

自己評価報告書

平成23年4月18日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究 (A)

研究期間：2008～2011

課題番号：20686026

研究課題名 (和文) 多端子量子通信ネットワークの理論的解析

研究課題名 (英文) Analysis on multi-terminal quantum network

研究代表者

林 正人 (HAYASHI MASAHIRO)

東北大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号：40342836

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：情報理論, 多端子ネットワーク, 量子もつれ, ユニバーサル符号

1. 研究計画の概要

(1) 量子系での情報処理が古典系と異なる点は量子もつれがある点である。従来研究では、2端子の場合の量子もつれの定量化は進んでいたが、多端子の量子もつれの解析は十分に進んでいない。本研究では、多端子量子通信ネットワークの性能を明らかにするために、多端子系での量子もつれを解析する。(2) また、多端子系での通信では送信者・受信者が複数存在するため、受信者・受信者の複数の組み合わせに対して同時に高いレートを実現する符号化・復号化の組み合わせが求められる。本研究ではそのような符号化・復号化の構成を行う。

2. 研究の進捗状況

(1) ①純粋状態の場合に、多端子系の量子もつれ状態の度合いを表す量である幾何学的測度の注目した。2コピー状態の場合に、この量が1コピー状態の場合の2倍になるか否か調べた。その結果、ある条件の場合に2倍になり、多くの場合、2倍よりも小さくなることが判明した。この事実は、2コピー状態の場合には、多くの場合、エンタングルメントがさほど大きくなりえないことを意味している。この事実から、2コピー状態を用いた場合に、1方向量子計算と呼ばれる多端子量子情報処理の可能性が向上することを示した。

②さらに、多端子系の量子もつれ状態を変換可能性の観点から特徴づけることにも成功した。本研究では3種類の変換可能性に注目し、これらの変換可能性の間の関係を明らかにした。特に最も弱い変換可能性である多コピー変換の変換可能性については、端子間の量子もつれを表すグラフを用いて分類可能

であることを示した。これにより、多端子の情報処理に、どのような量子もつれ状態が必要であるか明らかになった。

③実用的観点からは、生成された量子もつれ状態が本当に所望の量子もつれ状態であるか判定することは極めて重要である。本研究では、統計的仮説検定の枠組みで、生成された量子もつれ状態の品質保証を与えるための枠組みを構築した。

(2) 受信者・受信者の複数の組み合わせに対して同時に高いレートを実現する符号化・復号化の組み合わせを実現するため、ユニバーサル符号を量子系について構成した。この符号化・復号化の下では、通信路の形に依存せずに、伝送レートが量子相互情報量となる。このような復号化を構成するために、群の表現論の手法を用いた。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

当初の計画(1)については、量子もつれについての特徴づけが得られたことで目標が達成できたと言える。(2)については、ユニバーサル符号を構成することで目標が達成できたと言える。従って、おおむね順調に進展していると判断できる。

4. 今後の研究の推進方策

研究計画最終年度前年度の応募として、基盤研究(A)「マルチユーザ型量子ネットワーク」に複数の研究分担者とともに応募し採択された。実用性の観点から、セキュアな多端子の通信ネットワークの研究が望まれる。今後は、継続研究の枠組みで、多端子の量子通信の中でもセキュアネットワークに重点を置いて研究を行うことにする。

5. 代表的な研究成果
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 20 件)

1. Lin Chen, Masahito Hayashi, “Multi-copy and stochastic transformation of multipartite pure states,” 査読あり *Physical Review A*, Volume 83, 022331 (2011).
2. Huangjun Zhu, Lin Chen, M. Hayashi, “Additivity and non-additivity of multipartite entanglement measures”, 査読あり *New Journal of Physics*, Volume 12, 083002, 2010, DOI:10.1088/1367-2630/12/8/083002
3. M. Hayashi, “Group theoretical study of LOCC-detection of maximally entangled state using hypothesis testing” *New Journal of Physics*. Vol.11, No.4, 043028, 2009 査読あり doi:10.1088/1367-2630/11/4/043028
4. M. Hayashi, “Universal coding for classical-quantum channel” 査読あり *Communications in Mathematical Physics*. Vol.289 No.3 1087-1098, 2009, DOI: 10.1007/s00220-009-0825-1
5. M. Hayashi, D. Markham, M. Muraao, M. Owari, S. Virmani “The geometric measure of entanglement for a symmetric pure state with non-negative amplitudes “ 査読あり *Journal of Mathematical Physics* Vol.50, No.12, 122104 2009 doi:10.1063/1.3271041

[学会発表] (計 56 件)

1. H. Zhu, L. Chen, M. Hayashi, Additivity and non-additivity of multipartite entanglement measures [The 10th Asian

Conference on Quantum Information Science (AQIS'10)](2010年8月27日 - 2010年8月31日, 日本国, Tokyo) ポスター (一般)

2. H. Zhu, L. Chen, M. Hayashi, Additivity and non-additivity of multipartite entanglement measures [The Tenth International Conference on Quantum Communication, Measurement and Computation (QCMC)](2010年7月19日 - 2010年7月23日, オーストラリア, Brisbane) ポスター (一般)
3. M. Hayashi, Quantum Universal Coding Protocols and Universal approximation of multi-copy states [International Conference on Quantum Information and Technology](2009年12月2日 - 2009年12月5日, 日本国, 東京) 口頭 (招待・特別)
4. M. Hayashi, Quantum universal coding protocols and universal approximation of multi-copy states [The 6th Jointmeeting of Chinese Physicist Worldwide (OCPA6)](2009年8月3日 - 2009年8月7日, 中国, Lanzhou) 口頭 (招待・特別)
5. M. Hayashi, Universal information protocols in quantum information theory [Information and Communication, Alfred Renyi Institute of Mathematics, Hungary](2008年8月25日 - 2008年8月28日, ハンガリー, Budapest) 口頭 (招待・特別)

[その他]アウトリーチ活動として、「量子情報科学ウインタースクール」を毎年2月末に開催。2011年2月で3回目となった。学部学生を含む非専門家向けの合宿形式の企画となっている。