

EFFICIENCY ANALYSIS AND FORECAST OF THE USE OF THE MASSIVE MIMO SYSTEM

K.T. Hakobyan¹, L.G. Kirakosyan¹, A.M. Momjyan²

¹*National Polytechnic University of Armenia*

²*Synopsys Armenia CJSC*

Today's goal in cellular network is having high-speed mobile data in any dense urban area. The forecast of the latter is that it will only get more and current cellular base stations not able to continuously increase the transmit/receiving data speeds. Massive MIMO is currently the most compelling sub-6 GHz physical-layer technology for future wireless access. The main concept is to use large antenna arrays at the base stations to simultaneously serve many autonomous terminals. The key concept is to equip BSs with arrays of many antennas, which are used to serve many terminals simultaneously, at the same time-frequency resource. In the article, the word "massive" refers to the number of antennae and not the physical size, where the antenna arrays have attractive form factors: in the 2 GHz band, a half-wavelength-spaced rectangular array with 200 dual-polarized elements is about 1.5 x 0.75 meters large. In the article it is shown how Massive MIMO operates in time division duplex mode and the downlink beamforming exploits the uplink-downlink interaction of radio propagation. Specifically, the BS array uses channel estimates obtained from uplink pilots transmitted by the terminals to learn the channel in both directions. This makes Massive MIMO entirely scalable with respect to the number of base station antennas. BSs in Massive MIMO operate autonomously, with no sharing of payload data or channel state information with other cells. The rich and unique propagation signatures of the terminals are exploited with smart processing at the array to achieve superior capacity. The article presents the analysis, benefits of the massive MIMO system and forecast usage.

Keywords: massive MIMO, antenna, cellular data, mobile network, wireless communication.

Introduction. MIMO - Multiple-input multiple-output. MIMO technology is becoming serious for wireless communications and has been incorporated into wireless broadband standards like LTE and Wi-Fi. The more antennae the transmitter/receiver is equipped with, the more the possible signal paths and the better the performance in terms of data rate and link reliability [1].

MIMO system has multiple antennae at the transmitter/receiver side to transmit multiple data streams at the same time in wireless communication systems. A massive MU-MIMO network is depicted in Fig. In theory, it is shown that with a large number of antennae, the system can improve its performance significantly in terms of data rate, capacity, link reliability and the radiated energy efficiency. In the MIMO technology, the first conventional point to point MIMO is developed, after that multi-

user MIMO is developed. Multi-user MIMO provides many advantages over point to point MIMO, but it has some disadvantages like requiring a roughly equal number of Base station antennae and terminals and also it is not a scalable technology. So, due to these problems after the multi-user MIMO, the Massive MIMO (also known as Large Scale MIMO) is developed which gives huge advantages over the point to point MIMO and the multi-user MIMO [2].

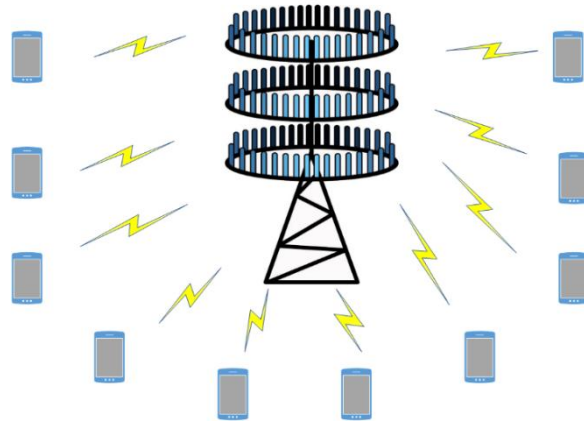


Fig. A Massive MIMO system

Massive MIMO. Standard MIMO networks use two or four antennae to transmit/receive data. Massive MIMO is a MIMO system with a large number of antennae [3]. Every antenna element requires an RF chain which consists of amplifiers, analog to digital converter/digital to analog converter, mixers, filters, etc, which are very expensive [4]. A large-scale base station antenna means a large number of RF chains. Hence the size, hardware complexity and cost of the system is much increased and also more power consumption occurs, more signal processing is required. The solution is the antenna selection technique. In this technique, instead of using all antennae, some optimal set of antennae is selected based on some selection criteria. The selection criteria can be maximization of capacity, minimization of bit error rate, maximization of signal to interference plus noise ratio or maximization of energy efficiency. With a certain number of RF chains and more antennae than that, antenna selection improves the system performance by exploiting the spatial selectivity, as the subset of antennas with the best channel conditions is selected and switched to the RF chains [5]. Hence, by using the antenna selection technique, the cost, hardware complexity and size decrease and at the same time the system performance will also be maintained.

Asymptotic arguments based on random matrix theory [6] demonstrate that the effects of uncorrelated noise and small-scale fading are eliminated, the number of users per cell are independent of the size of the cell, and the required transmitted energy

per bit vanishes as the number of antennae in a MIMO cell grows to infinity. Multi MIMO systems can obtain the promising multiplexing gain of massive point-to-point MIMO systems while eliminating problems due to unfavorable propagation environments. Consider a Multi MIMO system with L cells, where each cell has a K -served single-antenna user and one BS with N antennae. Denote the channel coefficient from the k -th user in the l -th cell to the n -th antenna of the i -th BS as $h_{i,k,l,n}$, which is equal to a complex small-scale fading factor times an amplitude factor that accounts for geometric attenuation and large-scale fading [7]:

$$h_{i,k,l,n} = g_{i,k,l,n} \sqrt{d_{i,k,l}}, \quad (1)$$

where $g_{i,k,l,n}$ and $d_{i,k,l}$ represent complex small-scale fading and large-scale fading coefficients, respectively. The small-scale fading coefficients are assumed to be different for different users or for different antennae at each BS, while the large-scale fading coefficients are the same for different antennae at the same BS, but are user-dependent. Then, the channel matrix from all K users in the l -th cell to the i -th BS can be expressed as:

$$\mathbf{H}_{i,l} = \begin{pmatrix} h_{i,1,l,1} & \cdots & h_{i,K,l,1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{i,1,l,N} & \cdots & h_{i,K,l,N} \end{pmatrix} = \mathbf{G}_{i,l} \mathbf{D}_{i,l}^{1/2}, \quad (2)$$

where

$$\mathbf{G}_{i,l} = \begin{pmatrix} g_{i,1,l,1} & \cdots & g_{i,K,l,1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{i,1,l,N} & \cdots & g_{i,K,l,N} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$\mathbf{D}_{i,l} = \begin{pmatrix} d_{i,1,l} & & \\ & \ddots & \\ & & d_{i,K,l} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Consider a single-cell ($L = 1$) MU-MIMO system with K single-antenna users and a BS with N antennae. For simplicity, the cell and the BS indices are dropped when single-cell systems are considered.

In reality, MF-based non-cooperate massive MIMO systems could in principle achieve a data rate of 17 Mb/s for each of 40 users in a 20 MHz channel in both the uplink (reverse link) and downlink (forward link) directions, with an average throughput of 730 Mb/s per cell and an overall spectral efficiency of 26.5 bps/Hz. Since the number of antennas at the BS is typically assumed to be significantly larger than the number of users, a large number of degrees of freedom are available and can be used

to shape the transmitted signals in a hardware-friendly way or to null the interference [8]. To make such a system practical, algorithms for massive MIMO systems are required to keep the complexity low.

Comparative analysis of the MU-MIMO and Massive MIMO. Massive MIMO's key benefit is not only the high number of antennae. The Massive MIMO concept is the way to deliver the theoretical gains of MU-MIMO under practical circumstances. The main differences between the MU-MIMO and the Massive MIMO are described below [9]:

Table

Comparison of the MU-MIMO and the Massive MIMO

Function	MU-MIMO	Massive MIMO
Relation between number of BS antennae (N) and users (K)	$N \approx K$, both have a small number.	$N \gg K$, both can have a huge number.
Duplexing mode	Designed to work with both time-division duplex and frequency-division duplex operation.	Designed for time-division duplex operation to exploit channel reciprocity, of course work with FDD too.
Channel acquisition	Based on codebooks with set of predefined angular beams.	Based on sending uplink pilots and exploiting the channel reciprocity.
Link quality after precoding/combining	Varies over time and frequency, due to frequency-selective and small-scale fading.	No variations over time and frequency, because of channel hardening.
Resource allocation	The allocation must change rapidly to account for channel quality variations.	The allocation can be planned in advance since the channel quality varies slowly.
Cell-edge performance	Good when BSs are cooperate.	Cell-edge SNR increases proportionally to the number of antennae, without causing more inter-cell interference.

Massive MIMO Benefits. The benefits of the Massive MIMO are described below:

- The Massive MIMO has excellent spectral efficiency, achieved by spatial multiplexing of many terminals in the same time-frequency resource. Efficient multiplexing requires channels to different terminals to be sufficiently different, which has been shown to hold, theoretically and experimentally, in diverse propagation environments. MIMO works well in line-of-sight as in rich scattering [10].
- It has superior energy efficiency, by virtue of the array gain, that permits to

reduce the radiated power. Moreover, the ability to achieve excellent performance while operating with low-accuracy signals and linear processing further enables considerable savings.

- Increases the capacity 10 times or more. Because in the Massive MIMO, the base station is equipped with a large number of antennae, using this large number of antennae, different independent data streams can be sent simultaneously. This is called spatial multiplexing, and by using this spatial multiplexing, capacity increases in the Massive MIMO [11].
- Improves the system reliability because in the Massive MIMO there are multiple antennae, so a multiple path is available for the radio signal.
- The Massive MIMO can be built with inexpensive, low-power components. With the massive MIMO, expensive, ultra-linear 50 Watt amplifiers used in conventional systems are replaced by hundreds of low cost amplifiers with output power in the milli-watt range.
- Provides a significant reduction of latency on the air interface. The performance of wireless communication systems is degraded by fading. Fading is caused by interference between multipath waves which arrive at the receiver at slightly different times. Due to fading it is hard to build low-latency wireless links. The Massive MIMO depends on the law of large numbers and beam forming to avoid fading, hence fading does not limit latency.
- The Massive MIMO simplifies the multiple-access layer. In the Massive MIMO, each terminal can be given the whole bandwidth, which eliminates the need for frequency-scheduling.
- Increases the robustness to intentional jamming. Due to the insufficiency of bandwidth, spreading information over frequency is not realizable; the solution of this problem is to use multiple antennae. The Massive MIMO provides many excess degrees of freedom that can be used to cancel signals from intentional jammers.

Conclusion. Massive MIMO can increase broadband services in the future, and more. Networks like 5G are expected to support a great variety of wireless services in areas ranging from infotainment to healthcare, IoT, smart homes and cities, manufacturing, and many others. Massive MIMO technology bespoke to support a massive number of Massive Machine Type Communication (MTC) devices. Also, it is an excellent candidate to realize Ultra Reliable Communication as it can set up very robust physical links.

References

1. **Björnson E., Larsson E. G., Marzetta T. L.** Massive MIMO: Ten Myths and One Critical Question // IEEE Commun. Mag.-Mar. 2015.- P. 1-2.

2. **Patadiya Nayan A., Saurbah M. Patel.** Antenna Selection in Massive MIMO System.- Feb. 2016.- Vol. 1, N. 1.
3. **Jon Mundy.** What is Massive MIMO Technology-5G.co.uk.- Dec. 2018.- P. 1-3.
4. **Berenguer In., Xiaodong Wang and Krishnamurthy Vikram.** Adaptive MIMO Antenna Selection via Discrete Stochastic Optimization // IEEE Transactions on Signal Processing.- November 2005.- Vol. 53, No. 11.
5. **Xiang Gao, Ove Edfors, Jianan Liu and Fredrik Tufvesson.** Antenna selection in measured massive MIMO channels using convex optimization // IEEE Globecom Workshops.- 2013.- Vol. 1.
6. **Marzetta T.L.** Noncooperative cellular wireless with unlimited numbers of base station antennas // IEEE Trans. Wireless Commun.- Nov. 2010.- Vol. 9, no. 11.- P. 3590-3600.
7. **Lu Lu, Geoffrey Ye Li.** An Overview of Massive MIMO: Benefits and Challenges // IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing.- October 2014.- Vol. 8, No. 5.
8. **Larsson E.G.** Very large MIMO systems // Opportunities and challenges.- 2012.- P. 1-29.
9. **Bjornson Emil.** Six differences between MU-MIMO and Massive MIMO.- 2017.- P. 1-5.
10. **Larsson E.G.** Massive MIMO for 5G // IEEE 5G Tech Focus.- March 2017.- Vol. 1, Number 1.
11. **Larsson E., Edfors O., Tufvesson F. and Marzetta T.** Massive MIMO for next generation wireless systems // IEEE Communications Magazine.- February 2014.- Vol. 52, No. 2.- P. 186-195.

Received on 11.01.2019.

Accepted for publication on 15.05.2019.

ԶԱՆԳՎԱԾԱՅԻՆ MIMO ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ՇԱՀԱԳՈՐԾՄԱՆ ԿԱՆԽԱՏԵՍՈՒՄԸ

Կ.Հ. Հակոբյան, Լ.Գ. Կիրակոսյան, Ա.Մ. Մոմջյան

Այսօր բջջային ցանցի հիմնական նպատակը ցանկացած գերբեռնված քաղաքում գերարագ կապ ապահովելն է: Ներկայիս բջջային բազային կայանները չեն կարողանում շարունակաբար բարձրացնել տվյալների փոխանցման/ընդունման արագությունը: Զանգվածային MIMO-ն ներկայումս 6 ԳՀ-ից ցածր ֆիզիկական շերտի առավել գրավիչ տեխնոլոգիան է ապագա անլար կապի համար: Հիմնական հասկացությունը բազային կայաններում մեծ ալեհավաքային վանդակների օգտագործումն է՝ միաժամանակ բազմաթիվ ինքնավար տերմինալների կապն ապահովելու համար: Զանգվածային բառը վերաբերում է մեծ քանակությամբ անտենաներին, այլ ոչ թե ֆիզիկական չափերին, որտեղ ալեհավաքային տողերի գործոններից մեկի 2 ԳՀ տիրույթում երկակի բեռնացված 200 տարրերով կես ալիքի երկարությամբ ուղանկյունաձև տողերի չափսը կազմում է 1.5×0.75 մետր: Ներկայացված են զանգվածային MIMO-ի գործողությունը ժամանակահատվածային բաժանման ռեժիմում և ցածր ալիքային կապի համապատասխանությունը ցածր և բարձր ալիքային կապի փոխազդեցության ռադիոհաղորդականությանը: Մասնավորապես, բազային կայանն օգտագործում է ալիքներ, որոնք ձեռք են բերվում բարձր ալիքային կարգավորիչներից՝ փոխանցված տերմինալներից՝ ալիքը երկու ուղղություններով

կարդալու համար: Այս հատկությունը զանգվածային MIMO-ն դարձնում է համատեղելի մեծ քանակով բազային կայանների անտենաների հետ: Բազային կայանները զանգվածային MIMO-ում գործում են անկախ՝ չկիսելով և չփոխանցելով տվյալները կամ ալիքի վիճակի մասին տեղեկությունը այլ տարրերի: Տերմինալների եզակի և հարուստ տարածվող բանալիներն օգտագործվում են խելացի զանգվածի վերամշակմամբ՝ գերարտադրողականության հասնելու համար: Ներկայացված են զանգվածային MIMO համակարգի առավելությունները և շահագործման կանխատեսումները:

Առանցքային բաներ. զանգվածային MIMO, անտենա, բջջային տվյալներ, շարժական ցանց, անլար կապ:

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПРОГНОЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАССИВНОЙ СИСТЕМЫ MIMO

К.Т. Акопян, Л.Г. Киракосян, А.М. Момджян

Сегодняшняя цель в сотовой сети - иметь высокоскоростную мобильную передачу данных в любых плотных городских районах. В настоящее время сотовые базовые станции не могут постоянно увеличивать скорости передачи/приема данных. Массивная система MIMO является наиболее привлекательной технологией физического уровня ниже 6 ГГц для будущего беспроводного доступа. Основная концепция MIMO заключается в использовании больших антенных решеток на базовых станциях для одновременного обслуживания множества автономных терминалов. Ключевой концепцией является оснащение базовой станции массивами из множества антенн, которые используются для одновременного обслуживания множества терминалов в одном и том же частотно-временном ресурсе. В статье слово “массивный” относится к количеству антенн, а не к физическим размерам, где антенные решетки имеют привлекательные форм-факторы: в полосе 2 ГГц прямоугольная матрица с разнесением на половину длины волны и 200 элементами с двойной поляризацией имеет ширину около 1,5*0,75 м. Показана работа массивной системы MIMO в дуплексном режиме с временным разделением. Установлено, что для формирования луча нисходящей линии связи используется взаимодействие восходящей и нисходящей линий связи распространения радиоволн. В частности, массив базовой станции использует оценки канала, полученные из пилот-сигналов восходящей линии связи, передаваемых терминалами, чтобы узнать канал в обоих направлениях. Это делает массивную систему MIMO полностью масштабируемой по отношению к количеству антенн базовой станции. Базовые станции в массивной системе MIMO работают автономно, без обмена данными полезной нагрузки или информацией о состоянии канала с другими ячейками. Богатые и уникальные сигнатуры распространения терминалов используются с интеллектуальной обработкой в массиве для достижения превосходной пропускной способности. В статье представлены анализ, преимущества массивной системы MIMO и дается прогноз эксплуатации.

Ключевые слова: массивная система MIMO, антенна, сотовые данные, мобильная сеть, беспроводная связь.