

DESCRIPTION OF DOCTORAL DISSERTATION

The Author of the doctoral dissertation: Robert Okuła

Title of doctoral dissertation: Quantifying Quantum Information: Relationships between measures in Quantum Cryptography

Title of doctoral dissertation in Polish: Szacowanie informacji kwantowej: relacje między miarami w kryptografii kwantowej

Language of doctoral dissertation: English

Supervisor: dr hab. Piotr Mironowicz

Date of doctoral defense:

Keywords of doctoral dissertation in Polish: Teoria informacji kwantowej, kryptografia kwantowa, kwantowa dystrybucja klucza (QKD), niezależność od urządzeń (DI), losowość kwantowa, programowanie półokreślone (SDP), optymalizacja nieliniowa, certyfikacja bezpieczeństwa, benchmarki jakości danych, darwinizm kwantowy (QD), splątanie, certyfikacja losowości, entropia Shannona, nierówności Bella, nielokalność Bella, dyskord kwantowy, analiza numeryczna, protokoły optymalizacyjne

Keywords of doctoral dissertation in English: Quantum information theory, quantum cryptography, quantum key distribution (QKD), device independence (DI), quantum randomness, semidefinite programming (SDP), non-linear optimization, security certification, data quality benchmarks, quantum Darwinism (QD), entanglement, randomness certification, Shannon entropy, Bell inequalities, Bell non-locality, quantum discord, numerical analysis, optimization protocols

Summary of doctoral dissertation in Polish: Niniejsza dysertacja analizuje zależności między miarami informacji kwantowej w celu wzmocnienia podstaw kryptografii kwantowej. Na przykładzie konkretnych protokołów wskazuje i rozwija metody certyfikacji bezpieczeństwa oraz jakości generowanych danych. Obejmuje szczegółowe opisy implementacji wykorzystujących zaawansowane techniki programowania nieliniowego i półokreślonego (SDP), a także analizy teoretyczne. Rozdział 1 przedstawia przegląd podstaw teorii informacji kwantowej. Rozdział 2 wprowadza do kryptografii kwantowej, omawiając dystrybucję klucza, model bezpieczeństwa niezależny od urządzenia (DI) oraz podstawy losowości kwantowej. Rozdział 3 analizuje kwantowy Darwinizm jako teorię wyjaśniającą wyłanianie się świata klasycznego. W rozdziale 4 zaprezentowano nowe wyniki dotyczące bezpieczeństwa dystrybucji klucza w kontekście tej teorii. Rozdział 5 dotyczy certyfikacji losowości opartej na splątaniu i entropii Shannona, w tym analizy nierówności Bella i poszukiwania optymalnych protokołów. Rozdział 6 bada zależność między nielokalnością Bella a dyskordem kwantowym, wskazując ich numeryczną korelację.

Summary of doctoral dissertation in English: This study explores relationships between key quantum information measures to strengthen the theoretical basis of quantum cryptography. By analyzing selected protocols, we develop and extend benchmarks for certifying both security and data quality. We describe implementations based on advanced non-linear and semidefinite programming (SDP), supported by analytical insights. Chapter 1 reviews core principles of quantum information theory. Chapter 2 introduces quantum cryptography, including quantum key distribution (QKD), device

independence, and quantum randomness. Chapter 3 presents quantum Darwinism, explaining how classical reality emerges from quantum systems. Chapter 4 applies this framework to QKD security analysis. Chapter 5 investigates entanglement-based randomness certification using Shannon entropy, including Bell inequalities and optimized protocols. Chapter 6 examines the relationship between Bell non-locality and quantum discord, identifying numerical correlations between Bell inequality violations and discord.

OPIS ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Autor rozprawy doktorskiej: Robert Okuła

Tytuł rozprawy doktorskiej w języku polskim: Szacowanie informacji kwantowej: relacje między miarami w kryptografii kwantowej

Tytuł rozprawy w języku angielskim: Quantifying Quantum Information: Relationships between measures in Quantum Cryptography

Język rozprawy doktorskiej: angielski

Promotor rozprawy doktorskiej: dr hab. Piotr Mironowicz

Data obrony:

Słowa kluczowe rozprawy doktorskiej w języku polskim: Teoria informacji kwantowej, kryptografia kwantowa, kwantowa dystrybucja klucza (QKD), niezależność od urządzeń (DI), losowość kwantowa, programowanie półokreślone (SDP), optymalizacja nieliniowa, certyfikacja bezpieczeństwa, benchmarki jakości danych, darwinizm kwantowy (QD), splątanie, certyfikacja losowości, entropia Shannona, nierówności Bella, nielokalność Bella, dyskord kwantowy, analiza numeryczna, protokoły optymalizacyjne

Słowa kluczowe rozprawy doktorskiej w języku angielskim: Quantum information theory, quantum cryptography, quantum key distribution (QKD), device independence (DI), quantum randomness, semidefinite programming (SDP), non-linear optimization, security certification, data quality benchmarks, quantum Darwinism (QD), entanglement, randomness certification, Shannon entropy, Bell inequalities, Bell non-locality, quantum discord, numerical analysis, optimization protocols

Streszczenie rozprawy w języku polskim: Niniejsza dysertacja analizuje zależności między miarami informacji kwantowej w celu wzmocnienia podstaw kryptografii kwantowej. Na przykładzie konkretnych protokołów wskazuje i rozwija metody certyfikacji bezpieczeństwa oraz jakości generowanych danych. Obejmuje szczegółowe opisy implementacji wykorzystujących zaawansowane techniki programowania nieliniowego i półokreślonego (SDP), a także analizy teoretyczne. Rozdział 1 przedstawia przegląd podstaw teorii informacji kwantowej. Rozdział 2 wprowadza do kryptografii kwantowej, omawiając dystrybucję klucza, model bezpieczeństwa niezależny od urządzenia (DI) oraz podstawy losowości kwantowej. Rozdział 3 analizuje kwantowy Darwinizm jako teorię wyjaśniającą wyłanianie się świata klasycznego. W rozdziale 4 zaprezentowano nowe wyniki dotyczące bezpieczeństwa dystrybucji klucza w kontekście tej teorii. Rozdział 5 dotyczy certyfikacji losowości opartej na splątaniu i entropii Shannona, w tym analizy nierówności Bella i poszukiwania optymalnych protokołów. Rozdział 6 bada zależność między nielokalnością Bella a dyskordem kwantowym, wskazując ich numeryczną korelację.

Streszczenie rozprawy w języku angielskim: This study explores relationships between key quantum information measures to strengthen the theoretical basis of quantum cryptography. By analyzing selected protocols, we develop and extend benchmarks for certifying both security and data quality. We describe implementations based on advanced non-linear and semidefinite programming (SDP), supported by analytical insights. Chapter 1 reviews core principles of quantum information theory. Chapter 2 introduces quantum cryptography, including quantum key distribution (QKD), device

independence, and quantum randomness. Chapter 3 presents quantum Darwinism, explaining how classical reality emerges from quantum systems. Chapter 4 applies this framework to QKD security analysis. Chapter 5 investigates entanglement-based randomness certification using Shannon entropy, including Bell inequalities and optimized protocols. Chapter 6 examines the relationship between Bell non-locality and quantum discord, identifying numerical correlations between Bell inequality violations and discord.