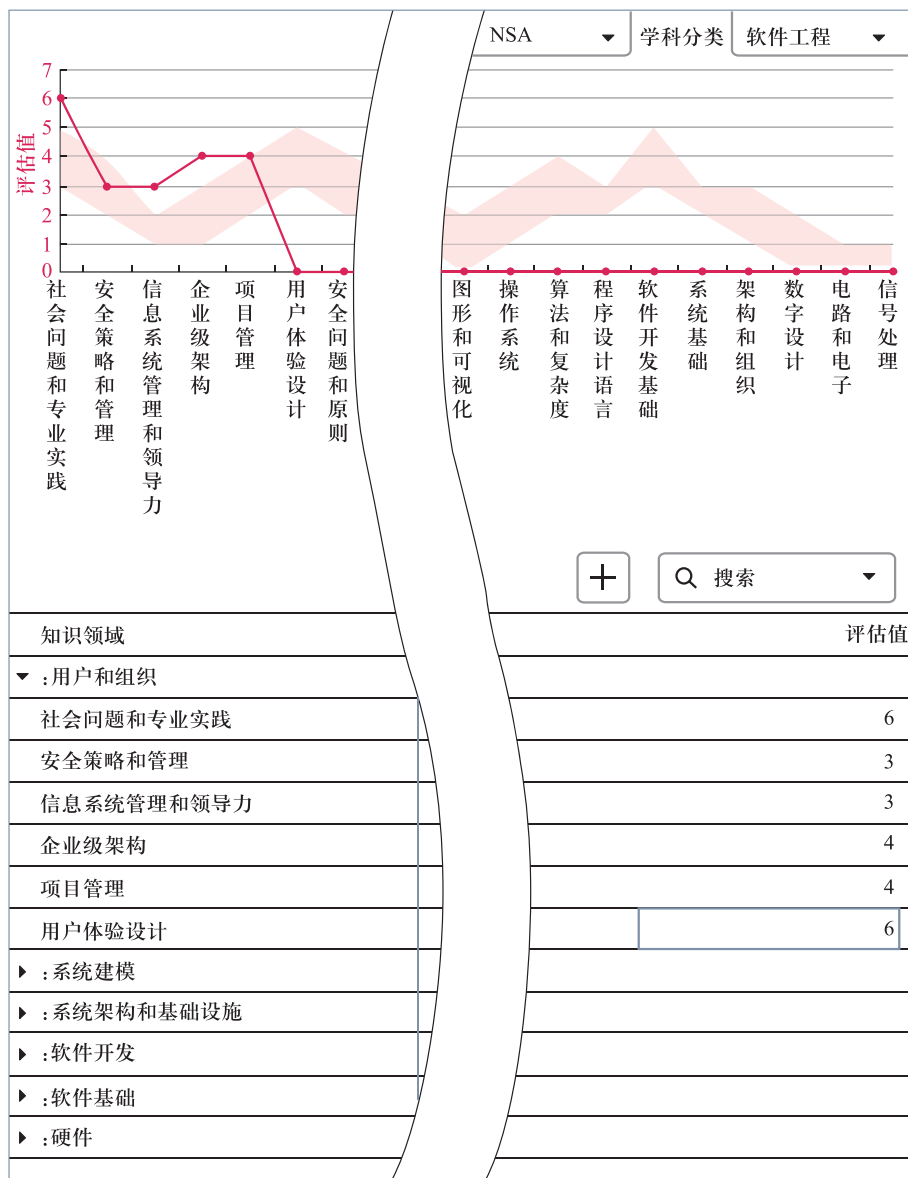


图 G.14 插入所在系的学士课程体系规范描述中的权重

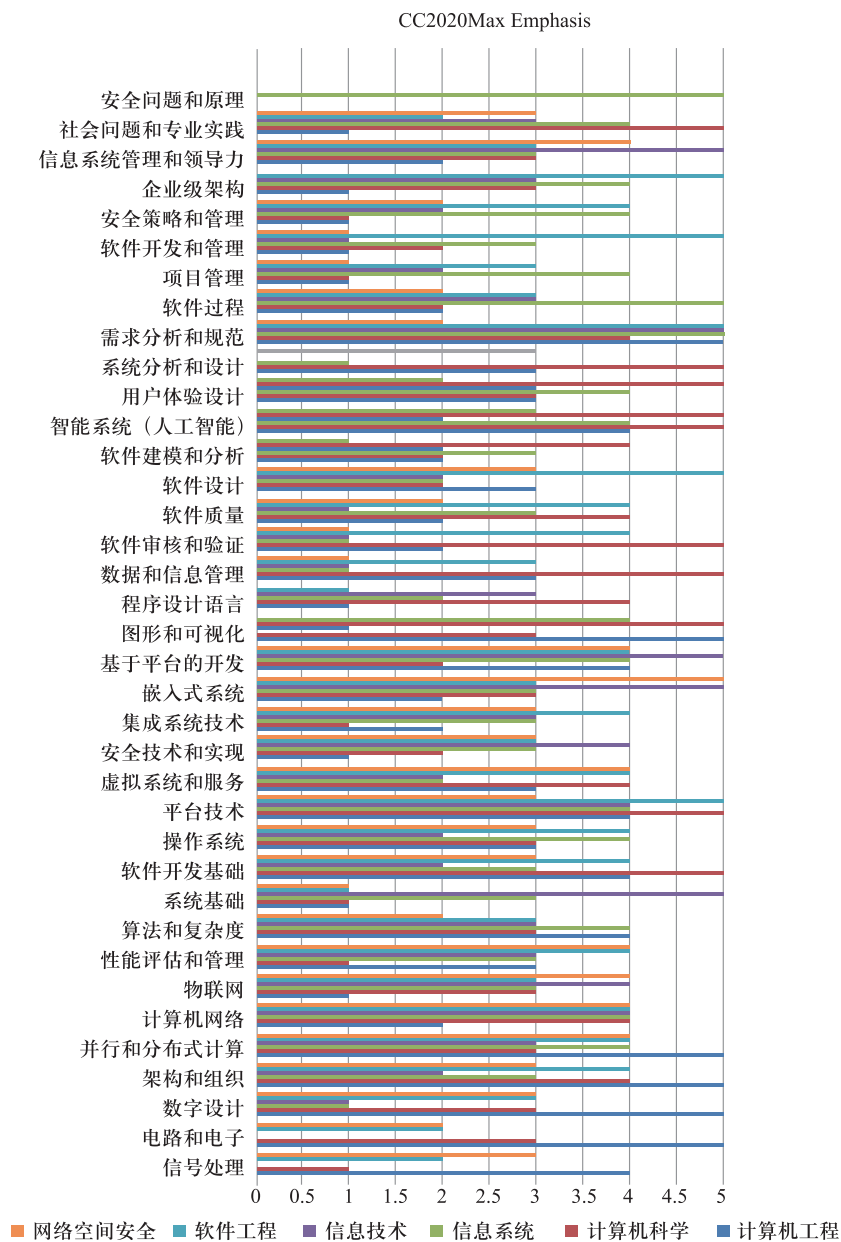


		D-1	K(X-1)	B-3
		D-2	K(X-2)	B-4
			K(X-3)	B-3

CA2	某个标题	某些文字	D-3	K(X-5)	B-4
			D-2	K(X-4)	B-3
				K(X-6)	B-2

G.3 知识的各种可视化

图 G.17、G.18 和 G.19 都是相同数据的可视化,特别是第 5 章中的表 5.3。



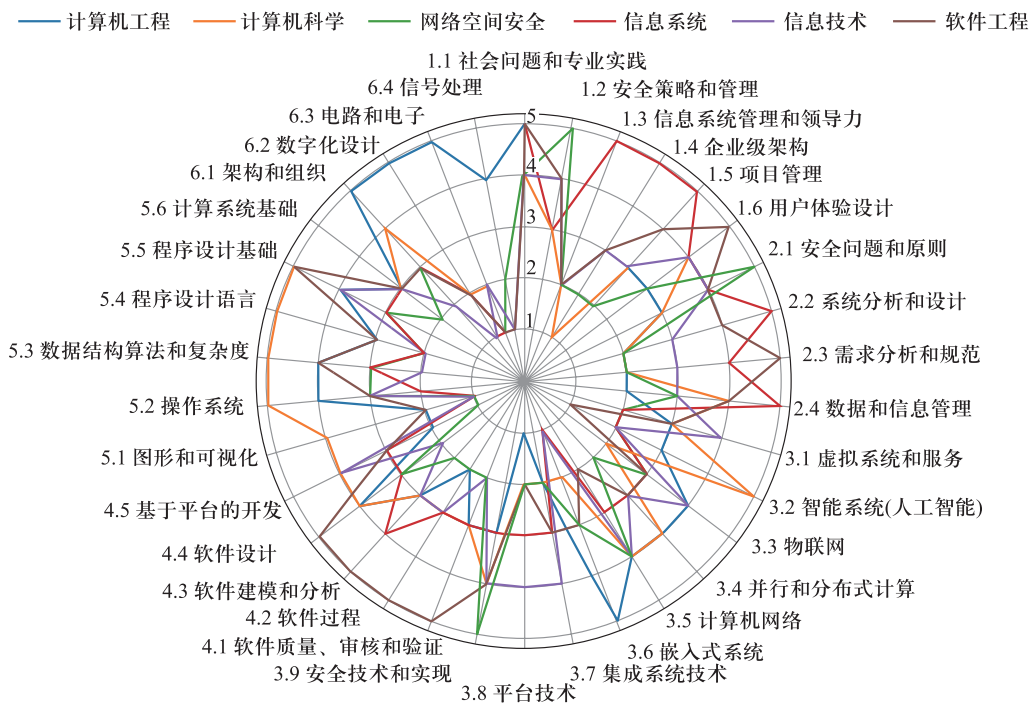


图 G.18 雷达图显示了知识领域的重点的最大值

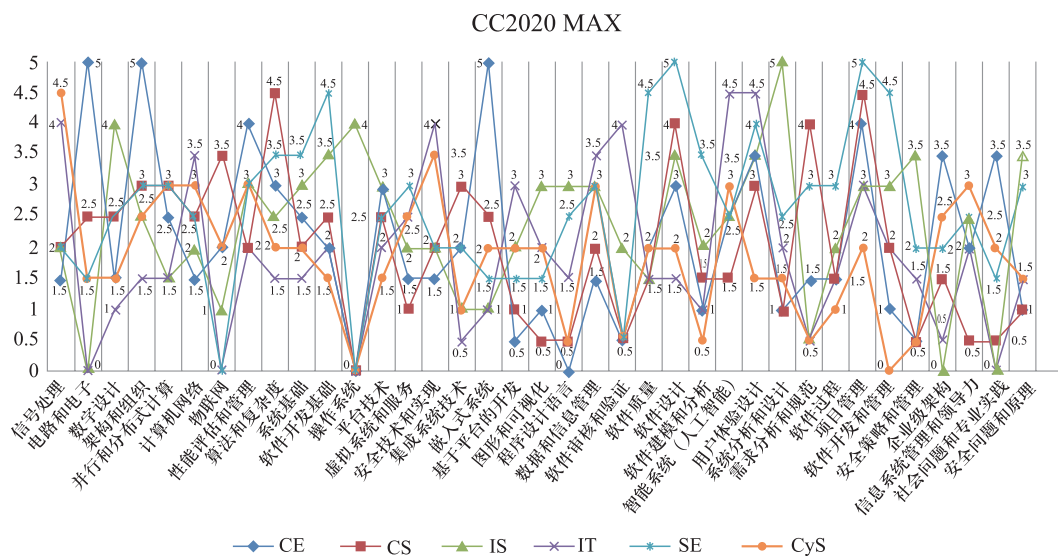


图 G.19 折线图显示了知识领域重点的最大值

图 G.20 比较了 CC2005 和 CC2020 中给出的值之间计算机工程知识领域的重点。它表明某些知识领域,例如信号处理和软件验证与确认的强调程度为 0,也即它们在 CE2005 中不存在。

图 G.21 显示了计算机工程和信息系统课程体系规范(均在 2020 年)对知识领域的

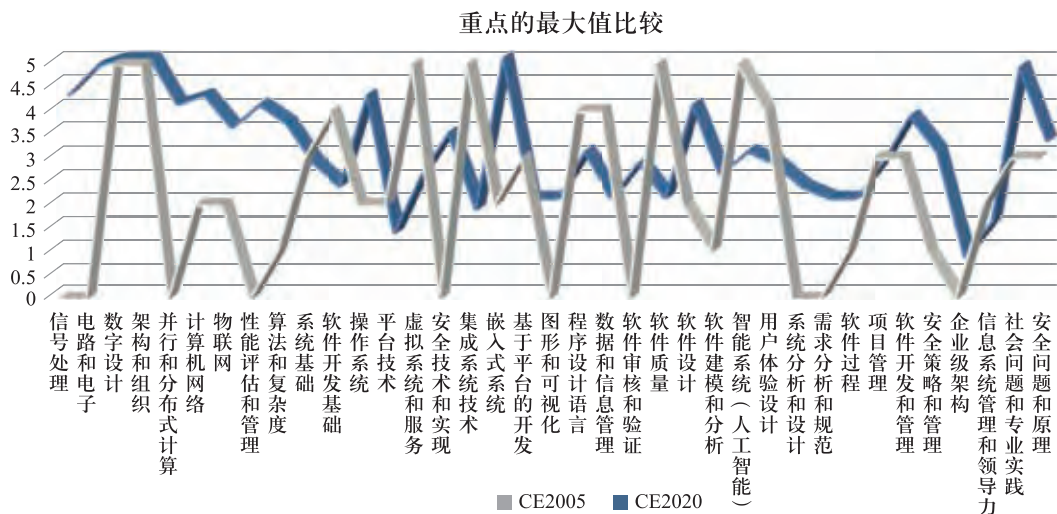


图 G.20 丝带图比较了 CE2005 和 CE2020 之间知识领域重点的最大值

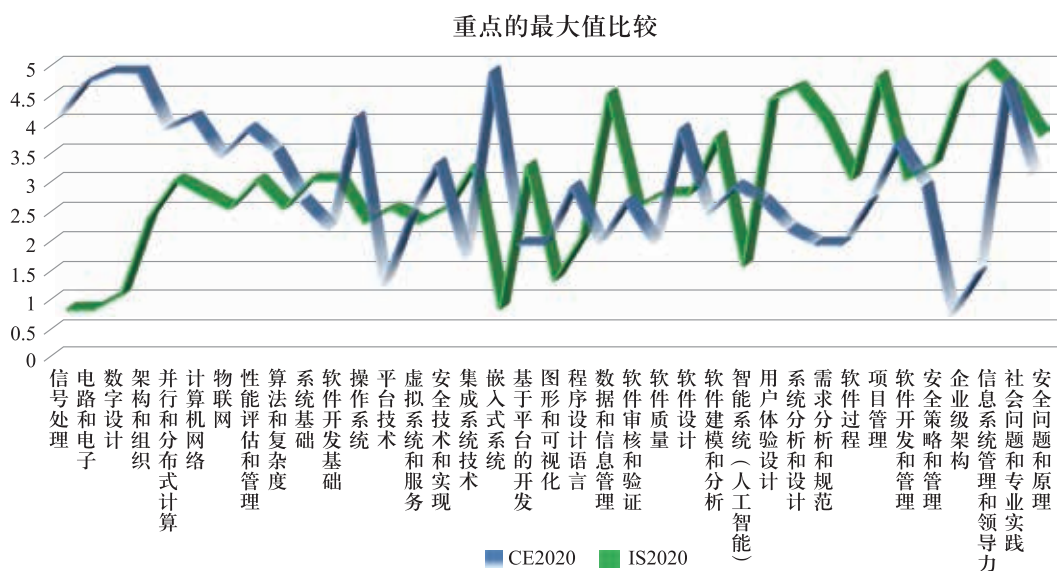


图 G.21 丝带图比较了 CE2020 和 IS2020 之间知识领域重点的最大值

重点之间的比较。它在左侧显示了在计算机工程重点强调的“硬件和软件基础知识”领域的系统差异。在图的另一端,信息系统比计算机工程更强调关于用户和组织的知识。

G.4 可视化完整课程体系

图 G.22 中的可视化围绕着计算机科学节点,该计算机科学节点链接了知识领域(KA),其核心知识单元(KU)及其各自的主题[Mar2]。知识领域节点位于中心附近,并显示为灰色。知识单元节点位于标签以 U 开头的 KA 节点之外,主题节点位于标签以 T 开头的外部。



图 G.22 CS2013 核心组件的基于图的结构

为了提供详细示例,请考虑黄色突出显示的部分。这些黄色节点代表与用户体验设计(在 CS2013 中标记为“HCI”)有关的 CS2013 课程体系规范的核心方面。

图 G.23 显示了这些节点的实际标签。请注意,这不仅包括人机交互(HCI),还包括非人机交互领域,例如软件工程、图形和可视化以及社会和专业实践。这是因为 CS2013 课程体系规范提到了从这些领域到人机交互方面的链接。例如,与属于软件工程的测试类型有关的部分声明“测试类型,包括人机界面、可用性、可靠性、安全性和符合规范(交叉引用 IAS / 安全软件工程)”[Acm04 p82]。由于“人机界面”与人机交互有关,因此软件工程的这一部分包含在图 G.23 中。

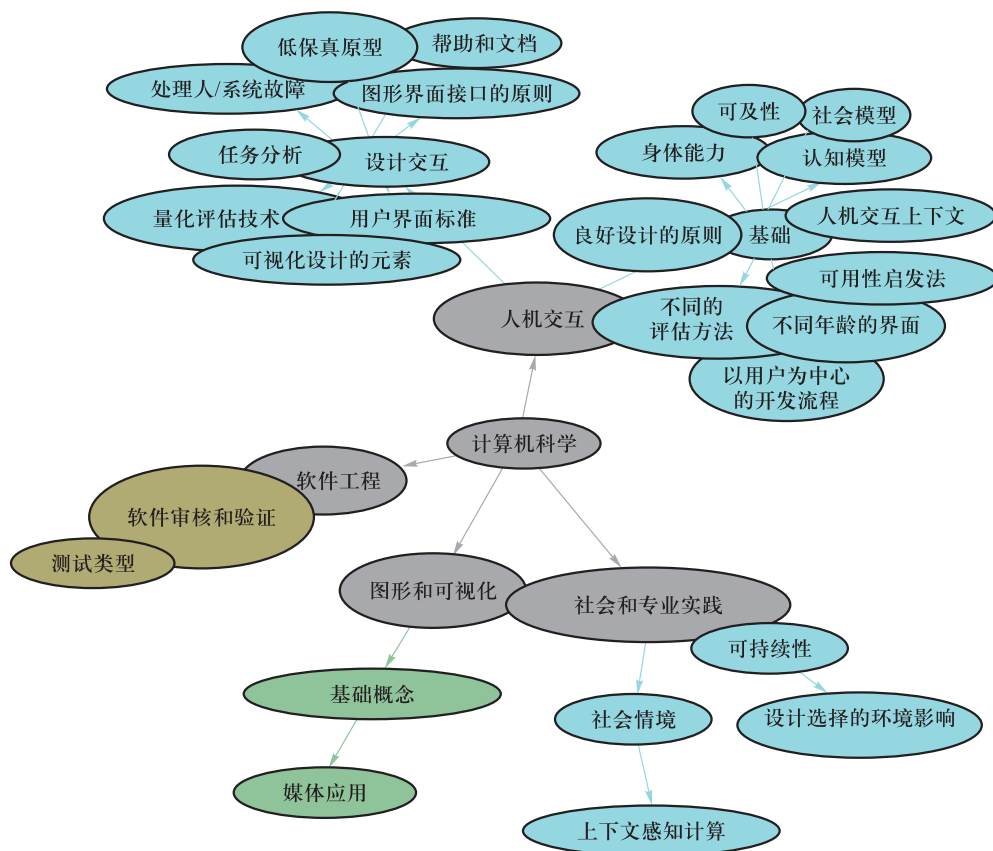


图 G.23 图 G.22 的人机交互部分的特写

附录 H

术 语 表

这份报告是为全球教育工作者、工业界、学生和普通公众编写的。然而,在全球的计算领域,不同的术语可能用来表示相同的事物,而相同的术语也可以有不同的含义。虽然最理想的情况是,在全球范围内建立一致的命名体系,但 CC2020 工作组认识到,许多术语根植于一个国家或地区的文化中。为了确保透明度和可读性,工作组编制了一份列表,列出了可能引起混淆的术语。本附录总结了一组 CC2020 定义,并已翻译成世界上最常用的一些语言。工作组希望这个列表能够使世界各地的读者使用自己的语言来理解计算领域的术语。本书只保留中文翻译。

表 H.1 术语定义和中文翻译

术语	CC2020 定义	中文
Accreditation	Official approval given by an organization stating that somebody or something has achieved a required standard 由一个组织给予的官方认可,表明某人或某事已达到要求的标准	学科评估
Algorithm	A set of rules to be followed in calculations or other problem-solving operations 在计算或其他解决问题的操作中要遵循的一组规则	算法
AP	Advanced placement not used outside the US 大学预修课程(该术语仅在美国使用)	大学先修课
Baccalaureate	A bachelor's degree 学士学位	学士

续表

术语	CC2020 定义	中文
Chair of Department	Head of Department or Chair of Department 系主任	系主任
Class	A group of students studying the same course or degree 学习相同课程或学位的一组学生	班级
College	Outside the USA it can be another name for a High School or an organizational unit in a university; in the US it is a term for a post-secondary education that includes universities and colleges. 在美国以外,它可以是“高级中学”的别称,或大学里的一个组织单位;在美国,它指的是中学以后的教育,包括大学和学院。	学院
Community College	Two-year school post high school primarily used in the USA, very rarely used elsewhere 高中教育之后的两年制学校(主要在美国,其他地方很少使用)	大专
Competency	Knowledge+Skills+Dispositions in context 知识 + 技能 + 品行	胜任力
Core course/ curriculum	Compulsory courses towards a degree 获得学位的必修课程	核心课程 / 课程体系
Course	A component of a degree or in some countries a whole degree 学位的组成部分,在一些国家或指整个学位	课程
Credit hours	The number of hours for each credit towards a degree 一个学位每个学分的学时数	学时
Credits	The points a student receives after passing the assessments towards the course or degree 学生通过课程或学位评估后得到的学分数	学分
Curriculum	All the different courses of study that are taught in a school or for a particular subject 大学或某一特定学科中教授的所有不同课程	课程体系
Engineering	Concerned with the design, building, and use of something. It does not imply a title of engineer 与事物的设计、建造和使用有关;它并不表示工程师的头衔	工程
Faculty	Teachers and researchers in a university 大学教师和科研人员	教职 / 学部

续表

术语	CC2020 定义	中文
Freshman	Freshman is a term for a first-year degree student, generally common 攻读学位的一年级学生 (较为通用)	一年级学生
Graduate, Post-Graduate	Graduate-has completed a bachelor's degree; Post Graduate-Masters and Doctoral degrees 毕业生—获得学士学位; 研究生—获得硕士或博士学位	毕业生、研 究生
Informatics	European term for computing or sometimes information systems or computer science 该术语在欧洲指计算,有时也指信息系统或计算机科学	信息学 / 情 报学
Information and Communication Technology (ICT)	A fairly common global term for the “computing” technology industry as a whole. Used in some places interchangeably with Information Technology 在“计算”技术行业中一个相当普遍的全球术语。 在一些地方,可与“信息技术”互换使用。	信息和通信 技术
Information Technology (IT)	A branch of “Computing” with an approved curriculum. A fairly common global term for the “computing” technology industry as a whole. Used in many places interchangeably with Information and Communication Technology “计算”的一个分支,具有认可的课程体系。 在“计算”技术行业中一个相当普遍的全球术语。 在许多地方,可与“信息与通信技术”互换使用。	信息技术
Junior	US term for a third-year student 在美国,该术语指三年级学生	三年级学生
K-12	Kindergarten to year 12 (rarely used outside the US and Canada) 从幼儿园到高中 (12 年级) 的教育 (该术语在美国和加拿大以外极少使用)	K-12
Lecturer	A rank of faculty or a teacher in a university 大学教员或教师的职级	讲师
Middle School	Also known as intermediate school. Different meanings in different countries generally two-or three-year schools at either 4 to 6, 7 to 8 or 9, or 11-14 years. 也被称为中级学校。在不同的国家有不同的含义。 一般是 4-6 年, 7-8 年或 9 年, 或 11-14 年的两年制或三年制学校。	中学

续表

术语	CC2020 定义	中文
Module	Either a course or a part of a course 一个课程或课程的一部分	模块
Paper	Usually, a product a student produces to pass a course or examination, or a published article 通常指学生为通过课程或考试完成的作品,或发表的文章	论文
Professor or a visiting professor	A Visiting Professor or in some countries (US) a part-time Professor 客座教授,或者在一些国家(如美国)指兼职教授	教授 / 访问教授
Program (me)	All the courses that make up a degree 构成学位的所有课程	专业、培养方案、项目
Quarter	A quarter of an academic year 一学年的四分之一	
Semester	Half an academic year 半个学年	学期
Senior	US term for a fourth-year student 在美国,指四年级学生	四年级学生
Sophomore	US term for a second-year student 在美国,指二年级学生	二年级学生
Subject	Similar to a course but not always used at university level 类似于课程,但并不总在大学层面使用	科目
Technology	The application of scientific knowledge for practical purposes, especially in industry 将科学知识运用于实践,尤其在工业中	技术
Trimester	One third of an academic year 一学年的三分之一	
Undergraduate	Studying towards a bachelor's degree 攻读学士学位的学生	本科生

中国计算与工程教育中的可持续竞争力

在中国,已经将竞争力作为计算和工程专业培养方案的一个重要组成部分。在过去的几年里,出现了一些关于计算和工程教育中竞争力培养重要性的出版物。中国计算机教育 20 人论坛最近出版了《计算机教育与可持续竞争力》(蓝皮书),探讨了大学环境中对竞争力的需求,尤其是在计算和工程教育领域中的竞争力需求。《中国计算机学会通讯》刊登的一篇 2018 年未来计算机教育峰会(FCES 2018)特邀报告[Imp1]中也强调了计算教育的胜任力培养。《计算机教育与可持续竞争力》(蓝皮书)提出了对敏捷教学的需求,以应对快速变化的信息技术世界。本节的其余部分总结了“蓝皮书”的理念,并探究了中国在未来十几年内如何适应技术变革。2018 年未来计算机教育峰会出版物中采用了现代的方法,即如本报告前面所述,采用“胜任力”而不是“竞争力”一词,即知识、技能和品行的三者合一。

1.1 具备适应性的可持续竞争力

2017—2019 年,中国计算机教育 20 人论坛的工作组撰写了《计算机教育与可持续竞争力》(蓝皮书)。这本著作作为中国大学计算与工程教育的转型开辟了新的思路。信息技术(IT)和人工智能(AI)等新兴领域为工业界和学术界创造了新的机遇。互联网使新的现代服务和商业与创新应用相结合成为可能。新兴的人工智能产业为智慧企业、公共服务等新兴产业提供了沃土。新工业革命(即工业 4.0)有望在网络智能制造、服务型制造以及工业和现代服务机器人技术方面取得进步。

如此全球范围的变化给信息社会带来了新的挑战。社会变革对数字网络化的认知社会、社会 and 环境的可持续发展以及信息与知识的迁移都提出了挑战。人们也在改变。年轻一代对职业发展有了新的态度和要求,这就需要他们采用多维度的学习方法,具备可持续的竞争力,以便适应充满变化的未来。这意味着教育也必须改变,尤其是大学阶段教育。

学生面临的教育挑战包括全球竞争力、大规模开放式网络课程(慕课)(包括由此带来的困扰)、大学职能的变化,以及信息社会所需的教育改革。这些变化给教育系统和社会带来了压力。为了应对这些挑战,必须通过在高等教育中培养可持续竞争力来适应社会的变化。“可持续竞争力”是指:(1)面对未来社会变化和竞争的适应能力;(2)基于使命和技术的创新能力;(3)推动社会发展与科技进步的行动能力。新经济发展的跨界性与快速变化要求计算和工程科技人才对未来具有更强的可持续竞争力。

近年来,中国政府和高校对高等工程教育的创新进行了探索和实践。中国教育部一直在推动“新工科”教育,为未来新技术和新经济的发展培养人才。教育部正在大力推进创新创业教育以及校企合作教育项目,培养更具创新态度、创新意识和实践能力的学生。中国许多大学都参与了此类工程教育改革,这也带来了一场持续的、以竞争力为导向的高等教育改革。

斯坦福大学提出的“开环大学”计划就是这场教育的一个例子。在这个新的理念下,学生将在他们的职业生涯中多次进入“开环”。这一教育改革被称为《斯坦福大学2025计划》,它提出了一种全新的学习概念。它的理念包括开放式教育、目标性学习和渐进式发展。采用自定节奏的教育,将四年学制转变为终身多年学制,包括校准、提升和激活三个阶段。这种绕轴翻转、自我实现的教育方法实现了“知识→能力,能力→新的知识”这样持续的螺旋式上升。这种有目标性的学习方式将职业发展作为学习的驱动力。

1.2 面向可持续竞争力的敏捷教学

面对人类发展的多重目标和个性化需求,构建一种可持续的、以竞争力为导向的敏捷教学体系显得尤为重要。敏捷教学是一种将理论、知识、能力和素养结合在一起的综合教学体系[蓝皮书,第25页]。它是通过提高学生潜在的创新能力和适应变化的能力来激发学生兴趣的一种方法。敏捷教学通过理论、技术、实践交叉并行与快速重构以及跨校跨界教育资源的高效协同,实现知识学习和能力提升的多轮迭代。

敏捷教学这一概念的灵感来自20世纪90年代的工业概念、敏捷制造和敏捷软件开发。新产品开发和制造模式必须适应新技术、新产品和新需求的快速变化。例如,敏捷

制造出现在 20 世纪 90 年代末,形成了一种先进的制造技术。该生产方式集合了敏捷虚拟企业联盟、先进的柔性生产技术和高素质的人才,以提高行业竞争力。此外,在这一时期,敏捷软件开发方法作为一种全新的面向客户需求的软件开发方法应运而生,它运用迭代构建模型和循环渐进的方法来提高软件开发效率。

由于过去的成功,敏捷教学正在成为一种大规模、个性化的教学形态,强调对培养目标与要求的精准教学。通过利用先进的教育网络和跨校跨界的教育资源,详细分解能力培养目标,对教学内容进行并行重组和迭代编排。敏捷教学旨在为教与学制定精准的协调程序,通过探索性、主动性和渐进式的学习过程来增强学生的能力。所采用的方法包括校企合作协同育人,跨学科教学团队和学生的交互协作,以及高校教育与社会之间的深度融合。

以可持续竞争力为导向的敏捷教学体系将培养学生的可持续竞争力贯穿到本科四年教育全过程。在学习方面,包括基础课程和通识教育,然后是专业和核心课程,之后是跨学科选修课程,最后是学生的个人发展,这通常由课程体系来决定。在实践方面,包括行业参观、年度项目、课程项目和科研能力、专业培训、行业实习和毕业生(顶级)项目。学习和实践相结合,培养学生的可持续竞争力,这是敏捷教学的核心。图 L.1 说明了这

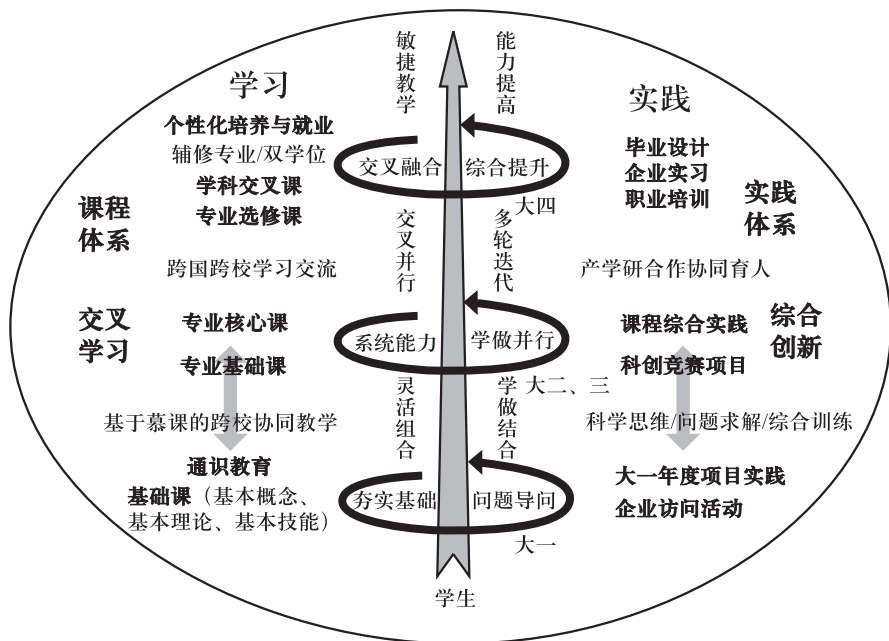


图 1.1 敏捷教育与可持续竞争力
(源自徐晓飞教授)

一理念。敏捷教学的实施源自近年来全球高等计算和工程教育改革的创新的实践经验。这些教学改革实践包括开环大学、联通主义网络学习方法、基于慕课的线上线下教学、翻转课堂、学做并行性学习、基于项目的学习方法、产学研合作协同育人、创新创业教育实践等。

1.3 计算和工程教育敏捷教学体系的构建因素

敏捷教学强调根据学生发展的个性化需求建立多元化的培养目标,其目的是通过专业导向和个性化学习相结合的方式开展“按需教育”。大学应该通过对学生多元化的培养目标,提供大规模、个性化的教育体系。教学体系包括课程体系设置、教学过程、师生学习活动、资源和质量评估方法等。高校可能需要对其传统的教育体系进行重新构建,建立多元化的培养目标,构建分类化与灵活化课程体系,迭代化教学过程,并创建协同化的教学支持体系。需要重点考虑的方面包括培养目标的多元化、课程模块的分类、核心课程的系统化、理论与实践的融合化、教学过程的敏捷化、教学资源的协同化等。

敏捷教学体系中,大学根据学生的个性化需求或专业和方向的分组需求,将课程体系和具体课程划分为多个模块群,为学生提供适应性知识学习和能力训练的环境。课程模块包括通识教育课程模块、专业基础课程模块、专业核心课程模块、跨学科课程模块、选修课程模块、实验类模块等。由于学生有更多的发展选择,因此有必要对课程模块、课程或微课程进行灵活的组合,以适应学生的需求。面对各种新兴技术和应用的出现,有必要对传统核心课程进行重构,开发更加体系化和灵活化的课程体系。大学必须优化设计课程内容和教学方法,以适应跨学科学习,迭代培养学生的创新能力、提高学生的适应能力。

敏捷教学是一种多阶段迭代式教学形态。对于计算机专业而言,迭代式能力培养模式从学生进入计算课程学习即开始,知识学习和能力培养交错并行。这个过程包括以下方面:

- 认识计算机及计算系统的基本概念(一年级课程和年度项目)。
- 理解和掌握计算机系统、要素和技术(二年级和三年级课程以及基于项目的学习)。
- 设计计算系统,开发计算机应用程序(四年级课程、项目和实习)。

最终,学生将通过这三轮迭代式学习和实践,获得更多专业知识和技术,对计算领域

有系统化的理解。

正如前面提到的,敏捷教学注重理论与实践的结合。强调将课程式教学和项目式学习相结合,通过更广泛、更深入的实践活动,提高学生的动手能力。图 I.2 体现了这一理念。除了知识迁移和技能培训,为学生的发展和成熟创造机会和环境也很重要,尤其是为学生创造这些机会。因此,敏捷教学的教育过程包括两个重要方面。第一,教学过程具备灵活性和敏捷性,允许学生根据自己的兴趣和特点来安排学习计划和选修课程。第二,教师应重组和优化教学过程与管理规则,以适应跨学科学习、迭代式能力培养和学生个性发展的需要。这方面的建议包括健全的学分制、灵活的教学计划、跨学科学习、累加式学习与考试,以及创新实践学分制等。

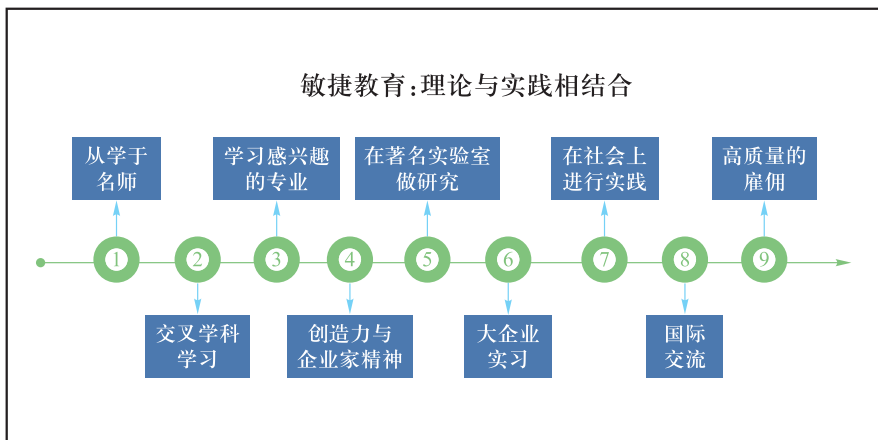


图 I.2 敏捷教育:理论与实践相结合
(源自徐晓飞教授)

敏捷教学需要组织和教学资源的高效协同。要实现敏捷教学,需要教学组织和教育资源的协同化,包括多学科团队、多院校的教学设施,以及行业和社会的培训资源。高校应通过整合多所院校和机构的教学资源,建立虚拟的校级协同教学中心,以实现敏捷教学。利用慕课资源来实现高校间合作教学也是一个重要途径。

I.4 面向敏捷教学的开放式教育生态

实现敏捷教学,必须重视高校教学管理的作用。高校需要改革其教学管理体系和服

务支撑体系,建立支持敏捷教学的教育生态环境。关注学生个体、小组制和灵活的学习方式是成功转型的关键因素。高校不仅要构建先进的敏捷教学体系,还要对教学管理体系和服务支撑体系进行改革和重组,建立面向可持续竞争力的开放式教育生态。这方面的建议包括:(1)建立弹性学制和完全学分制,实行迭代式学习和个性化培养;(2)建立本科生导师制和小组学习机制,实现学生的个性化培养和发展;(3)开发微课程和小型课程模块,灵活组合教学内容;(4)开发以能力为导向的课程和学习单元作为教学模式;(5)建立包括实习、创新项目和创业在内的校企合作协同教育体系。

为敏捷教学创造支持资源也同样重要。面向敏捷教学的转变需要丰富的教育资源,其中包括先进的线上线下课程资源、网络化的信息技术支撑平台、创新项目实验室、创业基地、学生书院、大数据服务平台以及先进的基础设施和设备。现代高校应在信息化网络平台上构建教育支撑体系,为敏捷教学提供智能、协同、精准、高效的服务。

质量保证是敏捷教学体系的重要组成部分。高校应建立以能力为导向的敏捷教学质量评估和保障体系,评估教学过程和结果,建立有效的教学质量报告机制,提升教学质量。教学状态分析有助于对过程评价、阶段评价、迭代式学习和能力提升的综合评价进行动态评估。敏捷教学的质量指标包括以下关键绩效指标(KPI):成就指标(与教育目标和期望相对比,评估学生能力的发展结果);过程指标(评估培养过程和关键要点的质量);培养主体指标(评估学生质量和教师质量);以及资源指标(评估教学资源的投入)。

敏捷教学有利于开放式的教育生态。教育生态通过建立一个不断发展的教育系统,对教育起到推动和制约作用。开放式教育生态是以学生为中心,协调或整合大学内外教学资源的教育系统和环境。国际资源也可以通过多渠道的协同合作来获得,以实现敏捷教学和可持续竞争力的培养。以学生为中心的教育生态可以实现跨学科融合教育、产学研合作协同育人、国际合作联合培养、创新创业育人和校园文化育人等。这些反过来又会促进敏捷教学。图 I.3 对此进行了说明。

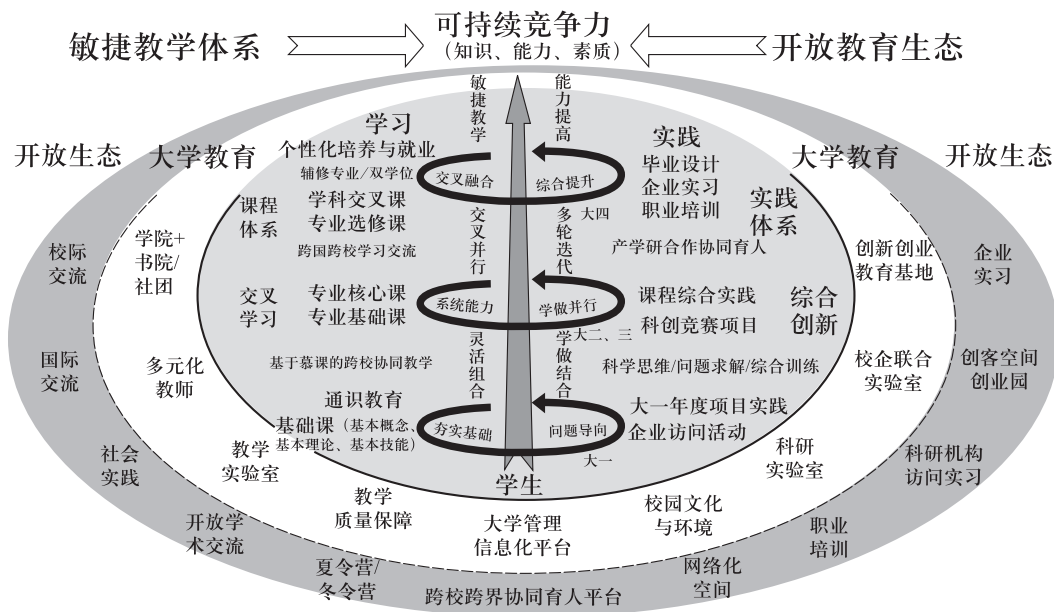


图 1.3 敏捷教育的开放生态系统
(源自徐晓飞教授)

1.5 服务型计算教育

服务型教育是敏捷教学的自然产物。培养、保障和提升学生在整个职业生涯中的可持续竞争力,将成为未来大学的重要使命和教育服务职能。教育变革趋势表明:

合格毕业生→学生终身可持续竞争力

服务型教育是学生终身可持续发展教育的一种新形式。它实行多阶段、跨学科、持续性和适应性教育,为学生整个职业生涯的可持续竞争力发展提供连续多阶段的敏捷教学服务。从根本上讲,服务型教育可以带来以下几个方面:

- 以学生终身发展为中心的可持续性继续教育；
- 个性化发展目标的培养与学习；
- 开放式跨界跨学科协同教育服务；
- 迭代式多阶段敏捷教学；

- 专业的线上线下教育中心；
- 智慧教育服务网络化平台。

最终,这个过程会让学生获得终身可持续竞争力。图 I.4 说明了服务型教育的前景。

总之,要培养具有可持续竞争力的创新人才,适应未来新兴技术和经济的发展,必须改革和重构当前的高等教育体系、教育模式和教育生态,采用新的工程教育模式,培养学生可持续竞争力。敏捷教学作为一种全新的先进教学形态,有望促进高等计算和工程教育的发展。这些新形式的先进教育模式和方法(如敏捷教学、服务型教育)将在中国乃至世界各地的高校中通过实践和探索来实现。

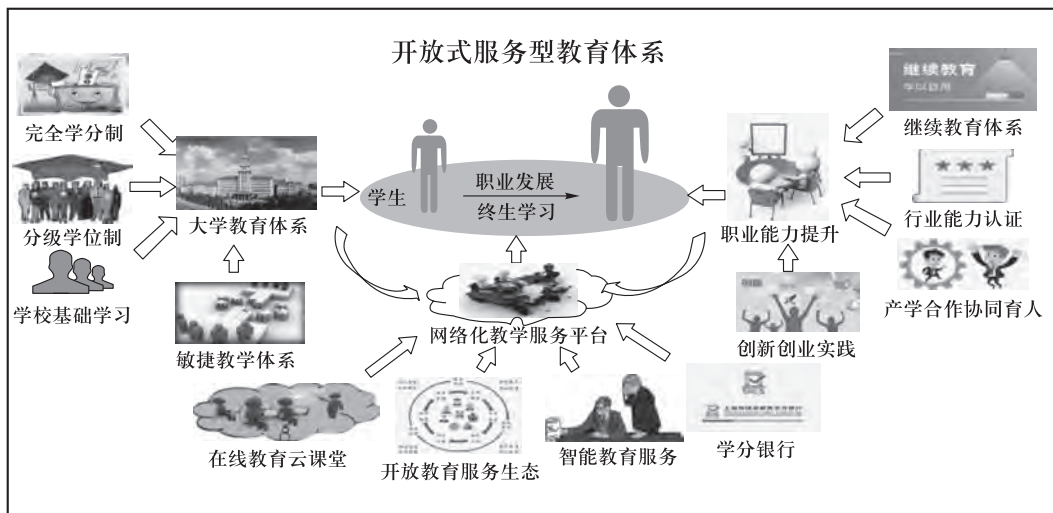


图 I.4 服务型教育的前景
(源自徐晓飞教授)

本附录是由John Impagliazzo教授根据徐晓飞教授在2019 ACM 图灵大会 (TURC) 上作的特邀报告“Agile Computing Education for Sustainable Competencies”整理写成的。其中许多内容来自《计算机教育与可持续竞争力》(蓝皮书)。该蓝皮书的部分作者审阅了此附录。

附录 J

贡献者和审稿人

CC2020 指导委员会和工作组感谢所有贡献者和审稿人,他们为这个项目提供了宝贵的意见、帮助和反馈。至少有 540 人对 CC2020 报告做出了贡献。

名	姓	机构	国家
至少有 407 名匿名审稿人		不同机构	不同国家
-	-	Jiangxi Normal University 江西师范大学	China
Joerg	Abke	Technical University of Aschaffenburg	Germany
Shadi	Abou-Zahra	World Wide Web Consortium (W3C)	International
Ibrahim	Albluwi	Princeton University	United States
Hala	Alrumaih	Imam Mohammad Ibn Saud Islamic University	Saudi Arabia
Mohammed	Alshara	Information Technology Department, IMAM University-Riyadh	Saudi Arabia
Barbara	Anthony	Southwestern University	United States
Renata	Araujo	Brazilian Computer Society	Brazil
Jose Luis	ASencio Mera	Escuela Superior Politécnica del Litoral	Ecuador
Jeffrey	Babb	West Texas A&M University	United States of America
Olga	Bogoyavlenskaya	Petrozavodsk State University	Russia

续表

名	姓	机构	国家
Paolo	Bottoni	Univ. Roma “Sapienza”	Italy
Pierre	Bourque	École de technologie supérieure- Université du Québec	Canada
David	Bowers	The Open University, UK; The Institute of Coding, and The SFIA Council	UK
Premek	Brada	University of West Bohemia, Pilsen	Czech Republic
Kevin	Brunner	Graceland University	United States
Matthew	Burrows	–	UK
John	Calder	Manukau Institute of Technology	New Zealand
Héctor	Cancela	Universidad de la República	Uruguay
Alberto	Cannistraro	AICA member	Italy
Yongzhi 永知	Cao 曹	Peking University 北京大学	China
F	Castro Lopes	Universidade Portucalense	Portugal
Kai H.	Chang	Auburn University	United States
Wenzhi 文智	Chen 陈	Zhejiang University 浙江大学	China
Juan 娟	Chen 陈	National University of Defense Technology 国防科技大学	China
Paolo	Ciancarini	University of Bologna	President of GRIN, the Italian association of informatics university professors
Alison	Clear	Eastern Institute of Technology	New Zealand
Tony	Clear	Auckland University of Technology	New Zealand
Ernesto	Cuadros-Vargas	Latin American Center for Computing Studies (CLEI)	Peru
Alberto	Culatina	Università degli Studi di Pavia	Italia
Yafei 亚非	Dai 代	Peking University 北京大学	China
Colin	de la Higuera	Univ. Nantes	Representing the Société informatique de France, the French association of Informatics university professors

续表

名	姓	机构	国家
Adrienne	Decker	University of Buffalo	United States of America
Jörg	Dese	Fernuniversität in Hagen	Representing Fakultätentag Informatik, German scientific society of university professors in informatics, and Gesellschaft für Informatik
Jörg	Desel	FernUniversität in Hagen	Germany
Juan Francisco	Díaz	Universidad del Valle	Colombia
Juan Manuel	Dodero	University of Cadiz	Spain
Tania Mara	Dors	Pontificia Universidade Catolica do Parana	Brazil
Dennis	Du	—	China
Eric	Durant	Milwaukee School of Engineering	United States of America
MJ	Escalona	University of Seville	Spain
Marisa	Exter	Purdue University	United States of America
Dick	Fairley	Software and Systems Engineering Associates	United States
Aaron	French	University of New Mexico	United States
Stephen	Frezza	Gannon University	United States of America
Shivanagowda	G M	Shri Dharmasthala Manjunatheshwara College of Engineering and Technology	India
Judith	Gal-Ezer	Open University	Israel
Kevin	Gary	Arizona State University	United States
Beatriz Florián	Gaviria	Universidad del Valle	Colombia
Markus	Geissler	Cosumnes River College	United States
Giorgio	Giacinto	University of Cagliari	Italy

续表

名	姓	机构	国家
Karina	Gibert	Intelligent Data Science and Artificial Intelligent Research Center and Barcelona School of Informatics (Universitat Politècnica de Catalunya) and Vicedean on Big Data ,Data Science and Artificial Intelligence of the Illustrious Official Professional College of Informatics Engineering of Catalonia	Spain
Itana Maria	Gimenes	Brazilian Computer Society	Brazil
Steven	Gordon	Ohio State University	United States of America
Rohit	Goswami	University of Iceland	Iceland
Monique	Grandbastien	Univ. de Lorraine	France
Reyes	Grnagel Seguer	Universitat Jaume I	Spain
Mohammad Ali	Hammoudeh	–	–
Eiji	Hayashiguchi	Waseda University, CTO VJP Co. Ltd.	Japan
Thomas	Hilburn	Embry-Riddle Aeronautical University	United States
Javier	Hormigo	Universidad de Malaga	Spain
John	Impagliazzo	Hofstra University	United States of America
Nikolay	Kakanakov	Technical University of Sofia Plovdiv branch	Bulgaria
Katsuhiko	Takehi	Waseda university	Japan
Amey	Karkare	India Institute of Technology-Kanpur	India
Uwe	Kastens	Univ. Paderborn	Germany
Aaron	Keen	Cal Poly	United States
Ajax	Kroos	UTEC	Peru
Johannes	Krugel	Technical University of Munich	Germany
Richard	Le Blanc	Seattle University	United States of America
Charles	Lee	-	China
Paul	Leidig	Grand Valley State University	United States of America

续表

名	姓	机构	国家
Wei	Li	School of Computer Science and Engineering, Xi'an University of Technology	China
Wenlong	Liu	Vision Investment	China
David	Lopez	Universitat Politècnica de Catalunya	Spain
David	Lopez	Universitat Politècnica de Catalunya	Spain
Barry	Lunt	Brigham Young University	United States of America
Johannes	Magenheim	Univ. Paderborn	Germany
Linda	Marshall	University of Pretoria	South Africa
Massoud	Massoudi	Ph.D. Scholar at Delhi Technological University	Afghanistan
Bruce	McMillin	Missouri University of Science and Technology	United States of America
Tania	McVeety	IBM	United States of America
Nancy	Mead	Carnegie Mellon University	United States of America
Greg	Michaelson	School of Mathematical and Computer Sciences, Heriot Watt University	United Kingdom
Mattia	Monga	Università degli Studi di Milano, Departmente of Computer Science	Italy
Manuel	Mora	Autonomous University of Aguascalientes	Mexico
Lourdes	Moreno	Chair AIPO- Spanish Society for HCI	Spain
Enrico	Nardelli	Univ. Roma Tor Vergata	President of Informatics Europe, the European association of university departments and industrial research lab in Informatics
Vânia	Neris	Federal Universtity of São Carlos	Brazil
Salvatore	Orlando	Univ. Venezia	Italy
Allen	Parrish	University of Alabama	United States of America

续表

名	姓	机构	国家
Arnold	Pears	KTH Royal Institute of Technology	Sweden
Teresa	Pereira	Instituto Politécnico de Viana Castelo	Portugal
Domenick	Pinto	Sacred Heart University	United States
Melinda	Reno	Deloitte Consulting	United States of America
RITSI	Reunión de Estudiantes de Ingenierías Técnicas y Superiores de Informática	–	Spain
Ulises	Roman Concha	UNMSM	Peru
Ariel	Sabiguero	Universidad de la República	Uruguay
Fermin	Sanchez	Universitat Politècnica de Catalunya	Spain
Nello	Scarabottolo	Università di Milano	Italy
Yann	Secq	University of Lille	France
Ian	Seward	SFIA Foundation	International
Nicholas	Sheppard	Western Sydney University	Australia
Williamson	Silva	UNESPAR	Brazil
	Simon	University of Newcastle	Australia
Yanchun 艳春	Sun 孙	Peking University 北京大学	China
Shingo	Takada	Keio University	Japan
Gabriel	Tamura	Universidad Icesi	Colombia
Chris	Taylor	Milwaukee School of Engineering	United States
JohnBarrie	Thompson	None-retired academic and UK National Teaching Fellow	United Kingdom
Ye 野	Tian 田	ByteDance 北京字节跳动科技有限 公司	China
Steve	Tockey	Construx Software	USA
Heikki	Topi	Bentley University	United States of America
Paul	Tymann	Rochester Institute of Technology	United States of America

续表

名	姓	机构	国家
Jim	Vallino	Rochester Institute of Technology	United States
Gerrit	van der Veer	Vrije Universiteit	Netherlands
Eduardo	Vendrell Vidal	Univ. Valencia	Representing SCIE and CODDII, Spanish scientific societies of university professors in Informatics
Abhijat	Vichare	ACM India	India
Norha M.	Villegas	Universidad Icesi	Colombia
Barbara	Viola	Viotech Solutions	United States of America
Les	Waguespack	Bentley University	United States of America
Pearl	Wang	George Mason University	United States of America
Rupert	Ward	University of Huddersfield	United Kingdom
Ed	Weber	Millikin University	USA
Ning 宁	Wu 吴	—	China
Xi 锡	Wu 吴	Chengdu Univ. of Information Technology 成都信息工程大学	China
Zichen 子晨	Xu 徐	The Nanchang University 南昌大学	China
Xiaofei 晓飞	Xu 徐	Harbin Institute of Technology (HIT) 哈尔滨工业大学	China
Xiaochun (Jane) 晓春	Yang 杨	Shanghai AchieveFun Info Tech Co., Ltd 上海成趣信息科技有限公司	China
Ge 戈	Yu 于	Northeastern University 东北大学	China
Armita	Zarnegar	Swinburne University of Technology	Australia
Ming 铭	Zhang 张	Peking University 北京大学	China
Stuart	Zweben	Ohio State University	United States of America

一、报告的参考文献

- [Aac1] American Association of Community Colleges (AACC). <https://www.aacc.nche.edu/>, Accessed 2020.12.
- [Abe1] ABET. Accreditation Board for Engineering and Technology. <https://www.abet.org/>, Accessed 2020.12.
- [Acc1] Accenture:Technology Vision 2020:We, the Post-Digital People. <https://www.accenture.com/us-en/insights/technology/technology-trends-2020>, Accessed 2020.12.
- [Acn00] ACM Website. <https://www.acm.org/>, Accessed 2019.6.
- [Acn01] ACM Curricula Reports Website. <https://www.acm.org/education/curricula-recommendations>, Accessed 2019.3.
- [Acn02] ACM (2005). Computing Curricula 2005 The Overview Report. ACM and IEEE Computer Society. ACM SIGCSE Bulletin (March 2006). <https://doi.org/10.1145/1124706.1121482>.
- [Acn03] ACM (2010). IS 2010 Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Information Systems. Association for Computing Machinery (ACM) and Association for Information Systems (AIS). <https://doi.org/10.1145/2593310>.
- [Acn04] ACM (2013). Computer Science Curricula 2013:Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Computer Science. ACM and IEEE Computer Society. <https://doi.org/10.1145/2534860>.
- [Acn05] ACM (2014). Software Engineering Curricula 2014 Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Software;Engineering. ACM and IEEE Computer Society. <https://doi.org/10.1145/2594168>.
- [Acn06] ACM (2016). Computer Engineering Curricula 2016 Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Computer Engineering. ACM and IEEE Computer Society. <https://doi.org/10.1145/2834860>.

- org/10.1145/3025098.
- [Acm07] ACM (2017). Information Technology Curricula 2017 Curriculum Guidelines for Baccalaureate Degree Programs in Information Technology. ACM and IEEE Computer Society. <https://doi.org/10.1145/3173161>.
 - [Acm08] ACM (2017). Cybersecurity Curricula 2017 Curriculum Guidelines for Post-Secondary Degrees in Cybersecurity. ACM and IEEE Computer Society, Association for Information Systems Special Interest Group on Information Security and Privacy (AIS SIGSEC), International Federation for Information Processing Technical Committee on Information Security Education (IFIP WG 11.8). <https://doi.org/10.1145/3184594>.
 - [Acm09] ACM (2020). Information Technology Curricular Guidance for Transfer Programs. <http://ccecc.acm.org/files/publications/IT-Transfer2020.pdf>, Accessed 2020.12.
 - [Acm10] ACM (2017). Computer Science Transfer Curriculum 2017 Computer Science Curricular Guidance for Associate-Degree Transfer Programs with Infused Cybersecurity. ACM Committee for Computing Education in Community Colleges (CCECC). <http://dx.doi.org/10.1145/3108241>.
 - [Acm11] ACM (2017). Topi H, Karsten H, Brown S A, et al. MSIS 2016: Global Competency Model for Graduate Degree Programs in Information Systems, 2017 (40), 1. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.04018>.
 - [Acm12] ACM (2001). Computing Curricula 2001: Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Computer Science. ACM and IEEE Computer Society. <https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/curricula-recommendations/cc2001.pdf>, Accessed 2019.6.
 - [Acm13] ACM (1968). Curriculum 68: Recommendations for academic programs in computer science: a report of the ACM curriculum committee on computer science [J]. Communications of the ACM, 1968(11), 3, 151–197.
 - [Acm14] ACM. (1972). Ashenhurst R L (Ed.). Curriculum recommendations for graduate professional programs in information systems [J]. Communications of the ACM, 1972 (15), 5, 363–398.
 - [Acm15] ACM. (1973). Couger J (Ed.). Curriculum Recommendations for Undergraduate Programs in Information Systems [J]. Communications of the ACM, 1973 (16), 12, 727–749.
 - [Acm16] ACM Education Policy Committee (2018) Lighting the Path: From Community College to Computing Careers; <https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/lighting-the-path-from-community-college-to-computing-careers.pdf>, Accessed 2020.12.
 - [Acm17] ACM (2020) Cybersecurity Curricular Guidance for Associate-Degree Programs. <http://ccecc.acm.org/files/publications/Cyber2yr2020.pdf>, Accessed 2020.12.
 - [Acm18] ACM Europe Council. Informatics for All. <https://uop.acm.org/i4all>, Accessed 2021.6.
 - [Als1] Alsop S. Beyond Cartesian Dualism: Encountering Affect in the Teaching and Learning of Science, Vol. 29 [M]. Berlin, Germany: Springer Science & Business Media, 2005.
 - [And5] Anderson L W, et al. A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives, abridged edition [M]. White Plains, NY: Longman, 2001.
 - [Ann1] Annas J. Intelligent Virtue [M]. Oxford: Oxford Press, 2011.

- [Atc1] Atchison W F, et al. Curriculum 68: Recommendations for academic programs in computer science: a report of the ACM curriculum committee on computer science [J]. Communications of the ACM, 1968 (11), 3.
- [Are1] Are-We-In-Your-State. <https://www.areweinyourstate.org/>, Accessed 2020.12.
- [Aus1] Austing R H, et al. Curriculum '78: Recommendations for the undergraduate program in computer science—a report of the ACM curriculum committee on computer science [J]. Communications of the ACM, 1979 (22), 3.
- [Bac1] Bachelor degrees in Japan (2017). http://www.niad.ac.jp/media/001/201901/no9_13_2017data_fuki_Bachelor_English.pdf, Accessed 2019.6.
- [Bai1] Baiyere A, Topi H, Venkatesh V, et al. Internet of Things (IoT) -A Research Agenda for Information Systems, in Communications of the AIS. (Forthcoming—conditionally accepted for publication).
- [Bai2] Bairaktarova D, Woodcock A. Engineering Student's Ethical Awareness and Behavior: A New Motivational Model [J]. Science and Engineering Ethics, 2017 (23), 4, 1129–1157.
- [Ban1] Wilder C R, Ozgur C O. Business Analytics Curriculum for Undergraduate Majors [J]. INFORMS Transactions on Education, 2015 (15), 2, 180–187; <https://doi.org/10.1287/ited.2014.0134>.
- [Bar1] Baron R M, Kenny D A. The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations [J]. Journal of Personality and Social Psychology, 1986 (51), 1173–1182. <https://psych.wisc.edu/henriques/mediator.html>, Accessed 2019.9.
- [Bau1] Baumgartner I, Shankararaman V. Actively linking learning outcomes and competencies to course design and delivery: experiences from an undergraduate Information Systems program in Singapore, in Proceedings of the 2013 IEEE Global Engineering Education Conference, (Berlin, Germany, 2013), 238–246.
- [Bhe1] BHEF (2016). Data Science and Analytics (DSA) Competency Map, The Business Higher Education Framework (BHEF), version 1.0, 2016. 12. https://s3.goeshow.com/dream/DataSummit/Data%20Summit%202018/BHEF_2016_DSA_competency_map_1.pdf, Accessed 2020.1.
- [Bil1] Billett S. Realising the educational worth of integrating work experiences in higher education, Studies in Higher Education, 2009 (34), 7, 827–843.
- [Blo1] Bloom B S (Ed.), Engelhart M D, Furst E J, Hill W H, et al. Taxonomy of Educational Objectives, Handbook I: The Cognitive Domain. (New York, David McKay Co. Inc., 1956).
- [Bls1] Bureau of Labor Statistics, U.S. Department of Labor, Occupational Outlook Handbook, 2016–17 Edition, Computer and Information Technology Occupations. <https://www.bls.gov/ooh/computer-and-information-technology/home.htm>, Accessed 2017.12.
- [Bls2] Bureau of Labor Statistics, U.S. Department of Labor, *Occupational Outlook Handbook*, 2016–17 Edition, Computer and Information Technology Occupations; <https://www.bls.gov/ooh/computer-and-information-technology/information-security-analysts.htm>, Accessed 2017.12.
- [Blu1] The Blue Book Working Group of the Forum of Chinese Twenty-Experts on Computing Education in China. Computer Education for Sustainable Competence [M]. Beijing China: Higher Education Press,

- 2019.1.
- [Bol1] Bologna Declaration. <http://www.ehea.info/cid100210/ministerial-conference-bologna-1999.html>, Accessed 2020.12.
 - [Bol2] Bologna Working Group on Qualifications Frameworks. A Framework for Qualifications of the European Higher Education Area [M]. The Danish Ministry of Science, Technology and Innovation, 2005.
 - [Bur1] Burning G (2017). The Digital Edge: Middle-Skill Workers and Careers. https://www.burning-glass.com/wp-content/uploads/Digital_Edge_report_2017_final.pdf, Accessed 2019.5.
 - [Cas1] Cassel L, Topi H (2016). Strengthening Data Science Education Through Collaboration. <https://digital.library.villanova.edu/Item/vudl:622682>, Accessed 2020.12.
 - [Cas2] Caspersen M E, Gal-Ezer J, McGettrick A, et al. Informatics as a fundamental discipline for the 21st century [J]. Communications of the ACM, 2019 (62), 4, 58. <https://cacm.acm.org/magazines/2019/4/235598-informatics-as-a-fundamental-discipline-for-the-21st-century/fulltext>, Accessed 2020.12.
 - [Cew1] CC2020 Project Website. <https://www.cc2020.net/>, Accessed 2019.5.
 - [Cha1] Chambers D W, Gerrow J D. Manual for Developing and Formatting Competency Statements [J]. Journal of Dental Education, 1994 (58), 5, 361–66.
 - [Che1] Chen J, Shen L, Yin J P, Zhang C Y. Design of Practical Experiences to Improve Student Understanding of Efficiency and Scalability Issues in High-Performance Computing (Poster) [C]. SIGCSE '18: Proceedings of the 49th ACM Technical Symposium on Computer Science Education. Pages 1090. February 2018. Baltimore, Maryland, USA. <https://doi.org/10.1145/3159450.3162239>.
 - [Che2] Chen J, Cao Y, Du L, et al. Improve Student Performance Using Moderated Two-Stage Projects [C]. CompEd '19: Proceedings of the ACM Conference on Global Computing Education. Pages 201–207. May 2019, Chengdu, China. <https://doi.org/10.1145/3300115.3309524>.
 - [Che3] Chen J, Impagliazzo J, Shen L. High-Performance Computing and Engineering Educational Development and Practice [C]. 2020 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), Uppsala, Sweden, October 2020, pp. 1–8, <https://doi.org/10.1109/FIE44824.2020.9274100>.
 - [Chy5] Chyung S, Stepich D, Cox D. Building a Competency-Based Curriculum Architecture to Educate 21st-Century Business Practitioners [J]. The Journal of Education for Business, 2006 (81), 6, 307–314.
 - [Cio] CIO Council (2012). Clinger-Cohen core competencies and learning objectives. Washington, DC: CIO Council.
 - [Cis1] CISCO. Cisco Training and Certifications. <https://www.cisco.com/c/en/us/training-events/training-certifications.html>, Accessed 2020.12.
 - [Cla1] Classroom, The. (2019) Knowledge Based Learning. <https://www.theclassroom.com/knowledge-based-learning-5403738.html>, Accessed 2020.12.
 - [Cle1] Clear T. Thinking Issues: Meeting Employers' eExpectations of DevOps Roles: Can Dispositions Be Taught ? [J]. Inroads, 2017 (8), 2, 19–21. <https://doi.org/10.1145/3078298>.
 - [Cle2] Clear A, Clear T, Impagliazzo J, Wang P. (2020). From Knowledge-based to Competency-based Computing Education: Future Directions, submitted for Review.

- [Col1] Collins Dictionary. <http://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/communication-skills>, Accessed 2017.12.
- [Com1] Computing at School, Computing in the national curriculum; A guide for primary teachers, 2013. <https://www.computingatschool.org.uk/data/uploads/CASPrimaryComputing.pdf>, Accessed 2020.12.
- [Com2] Computing at School, Computing in the national curriculum; A guide for secondary teachers, 2014. https://www.computingatschool.org.uk/data/uploads/cas_secondary.pdf, Accessed 2020.11.
- [Com3] CompTIA. <https://www.comptia.org/>, Accessed 2020.11.
- [Con1] Conceiving-Designing-Implementing-Operating (CDIO). <http://www.cdio.org/>, Accessed 2019.5.
- [Cos1] Computer Society of IEEE. <http://www.computer.org/>, Accessed 2019.5.
- [Cou1] Couger J (Ed.). Curriculum recommendations for Undergraduate programs in information systems [J]. Communications of the ACM 16, 1973 (12), 727–749.
- [Cpt1] CompTIA, Information Technology (IT) Industry & Association. <https://www.comptia.org/>, Accessed 2017.12.
- [Cpt2] CompTIA, Building Digital Organizations, February 2017. <https://www.comptia.org/content/research/building-digital-organizations>, Accessed 2020.12.
- [CSf] Computer Science For All. <https://wwwcsforall.org>, Accessed 2021.1.
- [Csp1] CSpathshala. www.cspathshala.org/, Accessed 2019.8.
- [CSTA] Computer Science Teachers Association. <https://www.csteachers.org>, Accessed 2021.1.
- [Cua1] Cuadros-Vargas E (2018). Escuela Profesional de Ciencia de la Computacion. <https://education.spc.org.pe/Peru/CS-UTEC/Plan%202018/CS-UTEC-poster.pdf>, Accessed 2019.5.
- [Cua2] Cuadros-Vargas E (2018). 3.9 Compatibilidad de la carrera con relación a estándares internacionales. https://education.spc.org.pe/Peru/CS-UTEC/Plan%202018/3_9_Compatibilidad_carrera_.html, Accessed 2019.5.
- [Dab1] Dabbagh N, Benson A D, Denham A, et al. Massive open online courses [J]. Learning technologies and globalization. Springer, Cham, 2016, 9–13.
- [Dat1] Data Science Task Force. <http://dstf.acm.org/>, Accessed 2020.11.
- [Dat2] Data Science Draft Report 1 (2019). <http://www.cs.williams.edu/~andrea/DSReportInitialFull.pdf>, Accessed 2019.5.
- [Dat3] Data Science Draft Report 2 (2019). <http://dstf.acm.org/DSReportInitialFull.pdf>, Accessed 2020.1.
- [Dat4] DataUSA (2019). <https://datausa.io/profile/cip/computer-and-information-sciences-and-support-services>, Accessed 2019.8.
- [Dav1] Dave R H. Psychomotor levels in Developing and Writing Behavioral Objectives//Developing and Writing Behavioral Objectives [M]. Tucson, Arizona: Educational Innovators Press, 1970, 20–21.
- [Dea1] Deadline.com. <https://deadline.com/2018/07/film-industry-revenue-2017-ibisworld-report-gloomy-box-office-1202425692/>, Accessed 2020.12.
- [Del1] Deloitte. Deloitte Insights: Tech Trends 2020. <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/tech-trends.html>, Accessed 2020.11.

- [Den1] Denning P J, et al. Computing as a Discipline [J]. Communications of the ACM, 1989 (32), 1, 9–23.
- [Dep1] Department for Education. GCE AS and A level subject content for computer science. DFE–00359–2014. https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/302105/A_level_computer_science_subject_content.pdf, Accessed 2020.11.
- [Dic1] Dictionary.com. <https://www.dictionary.com/browse/innovation/>, Accessed 2020.11.
- [Dic2] Dictionary.com. <https://www.dictionary.com/browse/entrepreneur/>, Accessed 2020.11.
- [Doc1] DocPlayer (2018). Guidelines on Course Accreditation Information for universities and colleges. British Computer Society. <https://docplayer.net/186911786-Guidelines-on-course-accrcditation-information-for-universities-and-colleges.html>, Accessed 2021.1.
- [Dso1] Dsouza J. <https://www.linkedin.com/pulse/based-learning-11-kbl-knowledge-based-john-dsouza>, Accessed 2020.11.
- [Edg1] Education Glossary. <https://www.edglossary.org/content-knowledge/>, Accessed 2020.12.
- [Eco1] European Commission. The Digital Competence Framework 2.0. <https://ec.europa.eu/jrc/en/digcomp/digital-competence-framework>, Accessed 2020.11.
- [Edi1] EDSF (2017). The EDISON Data Science Framework. http://edison-project.eu/sites/edison-project.eu/files/attached_files/node-488/edison-general-introduction-edsf.pdf, Accessed 2019.2.
- [Edu1] Eduglopedia. <https://eduglopedia.org>, Accessed 2020.11.
- [Edu2] Education Scotland, Benchmark. Technologies, March 2017; <https://education.gov.scot/improvement/documents/technologiesbenchmarkspdf.pdf>, Accessed 2020.11.
- [Ent1] Enterprise Information Technology Body of Knowledge (EITBOK). http://eitbokwiki.org/Main_Page, Accessed 2019.8.
- [Eqa1] European Quality Assurance Network for Informatics Education (EQANIE). <https://eqanie.webs.upv.es/quality-label/the-euro-inf-framework-standards-and-criteria/>, Accessed 2020.11.
- [Eur1] European e-Competence Framework (e-CF), 3.0. <http://www.ecompetences.eu/>, Accessed 2020.11.
- [Eur2] European Higher Education Area (EHEA). <http://www.ehea.info/page-three-cycle-system>, Accessed 2019.8.
- [Eur3] European Qualifications Framework (EQF). European Commission. Learning Opportunities and Qualifications. <https://ec.europa.eu/ploteus/en/content/descriptors-page/>, Accessed 2019.8.
- [Exe1] Exeter University. <http://www.exeter.ac.uk/undergraduate/degrees/computerscience/comsci/#Programme-structure>, Accessed 2020.11.
- [Fei1] Fein L. The Role of the University in Computers, Data Processing, and Related Fields [J]. Communications of the ACM, 1959 (2), 9, 7–14.
- [Fra1] Fraillon J, Ainley J, Schulz W, et al. Preparing for Life in a Digital World [C]. IEA International Computer and Information Literacy Study 2018 (ICILS 2018). Springer, Cham, 2020.
- [Fre1] Frezza S, Daniels M, Pears A, et al. Modelling Competencies for Computing Education beyond 2020: A Research Based Approach to Defining Competencies in the Computing Disciplines [C]//Proceedings Companion of the 23rd Annual ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science

- Education, 27 (ACM, 2019).
- [Fre2] Frezza S, Daniels M, Wilkins A. Assessing Students' IT Professional Values in a Global Project Setting [C]//ACM Transactions on Computing Education, Special Issue on Global Software Engineering Education, 2019 (19), 2: 9: 1–9: 34.
 - [Fre5] Frezza S, et al. Modelling competencies for computing education beyond 2020: a research based approach to defining competencies in the computing disciplines [C]// ITiCSE 2018 Companion: Proceedings Companion of the 23rd Annual ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education, July 2018: 148–174.
 - [Ful2] Fuller U, Pears A, Amillo J, et al. A Computing Academic Perspective on the Bologna Process [J]. ACM SIGCSE Bulletin, 2006 (38), 4: 115–131.
 - [Gar1] Gartner: Top 10 Strategic Technology Trends for 2020. <https://www.gartner.com/en/publications/top-tech-trends-2020>, Accessed 2020.11.
 - [Gra1] Gray J M (2015). Virtue Ethics: Examining Influences on the Ethical Commitment of Information System Workers in Trusted Positions. Dissertation: Nova Southeastern University. http://nsuworks.nova.edu/gscis_etd/364, Accessed 2020.11.
 - [Gra2] Grant G. On competence: a critical analysis of competence-based reforms in higher education [M]. Jossey-Bass, 1979.
 - [Han1] Han H. Virtue Ethics, Positive Psychology, and a New Model of Science and Engineering Ethics Education [J]. Science and Engineering Ethics, 2014 (21), 2: 441–460.
 - [Har1] Harrow A. A Taxonomy of Psychomotor Domain: A Guide for Developing Behavioral Objectives [M]. New York, USA: David McKay Co., Inc., 1972.
 - [Har2] Harvard. https://www.campuservices.harvard.edu/system/files/documents/1865/harvard_competency_dictionary_complete.pdf, Accessed 2020.11.
 - [Hel1] Helfert M. Business informatics: An engineering perspective on information systems [J]. Journal of Information Technology Education: Research, 2008, 7: 223–245.
 - [Icd1] ICD Translation. <http://icdtranslation.com/skill-based-and-knowledge-based-online-training/>, Accessed 2020.11.
 - [Iee1] IEEE (2017) Los Alamitos, Calif., Dec. 14, 2017. <https://www.prnewswire.com/news-releases/top-10-technology-trends-for-2018-ieee-computer-society-predicts-the-future-of-tech-300571274.html>, Accessed 2020.11.
 - [Iee2] The Informatics Europe and European Commission Joint Report on Industry-University cooperation. <https://www.informatics-europe.org/news/544-bridging-the-digital-talent-gap-towards-successful-industry-university-partnerships>.
 - [Iee3] IEEE Computer Society (2014) Software Engineering Competency Model: Version 1.0, SWECOM 2014.
 - [Imp1] Impagliazzo J. The Role of Competency and the Future of Computer Education [J]. Communications of the China Computer Federation, 2018, 14, 9.
 - [Imp2] Impagliazzo J, et al. Developing an Overview of Computing/Engineering Curricula via the CC2020

- Project [C]//Proc. of the IEEE EduNine Conference (2018). IEEE Education Society. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8450965>. Accessed 2020.11.
- [Imp3] Impagliazzo J, Parrish A, Clear A. Innovative Computing Curricula and the CC2020 Project [C]//Proc. of the Frontiers in Education (FIE) Conference (2018). <https://www.computer.org/csdl/proceedings-article/fie/2018/08658622/18j95f9XE7m>, Accessed 2020.11.
- [Ind1] India 1. <https://www.ugc.ac.in>. Accessed 2020.11.
- [Ind2] India 2. <https://www.naac.gov.in>. Accessed 2020.11.
- [Ind3] India 3. <https://www.aicte-india.org>. Accessed 2020.11.
- [Ind4] India 4. <https://www.nbaind.org>. Accessed 2020.11.
- [Ins1] Institut de France, L'Académie des Sciences, "L'enseignement de l'informatique en France-II est urgent de ne plus attendre," Mai 2013. https://www.academie-sciences.fr/pdf/rapport/rads_0513.pdf, Accessed 2020.11.
- [Inv1] Investopedia. <http://www.investopedia.com/terms/s/soft-skills.asp>. Accessed 2017.12.
- [Ipa1] Information-technology Promotion Agency-Japan (IPA). IT Human Resources Development: i Competency Dictionary. <https://www.ipa.go.jp/english/humandev/icd.html>, Accessed 2019.8.
- [ITec] Info-Tech Research Group, 2020 Tech Trend Report. <https://www.infotech.com/research/ss/2020-tech-trend-report>, Accessed 2021.2.
- [Kak1] Kakeshita T. National Survey of Japanese Universities on Computing Education: Analysis of Departments Majored in Computing Discipline [J]. Olympiads in Informatics, 2018 (12): 69–84. https://ioinformatics.org/journal/v12_2018_69_84.pdf. Accessed 2019.6.
- [Ken1] Kennedy D, Hyland A, Ryan N. Learning outcomes and competences [J]. Introducing Bologna Objectives and Tools, (2009): 2–3.
- [Kpm1] KPMG: Technology Trends Index USA. <http://techartrendstrendsindex.kpmg.com/>, Accessed 2020.11.
- [Kra1] Krathwohl D R, Bloom B S, Bertram B M. Taxonomy of Educational Objectives, the Classification of Educational Goals//Handbook II: Affective Domain [M]. New York, USA: David McKay Co., Inc., 1973.
- [Kra2] Kramer M, Hubwieser P, Brinda T A. Competency Structure Model of Object-Oriented Programming [C]//2016 International Conference on Learning and Teaching in Computing and Engineering (LaTICE), 2016: 1–8.
- [Kuh1] Kuh G D. The national survey of student engagement: Conceptual and empirical foundations [J]. New Directions for Institutional Research, 2009 (141): 5–20.
- [Len1] Lenburg C B. The framework, concepts and methods of the competency outcomes and performance assessment (COPA) model [J]. Online Journal of Issues in Nursing, 1999 (4), 2: 1–12.
- [Lin1] Lindenwood University Makerspace Lab. <https://www.lindenwood.edu/about/news/details/converged-media-lab-makerspace-to-open-this-fall/>. Accessed 2019.8.
- [Liu11] Liu K. Semiotics in Information Systems Engineering [M]. Cambridge, U.K: Cambridge University Press, 2000.

- [Loc1] Lockoff J, Wegewiis B, Durkin K, et al (Eds.) (2010). A Tuning guide to formulating degree programme profiles: Including programme competences and programme learning outcomes. Bilbao, Spain: University of Deusto. <https://www.unideusto.org/tuningeu/publications/290-tuning-guide-to-formulating-degree-programme-profiles.html>, Accessed 2020.11.
- [Lun1] Lunt B M, Ekstrom J J, Gorka S, et al (2008). Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Information Technology. <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2593311>, Accessed 2017.12.
- [Lyn1] Lynch D R, Russell J S, Evans J C, et al. Beyond the Cognitive: The Affective Domain, Values, and the Achievement of the Vision [J]. Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, 2009 (135), 1: 47–56.
- [Mar1] Marshall L. A comparison of the core aspects of the ACM/IEEE Computer Science Curriculum 2013 Strawman report with the specified core of CC2001 and CS2008 Review [C]//Computer Science Education Research Conference. (CSERC 2012, ACM, 2012), 29–34.
- [Mar2] Marshall L. A graph-based framework for comparing curricula [D]. University of Pretoria, South Africa.
- [Mar3] Marshall L. A Topic-Level Comparison of the ACM/IEEE CS Curriculum Volumes [C]// Proceedings of the 46th Annual Conference of the Southern African Computer Lecturers' Association on ICT Education, SACLA 2017, Magaliesburg, South Africa, in July 2017. Communications in Computer and Information Science, 2017 (730): 309–324.
- [Mar4] Markus M L, Topi H. Big Data, Big Decisions for Science, Society, and Business: Report on a Research Agenda Setting Workshop. Technical Report [J]. National Science Foundation (NSF), USA, 2015.
- [Mer1] Merriam-Webster. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/competency>, Accessed 2019.6.
- [Mer2] Merriam-Webster. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/disposition/>, Accessed 2019.8.
- [Mer3] Merriam-Webster. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/learning>, Accessed 2020.12.
- [Mer4] Merriam-Webster. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/knowledge?src=search-dict-box#synonyms>, Accessed 2020.12.
- [Mic1] Microsoft Certifications. <https://docs.microsoft.com/en-us/learn/certifications/>. Accessed 2020.11.
- [Min1] Ministry of Education, New Zealand (2019). What are makerspaces? <http://elearning.tki.org.nz/Teaching/Future-focused-learning/Makerspaces>. Accessed 2019.7.
- [Nas1] National Academies of Science (NAS) (2018). Envisioning the Data Science Discipline: The Undergraduate Perspective: Interim Report. <http://doi.org/10.17226/24886>.
- [Nas2] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Assessing and Responding to the Growth of Computer Science Undergraduate Enrollments [M]. Washington, DC: The National Academies Press, 2018.
- [New1] University of Newcastle, Information Technology. <https://www.newcastle.edu.au/degrees/bachelor-of-information-technology>, Accessed 2020.11.
- [Nov1] Novinson M. Top 15 Moneymaking Certifications for 2017. CRN, The Channel Company. <http://www>.

- crn.com/slide-shows/managed-services/300080027/top-15-moneymaking-certifications-for-2016.htm. Accessed 2017.12.
- [Nrc1] National Research Council. A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas [M]. Washington, DC: The National Academies Press, 2012.
- [Nsa1] National Security Agency. Centers for Academic Excellence. <https://www.nsa.gov/resources/students-educators/centers-academic-excellence/>, Accessed 2020.11.
- [Nwo1] Nwokeji J C, Stachel R, Holmes T. Competencies Required for Developing Computer and Information Systems Curriculum [C]// Proceedings of the 49th Frontiers in Education Conference (FIE'19). Cincinnati, OH: IEEE Computer Society, 2019: 1-9.
- [Ope1] OpenAir. African Innovative Research. <http://www.openair.org.za/africas-maker-movement-an-overview-of-ongoing-research/>, Accessed 2019.8.
- [Ols1] Olson M A. Multilateral Approach to Bridging the Global Skills Gap [J]. Cornell HR Review, 2015.
- [Par1] DeVeaux R, et al. Curricular Guidelines for Undergraduate Programs in Data Science [J]. Annual Review of Statistics and Its Application, 2017 (4): 15-30.
- [Per1] Perkins D N, Jay E, Tishman S. Beyond Abilities: A Dispositional Theory of Thinking [J]. Merrill-Palmer Quarterly 39, 1993, 1: 1-21.
- [Per2] Perry, Mark J (2018). Table of the Day: Bachelor's degrees for the Class of 2016 by field and gender. Oh, and the overall 25.6% degree gap for men! <http://www.aei.org/publication/table-of-the-day-bachelors-degrees-for-the-class-of-2016-by-field-and-gender-oh-and-the-overall-25-6-college-degree-gap-for-men/>. Accessed 2019.8.
- [Per3] Peris-Ortiz M, Llera J J A, Rueda-Armengot C. Entrepreneurship and Innovation in a Revolutionary Educational Model: École, 42 [J]. Social Entrepreneurship in Non-Profit and Profit Sectors. Cham: Springer, 2017: 85-97.
- [Per4] Perkins N, Tishman S. Learning that matters: Towards a dispositional perspective on education and its research needs. A report prepared for the Spencer Foundation, 2006, 43.
- [Pik1] Pikkarainen E. Competence as a Key Concept of Educational Theory: A Semiotic Point of View [J]. Journal of Philosophy of Education 48, 2014 (4): 621-36.
- [Pro1] Provost F, Fawcett T. Data Science for Business [M]. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc., 2013.
- [Psi1] PSI (2018). 5 Stats About the Skills Gap That Demand Attention. <https://blog.psonline.com/talent/5-stats-about-the-skills-gap-that-demands-attention>, Accessed 2019.5.
- [Rad1] Radermacher A, Walia G. Gaps Between Industry Expectations and the Abilities of Graduates [C]// Proceeding of the 44th ACM Technical Symposium on Computer Science Education, 2013: 525-530.
- [Raj1] Rajendra K R, Carol J R, Impagliazzo J, et al. High-Performance Computing Education: Current Challenges and Future Directions [C]// ITiCSE-WGR '20: Proceedings of the Working Group Reports on Innovation and Technology in Computer Science Education, Trondheim, Norway, 2020, 6: 51-74.
- [Ram1] Ramos T J, Micheloud O M, Painter R, Kam M. IEEE Common Nomenclature for Computing Related Programs in Latin America, 2013.

- [Reg1] Reges S. <https://quillette.com/2018/06/19/why-women-dont-code>. Reges cites Jaschik, S. Furor on Claim Women's Choices Create Gender Gap in Comp Sci. Inside Higher Ed. <https://www.insidehighered.com/news/2018/06/25/lecturers-explanation-gender-gap-computer-science-it-reflect-womens-choices>, Accessed 2019.8.
- [Rhu1] Rhumbl. <https://rhumbl.com/>, Accessed 2019.5.
- [Roy1] The Royal Society. After the reboot: computing education in UK schools, 2017.11.
- [Sab1] Sabin M, Alrumaih H, Impagliazzo J. A Competency-Based Approach toward Curricular Guidelines for Information Technology Education [C]//2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), 1214–21.
- [Sch1] Schussler D L. Defining Dispositions: Wading Through Murky Waters [J]. The Teacher Educator 41, 2006 (4): 251–68.
- [Sfi1] Skills Framework for Information Age (SFIA). <https://sfia-online.org/en/assets/documents/pdfs-to-support-views/2019-08-software-engineering-competencies.pdf>, Accessed 2020.11.
- [Sii1] Siirtola H, Rähkä K, Surakka V. Interactive Curriculum Visualization [C]//2013 17th International Conference on Information Visualisation, 108–117.
- [Sim1] Simon Clear A, Carter J, Cross G, et al. What's in a Name? International Interpretations of Computing Education Terminology [C]. ITiCSE2015 (2015), Vilnius, Lithuania: ITiCSE-WGR'15: 173–186.
- [Sim2] Simon H A. The Sciences of the Artificial [M]. 3rd Ed. Cambridge, MA: MIT Press, 1996, 119.
- [Som1] Sommaruga L, Catenazzi N. Curriculum visualization in 3D [C]//Proc. of the 12th international conference on 3D web technology (Web3D '07). (ACM, 2007): 177–180.
- [Squ1] Squires A, Larson W. Improving systems engineering curriculum using a competency-based assessment approach [J]. International Journal of Intelligent Defence Support Systems, 2009 (2), 3, 184.
- [Sta1] Stamper R K. The semiotic framework for information systems research. Information systems research [J]. Contemporary approaches and emergent traditions, 1991: 515–528.
- [Sta2] Stamper R K. Information in Business and Administrative Systems [M]. New York, NY: John Wiley and Sons, 1973.
- [Sta3] Stamper R K, Althous K, Backhouse J. MEASUR, Method for Eliciting, Analyzing, and Specifying User Requirements [M]. Amsterdam, The Netherlands, 1988.
- [Ste1] Steinbuch K. Informatik: Automatische Informationsverarbeitung [M]. Berlin: SEG-Nachrichten, 1957.
- [Sto1] Stoof A, Martens R L, Van Merriënboer J J. What is competence? A constructivist approach as a way out of confusion [M]. Onderwijs Res. Dagen ORD Leiden Neth., 2000.
- [Tak1] Takada S, Cuadros-Vargas E, Impagliazzo J, et al. Toward the visual understanding of computing curricula [J]. Educ Inf Technol, 2020 (25): 4231–4270.
- [Tan1] Tang C, Hawthorne E K, Tucker C S, et al. Global Perspectives on the Role of Two-Year/Technical/Junior Colleges in Computing Education [C]. 21st ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education (ITiCSE '16), Arequipa, Peru, 2016: 204–205.

- [Tec1] TechTarget. <https://whatis.techtarget.com/definition/concept-map>, Accessed 2020.11.
- [Ted1] Tedre M. The Science of Computing; Shaping a Discipline [M]. Boca Raton: CRC Press / Taylor & Francis, 2015.
- [Ted2] Tedre M, Sutinen E. Three traditions of computing: what educators should know [J]. Computer Science Education, 2008 (18), 3: 153–170.
- [Tes1] Tes. <https://www.tes.com/teaching-resource/kbl-knowledge-based-learning-11361440>, Accessed 2020.11.
- [The1] The Essential Facts. <https://www.theesa.com/wp-content/uploads/2019/05/2019-Essential-Facts-About-the-Computer-and-Video-Game-Industry.pdf>, Accessed 2020.12.
- [Tre1] Trevelyan J. The Making of an Expert Engineer [M]. Taylor and Francis Group, Ltd., 2014.
- [Top1] Topi H. Information Systems in CC2020: Comparing Key Structural Elements of Curriculum Recommendations in Computing [C]. 2017 Proceedings of SIGED; IAIM Conference. Association for Information Systems Electronic Library (AISEL). <https://aisel.aisnet.org/siged2017/9>. Accessed 2020.12.
- [Tuc1] Tucker A B. Computing curricula 1991 [J]. Communications of the ACM, 1991 (34), 6: 68–84.
- [Van1] Van der Klink M, Boon J. The investigation of competencies within professional domains [J]. Hum. Res. Dev. Int., 2002 (5), 4: 411–424.
- [Van2] Van der Klink M, Boon J, Schlusmans K. Competences and Vocational Higher Education: Now and in Future [J]. Vocat. Train., 2007 (40), 1: 67–82.
- [Vor1] Voorhees R A, Bedard-Voorhees A. Principles for Competency-based education [J]. Instructional-Design Theories and Models, IV, Routledge, 2016: 49–80.
- [Wag1] Waguespack L, Babb J S, Yates D. Triangulating Coding Bootcamps in IS Education: Bootleg Education or Disruptive Innovation? [J]. Information Systems Education Journal, 2018 (16), 6, 48.
- [Wag5] Waguespack L, et al. Adopting Competency Mindful of Professionalism in Baccalaureate Computing Curricula [M]. EDSIGCON, 2019.
- [Web1] Weber H (2017). The New Virtues of Engineering and the Need for Change in the Engineering Curriculum. https://www.researchgate.net/publication/325924314_The_New_Virtues_of_Engineering_and_the_Need_for_Change_in_the_Engineering_Curriculum, Accessed 2020.12.
- [Wef1] World Economic Forum (2020). Jobs of Tomorrow: Mapping Opportunity in the New Economy. <https://www.weforum.org/reports/jobs-of-tomorrow-mapping-opportunity-in-the-new-economy>, Accessed 2020.11.
- [Wei1] Weinert F E. Definition and selection of competencies: Concepts of Competence. Organization for Economic Co-operation and Development, 1999.
- [Wig1] Wiggins G, McTighe J, Ebrary I. Understanding by design (Expanded 2nd edition) [M]. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development, 2005.
- [Wig2] Wiggins G, McTighe J. The Understanding by Design Guide to Creating High-Quality Units [M]. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development, 2011.
- [Wil1] Willcox K, Huang L. Mapping the CDIO Curriculum with Network Models. CDIO [C]//In 13th

International CDIO Conference (2017).

- [Zuc1] Zucke R. ViCurriAS: a curriculum visualization tool for faculty, advisors, and students [C]//In J. Comput. Sci. Coll. 25, 2009 (2): 138–145.

二、未引用的其他参考文献

- ACM and AIS. (2017c). MSIS 2016: Global Competency Model for Graduate Degree Programs in Information Systems. <https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/msis2016.pdf>. Accessed 2019 May 14.
- ACM (2019). *Computing Competencies for Undergraduate Data Science Curricula* (Initial Draft). <http://www.cs.williams.edu/~andrea/DSReportInitialFull.pdf>. Accessed 2019 May 9.
- Ashenhurst, R.L. Curriculum Recommendations for Graduate Professional Programs in Information Systems. *Communications of the ACM*, 15, 5 (1972), 364–398.
- Atchison, W.F. Computer Education, Past, Present, and Future. *ACM SIGCSE Bulletin*, 13, 4 (1981), 2–6. <http://doi.org/10.1145/989306.989307>.
- Barr, V. and Stephenson C. Bringing Computational Thinking to K–12: What Is Involved and What Is the Role of the Computer Science Education Community?” *ACM Inroads* 2, 1 (2011), 48; <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1929887.1929905>.
- Biggs, J.B. Approaches to the enhancement of tertiary teaching. *Higher Education Research and Development* 8, 1 (1989), 7–25.
- Cassel, L.N., Sloan, R.H., Davies, G., Topi, H. and McGettrick, A. The Computing Ontology Project: The Computing Education Application. *SIGCSE Bull.* 39, 1 (2007), 519–20.
- Clear, A., Parrish, A., van der Veer, G.C., Zhang, M. CC2020: A Vision on Computing Curricula. Panel, *Proceedings of the 2017 ACM SIGCSE Technical Symposium*, DOI: 10.1145/3017680.3017690.
- Couger, J.D. Curriculum recommendations for undergraduate programs in information systems. *Communications of the ACM*, 16, 12 (1973), 727–749; <http://doi.org/10.1145/362552.362554>.
- Conte, S.D., Hamblen, J.W., Kehl, W.B., Navarro, S.O., Rheinboldt, W.C., Young, D.M., Jr, and Atchinson, W.F. An Undergraduate Program in Computer Science—Preliminary Recommendations. *Communications of the ACM*, 8, 9 (1965), 543–552; <http://doi.org/10.1145/365559.366069>.
- Council of Chief State School Officers. 2013. Knowledge, Skills, and Dispositions: The Innovation Lab Network State Framework for College, Career, and Citizenship Readiness, and Implications for State Policy; <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED542708.pdf>. Accessed 2020 Nov 24.
- Couger, J.D., Davis, G.B., Dologite, D.G., Feinstein, D.L., Gorgone, J.T., Jenkins, A.M., et al. IS’ 95: Guideline for undergraduate IS curriculum. *Mis Quarterly*, (1995) 341–359.
- Davis, G.B., Gorgone, J.T., Couger, J., Feinstein, D.L., and Longenecker, H.E., Jr. IS’ 97: model curriculum and guidelines for undergraduate degree programs in information systems. *ACM SIGMIS Database*, 28, 1 (1996), 101–194.

- Davis, M. *The Universal Computer: The Road from Leibniz to Turing*. (New York, A K Peters/CRC Press, 2011).
- Edström, Kristina. 2017. “Exploring the Dual Nature of Engineering Education: Opportunities and Challenges in Integrating the Academic and Professional Aspects in the Curriculum.” Edited by Anette Kolmos. PhD in Technology and Learning, Stockholm, Sweden: KTH Royal Institute of Technology; <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-217315>. Accessed 2020 Nov 24.
- Frezza, S.T., Clear, A. and Vichare, A.M. 2018. Voices on the Core of Computing. In *2018 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*; <http://doi.org/10.1109/FIE.2018.8658484>.
- Fuller, U. and Keim, B. Should We Assess Our Students’ Attitudes? In *Proceedings of the Seventh Baltic Sea Conference on Computing Education Research*, 187–90. (Koli National Park, Finland, ACM, 2007).
- Fincher, S., and Petre, M. Computer Science Education Research. (CRC Press, 2014).
- Forsythe, G.E. (1967). A University’s Educational Program in Computer Science. *Communications of the ACM*, 10, 1 (1967), 3–11; <http://doi.org/10.1145/363018.363038>.
- Gibbs, G. Teaching students to learn: A student-centered approach. (Open University Press, 1981).
- Gorgone, J. and Gray, P. MSIS 2000: model curriculum and guidelines for graduate degree programs in information systems. *Communications of the AIS*, 3, 1 (2000), 1.
- Gorgone, J. T., Davis, G. B., Valacich, J. S., Topi, H., Feinstein, D. L., and Longenecker, H. E. IS 2002 model curriculum and guidelines for undergraduate degree programs in information systems. *Communications of the AIS*, 11, 1 (2002).
- Gorgone, J.T., Gray, P., Stohr, E.A., Valacich, J.S., and Wigand, R.T. MSIS 2006: Model Curriculum and Guidelines for Graduate Degree Programs in Information Systems. *Communications of the AIS*, 17, 17 (2006), 1–58.
- Gosselin, D. Competencies and Learning Outcomes. Strengthen Workforce Prep in Your Program. 2017. https://serc.carleton.edu/integrate/programs/workforceprep/competencies_and_LO.html. Accessed 2020 Nov 24.
- Gottipati, S. and Shankararaman, V. Competency Analytics Tool: Analyzing Curriculum Using Course Competencies. *Education and Information Technologies* 2, 1 (2018), 41–60.
- Gruner, S. Problems for a Philosophy of Software Engineering, *Minds and Machines*, 21 (2011), 275–299.
- Hayashiguchi, E., Endou, O. and Impagliazzo, J. The ‘i Competency Dictionary’ Framework for IT Engineering Education. In *2018 IEEE World Engineering Education Conference (EDUNINE)*, 1–6.
- Hubwieser, P. and Sentence, S. Taxonomies and Competency Models. *Computer Science Education: Perspectives on Teaching and Learning in School*, edited by Sue Sentence, Erik Barendsen, and Carsten Schulte, 1st ed., 221–42. (London, Bloomsbury Academic, 2018).
- Jafar, M., Waguespack, L., and Babb, J.A. Visual Analytics Approach to Gain Insights into the Structure of Computing Curricula, In *Proc. of 2017 EDSIG Conference*.
- Liu, K. *Semiotics in Information Systems Engineering*. (Cambridge University Press, Cambridge, 2000).
- Kember, D., and Kwan, K.-P. Lecturers’ approaches to teaching and their relationship to conceptions of good

- teaching. *Instructional Science* 28 (2000), 469–490. <http://doi.org/10.1023/A:1026569608656>.
- Koeppen, K., Hartig, J., Klieme, E. and Leutner, D. (2008). Current Issues in Competence Modeling and Assessment. *Zeitschrift Fur Psychologie-journal of Psychology-Z PSYCHOL.* 216. 61–73. <http://doi.org/10.1027/0044-3409.216.2.61>.
 - Kroeze, J.H. Ontology Goes Postmodern in ICT. In *Proceedings of the 2010 Annual Research Conference of the South African Institute of Computer Scientists and Information Technologists* (SAICSIT '10), 153–59. (New York, NY, USA, ACM, 2010).
 - Lang, J.D., Cruse, S., McVey, F.D., and McMasters, J. Industry Expectations of New Engineers: A Survey to Assist Curriculum Designers. *Journal of Engineering Education* 88, 1 (1999), 43–51.
 - LeBlanc, R.J., Sobel, A., Diaz-Herrera, J.L., Hilburn, T.B., et al. *Software Engineering 2004: Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Software Engineering*. (IEEE Computer Society, 2006).
 - Longenecker, H.E., Jr., Feinstein, D L., Fournier, R.L., Doran, M.V., and Reaugh, W.R. *IS' 90: The DPMA Model Curriculum for Information Systems for 4 Year Undergraduates*. (Park Ridge, Illinois: Data Processing Management Association, 1990).
 - Lozano, J. Felix, Alejandra Boni, Jordi Peris, and Andr é s Hueso. Competencies in Higher Education: A Critical Analysis from the Capabilities Approach. *Journal of Philosophy of Education* 46, 1 (2012), 132–47.
 - Lunt, B.M., Ekstrom, J.J., Gorka, S., Hislop, G., Kamali, R., Lawson, E., et al. *Information Technology 2008: Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Information Technology*. (New York, NY, ACM, 2008).
 - Nunamaker, J.F., Couger, J.D., and Davis, G.B. Information systems curriculum recommendations for the 80s: undergraduate and graduate programs. *Communications of the ACM*, 25, 11 (1982), 781–805; <http://doi.org/10.1145/358690.358698>.
 - Passow, H.J. Which ABET Competencies Do Engineering Graduates Find Most Important in Their Work? *Journal of Engineering Education* 101, 1 (2012), 95–118.
 - Sabin, M., Peltzverger, S., Paterson, B., Zhang, M. and Alrumaih, H. IT2017 Report: Putting It to Work. In *Proceedings of the 18th Annual Conference on Information Technology Education*, 95–96. *SIGITE '17*. (New York, NY, USA, ACM, 2017).
 - Schussler, D.L. Defining Dispositions: Wading Through Murky Waters. *The Teacher Educator* 41, 4 (2006), 251–68.
 - Shiveley, J., and Misco, T, ‘But How Do I Know About Their Attitudes and Beliefs?’: A Four-Step Process for Integrating and Assessing Dispositions in Teacher Education. *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas* 83, 1 (2010), 9–14.
 - Sicilia, M-A. How Should Transversal Competence Be Introduced in Computing Education? *ACM SIGCSE Bulletin* 41, 4 (2010), 95–98.
 - Smith, B. *The Future Computed: Artificial Intelligence and its Role in Society*. (Microsoft Corporations, 2018).
 - Spc1; <https://education.spc.org.pe/Peru/CS-SPC/Plan2021/docs/CS-SPC-poster-EN.pdf>. Accessed 2020 Dec 6.

- Spc1; https://education.spc.org.pe/Peru/CS-SPC/Plan2021/3_9_Compatibilidad_carrera_.html. Accessed 2020 Dec 6.
- Spector, A.Z. (2017) Changing Nature of Computer Science and Its Impact on Undergraduate Education; http://sites.nationalacademies.org/cs/groups/cstbsite/documents/webpage/cstb_173998.pdf. Accessed 2020 Dec 8.
- Tedre, M., Simon, and Malmi, L. Changing aims of computing education: a historical survey. *Computer Science Education*, 28, 2 (2018), 158–186.
- Topi, H., Valacich, J.S., Wright, R.T., Kaiser, K., Nunamaker, J.F., Sipior, J.C., and de Vreede, G.J. IS 2010: Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Information Systems. *Communications of the Association for Information Systems*, 26, 18 (2010); <http://aisel.aisnet.org/cais/vol26/iss1/18/>. Accessed 2020 Nov 25.
- Topi, H., Valacich, J.S., Wright, R.T., Kaiser, K., Nunamaker, J.F., Sipior, J.C., and de Vreede, G.J. IS 2010: Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Information Systems. *Communications of the Association for Information Systems*, 26, 1 (2010); <http://aisel.aisnet.org/cais/vol26/iss1/18/>. Accessed 2020 Nov 25.
- The Royal Academy of Engineering, The Institution of Engineering and Technology, and The British Computer Society. (2009). *Engineering Values in IT*. (3 Carlton House Terrace, London. The Royal Academy of Engineering. 2009); <https://www.raeng.org.uk/publications/reports/engineering-values-in-it>. Accessed 2020 Nov 25.
- Trevelyan, J. Understandings of Value in Engineering Practice. In *2012 Frontiers in Education Conference Proceedings*, 1–6. (Seattle, WA, USA, IEEE).
- Trigwell, K., Prosser, M., and Waterhouse, F. Relations between teachers' approaches to teaching and students' approaches to learning. *Higher Education* 37 (1999), 57–70.
- USDoE (2018). "Competency-Based Learning or Personalized Learning," U.S. Department of Education. <https://www.ed.gov/oii-news/competency-based-learning-or-personalized-learning>. Accessed 2019 May 14.
- Winterton, J., Delamare-Le Deist, F., and Stringfellow, E. (2006). Typology of Knowledge, Skills and Competences. Clarification of the Concept and Prototype; Cedefop References. CEDEFOP Reference Series. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Waguespack, L., Babb, J. Toward Visualizing Computing Curricula: The Challenge of Competency. *Information Systems Education Journal*, 17, 4 (2019), 51–69; <http://isedj.org/2019-17/>. Accessed 2020 Nov 25.