

# 量子アニーリングを用いた アレーアンテナの指向性形成に関する研究

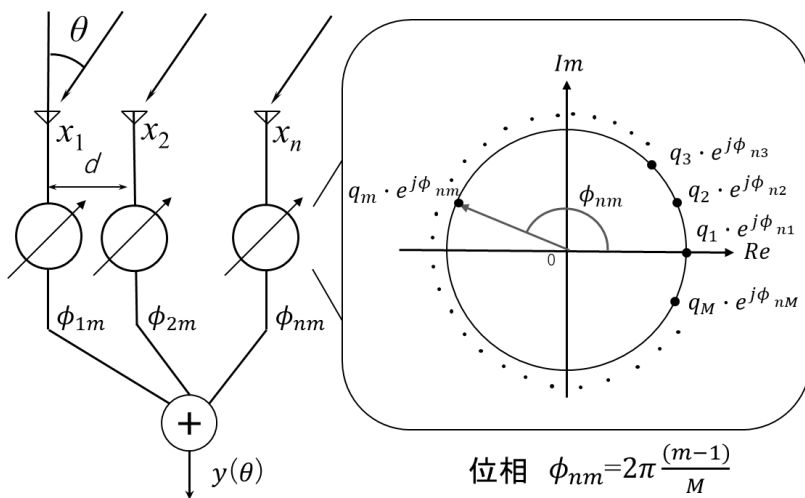


## Abstract

現在、**次世代移動通信システム** (Beyond5G/6G) の研究開発が進められており、超高周波数帯 (ミリ波帯、サブテラヘルツ帯) の利用が検討されている。しかし、超高周波数帯は、伝搬損失が大きく、受信レベルが低下する。そのため、大規模なアレーアンテナによる**指向性制御**が有効と考えられる。また、多数のアンテナの重み係数の計算に対して組み合わせ最適化問題を高速に処理できる**量子アニーリング**の利用が期待されている。

本研究では、量子アニーリングの利用に適したアレーアンテナの設計し量子コンピュータで設計したアンテナのシミュレーションを行い、指向性利得、計算時間を評価することにより提案法の有効性を示す。

## 1. 移相器付きアレーアンテナの設計



$q$ は0or1の**二値変数**であり $q$ の組み合わせを量子コンピュータによって求める  
 $M$ が大きいほどより細かい位相の操作が可能

$x_n$ は第 $n$ 素子の受信信号は

$$x_n = \frac{2\pi}{\lambda} d(n-1) \sin\theta$$

第 $n$ 素子の移相器による重み $\phi_n$ は

$$\Phi_n = \sum_{m=1}^M q_{nm} \cdot e^{j\phi_{nm}}$$

ただし、 $\phi_{nm}$  は移相器の位相である

第 $n$ 素子の移相器から出力される信号

$$z_n = x_n \cdot q_m \cdot e^{j\phi_{nm}}$$

アレーアンテナの $\theta$ 方向への利得  $y_\theta$

各アンテナの移相器に **$M$ 通りの位相量を持つ移相器**を取り付けている  
スイッチの組み合わせによって各アンテナに位相差を与え  
任意の方向の指向性利得を向上させる

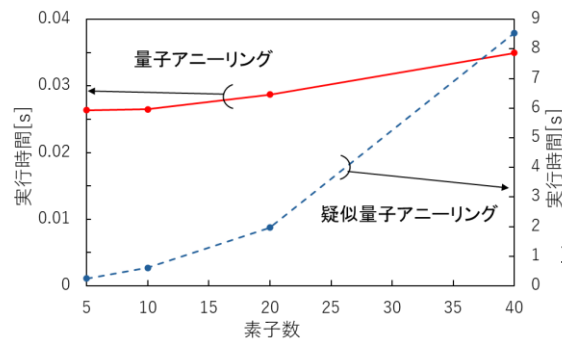
$$y_\theta = \sum_{n=1}^N z_n = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M x_n \cdot q_{nm} \cdot e^{j\phi_{nm}}$$

ハミルトニアン (この値が最小となる $q$ の組み合わせを求める)

$$H = -\sum_{k=1}^K |y_{\theta_k}|^2$$

## 3. 素子数と実行時間の関係

素子数 5, 10, 20, 40 量子アニーリングでは素子数が増加しても  
素子間隔  $0.5\lambda$  実行時間の増加が小さいが  
指定方向  $40^\circ$  疑似量子アニーリングでは  
実行時間が指数関数的に増加する

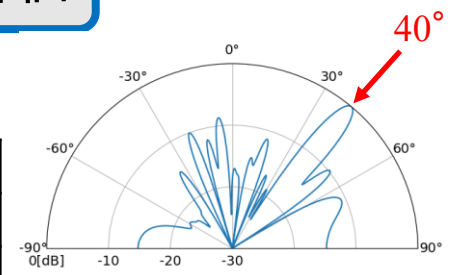


量子コンピュータの並列的な最適化を行う特性のため  
量子アニーリングでは  
計算規模が大きくなっても  
実行時間への影響が小さいと  
考えられる

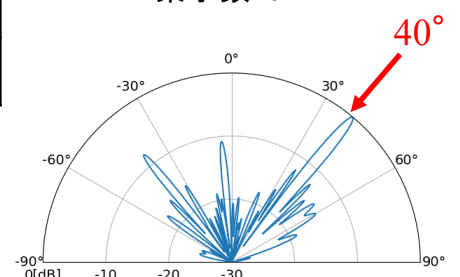
## 4. 指向性利得の評価

### シミュレーション諸元

|            |              |
|------------|--------------|
| 素子数        | 20, 40       |
| 移相器の状態数    | 8通り          |
| 素子間隔       | $0.5\lambda$ |
| アンテナ素子     | 等方性          |
| 指定方向 (単方向) | $40^\circ$   |



素子数20



素子数40

指定した方向の指向性利得の向上が確認できる

量子アニーリングを用いてアレーアンテナを  
設計することが可能である

## 5. まとめ

本研究では、量子アニーリングを利用したアレーアンテナの設計法を提案し、量子コンピュータでシミュレーションを行い指向性利得を評価することにより提案法の有効性を示した。

量子コンピュータで計算可能な**二値変数**の式によって表すことができた。  
提案法を用いて設計したアレーアンテナにおいて、指定方向の**指向性利得が向上した**ことを確認し、本提案法が有効であることを示した。