

博士論文審査報告書

令和4年 2月10日

愛知県立大学 大学院
情報科学研究科長 殿

大学院 情報科学研究科

職名 教授

氏名 白田 毅 印

論文題目	量子通信及び量子計測システムにおける雑音解析 及び最適受信機に関する研究
------	---

氏名	王天澄
----	-----

審査結果の要旨

別紙のとおり.

新規性 有効性 信頼性 了解性 研究倫理

最終試験の結果	合格
---------	----

学力審査の結果	合格	学識審査の結果	合格
---------	----	---------	----

審査委員会

主査	副査
白田 毅 印	加藤研太郎 印
副査	副査
代田健二 印	印
副査	副査
神谷幸宏 印	印

審査結果の要旨

科学技術とイノベーション政策の中で、AI 技術、バイオテクノロジー、量子技術、マテリアルが、戦略的に取り組むべき基盤技術と位置づけられている。このように、永く未来の情報科学と呼ばれてきた量子情報科学が技術化のフェーズに移ろうとしている。本論文では、量子情報科学分野の中で、特に量子通信及び量子計測の問題に取り組んでいる。高信頼度通信として期待される量子通信システムにおいては、量子雑音に対処する量子受信機的设计が極めて重要である。量子受信機では量子力学的な測定すなわち量子測定が行われ、送信者から送られた量子信号を受信者が計測する。これに対し、エンタングルド状態という量子力学的な相関状態を用いて、物体の存在、状態、形状等を高感度あるいは高精度に計測する技術が量子計測である。量子計測では、エンタングルド状態に対して量子測定が行われることとなる。本論文では、量子通信と量子計測の双方において、量子雑音に対処する量子受信機的设计が最重要課題となることに着目し、現実的な環境を考えた場合の雑音解析及び量子最適受信機的设计を行っている。

本論文は、7章構成となっている。第1章は序論であり、本論文の位置づけを述べている。第2章から第4章では基礎理論と従来研究について述べており、第2章で量子情報理論の基礎を述べた後、第3章において量子通信、第4章において量子計測の基本形である量子イルミネーション（ターゲット検出を目的とした量子レーダ）について、それぞれ対応する古典システムも含め、基礎理論の概説をしている。本論文における主要結果は第5章と第6章で述べられ、第7章は結論である。第5章と第6章の内容は以下の通りである。

第5章では、量子通信の成果として、現実的な環境である位相雑音環境を取り扱い、量子受信機の誤り率特性を明らかにするとともに、ロバストな量子受信機的设计法とその特性を示している。量子雑音の影響を考察する研究は、従来から数多くなされているが、多くは線形減衰や熱雑音などのガウス雑音を対象としていた。本論文では、非ガウス雑音として位相雑音に注目し、量子最適受信機の性能を示している。さらにロバストな量子受信機的设计法を示していることが、本論文のユニークな点である。量子最適受信機は、雑音を含んだ信号の状態に対して高度にチューニングされることで量子通信の究極の性能を達成するものであり、もしチューニングが外れれば大きく劣化する危険性をはらんでいる。本論文では、現実には通信路環境が時々刻々と変化し、位相雑音の見積もりが不正確となることを想定し、ミニマックス規準によるロバストな量子受信機设计法を提案している。さらには、利用できる量子受信機のクラスが限られている場合の設計規準も示し、2つの量子受信機を確率的に利用するだけで改善があることも見いだしている。

第6章では、量子計測の成果として、減衰環境を取り扱い、量子イルミネーションの誤り率解析解を示し、擬似ベル状態と呼ばれるエンタングルド状態を応用することで、従来のターゲット検出技術であるレーザーレーダを量子イルミネーションの性能が利用エネルギー量によらず常に上回ることを明らかにしている。従来は微弱光について量子イルミネーションの優位性が示されていたのみであり、本論文の成果は、量子イルミネーションの適用範囲が大幅に拡大できることを示し、実用化に向けて非常に有用なもの

と言える。この結果は、誤り率の解析解導出という数学的な考察に基づいているが、その導出法のアイデアは本論文で取り扱わなかった量子信号についても利用できることが期待され、解析手法自体も波及効果を持つと言える。

以上の研究成果は、高度なチューニングが現実にはできず、量子通信が所詮は絵に描いた餅であるのではないかという懸念に対し、それを克服する新たな設計法を示すとともに、量子イルミネーションが利用可能エネルギーが非常に小さいごく限られた場面だけではなく、常に有用であることを明確に示すものであり、量子技術の実用化に向けた動きが加速されることにつながると期待される。

以上より、本論文は博士の学位を授与するに十分な内容を持つものであると判断される。