

Quantum measurement
for state generation
and information amplification

March 2015

Saki Tanaka

主 論 文 要 旨

報告番号	甲 乙 第	号	氏 名	田中 咲
主論文題目： Quantum measurement for state generation and information amplification (量子測定による状態生成と情報増幅)				
(内容の要旨) 本論文は全5章により構成されている。 第1章では、本論文の研究背景と構成について説明する。とくに、本研究を貫くコンセプトである量子測定理論が量子情報科学において果たす役割について大まかに述べる。 第2章では、本研究で用いる量子測定理論の基礎事項について説明する。具体的には、まず、第3章で用いる量子連続測定を導出する。また、第4章で用いる量子統計理論の基礎とくにパラメトリックモデルに基づく統計的推測理論について簡単にまとめる。 第3章では、「適応測定を用いた2準位量子状態の確定的生成法」について説明する。これは、Jacobsによるスキームを多面的に改善するものである。一般に、量子系を測定すると反作用が起これ、それが状態を変化させる。Jacobsの手法は、測定結果に基づいて測定強度および被測定物理量を時間連続的に変化させるという適応測定のスキームとなっており、これにより、任意の2準位量子状態を確定的に生成することができる。本研究では、Jacobsの手法とは異なる適応測定法を提案した。この手法では測定強度を時間一定に取れるという利点があり、物理的実現に向いている。さらに、この手法はJacobsの手法に比べて目標状態への収束が速く、かつシステムの不確かさに対するロバスト性を有することが数値的に示された。 第4章では、Aharonovらによる「弱測定」の概念を用いた信号増幅法を、統計的推測理論に基づいて評価した研究について説明する。弱測定では、対象系に事後選択を行い、その結果が所望の値を返したときに限って、測定器の値を読み取るという特殊な操作を行う。この測定値は「弱値」と呼ばれ、単純な議論によれば、条件によっては時に極めて大きな値を取る。これを微小信号の増幅に応用する、という研究が近年盛んに行われている。本研究では、この手法を統計的観点から解析し評価を行った。その結果、検出したい信号(未知パラメータ)の推定誤差は、事後選択の成功確率を考慮に入れると、事後選択を行わない通常の信号検出法によるものを下回らないことが、ある一般的な状況下で判明した。つまり、弱測定による信号増幅法は、統計的には一般に優位性を持たないことが、初めて証明された。この成果は、弱測定による信号増幅法全般に再考を促すとともに、微小信号検出に関する研究分野に大きな貢献を与えることが期待される。 第5章では、本論文のまとめと展望を行う。				

SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School	Student Identification Number	SURNAME, First name
School of Fundamental Science and Technology		Tanaka, Saki
Title Quantum measurement for state generation and information amplification		
Abstract <p>This dissertation is composed of the following five chapters.</p> <p>In Chapter 1, I present the background and a brief summary of this dissertation. In particular, the quantum measurement theory, which is a core concept of this research, and its role in quantum information science are briefly described.</p> <p>Chapter 2 is devoted to summarize the basics of quantum measurement theory, which is used throughout the dissertation. In particular, the time-continuous measurement scheme is derived. Also I review the theory of statistical inference for a parametric model of quantum states.</p> <p>Chapter 3 discusses the first main result; I first review the adaptive measurement scheme for a qubit state preparation, which was proposed by Jacobs, and then show an improved scheme. Both schemes are based on the time-continuous measurement, which brings the time-continuous back-action and drives a quantum state. In Jacobs' scheme, the measurement strength and the measured observable are adaptively changed depending on the measurement result; as a result, it is numerically shown that any qubit state can be generated deterministically. My scheme is different from Jacobs' one in that the measurement strength can be taken constant, implying that it is suitable for physical implementation. Further, the method has clear advantages that the convergence speed to the target is faster and it has a better robustness property against uncertainty brought into the system; this is indeed confirmed by numerical simulations.</p> <p>In Chapter 4, I conduct a statistical analysis of the signal amplification technique based on the so-called weak measurement proposed by Aharonov, Albert, and Vaidman. This measurement has an important property, post-selection, meaning that we read out the measurement result of the probe (weak value) only if the target measurement result is obtained with the post-selective measurement; it has been recognized that, in a naïve sense, the weak value can take an infinitely large number, which thus could be used for amplifying a tiny signal. In this study I formulate a general parameter estimation problem and found that, while the Fisher information is certainly amplified by the post selection, the accuracy of estimate per particular amount of data is diminished due to the data loss in the post-selection. That is, this result clarifies a general practical limit of that signal amplification technique from a statistical perspective.</p> <p>Chapter 5 concludes this dissertation.</p>		