

## توازن SINR از طریق اعمال توام تخصیص توان و انتخاب آنتن در مسیر فراسوی یک سیستم چند ورودی چند خروجی چند کاربره انبوه

رضا سعادت<sup>۱\*</sup>، جواد رنجبر<sup>۲</sup>

۱- دانشیار، ۲- دانشجوی دکتری، دانشگاه یزد

(دریافت: ۹۸/۰۲/۲۴، پذیرش: ۹۸/۰۸/۰۱)

### چکیده

در این مقاله یک الگوریتم توزیعی مبتنی بر توان سیگنال پایلوت ارسال شده توسط آنتن‌های BS در مسیر فراسوی جهت کنترل توان در مسیر فراسوی هر یک از کاربرها برای حل مسئله توازن در نرخ ارسال و دریافت بین کاربرها و آنتن‌های BS در یک شبکه چند ورودی چند خروجی چند سلولی انبوه پیشنهاد شده است. الگوریتم پیشنهادی به گونه‌ای است که هر یک از کاربرها مجموعه‌ای از آنتن‌های کلیه BS های سیستم را به‌عنوان آنتن‌های گروهی خانگی خود انتخاب می‌کنند و بر اساس توان پایلوت‌های دریافتی از آنها اقدام به تنظیم توان خود از طریق حل یک معادله چند جمله‌ای می‌کنند. الگوریتم به‌صورت بازگشتی و تکرارشونده اجرا شده و پس از چندین تکرار، SINR هر کاربر در آنتن‌های گروهی خانگی خود به یک مقدار برابر همگرا خواهد شد. نتایج شبیه‌سازی عملکرد خوب الگوریتم در جهت افزایش بهره‌وری انرژی مصرفی به کمک انتخاب مناسب‌المان‌های آنتن و تنظیم توان ارسالی کاربران را نشان می‌دهد.

**کلیدواژه‌ها:** سیستم چند ورودی چند خروجی انبوه، توازن SINR، کنترل توان، انتخاب آنتن

## SINR Balanced Power Allocation and Antenna Selection in the Uplink of Multiuser Massive MIMO Systems

R. Saadat\*, J. Ranjbar

Yazd University

(Received: 06/01/2019; Accepted: 01/05/2019)

### Abstract

*In this paper, a distributed pilot-based power control algorithm is proposed that controls the transmitted power of each user in the uplink direction base on pilot's measurement in the downlink direction to address the SINR balancing and antennas selection in a multi-user massive MIMO system. In the proposed algorithm, each user chooses a set of antennas of all BSs as their home group antennas and based on their received pilot power, adjust their transmitting power by solving a polynomial equation. The algorithm is performed recursively and after several repetitions, the SINR values of all users converge to the same value in their home group antennas. The simulation results illustrate the improvement in energy efficiency by choosing proper antennas selection and power adjustment.*

**Keywords:** Massive MIMO, SINR Balancing, Power Control, Antenna Selection.

## ۱. مقدمه

امروزه در شبکه‌های سلولی بیسیم با توجه به اینکه تقاضا برای افزایش ظرفیت و قابلیت اطمینان روز به روز در حال افزایش است، استفاده از <sup>۱</sup>MIMO می‌تواند هم ظرفیت و هم قابلیت اطمینان را افزایش دهد [۱-۲]. در سیستم‌های کنونی در هر BS<sup>۲</sup> نهایتاً می‌توان از ۸ آنتن استفاده کرد که برای تعمیم آن در فناوری 5G در شرایط NLOS<sup>۳</sup> کافی نیست [۳]. برای حل این مشکل سیستم چند ورودی چند خروجی انبوه ارائه شده است [۴] که می‌تواند با عمل در مود TDD<sup>۴</sup> به تعداد زیادی کاربر تک آنتنه به صورت همزمان در یک منبع زمان-فرکانس برابر سرویس داده و برای هر کاربر گذردهی بالا را ایجاد کرده و بازدهی انرژی سیستم را افزایش دهد [۵]. با تجهیز هر BS به صدها آنتن متقابل و نویز گرمایی را می‌توان تقریباً حذف کرد [۳].

در سیستم چند ورودی چند خروجی معمولاً فرض بر این است که تمامی کاربرها از تخصیص توان داده و پایلوت برابر برخوردارند [۶-۴]. اما می‌توان با تخصیص توان بهینه به کاربرها از طریق متوازن کردن سطوح تداخل، کارایی سیستم را افزایش داد [۸-۷]. تنها در تعداد کمی از مقالات به مسئله کنترل توان پرداخته شده است، در صورتی که برای افزایش بازدهی انرژی سیستم، استفاده از کنترل توان ضروریست. برای این منظور باید برای افزایش کارایی سیستم و یا رعایت انصاف در سیستم، توان کاربرهای مختلف را تغییر داد. برای رسیدن به گذردهی برابر در یک سیستم چند ورودی چند خروجی چند سلولی انبوه توان داده بهینه شده است [۹]. همچنین برای کمینه کردن مصرف توان فراسو تحت یک SINR<sup>۵</sup> محدود از کنترل توان استفاده شده است [۱۰]. به منظور کمینه شدن مصرف توان کل کاربرها و در عین حال افزایش بهره انرژی، از کنترل توان بطور همزمان، هم در توان پایلوت و هم در توان داده استفاده می‌شود [۱۱]. به منظور حداکثر کردن نرخ قابل دسترس کل در مسیر فراسو، برخلاف بسیاری از مقالات که توان پایلوت کاربرها را برابر در نظر می‌گیرند، توان‌های پایلوت مختلفی به کاربرها اختصاص داده می‌شود [۱۲]. در این مقاله نشان داده شده است که زمانی که در یک سیستم چند ورودی چند خروجی انبوه تعداد آنتن‌های BS به بینهایت میل کند، SINR هر کاربر تنها به محوشدگی مقیاس بزرگ<sup>۶</sup> و توان پایلوت هر کاربر وابسته خواهد بود. به منظور جلوگیری از تاثیر آلودگی پایلوت در یک سیستم چند ورودی چند خروجی انبوه بدون سلول، یک طرح کنترل توان

پایلوت برای حداقل کردن خطای میانگین مربعات تخمین کانال از طریق روش تقریب محدب متوالی ارائه شده است که ضرایب کنترل توان پایلوت را ایجاد می‌کند [۱۳]. در یک سیستم چند ورودی چند خروجی انبوه از طریق حل مسائل بهینه‌سازی به طراحی پایلوت پرداخته شده و توان پایلوت و توان داده هر کاربر در مسیر فراسو به صورت همزمان اختصاص یافته است. نتایج عددی در این مقاله اهمیت بهینه‌سازی همزمان توان ارسالی و توان پایلوت به منظور بیشینه نمودن مقدار حداقل بازدهی طیفی را نشان می‌دهد [۱۴]. در یک سیستم چند ورودی چند خروجی انبوه بدون سلول مسئله محدودیت سخت‌افزاری و هزینه ساختاری نیز باید مورد بررسی قرار گیرد. با طرح یک مسئله کنترل توان max-min برای حداکثر کردن کمینه نرخ هر کاربر در سیستم چند ورودی چند خروجی انبوه بدون سلول، ادعا شده است که می‌توان از تجهیزات با کیفیت پایین و ارزان نیز برای رسیدن به بازدهی طیفی و انرژی قابل قبول استفاده کرد [۱۵].

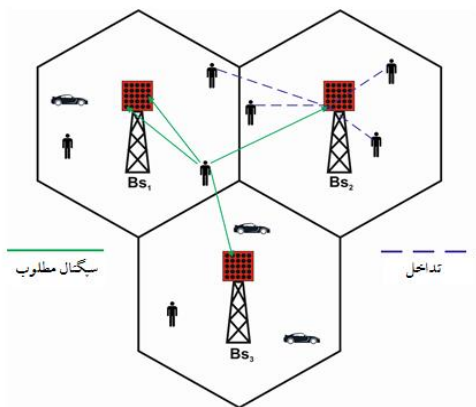
یکی از معایب استفاده از چندین آنتن در BS افزایش هزینه سخت‌افزاری و پیچیدگی نرم‌افزاری است. این مسئله زمانی بدتر می‌شود که در یک سیستم چند ورودی چند خروجی انبوه از صدها آنتن در یک BS استفاده می‌شود. در سیستم چند ورودی چند خروجی انبوه به ازای هر آنتن یک زنجیره RF<sup>۷</sup> شامل تقویت‌کننده فرکانس رادیویی، میکسر و مبدل آنالوگ به دیجیتال و دیجیتال به آنالوگ وجود دارند که در کل توان زیادی را مصرف خواهند کرد. برای کاهش پیچیدگی سخت‌افزاری و نرم‌افزاری می‌توان از روش انتخاب آنتن استفاده کرد [۱۷-۱۶]. برخلاف استفاده از روش انتخاب آنتن در سیستم چند ورودی چند خروجی معمولی تنها تعداد بسیار کمی از مقالات به استفاده از این روش در سیستم چند ورودی چند خروجی انبوه پرداخته‌اند. به منظور افزایش بازدهی سیستم از روش انتخاب آنتن به صورت تصادفی استفاده شده است [۱۸]. همچنین به منظور افزایش بهره‌وری انرژی روش انتخاب آنتن وفقی، مورد استفاده قرار گرفته است [۱۹]. جهت بهبود کارایی یک سیستم چند ورودی چند خروجی انبوه، از تلفیق الگوریتم انتخاب آنتن و زمان‌بندی کاربرها از طریق حذف ترتیبی آنتن‌ها و کاربرهایی که مطلوب نیستند نیز استفاده شده است [۲۰]. همچنین مروری کلی بر روش‌های انتخاب آنتن در فرستنده و گیرنده نیز مورد بررسی قرار گرفته است [۲۱].

به علت افزایش تعداد کاربرها و افزایش نرخ درخواستی از طرف آنها و همچنین وجود منابع محدود، تخصیص منابع اعم از توان و طیف و مسئله توازن SINR برای هر یک از کاربرها یکی از چالش‌های پیش رو در شبکه‌های بیسیم نسل آینده خواهد

<sup>۱</sup> Multi Input Multi Output<sup>۲</sup> Base Station<sup>۳</sup> Non Line of Sight<sup>۴</sup> Time Division Duplex<sup>۵</sup> Signal to Interference & Noise Ratio<sup>۶</sup> Large Scale Fading<sup>۷</sup> Radio Frequency

## ۲. مدل سیستم

یک سیستم چند ورودی چند خروجی چند سلولی چند کاربره انبوه را در نظر می‌گیریم که دارای  $L$  سلول است و هر سلول دارای یک BS است که شامل  $M$  آنتن بوده که از  $K \ll M$  کاربر پشتیبانی می‌کنند (شکل ۱). مجموعه سلول‌ها، آنتن‌های هر سلول و کاربرها را به ترتیب به صورت  $\mathbb{L} = \{1, 2, \dots, L\}$ ،  $\mathbb{M} = \{1, 2, \dots, M\}$  و  $\mathbb{K} = \{1, 2, \dots, K\}$  تعریف می‌کنیم.



شکل ۱. ساختار یک سیستم چند ورودی چند خروجی چند سلولی چند کاربره انبوه

اگر  $g_{l'k}^{lm}$  را بهره کانال بین  $k$  امین کاربر در سلول  $l'$  با  $m$  امین آنتن BS در  $l$  امین سلول در نظر بگیریم می‌توان بردار بهره کانال  $k$  امین کاربر در سلول  $l'$  با آنتن‌های هر کدام از BS ها در  $l$  امین سلول را به صورت  $\mathbf{g}_{l'k}^l = [g_{l'k}^{l1}, g_{l'k}^{l2}, \dots, g_{l'k}^{lM}]$  تعریف کرد.

فرض بر این است آنتن‌های BS در یک صفحه به صورت آرایه‌ای قرار گرفته‌اند، لذا فاصله تمام آنتن‌های هر BS با هر یک از کاربرها برابر بوده و دارای محوشدگی مقیاس بزرگ برابر بوده ولی محوشدگی مقیاس کوچک<sup>۲</sup> هر یک از آنتن‌ها در هر BS با هر یک از کاربرها متفاوت خواهد بود لذا داریم:

$$g_{l'k}^{lm} = \beta_{l'k}^l |h_{l'k}^{lm}|^2 \quad (1)$$

که در آن،  $\beta_{l'k}^l$  محوشدگی مقیاس بزرگ بوده که به آرامی تغییر کرده و قابل ردیابی است و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\beta_{l'k}^l = \frac{1}{d_{l'k}^l \alpha} \quad (2)$$

که  $d_{l'k}^l$  فاصله  $k$  امین کاربر در سلول  $l'$  از  $l$  امین BS است و  $\alpha$  ضریب تلفات مسیر است. در این مقاله از اثر سایه صرف نظر شده است.  $h_{l'k}^{lm}$  نیز محوشدگی مقیاس کوچک بین  $m$  امین آنتن در  $l$  امین BS و  $k$  امین کاربر در سلول  $l'$  است که یک متغیر مختلط

بود. از طریق حل مسئله بهینه‌سازی با سه معیار حداقل کردن توان و حداکثر کردن حداقل QOS<sup>۱</sup> و بیشینه کردن مجموع بازدهی طیفی و توجه همزمان به مسئله کنترل توان و توازن بار در مسیر فراسوی یک سیستم چند ورودی چند خروجی چند کاربره انبوه بدون سلول نشان داده است که می‌توان کارایی سیستم را نسبت به استفاده از روش ارتباط با SNR حداکثری بهبود داد [۲۲]. در یک شبکه موبایل ناهمگن، با ارائه یک طرح کنترل توان توزیعی تکرارشونده بر اساس توان پایلوت BS، SINR هر کاربر در BS خانگی خود متوازن شده و ظرفیت سیستم با معیار انصاف نیز حداکثر خواهد شد [۲۳]. در یک سیستم رادیو شناختی نیز نشان داده است که می‌توان با طرح یک مسئله توازن SINR و ارائه یک روش توازن SINR برای شکل‌دهی پرتو در مسیر فرسوسو با استفاده از طرح تکرارشونده، حداقل SINR هر کاربر را بیشینه کرد [۱۸].

با توجه به محدود بودن مستندات در حوزه نظامی، مقالات کمی در این موضوع در حوزه نظامی در دسترس است ولی می‌توان به برخی از مقالات در زمینه کاربردهای نظامی در زمینه تشخیص اهداف متحرک در رادارهای مجهز به این سیستم و استفاده از آن در کنترل پرنده‌های بدون سرنشین اشاره کرد [۲۴-۲۵].

در این مقاله یک الگوریتم کنترل توان ارائه شده است که هدف آن رعایت معیار انصاف در SINR هر کاربر در آنتن‌های گروهی خود در مسیر فراسو است. اصول عملکرد این الگوریتم بر اساس محاسبه توان پایلوت ارسالی از طریق هر یک از آنتن‌های BS های شبکه بوده لذا بیت‌های موجود در پایلوت‌های ارسال شده مهم نخواهد بود. این الگوریتم به صورت تکرارشونده اجرا شده و پس از چندین تکرار SINR هر کاربر در آنتن‌های گروهی خانگی خود به یک مقدار برابر همگرا خواهند شد. این همگرایی SINR به یک عدد واحد موجب توازن ظرفیت و گذردهی هر یک از کاربرها خواهد شد.

در ادامه مقاله در قسمت دوم مدل سیستم را مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در قسمت سوم الگوریتم پیشنهادی تشریح داده می‌شود. در قسمت چهارم به تحلیل همگرایی الگوریتم پیشنهادی پرداخته خواهد شد و در قسمت پنجم نتایج شبیه‌سازی را به همراه تحلیل نمودارها و جداول بیان کرده و در نهایت در قسمت ششم به نتیجه گیری از کار ارائه شده پرداخته خواهد شد.

<sup>۲</sup> Small Scale Fading

<sup>۱</sup> Quality of Service

کاربرها در مسیر فراسو در آنتن های گروهی خانگی شان به شرح زیر است:

### مرحله اول: کنترل توان پایلوت آنتن های BS

فرض می کنیم  $p_{l'k}(n)$  توان کاربر  $k$  ام در سلول  $l'$  در مرحله  $m$  ام از اجرای الگوریتم است. در گام اول تمامی آنتن های هر BS کل توان دریافتی از تمامی کاربرها در مسیر فراسو را در  $m$  امین تکرار الگوریتم محاسبه می کنند. توان دریافتی  $m$  امین آنتن از BS،  $l$  امین سلول در  $n$  امین تکرار الگوریتم را به صورت  $I^{lm}(n)$  تعریف کرده و به صورت زیر می نویسیم:

$$I^{lm}(n) = \sum_{l'=1}^L \sum_{k=1}^K g_{l'k}^{lm} p_{l'k}(n) + n^{lm}, \forall m \in \mathbb{M} \quad (3)$$

که در آن  $n^{lm}$  نویز  $m$  امین آنتن در BS،  $l$  امین سلول است.  $I^l(n) = [I^{l1}, I^{l2}, \dots, I^{lm}]^T \in \mathbb{C}^{M \times 1}$  نیز رابطه کل توان دریافتی از کلیه کاربرها در هر یک از آنتن های BS در سلول  $l$  است که می توان آنرا به صورت زیر بیان کرد:

$$I^l(n) = \sum_{l'=1}^L \sum_{k=1}^K g_{l'k}^l p_{l'k}(n) + N^l, \forall l \in \mathbb{L} \quad (4)$$

که در آن  $g_{l'k}^l = [g_{l'k}^{l1}, g_{l'k}^{l2}, \dots, g_{l'k}^{lm}]^T$  بردار بهره کانال  $k$  امین کاربر در سلول  $l'$  با تمامی آنتن های BS،  $l$  امین سلول و  $N^l = [n^{l1}, \dots, n^{lm}]^T$  بردار نویز تمامی آنتن های BS،  $l$  امین سلول است.

در گام دوم هر آنتن بعد از محاسبه کل توان دریافتی از کاربرها توان پایلوت خود را در مسیر فراسو در  $m$  امین تکرار به صورت رابطه زیر ارسال می کند [۲۶].

$$\rho^{lm}(n) = \frac{\mu(n)}{I^{lm}(n)} \quad (5)$$

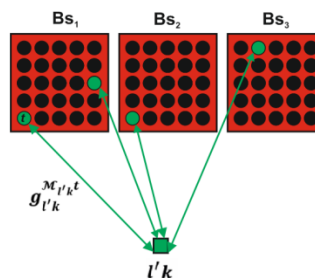
که در آن  $\mu(n)$  ضریب نرمالیزاسون است که بین تمامی BS ها در هر تکرار پخش همگانی خواهد شد و به صورت زیر تعریف می شود:

$$\mu(n) = I_{\min}(n) P_{\max}^{dl} \quad (6)$$

که در آن،  $I_{\min}(n) = \{\min I^{lm}(n), \forall m \in \mathbb{M}, l \in \mathbb{L}\}$ ، کمینه توان کل دریافتی در بین کلیه آنتن های تمامی BS های شبکه در  $n$  امین تکرار الگوریتم و  $P_{\max}^{dl}$  نیز بیانگر حداکثر توان پایلوت ارسالی مجاز در مسیر فراسوی تمامی آنتن های شبکه است. این ضریب نرمالیزاسیون طی گذشت چند تکرار از الگوریتم به مقدار ثابتی همگرا می گردد. استفاده از این ضریب نرمالیزاسیون موجب

گوسی iid با میانگین صفر و واریانس واحد  $(CN(0,1))$  است. فرض بر این است که سیستم چند ورودی چند خروجی انبوه از روش TDD استفاده می کند لذا ما می توانیم از مدل بلاک محوشدگی زمانی<sup>۱</sup> استفاده کنیم که در آن  $g_{l'k}^{lm}$  در طول زمان همدوسی کانال ثابت باقی می ماند [۲].

در الگوریتم پیشنهادی این مقاله هر کاربر برای ارسال و دریافت تعدادی آنتن را به عنوان آنتن های گروهی خانگی خود انتخاب می کند که این آنتن ها می توانند از بین کلیه آنتن های موجود در کلیه BS های شبکه انتخاب شوند، لذا مجموعه آنتن های گروهی خانگی انتخاب شده توسط  $k$  امین کاربر در سلول  $l'$  را با  $\mathcal{M}_{l'k}$  نشان داده و بهره کانال بین هر کاربر و  $l$  امین المان از این مجموعه را با  $g_{l'k}^{M_{l'k}^t}$  نشان خواهیم داد.



شکل ۲. انتخاب آنتن های گروهی خانگی هر کاربر از BS های مختلف

### ۳. الگوریتم پیشنهادی

در بیشتر سیستم های چند ورودی چند خروجی انبوه تنها از پایلوت های ارسالی از طرف کاربرها برای تخمین کانال استفاده می شود اما در برخی از کاربردهای این سیستم ها مانند آموزش شکل دهی پرتو برای افزایش کارایی سیستم از پایلوت کاربرها و آنتن های BS به صورت توام استفاده می شود [۲۷، ۲۸ و ۳۴]. در این بخش یک الگوریتم توزیعی مبتنی بر توان سیگنال پایلوت ارسال شده توسط آنتن های BS در مسیر فراسو جهت کنترل توان در مسیر فراسوی هر یک از کاربرها پیشنهاد می شود که به صورت برگشتی عمل کرده و قادر است طی گذشت چند تکرار، توازن در SINR را برای هر یک از کاربرها در آنتن های گروهی خانگی شان تضمین نماید. کنترل توان کاربرها از طریق توان سیگنال پایلوت دریافتی از آنتن های هر یک از BS ها کاملاً ساده است زیرا تنها نیاز به محاسبه توان سیگنال دریافتی داشته و نیازی به اطلاع از بیت های موجود در سیگنال پایلوت دریافتی ندارد.

الگوریتم توزیعی پیشنهاد شده برای توازن SINR هر یک از

<sup>1</sup> Widely Used Time Block Fading

می‌گردد که مقدار توان ارسالی هر آنتن در هر تکرار الگوریتم از مقدار  $P_{max}^{dl}$  تجاوز نکند.

در گام سوم ابتدا  $k$  امین کاربر در سلول  $l'$  توان پایلوت ارسالی از آنتن  $m$  ام از سلول  $l$  ام را به صورت زیر دریافت می‌نماید:

$$\omega_{l'k}^{lm}(n) = \rho^{lm}(n) g_{l'k}^{lm}, \forall l \in \mathbb{L}, m \in \mathbb{M} \quad (7)$$

در مجموع هر کاربر تعداد  $LM$  توان پایلوت ارسالی از آنتن‌های شبکه را دریافت می‌نماید که این توان‌های پایلوت دریافتی ملاک تعیین توان هر یک از کاربرها خواهد بود.

### ۳-۱. مرحله دوم: انتخاب آنتن و تخصیص توان هر کاربر

در گام چهارم هر کاربر باید مجموعه‌ای از آنتن‌ها را انتخاب کند که می‌خواهد با آنها ارسال و دریافت داشته باشد. فرض می‌کنیم که هر کاربر در یک ارتباط باید با  $S$  آنتن ارتباط برقرار کند. لذا هر کاربر تعداد  $S$  آنتنی را انتخاب می‌کند که بیشترین توان پایلوت دریافتی را از آنها دارند. این مجموعه آنتن‌های گروهی خانگی هر کاربر در  $n$  امین تکرار الگوریتم را  $\mathcal{M}_{l'k}(n)$  نامیده و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mathcal{M}_{l'k}(n) = S \text{ of } \max arg \omega_{l'k}^{lm}(n), \forall l' \in \mathbb{L}, m \in \mathbb{M} \quad (8)$$

اگر توان هر کاربر را به صورت  $p_{l'k}(n)$  در نظر بگیریم و  $I^{M_{l'k}t}(n)$  کل توان دریافتی در  $t$  امین آنتن مجموعه  $\mathcal{M}_{l'k}(n)$  در تکرار  $n$  ام الگوریتم باشد، SINR کاربر  $k$  ام در سلول  $l'$  در  $t$  امین آنتن مجموعه  $\mathcal{M}_{l'k}(n)$  در تکرار  $n$  ام به صورت زیر خواهد بود:

$$SINR_{l'k}^{M_{l'k}t}(n) = \frac{p_{l'k}(n) g_{l'k}^{M_{l'k}t}}{I^{M_{l'k}t}(n) - p_{l'k}(n) g_{l'k}^{M_{l'k}t}} \quad (9)$$

که در آن بهره کانال بین  $t$  امین آنتن مجموعه  $\mathcal{M}_{l'k}$  با  $k$  امین کاربر از سلول  $l'$  است. از آنجایی که در این مقاله قصد داریم مجموع SINR هر کاربر را در آنتن‌های گروهی‌شان برابر کنیم، مجموع SINR، هر کاربر در  $S$  آنتن انتخابی اش را برابر مقدار ثابت  $\gamma$  قرار می‌دهیم.

$$\sum_{t=1}^S SINR_{l'k}^{M_{l'k}t} = \gamma \quad (10)$$

که در آن  $SINR_{l'k}^{M_{l'k}t}$ ، SINR،  $t$  امین آنتن مجموعه

$$\frac{p_{l'k} g_{l'k}^{M_{l'k}1}}{I^{M_{l'k}1} - p_{l'k} g_{l'k}^{M_{l'k}1}} + \dots + \frac{p_{l'k} g_{l'k}^{M_{l'k}S}}{I^{M_{l'k}S} - p_{l'k} g_{l'k}^{M_{l'k}S}} = \gamma \quad (11)$$

با تقسیم هر یک از المان‌های سمت چپ تساوی رابطه (۱۱) بر صورت‌هایشان خواهیم داشت:

$$\frac{1}{\frac{I^{M_{l'k}1}}{p_{l'k} g_{l'k}^{M_{l'k}1}} - 1} + \dots + \frac{1}{\frac{I^{M_{l'k}S}}{p_{l'k} g_{l'k}^{M_{l'k}S}} - 1} = \gamma \quad (12)$$

حال با توجه به  $\frac{I_{l'k}^{M_{l'k}t}}{g_{l'k}^{M_{l'k}t}} = \frac{\mu}{\omega_{l'k}^{M_{l'k}t}}$ ، که در آن  $\omega_{l'k}^{M_{l'k}t}$  توان دریافتی کاربر  $k$  ام در سلول  $l'$  ام از  $t$  امین المان مجموعه  $\mathcal{M}_{l'k}$  است می‌توانیم بنویسیم:

$$\frac{1}{\frac{\mu}{p_{l'k} \omega_{l'k}^{M_{l'k}1}} - 1} + \dots + \frac{1}{\frac{\mu}{p_{l'k} \omega_{l'k}^{M_{l'k}S}} - 1} = \frac{p_{l'k} \omega_{l'k}^{M_{l'k}1}}{\mu - p_{l'k} \omega_{l'k}^{M_{l'k}1}} + \dots + \frac{p_{l'k} \omega_{l'k}^{M_{l'k}S}}{\mu - p_{l'k} \omega_{l'k}^{M_{l'k}S}} = \gamma \quad (13)$$

حال باید برای به دست آوردن توان کاربر  $k$  ام در سلول  $l'$ ،  $(p_{l'k})$ ، رابطه (۱۳) را حل کنیم. برای سادگی حل این رابطه، متغیر  $C_z$  را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$C_z = \{\text{مجموع حاصل ضرب ترکیب‌های } z \text{ تایی از } S \text{ المان}\}$$

برای مثال اگر  $S = 3$  در نظر گرفته شود خواهیم داشت:

$$C_1 = \{\text{مجموع حاصل ضرب ترکیب‌های یکی از 3 المان}\}$$

$$C_1 = \{\omega_{l'k}^{M_{l'k}1} + \omega_{l'k}^{M_{l'k}2} + \omega_{l'k}^{M_{l'k}3}\}$$

$$C_2 = \{\text{مجموع حاصل ضرب ترکیب‌های 2 تایی از 3 المان}\}$$

$$C_2 = \{\omega_{l'k}^{M_{l'k}1} \omega_{l'k}^{M_{l'k}2} + \omega_{l'k}^{M_{l'k}1} \omega_{l'k}^{M_{l'k}3} + \omega_{l'k}^{M_{l'k}2} \omega_{l'k}^{M_{l'k}3}\}$$

$$C_3 = \{\text{مجموع حاصل ضرب ترکیب‌های 3 تایی از 3 المان}\}$$

$$C_3 = \{\omega_{l'k}^{M_{l'k}1} \omega_{l'k}^{M_{l'k}2} \omega_{l'k}^{M_{l'k}3}\}$$

با در نظر گرفتن  $C_0 = 1$  حال خواهیم داشت.

$$\frac{\sum_{t=1}^S SINR_{l'k}^{M_{l'k}t}}{(-1)^{S+1} S C_S p_{l'k}^S + (-1)^S (S-1) C_{S-1} \mu^{S-2} p_{l'k}^{S-1} + \dots + (-1)^0 C_1 \mu^{S-1} p_{l'k}} = \frac{(-1)^S C_S p_{l'k}^S + (-1)^{S-1} C_{S-1} \mu p_{l'k}^{S-1} + \dots + (-1)^1 C_1 \mu^{S-1} p_{l'k} + \mu^S}{\sum_{t=1}^S (-1)^{t+1} t C_t \mu^{S-t} p_{l'k}^t} = \frac{\sum_{t=0}^S (-1)^t C_t \mu^{S-t} p_{l'k}^t}{\sum_{t=0}^S (-1)^t C_t \mu^{S-t} p_{l'k}^t} \quad (14)$$

#### ۴. تحلیل همگرایی الگوریتم پیشنهادی

تحلیلی از همگرایی تخصیص توان بر اساس استفاده از توان پایلوت در یک سیستم CDMA<sup>۱</sup> ارائه شده است [۲۹]. نویسنده مقاله الگوریتم همگرایی [۲۹] را برای سلول‌های کوچک متحرک گسترش داده است [۳۰]. ما نیز در این مقاله از روشی مشابه برای سیستم چند ورودی چند خروجی انبوه بهره خواهیم برد.

اگر  $\mathcal{M}_{l'k}(n)$  را مجموعه  $S$  آنتن انتخابی کاربر  $k$ ام در سلول  $l'$  در تکرار  $n$ ام از اجرای الگوریتم در نظر بگیریم،  $SINR_{l'k}^{M_{l'k}t}(n)$  که SINR کاربر  $k$ ام در سلول  $l'$  در امان  $t$ ام از مجموعه آنتن‌های گروهی خود در تکرار  $n$ ام از اجرای الگوریتم است را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$SINR_{l'k}^{M_{l'k}t}(n) = \frac{g_{l'k}^{M_{l'k}t} p_{l'k}(n)}{\sum_{a=1}^L \sum_{b=1}^K g_{ab}^{M_{l'k}t} p_{ab}(n) - g_{l'k}^{M_{l'k}t} p_{l'k}(n) + n^{M_{l'k}t}} \quad (18)$$

که در آن بهره کانال بین کاربر  $k$ ام در سلول  $l'$  و آنتن  $t$ ام از مجموعه  $\mathcal{M}_{l'k}(n)$  است.  $p_{l'k}(n)$  توان ارسالی کاربر  $k$ ام در سلول  $l'$  در تکرار  $n$ ام از اجرای الگوریتم است.  $n^{M_{l'k}t}$  نیز توان نویز در آنتن  $t$ ام از مجموعه  $\mathcal{M}_{l'k}(n)$  خواهد بود.

برای محاسبه SINR کل هر کاربر در مجموع آنتن‌های گروهی خانگی خود خواهیم داشت:

$$SINR_{l'k}(n) = \sum_{t=1}^S SINR_{l'k}^{M_{l'k}t}(n) = \sum_{t=1}^S \frac{g_{l'k}^{M_{l'k}t} p_{l'k}(n)}{\sum_{a=1}^L \sum_{b=1}^K g_{ab}^{M_{l'k}t} p_{ab}(n) - g_{l'k}^{M_{l'k}t} p_{l'k}(n) + n^{M_{l'k}t}} \quad (19)$$

برای رسیدن به یک ارتباط مطمئن باید رابطه  $SINR_{l'k}^{M_{l'k}t}(n) \geq \gamma_0$  برقرار باشد که در آن  $\gamma_0$  سطح آستانه و یا کمینه مقدار SINR مورد نیاز هر کاربر در مجموعه آنتن‌های گروهی خانگی شان است.

حال اگر  $SINR_{l'k}^{M_{l'k}t}(n) = \gamma_{l'k}^{M_{l'k}t}$  می‌توان با کمی عملیات ریاضی بر روی رابطه (۱۸) نوشت،

$$p_{l'k}(n) = \frac{\gamma_{l'k}^{M_{l'k}t}}{1 + \gamma_{l'k}^{M_{l'k}t}} \frac{1}{g_{l'k}^{M_{l'k}t}} \sum_{a=1}^L \sum_{b=1}^K g_{ab}^{M_{l'k}t} p_{ab}(n) + \frac{\gamma_{l'k}^{M_{l'k}t}}{1 + \gamma_{l'k}^{M_{l'k}t}} n^t \quad (20)$$

بردار توان تخصیص یافته به هر کاربر در مسیر فراسو در  $n$ امین تکرار الگوریتم را به صورت  $\mathbf{P}(n) = [p_1(n), p_2(n), \dots, p_{KL}(n)]^T$  تعریف می‌کنیم. حال می‌توان فرم ماتریسی رابطه (۲۰) را به صورت زیر نوشت:

که می‌توان آنرا به صورت زیر نوشت:

$$\sum_{t=0}^S (-1)^{t+1} (\gamma + t) C_t \mu^{S-t} p_{l'k}^t = 0 \quad (15)$$

اگر کمینه ریشه به دست آمده از حل رابطه (۱۵) برای هر کاربر را  $r_{l'k}$  بنامیم هر کاربر در مرحله  $n + 1$  الگوریتم، توان خود را به صورت زیر تعیین می‌کند:

$$p_{l'k}(n+1) = h_u(n) r_{l'k}(n) \quad (16)$$

که در آن  $h_u(n)$  ضریب نرمالیزاسیون هر کاربر در مسیر فراسو بوده و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$h_u(n) = \frac{P_{max}^{ul}}{\arg \max_{1 \leq l' \leq L} r_{l'k}(n)} = \frac{P_{max}^{ul}}{r_{l'kmax}(n)} \quad (17)$$

که در آن  $P_{max}^{ul}$  بیشینه توان ارسالی مجاز هر کاربر در مسیر فراسو و  $r_{l'kmax}(n)$  بیشینه آرگومان کمینه ریشه‌های به دست آمده از حل رابطه (۱۵) برای هر کاربر است. استفاده از این ضریب نرمالیزاسیون باعث می‌شود که توان ارسالی هیچکدام از کاربرها از حد مجاز ( $P_{max}^{ul}$ ) بیشتر نشود.

گام‌های این الگوریتم تا جایی تکرار می‌شوند که الگوریتم همگرا شود. همگرایی الگوریتم زمانی مورد بررسی قرار می‌گیرد که الگوریتم طی تکرارهای کافی به حالت پایدار خود برسد که در این حالت مقدار مجموع SINR همه کاربرها در آنتن‌های گروهی خانگی‌شان یکسان شده و در نتیجه توازن SINR برقرار خواهد شد

#### شبه کد الگوریتم کنترل توان پیشنهادی

- ورودی: مقدار مثبت و دلخواه  $p_{l'k}(0)$  به ازای هر  $l' \in \mathbb{L}$  و  $k \in \mathbb{K}$   
 خروجی: مقدار مثبت  $p_{l'k}(n)$  در نقطه همگرایی به ازای هر  $l' \in \mathbb{L}$  و  $k \in \mathbb{K}$
- هر یک از آنتن‌ها به ازای هر  $\forall l \in \mathbb{L}$  و  $\forall m \in \mathbb{M}$  توان دریافتی کل را به صورت  $I^{lm}(n)$  محاسبه می‌کند
  - هر یک از آنتن‌ها به ازای هر  $\forall l \in \mathbb{L}$  و  $\forall m \in \mathbb{M}$  توان پایلوت  $\rho^{lm}(n)$  را ارسال می‌کند.
  - هر یک از کاربران توان پایلوت دریافتی  $\omega_{l'k}^{lm}(n)$  را به دست آورده و مجموعه آنتن‌های گروهی خانگی خود  $\mathcal{M}_{l'k}(n)$  را بر اساس رابطه (۸) انتخاب می‌کند.
  - هر یک از کاربران توان ارسالی خود  $p_{l'k}(n+1)$  را بر اساس رابطه (۱۶) بروز رسانی و ارسال می‌کنند.
  - معیار پایان برای همگرایی الگوریتم به صورت  $p_{l'k}(n+1) = p_{l'k}(n)$  را چک کن اگر برقرار بود همگرا شده و مقدار  $p_{l'k}(n)$  را به عنوان خروجی الگوریتم بگیر و در غیر اینصورت به ۱ برو

<sup>1</sup> Code Division Multiple Access

$$\bar{\mathbf{Z}} = \sum_{t=1}^S \mathbf{Z}^t \quad (31)$$

داریم

$$\bar{\mathbf{Z}} \bar{\mathbf{P}}(n) = \gamma_0 \bar{\mathbf{P}}(n) \quad (32)$$

که در آن  $\bar{\mathbf{P}}(n)$  بردار ویژه ماتریس  $\bar{\mathbf{Z}}$  متناظر با مقدار ویژه  $\gamma_0$  خواهد بود.

ماتریس  $D^t G^t$  یک ماتریس نامنفی تجزیه‌ناپذیر با مرتبه کامل ۱ است چون هر درایه در  $D^t$  و  $G^t$  یک متغیر تصادفی مثبت است. به علاوه، ماتریس  $D^t \bar{\mathbf{N}}^t$  نیز نامنفی است. در نتیجه، ماتریس  $\bar{\mathbf{Z}}$  و به تبع آن یک ماتریس نامنفی و تجزیه‌ناپذیر خواهد بود. در چنین شرایطی، گفته می‌شود که شبکه دارای جواب بوده و شدنی است و حل بهینه برای مسئله تخصیص توان تضمین شده و با استفاده از نظریه پرون-فروبنیوس ماتریس‌های اتفاقی قابل حصول است [۳۱-۳۲]. براین اساس، ماتریس  $\bar{\mathbf{Z}}$  در رابطه (۳۲) دارای یک مقدار ویژه مثبت برابر با شعاع طیفی‌اش بوده و در نتیجه بردار ویژه متناظر با آن مثبت خواهد بود. لذا الگوریتم به این بردار همگرا خواهد شد.

### ۵. نتایج شبیه‌سازی

در این مقاله یک سیستم چند ورودی چند خروجی انبوه را در نظر گرفته ایم که شامل ۵ سلول بوده که شعاع هر سلول ۱۰۰۰ متر در نظر گرفته می‌شود. در هر سلول ۶ کاربر با توزیع یکنواخت قرار گرفته‌اند که در شکل (۳) با دایره نشان داده شده است و هر سلول دارای یک BS در مرکز سلول بوده که دارای ۱۰۰ آنتن است و در شکل با مثلث قرمز رنگ نشان داده شده است. از آنجایی که فرض کردیم سیستم از روش TDD استفاده می‌کند بهره کانال در دو مسیر فراسو و فروسو برابر است. ضریب تلفات مسیر را ۴ در نظر می‌گیریم. پهنای باند کانال را ۲۰ MHz در نظر می‌گیریم. با فرض چگالی نویز به صورت ۱۷۴ dBm/Hz- که برابر با  $4 \times 10^{-21}$  W/Hz است توان نویز به صورت ۱۲۸ dBW- خواهد بود. بیشینه توان ارسالی مجاز هر کاربر در مسیر فراسو را ۱W و بیشینه توان ارسالی مجاز هر آنتن در مسیر فروسو را ۱۰W در نظر می‌گیریم. ارزیابی عملکردی الگوریتم پیشنهادی از طریق شبیه‌سازی مونت کارلو و با متوسط‌گیری روی ۱۰۰۰ تکرار انجام شده است.

$$\mathbf{P}(n) = \mathbf{I}^t \mathbf{D}^t \mathbf{G}^t \mathbf{P}(n) + \mathbf{I}^t \mathbf{D}^t \mathbf{N}^t \quad (21)$$

که در آن  $\mathbf{D}^t$ ،  $\mathbf{G}^t$  و  $\mathbf{I}^t$  به صورت زیر تعریف می‌شوند.

$$\mathbf{G}^t = \begin{bmatrix} g_{11}^{M_{11}t} & \dots & g_{11}^{M_{LK}t} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{LK}^{M_{11}t} & \dots & g_{LK}^{M_{LK}t} \end{bmatrix}_{LK \times LK} \quad (22)$$

$$\mathbf{D}^t = \text{diag} \left( \frac{1}{g_{11}^{M_{11}t}}, \dots, \frac{1}{g_{LK}^{M_{LK}t}} \right) \quad (23)$$

$$\mathbf{I}^t = \text{diag} \left( \frac{\gamma_{11}^{M_{11}t}}{1 + \gamma_{11}^{M_{11}t}}, \dots, \frac{\gamma_{LK}^{M_{LK}t}}{1 + \gamma_{LK}^{M_{LK}t}} \right) \quad (24)$$

$$\mathbf{N}^t = [n^{M_{11}t}, \dots, n^{M_{LK}t}]^T \quad (25)$$

که  $\text{diag}(\cdot)$  ماتریس قطری بوده و  $\mathbf{N}^t$  بردار نویز است.

حال بردار نویز را به صورت زیر نرمالیزه می‌کنیم:

$$\bar{\mathbf{N}}^t = \left( \frac{1}{\max n^{M_{l'k}t}} \right) \mathbf{N}^t = \left( \frac{1}{n_{max}^t} \right) \mathbf{N}^t \quad (26)$$

و ماتریس نامنفی  $\mathbf{Z}^t$  را نیز به صورت زیر تعریف می‌کنیم.

$$\mathbf{Z}^t \triangleq \begin{pmatrix} \mathbf{D}^t \mathbf{G}^t & \mathbf{D}^t \bar{\mathbf{N}}^t \\ \mathbf{0} & \mathbf{I}^t \end{pmatrix} \quad (27)$$

حال با در نظر گرفتن یک بردار توان جدید به صورت  $\bar{\mathbf{P}}(n) = [\mathbf{P}(n); n_{max}^t]^T$ ، رابطه (۲۱) را می‌توان به فرم ماتریسی جدیدی به صورت زیر بازنویسی کرد.

$$\mathbf{Z}^t \bar{\mathbf{P}}(n) = \mathbf{I}^t \bar{\mathbf{P}}(n) \quad (28)$$

با جمع کردن بر روی  $S$  المان خواهیم داشت.

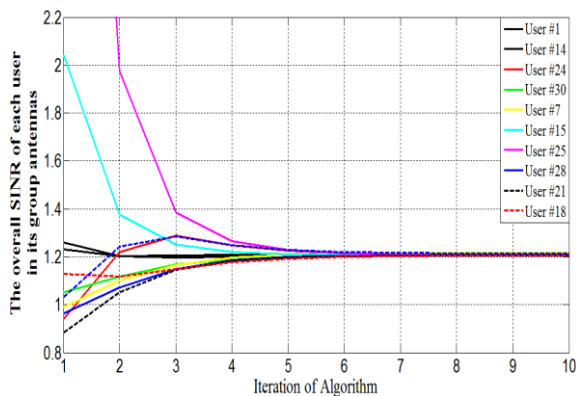
$$\sum_{t=1}^S \mathbf{Z}^t \bar{\mathbf{P}}(n) = \sum_{t=1}^S \mathbf{I}^t \bar{\mathbf{P}}(n) \quad (29)$$

حال با در نظر گرفتن

$$\sum_{t=1}^S \mathbf{I}^t \bar{\mathbf{P}}(n) = \begin{bmatrix} \sum_{t=1}^S \frac{\gamma_{l'1}^{M_{l'1}t}}{1 + \gamma_{l'1}^{M_{l'1}t}} & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \sum_{t=1}^S \frac{\gamma_{LK}^{M_{LK}t}}{1 + \gamma_{LK}^{M_{LK}t}} \end{bmatrix} \bar{\mathbf{P}}(n) \quad (30)$$

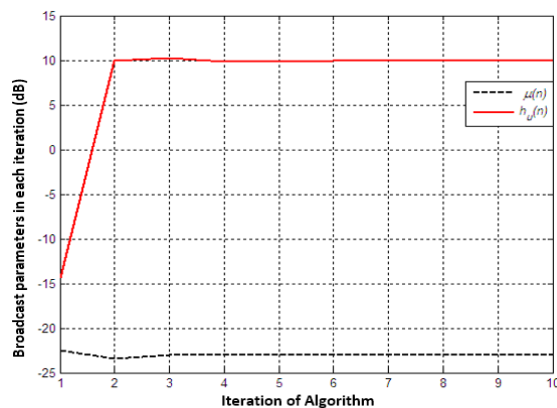
$$= \begin{bmatrix} \gamma_0 & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \gamma_0 \end{bmatrix} \bar{\mathbf{P}}(n) = \gamma_0 \bar{\mathbf{P}}(n)$$

و همچنین



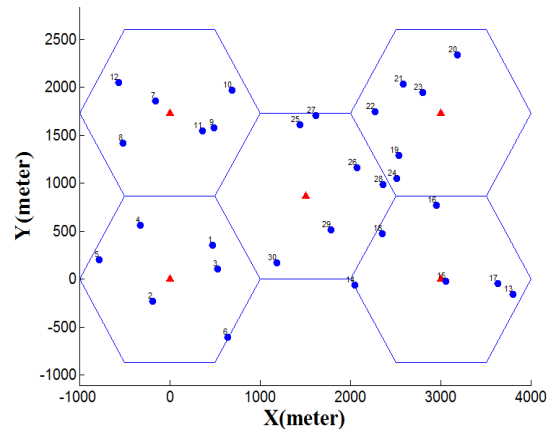
شکل ۵. مجموع SINR برخی کاربرها در آنتن های گروهی خانگی خود در طول اجرای الگوریتم پیشنهادی

در الگوریتم پیشنهادی لازم است که ضریب نرمالیزاسیون فراسو  $\mu(n)$  بین آنتن های BS ها و همچنین ضریب نرمالیزاسیون فراسو  $h_u(n)$  بین کاربرها، در هر تکرار پخش همگانی گردد که موجب ایجاد سربار ارتباطی خواهد شد ولی در عمل پیچیدگی بسیار پایین خواهد بود زیرا این ضرایب پس از تکرار کمی ثابت شده و نیازی به ارسال آنها در هر تکرار نخواهد بود. در شکل (۶) ما این ضرایب را برای نتایج شبیه سازی شکل های (۴) و (۵) نمایش داده ایم. دیده می شود که این دو ضریب تقریباً پس از دو تکرار ثابت خواهند شد.



شکل ۶. ضرایب نرمالیزاسیون مسیر فراسو و فرسو که باید بین کاربرها و آنتن های BS پخش همگانی گردند

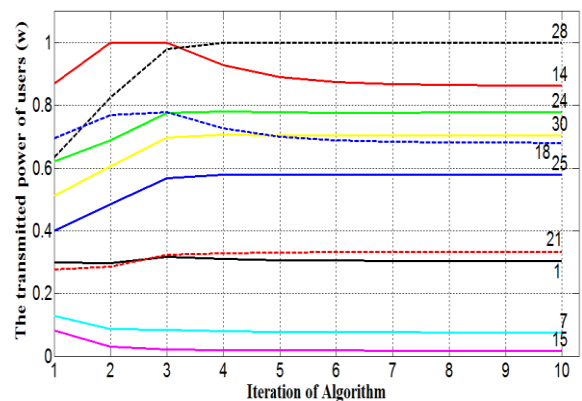
الگوریتم پیشنهادی دو گام دارد. در گام اول هر کاربر آنتن هایی با بیشترین توان پایلوت را به عنوان آنتن های گروهی خانگی خود انتخاب می کنند. این گام از الگوریتم را می توان به گونه ای دیگر تغییر داد که در آن هر کاربر آنتن هایی با بیشترین بهره کانال را به عنوان آنتن های گروهی خانگی خود انتخاب کند که در عمل یک روش معمول به حساب می آید. زمانی که از توان پایلوت استفاده می کنیم نیازی به دانستن بهره کانال نخواهیم داشت. بر این اساس به جای انتخاب المان های آنتن بر اساس بیشترین توان



شکل ۳. ساختار سیستم چند ورودی چند خروجی انبوه بکار برده شده در شبیه سازی

شکل (۴) توان ده کاربر از کل کاربرهای شبکه را برای نمونه نشان می دهد. دیده می شود که هر کاربر در تکرارهای مختلف با کاهش و یا افزایش توان ارسالی خود در مسیر فراسو در یک توان خاص ثابت خواهد شد و در آن توان، SINR تمامی کاربرها در آنتن های گروهی خانگی برابر خواهد شد.

هدف اصلی این مقاله تنظیم توان هر کاربر در مسیر فراسو به گونه ای است که بتوان SINR هر کاربر در آنتن های گروهی خانگی خود را متوازن کرد. در شکل (۵) که بیانگر میزان مجموع SINR برخی از کاربرها در طول اجرای الگوریتم است نشان داده شده است که توانستیم با اجرای الگوریتم پیشنهادی به این هدف دست یابیم. در ابتدا و در تکرارهای اولیه مجموع SINR هر کاربر در آنتن های گروهی خانگی خود بسیار متفاوت بوده و با افزایش تکرارهای الگوریتم و تنظیم توان هر کاربر، SINR هر کاربر در آنتن های گروهی خود به سمت یک مقدار واحد همگرا می شود. در این شبیه سازی SINR تمامی کاربرها در آنتن های گروهی خانگی خود به ۱/۲ میل می کنند و این به معنی ایجاد بیشترین ظرفیت کانال خواهد بود. همانطور که از شکل (۵) پیداست این همگرایی پس از هفت تکرار الگوریتم اتفاق می افتد.



شکل ۴. تغییرات توان ده کاربر از کل کاربرهای شبکه برای رسیدن به مقدار SINR برابر در آنتن های گروهی خانگی خود



را بر اساس بیشترین بهره کانال انتخاب می‌کنیم که به این معنی است که آنتن‌هایی که به کاربرها نزدیک‌ترند و یا بیشترین بهره را نسبت به کاربر مورد نظر دارند لزوماً بهترین گزینه برای انتخاب نخواهند بود.

وجه دیگر الگوریتم پیشنهادی انتخاب آنتن است. در مقاله‌ای نویسنده از سه روش برای انتخاب آنتن در فرستنده استفاده می‌کند [۳۳]. یک روش انتخاب آنتن بر اساس بیشینه بهره کانال و دو روش دیگر نیز بر اساس همبستگی بین آنتن‌های فرستنده به نام‌های  $CBF^1$  و  $CWF^2$  است. در مقاله مذکور هیچ تخصیص توانی برای توان ارسالی کاربرها در نظر گرفته نشده است. در اینجا برای مقایسه بهتر تخصیص توان کاربرها را به این الگوریتم‌ها اضافه کردیم. شکل (۷) میانگین SINR هر کاربر در آنتن‌های گروهی خانگی خود در هر تکرار را بر اساس الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با روش‌های انتخاب آنتن [۳۳] نشان می‌دهد. دیده می‌شود که عملکرد الگوریتم پیشنهادی این مقاله بهتر است. همچنین الگوریتم پیشنهادی کاربردی تر است زیرا تنها بر اساس اندازه گیری توان پایلوت دریافتی خواهد بود.

میانگین توان تمامی کاربرها در هر تکرار برای روش‌های مختلف انتخاب آنتن در شکل (۸) رسم شده است. دیده می‌شود که با اعمال الگوریتم انتخاب آنتن پیشنهادی اگر چه میانگین SINR بیشتر از روش‌های دیگر است مصرف توان آن نیز زیاد خواهد بود. حال برای مقایسه بهتر برای هر چهار روش توان ارسالی را برابر فرض می‌کنیم. به عبارت دیگر قسمت تخصیص توان الگوریتم را برای مقایسه قسمت انتخاب آنتن در شرایط برابر، حذف می‌کنیم. شکل (۹) میانگین SINR برای روش‌های مختلف انتخاب آنتن را زمانی که توان ارسالی تمامی کاربرها را برابر  $0.5$  وات قرار داده ایم، را نشان می‌دهد. در این حالت مجموع SINR هر کاربر در آنتن‌های گروهی خود به شدت متفاوت خواهد بود، بنابراین از میانگین آنها استفاده خواهیم کرد. اگر چه مجموع SINR کاربرها در آنتن‌های گروهی خود به مقدار واحدی همگرا نخواهند شد، ولی میانگین SINR کاربرها در حالتی که از الگوریتم پیشنهادی این مقاله برای انتخاب آنتن‌های گروهی خانگی هر کاربر استفاده می‌کنیم، بیشتر خواهد بود و این به معنی افزایش ظرفیت کانال بر اساس انتخاب آنتن از طریق الگوریتم پیشنهادی این مقاله است.

پایلوت، بیشترین توان بهره کانال را معیار انتخاب آنتن قرار خواهیم داد. ادامه الگوریتم نیز مشابه الگوریتم پیشنهادی این مقاله خواهد بود. قابل ذکر است که آنتنی که بیشترین بهره کانال را نسبت به کاربر مورد نظر دارد، لزوماً از آن آنتن بیشترین توان پایلوت دریافتی را نخواهیم داشت.

در جدول (۱) مقایسه‌ای بین مجموع SINR در این دو حالت انجام داده‌ایم. مجموع SINR زمانی که از آنتن‌هایی با بیشترین توان پایلوت دریافتی به عنوان آنتن‌های گروهی خانگی استفاده می‌کنیم، بیشتر خواهد بود. این افزایش بر اساس این حقیقت است که توان پایلوت‌ها متأثر از تداخل در سیستم هستند.

جدول ۱. پارامترهای شبیه‌سازی

پارامتر	مقدار
تعداد سلول	۵
شعاع هر سلول	۱۰۰۰ متر
تعداد کاربر در هر سلول	۶
تعداد آنتن هر BS	۱۰۰
ضریب تلفات مسیر	۴
پهنای باند کانال	۲۰ MHz
چگالی نویز	-۱۷۴ dBm/Hz
بیشینه توان ارسالی کاربر در مسیر فراسو	۱ W
بیشینه توان ارسالی مجاز هر آنتن در مسیر فرسو	۱۰ W

وجه دیگر الگوریتم پیشنهادی تخصیص توان است. در این الگوریتم توان ارسالی کاربرها به گونه‌ای تنظیم می‌شوند که تمامی کاربرها به SINR برابر برسند. در جدول (۲) ما الگوریتم پیشنهادی را با روش تخصیص توان برابر مقایسه نموده‌ایم. از آنجایی که میانگین توان‌ها برای حالت انتخاب بر اساس بیشینه بهره و بیشینه توان پایلوت به ترتیب  $w$  و  $0.547w$  می‌باشد، در روش تخصیص توان برابر مقدار توان ارسالی تمامی کاربرها را  $0.5w$  در نظر گرفته ایم. دیده می‌شود که مجموع SINR هر کاربر در آنتن‌های گروهی خانگی خود به شدت متفاوت خواهد بود. لذا انصاف در QoS برای کاربرها رعایت نخواهد شد. مجموع SINR کاربرها بر اساس انتخاب آنتن‌هایی با بیشترین توان پایلوت دریافتی بیشتر از حالتی است که آنتن‌ها

<sup>1</sup> Correlation Best First

<sup>2</sup> Correlation Worst First

جدول ۲. مقایسه بین مجموع SINR برخی کاربرها در حالت تنظیم توان خود در حالت‌های مختلف

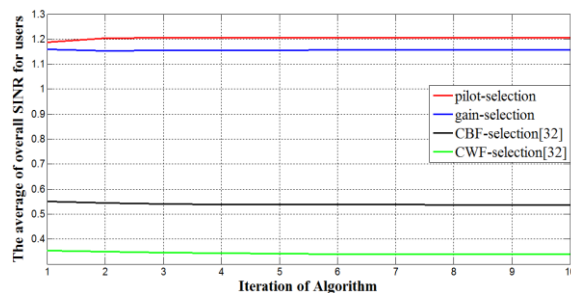
استفاده از توان برابر	توان ارسالی ناشی از انتخاب آنتن‌هایی با بیشینه بهره	توان ارسالی ناشی از انتخاب آنتن‌هایی با بیشینه توان پایلوت دریافتی	مجموع SINR ناشی از توان برابر	مجموع SINR ناشی از انتخاب آنتن‌هایی با بیشینه بهره	مجموع SINR ناشی از انتخاب آنتن‌هایی با بیشینه توان پایلوت دریافتی
کاربر ۱	۰/۵	۰/۲۹۹	۰/۳۰۴	۱/۶۳۲۹	۱/۱۵۵۸
کاربر ۷	۰/۵	۰/۰۷۵	۰/۰۷۶	۶/۶۸۲۷	۱/۱۵۴۹
کاربر ۱۴	۰/۵	۰/۹۰۱	۰/۸۶۴	۰/۴۵۹۴	۱/۱۶۰۵
کاربر ۱۵	۰/۵	۰/۰۱۸	۰/۰۱۷	۴۲/۲۹۶۳	۱/۱۵۶۰
کاربر ۱۸	۰/۵	۰/۷۳۳	۰/۶۸۰	۰/۵۸۷۰	۱/۱۵۸۰
کاربر ۲۱	۰/۵	۰/۳۲۴	۰/۳۳۲	۱/۷۹۶۶	۱/۱۵۵۸
کاربر ۲۴	۰/۵	۰/۷۶۴	۰/۷۱۷	۰/۶۶۶۹	۱/۱۵۸۳
کاربر ۲۵	۰/۵	۰/۵۶۳	۰/۵۸۶	۱/۱۲۰۰	۱/۱۵۶۵
کاربر ۲۸	۰/۵	۱	۱	۰/۶۴۹۲	۱/۱۵۵۱
کاربر ۳۰	۰/۵	۰/۷۹۱	۰/۷۰۴	۰/۸۳۴۷	۱/۱۵۴۸

### ۶. نتیجه گیری

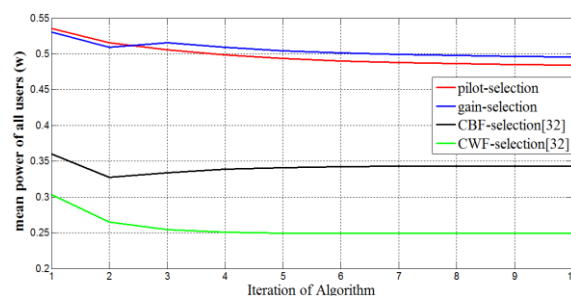
در این مقاله با توجه اهمیت کنترل توان در یک سیستم چند ورودی چند خروجی انبوه یک الگوریتم توزیعی ارائه شده است که به صورت بازگشتی عمل کرده و قادر است SINR هر یک از کاربرها را در آنتن‌های انتخابی به‌عنوان آنتن‌های گروهی خانگی پس از گذشت تنها چند تکرار از اجرای الگوریتم متوازن کند. در الگوریتم ارائه‌شده برخلاف الگوریتم‌های مورد استفاده از سیستم‌های چند ورودی چند خروجی انبوه که از پایلوت ارسالی برای تخمین کانال استفاده می‌شود تنها از توان پایلوت ارسالی از آنتن‌های BS های موجود در شبکه استفاده کرده و بیت‌های موجود در این پایلوت‌ها برایمان مهم نخواهد بود. الگوریتم به گونه‌ای عمل می‌کند که هر کاربر با توجه به بیشترین توان پایلوت دریافتی از آنتن‌های BS های موجود یک معادله چند جمله‌ای را حل کرده و توان خود را تنظیم می‌کند. نتایج تحلیلی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی قابلیت متوازن کردن SINR را داشته و به واسطه آن می‌تواند ظرفیت در شبکه را بیشینه کند.

### ۷. مراجع ها

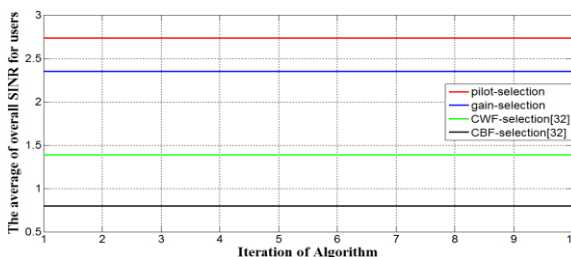
- [1] David, T.; Pramod, V. "Fundamentals of Wireless Communication"; Cambridge University Press, 2005.
- [2] Qinghua, L.; Li, G.; Wookbong, L.; Moon-il, L.; David, M. "Mimo Techniques in Wimax and Lte: A Feature Overview"; IEEE Commun. Mag. 2010, 48, 86–92.
- [3] Emil, B.; Erik, G. L.; Thomas, L. M. "Massive MIMO: Ten Myths and One Critical Question"; IEEE Commun. Mag. 2016, 54, 114 – 123.
- [4] Thomas, L. M. "Noncooperative Cellular Wireless with Unlimited Numbers of Base Station Antennas"; IEEE Trans. Wireless Commun. 2010, 9, 3590–3600.



شکل ۷. میانگین مجموع SINR هر کاربر در آنتن‌های گروهی خود برای روش‌های انتخاب آنتن مختلف



شکل ۸. میانگین توان تمامی کاربرها برای روش‌های انتخاب آنتن مختلف



شکل ۹. میانگین مجموع SINR کاربرها در شرایط توان یکسان برای روش‌های انتخاب آنتن مختلف

- [20] Hui, L.; Lingyang, S.; Merouane, D. "Energy Efficiency of Large-Scale Multiple Antenna Systems with Transmit Antenna Selection"; IEEE Trans. Commun. 2014, 62, 638-647.
- [21] Mouncef, B.; Elmahdi, D.; Wessam, A.; Daniel, M. "Joint Transmit Antenna Selection and User Scheduling for Massive MIMO Systems"; Proc. IEEE WCNC, 2015.
- [22] Sanayei, S.; Nosratinia, A. "Antenna Selection in MIMO Systems"; IEEE Comm. Mag. 2004, 42, 68-73.
- [23] Jancun, F.; Ying, Z. "Energy Efficiency of Massive MU-MIMO with Limited Antennas in Downlink Cellular Networks"; Digit. Signal Process 2019, 86, 1-10.
- [24] Prabhu, C.; Erik, G. L. "Massive MIMO for Connectivity with Drones: Case Studies and Future Directions"; IEEE Access 2019, 7, 14462-14473.
- [25] Zhangyu, G.; Nan, C. "Self-Organizing Flying Drones with Massive MIMO Networking"; Proc. Med-Hoc-Net, 2018.
- [26] Sajjad, A.; Reza, S. "Toward Distributed Robust Power Allocation of Wireless Backhaul Links in Vehicular Small Cells"; Wireless Personal Communication-Springer, 2017, 95, 3857-3882.
- [27] Jun, Z.; Jun, Z.; Chau, Y.; Wei, J.; Wu, L. "Multicell Multiuser Massive MIMO Transmission with Downlink Training and Pilot Contamination Precoding"; IEEE Trans. Veh. Technol. 2016, 65, 6301 - 6314.
- [28] Hien, Q. N.; Erik, G. L.; Thomas, L. M. "Massive MU-MIMO Downlink TDD Systems with Linear Precoding and Downlink Pilots"; Proc. IEEE 51<sup>st</sup> Annual Allerton Conf. Communication, Control, and Computing 2013, 293-298.
- [29] Subramaniam, M.; Anpalagan, A.; Woungang, I. "Performance of a Distributed Full Inversion Power Control and Base Station Assignment Scheme in a Cellular CDMA Network with Hot-Spots"; Wireless Personal Communication 2012, 65, 713-729.
- [30] Sajjad, A.; Reza, S. "Effect of Uncertainty in the Backhaul Channel Gain Reciprocity on the Performance of Pilot Assisted Power Allocation in Vehicular Small Cells"; Wireless Personal Communication 2017, 96, 6503-6517.
- [31] Gantmacher F. "The Theory of Matrices"; New York, Chelsea Publishing Company, 1990.
- [32] Lancaster, P.; Tismenetsky, M. "The Theory of Matrices"; New York, Academic Press 1985.
- [33] Jingon, J. "Two-Step Transmit Antenna Selection Algorithms for Massive MIMO"; Proc. IEEE ICC WCS, 2016.
- [34] Jayasinghe, P.; Tolli, A. T.; Kaleva, J.; Latva-aho, M. "Bi-Directional Beamformer Training for Dynamic TDD Networks"; IEEE Trans. Signal Process 2018, 66, 6252 - 6267.
- [5] Hien, Q. N.; Erik, G. L.; Thomas, L. M. "Energy and Spectral Efficiency of Very Large Multiuser MIMO Systems"; IEEE Trans. Commun. 2013, 61, 1436-1449.
- [6] Fredrik, R.; Daniel, P.; Buon, K. L.; Erik, G. L.; Thomas, L. M.; Ove, E.; Fredrik, T. "Scaling Up MIMO: Opportunities and Challenges with Very Large Arrays"; IEEE Signal Process. Mag. 2013, 30, 1, 40-60.
- [7] Tadilo, E. B.; Long, B. L. "Pilot Optimization and Channel Estimation for Multiuser Massive MIMO Systems"; Proc. IEEE CISS, 2014.
- [8] Long, Z.; Hui, Z.; Fanglong, H.; Kan, Z.; Jingxing, Z. "Energy Efficient Power Allocation Algorithm for Downlink Massive MIMO with MRT Precoding"; Proc. IEEE VTC-Fall, 2013.
- [9] Hong, Y.; Thomas, L. M. "A Macro Cellular Wireless Network with Uniformly High User Throughputs"; Proc. IEEE VTC-Fall, 2014.
- [10] Kaifeng, G.; Yan, G.; Gabor, F.; Gerd, A. "Uplink Power Control with MMSE Receiver in Multi-Cell MU-Massive-MIMO Systems"; Proc. IEEE ICC 2014, 5184-5190.
- [11] Hei, V. C.; Emil, B.; Erik, G. L. "Uplink Pilot and Data Power Control For Single Cell Massive MIMO Systems with MRC"; Proc. IEEE ISWCS, 2015.
- [12] Hieu, T. D.; Sunghwan, K. "Pilot Power Allocation for Maximizing the Sum Rate in Massive MIMO Systems"; IET Commun. 2018, 12, 1367-1372.
- [13] Mai, T. C.; Ngo, H. Q.; Egan, M.; Duong, T. Q. "Pilot Power Control for Cell-Free Massive MIMO"; IEEE Trans. Veh. Technol. 2018, 67, 11264-11268.
- [14] Trinh, V. C.; Emil, B.; Erik, G. L. "Joint Pilot Design and Uplink Power Allocation in Multi-Cell Massive MIMO Systems"; IEEE Trans. Wireless Commun. 2018, 17, 2000-2015.
- [15] Jiayi, Z.; Yinghua, W.; Emil, B.; Yu, H.; Shi, J. "Performance Analysis and Power Control of Cell Free Massive MIMO Systems with Hardware Impairments"; IEEE Access 2018, 6, 55302-55314.
- [16] Xingwang L.; Mengyan H. "Impact of Hardware Impairments on Large-scale MIMO Systems over Composite RG Fading Channels"; AEU, 2018, 88, 134-140.
- [17] Manar M.; Kyung H. C. "On Transmit Antenna Selection for Multiuser MIMO Systems with Dirty Paper Coding"; in Proc. IEEE 20<sup>th</sup> Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. 2009.
- [18] Wang, B. H.; Hui, H. T.; Leong, M. S. "Global and Fast Receiver Antenna Selection for MIMO Systems"; IEEE Trans. Commun. 2010, 58, 2505-2510.
- [19] Byung, M. L.; JinHyeock, C.; JongHo, B.; Byung-Chang, K. "An Energy Efficient Antenna Selection for Large Scale Green MIMO Systems"; Proc. IEEE ISCAS, 2013, 950-953.