

Progress in Informatics ABSTRACTS

No.8, March 2011

Contents

Special issue: Quantum information technology

Guest Editorial

- 1 ——— **Quantum information technology**
量子情報技術
根本 香絵, 佐々木 雅英, Gerard MILBURN

Review

- 5 ——— **Photon subtraction from traveling fields - recent experimental demonstrations**
進行する場からの光子抜き取り—最近の実験的実証
Jonas S. NEERGAARD-NIELSEN, 竹内 誠, 和久井 健太郎, 高橋 優樹, 早坂 和弘, 武岡 正裕, 佐々木 雅英
各種の光学的量子情報処理基本要素に関連して, この分野における他の実験的成果の簡単な要約とともに, 光子抜き取り技術の応用に関する最近の結果をレビューする. 光学的量子情報処理基本要素のための光子抜き取り技術の応用, 特にエンタングルメント純粋化とキュービット (qubit) のスクイズド状態の発生に関して, 最近得られた結果をレビューする. 序論として, この分野における他の実験的成果の簡単な要約について述べる.

Research Papers

- 19 ——— **Photon pair sources with controlled frequency correlation**
周波数相関を制御した光子対源
枝松 圭一, 清水 亮介, 上野 若菜, 金 鋭博, 金田 文寛, 藪野 正裕, 鈴木 寛史, 長能 重博, 東海林 篤, 水津 光司
高効率かつ適切に制御された非古典光源は, 量子情報通信技術にとって鍵となる技術のひとつである. ここでは, 擬似位相整合 (QPM) および拡張位相整合 (EPM) を用いて周波数相関を制御した光子対源の開発について紹介する. まず, 二周期擬似位相整合を用いた偏光および周波数に関する量子もつれ光子の発生について述べる. また, 周波数相関を制御した光子対の発生と, 本質的に純粋なスペクトル-時間モードをもつ伝令付単一光子生成への応用につい

て説明する.

- 27 ——— **Generation and characterization of bound entanglement in optical qubits**
光子の量子ビットにおける束縛エンタングルメントの生成と評価
金田 文寛, 清水 亮介, 三森 康義, 小坂 英男, 枝松 圭一
これまで, 高効率な量子情報処理のためには量子ビット間の強く純粋なエンタングルメントが不可欠だと考えられてきた. しかし最近, 束縛エンタングルメントという, 量子ビット間から抽出することが不可能なほど弱いエンタングルメントも量子情報処理に有用だということが指摘された. 本論文では光子の偏光状態を用いた, Smolin 状態と呼ばれる 4 量子ビットで構成される束縛エンタングル状態の高効率生成と, Smolin 状態中に存在する, アンロック可能な束縛エンタングルメントの観測を報告する.
- 33 ——— **Enhancing photon collection from quantum emitters in diamond**
ダイヤモンドにおける量子発光体からの高度化された光子収集
Michael TRUPKE, William J. MUNRO, 根本 香絵, Jörg SCHMIEDMAYER
ダイヤモンドは最近, 量子通信と量子コンピューティング分野における応用のための主要な候補の 1 つになっている. ダイヤモンドの色中心は単一光子源として理想的である. 本稿では, これらの発光体からの光子収集を改善するために使用可能な各種の技術を概観する. これらの技術は, 微細構造とマイクロキャビティにおける固体液浸レンズから Purcell 増強にまで及ぶ.
- 39 ——— **Kinetic monte carlo study of accelerated optimization problem search using Bose-Einstein condensates**
ボース・アインシュタイン凝縮を使用して高速化された最適化問題探索の動的モンテカルロ法の研究
Kai YAN, Tim BYRNES, 山本 喜久
以前の研究 (ArXiv : 0909.2530) で, 我々は, ボース・アインシュタイン凝縮 (BEC) を使用して最適化問題探索を高速化するための方法を提案した. 本システムは, 最適化問題をイジング模型にコード化し, これを BEC のプロセスにより冷却することで, 問題の解に相当する基底状態のスピン配置を見つける. 本システムでは, ボース粒子の最終状態シミュレーション (FSS) の特性, すなわちボソンの量子的識別不可能性から生じる効果を用いて, 古典的な事例全体で速度向上を提供する. N をシステムにおけるサイトあたりのボソンの数としたとき, 速度向上は典型的には $1/N$ である. 本稿では, 最初に提案シ

システムについてレビューし、イジング模型のボジンの数とサイトの数 M を持つ平衡時間に関するより詳細な数値的検討について述べる。我々は、シミュレートド・アニーリング法に基づく以前の議論と一致して、平衡時間が $\exp(M)/N$ より十分長くなるように変化することを見いだした。提案したシステムの研究のために使用した動的モンテカルロ法の詳細な説明についても議論する。

49 — High performance quantum computing

高性能量子コンピューティング

Simon J. DEVITT, William J. MUNRO, 根本 香絵

大規模な光ベース量子コンピュータに関する最近の提案によってもたらされたアーキテクチャの拡張性により、超大規模な量子情報処理 (QIP) の議論へと移ることが可能になっている。本論文では、高性能コンピューティング (HPC) の量子アナログについて検討する。ここで述べる HPC では、アルゴリズムを動作させ、量子データを共有するために、専用のサーバファームが多くのユーザに利用される。我々は、古典的な HPC の量子拡張としての信頼できるメインフレームモデルと、演算中に量子セキュリティを実現するモデルの双方を導入する。光学的なアーキテクチャのスケールアップ構造は、サーバを基本とした QIP の魅力的な未来へと通じており、ここでは専用のメインフレームを構築および/または拡張して、非常に高度な性能を要求するユーザベースに個別の量子情報処理のための理想的なリソースを提供することができる。

57 — Passive preparation of BB84 signal states with coherent light

コヒーレント光による BB84 信号状態のパッシブな準備
Marcos CURTY, Xiongfeng MA, Hoi-Kwong LO,
Norbert LÜTKENHAUS

Bennett-Brassard による 1984 年の提案 (いわゆる BB84) の量子鍵配送プロトコルの典型的な光学的実施では、送信側はアクティブなソースを使用して必要となる信号状態を生成する。BB84 信号のアクティブな状態の準備は原理的に単純で洗練された解であるが、いくつかのシナリオ、例えば高い伝送速度で動作する実験的な設定では、実際にはパッシブな状態の準備が望ましい可能性がある。パッシブな装置は、通常はパラメトリック下方変換を含んでいる。ここでは、コヒーレント光も BB84 の信号状態のパッシブな生成に適していることを示す。本法は、外部的な駆動素子を必要とせず、単に線形光学部品と光検出器だけを必要とする。結果として得られる鍵レートは、アクティブなソースにより配送されるレートと同等である。

65 — Recursive quantum repeater networks

再帰的量子中継器ネットワーク

Rodney VAN METER, Joe TOUCH, Clare HORSMAN

インターネット規模の量子中継器ネットワークは、物理技術、中継器機能および管理において不均一な性質をもつ。そのため、ネットワークを使用するために必要な古典的制御は、インターネットによるデータ転送と類似した問題に直面する。インターネットの開発中に生じた拡張性と管理に関する多くの問題は、より一貫した方式、柔軟性の改善、冗長な技術的労力の削減で解決されるであろう。量子中継器ネッ

トワークの開発は、現在、独立したシステムを結合する際に同様な重複の危険を冒す段階にある。ここでは、現存する全ての中継器設計で使用可能な統合的枠組みを提案する。新たに出現した古典的な再帰的ネットワークの概念から発展し、データ転送重視から、より一般的な分散コンピューティング要求の枠組みへと再帰的メカニズムを拡張する。量子再帰的ネットワークアーキテクチャの概念を導入する。再帰は、独立したトランジットネットワークを単一中継ノードとして抽象化するとともに、ソフトウェアの階層化を統合し、情報隠蔽とリソース管理を改善するためにリソースのアドレスを仮想化する。本アーキテクチャは、Bell ペアと GHS, W, クラスタ状態のような基本的な分散化状態を含む任意の分散化状態を構築するために有効である。

81 — Phase estimation with photon number constraint

光子個数制約の下での位相推定

林 正人

位相推定問題についての多くの研究では Noon 状態を入力状態として用いる方法が提案されている。理由は Noon 状態を入力状態とした場合、ある点で Fisher 情報量が最大となるからである。しかし、Fisher 情報量が必ずしも達成可能な推定誤差を与えるとは限らない。本稿では、Mini-max 基準に加え、局所漸近 Mini-max 基準を考え、これらの場合に、Fisher 情報量が達成可能な推定誤差を与えないことを示す。さらに、Noon 状態に代わり、漸的に最適な入力状態を光子数に関する制約条件の下で与える。

89 — Information geometric superactivation of classical zero-error capacity of quantum channels

量子通信路における古典的ゼロエラー容量の情報幾何学的な超活性化

Laszlo GYONGYOSI, Sandor IMRE

本稿では、量子通信路におけるゼロエラー容量を超活性化する条件を見出すための根本的に新しい方法を示す。量子通信路のゼロエラー容量は、雑音がある量子通信路を介して完全に伝送できる情報量を表す。量子通信路におけるゼロエラー容量の超活性化により、ゼロのゼロエラー容量と正のジョイントゼロエラー容量をそれぞれ有する 2 つの量子通信路を用いることが可能になる。現段階では、超活性化量子通信路のあらゆる組合せを記述するための理論的枠組みはないが、考えられる組合せは数多く存在するはずである。我々はこの問題のアルゴリズム的解法を提示する。ゼロエラー容量の超活性化を解析するため、我々は量子スーパーボール (quantum superball) と呼ばれる新しい幾何学的表現を導入する。我々の方法は、極めて高い計算コストをかけることなく、量子通信路におけるゼロエラー容量の超活性化を判定するための未知の組合せを発見する最初の効率的なアルゴリズム的解法になる可能性がある。

111 — Test of purity by LOCC

純粋状態であることの、LOCC による検定

松本 啓史

n 個の未知の状態のコピーが与えられて、それが純粋状態か否か検定したいとする。もしも、すべての操作がゆるされるならば、最適な測定は対称部分空間への射影である。測定に用いる操作を LOCC に

限った場合、この最適な測定を精度よく近似できるであろうか？

Regular Paper

Research Paper

115 — On optimization of load-balanced IP routing for hose model

ホースモデルにおける負荷分散・ルーチングの最適化

大木 英司

本論文では、ホースモデルにおいて、発着ノード間のトラフィックを經由させる中間ノードを設け、トラフィックを中間ノードに分散する割合を制御する IP 負荷分散ルーチング方式、Fine Two Phase Routing (F-TPR) 方式について述べる。従来の Two Phase Routing (TPR) では、発着ノード p から送出されたトラフィックは、第 1 フェーズで、中間ノード m に発着ノードペア (p, q) に依存することなく全て k_m の割合で分散され、第 2 フェーズで、中間ノード m から着ノード q へ転送される。F-TPR では、中間ノード m にトラフィックを分散させる割合を、 (p, q) 毎に独立に $k_m^{p,q}$ としてきめ細かく設定する。最適な $k_m^{p,q}$ を得るために、ネットワーク輻輳率を最小化する数理計画問題として定式化する。しかし、ホースモデルに対しては、全てのとり得るトラフィックの範囲に対して、最適化問題を解くことは不可能であるので、2 次制約計画 (QCP: Quadratic Constraint Programming) 問題として扱う。性能評価の結果、F-TPR は、TPR と比較して、大幅にネットワーク輻輳率を削減できることを示す。F-TPR は、理想的な経路制御を行う MPLS-TE に近いルーチング性能を提供できることを示す。