

量子コンピューティング基盤を活用した新たなネットワーク最適化手法を商用導入

～世界初！位置登録信号とページング信号の同時最適化手法を開発～

株式会社NTTドコモ（以下、ドコモ）は、量子アニーリング技術を活用した量子コンピューティング基盤^{※1}で、新たなネットワーク最適化手法「TA-List^{※2}最適化アルゴリズム」（以下、本技術）を世界で初めて開発^{※3}し、商用の基地局で導入しました。本技術は、ネットワークでお客さまがご使用の端末（以下、端末）の位置を把握するために端末からネットワークに送信する位置登録信号と、着信時にネットワークから端末に送信するページング信号の両方を同時に最小化するものです。本技術の適用により、最大で位置登録信号 65.3%、ページング信号 7.0%を同時に削減することに成功しました。

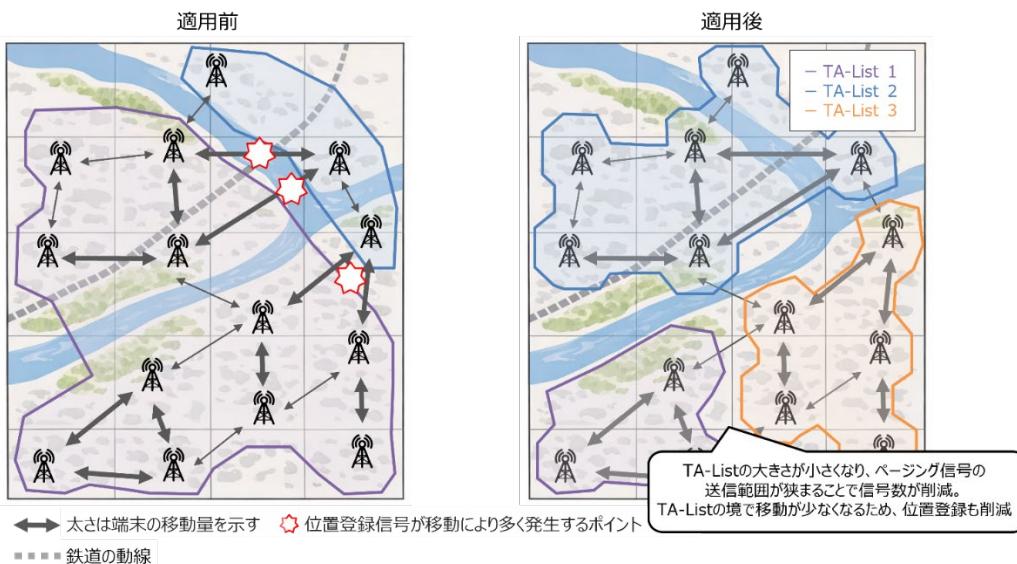


図1. 本技術の導入イメージ

端末が位置登録をするエリアの情報はTA-Listに登録されており、端末が現在のTA-Listに登録されていないエリアに移動すると位置登録を行うため、各エリアの範囲を広げるとエリア跨りの頻度が減り、位置登録信号も減少します。一方、エリアが広がることでエリア内にある基地局の数は多くなるため、同一エリアにおけるページング信号が増加します。TA-Listの変更は基地局の増加に伴って組み合わせの数が膨大になり、従来のコンピューターでは位置登録信号とページング信号の両方を最小化する解（TA-Listと基地局の組み合わせ）を導出することが困難でした。ページング信号の負荷と位置登録信号の負荷はエリアによって異なり、本技術の導入により、位置登録信号とページング信号のどちらを優先的に削減するかを選択することが可能となります。さらにもう一方の信号も最小化させることができます。その結果、制御信号を削減し無線リソースを増加させることで通信速度の向上につながります。

ドコモは今後も、量子コンピューティング基盤の研究開発に取り組み、活用技術の進化とともにさまざまな分野の課題解決に取り組んでまいります。

※1 NTT ドコモ「[サービスの最適化をめざし量子コンピューティング基盤を開発](#)」

※2 ページング信号を送るエリアである TA (Tracking Area) の集合帯であり、複数の基地局のカバーエリアをまとめた端末の位置を管理するエリアの単位

※3 2026 年 2 月 13 日時点、ドコモ調べ

本件に関するお問い合わせ先

株式会社 NTT ドコモ R&D 戦略部

社会実装推進担当

ML : xt2_quantum-pj@ml.nttdocomo.com

「TA-List 最適化アルゴリズム」の概要

1. 携帯電話の在圏場所を把握する仕組み（TA と TA-List の設計）

携帯電話がネットワークに接続いつでも着信できる状態を維持するためには、ネットワークが端末の現在位置を把握する仕組みが不可欠です。この仕組みは主に、「TA」と「TA-List」いう二つのエリア概念によって管理されています。

TA は複数の基地局からなるグループで、電話やメッセージを端末に着信させる必要がある場合、ネットワークは最後に端末が通信した TA 内の基地局に対し一斉に呼び出し信号を送信します。この呼び出し信号をページング信号と呼びます。

TA-List は複数の TA からなるさらに大きいグループで、端末が最後の通信の後、別の TA に移動している場合、最後に端末が通信した TA にページング信号を送信しても端末は応答できません。この場合、その TA を含む TA-List 内の全基地局にページング信号を再送することで端末からの応答を待ちます。端末が TA-List の外に出た場合は、端末自らが位置登録信号を発し、別の TA-List に移動したこと通知することでネットワークが端末の位置を把握します。

従来のネットワーク運用における課題は、この位置登録信号とページング信号の量がトレードオフの関係にあることです。TA-List を小さくすると位置登録信号が頻繁に発生し、大きくすると着信時のページング信号が広範囲に及びます。特に、スマートデバイスや IoT 機器の普及によりページング信号のデータ量は増加傾向にあり、基地局設備への処理負荷が増大しています。

2. TA-List 割当における課題と最適化手法

本技術は、通信ネットワークの基地局運用の最適化をめざすものです。具体的には、端末の移動データや着信データなどの大量の統計データをもとに、位置登録信号数とページング信号数を最小化するための最適な基地局のグループ（TA と TA-List）を決定します。

ドコモは、2024 年に TA-List 内の TA の配置を最適化する TA 最適化アルゴリズムを開発しました^{※1}。TA 最適化アルゴリズムはページング信号の削減を可能とするものの、TA-List を変更しないため、位置登録信号の最適化を行うことができませんでした。また従来の移動通信における端末位置管理に関する問題は、「位置登録信号」と「ページング信号」の量がトレードオフの関係にある点でした。TA-List のエリア設定を小さくすれば位置登録信号が頻繁に発生し、大きくすれば着信時のページング信号が広範囲に及び、いずれもネットワーク負荷増大の原因となっていました。ネットワーク負荷が最小になるように最適な TA や TA-List を構成する事は、TA 及び TA-List と基地局の設定の組み合わせが指数的に増大するため、従来のコンピューターでは困難でした。

ドコモでは、この課題を解決するため、量子アニーリング技術を活用し、ページング信号と位置登録信号を同時に最適化する「TA-List 最適化アルゴリズム」を開発しました。これにより、トレードオフの関係にある両信号について最適なバランスを調整することが可能になりました。この最適なバランスとは、着信時のページング信号を抑えつつ、かつ人が多く移動する動線沿いなどでは位置登録信号を抑制する最適な TA および TA-List を自動的に設計できることを意味します。エリア特性や端末の移動状況により、位置登録信号とページング信号のどちらを優先して削減すべきかが異なるため、これらのバランスを考えた最適化が重要になります。

TA-List 最適化では、組み合わせ最適化において課題となる両信号数を最小化する問題を定式化し、アニーリング型量子コンピューターで解くことができる QUBO 形式^{※4}に変換したのち、量子アニーリング技術による求解を行いました。その結果、膨大な計算量を要する最適解の探索が、わずか 5 分程度という短時間で可能になり、全国規模へのスケールアップを実現しました。さらに、ネットワーク運用上の制約（例：図 1 の鉄道などの重要動線に TA-List の境目を置かない）も問題設定に組み込むことで、鉄道の動線に沿って TA-List が形成され、同時に発生する位置登録信号が減少し、ネットワークへの負荷を抑制することができます。

3. 本技術の導入結果

本技術は全国への適用が進んでいますが、特定エリアに本アルゴリズムを適用した結果、顕著な改善が見られました。特に、端末が TA-List を跨いで移動する際に発生する位置登録信号数が、1 日のピーク時の値がネットワーク適用後に 65.3% 削減するという大きな効果を確認しました。同時に、着信時に基地局から端末に送信されるページング信号数（基地局平均）についても、1 日のピーク時の信号数が 7.0% 削減されることを確認しました。通常、位置登録信号を削減するとページング信号が増加する関係にありますが、本技術の最適化の効果により両方の信号を同時に削減することができました。これらの制御信号の削減によって空いた無線リソースをお客様の通信に利用することにより、通信速度の向上が期待できます。

今回量子コンピューティングが、ネットワークの運用に大きな貢献をすることが確認できました。今後も、量子コンピューティング基盤の研究開発に取り組み、社会のさまざまな課題解決に取り組んでまいります。

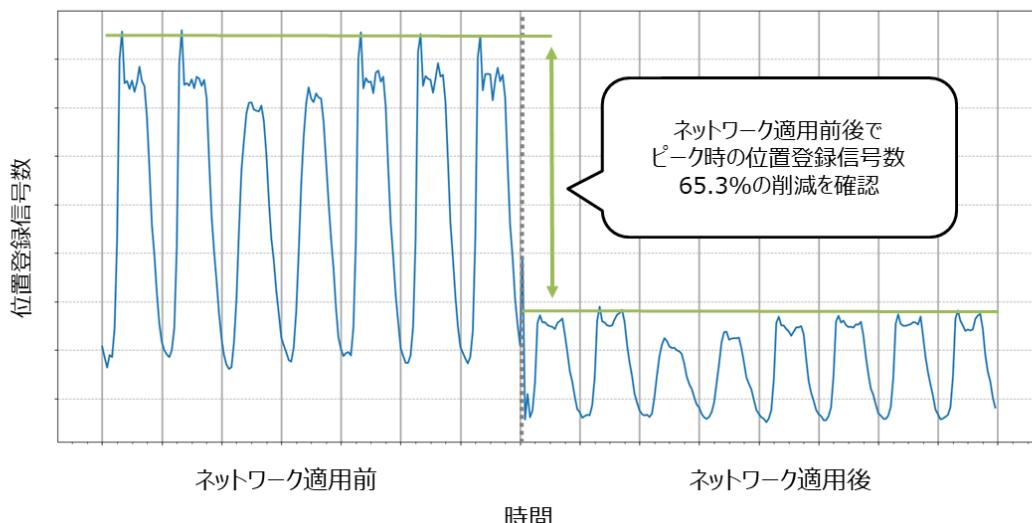


図 2. 最適化結果のネットワーク適用時の位置登録信号数の変化

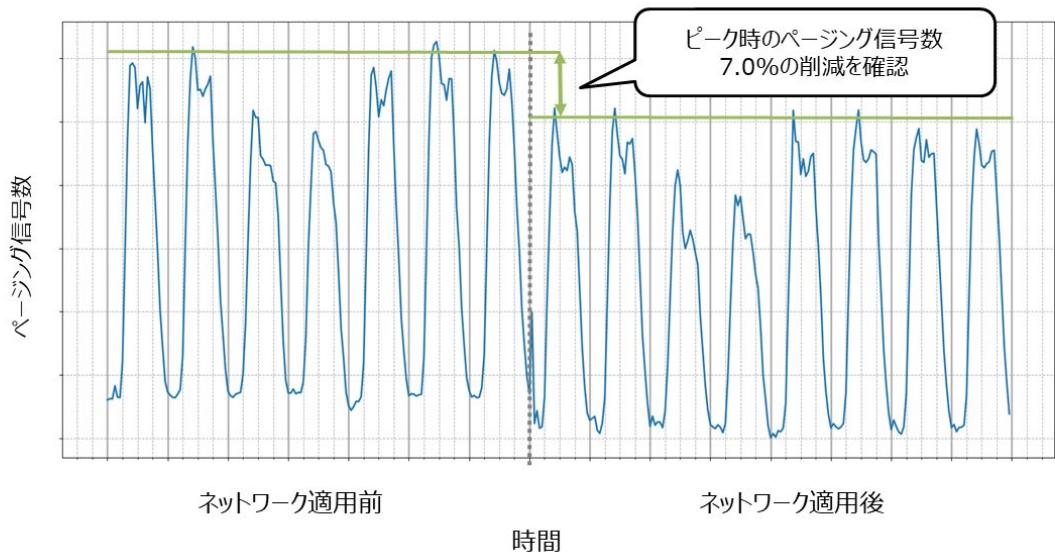


図 3. 最適化結果のネットワーク適用時のページング信号数の変化

※4 組み合わせ最適化問題を、0 または 1 をとるバイナリ変数の二次形式として表現したモデル。QUBO 形式へ変換することで、アニーリング型量子コンピューターで問題を解くことができる。