

量子アニーリングによる 基地局-端末間の組み合わせ最適化に関する研究

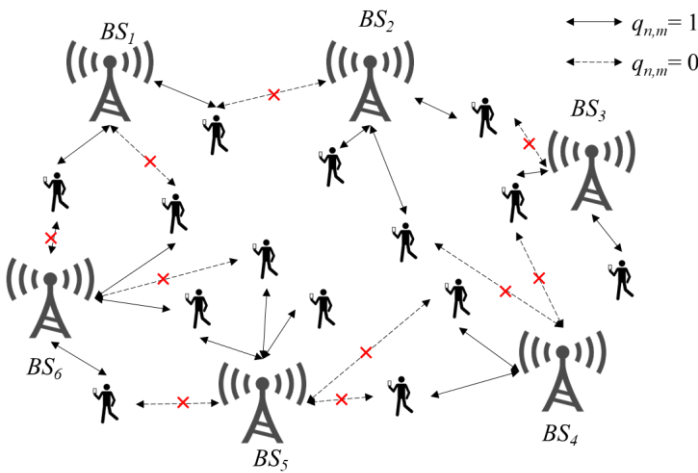


Abstract

セルラー方式の移動通信システムでは基地局と通信可能範囲(サービスエリア)は重ねて配置されており、一般的に端末は**受信電力の高い基地局に接続**される。一方、電力だけでなく**他基地局からの干渉**も考慮し、システム全体の接続を最適化することで、通信品質やシステム容量を向上できると考えられる。しかし、多数基地局と多数端末の組み合わせ数は**膨大**となる。

本研究では**量子アニーリング**を用いて、干渉も考慮して基地局-端末間の組み合わせを最適化することを考える。端末の基地局割り当て問題をQUBO形式で表現し、各端末の受信電力と通信路容量の最大化を目指す。

1. 量子アニーリングによる割り当て問題



$q_{n,m}$ は n 番目の端末と m 番目の基地局 BS_m の接続状況を表す**2値変数**

n 番目の端末が基地局 BS_m から受信する電力を $P_{n,m}$ とすると**受信電力を最大化**する関数は

$$H_r = - \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M P_{n,m} q_{n,m}^2$$

通信速度は干渉波により低下するため、通信速度を考慮すると帯域幅 B 、干渉電力 I 、雑音電力 σ^2 を用いて

通信路容量を最大化する関数は

$$H_c = - \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M B \log_2 \left(1 + \frac{P_{n,m}}{I + \sigma^2} \right) q_{n,m}^2$$

制約条件

1つの基地局が**接続可能な端末数**を制限する。

接続可能な最大端末数 k_m を用いると、式は

$$C_{base} = \sum_{m=1}^M \left(\sum_{n=1}^N q_{n,m} - k_m \right)^2$$

1つの端末が**接続可能な基地局数**を0または1に制限する式は

$$C_{terminal} = \sum_{n=1}^N \left(\sum_{m=1}^M q_{n,m} \left(\sum_{m=1}^M q_{n,m} - 1 \right) \right)$$

最終的に以下の2種類ハミルトニアン

(この値が最小となる q の組み合わせを求める) が考えられる。

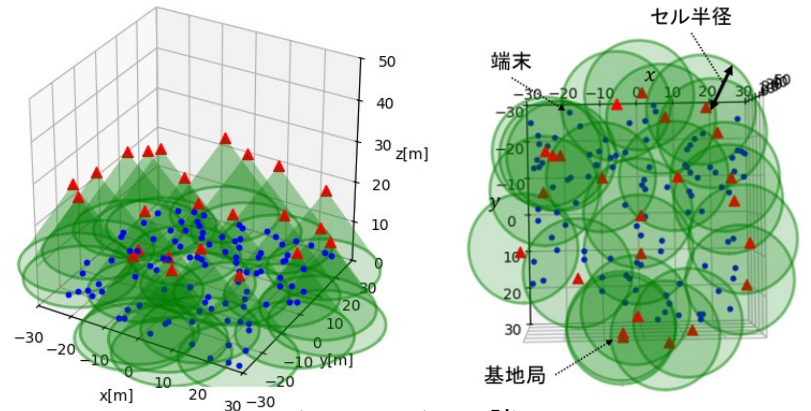
(a) 受信電力最大化

$$H = H_r + \beta C_{base} + \beta C_{terminal}$$

(b) 通信路容量最大化

$$H = H_c + \gamma C_{base} + \gamma C_{terminal}$$

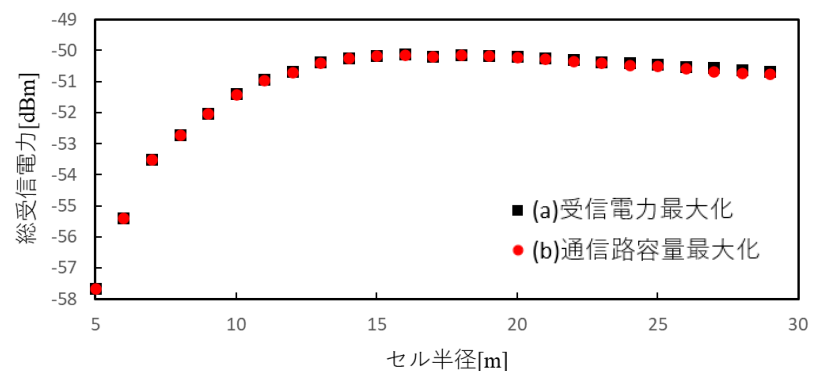
2. シミュレーションモデル及び諸元



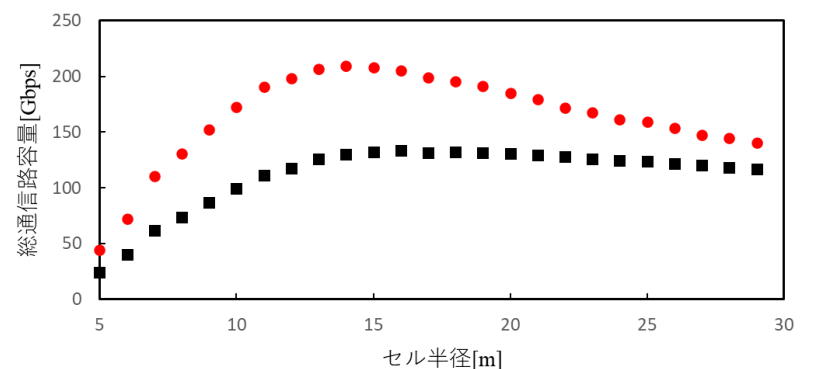
シミュレーション諸元

基地局数	24	帯域幅	8[GHz]
端末数	100	基地局高	20[m]
送信電力	400[mW]	端末高	1[m]
周波数	100[GHz]	セル半径	5~30[m]

3. 最適化の評価



どちらの最適化結果でも総受信電力に大きな差はない



- 通信路容量最大化の最適化の方が通信路容量が高くなっている
- 受信電力の向上と干渉低減のバランスが得られる
最適なセル半径が存在する(今回の条件では14m)

4. まとめ

量子アニーリングによる基地局-端末間組み合わせの最適化を行い性能評価を行った。その結果、通信路容量を最大化した最適化では、受信電力の最大化と比較して、**受信電力を維持しつつ通信路容量を大幅に改善**することが確認された。さらに、本手法において**適切なセル半径**が存在することを示した。