

高効率無線ネットワーク アーキテクチャに関する調査

渡辺研究室
2016年2月28日

Massive MIMO に関する 動向調査

渡辺研究室
2016年2月28日

0. 目次

1. 序言
2. Massive MIMO 物理層技術
3. Massive MIMO 実環境での課題
4. 結言

1.1. 序言：無線ネットワークの現状

- スマートフォンやノートパソコンの普及によって、無線通信トラヒックは増加の一途をたどっている。
- 2013年から2014年の一年間で、世界の無線データトラヒックは年率65%で増加[1]
 - このままペースで増加していくと10年後には今の無線トラヒックの100倍を越える見込みである
- 無線通信に適した周波数資源は限られた周波数資源の中で、無線通信容量を向上させることが喫緊の課題である。

1.2. 序言: Massive MIMOとは

- このような課題に対して, 送受信アンテナ数の増加と共に無線通信容量を増大させるMIMO技術の可能性が期待されている.
- なかでも, 多数のアンテナを用いたMassive MIMOシステムが次世代無線ネットワークにおいて無線通信トラヒックの増大に対処する技術として着目されている[2].
- Massive MIMO ではベースステーションのアンテナ数を増加させることで, MIMOの無線通信容量を増加させる.

2. Massive MIMO 物理層技術

- Massive MIMO のゲインの上界は情報理論によって定まっている.
- 具体的には, 送信を行う1つの基地局が K 本のアンテナを具備しており, 1本のアンテナを持つユーザ端末が $M (< K)$ 台のユーザが存在しているシングルセル環境における, マルチプレキシングゲインは M と同一となり, ダイバーシチゲインは K に比例する[3]
- しかしながら, 実際の送受信ではマルチプレキシング・ダイバーシチゲインはプリコーディング・デコーディング手法に依存する
- そこで, 本章ではプリコーディング・デコーディング手法を述べる

2.1. Massive MIMO シングルセルプリコーディング

- 文献[4]では、大規模MIMOのダウンリンクに着目して、線形プリコーダを利用した際のスペクトル効率(bits/s/Hz)とエネルギー効率(bits/J)の性能に関する検討を行っている。
- 具体的には、最大比合成送信(MRT), Zero-Forcing(ZF)の2つの送信プリコーディング手法を比較している。
- MRTでもZFでも、スペクトル効率とエネルギー効率との間にはトレードオフの関係が存在している[4]。
- スペクトル効率が高く、低いエネルギー効率の領域では、ZFがMRTよりも高い性能を示す。

2.1. Massive MIMO シングルセルプリコーディング

- しかしながら、スペクトル効率が低く、高いエネルギー効率の領域ではMRTがZFよりも高い性能をしめす[4]。
- これは、ZFがマルチプレキシングゲインを高める一方で、MRTがダイバーシチゲインを高めるためである[4]。
- 文献[4]では、これらのことからMRTがスペクトル効率の低い領域では、ZFよりも高い性能を示しロバストであるために、スペクトル効率の高い理想的な状態ではZFがMRTよりも高い性能を示すにもかかわらず、実環境ではMRTがZFよりもよい性能をしめす可能性がある」と述べている。

2.2. Massive MIMO シングルセルデコーディング

- 文献[5]では大規模MIMOのアップリンクに着目して、線形デコーダを利用した際のスペクトル効率(bits/s/Hz)とエネルギー効率(bits/J)の性能に関する検討を行っている。
- 具体的には、最大比合成受信(MRC), Zero-Forcing (ZF), Minimum Mean Square Error (MMSE)の3つの受信プリコーディング手法を比較している。高い信号対雑音電力比(SNR)の環境下では、MRCはMMSEやZFに比べて低いスペクトル効率性能を示す[4]。

2.2. Massive MIMO シングルセルデコーディング

- しかしながら、低いSNRの環境下では、MRCがMMSEやZFに比べて高いスペクトル効率性能を示す[5]。
 - これは、MRCが複数のユーザからのアップリンク信号間で生じる干渉をノイズレベルにまで落とすためである[5]。
- 加えて、ユーザ端末のエネルギー効率(bits/J)は、理想的で完全なチャネル情報(CSI)を取得している場合にはアップリンクトラヒックを受信する側のベースステーションのアンテナ数に比例して増加する
- 一方で、現実環境のような不完全なCSIのみを取得している場合にはアンテナ数の平方根にしか比例しない[5]。

2.2. 実環境における Massive MIMO プリコーディング・デコーディング 1/2

- 文献[4], [5] では理論的にプリコーディング・デコーディング手法について検討を行っている.
- しかしながら, 実環境でプリコーディング・デコーディングが実際に行うには計算量が膨大になり時間が長くなる課題がある. そこで, 文献[6] では実環境でMRTを用いた送信プリコーディング手法を実装している.

2.2. 実環境における Massive MIMO プリコーディング・デコーディング 2/2

- MRT の計算量を削減するために, 文献[6] では MRT の計算を各アンテナで分散して計算できる部分MRT を提案して実装している.
- 64 アンテナを具備した基地局が15 台のユーザ端末に対して伝送を行う実機実験の結果, 部分MRT の全てのユーザのスループットの総和が, MRT と同様の性能を示す事が明らかとなった[6].

3. Massive MIMO 実環境での課題

実環境で Massive MIMO を実現させるためには、いくつかの課題がある。中でもチャネル情報に関する課題を本稿では述べる

- チャネル推定の不完全性
推定したチャネル情報が不完全であることに起因する課題
- チャネルエイジング
推定したチャネル情報が古くなる (Aging) ことに起因する課題

3.1. チャネル推定不完全性

- Massive MIMO では、プリコーダ・デコーダともに推定したチャネル情報 (CSI) に基づいて動作する
- チャネル推定が不完全であると性能に悪影響
- マルチセル環境で、線形チャネル推定方法 (e.g. MMSE, 他) を用いるとパイロット信号の汚染が発生し、チャネル推定が不完全となる [7,8]
- 文献 [8] では、不完全なチャネル情報からプリコーディングする手法が検討されている。
- Massive MIMO におけるチャネル推定不完全性に対する検討は未だ少ない。

3.2. チャネルエイジング 1/2

- 推定したチャネルを用いたプリコーディング・デコーディング手法を実環境に適用すると, 大規模MIMOにおいてチャネルエイジングが課題となる[9].
- チャネルエイジングとは, チャネルを推定してから実際に無線通信を行うまでの時間に無線チャネルが変動してしまい, プリコーディング・デコーディングを計算する際に用いた推定したチャネルと実際に送信を行う際のチャネルに違いが生じる事である.

3.2. チャネルエイジング 2/2

- このチャネルエイジングは大規模MIMOの性能を低下させる要因となる.
- チャネルエイジングは通常のMIMOでも存在する課題であるが, 大規模MIMOではアンテナ数が増加していることにより, より大きな課題となる.
- チャネルエイジングの影響を弱めるために, 文献[9]では有限インパルス応答ウィナーフィルターを用いたチャネル予測手法が提案されている.
- 文献[10]ではチャネルエイジングに対処するための動的チャネル推定手法が提案されている.

4. 結言

- 本稿ではMassive MIMO 物理層技術を紹介すると共に、Massive MIMO 技術の実環境における課題を紹介した。
- Massive MIMO 技術は物理層において急速に発展してきている事が示された。
- 物理層 Massive MIMO 技術の発展を基礎とした、今後データリンク層・ネットワーク層技術の発展が求められると考えられる。

参考文献

- [1] Ericsson, "Ericsson mobility report," 2014.
- [2] E. G. Larsson, O. Edfors, F. Tufvesson, and T. L. Marzetta, "Massive MIMO for next generation wireless systems," *IEEE Communications Magazine*, no. February, pp. 186–195, 2014.
- [3] F. Rusek, D. Persson, B. K. Lau, E. G. Larsson, T. L. Marzetta, O. Edfors, and F. Tufvesson, "Scaling up MIMO : Opportunities and challenges with very large arrays," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 30, no. 1, pp. 40-60, 2013.
- [4] H. Yang and T. L. Marzetta, "Performance of conjugate and zero-forcing beamforming in large-scale antenna systems," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 31, no. 2, pp. 172-179, 2013.
- [5] H. Q. Ngo, E. G. Larsson, and T. L. Marzetta, "Energy and spectral efficiency of very large multiuser MIMO systems," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 61, no. 4, pp. 1436-1449, 2013.
- [6] C. Shepard, H. Yu, N. Anand, E. Li, T. Marzetta, R. Yang, and L. Zhong, "Argos: Practical many-antenna base stations," in *Proceedings of the 18th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (ACM MobiCom '12)*, 2012, pp. 53-64.
- [7] J. Hoydis, S. Ten Brink, and M. Debbah, "Massive MIMO in the UL/DL of cellular networks: How many antennas do we need?," *IEEE Journal on Selected Areas Communications*, vol. 31, no. 2, pp. 160–171, 2013.
- [8] A. Ashikhmin and T. Marzetta, "Pilot Contamination Precoding in Multi-Cell Large Scale Antenna Systems," in *Proceedings of IEEE International Symposium on Information Theory (IEEE ISIT '12)*, 2012, pp. 1137–1141.
- [9] K. T. Truong and R. W. Heath, "Effects of Channel Aging in Massive MIMO Systems," *Journal on Communications and Networks*, 2013.
- [10] K. C. Garikipati and K. G. Shin, "Measurement-Based Transmission Schemes for Network MIMO," in *Proceedings of the 15th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing (ACM MobiHoc '14)*, 2014, pp. 387–396.