

疑似量子アニーリングを用いたアレーアンテナ設計に関する研究

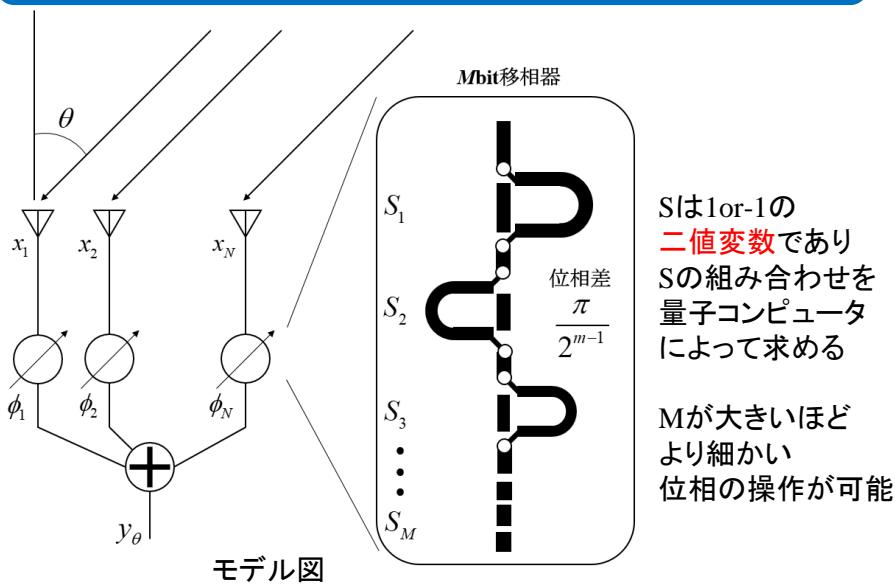


Abstract

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法を提案し、**疑似量子アニーリング**を用いて性能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



各アンテナの移相器に**Mbitの切り替え型の移相器**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

第n素子の移相器から出力される信号 z_n

$$z_n = x_n \cdot e^{j\phi_n(S_1, S_2, S_3, \dots, S_M)}$$

ただし、 x_n は第n素子の受信信号、 ϕ_n は第n素子の移相器の移相量であるアレーアンテナの θ 方向への利得 y_θ

$$y_\theta = \sum_{n=1}^N z_n = \sum_{n=1}^N x_n \cdot e^{j\phi_n(S_1, S_2, S_3, \dots, S_M)}$$

ハミルトニアン(この値が最小となるSの組み合わせを求める)

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

2. マクローリン展開・実数の適用

現在の量子コンピュータでは、**複素指数関数・複素数**の計算が困難であるため

➢ 複素指数関数を、**マクローリン展開**によって近似する

$$e^{j\phi_n} = 1 + j\phi_n - \frac{1}{2!}\phi_n^2 - \frac{j}{3!}\phi_n^3 + \frac{1}{4!}\phi_n^4 + \dots = \Phi_n$$

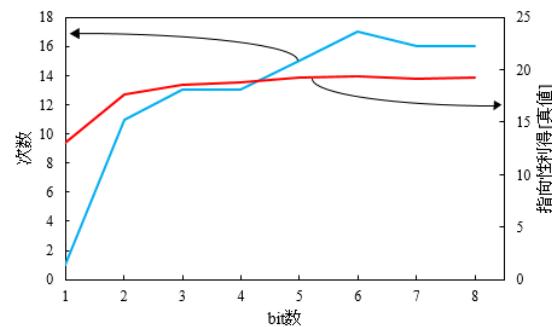
➢ 複素数の実部、虚部をそれぞれ別の**実数**として持つ

$$\Phi_n = \Phi_{n, re} + j\Phi_{n, im} \quad \text{ことに対応した}$$

3. 移相器のbit数と次数の関係

素子数 20
素子間隔 0.5λ
指定方向 40°

bit数が増加するほど必要となるマクローリン展開の次数が増加する



指向性利得は一定となり6bit以降は次数の変化もなくなる

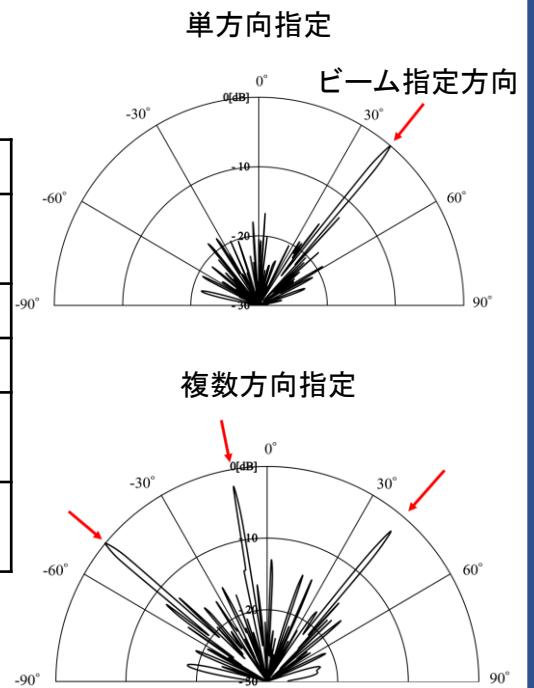


指向性利得が一定となるときのbit数・次数が最適であると考えられる

4. 指向性利得の評価

シミュレーション諸元

素子数	80
bit数 (移相器数)	3
素子間隔	0.5λ
アンテナ素子	等方性
指定方向 (単方向)	40°
指定方向 (複数方向)	-50° 40°



単方向・複数方向ともに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、**疑似量子アニーリング** (シミュレーテッドアニーリング) によって、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。

ライン切り替え型の移相器を用いることで、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。また、マクローリン展開・実数を適用することで、現在の量子コンピュータで計算が困難である複素指数関数・複素数に対応した。

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。