<<量子计算>> 课程教学大纲

# 基本信息

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课程名称 | 量子计算 | 学分 | 2 | 学时 | 36学时 |
| 开课单位 | 中山大学计算机学院 | | | | |
| 课程类别 | 通识教育必修课程 通识教育核心课程 通识教育选修课程  学科基础平台课程 专业必修课程 专业选修课程 综合性实践环节 | | | | |
| 适用专业 | 计算机科学与技术/网络工程/信息安全 | | | | |
| 先修课程 | 线性代数 | | | | |
| 实验类型 | 专业基础实验 专业实验 综合实验 创新实验 开放实验 无 | | | | |
| 实验类别 | 无 | | | | |

主讲教师（教学团队）

主讲教师简介

邱道文，自2004年以来为中山大学计算机系教授和博士生导师；二十余年来从事量子计算与量子信息的研究，在量子计算模型、量子查询算法、半量子密钥分配、量子信息中的不完备性和极限问题、模糊与概率自动机和离散事件系统方面取得了一系列的重要成果：（1）提出了量子离散事件系统控制理论和量子模型学习理论；（2）建立了完备剩余格值自动机理论和模糊离散事件监督控制理论；（3）解决了国际知名学者C. Moore 和 J. P. Crutchfield、J. Gruska、和S. Gudder 提出的关于量子自动机的等价性与最小化问题；（4）证明了精确量子一次查询问题的完整刻画和著名Deutsch-Jozsa算法的通用性；（5）提出了量子-经典自动机、量子-经典安全直接通信。目前担任三个国际学术期刊编委：Theoretical Computer Science, Quantum Reports，Open Journal of Optimization； 两个国际学术期刊副主编：Frontiers in Computer Science, Artificial Intelligence Evolution；多次担任国际重要学术会议（如AQIS）程序委员。其研究将经典计算与量子计算相互融合，以期达到更好的物理可实现性和本质上优于经典计算；在中科院一、二区和CCF A、B类等学术期刊和会议发表了180余篇学术论文，其中SCI 收录140余篇，SCI他引2200次以上；出版一部关于量子自动机的学术专著。另外，近二十年一直从事研究生和本科生的量子计算基础课程教学，迄今已经培养和指导了十多名博士研究生。

课程描述

量子计算是一种根据量子力学规律来调控量子信息单元进行计算的新型计算模式。对照于传统的通用计算机，其理论模型是通用图灵机；通用的量子计算机，其理论模型是用量子力学规律重新诠释的通用图灵机。从可计算的问题来看，量子计算机只能解决传统计算机所能解决的问题，但是从计算的效率上，由于量子力学叠加性的存在，某些已知的量子算法在处理问题时速度要快于传统的通用计算机。其中，量子算法与量子通信是运用量子力学基本原理设计算法与通信协议，利用量子原理证明安全性，并与计算机科学和数学密切相关的一门交叉学科。本课程介绍量子算法与通信领域的主要思想与方法：一方面提供理解量子信息学所需的物理、数学、计算机科学的知识背景；另一方面使大家理解并掌握本领域的基本工具、技巧与方法。

教材及参考资料

教材

1. Michael A.Nielsen，Isaac L.Chuang. *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge University Press, 2000.
2. Phillip Kaye，Raymond Laflamme，Michele Mosca. *An Introduction to Quantum*

*Computing*. Oxford University Press, 2007.

参考资料

1. 邱道文，周旭等译，人人可懂的量子计算，机械工业出版社，2020；原著：Chris Bernhardt, Quantum computing for everyone, Cambridge, The MIT Press，Cambridge, Massachusetts，London, England，2019.
2. 李绿周, 邱道文, 量子有限自动机：等价性和最小化, 杭州: 浙江大学出版社, 2019.

教学目标、要求及方式方法

教学目标

本课程介绍量子计算中最为基础和重要的研究内容，也是学习量子计算需要掌握的基础知识；同时，也会适当提及密切相关的最新研究进展。

教学要求

1. 掌握量子计算中一些最基本的知识；了解若干基本的量子算法。
2. 掌握量子通信中的基本原理；了解其应用前景。
3. 了解若干基本的量子计算模型基本概念。

教学方式方法

采用讲授法与、讨论法及练习法相结合的教学方式方法。

教学内容安排及学时分配

第一章：量子计算的简要发展历史与现状 (1学时)

简要介绍量子计算的发展历史与现状，主要包括：于上世纪八十年代初 Benioff 与Feynman 提出设计量子计算机的基本思想；Bennett 在 1973 年证明了任意一图灵机可被一可逆图灵机有效地模拟；在1985年，Deutsch 设计了量子图灵机，并提出量子邱奇-图灵命题，即任意算法过程都可以被量子图灵机有效地模拟，Deutsch还设计了第一个量子查询算法判定布尔函数的相关性质，其算法称为Deutsch算法；Deutsch 与 Jozsa 于 1992 年进一步扩展Deutsch算法为Deutsch-Jozsa算法，该算法更加明显地说明了量子计算的优势；在 1993 年，Yao 证明了量子电路可有效地模拟量子图灵机；在 1994 年，Simon提出了Simon问题并给出了解决该问题的量子算法，即 Simon 算法；在1994 年 Shor 设计了大数分解的多项式时间量子算法，即 Shor算法，在Shor 算法中，用量子傅立叶变换估计酉算子相位的量子相位估计方法被提出，这已经成为量子计算中算法设计的一项重要技术和基本工具；在 1995 年，Grover 提出了关于无序数据库中的量子搜索算法，即Grover 算法，其复杂性比经典算法有平方根改进；在 2009 年，Harrow， Hassidim 和 Lloyd巧妙地利用量子相位估计的方法设计了量子算法求解线性方程组，在一些有意义的情形下其时间复杂性比经典算法有指数级的优势。此外，还简要介绍量子自动机的历史概况。

第二章：量子计算基本概念介绍 (2学时)

2.1 量子比特的表示

介绍用Dirac符号表示量子比特，Bloch球，张量积，Bell态与内积等基本概念。

2.2 经典的逻辑运算门和电路

介绍经典的逻辑运算及对应的门和电路。

2.3 基本量子门与电路

介绍控制非门与Hadmard门等基本量子门以及制备Bell态的量子电路，简要证明量子非克隆定理。

第三章：几个基本的量子通信协议 (3学时)

3.1 BB84 协议

介绍BB84协议的基本过程与相关定理。

3.2 B92 协议

介绍B92协议的基本过程。

* 1. E91 协议

介绍E91协议的基本过程。

* 1. 超密编码

介绍超密编码协议的基本过程。

3.5 量子隐形传态

介绍量子隐形传态协议的基本过程。

第四章：与量子计算相关的线性代数基础 (6学时，)

4.1 线性无关与基

4.2 线性算子与矩阵

4.3 泡利矩阵

4.4 柯西施瓦茨不等式

4.5 特征值与特征向量

4.6 自伴算子和埃尔米特算子

4.7 算子函数

4.8 几个分解定理

4.9 量子力学的假设

4.10 密度算子

4.11 超算子

第五章：量子计算模型 (6学时)

* 1. 单向量子有限自动机（1QFA）

介绍单次测量的1QFA（MO-1QFA），多次测量的 1QFA（MM-1QFA），单向混合模型—

带经典状态的 1QFA以及其它几类重要的单向量子有限自动机。

5.2 双向量子有限自动机

5.3 带量子与经典状态的双向有限自动机

5.4 量子下推自动机

5.5 量子文法

介绍量子正则文法与量子上下文无关文法。

5.6 量子图灵机

5.7 量子电路

简要介绍量子电路多项式时间模拟QTM 的过程。

第六章：量子算法 (12学时)

6.1 概率算法与量子算法的基本关系

6.2 量子查询模型

6.3 查询复杂度与多项式度的关系

6.4 Deutsch算法

介绍Deutsch 算法的基本过程。

6.5 Deutsch-Jozsa 算法

介绍Deutsch-Jozsa 算法的基本过程。

6.6 Simon算法

介绍Simon算法的基本过程。

6.7 量子傅里叶变换

6.8 量子相位估计

6.9 Shor 因数分解算法

介绍Shor 因数分解算法的基本过程。

6.10 Shor 离散对数算法

介绍Shor 离散对数算法的基本过程。

6.11 隐子群算法

6.12 Grover 算法

介绍Grover 离散对数算法的基本过程。

6.13 量子振幅扩大

6.14 \* 量子相位估计的详细概率分析

6.15 \* 量子振幅估计

6.16 \*HHL 算法

简要介绍HHL算法的基本过程。

6.17 量子近似优化算法

简要介绍量子近似优化算法的基本过程。

第七章：计算复杂类 (3学时)

7.1 量子查询模型

7.2 量子状态区分

7.3 搜索问题下界

7.4 多项式法

7.5 敌对法

第八章：量子纠错 (3学时)

8.1 经典比特翻转纠错

8.2 量子比特翻转纠错

8.3 量子相位翻转纠错

8.4 Shor码

8.5 线性码

8.6 CSS 码

8.7 \* 稳定子码

考核及成绩评定方式

考核方式

包括期中测试（笔试，闭卷）和期末考试（笔试、闭卷）