

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：32702

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K20437

研究課題名（和文）擬似ベル状態を用いた量子イルミネーションに向けた測定器の構成とその最適設計

研究課題名（英文）Detection Scheme and Optimal Design for Quantum Illumination Using Quasi-Bell State

研究代表者

王 天澄（Wang, Tiancheng）

神奈川大学・情報学部・助教

研究者番号：30962930

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：量子イルミネーションとは、エンタングルメントを持つ二つの光を利用して、目標の存在を確かめる量子計測技術の一つである。本研究では、擬似ベル状態を用いた量子イルミネーションの量子測定器について、物理的な構成方法の検討とその性能解析を行った。特に、ビームスプリッタと光子計数器を用いた測定器の簡易構成を提案し、誤り率規準に基づき性能評価を行った。その結果、減衰環境下では、本手法による性能が2モードスクイズド真空状態に量子最適測定を施した場合を凌駕しうることを明らかにした。また、光子計数器の代わりに、光の有無のみを識別するオンオフ検出器を用いても、ほぼ同等の性能が得られることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

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技術である。本研究の成果により、擬似ベル状態などの非ガウス状態を用いた量子計測プロトコルでは、より経済的な素子で測定器を構成する可能性があること、2モードスクイズド真空状態などのガウス状態を用いたプロトコルより優れた性能を出しうることを示唆しており、非ガウス状態の生成、応用プロトコルの性能解析や技術開発などに関する研究の加速を促すことが期待される。

研究成果の概要（英文）：Quantum illumination is an entanglement-based protocol that is able to detect the existence of a target. In this study, we considered and discussed a physical implementation of a measurement scheme for the quasi-Bell state-based quantum illumination in an attenuation environment using a beam splitter and photon counters. As a result, under almost all conditions, the scheme offers a significant advantage over a scheme using the two-mode squeezed vacuum state, which allows optimum quantum detection. In addition, it was clarified that similar performance can be obtained by replacing the photon counters with on-off detectors.

研究分野：工学

キーワード：情報通信工学 量子情報理論 エンタングルメント 量子計測 擬似ベル状態 量子イルミネーション
測定器設計 誤り率特性

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

量子プロトコルにおいてエンタングルメントは重要なリソースの一つである。エンタングルメントとは複数の量子系にはたらく非局所的な相関である。技術の発展につれて、エンタングルメントを応用した超精密計測（量子計測）への期待は、細胞の非破壊イメージングセンサーから悪天候時の自動運転のための車載レーダまで、目下、大きな高まりを見せている。具体的な応用技術のプロトコル例として、メモリ内の情報を読み出す量子リーディング[1]、ターゲット検出のための量子イルミネーション[2]、対象物の輪郭をとらえる量子ゴーストイメージング[3]などが挙げられる。特に最近、これらの量子計測プロトコルをベースとしたセキュアな非対称型量子通信方式[4, 5]が提案され、衛星—地上通信から IoT センサー—IoT 基地局通信まで広く応用できると期待されている。本研究では、エンタングルメントを応用した量子計測技術の基本形である量子イルミネーション[2]を扱う。

量子イルミネーションとは、エンタングルメントを持つ二つの光（以下、エンタングルド状態と呼ぶ）の利用により、目標の存在を確かめるプロトコルである。このプロトコルでは、エンタングルしている光の片方を目標に向けて照射し、その反射光が測定器に入力されるようにする。目標が存在しない場合は代わりに真空状態が返ってくる。同時に、もう片方の光は測定器にそのまま入力される。そして、測定器において、両方の光に量子一括測定（量子最適測定[6]）を施すことで、目標の存在を確かめる。2008年に最初に量子イルミネーションが提案されたとき、解析のために用いられた状態はベル状態を一般化したエンタングルド状態であった[2]。同じ年に2モードガウス状態の一種である2モードスクイズド真空状態を応用することが Tan らによって考察され、微弱光領域でレーザーレーダなどのエンタングルメントを利用しない技術よりも優位となることが示された[7]。その後、2モードスクイズド真空状態をはじめとするガウス状態について活発な議論がなされており、実験も盛んに行われている (e. g. [8, 9])。

研究代表者は2020年前後に、一種の非ガウス状態である擬似ベル状態[10]に着目し、Tan らとは異なるアプローチを用いて、ワンショットの光パルスに対する最小誤り率について量子イルミネーションの性能を解析した[11-13]。まず、数値的に調べた範囲では、擬似ベル状態を用いた量子イルミネーションの性能が古典レーザーレーダより常に優れていることがわかった[12]。次に、強い熱雑音の存在という制約を外し、エネルギー減衰のみが存在する場合を調べた結果、擬似ベル状態を用いることで、微弱光領域のみならず全てのエネルギー領域において量子イルミネーションの優位性が保たれることがわかった[13]。この性質は、微弱光領域でしか優位性を保てない2モードスクイズド真空状態とは異なる。そのため、擬似ベル状態を用いることで、量子イルミネーションに限られた場面でのみではなく、細胞のイメージングセンサーや自動運転車のレーザーレーダ、ディープスペースでの探査機など、その利用範囲が大幅に拡充されることがわかった。

2. 研究の目的

これまでの研究では、量子イルミネーションに対して量子最適測定の利用が仮定されているが、その物理的な実現方法は明らかでは無く、具体的な測定器の構成方法を検討する必要がある。本研究では先行研究[13]を踏まえ、擬似ベル状態を用いた量子イルミネーションに向けた、測定器の物理的構成の解明およびその最適化を行い、測定器の設計手法を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

測定器の物理的構成を検討するにあたり、受信機が送信機の逆操作を行うという考えに基づき、まずは擬似ベル状態の生成過程について調査した。その結果、擬似ベル状態の生成のために、偶数あるいは奇数個の光子数の確定状態の重ね合わせとビームスプリッターを用いることがわかった。実際、同じデバイスを逆向きに用いる発想から、擬似ベル状態を用いた量子テレポーテーション[14]や量子リーディング[15-17]などでも、測定器としていずれもビームスプリッターと光子計数器による構成が考察されている。しかし、量子テレポーテーションや量子リーディングと異なり、量子イルミネーションにおいては目標物が存在しないときにはエンタングルド状態が完全に破壊されるため、エンタングルド状態生成の逆過程による測定器の性能が良いかどうかは自明では無く、改めて性能を調べる必要がある。性能評価にあたっては、まず擬似ベル状態の時間空間発展を記述できる Schrödinger 表示を用いて減衰環境の影響を記述し、次いでビームスプリッターによるエンタングルド状態の二つの系の相互作用を、Prasad らのユニタリ変換[18]を用いて記述する。さらに、得られた量子状態を光子計数器で測定後に、最尤決定規範に基づき

解析・評価し、誤り率特性を考察する。また、以上の研究で得られた結果を踏まえ、伝送路に雑音が発生する場合や他の光学素子を利用する場合、異なる評価規準で評価する場合などについても考察する。

4. 研究成果

以下、研究成果を示す。なお、導出した式や、プロットした誤り率の特性グラフなどの詳細については、該当する記述の後ろに示した発表論文などを参照する。

- (1) 擬似ベル状態を用いた量子イルミネーションが、量子最適検出限界という観点で 2 モードスクイズド真空状態を用いた場合よりも優位となるという先行研究[13]に対し、具体的に簡易的な測定器を用いた場合の誤り率特性を、減衰が無い場合とある場合について示した。その結果、光子計数器とビームスプリッタという簡易的な構成であっても、平均光子数が大きいときには 2 モードスクイズド真空状態に対する量子最適検出限界よりも優位となりうるということがわかった。さらに、ビームスプリッタの反射率を最適化することで、優位となる平均光子数の範囲を広げられることを定量的に明らかにした。詳細は、次の論文などに示している：
王天澄, 臼田毅:「擬似ベル状態を用いた量子イルミネーションの測定器の簡易構成と性能評価」, 電気学会論文誌 C, Vol.143, No.12, pp.1090-1098 (2023)
- (2) 乱気流や不完全な位相同期などに起因する位相の不完全要因による影響について考察した。まず、測定器で受信量子状態の位相シフトを誤って見積もった場合、すなわちミスマッチが発生した場合の性能評価を行った。その結果、2 モードスクイズド真空状態に比べて、擬似ベル状態を用いた場合はミスマッチに対してロバスト性をもつことを明らかにした。次に、位相シフトの不規則変動を統計的に取り扱った、位相雑音が発生した場合の性能評価を行った。その結果、位相雑音の度合いによって性能がすぐに劣化してしまう、2 モードスクイズド真空状態とは異なり、擬似ベル状態を用いた場合は古典方式による性能と同程度かそれ以上となることを明らかにした。詳細は、次の論文などに示している：
王天澄:「位相雑音環境下における量子イルミネーションの誤り率特性」, 2023 年電子情報通信学会総合大会 講演論文集, p.205 (2023)
- (3) (1)の簡易構成と誤り率の評価規準を踏まえ、より現実的かつ経済的な素子を用いて測定器の構成を検討した。その結果、光子計数器の代わりに、光子数分解能を必要とせず光の有無のみを識別するオンオフ検出器を用いても、ほぼ同等の性能が得られることを明らかにした。実際、2 モードスクイズド真空状態を用いた量子プロトコルでは、複雑な測定器を構成する必要がある場合が多い。それに対して、擬似ベル状態を用いた量子プロトコルでは、一般的にビームスプリッタと光子計数器という簡易な素子で測定器を構成することができる。本研究ではさらに、光子計数器をオンオフ検出器で置き換えるだけでも、2 モードスクイズド真空状態に対する量子最適検出限界より優位となりうることを示した。詳細は、次の論文などに示している：
T. Wang and T.S. Usuda: “Detection scheme using a beam splitter and on-off detectors for non-Gaussian state-based quantum illumination with attenuation”, Optics Continuum, Vol.3, No.4, pp.543-551 (2024)
王天澄:「非最大擬似ベル状態を用いた量子イルミネーションの測定器構成」, 2024 年電子情報通信学会総合大会 講演論文集, B-10B-46 (2024)
- (4) 量子イルミネーションに関する研究では、物理量の時間空間発展を記述する Heisenberg 表示を用いて考察されることが多い。Heisenberg 表示では、物理量の平均値などを求めることはできるが、量子最適受信機の誤り率などの計算をすることは簡単ではない。そのため、多くの研究では量子イルミネーションにおける誤り率を求めるのではなく、その代わりに量子 Chernoff 限界を求めている (e.g. [7])。また、それらの研究では、2 モードスクイズド真空状態などのガウス状態を光源に設定していることが多い。それは、減衰と熱雑音が存在する環境において量子状態の入出力関係が線形的であり、4 次元の共分散行列を用いて取り扱うことができるからである。しかし、研究代表者が着目した擬似ベル状態は一種の非ガウス状態であり、そのような関係が成り立たないため、量子 Chernoff 限界に関する解析が困難である。本研究では、擬似ベル状態を用いた減衰環境における量子イルミネーションについて、量子 Chernoff 限界規準に基づいた性能評価を行った。新たな数学的手法を開発して解析した結果、先行研究[19]で示された 2 モードスクイズド真空状態が常に最適であるという結論に反し、擬似ベル状態のほうが優れる場合があることを明らかにした。この二つの結論の不整合は、前者ではガウス状態のクラスに限定して考察したのに対して、後者では非ガウス状態を用いたからである。詳細は、次の論文などに示している：
T. Wang and T.S. Usuda: “Security enhancement of amplitude-shift keying-type asymmetric quantum communication systems”, Quantum Information Processing, Vol.23,

これらの研究成果により、擬似ベル状態などの非ガウス状態を用いた量子プロトコルでは、より経済的な素子で測定器を構成する可能性があること、ガウス状態を用いた量子プロトコルより優れた性能を出しうることを示唆しており、非ガウス状態の生成、応用プロトコルの性能解析や技術開発などに関する研究の加速を促すことが期待される。

<引用文献>

- [1] S. Pirandola: “Quantum reading of a classical digital memory”, *Phys. Rev. Lett.*, Vol.106, 090504 (2011)
- [2] S. Lloyd: “Enhanced sensitivity of photodetection via quantum illumination”, *Science*, Vol.321, pp.1463-1465 (2008)
- [3] T.B. Pittman, Y.H. Shih, D.V. Strekalov, and A.V. Sergienko: “Optical imaging by means of two-photon quantum entanglement”, *Phys. Rev. A*, Vol.52, pp.R3429-R3432 (1995)
- [4] T. Wang and T.S. Usuda: “Error performance of amplitude shift keying-type asymmetric quantum communication systems”, *Entropy*, Vol.24, 708 (2022)
- [5] 鮫島卓, 王天澄, 宇佐見庄五, 臼田毅: 「位相変調を用いた非対称型量子通信とその減衰環境下における誤り率特性」, *信学論B*, Vol. J106-B, pp.112-125 (2023)
- [6] C.W. Helstrom: *Quantum detection and estimation theory*, Academic Press, New York (1976)
- [7] S.H. Tan, B.I. Erkmen, V. Giovannetti, S. Guha, S. Lloyd, L. Maccone, S. Pirandola, and J.H. Shapiro: “Quantum illumination with Gaussian states”, *Phys. Rev. Lett.*, Vol.101, 253601 (2008)
- [8] E.D. Lopaeva, I. Ruo Berchera, P. Degiovanni, S. Olivares, G. Brida, and M. Genovese: “Experimental realization of quantum illumination”, *Phys. Rev. Lett.*, Vol.110, 153603 (2013)
- [9] Z. Zhang, S. Mouradian, F.N.C. Wong, and J.H. Shapiro: “Entanglement-enhanced sensing in a lossy and noisy environment”, *Phys. Rev. Lett.*, Vol.114, 110506 (2015)
- [10] O. Hirota and M. Sasaki: “Entangled state based on nonorthogonal state”, *Proc. Quantum Communication, Computing, and Measurement 3*, pp.359-366 (2001)
- [11] 山内淳, 石川恵大, 高橋祐斗, 王天澄, 臼田毅: 「減衰環境における量子イルミネーションの利用エンタングルド状態依存性」, *令和元年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会講演論文集*, F5-5 (2019)
- [12] J. Yamauchi, T. Wang, and T.S. Usuda: “Quantum illumination by quasi-Bell state is always superior to laser radar”, *Abstracts of 21st Asian Quantum Information Science Conference (AQIS2021)*, poster sessions, pp.303-306 (2021)
- [13] 王天澄, 高比良宗一, 臼田毅: 「最大と非最大擬似ベル状態を用いた減衰環境における量子イルミネーションの誤り率」, *電学論C*, Vol.142, No.2, pp.151-161 (2022)
- [14] S.J. van Enk and O. Hirota: “Entangled coherent states: Teleportation and decoherence”, *Phys. Rev. A*, Vol.64, 022313 (2001)
- [15] O. Hirota: “Error free quantum reading by quasi Bell state of entangled coherent states”, *Quantum Measurements and Quantum Metrology*, Vol.4, pp.70-73 (2017). arXiv:quant-ph/1108.4163v2 (2011)
- [16] K. Kato and O. Hirota: “Effect of decoherence in quantum reading with phase shift keying signal of entangled coherent states”, *Proc. SPIE 8875*, 88750P, San Diego, USA (2013)
- [17] K. Kato: “Detection of the binary phase-encoded quasi-Bell state signal in a lossy environment by a half beam splitter and photon counters”, *Tamagawa University Quantum ICT Research Institute Bulletin*, Vol.10, No.1, pp.17-21 (2020)
- [18] S. Prasad, M.O. Scully, and W. Martienssen: “A quantum description of the beam splitter”, *Opt. Commun.*, Vol.62, No.3, pp.139-145 (1987)
- [19] R. Jonsson and R.D. Candia: “Gaussian quantum estimation of the loss parameter in a thermal environment”, *J. Phys. A: Math. Theor.* Vol.55, 385301 (2022)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 王天澄, 白田毅	4. 巻 143
2. 論文標題 擬似ベル状態を用いた量子イルミネーションの測定器の簡易構成と性能評価	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 1090 ~ 1098
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.143.1090	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Wang and T.S. Usuda	4. 巻 3
2. 論文標題 Detection scheme using a beam splitter and on-off detectors for non-Gaussian state-based quantum illumination with attenuation	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Optics Continuum	6. 最初と最後の頁 543 ~ 551
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OPTCON.514321	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 T. Wang and T.S. Usuda	4. 巻 23
2. 論文標題 Security enhancement of amplitude-shift keying-type asymmetric quantum communication systems	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Quantum Information Processing	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/S11128-024-04405-X	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計27件（うち招待講演 0件/うち国際学会 9件）

1. 発表者名 王天澄
2. 発表標題 非最大擬似ベル状態を用いた量子イルミネーションの測定器構成
3. 学会等名 2024年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 王天澄
2. 発表標題 擬似ベル状態を用いた減衰環境における量子イルミネーションの簡易測定器
3. 学会等名 第22回量子情報ミニワークショップ
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 T. Wang and T.S. Usuda
2. 発表標題 Quantum Chernoff bound for quantum reading using the quasi-Bell state
3. 学会等名 23rd Asian Quantum Information Science Conference (AQIS2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 堀場靖司, 王天澄, 白田毅
2. 発表標題 3次元物体の量子ゴーストイメージングに対する散乱の影響
3. 学会等名 第46回情報理論とその応用シンポジウム (SITA2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 正木謙, 王天澄, 宇佐見庄五, 高比良宗一, 白田毅
2. 発表標題 量子一括測定を含む様々な量子受信機に対する信頼性関数を用いた性能評価
3. 学会等名 第46回情報理論とその応用シンポジウム (SITA2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鮫島卓, 王天澄, 宇佐見庄五, 高比良宗一, 白田毅
2. 発表標題 減衰環境下におけるBPSK非対称型量子通信に対する光子数制約に基づく最適送信量子状態
3. 学会等名 第46回情報理論とその応用シンポジウム (SITA2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 北村嗣音, 王天澄, 高比良宗一, 白田毅
2. 発表標題 量子通信路容量をほぼ達成する離散的信号の配置及び生起確率
3. 学会等名 第46回情報理論とその応用シンポジウム (SITA2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 竹腰優稀, 北村嗣音, 王天澄, 白田毅
2. 発表標題 同期誤りにより引き起こされる量子削除挿入誤りについて
3. 学会等名 第46回情報理論とその応用シンポジウム (SITA2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 後藤圭佑, 北村嗣音, 王天澄, 白田毅
2. 発表標題 ASKコヒーレント状態に対するグラム行列に類似の n 重対角行列を用いた誤り率の近似
3. 学会等名 第46回情報理論とその応用シンポジウム (SITA2023)
4. 発表年 2023年

1 . 発表者名 S. Kitamura, T. Wang, S. Takahira, and T.S. Usuda
2 . 発表標題 Calculation of capacity with discrete-valued inputs using efficiently obtained eigenvalues
3 . 学会等名 23rd Asian Quantum Information Science Conference (AQIS2023) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 K. Masaki, T. Wang, S. Takahira, S. Usami, and T.S. Usuda
2 . 発表標題 Comparison of several quantum receivers for coherent-state signals by using classical reliability function
3 . 学会等名 23rd Asian Quantum Information Science Conference (AQIS2023) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 Y. Horiba, T. Wang, and T.S. Usuda
2 . 発表標題 Effect of scattering on quantum ghost imaging and ordinary imaging
3 . 学会等名 23rd Asian Quantum Information Science Conference (AQIS2023) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 S. Sameshima, T. Wang, S. Takahira, S. Usami, and T.S. Usuda
2 . 発表標題 On the optimal quantum state of BPSK-type asymmetric quantum communication in an attenuation environment
3 . 学会等名 23rd Asian Quantum Information Science Conference (AQIS2023) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1. 発表者名 正木謙, 王天澄, 宇佐見庄五, 高比良宗一, 白田毅
2. 発表標題 逐次的な射影測定に対する信頼性関数の適用
3. 学会等名 2023年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 竹腰優稀, 北村嗣音, 王天澄, 白田毅
2. 発表標題 古典-量子通信における削除挿入誤りについて
3. 学会等名 2023年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 後藤圭佑, 北村嗣音, 王天澄, 白田毅
2. 発表標題 ASKコヒーレント状態に対するグラム行列近似による誤り率精度
3. 学会等名 2023年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加藤愛菜, 堀場靖司, 王天澄, 白田毅
2. 発表標題 マルチレベル量子ゴーストイメージングにおける散乱の影響
3. 学会等名 2023年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 王天澄
2. 発表標題 位相雑音環境下における量子イルミネーションの誤り率特性
3. 学会等名 2023年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 王天澄
2. 発表標題 量子イルミネーションに対する位相シフトと位相雑音の影響
3. 学会等名 第21回量子情報ミニワークショップ
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Isokawa, K. Miyachi, T. Wang, S. Takahira, T.S. Usuda
2. 発表標題 Geometric representation and optimum weight of the BWSRM for mixed state signals
3. 学会等名 22nd Asian Quantum Information Science Conference (AQIS2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Sameshima, T. Wang, S. Usami, T.S. Usuda
2. 発表標題 PSK-type asymmetric quantum communication and its noisy environment characteristics
3. 学会等名 22nd Asian Quantum Information Science Conference (AQIS2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Sameshima, T. Wang, S. Usami, T.S. Usuda
2. 発表標題 PSK-type asymmetric quantum communication and its attenuation characteristics
3. 学会等名 2022 International Symposium on Information Theory and Its Applications (ISITA2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Isokawa, K. Miyachi, T. Wang, S. Takahira, T.S. Usuda
2. 発表標題 Geometric representation and optimum weights of the BWSRM for binary mixed state signals
3. 学会等名 2022 International Symposium on Information Theory and Its Applications (ISITA2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北村嗣音, 王天澄, 高比良宗一, 白田毅
2. 発表標題 非対称量子信号に対する密度作用素の固有値問題簡単化と通信路容量計算への応用
3. 学会等名 第45回情報理論とその応用シンポジウム (SITA2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 正木謙, 王天澄, 宇佐見庄五, 白田毅
2. 発表標題 量子測定通信路における古典信頼性関数の性質
3. 学会等名 第45回情報理論とその応用シンポジウム (SITA2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀場靖司, 王天澄, 白田毅
2. 発表標題 散乱の影響下での量子ゴーストイメージングの優位性
3. 学会等名 第45回情報理論とその応用シンポジウム (SITA2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 五十川翔梧, 宮地謙吾, 王天澄, 高比良宗一, 白田毅
2. 発表標題 混合状態信号に対するBWSRMの幾何学的表現と最適重みについて
3. 学会等名 第45回情報理論とその応用シンポジウム (SITA2022)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 量子イルミネーション測定装置	発明者 王天澄	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2023-031036	出願年 2023年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------