نوبت‌بندی در سیستم فراسوی MIMO-OFDMA با آنتن‌های توزیع شده مبتنی بر بیشینه‌سازی مجموع نرخ

مصطفی زینلی[۱] و حسین ضمیری[۲]
[۱] دانشگاه فردوسی مشهد، مرکز پژوهشی مخابرات و کامپیوتر، Mo.zeinaly@gmail.com
[۲] دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه برق، Hzamiri@um.ac.ir

چکیده - در این مقاله یک روش نوبت‌بندی برای سیستم *MIMO-OFDMA* در ارسال فراسو ارایه می‌گردد. معیار نوبت‌بندی، بیشینه‌سازی مجموع نرخ کاربران تحت قید محدودیت توان ارسالی هر کاربر می‌باشد. الگوریتم نوبت‌بندی پیشنهادی، با انتخاب زیرحامل‌ها و تخصیص توان به آنها به روش تکراری مجموع نرخ ارسالی را بیشینه می‌کند. همچنین این مقاله به بررسی تاثیر توزیع آنتن‌های ایستگاه پایه (گیرنده) بر مجموع نرخ ارسالی می‌پردازد. بر اساس نتایج شبیه‌سازی، توزیع آنتن‌های گیرنده باعث افزایش مجموع نرخ ارسالی می‌گردد و این افزایش، مستقل از تعداد کاربران و توان ارسالی است.

کلید واژه- ارسال فراسو، توزیع آنتن‌های گیرنده، نوبت‌بندی، MIMO-OFDMA .

۱- مقدمه

سیستم دستیابی OFDMA (دسترسی بر اساس تقسیم فرکانس‌های متعامد) یک روش مناسب برای افزایش کارایی سیستم‌های مخابراتی چندکاربره می‌باشد. از سوی دیگر سیستم‌های چندآنتنی (MIMO) از توانایی بالایی در کاهش احتمال خطا و افزایش نرخ ارسال برخوردار هستند. ترکیب سیستم‌های چندآنتنی با روش OFDMA امکان سود بردن از چندگانگی فضایی همراه با چندگانگی فرکانسی را فراهم می‌سازد.

یکی از چالش‌های پیش روی سیستم MIMO-OFDMA چندکاربره، نوبت‌بندی[۱] است. نوبت‌بندی در سیستم‌های مخابراتی می‌تواند کمک شایانی در افزایش گذردهی شبکه و همچنین مدیریت منابع داشته باشد. نوبت بندی در سیستم‌های مخابراتی به دو صورت نوبت‌بندی ثابت و نوبت‌بندی پویا انجام می‌پذیرد. در نوبت‌بندی پویا امکان بهره‌مندی از چندگانگی چندکاربره وجود دارد و در نتیجه می توان با بهره‌گیری از وضعیت لحظه به لحظه کانال، کارایی سیستم را افزایش داد.

نوبت‌بندی در ارسال فروسو در مقالات بیشتر مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است؛ اما نوبت‌بندی فراسو کمتر مورد توجه قرار گرفته است؛ به ویژه آنکه همگامی کاربران در ارسال فراسو بر پیچیدگی روش نوبت‌بندی می‌افزاید. هدف ما در این مقاله طراحی روشی برای نوبت‌بندی سیستم‌های MIMO-OFDMA در ارسال فراسو می‌باشد.

یکی از ملاک‌هایی که در نوبت‌بندی پویا مورد استفاده قرار می‌گیرد، بیشینه‌کردن مجموع نرخ کاربران شبکه است. این معیار در مقالات بسیاری به عنوان معیار نوبت‌بندی در حالت‌های ارسال فراسو و فروسو در نظر گرفته شده است[۱]-[۴]. در [۱] نوبت‌بندی زیربهینه بر اساس بیشینه سازی مجموع نرخ کاربران برای سیستم فروسوی تک آنتنی در فرستنده و گیرنده (SISO) پیشنهاد شده است. در روش پیشنهادی [۱]، ابتدا کاربران بر اساس بیشترین بهره کانال در هر زیرحامل و با فرض تخصیص توان مساوی انتخاب می‌شوند. با استفاده از روش WF[۲] توان هر کاربر بین زیرحامل‌هایش تقسیم می‌شود؛ سپس نرخ کاربران به روز شده و مجددا نوبت‌بندی انجام می‌شود. در [۲] به بیشینه سازی مجموع نرخ کاربران در یک شبکه سلولی با در نظر گرفتن تداخل بین سلولی پرداخته شده است. برای کاستن از پیچیدگی

1 Scheduling

2 Waterfilling

الگوریتم پیشنهادی، به جای نرخ واقعی از کران‌های بالا و پایین نرخ استفاده شده است. در [۳] یک روش نوبت بندی تکراری در سیستم SISO با ارسال فراسو مبتنی بر بیشینه سازی مجموع نرخ، ارایه شده است. در این روش توان به صورت یکسان بین زیرحامل‌های تخصیصی به هرکاربر تقسیم شده است. بر این اساس با استفاده از توزیع بهره کانال کاربران، مقدار بهینه تعداد زیرحامل‌های تخصیصی به هریک از کاربران، محاسبه می‌گردد. سپس در هر زیرحامل، توان تخصیصی کاربران مختلف در آن زیرحامل محاسبه می‌شود. هر زیرحامل به کاربری تخصیص می‌یابد که نرخ ارسالیش در آن زیرحامل بیش از سایر کاربران باشد. در[۴] مسأله بیشینه کردن مجموع نرخ در سیستم SISO با ارسال فراسوی مبتنی بر OFDMA و با در نظر گرفتن قید توان برای هر یک از کاربران مورد بررسی قرار گرفته است. بر این اساس یک روش تکراری برای نوبت‌بندی ارایه شده است که در آن توان هر کاربر به صورت WF بین زیرحامل‌های تخصیصی تقسیم می‌گردد.

در راستای الگوریتم پیشنهادی نوبت‌بندی برای سیستم فراسوی SISO توسط Y. Ma و دیگران [۴]، در این مقاله الگوریتم نوبت‌بندی برای سیستم فراسوی MIMO-OFDMA پیشنهاد می‌گردد و سپس به بررسی اثر توزیع آنتن‌های گیرنده بر مجموع نرخ ارسالی پرداخته می‌شود.

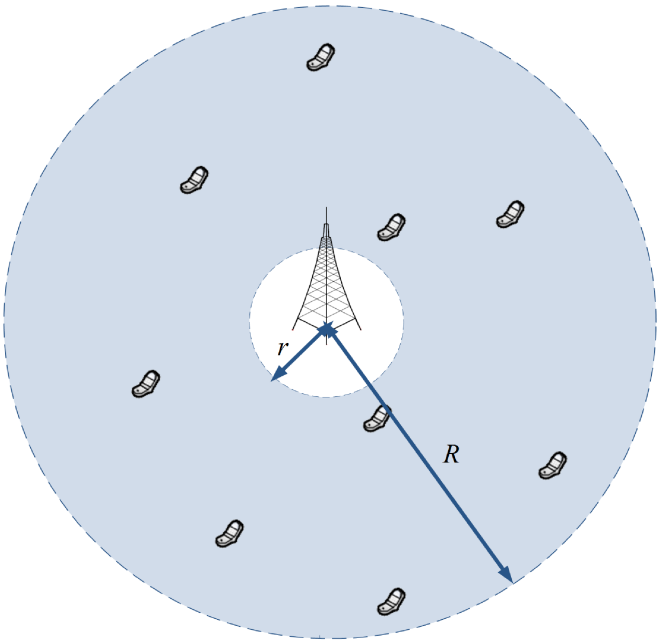
در ادامه، ابتدا مدل سیستم در بخش ۲ ارایه می‌گردد. در بخش ۳ به بررسی معیار نوبت‌بندی و چگونگی تجزیه و تحلیل آن می‌پردازیم. در بخش ۴ الگوریتم تکراری پیشنهادی در این مقاله معرفی می‌شود و نتایج شبیه سازی در بخش ۵ ارایه می‌گردد. بخش ۶ نیز شامل نتیجه‌گیری است.

۲- مدل سیستم

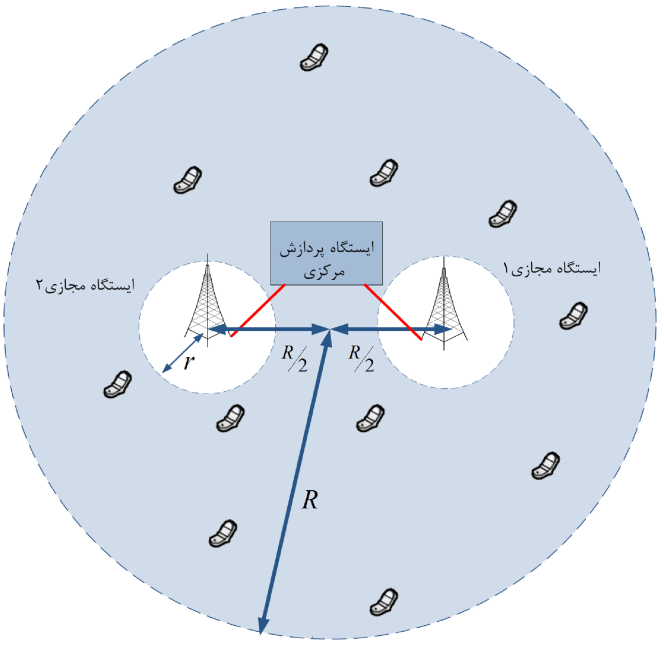
در این بخش سیستم MIMO-OFDMA با ارسال فراسو ، هنگامی که آنتن‌های گیرنده (ایستگاه پایه) توزیع شده و غیر توزیع شده باشند، مورد مدل سازی و بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه، نخست مدل کانال بدون توزیع آنتن‌های گیرنده و سپس با توزیع آنتنهای گیرنده ارایه می‌گردد و بر اساس آن نوبت بندی سیستم فراسو معرفی می‌گردد.

۲-۱- مدل کانال بدون توزیع آنتن‌های گیرنده

یک سیستم چند آنتنی با دسترسی OFDMA را در حالت ارسال فراسو در نظر بگیرید. فرض کنید K کاربر، در یک محدوده حلقوی شکل با شعاع بزرگ R و شعاع کوچک r به طور یکنواخت توزیع شده‌اند (شکل۱ الف). هر کاربر از N آنتن جهت ارسال داده‌ها استفاده می‌کند. ایستگاه پایه در مرکز دایره قرار دارد و از M آنتن جهت دریافت داده‌ها استفاده می‌کند.



(الف)



(ب)

شکل ۱ نحوه توزیع کاربران و ایستگاه پایه در الف) کانال بدون توزیع آنتن‌های گیرنده، ب) کانال با آنتن‌های توزیع شده.

کانال بین کاربران و ایستگاه پایه به صورت گوسی و چند مسیره مدل می‌شود. کانال بین کاربر k ام و ایستگاه پایه با $\mathbf{H}_k(t)$ نشان داده می‌شود. این کانال را به صورت زیر می‌توان در نظر گرفت[۵]:

$$\mathbf{H}_k(t) = g_k \overline{\mathbf{H}}_k(t) \qquad (۱)$$

بطوریکه درایه (i,j)ام ماتریس $\overline{\mathbf{H}}_k(t)$ پاسخ ضربه نرمالیزه شده کانال بین آنتن گیرنده iام و فرستنده jام برای کاربر k ام است. کانال بین هریک از آنتن‌های گیرنده و فرستنده کاربران بصورت تارشونده[۳] و چندمسیره با L_c مسیر مدل می‌گردد. از آنجایی که کانال نرمالیزه است، مجموع توان L_c مسیر برابر واحد است. همچنین فرض می‌شود توان مسیرها با یکدیگر برابر است. g_k تضعیف کانال مربوط به کاربر k ام را نشان می‌دهد که وابسته به فاصله کاربر تا ایستگاه پایه است و بصورت زیر بیان می‌شود:

$$g_k = \left(\frac{d_k}{R}\right)^{-\alpha/2} \qquad (۲)$$

بطوریکه d_k فاصله کاربر k ام از ایستگاه پایه، R شعاع ناحیه و α ضریب تضعیف توان مسیر می‌باشد و در محیط‌های باز برابر ۲ و در محیط‌هایی با پراکندگی زیاد برابر ۴ در نظر گرفته می‌شود.

با گرفتن تبدیل فوریه سریع N_c نقطه‌ای از کانال، هرکاربر N_c کانال فرکانسی خواهد داشت. $\mathbf{H}_k^n$ نشان‌دهنده ماتریس کانال کاربر k ام در زیرحامل n ام می‌باشد که دارای ابعاد $M \times N$ است.

۲-۲- مدل کانال با آنتن‌های توزیع شده

همان طور که در شکل۱ب نشان داده شده است، در این مدل K کاربر بصورت یکنواخت در یک محدوده دایروی با شعاع R بطور یکنواخت قرار دارند و آنتن‌های ایستگاه پایه در دو نقطه توزیع می‌شوند. هرکدام از این نقاط را که قسمتی از آنتن‌های گیرنده در آن قرار دارند، ایستگاه مجازی می‌نامیم. هر یک از این ایستگاه‌های مجازی در راستای قطر دایره و به فاصله $R/2$ نسبت به مرکز آن قرار دارند. حداقل فاصله کاربران از هر یک از ایستگاه‌های مجازی برابر r در نظر گرفته می‌شود. برای مقایسه منصفانه دو سیستم (با آنتن های توزیع شده و بدون انتن های توزیع شده)، فرض می‌شود تعداد آنتن‌های گیرنده در هر یک از ایستگاه‌های مجازی برابر $M/2$ باشد بطوریکه تعداد کل آنتن های ایستگاه پایه در هر دو سیستم یکسان گردد. روشن است که در این حالت کانال بین کاربر k ام و هر یک از ایستگاه‌های مجازی متفاوت خواهد بود. اگر ماتریس کانال بین کاربر kام و ایستگاه مجازی b ام را با $\mathbf{H}_{k,b}(t)$ نشان دهیم، این کانال را می توان بصورت زیر در نظر گرفت:

$$\mathbf{H}_{k,b}(t) = g_{k,b}\,\overline{\mathbf{H}}_{k,b}(t) \qquad (۳)$$

بطوریکه بطوریکه درایه (i,j)ام ماتریس $\overline{\mathbf{H}}_{k,b}(t)$ پاسخ ضربه نرمالیزه شده کانال بین آنتن iام ایستگاه مجازی bو آنتن فرستنده jام کاربر k است. $g_{k,b}$ تضعیف کانال بین کاربر kام و ایستگاه مجازی b را نشان می‌دهد که وابسته به فاصله بین کاربر kام و ایستگاه مجازی b ($d_{k,b}$) است و بصورت زیر بیان می‌شود:

$$g_{k,b} = \left(\frac{d_{k,b}}{R}\right)^{-\alpha/2} \qquad (۴)$$

باید توجه داشت، نظر به اینکه فاصله کاربر از هر یک از ایستگاه‌های مجازی متفاوت است، تضعیف کانال مربوطه نیز متفاوت خواهد بود. یادآور می‌شویم که نوبت بندی و آشکارسازی دو ایستگاه مجازی در یک واحد پردازش انجام می‌شود، بنابراین کانال بین کاربر k ام و ایستگاه پایه بصورت زیر خواهد بود:

$$\mathbf{H}_k(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{k,1}(t) \\ \mathbf{H}_{k,2}(t) \end{bmatrix} \qquad (۵)$$

با گرفتن تبدیل فوریه سریع N_c نقطه‌ای از عبارت بالا، $\mathbf{H}_k^n$ که نشان‌دهنده ماتریس کانال کاربر k ام در زیرحامل n ام می‌باشد، بدست می‌آید.

۳- معیار نوبت بندی

هدف در نوبت‌بندی سیستم‌های OFDMA تخصیص N_c زیرحامل بین K کاربر و همچنین یافتن توان ارسالی هر کاربر بر روی هر یک از زیرحامل‌ها است. چنانچه سیستم SISO باشد، برای اینکه تداخلی بین کاربران وجود نداشته باشد، لازم است هر زیرحامل تنها به یک کاربر تخصیص پیدا کند. در حالت چندآنتنی(MIMO) می‌توان هر زیرحامل را به چند کاربر تخصیص داد و در گیرنده به کمک پرتوساز، سیگنال کاربران مختلف را از یکدیگر جدا نمود. بررسی این روش نوبت‌بندی که از پیچیدگی بیشتری نیز برخوردار است، در این مقاله مد نظر نمی-

3 fading

باشد. در اینجا فرض می‌شود هر زیرحامل تنها به یک کاربر تخصیص می‌یابد.

هرگاه مجموعه زیرحامل‌های تخصیصی به کاربر kام با مجموعه S_k نشان داده شود بطوریکه تعداد اعضای این مجموعه برابر N_k باشد و همچنین بیشینه توان ارسالی کاربر kام و توان ارسالی این کاربر بر روی زیر حامل nام به ترتیب با $P_{T,k}$ و $P_{k,n}$ نشان داده شود، رابطه بین توان ارسالی هرکاربر بر روی زیرحامل‌های تخصیصی با بیشینه توان ارسالی آن کاربر بصورت $\sum_{n\in S_k} P_{k,n} \le P_{T,k}$ می‌باشد. بنابراین نوبت‌بندی مبتنی بر بیشینه‌سازی مجموع نرخ را می‌توان بصورت زیر بیان کرد:

$$\begin{aligned} &\max_{\{S_k\},\{P_{k,n}\}} \sum_{k=1}^{K}\sum_{n\in S_k} C_{k,n} \\ &st.1 \quad \sum_{n\in S_k} P_{k,n} = P_{T,k} \qquad \forall k \qquad (۶) \\ &st.2 \quad S_i \cap S_j = \Phi \qquad \forall i \neq j \end{aligned}$$

بطوریکه $C_{k,n}$ نرخ ارسالی کاربر k ام در زیرحامل n است. اگر هرکاربر تنها یک رشته داده ارسال کند، داریم:

$$C_{k,n} = \frac{B_w}{N_c}\log_2(1+P_{k,n}\gamma_{k,n}^{\max}) \qquad (۷)$$

در عبارت بالا B_w کل پهنای باند در اختیار و $\gamma_{k,n}^{\max}$ سیگنال به نویز کانال مربوط به کاربر kام در زیرحامل nام می‌باشد و بصورت $\gamma_{k,n}^{\max} = (\lambda_{k,n}^{\max})^2 / N_0$ تعریف می‌شود که در آن $\lambda_{k,n}^{\max}$ بیشینه مقادیر تکین ماتریس کانال کاربر kام در زیرحامل nام است و N_0 چگالی توان نویز می‌باشد. بدون از دست دادن کلیت مساله، در اینجا $B_w / N_c = 1$ در نظر می‌گیریم. برای بیشینه‌سازی مجموع نرخ کاربران تحت قیدهای مطرح شده در (۶)، می‌توان از روش لاگرانژ استفاده کرد:

$$\begin{aligned} J(\{S_k\},\{P_{k,n}\}) &= \sum_{k=1}^{K}\sum_{n\in S_k} C_{k,n} \\ &\quad - \sum_{k=1}^{K}\lambda(k)\left(\sum_{n\in S_k} P_{k,n} - P_{T,k}\right) \end{aligned} \qquad (۸)$$

با تعریف تابع زیر:

$$g(\lambda(k)) = \max_{\{S_k\},\{P_{k,n}\}} J(\{S_k\},\{P_{k,n}\}) \qquad (۹)$$

عبارت (۸) را می‌توان بصورت زیر بازنویسی کرد:

$$g(\lambda(k)) = \sum_{n=1}^{N_c} g_n(\lambda(k)) + \sum_{k=1}^{K}\lambda(k)P_{T,k} \qquad (۱۰)$$

بطوریکه:

$$\begin{aligned} g_n(\lambda(k)) = \max_k \Big\{ &\log_2\left(1+P_{k,n}\gamma_{k,n}^{\max}\right) \\ &-\lambda(k)P_{k,n}\Big\} \end{aligned} \qquad (۱۱)$$

بر اساس رابطه (۱۱) زیرحامل nام به کاربر k^* تخصیص می‌یابد، اگر:

$$\begin{aligned} k^* = \arg\max_k \Big\{ &\log_2\left(1+P_{k,n}\gamma_{k,n}^{\max}\right) \\ &-\lambda(k)P_{k,n}\Big\} \end{aligned} \qquad (۱۲)$$

با مشتق‌گیری از رابطه (۱۱) نسبت به $P_{k,n}$ و صفر قرار دادن آن داریم:

$$P_{k,n} = \left(\frac{1}{\lambda(k^*)} - \frac{1}{\gamma_{k^*,n}^{\max}}\right)^+ \qquad (۱۳)$$

بطوریکه $(x)^+ = \max(x,0)$ است. برای یافتن مقادیر $\lambda(k)$ها، با قراردادن رابطه (۱۳) در قید ۱ رابطه (۶) و مرتب کردن آن داریم:

$$\lambda(k) = \frac{N_k}{P_{T,k} + \sum_{n\in S_k}\frac{1}{\gamma_{k,n}^{\max}}} \qquad (۱۴)$$

از آنجایی که روابط (۱۲)-(۱۴) به هم وابسته هستند، نمی توان آنها را بصورت کلی حل نمود و بایستی مساله بصورت تکراری حل شود.

۴- الگوریتم تکراری نوبت‌بندی

برای حل مساله نوبت‌بندی بخش۳، از الگوریتم مطرح شده در [۴] استفاده می‌کنیم. هرگاه s شماره مرحله، $R_{tot}^{(s)}$ مجموع نرخ در مرحله s، $A^{(s)}$ مجموعه همه زیرحامل های قابل دسترس در مرحله s و S_k مجموعه زیرحاملهای تخصیص یافته به کاربر k ام باشد، الگوریتم نوبت‌بندی به صورت زیر خواهد بود:

۱- مقداردهی اولیه: $s=1$ ، $R_{tot}^{(0)}=0$ و $A^{(0)}=\{n\}_{n=1}^{N_c}$ در نظر می‌گیریم. همچنین به ازای همه کاربران فرض می‌کنیم: $S_k = \Phi$.

۲- برای تمام $n \in A^{(s)}$ مراحل زیر را انجام می‌گیرد:

۲-الف) به ازای $k = 1,...,K$، فرض می‌شود زیرحاملn به کاربر k ام تخصیص یابد و $S_k = S_k \cup \{n\}$.

۲-ب) با استفاده از الگوریتم WF (که در ادامه می‌آید)، توان به زیرحامل‌های کاربر k ام تخصیص می‌یابد.

۲-ج) زیرحامل n ام طبق رابطه (۱۲) به کاربر k^* تخصیص می‌یابد. و این زیرحامل از مجموعه زیرحامل‌های سایر کاربران حذف می‌شود.

۳- مقدار $R_{tot}^{(s)}$ در مرحله s محاسبه می‌گردد. همچنین میزان اختلاف نرخ $\Delta R^{(s)} = R_{tot}^{(s)} - R_{tot}^{(s-1)}$ محاسبه می‌شود.

۴- اگر $\Delta R^{(s)} < \varepsilon$ که ε یک مقدار کوچک نزدیک به صفر است، آنگاه تکرار پایان می‌یابد، در غیر این‌صورت $s = s + 1$، و به مرحله ۲ باز می‌گردیم.

روش WF تخصیص توان به زیرحامل های کاربر k ام در مرحله ۲-ب به طبق الگوریتم زیر صورت می‌پذیرد:

۱- مقداردهی اولیه: نخست به تمام زیرحامل‌های S_k، توان تخصیص می‌یابد، یعنی $N_{eff} = N_k$.

۲- مقادیر $\{\gamma_{k,n}^{\max}\}_{n=1}^{Neff}$ مربوط به کاربر k ام بصورت نزولی مرتب گردیده و در مجموعه $\{\gamma_{k,(n)}^{\max}\}$ قرار می‌گیرند، بطوریکه $\gamma_{k,(1)}^{\max} \geq \gamma_{k,(2)}^{\max} \geq ... \geq \gamma_{k,(N_{eff})}^{\max}$.

۳- با استفاده از رابطه (۱۴) و جایگزینی N_{eff} به جای N_k، مقدار $\lambda(k)$ را بدست می آید.

۴- اگر $\lambda(k) \leq \gamma_{k,(N_{eff})}^{\max}$ باشد، الگوریتم از مرحله ۵ ادامه می‌یابد، در غیر اینصورت $\gamma_{k,(N_{eff})}^{\max}$ را از مجموعه $\{\gamma_{k,(n)}^{\max}\}$ حذف گردیده، زیرحامل متناظر با آن را از مجموعه S_k به مجموعه $A^{(s+1)}$ انتقال می‌یابد، سپس $N_{eff} = N_{eff} - 1$ درنظر گرفته می‌شود و الگوریتم از مرحله ۲ ادامه می‌یابد.

۵- با استفاده از رابطه (۱۳) مقادیر $\{P_{k,n}\}_{n \in S_k}$ محاسبه می‌گردند.

۵- شبیه‌سازی و مقایسه

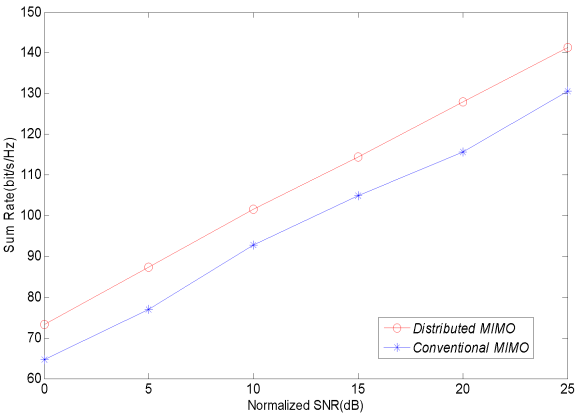
در شبیه‌سازی، سیستم MIMO-OFDMA با تعداد زیرحامل $N_c = 8$ و تعداد آنتن کاربران (فرستنده) $N = 2$، تعداد کل آنتن‌های ایستگاه پایه (گیرنده) $M = 4$ در نظر گرفته می‌شود. در سیستم ایستگاه پایه با آنتن های توزیع شده، ایستگاه پایه به دو ایستگاه مجازی که هریک دارای ۲ آنتن می‌باشند، تبدیل شده است. در این مدل، ضریب تضعیف توان مسیر کانال $\alpha = 4$ و تعداد مسیرها $L_c = 4$ درنظر گرفته می‌شود. بیشینه توان ارسالی هر یک از کاربران $P_{T,k}$ را برابر واحد در نظر گرفته و بر این اساس، سیگنال به نویز نرمالیزه شده را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$\overline{SNR} = \frac{P_{T,k}}{N_0} \qquad (۱۳)$$

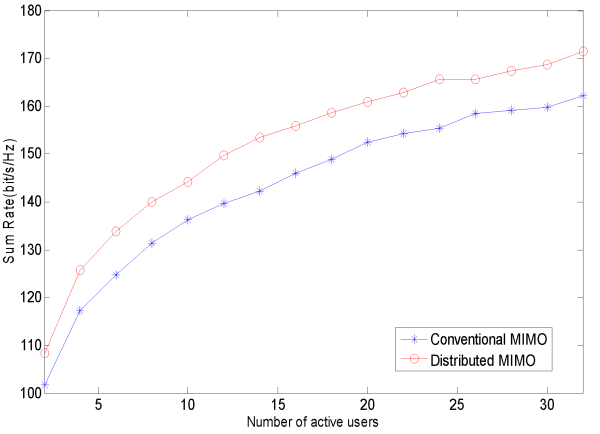
بطوریکه N_0 چگالی توان نویز سفید با توزیع گوسی است. شبیه‌سازی‌ها بر اساس ۱۰۰۰ توزیع مستقل از هم کاربران و میانگین‌گیری روی آن انجام شده است.

شکل۲ مجموع نرخ ارسالی بر حسب سیگنال به نویز ارسالی را نشان می‌دهد. در این شکل تعداد آنتن‌های گیرنده برابر ۴ و تعداد آنتن‌های فرستنده در هریک از کاربران برابر ۲ در نظر گرفته شده است. همانطور که در شکل مشهود است، توزیع آنتن‌های گیرنده بر روی دو ایستگاه مجازی باعث افزایش مجموع نرخ در حدود ۱۰٪ شده است. همچنین افزایش $\overline{SNR}$ باعث افزایش خطی مجموع نرخ‌ها می‌شود و مقدار بهره ناشی از توزیع آنتن‌های گیرنده با افزایش $\overline{SNR}$ تقریبا ثابت می‌ماند.

شکل ۳ مجموع نرخ ارسالی را بر حسب تعداد کاربران فعال نشان می‌دهد. در این شکل $\overline{SNR} = 25dB$ درنظر گرفته شده است. در این شکل، با افزایش تعداد کاربران مجموع نرخ افزایش می‌یابد. این افزایش ناشی از بهره چندگانگی چندکاربری است. هرچه تعداد کاربران افزایش می‌یابد، امکان تحقق کانال‌هایی با بهره بیشتر افزایش می‌یابد و در نتیجه می‌توان با انتخاب کاربران با بهره کانال بیشتر به نرخ بیشتری دست یافت. با ادامه این روند، کاربران جدید بهره جدیدتری را در اختیار نمی‌گذارند و در نتیجه نمودار رفته رفته اشباع می‌شود. باید توجه داشت از آنجایی که منابع محدود است، با افزایش تعداد کاربران، میزان نرخ متوسط تخصیصی به هر کاربر کاهش می‌یابد و در عوض تعداد کاربران بیشتری بطور همزمان از منابع استفاده می‌نمایند. نکته دیگری که در این شکل مشهود است، عدم وابستگی بهره ناشی از توزیع آنتن‌ها به تعداد کاربران سیستم است. در این صورت مستقل از تعداد کاربران فعال در سیستم، با توزیع آنتنهای گیرنده همواره یک میزان بهره نرخ خواهیم داشت.



شکل۲ نمودار مجموع نرخ بر حسب سیگنال به نویز نرمالیزه شده برای $K = N_c = 8$ و $M = 4, N = 2, L_c = 4$.



شکل ۳ نمودار مجموع نرخ بر حسب تعداد کاربران سیستم برای $\overline{SNR} = 25db$ و $N_c = 8$ ، $M = 4, N = 2, L_c = 4$.

۶- نتیجه گیری

در این مقاله، یک روش نوبت‌بندی برای سیستم فراسوی MIMO-OFDMA مبتنی بر بیشینه‌سازی مجموع نرخ کاربران پیشنهاد گردید و بر اساس آن الگوریتم نوبت‌بندی در دو سیستم MIMO با آنتن‌های توزیع شده و بدون توزیع آنتن‌های گیرنده، هنگامی که کاربران بطور یکنواخت پخش شده باشند، اجرا گردید و کارایی دو سیستم با یکدیگر مقایسه شد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد توزیع آنتن‌های ایستگاه پایه (گیرنده) موجب افزایش مجموع نرخ ارسالی می‌گردد و این افزایش مستقل از توان ارسالی هر کاربر و تعداد کاربران فعال در شبکه است.

مراجع

[1] Chandrashekar Mohanram and Srikrishna Bhashyam, "A sub-optimal joint subcarrier and power allocation algorithm for multiuser OFDM," *IEEE Communcation letters*, Vol. 9, No. 8, pp. 685-687, 2005.

[2] H. Tabassum, Z. Dawy and M.S. Alouini, "Sum-rate maximization in the uplink of multi-cell OFDMA networks," *Proc. Int. Conf. on Wireless Communications and Mobile Computing*, pp. 1152-1157, 2011.

[3] Yao Ma, "Constrained Rate-maximization scheduling for uplink OFDMA," *IEEE Conference on Military Communications*, pp. 1-7, 2007.

[4] Yao Ma & D. I. Kim, " *Rate-maximization scheduling schemes for uplink OFDMA*," *IEEE Trans. Wireless Communication*, Vol. 8, No.6, pp.3193-3205, 2009.

[5] Zhi Ni & Daoben Li, "effect of fading correlation on capacity of distributed MIMO," *IEEE Int. Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, Vol. 3, pp. 1637-1641, 2004.