

量子ネットワークにおける, マルチホップEPRペアの保持を目的とした 量子メモリの配置法

総合大会

立命館大学 大学院 情報理工学研究科

森田 哲司

立命館大学 情報理工学部

上山憲昭

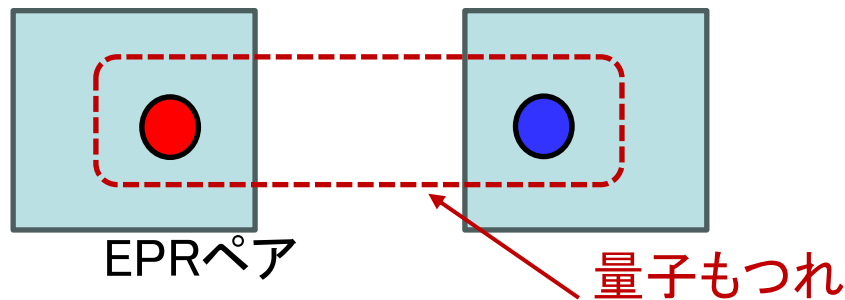
背景 量子ネットワークとは

■ 量子ネットワーク

- 量子アプリケーションを実現するために必要
- 量子アプリケーションの例: 分散量子コンピューティング, 量子センシング

■ 量子ネットワークの役割

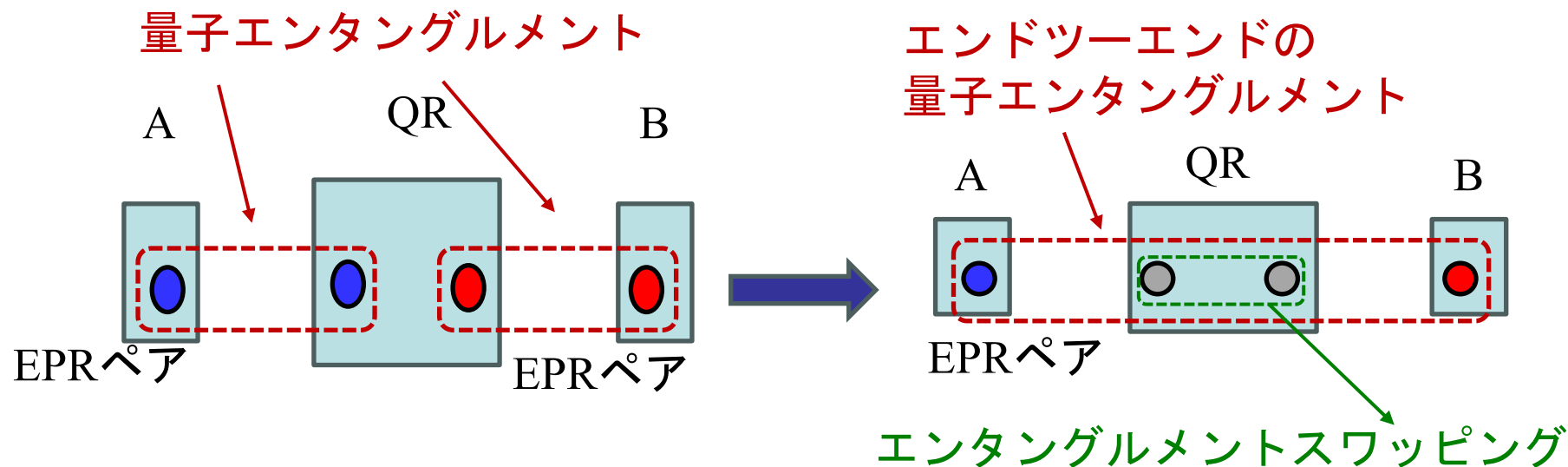
- 量子情報の送受信
- 送受信のためには, 任意のノードにEPRペアと呼ばれる資源を配布
 - 配布には量子リピータを使用



背景 量子ネットワーク: 量子リピータ

■ 量子リピータ

- 離れた場所にEPRペアを生成するために必要な装置



背景 量子ネットワーク: 量子メモリ

■ 量子メモリ

- 一定時間量子の状態を保存可能
- 通常量子の状態は時間で劣化

■ 量子メモリの特徴

- 効率向上に貢献
- 用途は多いが、貴重でリソースは有限



■ メモリの使用法

- EPRペアをパスとして使用する方法が提案される

研究目的・課題

■ 課題

- 量子メモリは有限なので有効活用が必要
- 量子メモリの使用法を定義し, 量子メモリを有効活用
- 量子メモリの配置が量子ネットワーク上での生成コストや性能を左右

■ 目的

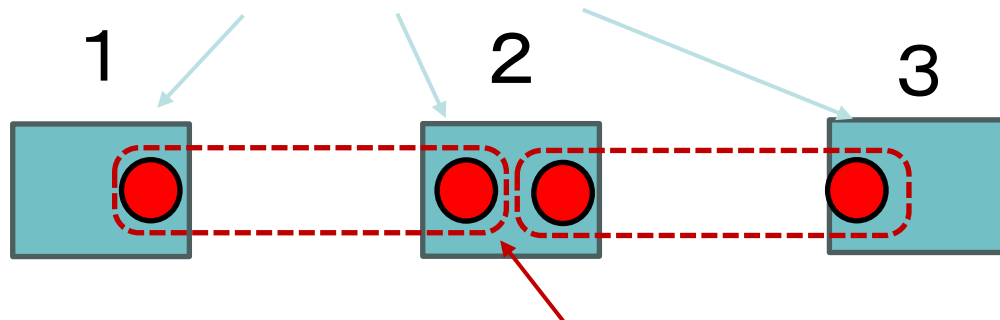
- 量子ネットワークの量子メモリの効果的な配置法を提案
 - 最適化目標: 使用EPRが閾値を満たすまでの所要時間の最小化

提案方式

提案方式: ノードの区別(1/2)

- メモリが配置されない場合
 - スワップのみ可能

スワッピングのみを行うノード

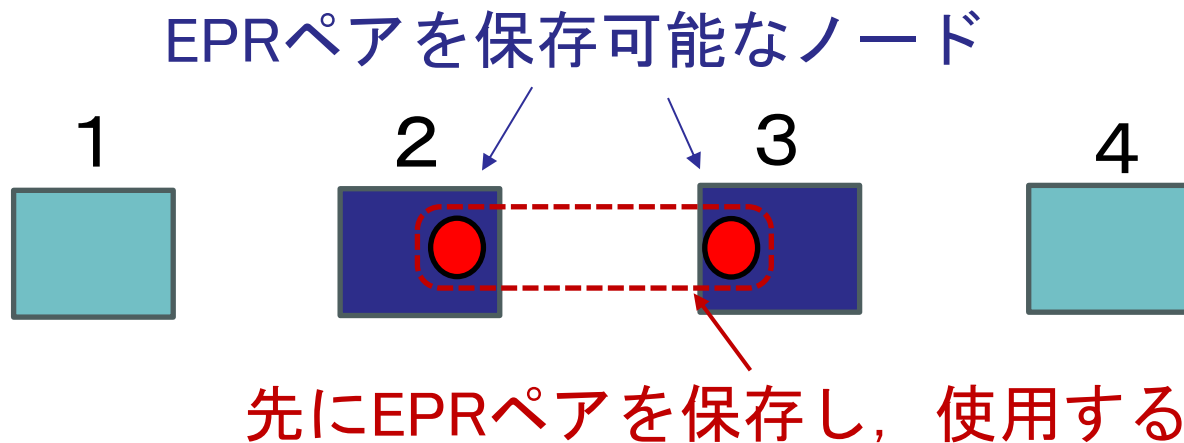


エンタングルメント スワッピング

(a) スワップのみを行うノード

提案方式: ノードの区別(2/2)

- メモリが配置される場合
 - EPRペアを保存可能になる



(b) スワップと保存を行うノード

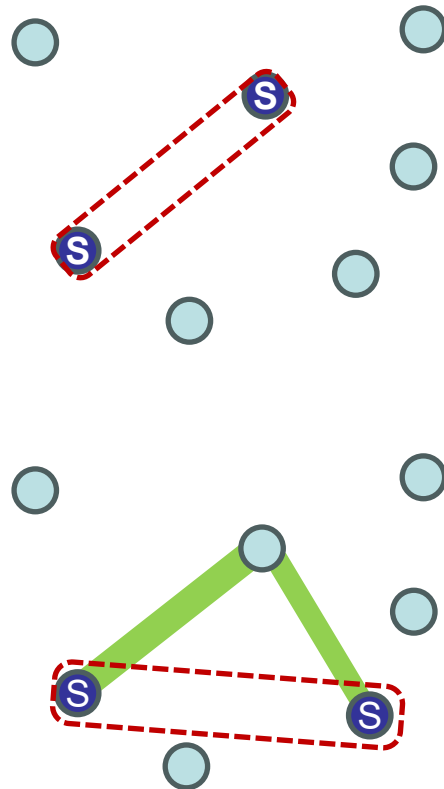
提案方式: 既存研究との違い

■ 既存研究

- シングルホップでの量子メモリの配置
- 平均遅延時間を最適化関数として定式化
- GAによる最適化

■ 提案手法

- マルチホップでの量子メモリの配置を考慮
- パラメタを調整
- 最適化関数を用いて最適化



提案方式: 最適化関数

- 平均遅延時間 T_{av}
 - K : ユーザペアの総数
 - $T_{av,k}$: EPR ペア生成に要する平均遅延時間
 - なぜ短くなるかの場合分け
 - $N_{p,k}$: 精製処理の反復回数

$$T_{av} = \frac{\sum_{k \in K} 2 \cdot T_{av,k} \cdot N_{p,k}}{K}$$

提案方式: 最適化手法

■ 最適化手法

- 遺伝的アルゴリズムを適応
- 最適化問題を解くための手法, 自然界の生物の進化を模倣したもの

■ 実行手順

- 初期集団の作成: S 個の配置場所をランダムに選択
- 適応度の計算: T_{av} を計算
- 遺伝子の選択: エリート保存で選択
- 新たな遺伝子集団を作成: 突然変異と交叉を実行
- 終了条件: 一定の世代数になるまで反復

性能評価

性能評価: 配置手法

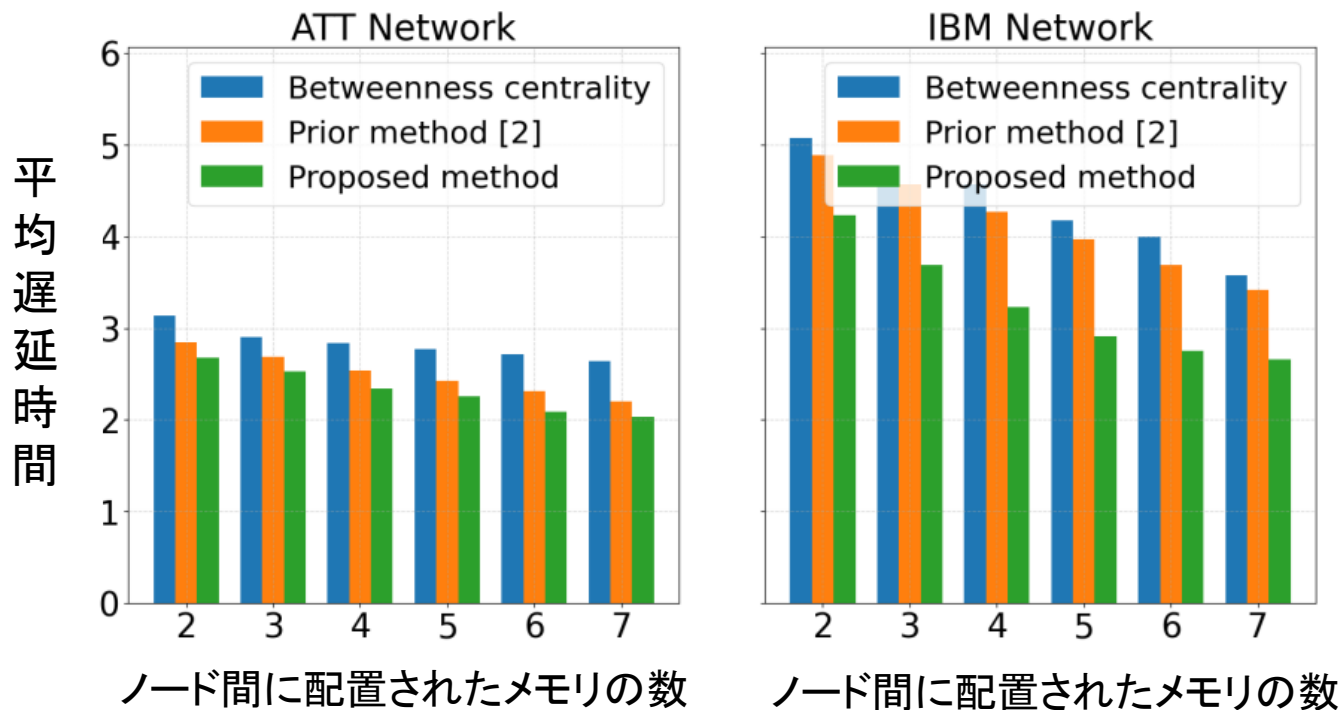
■ 配置手法

- 媒介中心性配置: 媒介中心性が高い S 個のノード間に, 量子メモリを配置
- 既存手法: シングルホップの S 個のノード間に量子メモリを配置
- 提案手法: マルチホップの S 個のノード間に量子メモリを配置

■ 配置トポロジ

- ATT, IBM の実トポロジでの性能評価

性能評価： 比較結果



- マルチホップになったことで組み合わせの数が増え、遅延時間の短縮に寄与

まとめ

■ まとめ

- 量子メモリの最適配置法について提案
- 既存手法と比較して、提案手法の有効性を提示

■ 今後の予定

- EPRペアの生成プロトコルや保存方法、メモリの使用法を、より現実的なモデルに変更
- EPRペア消費量など別の評価軸も含めて評価

ご清聴ありがとうございました