

研究进度报告（量子计算部分）

進捗報告（量子計算パート）

Research Progress Report (Quantum Computing Section)

1. 研究目的 / 研究目的 / Research Objective

本阶段研究旨在从最基础的角度出发，深入理解量子计算中 Qubit 的本质，梳理其与经典计算的区别，并为后续基于量子特征映射的算法重设计打下理论和技术基础。

この段階では、量子計算における Qubit の本質を最も基本的な観点から理解し、古典計算との違いを整理し、今後の量子特徴写像に基づくアルゴリズム再設計のための理論的・技術的基盤を築くことを目的とする。

This stage of the research aims to fundamentally understand the nature of qubits in quantum computing, clarify their differences from classical computation, and lay the theoretical and technical foundation for redesigning algorithms based on quantum feature mapping.

2. 本阶段完成内容 / 今回の進捗内容 / Completed Tasks in This Stage

2.1 量子比特数学建模 / Qubit の数学的モデル化 / Mathematical Modeling of Qubits

- 建立 Qubit 状態表达式: $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$
- Qubit 状態表現の確立: $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$
- Established the general expression of qubit states: $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$
- 推导归一化条件: $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$
- 正規化条件の導出: $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$
- Derived the normalization condition: $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$

2.2 Bloch Sphere 模型理解 / Bloch 球モデルの理解 / Understanding the Bloch Sphere Model

- 使用角度 θ , ϕ 表达 Qubit 几何状态
- 角度 θ , ϕ を用いて Qubit の幾何状態を表現
- Used angles θ , ϕ to represent the geometric state of a qubit

- 区分极点与赤道状态 ($|0\rangle$ 、 $|1\rangle$ 、叠加态)
- 北極・南極と赤道上の状態の区別
- Distinguished between poles and equatorial states
- 准备用于可视化的 Python 代码
- 可視化のための Python コードを準備
- Prepared Python code for visualization

2.3 纠缠态构造与分析 / エンタングルメント状態の構築と分析 / Entangled States

- 多 Qubit 系统的张量积空间 (2^n 维)
- 複数 Qubit のテンソル積空間 (次元 2^n)
- Tensor product space of multi-qubit systems (dimension 2^n)
- 构造 Bell 态: $|\Phi^+\rangle = (1/\sqrt{2})(|00\rangle + |11\rangle)$
- Bell 状態: $|\Phi^+\rangle = (1/\sqrt{2})(|00\rangle + |11\rangle)$
- Bell state: $|\Phi^+\rangle = (1/\sqrt{2})(|00\rangle + |11\rangle)$
- 分析其不可分性与测量相关性
- 非分離性と測定相関性を分析
- Analyzed inseparability and measurement correlation

2.4 与经典向量表示的比较 / 古典ベクトルとの比較 / Comparison with Classical Vector Representations

- 从状态空间、表达能力、信息密度等角度进行对比
- 状態空間・表現力・情報密度などの観点から比較
- Compared from perspectives of state space, expressive power, and information density
- 为 Word2Vec 向量量子编码做理论铺垫
- Word2Vec ベクトルの量子エンコーディングに向けた理論的準備
- Provided theoretical foundation for quantum encoding of Word2Vec vectors

3. 下一阶段预定计划 / 次の研究計画 / Next Stage Research Plan

- 撰写 2.5 章: 「经典向量如何通过 angle encoding 映射为量子态」
- 第 2.5 章の執筆: 「古典ベクトルを角度エンコーディングで量子状態に変換する方法」
- Draft Chapter 2.5: “How classical vectors are mapped into quantum states via angle encoding”
- 梳理量子特征映射方法: angle / amplitude / IQP embedding
- 各種の量子特徴写像手法の整理
- Sort out various quantum feature mapping techniques
- 改进现有文本模型的量子特征提取模块设计
- 現行のテキストモデルにおける量子特徴抽出の改良設計
- Redesign quantum feature extraction in the existing text models
- 尝试使用 TensorFlow Quantum 或 Qiskit 进行模拟
- TensorFlow Quantum や Qiskit を用いたシミュレーションの導入予定
- Plan to adopt TensorFlow Quantum or Qiskit for simulation

4. 当前面临问题与反思 / 現在の課題と反省 / Current Challenges and Reflections

- Cirq 模拟中测量后量子态信息丢失的问题待解决
- Cirq での測定後に量子状態ベクトルが失われる問題への対応
- Handling the collapse of state information after measurement in Cirq
- Qubit 特征如何高效接入 LSTM/BERT 模型尚在探索中
- Qubit 特徴を LSTM/BERT に効果的に組み込む方法は未確立
- Still exploring how to integrate qubit features effectively into LSTM/BERT
- 量子算法优越性从复杂性理论角度的证明需文献支撑
- 計算複雑性理論から量子優位性を証明するには文献裏付けが必要
- Need further theoretical and literature support to argue quantum advantage from complexity perspective