

非線形プリコーディングの統計力学的解析

林 愛空

東京工業大学 大学院総合理工学研究科 知能システム科学専攻

近年、無線通信の普及に伴い、通信のさらなる高速化、高品質化が求められている。そのような状況の下で、限られた周波数帯域で伝送容量を増大させる方法として、複数の送受信アンテナを用いることで空間的な冗長性を利用して大容量通信を実現する MIMO 通信が注目を集めている。ただし、同じ周波数で複数の信号を同時に送るため、干渉しあった受信信号からいかに元の信号を復元するかという問題が生じる。この干渉を抑えるために、あらかじめ送信機側で干渉成分の減算（線形プリコーディング）を行うことがあるが、この際、送信電力の増大が問題となる。この問題に対して、緩和された信号空間の中で送信電力が最小となるような信号に元信号を符号化することで送信電力を低減させる非線形プリコーディングを考えることができる。離散な信号空間では、この非線形プリコーディングは組合せ最適化問題とみることができるが、自由度の増加とともに計算複雑度が増すため、送信電力の低減限界の評価や、与えられた信号からできるだけ低電力で送信することができる信号を求める実際的なプリコーディングのアルゴリズムを与えることは、厳密に行う限り計算困難な問題となる。

さて、最近情報科学の問題に対して統計力学で用いられてきた手法が有効であることが認識され、情報通信をはじめ、さまざまな問題に適用することが試みられている。プリコーディングの解析においても、統計力学的手法による解析が有効であり、最近ランダム系の統計力学的手法であるレプリカ法による送信電力低減限界の評価がおこなわれた[1]。ただし、このレプリカ法は様々な仮定から成り立っているため、適切な解の振舞いを得るためには注意が必要である。上記解析は最も単純な仮定である **Replica symmetry (RS)** 仮定のもとで解析が行われたが、送信電力低減限界のシステムサイズ依存性が数値実験の結果と大きく食い違うなど系の振舞いを定性的にも捉えきれていないと考えられる。

そこで、本発表ではより進んだ仮定である **one step Replica symmetry breaking (1RSB)** 仮定のもとでレプリカ法による解析を行う。1RSB 仮定はその特殊な状況として RS 仮定を含み、RS 仮定に比べて評価関数の構造に対して、より詳細な解析を行うため、高い精度で定性的によりよい結果を得られることが期待できる。さらに、上記の非線形プリコーディングに対して統計力学で知られている平均場近似を用いることで、実際的な符号化アルゴリズムを与える。また、近年いくつかのモデルで指摘されているように、このモデルにおいても 1RSB 仮定において仮定される多数の準最適解と、アルゴリズムの平均的な性能との間に興味深い関係が得られることについても報告する

参考文献

- [1] R. R. Mueller, D. Guo and A. Moustakas, *IEEE J. Selected Areas Commun.* 26, 530 (2008)