

第4讲

第4讲：量子算法与应用前景

牛温佳 教授

北京交通大学·网络空间安全学院

本讲内容

1

4.1 从经典算法到量子算法

2

4.2 里程碑式量子算法

3

4.3 量子机器学习概述

4

4.4 量子计算的发展历程

5

思考题与小结

🎯 学习目标

了解几种重要的量子算法

理解量子优势 (Quantum Advantage) 的含义

认识量子机器学习的基本思想

4.1 从经典算法到量子算法

Section 4.1 从经典算法到量子算法

4.1 从经典算法到量子算法

经典算法建立在经典比特运算之上，而量子算法充分利用量子叠加、纠缠和干涉等量子特性来实现计算加速。不是所有问题都能用量子计算机加速——量子算法擅长的是那些可以利用量子并行性的特定问题。

4.2 里程碑式量子算法

Section 4.2 里程碑式量子算法

4.2 里程碑式量子算法

4.2.1 Shor算法——破解密码的利器（1994年）

Shor算法可以在多项式时间内完成大整数的因数分解。这个看似抽象的问题之所以重要，是因为目前广泛使用的RSA加密算法正是基于“大整数分解在经典计算机上非常困难”这一假设。Shor算法理论上可以破解RSA加密，这也是量子计算受到广泛关注的重要原因之一。

4.2.2 Grover搜索算法——平方级加速（1996年）

Grover算法解决的是非结构化搜索问题——在一个包含N个条目的数据库中找出目标条目。经典算法平均需要N次查询，而Grover算法只需要 \sqrt{N} 次。虽然不像Shor算法那样是指数级加速，但平方级加速在很多实际应用中仍然非常有用。

直观理解：从一本无序的电话簿中找一个人名，经典方法需要逐个翻看，平均查一半才能找到；Grover算法相当于可以同时翻看多页，只需要查 \sqrt{N} 次就能找到。

4.2.3 HHL算法——解线性方程组（2009年）

4.2 里程碑式量子算法（续）

HHL算法可以在特定条件下指数级加速求解线性方程组。线性方程组是科学计算中最基础、最广泛的问题之一，从工程模拟到经济预测都离不开它。HHL算法的提出标志着量子计算在实用计算问题上的巨大潜力，也是后续许多量子机器学习算法的基础。

4.3 量子机器学习概述

Section 4.3 量子机器学习概述

4.3 量子机器学习概述

4.3.1 量子增强的机器学习

量子机器学习 (QML) 是将量子计算与人工智能结合的前沿领域。其核心思路包括:

- **量子核方法**: 利用量子态的高维希尔伯特空间来增强特征映射
- **变分量子分类器**: 用参数化量子线路作为分类模型, 通过经典优化器训练
- **量子生成模型**: 用量子线路生成数据分布 (量子生成对抗网络)

4.3.2 量子机器学习的优势何在?

4.3 量子机器学习概述（续）

量子机器学习在以下方面可能具有优势：

1. **高维特征空间**：量子态的指数级维度为特征映射提供了强大的表达能力
2. **全局优化能力**：量子隧穿效应可能帮助逃离局部最优解
3. **处理量子数据**：直接处理量子系统产生的数据（如量子化学模拟）

4.3.3 当前挑战

4.3 量子机器学习概述 (续)

- **贫瘠高原问题**: 随着系统规模增大, 梯度呈指数级消失, 导致训练困难
- **量子噪声**: 当前量子设备存在较大噪声, 影响计算精度
- **数据编码瓶颈**: 将经典数据编码到量子态过程中可能丢失信息

4.4 量子计算的发展历程

Section 4.4 量子计算的发展历程

4.4 量子计算的发展历程

- **诞生期 (1995-2010年)** : 理论奠基, 提出量子神经计算概念, HHL算法诞生
- **发展期 (2011-2018年)** : 量子支持向量机、量子主成分分析等算法提出, 量子推荐系统展现加速潜力
- **爆发期 (2019年至今)** : 谷歌宣称实现"量子霸权", 中国"九章"光量子计算机问世, 各国加速布局量子产业化

延伸阅读

📖 IBM Quantum Learning: <https://learning.quantum.ibm.com/>

📖 PennyLane 官方文档: <https://pennylane.ai/qml/>

1. 站在2026年的今天，你认为量子计算还需要多久才能实现大规模的实用化？
2. 除了密码学破译，量子计算还可能颠覆哪些行业？
3. 量子机器学习和经典深度学习相比，你认为各自的优势和劣势是什么？

本讲小结

- ✓ 4.1 从经典算法到量子算法
- ✓ 4.2 里程碑式量子算法
- ✓ 4.3 量子机器学习概述
- ✓ 4.4 量子计算的发展历程
- ✓ 思考与讨论

感谢聆听

第4讲 · 量子算法与应用前景