

量子・分子計算活動グループ

今井浩

情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻

概要

量子・分子計算活動グループは、現在の方式のコンピュータの種々の限界を乗り越える新計算モデルとして、量子コンピュータ・分子コンピュータの研究を遂行している。これらの新計算モデルでは、計算自身が不安定・不確定な要因を有し、実現に際しては内在するエラーをモデル化し、諸要因が複雑システムとして構成されたものとして捉えることが必須である。そこで、本研究ではこれら新計算モデルの超ロバスト性に関して研究し、理論から実際への橋渡しを実現することを目指している。本年度はこれまでの成果をさらに発展させるとともに、COE 特任助教授として林氏の参加を得て、これまでの量子情報理論に関する研究成果を国際ワークショップの形でまとめて発表することも実施することができた。

1 グループ活動報告

情報科学技術が社会基盤として普遍的なものになっている現状を踏まえたとき、次世代の情報科学の核となる技術がなにであるかを探求することは非常に重要である。実際、現在の CMOS 半導体チップの速度向上は今の枠組みのままではあと数年で限界が訪れるといわれており、他の種々の限界をも乗り越えるために新計算モデルを基礎科学のレベルから研究することは将来の科学技術振興のためにも必要である。

量子・分子計算活動グループは、その限界を乗り越える新計算モデルとしての量子コンピュータ・分子コンピュータの研究を行っている。これらの新計算モデルでは、計算の状態から情報を得るときに本質的に不確定にしかわからなかったり、計算自身が不安定であったりする要因を有しており、実機においてはエラーを内在したモデルを理論的枠組みでとらえておかななくてはならない。内在エラーとそれを複雑システムとして構成したものを安定して正確に動作させるには超ロ

バスト性が不可欠である。

本研究グループでは、この不安定・不確定な要因を内包している新計算モデルについて、その実現のための超ロバスト性に関する研究を行い、理論から実際への橋渡しをすることを目指し、実際のシステムの実現に向けてプロトタイプシステムの開発も行っている。

量子・分子計算活動グループは、超ロバスト量子計算をテーマとする今井のグループと、超ロバスト分子計算をテーマとする萩谷のグループとからなる。本年度においては、それぞれのグループが関連研究プロジェクトと連携して研究を推進し、量子・分子計算における基礎研究成果を出すとともに、プロトタイプシステムの開発も行った。それぞれのグループの研究成果については、これに引き続く各グループの報告を参照されたい。以下、本年度の研究メンバについてまとめておく。

量子・分子計算活動グループリーダー：今井浩

超ロバスト量子計算グループ

リーダー：今井浩

メンバ：

林正人(COE 特任助教授)

森山園子

大音真由美(学術支援員)

研究協力者：

佐々木勇也(D3)

伊藤剛志(D2, COE 特別研究員)

中山裕貴(D2, RA)

超ロバスト分子計算グループ

リーダー：萩谷昌己

研究協力者：

阿部正佳(学術支援員)

2 国際ワークショップ活動報告

本年度の本グループの COE 研究活動の目玉として、これまでの量子情報処理の成果を発表することを軸に、国際的に第一線で活躍している若手研究者も招聘し、一部論文は募集することによって、2 日間の量子情報理論の国際ワークショップを開催した。COE の予算より、それら若手研究者の招聘旅費、会場費、レセプション費等の支援を頂いた。本ワークショップを通して国際交流の面でも多大な貢献を行った。以下、その報告である。

会議名：Workshop on Quantum Information Theory and Quantum Statistical Inference

開催日時：2005 年 11 月 17 日～18 日

会場：東京大学理学部小柴ホール・工 6 号館セミナー室 D

開催趣旨：

上記 COE の目的に加え、次の面も開催趣旨に加えた。量子統計は量子力学に基礎を置く新しい統計学の分野である。近年、量子情報の基礎理論として、その重要性が高まっているばかりでなく、量子情報実験の有用なツールとしても、その重要性が高まっている。また量子情報幾何は量子情報に現れる最適化問題のツールとして有効であることも近年明らかになっている。しかしながら、境界的な分野の常として、異なった分野に関連した話題を研究している研究者の間のコミュニケーションが今まであまり十分でなかった。本ワークショップでは量子統計や量子情報幾何に関する内容から、量子情報科学全般にわたる内容を取り扱うこととし、情報交換を行いたい。

組織委員会：林正人 (COE 特任助教授)、今井浩、松本啓史 (国立情報学研究所)

参加人数：約 60 名

研究成果：

本研究集会では上記研究目的に沿った 20 件の研究報告が行われた。ノンパラメトリックな量子状態族の下での状態推定、量子状態の予測、量子情報幾何、量子状態の識別問題など、量子統計の複数のテーマについて有意義な情報交換ができた。さらに、量子統計の実用となる実験の報告もあり、その報告以外にも、量子統計の実験への適用を視野に入れた報告も複数なされた。その他、関連分野として、量子鍵配送についての研究報告も数多くなされた。本研究集会の講演者及び講演タイトルは以下である。なお、

講演は全て英語で行われた。

1. Mandalin Guta:
Quantum homodyne tomography as a non-parametric estimation problem
2. Fuyuhiko Tanaka & Fumiyasu Komaki:
Bayesian predictive density operators for the Gaussian states family
3. Hiroshi Nagaoka:
Differential geometrical aspects of quantum estimation theory
4. Masahiro Hotta, Tokihiro Karasawa & Masanao Ozawa:
Ancilla-Assisted Enhancement of Channel Estimation for Low-Noise Parameters
5. Akihisa Tomita:
Characterization of entangled photon pairs generated by spontaneous parametric down conversion
6. Yuuki Tokunaga, Takashi Yamamoto, Masato Koashi & Nobuyuki Imoto:
Entanglement detection of four-qubit cluster states with local measurements
7. Xiang-Yu Ge & Miki Wadati:
Entanglement spin pairs geometric phase under time independent magnetic field
8. Damian Markham, Shashank Virmani, Masaki Owari, Mio Muraio & Masahito Hayashi:
Local Discrimination and Multipartite Entanglement Measures
9. Akihisa Hayashi, Minoru Horibe & Takaaki Hashimoto:
State Discrimination without Classical Knowledge
10. Masahiro Takeoka, Masahide Sasaki & Norbert Lutkenhaus:
Implementation of binary projection measurement with linear optics and photon counting
11. Giacomo Mauro D'Ariano & Paolo Perinotti:
Programmable quantum channels and measurement
12. Koji Azuma, Junichi Shimamura, Masato Koashi & Nobuyuki Imoto:
Probabilistic cloning with supplementary information
13. David Avis, Jun Hasegawa, Yosuke Kikuchi & Yuuya Sasaki:
A quantum protocol to win the graph colouring game on all Hadamard graphs
14. Jon Yard:
Network Quantum Shannon Theory
15. Igor Devetak:

Dualities in Quantum Information Theory

16. Seiichiro Tani:
An Application of Entanglement to Leader Election in Anonymous Networks
17. Masanao Ozawa:
Quantum noise, universal uncertainty principle and modal interpretation of quantum mechanics
18. Masato Koashi:
Unconditional security of QKD and uncertainty principle
19. Yodai Watanabe:
Security proof of the BB84 protocol in practical implementation
20. Takayuki Miyadera & Hideki Imai:
On information-Disturbance Theorem

なお, 本 COE メンバよりの発表は 2, 8, 13 である.
会議録も発行した.