

修士学位論文要約（令和4年3月）

## 上りリンク協調干渉除去を用いた非直交多元接続における 送信電力制御に関する研究

中村 零

指導教員：西山 大樹

### A Study on Power Allocation for Uplink Non-Orthogonal Multiple Access Using Cooperative Successive Interference Cancellation

Mio NAKAMURA

Supervisor: Hiroki NISHIYAMA

With the emergence of Beyond 5G/6G, communication demands continue to increase. Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) is attracting attention as one of the technologies that contribute to improving spectral efficiency, but the fairness and throughputs of entire system cannot be guaranteed without appropriate transmit power control that takes into account the positions of User Equipments (UEs) and Base Stations (BSs). In addition, there is a problem that throughput is reduced due to decoding of UE signals by multiple BSs when there is inter-cell interference. In this study, we propose a method to improve the performance of uplink NOMA under inter-cell interference by using cooperative successive interference cancellation, and numerical analysis is performed to demonstrate the performance.

#### 1. はじめに

近年、5G/6Gの実現に際し、要求の一つとして通信容量の拡大がある。この要求を満たす方法の一つとして、電力領域での多重化を行う NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) が挙げられる。NOMA は周波数利用効率を向上させる潜在的性能を持つ一方、周囲の干渉波の状態や、BS (Base Station) と UE (User Equipment) の位置関係、そして送信電力を考慮し適切に制御を行わなければ、通信の公平性やスループットが担保できないという課題点がある。本研究では、セル間干渉下において、NOMA を用いて上りリンクの性能を向上させるための手法を提案し、またその性能を数値解析によって明らかにする。

#### 2. セル間干渉下における上りリンク NOMA

本研究が基礎技術として扱う NOMA は、SIC (Successive Interference Cancellation) によって電力領域で重畳された信号を取り出すことで、多重化を行う技術である。上りリンクの場合、各 UE の SINR (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio) は送信電力によって変化する。本研究では、図 1 のようなセル間干渉がある環境において、すべての UE が同一時間、同一周波数で通信を行い、電力領域でのみ多重化を行う場合を考えた。図 1 において UE1 と UE2 は BS1 に、UE3 と UE4 は BS2 に収容されており、各 BS はかならず収容している UE の信号を復号することとした。

本環境において上りリンク NOMA を行う場合、各 BS の SIC プロセスは、図 2 のようになる。ただし、このプロセスはある UE 分布と送信電力制御におけるものであり、UE からの信号の受信強度の大小順(受信強度順)が変われば、プロセスも変化する。このプロセスにおける問題点は、一部の UE の信号が、2 つの BS で復号されている点である。プロセスのより後段にある信号を取り出すためには、最も受信強度の大きい信号を復号し、干渉除去を行う必要がある。複数の BS で復号される UE の信号は、いずれの BS においても誤りなく復号される必要があるため、その送信レートは各 BS との通信路容量の中で最も小さいものに支配される。この性質から、セル間干渉下で上りリンク NOMA を用いると、スループットのボトルネックが生じてしまう課題がある。

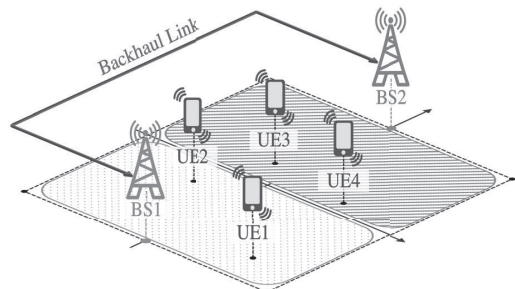


図 1. 想定環境

### 3. 協調干渉除去

従来技術<sup>2)</sup>として、前章で述べたスループットのボトルネックを、BS間のバックホールリンクを用いてUEの信号を転送することで、複数のBSでの復号を回避する、協調干渉除去というアプローチがある。図1の環境にこの技術を適用することで、ボトルネックの回避によるスループットの向上が期待できる。図2のSICプロセスにおいて転送を用いる場合、プロセスは図3のようになる。UE4以外のUEは片方のBSでのみ復号されるため、ボトルネックを回避することができる。一方、本環境で協調干渉除去を用いる時に生じる問題として、SICプロセスの複雑化がある。受信強度順によっては、信号の転送を効率的に行えず、スループットを向上させられない場合もある。また、この性質を考慮して送信電力制御を最適化問題として解くとき、その探索範囲は非常に広く、局所解も多数存在するため、求解が困難である点も課題となる。

### 4. 送信電力制御

本研究では、前章で述べた課題を解決し、適切な送信電力制御を行う手法を提案する。また同時に、送信電力制御における計算に機械学習を用いることで、制御の計算負荷を低減する手法を提案する。

本研究ではすべてのUEのレートの最小値が最大化されるような送信電力制御を考える。制御対象をUEの送信電力として、Maximin型最適化問題を定義すると、定義域内で、少なくとも受信強度順が変化する度に、局所解が発生する。本研究では最適化問題を受信強度順ごとに場合分けすることで、多くの局所解を回避する。

しかし局所解を削減してもなお、この最適化問題の探索範囲は非常に広大である。本研究では機械学習を用いて大域的最適解を与える受信強度順を予測し最適化計算を行う回数を削減することで、計算の高速化を実現する。この機械学習を用いた送信電力手法の構成を図4に示す。事前にすべての受信強度順に総当たりで計算を行って作成した教師データを用いて行う受信強度順のクラスタリングと、UEの伝搬減衰から大域的最適解を与えるクラスターを予測するクラス分類によって構成されている。

性能評価においては、協調干渉除去で機械学習を用いず制御した場合、機械学習を用いて制御した場合、セル間で異なる周波数を用いてNOMAを行なった場合、そして、周波数領域のみで多重化をおこなった場合、この4つの手法について、種々の性能評価を行って提案手法の有効性を示した。

### 5. まとめ

本研究では、セル間干渉下において、NOMAと協調干渉除去を組み合わせることでスループットを向上させる手法を提案した。また、協調干渉

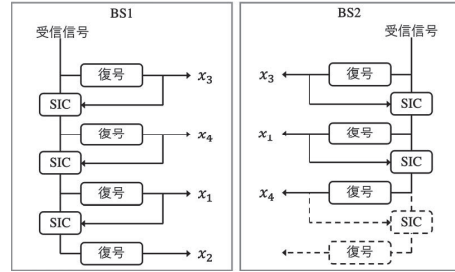


図2. セル間干渉下におけるSICプロセス

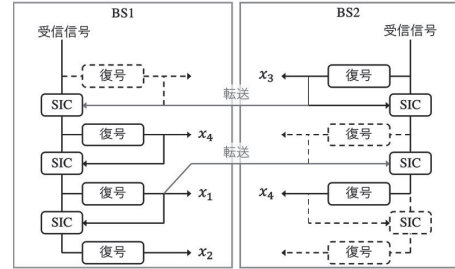


図3. セル間干渉下における協調干渉除去

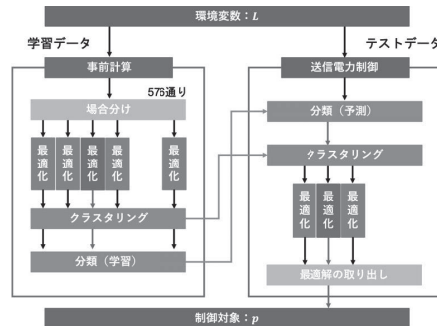


図4. 機械学習を用いた送信電力制御

除去の特性を考慮した送信電力制御手法の提案も行った。これらの手法を数値解析によって評価した結果、従来手法を上回る性能を達成し得ることが分かった。それと同時に、協調干渉除去を用いたNOMAは、その通信制御や送信電力制御の面において、より性能を向上させる余地があることも示した。本研究は科研費JP20K11785の助成を受けたものである。

### 文献

- 1) S. Sen, et. al., “Successive interference cancellation: a back-of-the-envelope perspective”, Hotnets-IX: Proceedings of the 9th ACM SIGCOMM Workshop on Hot Topics in Networks, no.17, pp.1-6, Oct. 2010.
- 2) W. Mei and R. Zhang, “Uplink Cooperative NOMA for Cellular-Connected UAV”, IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, vol.13, no.3, pp.644-656, Jun. 2019.