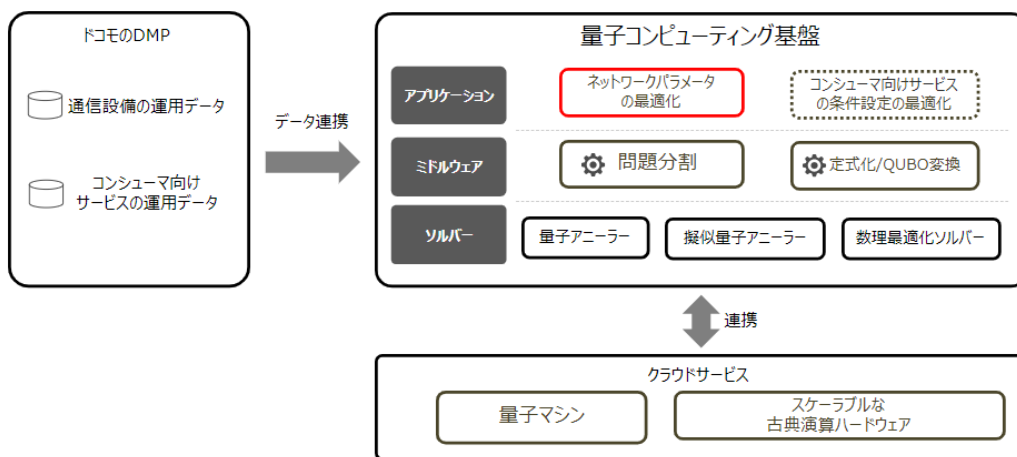


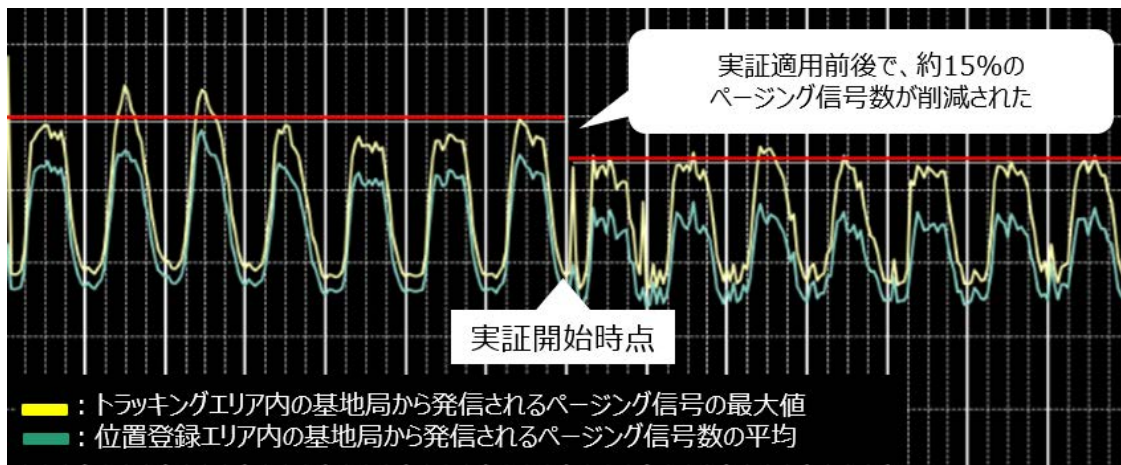
サービスの最適化をめざし量子コンピューティング基盤を開発 ～7月から通信サービスの最適化に向け基地局への適用を開始～

株式会社NTTドコモ（以下、ドコモ）は、ドコモが提供するサービスの最適化をめざし、次世代のコンピューティングリソースとして期待される量子コンピューター^{※1}に着目し、量子アニーリング^{※2}技術を活用した量子コンピューティング基盤（以下、本基盤）を開発しました。まずは、本基盤を通信サービスの最適化に向けて2024年7月から順次全国の基地局へ適用開始します。



【図1. 量子コンピューティング基盤の概要】

ドコモは本基盤を活用し、基地局への負荷軽減および着信集中時の混雑緩和を実現します。具体的には、ご利用するお客さまの端末へ基地局から送信するページング信号^{※3}の信号数を削減するもので、量子コンピューターを用いたページング信号を削減するアルゴリズムの開発は世界初^{※4}となります。また、本基盤の有用性を検証するために、東海、中国、九州エリアの基地局において実証実験を行い、最大15%のページング信号を削減したことを実証^{※5}し、確認しました。これは、着信集中時に現在の約1.2倍多い端末数を接続できることに相当します。



【図2. 実証実験によりページング信号数が削減された様子】
(縦軸：ページング信号数、横軸：日付（実証実験の前後1週間）)

モバイル通信は、お客さまの端末の着信を可能とするために、基地局からお客さまのスマートフォンなどの端末にページング信号を発信し、端末からの応答を得ることで位置を把握しています。そのページング信号のデータ量は増加傾向にあり、端末からの応答がない場合は、より広い範囲で再送を繰り返す必要があることに加え、昨今スマートウォッチや IoT 機器などの普及にともない、ページング信号増大による基地局設備への負荷が課題となっています。

この課題を解決するために、量子コンピューティング技術を用いた本基盤を活用し、従来のコンピューターでは求解できない規模のデータ処理を可能とすることで、ページング信号の削減を実現します。具体的には端末がどの基地局で終話・着信したかを記録した大量のログデータからなる統計データをもとに、まとめてページング信号を送る基地局のグループ（以下、トラッキングエリア^{※6}）の最適化を行います。量子コンピューターを活用することで、その特性を活かし、基地局全ての組み合わせに対して同時にページング信号数を予測できるため、膨大な組み合わせの中からより少ないページング信号数で端末を発見するための最適なトラッキングエリアを短時間で割り出すことが可能になります。これにより、信号数を最小限に抑え、基地局のリソースに余裕をもたせ、着信集中時においても通信に影響がでないよう通信品質の安定性に貢献します。

今後、本基盤を通信領域だけでなくドコモが提供するさまざまな領域のサービスへ展開することで、快適なサービスの提供をめざしてまいります。



【図 3. 量子コンピューティング基盤の活用イメージ】

- ※1 量子コンピューター：原子などの物質を構成する「量子」が持つ「重ね合わせ」などの特性を利用し、並列計算を可能にすることで、従来のコンピューター以上の速度・規模の情報処理を可能にするとされる次世代コンピューター
- ※2 量子アニーリング：量子揺らぎを利用して最適化問題を解くアルゴリズム
- ※3 ページング信号：モバイル通信における着信時、基地局が端末の所在を把握するために端末に向けて発信する信号。端末から基地局への応答によって、所在の把握が完了する。

※4 2024年6月27日時点、ドコモ調べ

※5 別紙2に実証実験の詳細を記載する。

※6 トラッキングエリア：端末に向けてページング信号をまとめて発信する、基地局のグループ

本件に関するお問い合わせ先

株式会社 NTT ドコモ クロステック開発部

FinTech 技術開発担当

ML : xt2_quantum-pj@ml.nttdocomo.com

量子コンピューティング基盤の概要

1. 量子コンピューティング基盤の機能構成

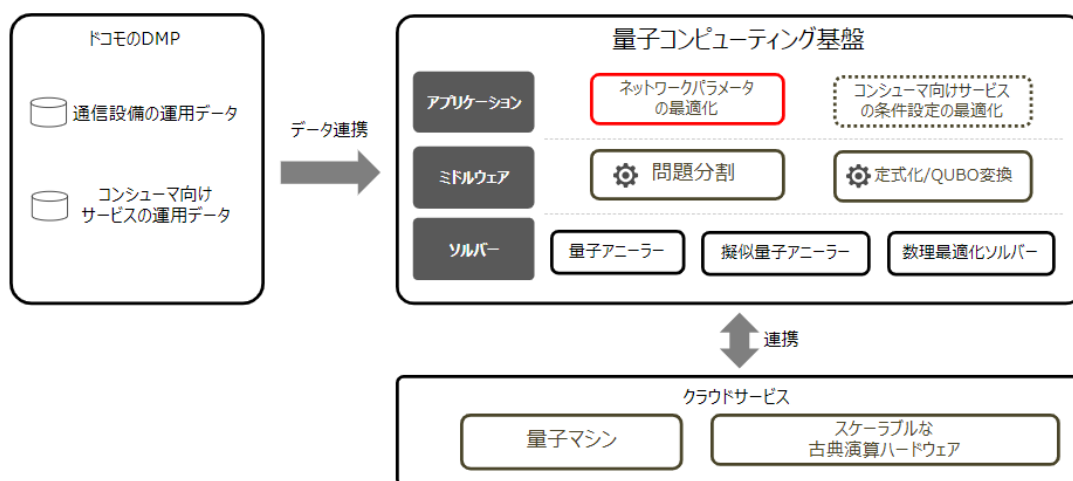
量子コンピューティング基盤の概要を図 1 再掲に示します。本基盤の最適化計算を行う機能は以下の 3 層で構成されています。

- ・ ソルバー^{※7}層：最適化問題を解くソフトウェアを搭載
- ・ ミドルウェア層：アプリケーションに共通した処理を担うソフトウェアを搭載
- ・ アプリケーション層：問題固有の処理ソフトウェアを搭載

加えて、本基盤の外部システムとの連携機能として、以下の 2 つの機能を具備しています。

- ・ ドコモが保有する DMP^{※8}と連携したデータ取得機能
- ・ クラウドサービスとの連携機能

これらの機能により、最適化対象となるデータの取得から計算リソースの確保、最適化計算、結果の取得までの一連の作業が基盤内で完結するので、必要時に迅速なサービス最適化が実施できます。



【図 1 再掲. 量子コンピューティング基盤の概要】

2. 本基盤の特徴

本基盤は、組み合わせ最適化技術を運用中のサービス品質の改善に活用するために、安定性と柔軟性を両立させた構築を実現しました。一般的に量子コンピューターは極低温に冷やした特殊なハードウェアであるため、頻繁なメンテナンスが必要です。メンテナンス時間帯は量子コンピューターを使用できず、最適化が必要なサービスの運用が止まってしまう課題がありました。そこで、複数のソルバーを導入し冗長性を高めることで、メンテナンスによる運用停止を回避しました。

また、複数社製の量子コンピューターを組み合わせることで分析環境の柔軟性向上を図りました。組み合わせ最適化問題（変数がとりうる値の組み合わせの中から、最良とされる組み合わせを探索する数学的な問題）は、問題規模（考慮する変数の数）と結合度^{※9}の 2 点によって特徴付けられますが、一般的に問題規模

が大きく、結合度が高いほど、最適化の難易度が上がります。その一方で、ソルバーは種類によって規模が大きい問題が得意なもの、結合度が高い問題が得意なものなど、コンピューターにより特徴が異なります。

ドコモは、さまざまな問題規模・結合度の最適化問題に対応するために、組み合わせ最適化問題に特化したアニーリング型の量子コンピューターを導入するとともに、扱える問題規模や結合度の条件が異なる複数のコンピューターが本基盤上で動作するように設計しました。これにより、問題の特性に応じた最適なソルバーを選択して、精度よく問題を解くことが可能になります。

※7 ソルバー：アニーリング型量子コンピューターをはじめとした、数理計画問題を解くアルゴリズムが搭載されているソフトウェア

※8 DMP（Data Management Platform）：蓄積されたさまざまな情報を管理するためのプラットフォーム

※9 結合度：最適化対象の変数同士がどれだけ影響を及ぼし合っているかを表す尺度

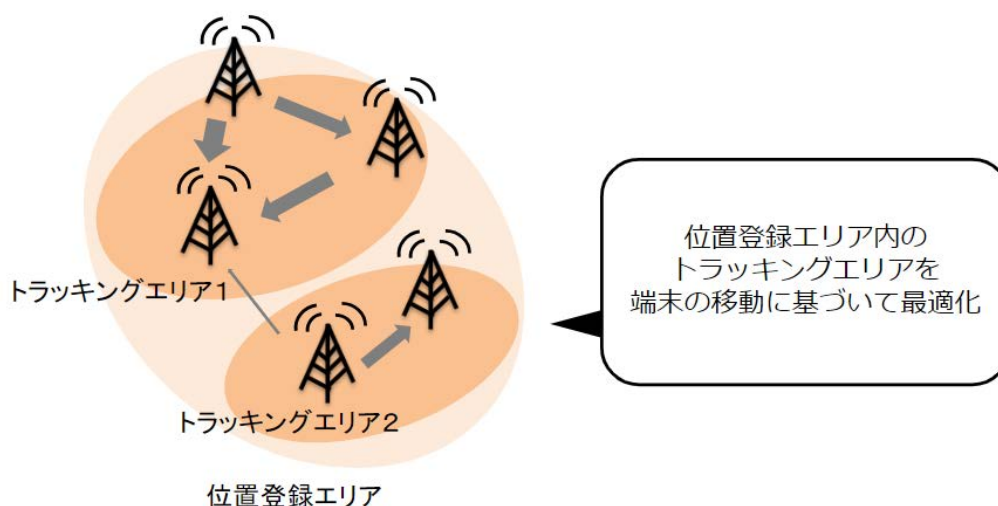
実証実験概要

1. 目的

本実証実験では、ドコモの 4G モバイルネットワーク着信時にネットワークが端末位置を把握するために発信する信号（ページング信号）が、増大している現状を踏まえて、量子コンピューターを用いて同時にページングを行う基地局のグルーピング（トラッキングエリアの設定）を最適化し、ページング信号数の削減に取り組みました。

2. ページング信号最小化問題

端末への着信時、基地局は端末の位置を把握するために位置登録エリア^{※10}内にページング信号を発信します。位置登録エリア内の複数の基地局をまとめたグループから一斉にページング信号を発信することで、端末が直前に通信を行った基地局から移動していても位置を把握することができます。端末が多く移動する基地局群を同じグループとし、グループ単位でページングを行うことで、より少ないページング信号数で端末を発見することができます。本実証では、ネットワークとしてページング信号数を最小化するための基地局のグループを見つける、という組み合わせ最適化問題（図 4 参照）に対する、アニーリング型の量子コンピューターの有効性を検証しました。



【図 4. 基地局グループ化のイメージ】

3. 実証概要

本実証では以下に取り組みました。

- ・ 広範囲にわたる（今回は東海、中国、九州エリア）基地局の着信と端末の移動に関わるトラフィックデータの収集
- ・ 特定の基地局グループ化の条件下で、あるトラフィックデータが得られた条件に基づいて発生するページング信号数を予測する数理モデルの開発
- ・ あらゆる基地局グループ化の条件の中で、数理モデルによる予測ページング信号数が最小化するグループ化条件を探索する、アニーリング型量子コンピューター向けアルゴリズム（QUBO 形式^{※11}）の開発
- ・ 最適なグループ化条件を実ネットワークに適用する際の、オペレーションの確立
- ・ 最適なグループ化条件を実ネットワークに適用した際の、効果検証手法の確立

4. 本実証における基盤の活用

今回の実証実験では、量子コンピューティング基盤上で、膨大な通信トラフィックデータの集約・分析、量子アニーリングを用いた最適化計算、期待される削減効果の推定までを一気通貫で行いました。これにより、一連の作業時間が大幅に短縮しました。

また、本基盤は、各地域の端末の移動傾向に対して適切な最適化手法の採用を可能にしています。具体的には、都市部は狭い範囲内で端末の移動が複雑に発生する一方、郊外では広い範囲を満遍なく移動が発生する傾向にあることを確認しており、こうした移動傾向の差異は最適化問題に落とし込んだ際の問題規模や変数の結合度の違いに影響します。

このように、本基盤は量子コンピューターの利用環境の提供だけでなく、データ取得・前処理から最適化結果の実適用までを包括的にサポートするツールとして、今回の実証実験の成功に貢献しました。

5. 実証実験の結果

東海、中国、九州の3エリアでの実証実験の結果、ピーク時のページング信号数を最大約15%、平均約7%削減することに成功しました。これは、着信集中時に現在の約1.2倍多い端末数を接続できることに相当します。これにより、基地局リソースに余裕が生まれ、着信集中時における輻輳のリスクが低減するなど、通信品質が安定しやすくなります。

本実証の最適化問題は膨大な計算量を必要とするため、従来のコンピューターでは計算量が追い付かず現実的な時間内での計算が不可能でした。しかし、今回アニーリング型の量子コンピューターを活用することで、わずか1分程度で最適解を算出できたので、取り組みを全国規模にスケールさせることが可能になりました。

端末の移動に基づく基地局グループ化という大規模な組み合わせ最適化問題において、高性能な解を短時間で求められたことは、量子コンピューティングが通信ネットワークの品質改善に大きく貢献できる可能性を示しています。ドコモは、よりよい通信サービスを提供するために、引き続き本基盤の機能改善に取り組みます。

※10 位置登録エリア：複数の基地局がカバーするエリアをまとめて位置登録エリアとし、位置登録エリア単位で端末の位置を管理している。

※11 QUBO形式：0と1の値を使って、ある問題を数式で表現し、その数式を最適化することで問題の解を見つける手法。

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。