

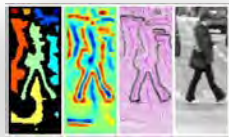
革新的研究開発推進プログラム (ImPACT)
**「量子人工脳を量子ネットワークでつなぐ
高度知識社会基盤の実現」**

プログラム・マネージャー
山本 喜久

量子人工脳・量子シミュレーションの研究開発

背景

組み合わせ最適化問題は、現代社会の様々な分野で現われる重要な問題であるが、現代コンピュータでは効率よく解くことのできないNP困難クラスに属している。



創薬・生命科学

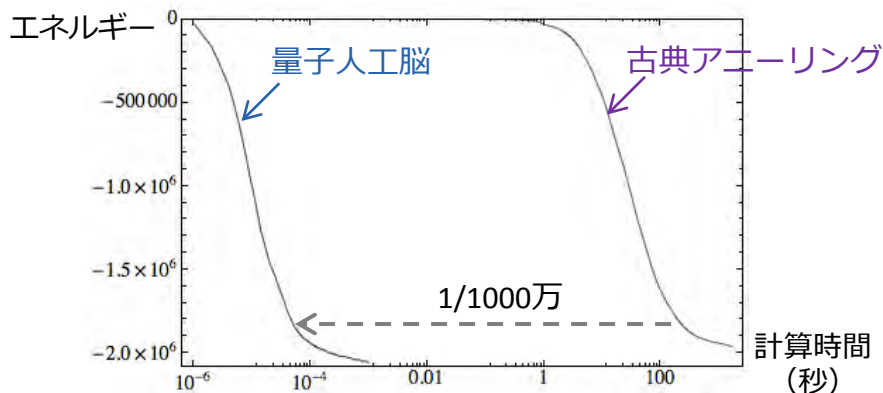
無線通信

機械学習

ソーシャル・ネットワーク

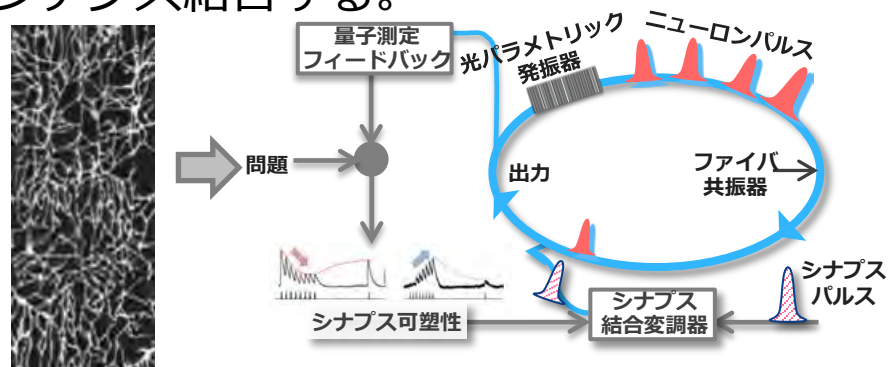
インパクト

NP困難MAX-CUT問題（ノード数20,000の完全グラフ）を現代コンピュータ（古典アニーリング）と比べ、1/1000万の時間で解けることを計算機実験で確認した。

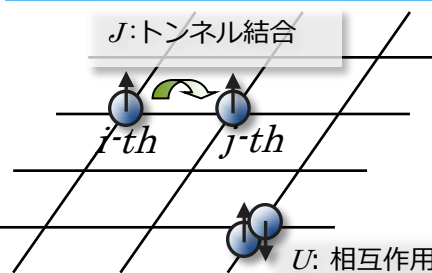


アイデア

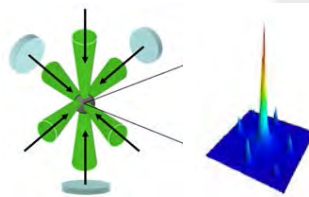
パラメトリック発振器に同時に発生される多重光パルス1つ1つをニューロンとみため、これを量子測定フィードバック回路でシナプス結合する。



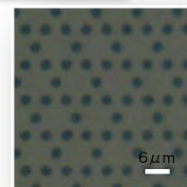
古典イジングモデルから量子スピンモデルへ



材料研究者のインスピレーションに頼らない新機能物質探索を可能にする。



冷却原子



励起子ポラリトン



超伝導量子回路

量子セキュアネットワークの研究開発

背景

現代暗号はその安全性が盗聴者の計算能力に依存しているため、常に改訂や更新が必要である。また、複雑なアルゴリズムで信号処理をするため遅延が避けられず、ネットワークの相互接続も困難である。

漏えいが致命的となる情報

- ・ 個人の医療情報、遺伝子情報、犯罪履歴
- ・ 国家安全保障

アイデア

異なる通信システムを
跨ぐシームレスな
暗号通信を実現

暗号方式の大幅な簡素化

暗号化
平分と鍵の単純な足し算
 $C = X \oplus K$

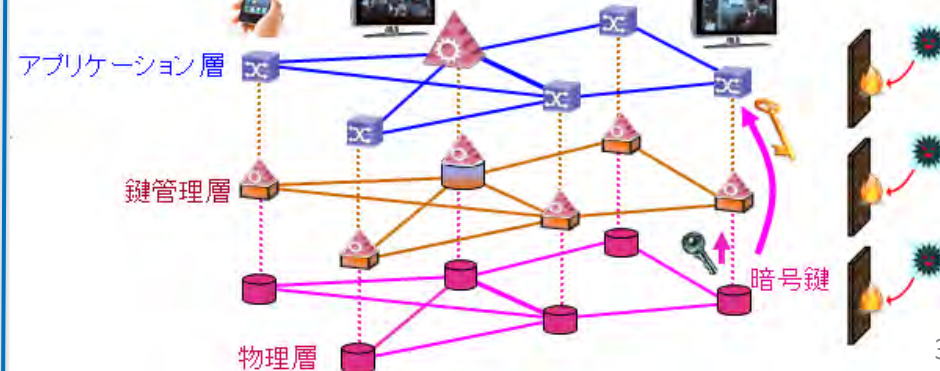


Decoy BB-84方式 対 RR-DPS方式

	Decoy-BB84方式	RR-DPS方式
原理	<u>読まれたら気付く</u> 不確定性原理	<u>そもそも読まれない</u> 波束の収縮
回線の雑音 (ビット誤り率)	~11%まで許容	~35%まで許容
最低限必要な通信量	~1,000,000ビット	~1,000ビット
変調方式	位相・振幅変調を併用	位相変調のみ
復調方式	固定遅延	可変遅延
光源の品質管理	多くのパラメータを保証 する必要あり	単一のパラメータを保証する だけでよい
現状	実用化段階	研究段階

ネットワークアーキテクチャー

物理層の量子鍵配送で生成された安全鍵を
鍵管理層へ吸い上げ、アプリケーション層
で供給する



プログラムの全体構成と達成目標

量子人工脳

サイト数5000~10,000のコヒーレントイジングマシーンを、光ファイバーパラメトリック発振器とFPGA量子フィードバック回路により実現する。このマシンに脳型情報処理を導入して、様々なNP完全・NP困難問題への適用性を実証する。

量子シミュレーション

強相関物性理論と材料開発に有用な量子シミュレータを、冷却原子、超伝導量子回路、半導体素子という3つの実験系を用いて開発し、現代コンピュータを用いた大規模科学計算に対する優位性を示す。

量子セキュアネットワーク

将来技術でも解読できない安全性と高い相互接続性を持つ量子セキュアネットワークを都市圏に構築し潜在ユーザへのサービス運用を実現する。高雑音耐性化に向けたRR-DPS方式とグローバルネットワーク化に向けた適応的物理レイヤ暗号技術の原理を実証し、衛星通信・移動体通信分野へ用途を拡大する。

実施体制

- ▶ 山本PM
- ▶ プロジェクト顧問 (甘利、伊澤、上村)
- ▶ 運営委員会 (宇都宮、合原、佐々木、小芦、樽茶、永長)
- ▶ オブザーバー：日立、東芝、NEC、富士通、三菱電機、NTT、NTTデータ、シャープ

計算機科学
(組み合わせ最適化問題)
NII(河原林)

量子人工脳

全体総括
量子論
ベンチマーク

NII(宇都宮)

脳型情報処理
シナプス可塑性
ディープラーニング

東大生研(合原)

OPO技術
量子フィードバック技術
実装技術

NTT(武居)、阪大(井上)
スタンフォード大(Byer, Fejer, Mabuchi)

量子セキュアネットワーク

ネットワーク・
アーキテクチャ
システム評価

NICT(佐々木)

QKD技術
デジタル・
コヒーレント技術

NEC(松尾)
東芝(杉田屋)
東北大(中沢)
学習院大(平野)

新原理QKD

東大(小芦)
北大(富田)
東工大(松本)

量子シミュレーション

スピンモデル
ハバードモデル
開放系量子モデル

阪大(小川)

超伝導回路技術
冷却原子技術
光・半導体技術

理研(樽茶、蔡、中村)
京大(高橋)
ウルツブルグ大(Forchel)

新原理
シミュレータ

公募研究

現代暗号
(解読の危険性、
複雑な信号処理)
三菱電機(松井)

強相関物理
(非平衡・開放系・
ダイナミクス)
理研(永長)

- 3つの出口 (計算機科学、強相関物性、現代暗号) の国内第一者をオポーネントとしてチーム内に配置
- 世界的レベルにある理論および実験グループでチーム構成

利害関係・外国機関に対する選定理由

量子人工脳

◆国立情報学研究所

量子人工脳（コヒーレントイジングマシン）が発明され、基本特許および関連特許5件を有する。光パラメトリック発振器の量子論を持ち、空間伝搬型光パラメトリック発振器を有する国内唯一の研究機関である。長年スタンフォード大学との共同研究の実績を持ち、東大生研、NTT、阪大グループを束ねて量子人工脳プロジェクトの全体統括を行なう上で最適な機関であり、指名する。

◆スタンフォード大学

LiNbO₃導波路デバイス、多重パルス・パラメトリック発振器、量子フィードバック制御回路の研究開発で過去20年間にわたり世界をリードしてきた機関である。ImPACTプロジェクトに取り込むことにより、研究開発が加速され、我が国の産業競争力の発展に資すると判断する。

量子シミュレーション

◆理化学研究所

量子シミュレータの出口の最有力候補は材料物性科学であるが、量子デバイス製造技術、評価技術、強相関量子論の国内第一人者が結集した研究機関である。量子シミュレーションの研究開発チームを全体統括するのに最も適した機関であり、指名する。

◆ウルツブルグ大学

量子井戸マイクロキャビティをベースとした励起子ポラリトンデバイスを作製する技術において、世界トップレベルにある。量子シミュレータ開発の道筋を明らかにする上で欠かせない。