

■無線品質を現行の量子アニーリングマシンで高速・高精度に 推定する技術

2023年（令和5年）

電波伝搬シミュレーションを高速・高精度に推定可能とする技術を開発し、サイバー空間とフィジカル空間の連携による無線システムのリアルタイム制御実現に一步近づきました。

NTT 株式会社ニュースリリースはこちら：

<https://group.ntt.jp/newsrelease/2023/10/25/pdf/231025ca.pdf>

世界で初めて超高速と高精度を両立する電波伝搬シミュレーションの実現アルゴリズムを開発し、実際の量子アニーリングマシン上で有効性を実証しました。これにより、自動運転をはじめとした 6G/IOWN 時代に求められるすべての端末がつながり続ける無線通信サービスの実現への大きな寄与が期待できます。本技術を通じ、ネットワーク上に構築されたサイバー空間上で個別の端末に対するさまざまな無線通信システムの無線通信品質推定を msec オーダのリアルタイム性と誤差数 dB 程度となる高い精度で行い、フィジカル空間上での無線通信システムの制御情報として活用することで、ユーザー一人一人にリアルタイムに最適な無線通信品質を提供することが可能となります。

1. 背景

サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムにより経済発展と社会的課題の解決を両立する人間中心の社会が Society5.0 として提唱されています（*2）。次世代の移動通信システムにおいても、時々刻々と複雑に変化する無線通信品質をリアルタイムにサイバー空間上で高精度に推定し、フィジカル空間でのネットワーク制御に活用することで、6G/IOWN 時代に求められる高速・大容量かつ高信頼でつながり続ける無線通信サービスを実現することが検討されています。

無線通信品質推定のための代表的なシミュレーション手法であるレイトレース法は、電波の通り道の探索や反射や回折などの電波の作用について複雑な計算を行う必要があるため、膨大な計算時間が必要となる課題がありました。この課題に対して、2022年12月にNTTと電機大は、世界で初めてアニーリングマシン（*3）上で動作する伝搬 QUBO（*4）モデルを考案し、従来のノイマン型計算機（*5）上で実行するレイトレース法と比べて 100 万分の 1 以上の計算時間を短縮させる技術を確立しています（*6）。上記技術では電波の散乱を全方向に対して一様に散乱する完全拡散反射モデルが使われおり（図1）、実際の環境が再現されたサイバー空間上において面的な広がりを持った無線通信エリア推定を超高速に行うことを可能にしました。しかし、次世代移動通信（6G）のなかで検討が進められている場所・時・人に合わせた端末個々に対して所望の品質を確保するための柔軟なネットワーク制御を行うには、高速性を維持したまま場所固有の無線通信品質推定を高い精度で実現することが求められます。そのためには、実際の環境における電波の散乱について、図1に示す通り壁面などに入射する角と出射する角の関係性を伝搬 QUBO モデルに取り込む必要がありました。

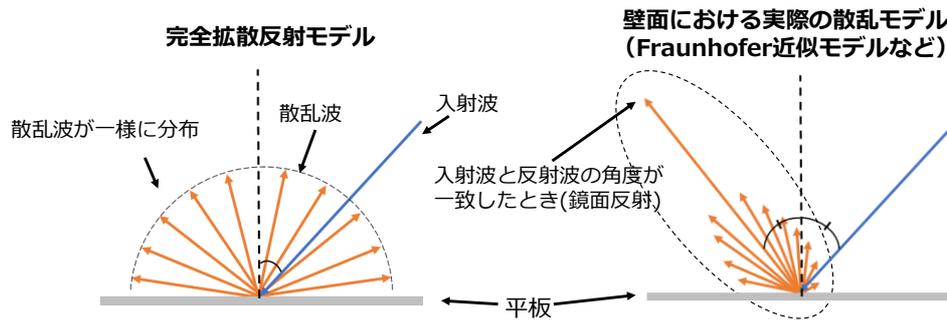


図1 壁面における電波散乱モデル

2. 技術の概要

サイバー空間とフィジカル空間が高度に融合したシステム上で求められる無線通信品質推定は、msec オーダの高速性と誤差が数 dB 程度となる高精度化が両立したものです。さらに実用化のためには現行のアニーリングマシンで提供される量子ビット数の範囲内で計算が実行できなければなりません。

NTT と電機大はかねてより品質をエネルギーの観点に読み替えることによって無線通信品質を高速にシミュレーションできる新しい推定手法を開発してきましたが、今回、これら 3 つの課題を同時に解決するアニーリングマシン上で実行可能な新たな伝搬 QUBO モデルを考案しました。これにより従来技術で実現されていたリアルタイム性を保ったまま、ピンポイントな場所に対する無線通信品質推定の高精度化を両立させることに成功しました。また、疑似量子アニーリングによる動作検証のみならず、疎結合 (*7) 5640 量子ビットの量子アニーリングマシンにて考案した伝搬 QUBO モデルを実際に動作させることに成功し、アルゴリズムの有効性を実機で確認しました。

今回の技術ポイントは以下の 2 点です。

(1) 無線通信品質推定高速・高精度化技術

建物壁面などに対する電波の散乱現象を模擬できる Fraunhofer 近似を QUBO モデルへ落とし込むことに成功しました。これにより実環境が再現されたサイバー空間での無線品質推定精度を大幅に向上できました。電波の通り道が複雑な 50m 四方程度のエリアに相当する計算モデルで計算を行ったところ、散乱回数 3 回の条件のとき厳密解となるレイトレース法に対する従来技術の誤差は損失量の小さい上位 3 経路で 10dB 以上となっているものの、本技術では上位 2 経路で 1dB 以内の誤差が実現できていることがわかりました (図 2)。この結果は、端末の移動による通信品質の変動を安定制御しようとするときに必要な精度を満足できることに相当します。なお、本技術は従来技術と同様にノイマン型計算機でのレイトレース計算に対して 100 万分の 1 以上に計算時間が短縮できており、高速性は維持できていることを確認しています。

本技術による伝搬経路推定例

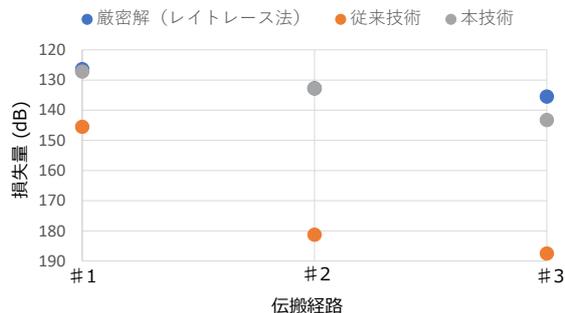
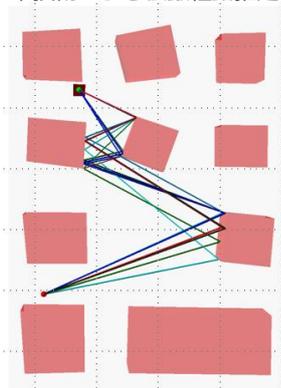


図2 本技術による電波の通り道推定例と推定結果の比較

(2) 計算に必要な量子ビット削減技術

現在の量子アニーリングマシンで使うことのできる量子ビット数は、本技術の大規模な計算実行時に十分な量ではないため、利用可能なレベルまで量子ビットを削減する技術を確立することが必要でした。そこで、建物構造に対する電波の性質を考慮することで、電波の通り道の組み合わせ数爆発を抑制する技術を確立しました。実際の都市モデル（面数 450 面）を用いて散乱回数 7 回の大規模計算を行なったところ、必要量子ビット数を 25 分の 1 に削減し、現行のアニーリングマシンで提供される量子ビット数以内に収めることができました。

3. 本技術が提供する価値

リアルタイム性と高精度化を両立した無線通信品質推定が現行のアニーリングマシン上でできるようになったことで、無線端末 1 台 1 台に対して周波数、時間、空間といった無線リソースの最適化を実プロダクトの量子ビット提供レベルで実現できる道が拓けました。これにより、端末単位での柔軟な電波環境の制御を行うことで、将来的には車両 1 台 1 台の安心安全の徹底が求められる自動運転に対するネットワーク支援のような新たなモビリティサービスの創出が期待できます。

4. 各機関の役割

NTT：量子アニーリングによる無線通信品質推定のコンセプト考案とシミュレーション評価

電機大：量子アニーリングを活用したアルゴリズム設計

5. 今後の展開

今後は 6G でめざす信頼度 99.99999%を達成するための技術開発を進めます。さらに、本アルゴリズムを無線通信ネットワークに組み込み、高速・大容量・低遅延で繋がり続ける無線システムの実証を進め、2030 年目途での技術確立をめざします。また、人々の暮らしをより豊かにするアプリケーションを安心安全に活用できる社会の実現など、つながり続けるユースケースの飛躍的拡大に貢献していきます。

<用語解説>

*1 「NTT R&D FORUM 2023— IOWN ACCELERATION」公式サイト

URL : <https://www.rd.ntt/forum/>

*2 Society5.0

サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会のこと

*3 アニーリングマシン

最適化問題の近似解を求めることに特化したコンピュータの一種

*4 QUBO

2 次式の値が最小になるように各変数に 0 と 1 のバイナリ変数割り当てを求める 2 次多項式問題

*5 ノイマン型計算機

CPU と記憶装置に格納された命令を順次呼び出し、一つずつ実行する方式で構成される計算機

*6 リリース「世界最高速度な無線通信エリア推定技術の開発に成功」

<https://group.ntt.jp/newsrelease/2022/12/05/221205a.html>

*7 疎結合

アニーリングマシンを構成する要素であるイジングモデルにおいて、スピンの特定のスピンのみとしかつながっておらず、一部のスピン間には相互作用のない状態であること