

## تخصیص توان در شبکه‌های Non-Regenerative MIMO Ad-Hoc مبتنی بر اطلاعات کامل و پاره‌ای کانال با رویکرد الگوریتم ژنتیک

الهام بهمنی<sup>۱</sup> و حسین ضمیری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده مهندسی برق، دانشگاه فردوسی مشهد

<sup>۲</sup> مرکز پژوهشی مخابرات و کامپیوتر دانشکده مهندسی برق، دانشگاه فردوسی مشهد

[hzamiri@um.ac.ir](mailto:hzamiri@um.ac.ir), [bahmani.e@gmail.com](mailto:bahmani.e@gmail.com)

چکیده - در شبکه‌های بدون زیر ساخت *Ad-Hoc* تخصیص توان برای برقراری ارتباط بین گره‌های آن از چالش‌های پیشروی طراحان شبکه است. در این راستا روش‌ها و الگوریتم‌هایی که بتوانند با مدیریت توان ارسالی به بیشینه ظرفیت دست یابند، مورد توجه پژوهشگران می‌باشد. از طرفی داشتن اطلاعات کامل و یا پاره‌ای کانال در فرستنده و گیرنده در طراحی الگوریتم‌های تخصیص توان جهت دستیابی به بیشینه ظرفیت نقش محوری دارد. در این مقاله، روش تخصیص توان مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای بیشینه سازی ظرفیت در شبکه‌های *MIMO Ad-Hoc* پیشنهاد می‌شود. روش تخصیص توان پیشنهادی، یک راهکار کارا برای بیشینه سازی ظرفیت تحت شرایط گوناگون دسترسی به اطلاعات کامل و یا پاره‌ای کانال می‌باشد، بویژه هنگامی که روش لاگرانژ پاسخ سر راستی را ارائه نمی‌کند.

کلید واژه- الگوریتم ژنتیک، تقویت کننده، چند پرشی و *MIMO Ad-Hoc*

### ۱- مقدمه

Regenerative. معمولاً روش AF بر روش DF ترجیح داده می‌شود، زیرا هم ساده‌تر است و هم گره‌های تقویت کننده، توان کمتری را مصرف می‌کنند (زیرا نیاز به آشکارسازی و دکد کردن ندارند). آگاهی و یا عدم آگاهی از دالان مخابراتی در فرستنده، گره میانی و گیرنده نقش بسزایی در چگونگی تخصیص توان و عملکرد سیستم دارد. بیشینه ظرفیت سیستم متأثر از میزان اطلاعات کانال (CSI)<sup>۳</sup> در دو طرف ارتباط است. بنابراین با مفروضات مختلفی از CSI در فرستنده و گیرنده، حالت‌های گوناگونی بوجود می‌آید. در این مقاله، چندین حالت مختلف حاصل از این مفروضات مورد بررسی قرار داده می‌شود و مسئله بهینه سازی ظرفیت، تحت شرایط گوناگون در نظر گرفته شده، بدست آورده می‌شود. از آنجا که بعضی از این روابط پیچیده و حل آن‌ها مشکل است و روابط بسته‌ای برای حل آن‌ها به روش

پدیده‌های تارکنندگی و چندراهی در کانال‌های مخابراتی از عوامل محدود کننده دستیابی به یک ارتباط کارا در شبکه‌های Ad-Hoc می‌باشد. برای افزایش کارایی طیف فرکانسی و افزایش نرخ ارسال می‌توان از آرایه آنتنی در گره‌ها (سیستم‌های MIMO) استفاده نمود. شبکه‌های *MIMO Ad-Hoc* امکان برقراری ارتباط با بهره‌وری بهتر توان و طیف را فراهم می‌سازند که بطور کلی باعث افزایش ظرفیت می‌گردند.

با توجه به نقش گره‌های میانی (تقویت کننده) در شبکه‌های Ad-Hoc، دو روش ارسال برای گره میانی ارائه شده است [۱، ۲، ۳]: الف) روش تقویت و ارسال مجدد<sup>۱</sup> (AF) یا Non-Regenerative (ب) روش آشکارسازی و ارسال مجدد<sup>۲</sup> (DF) یا

<sup>۱</sup> Amplify and forward

<sup>۲</sup> Detection and Forward

<sup>۳</sup> Channel State Information

لاگرانژ بدست نمی‌آید از روش هوشمند الگوریتم ژنتیک استفاده خواهد شد.

ساختار مقاله بدین صورت است که پس از مقدمه، مدل سیستم در بخش دو ارائه می‌گردد. در بخش سه، الگوریتم تخصیص توان مبنی بر افزایش ظرفیت با استفاده از دو روش تجزیه SVD و LQ بررسی خواهد شد. نتایج شبیه سازی‌ها در بخش چهارم آمده است و در بخش پنجم جمع بندی مطالب آورده می‌شود.

## ۲- مدل سیستم

شکل (۱) نمای سیستم MIMO دو پرشی را نشان می‌دهد. بطوریکه  $M$ ،  $R$  و  $N$  به ترتیب تعداد آنتن‌های گیرنده، منبع، و میانی تقویت کننده و گیرنده مقصد می‌باشند. هر گاه  $Y$  سیگنال دریافتی باشد، داریم:

$$Y = H_2 W (H_1 X + N_1) + N_2 \quad (1)$$

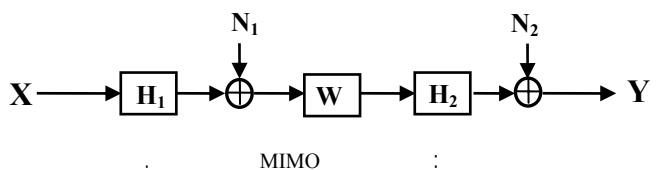
بطوریکه  $X$  سیگنال ارسالی توسط منبع،  $H_1$  ماتریس کانال بین گیرنده منبع و تقویت کننده،  $H_2$  ماتریس کانال بین گیرنده تقویت کننده و مقصد،  $N_1$  و  $N_2$  به ترتیب بردارهای نویز دریافتی در گیرنده تقویت کننده و گیرنده مقصد می‌باشد و در نهایت  $W$  ضرایب تقویت گیرنده میانی است. در حالت کلی می‌توان رابطه (۱) را بصورت زیر نوشت:

$$Y = HX + Z \quad (2)$$

که  $H$  ماتریس کانال و  $Z$  ماتریس نویز است:

$$H = H_2 W H_1 \quad Z = H_2 W N_1 + N_2 \quad (3)$$

در ادامه به موضوع ظرفیت سیستم پرداخته می‌شود



## ۳- ظرفیت سیستم

ظرفیت یک سیستم MIMO با ماتریس دالان مخابراتی  $H$  در صورت زیر بیان می‌گردد [۴-۶]:

$$C = \log_2 \left( \left| I_K + H R_X H^H R_Z^{-1} \right| \right) \quad (4)$$

در اینجا  $R_X = E[XX^H]$  ماتریس خود همبستگی سیگنال ورودی می‌باشد که معمولاً آن را برابر با  $P = \text{diag}(P_1, P_2, \dots, P_M)$  توان ارسالی روی هر یک از آنتن‌های فرستنده است) در نظر می‌گیرند.  $R_Z$  ماتریس خود

همبستگی نویز است.  $\| \cdot \|$  نمایش دترمینان ماتریس است. ظرفیت سیستم شکل ۱ که دارای یک گیرنده میانی است مبتنی بر رابطه (۴) بصورت زیر بدست می‌آید.

$$C = \log_2 \left( \left| I_{M_u} + H_2 W H_1 R_X H_1^H W^H H_2^H (H_2 W R_{N_1} W^H H_2^H + R_{N_2})^{-1} \right| \right) \quad (5)$$

که  $M_u = \text{Min}\{M, N, R\}$  رتبه ماتریس کانال‌ها می‌باشد. در روش AF متداول، گیرنده تقویت کننده سیگنال دریافتی را با ضرایب  $W$  تقویت و ارسال می‌کند و همچنین گیرنده منبع سیگنال را با ضرایب  $P$  تقویت و ارسال می‌کند. بنابراین هدف، یافتن ماتریس  $W$  و  $P$  بنحوی که ظرفیت بیشینه گردد، می‌باشد. بدین منظور از دو روش تجزیه SVD و LQ (و یا QR) استفاده می‌شود. روش SVD با فرض آگاهی کامل از کانال در فرستنده و گیرنده، ماتریس کانال بین فرستنده و گیرنده را به ماتریسی قطری تبدیل می‌کند. لذا بطور کامل تداخلات حاصل از آنتن‌های دیگر را از روی آنتن مطلوب حذف می‌کند. بنابراین یکی از بهترین انتخاب‌ها در تحلیل سیستم‌های MIMO می‌باشد. اما در مواردی که اطلاعات کانال در فرستنده و یا گیرنده نباشد و تنها فرستنده و یا گیرنده از کانال و تداخلات آگاه می‌باشد، از روش تجزیه LQ و یا QR استفاده می‌شود. یادآور می‌شویم در تجزیه LQ میتوان با استفاده از روش Dirty Paper Coding (DPC) کل تداخلات را حذف نمود [۷-۹].

## ۳-۱- محاسبه ظرفیت به کمک روش SVD

در این بخش تاثیر وجود اطلاعات کانال در فرستنده و گیرنده سیستم مورد بحث و بررسی قرار داده می‌شود. از آنجا که در این سیستم، علاوه بر گیرنده منبع و مقصد، گیرنده تقویت کننده نیز وجود دارد، حالت‌های مختلفی می‌توان در نظر گرفت که در ادامه به این حالت‌ها پرداخته می‌شود.

### ۳-۱-۱- حالت اول

در این حالت، فرض می‌شود که اطلاعات کانال در هر سه گیرنده، تقویت کننده و مقصد وجود داشته باشد. بنابراین می‌توان کانال‌های  $H_1$  و  $H_2$  را به روش SVD تجزیه کرد.

$$H_1 = U_1 \Lambda_1 V_1^H \quad H_2 = U_2 \Lambda_2 V_2^H \quad (6)$$

که  $U_1, U_2, V_1, V_2$  ماتریس‌های یکانی می‌باشند.  $\Lambda_1$  و  $\Lambda_2$  ماتریس‌های قطری هستند که عناصر غیر صفر روی قطر آن‌ها

بصورت تنازلی به ترتیب بفرم زیر قرار گرفته‌اند:

$$\sqrt{\lambda_{1,1}} \geq \sqrt{\lambda_{1,2}} \geq \dots \geq \sqrt{\lambda_{1,\min\{M,R\}}} \quad (7)$$

$$\sqrt{\lambda_{2,1}} \geq \sqrt{\lambda_{2,2}} \geq \dots \geq \sqrt{\lambda_{2,\min\{N,R\}}}$$

ماتریس ضریب تقویت در گره میانی (ماتریس قطری  $\mathbf{K}$ ) بصورت  $\mathbf{K}\mathbf{K}^H = \text{diag}\{k_1, k_2, \dots, k_R\}$  تعریف می‌شود.  $\sqrt{k_i}$  ضریب تقویت آنتن  $i$ م گره میانی می‌باشد. در این طراحی، ماتریس پردازش خطی تقویت  $\mathbf{W}$  با توجه به ماتریس ضریب تقویت  $\mathbf{K}$ ، ماتریس پیش‌کدینگ  $\mathbf{V}_2$  گره میانی (به علت وجود آگاهی از کانال  $\mathbf{H}_2$ ) و ماتریس پرتو ساز در گیرنده  $\mathbf{U}_1^H$  (به علت وجود آگاهی از کانال  $\mathbf{H}_1$ ) بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mathbf{W} = \mathbf{V}_2 \mathbf{K} \mathbf{U}_1^H \quad (8)$$

در نتیجه رابطه (8) را می‌توان بصورت زیر بازنویسی کرد:

$$\mathbf{C} = \log_2 \left| \mathbf{I}_{M_u} + \mathbf{P} \mathbf{A}_2^{1/2} \mathbf{K} \mathbf{A}_1 \mathbf{K} \mathbf{A}_2^{1/2} \times (\sigma_2 \mathbf{I}_{M_u} + \sigma_1 \mathbf{A}_2^{1/2} \mathbf{K} \mathbf{K} \mathbf{A}_2^{1/2})^{-1} \right| \quad (9)$$

از آنجا که توان ارسالی در گره تقویت کننده دارای محدودیت  $P_{\pi}$  است با اعمال آن روی توان تقویت کننده داریم:

$$\text{Trace} \left\{ \mathbf{W} (\mathbf{H}_1 \mathbf{X} \mathbf{X}^H \mathbf{H}_1^H + \sigma_1^2 \mathbf{I}_R) \mathbf{W}^H \right\} = \sum_{i=1}^{M_u} k_i (\lambda_{1,i} P_i + \sigma_1^2) \leq P_{\pi} \quad (10)$$

و قید توان در گره منبع هم بصورت زیر است

$$\text{Trace} \left\{ \mathbf{X} \mathbf{X}^H \right\} = \sum_{i=1}^{M_u} P_i \leq P_{st} \quad (11)$$

بطوریکه  $P_{st}$  بیشینه مجموع توان ارسالی روی آنتن‌های گره منبع است. در کل با مسئله بهینه‌سازی زیر روبرو خواهیم بود:

$$\begin{aligned} & \text{Max} \sum_{i=1}^{M_u} \log_2 \left( 1 + \frac{\lambda_{1,i} \lambda_{2,i} k_i P_i}{\lambda_{2,i} k_i \sigma_1^2 + \sigma_2^2} \right) \\ & \text{S.t.} \sum_{i=1}^{M_u} k_i (\lambda_{1,i} P_i + \sigma_1^2) \leq P_{\pi} \\ & \sum_{i=1}^{M_u} P_i \leq P_{st}, \quad P_i \geq 0, \quad k_i \geq 0 \end{aligned} \quad (12)$$

### ۳-۱-۲- حالت دوم

در این حالت گره منبع اطلاعاتی از کانال  $\mathbf{H}_1$  ندارد، لذا گره منبع به علت عدم آگاهی از کانال، دیگر در عملیات بهینه‌سازی شرکت نمی‌کند و همه سیگنال‌ها را با توان یکسان  $P_i = \frac{P_{st}}{M}$  ارسال می‌کند. در این حالت جدید کافی است که در همه روابط حالت اول تساوی اخیر، جایگزین شود. در اینصورت خواهیم داشت:

$$\text{Max} \sum_{i=1}^{M_u} \log_2 \left( 1 + \frac{P_{st}}{M} \frac{\lambda_{1,i} \lambda_{2,i} k_i}{\lambda_{2,i} k_i \sigma_1^2 + \sigma_2^2} \right) \quad (13)$$

$$\text{S.t.} \sum_{i=1}^{M_u} k_i \left( \frac{P_{st}}{M} \lambda_{1,i} + \sigma_1^2 \right) \leq P_{\pi}, \quad k_i \geq 0$$

بهینه‌سازی بالا را به کمک روش لاگرانژ می‌توان حل نمود. با مساوی قرار دادن واریانس نویزها ( $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$ ) و بعد از یک سری عملیات ریاضی، در نهایت توان روی آنتن‌های ارسالی گره تقویت کننده و ضرایب تقویت بصورت زیر خواهند بود [۱۰]:

$$P_i = \left[ \sqrt{\mu \frac{P_{st}}{M} \frac{\lambda_{1,i}^2}{\lambda_{2,i}^2} + \left( \frac{P_{st}}{2M} \frac{\lambda_{1,i}^2}{\lambda_{2,i}^2} \right)^2} - \frac{P_{st}}{2M} \frac{\lambda_{1,i}^2}{\lambda_{2,i}^2} - \frac{\sigma^2}{\lambda_{2,i}^2} \right]^+ \quad (14)$$

$$k_i = \frac{P_i}{\frac{P_{st}}{M} \lambda_{1,i}^2 + \sigma^2}$$

که  $\mu$  ثابت لاگرانژ می‌باشد. پس از یافتن  $k_i$  می‌توان ماتریس ضرایب تقویت  $\mathbf{K}$  را یافت و سپس ماتریس پردازش خطی تقویت  $\mathbf{W}$  با کمک رابطه (۸) بدست خواهد آمد.

### ۳-۱-۳- حالت سوم

در این حالت برخلاف حالت قبل فرض خواهد شد که گره منبع، اطلاعاتش کامل باشد اما گره تقویت کننده از کانال  $\mathbf{H}_2$  اطلاعاتی ندارد لذا در این حالت گره تقویت کننده همه سیگنال‌های دریافتی از طرف گره منبع را با یک بهره یکسان تقویت و ارسال می‌کند. یعنی در این حالت داریم  $\mathbf{K}\mathbf{K}^H = K_w \mathbf{I}_R$ . بنابراین کافی است در همه روابط حالت اول بجای  $k_i$ ،  $K_w$  قرار داده شود. در این حالت، مسئله ساده‌تر می‌شود و به جای یافتن  $2R$  مجهول، تنها  $R+1$  مجهول خواهیم داشت. در نتیجه صورت مسئله بهینه‌سازی اینگونه خواهد بود:

$$\begin{aligned} & \text{Max} \sum_{i=1}^{M_u} \log_2 \left( 1 + \frac{\lambda_{1,i} \lambda_{2,i} K_w P_i}{\lambda_{2,i} K_w \sigma_1^2 + \sigma_2^2} \right) \\ & \text{S.t.} \sum_{i=1}^{M_u} K_w (\lambda_{1,i} P_i + \sigma_1^2) \leq P_{\pi} \\ & \sum_{i=1}^{M_u} P_i \leq P_{st}, \quad P_i \geq 0, \quad K_w \geq 0 \end{aligned} \quad (15)$$

### ۳-۲- محاسبه ظرفیت به کمک روش DPC

هنگامیکه روش تقویت و ارسال مجدد در گره میانی استفاده می‌شود، داشتن اطلاعات دالان مخابراتی در گره میانی که نقش گیرندگی را دارد بسختی امکان پذیر است. بنابراین در این بخش فرض خواهد شد که گیرنده از کانال آگاه نیست و تاثیر وجود اطلاعات کانال در فرستنده به تنهایی مورد بررسی قرار خواهد

تقویت می‌کند.

$$\mathbf{K}\mathbf{K}^H = K_w \mathbf{I}_R \quad (19)$$

در این حالت، مسئله ساده‌تر می‌شود و به جای  $2R$  مجهول تنها  $R+1$  مجهول وجود دارد.

$$\begin{aligned} \text{Max} \sum_{i=1}^{Mu} \log_2 \left( 1 + \frac{l_{1,ii}^2 \lambda_{2,i} K_w P_i}{\lambda_{2,i} k_w \sigma_1^2 + \sigma_2^2} \right) \\ \text{S.t} \sum_{i=1}^{Mu} K_w \left( \sum_{j=1}^i l_{1,ij} l_{1,ij}^* P_j + \sigma_1^2 \right) \leq P_r \quad (20) \\ \sum_{i=1}^{Mu} P_i \leq P_{st}, \quad P_i \geq 0, \quad K_w \geq 0 \end{aligned}$$

در ادامه، حالتی در نظر گرفته می‌شود که گره منبع از کانال آگاه است، اما گره مقصد هیچ اطلاعی از کانال بین خود و تقویت کننده ندارد. گره تقویت کننده از هر دو کانال بصورت کامل آگاه است. به علت عدم آگاهی گره مقصد از کانال  $\mathbf{H}_2$  از روش تجزیه LQ و برای حذف کامل تداخلات مسیر پرش دوم از روش DPC استفاده خواهد شد. کانال مسیر پرش اول، به کمک روش SVD تجزیه خواهد شد.

$$\mathbf{H}_1 = \mathbf{U}_1 \mathbf{\Lambda}_1 \mathbf{V}_1^H \quad \mathbf{H}_2 = \mathbf{L}_2 \mathbf{Q}_2 \quad (21)$$

که  $\mathbf{L}_2$  یک ماتریس پایین مثلثی است و  $\mathbf{Q}_2$ ،  $\mathbf{U}_1$  و  $\mathbf{V}_1$  ماتریس‌های یکانی هستند و  $\mathbf{\Lambda}_1$  ماتریسی قطری است. ماتریس قطری  $\mathbf{K}$  مشابه بخش‌های پیشین تعریف می‌شود. در این طراحی، ماتریس تقویت  $\mathbf{W}$  با توجه به  $\mathbf{K}$  بصورت  $\mathbf{W} = \mathbf{Q}_2^H \mathbf{K} \mathbf{U}_1^H$  تعریف می‌شود. در اینجا نیز عملیات تخصیص توان در گره منبع و تقویت کننده با طراحی توأم  $\mathbf{P}$  و  $\mathbf{K}$  تنظیم می‌شود. در این ساختار، قید توان در تقویت کننده بصورت زیر می‌باشد

$$\text{Tr} \{ \mathbf{W} (\mathbf{H}_1 \mathbf{X} \mathbf{X}^H \mathbf{H}_1^H + \sigma_1^2 \mathbf{I}) \mathbf{W}^H \} = \sum_{i=1}^{Mu} k_i (\lambda_{1,i} P_i + \sigma_1^2) \leq P_r \quad (22)$$

در این حالت با مسئله بهینه سازی زیر روبرو خواهیم بود:

$$\begin{aligned} \text{Max} \sum_{i=1}^{Mu} \log_2 \left( 1 + \frac{\lambda_{1,i} k_i l_{2,ii}^2 P_i}{\sum_{j=1}^i l_{2,ij} l_{2,ij}^* k_j \sigma_1^2 + \sigma_2^2} \right) \\ \text{S.t} \sum_{i=1}^{Mu} k_i (\lambda_{1,i} P_i + \sigma_1^2) \leq P_r \quad (23) \\ \sum_{i=1}^{Mu} P_i \leq P_{st}, \quad P_i \geq 0, \quad k_i \geq 0 \end{aligned}$$

حالت خاص‌تر دیگر آنست که فرض شود گره منبع از دالان-های مخابراتی  $\mathbf{H}_1$  آگاه نباشد، لذا همه سیگنال‌ها را با توان یکسان روی آنتن‌ها می‌فرستد. پس در این حالت کافی است

گرفت از آنجا که در این سیستم، گره منبع و تقویت کننده هر دو می‌توانند در مدهای متفاوت نقش فرستنده را داشته باشند لذا حالت‌های مختلفی وجود دارد. در ادامه، این حالت‌ها مورد بحث و بررسی قرار خواهند گرفت.

در این حالت گره منبع از کانال  $\mathbf{H}_1$  آگاه است. اما گره تقویت کننده از این کانال اطلاعاتی ندارد و تنها از کانال  $\mathbf{H}_2$  مطلع است. از آنجا که گره تقویت کننده در حکم گیرنده برای اطلاعات ارسالی از گره منبع می‌باشد، بهترین روش تحلیل برای این حالت روش DPC است که مبتنی بر تجزیه LQ قابل اجراء است. بدین ترتیب در پرش اول از روش LQ و در مسیر پرش دوم از روش SVD استفاده می‌شود.

$$\mathbf{H}_1 = \mathbf{L}_1 \mathbf{Q}_1 \quad \mathbf{H}_2 = \mathbf{U}_2 \mathbf{\Lambda}_2 \mathbf{V}_2^H \quad (16)$$

که  $\mathbf{L}_1$  یک ماتریس پایین مثلثی است و  $\mathbf{Q}_1$ ،  $\mathbf{U}_2$  و  $\mathbf{V}_2$  ماتریس‌های یکانی می‌باشند و  $\mathbf{\Lambda}_2$  ماتریسی قطری است. ماتریس قطری  $\mathbf{K}$  مشابه بخش قبل تعریف می‌شود. در این طراحی، ماتریس پردازش خطی  $\mathbf{W}$  با توجه به  $\mathbf{K}$  بصورت  $\mathbf{W} = \mathbf{V}_2 \mathbf{K}$  تعریف می‌گردد. ماتریس پیش کدینگ در این مدل برابر با  $\mathbf{Q}_1^H$  است و توان اختصاصی به هر آنتن، بصورت  $\mathbf{P} = \text{diag} \{ P_1, P_2, \dots, P_{Mu} \}$  نمایش داده می‌شود. عملیات تخصیص توان در گره منبع و تقویت کننده با طراحی توأم  $\mathbf{P}$  و  $\mathbf{K}$  بایستی بدست آید.

با جایگذاری روابط اخیر در رابطه (5) و همچنین با توجه به این نکته که در این ساختار، قید توان در تقویت کننده بصورت رابطه زیر می‌باشد:

$$\text{Tr} \{ \mathbf{W} (\mathbf{H}_1 \mathbf{X} \mathbf{X}^H \mathbf{H}_1^H + \sigma_1^2 \mathbf{I}_k) \mathbf{W}^H \} = \sum_{i=1}^{Mu} k_i \left( \sum_{j=1}^i l_{1,ij} l_{1,ij}^* P_j + \sigma_1^2 \right) \leq P_r \quad (17)$$

در نتیجه مسئله بهینه سازی بصورت رابطه زیر خواهد شد:

$$\begin{aligned} \text{Max} \sum_{i=1}^{Mu} \log_2 \left( 1 + \frac{l_{1,ii} l_{2,ii}^* \lambda_{2,i} k_i P_i}{\lambda_{2,i} k_i \sigma_1^2 + \sigma_2^2} \right) \\ \text{S.t} \sum_{i=1}^{Mu} k_i \left( \sum_{j=1}^i l_{1,ij} l_{1,ij}^* P_j + \sigma_1^2 \right) \leq P_r \quad (18) \\ \sum_{i=1}^{Mu} P_i \leq P_{st}, \quad P_i \geq 0, \quad k_i \geq 0 \end{aligned}$$

به عنوان حالت خاص‌تر می‌توان در نظر گرفت که اطلاعات گره تقویت کننده از کانال بین خود و گره مقصد کامل نباشد، لذا دیگر نمی‌تواند در عملیات بهینه سازی نقش پر رنگی داشته باشد. بنابراین همه سیگنال‌های دریافتی را با ضریب یکسان

برابر و گوسی با میانگین صفر و واریانس  $\sigma^2$  در نظر گرفته شده-  
 اند. در اینجا ظرفیت بر حسب SNR گره مقصد یا گره تقویت  
 کننده رسم شده است. در این شبیه سازی‌ها، تاثیر میزان آگاهی  
 فرستنده (گره منبع یا گره تقویت کننده) و گیرنده (گره مقصد یا  
 گره تقویت کننده) از کانال مد نظر قرار گرفته شده است. نکته  
 قابل توجه، مقایسه شبیه سازی‌های حاصل از روش لاگرانژ و  
 الگوریتم ژنتیک است. شکل (۲) ظرفیت ارگادیک سیستم برای  
 ۱۰۰ بار تحقق پذیری در سیستم MIMO بر حسب SNR گره  
 تقویت کننده برای حالت توضیح داده شده در بخش (۳-۱-۲)  
 یعنی برای حالتی که گره تقویت کننده از کانال اطلاعات کامل  
 دارد اما گره منبع، اطلاع از کانال ندارد را نشان می‌دهد.  
 همانگونه که ذکر شد، برای این حالت می‌توان به روش لاگرانژ به  
 رابطه سر راستی رسید. لذا در این شبیه سازی سعی بر مقایسه  
 بین نتایج روش لاگرانژ با الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم ژنتیک  
 است. SNRها را می‌توان بصورت زیر تعریف کرد:

$$SNR_1 = \frac{P_{st}}{L_1 \sigma^2} \quad SNR_2 = \frac{P_{rt}}{L_2 \sigma^2} \quad (29)$$

بطوری که  $SNR_1$ ، نسبت سیگنال به نویز در گره تقویت کننده و  
 $SNR_2$ ، نسبت سیگنال به نویز در مقصد است.  $L_1$  تلفات مسیر  
 مربوط به کانال ام است. SNR گره مقصد ثابت و برابر با ۱۵  
 دسی بل در نظر گرفته شده است. نکته حائز اهمیت در این  
 نمودار، مقایسه ظرفیت حاصل از دو روش تئوری (لاگرانژ) و  
 هوشمند (الگوریتم ژنتیک) است. منحنی‌های بدست آمده از این  
 شبیه سازی دلالت بر یکسان بودن ظرفیت حاصل از هر دو روش  
 دارد. پارامترهای مورد نیاز جهت اجرای الگوریتم ژنتیک GA به  
 این صورت انتخاب شده است: تعداد جمعیت برابر با ۱۰۰، تعداد  
 نسل ۳۰۰، احتمال برش ۹۰ درصد و احتمال جهش ۲۵ درصد.  
 نتایج GA قبل از نسل ۲۰۰ همگرا می‌شود. با توجه به شبیه  
 سازی انجام شده مشخص می‌شود که سیستم مفروض با هر دو  
 روش به یک حالت بهینه می‌رسد. لذا برای شبیه سازی حالت-  
 های دیگر که حل شان به روش لاگرانژ امکان پذیر نیست از  
 بهینه سازی به روش الگوریتم ژنتیک بهره جستیم. شکل (۳)  
 مقایسه ظرفیت سه حالت سیستم MIMO تقویت کننده به روش  
 تجزیه SVD را نشان می‌دهد. تعداد آنتن‌ها برابر با ۲ فرض شده  
 است. SNR گره مقصد ثابت و برابر با ۱۰ دسی بل در نظر گرفته  
 شده است. عملیات بهینه سازی این نمودار به روش الگوریتم  
 ژنتیک و با پارامترهایی مشابه پارامترهای شبیه سازی قبل انجام  
 گرفته است. مشاهده می‌شود که طبق انتظار، حالتی که اطلاعات  
 کانال کامل است بیشترین ظرفیت را می‌دهد. شکل (۴) مقایسه

بجای  $P_i$  رابطه  $P_i = \frac{P_{st}}{M}$  قرار داده شود. لذا رابطه ظرفیت در  
 این حالت برابر با رابطه (۲۴) می‌باشد.

$$C = \sum_{i=1}^{M_u} \log_2 \left( 1 + \frac{P_{st}}{M} \frac{\lambda_{1,i} k_i L_{2,ii}^2}{\sum_{j=1}^i L_{2,ij} L_{2,ij}^* k_j \sigma_1^2 + \sigma_2^2} \right) \quad (24)$$

و قید حاکم بر آن بصورت زیر خواهد بود:

$$\sum_{i=1}^{M_u} k_i \left( \frac{P_{st}}{M} \lambda_{1,i} + \sigma_1^2 \right) \leq P_{rt}, \quad k_i \geq 0 \quad (25)$$

در جهت تکمیل مدل‌های در نظر گرفته شده، می‌توان مدلی  
 را در نظر گرفت که گره تقویت کننده از کانال  $\mathbf{H}_1$  و گره مقصد  
 هم از کانال  $\mathbf{H}_2$  هیچ نوع اطلاعاتی نداشته باشند. اما در عوض  
 گره منبع از کانال  $\mathbf{H}_1$  و گره تقویت کننده از کانال  $\mathbf{H}_2$  اطلاعات  
 کامل داشته باشند. در این حالت کانال‌ها به روش LQ تجزیه  
 خواهند شد.

$$\mathbf{H}_1 = \mathbf{L}_1 \mathbf{Q}_1 \quad \mathbf{H}_2 = \mathbf{L}_2 \mathbf{Q}_2 \quad (26)$$

که  $\mathbf{L}_1$  و  $\mathbf{L}_2$  ماتریس پایین مثلثی هستند،  $\mathbf{Q}_1$  و  $\mathbf{Q}_2$  ماتریس-  
 های یکانی می‌باشند. ماتریس قطری  $\mathbf{K}$  مشابه حالت‌های قبل  
 تعریف می‌شود. ماتریس پردازش خطی  $\mathbf{W}$  با توجه به  $\mathbf{K}$   
 (ماتریس ضریب تقویت که قبلاً تعریف شده) بصورت  
 $\mathbf{W} = \mathbf{Q}_2^H \mathbf{K} \mathbf{Q}_1^H$  تعریف می‌شود. پیش کد کننده بصورت  $\mathbf{Q}_1^H$   
 است. قید توان در تقویت کننده بصورت زیر خواهد بود:

$$Tr\{\mathbf{W}(\mathbf{H}_1 \mathbf{X} \mathbf{X}^H \mathbf{H}_1^H + \sigma_1^2 \mathbf{I}) \mathbf{W}^H\} = \sum_{i=1}^{M_u} k_i \left( \sum_{j=1}^i L_{2,ij} L_{2,ij}^* P_j + \sigma_1^2 \right) \leq P_{rt} \quad (27)$$

در اینجا با مسئله بهینه سازی زیر روبرو خواهیم بود:

$$\begin{aligned} & \text{Max} \sum_{i=1}^{M_u} \log_2 \left( 1 + \frac{L_{1,ii}^2 L_{2,ii}^2 k_i P_i}{\sum_{j=1}^i L_{2,ij} L_{2,ij}^* k_j \sigma_1^2 + \sigma_2^2} \right) \\ & \text{S.t} \quad \sum_{i=1}^{M_u} k_i \left( \sum_{j=1}^i L_{2,ij} L_{2,ij}^* P_j + \sigma_1^2 \right) \leq P_{rt} \\ & \quad \sum_{i=1}^{M_u} P_i \leq P_{st}, \quad P_i \geq 0, \quad k_i \geq 0 \end{aligned} \quad (28)$$

#### ۴- نتایج شبیه سازی

در کلیه شبیه سازی‌ها، کانال‌ها MIMO تخت تارشونده در  
 نظر گرفته شده‌اند. تعداد همه آنتن‌ها یکسان فرض شده است.  
 همچنین همه نویزها (نویز در گره تقویت کننده و گره منبع)

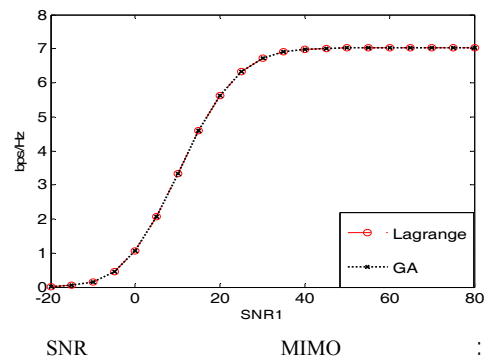
## ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله الگوریتم تخصیص توان در سیستم‌های MIMO Ad-hoc هنگامیکه یک گره میانی بین فرستنده و گیرنده قرار دارد مورد بررسی قرار گرفت. ظرفیت سیستم برای حالت‌های گوناگون که گره منبع، گره میانی و گره مقصد از کانال اطلاع داشته و یا نداشته باشند بدست آورده شد و سپس مبتنی بر الگوریتم ژنتیک، الگوریتم تخصیص توان برای دستیابی به بیشینه ظرفیت پیشنهاد گردید و مورد شبیه سازی قرار گرفت. نتایج شبیه سازی‌ها نشان داد هنگامیکه امکان اجراء روش لاگرانژ میسر می باشد الگوریتم پیشنهادی دارای نتایج یکسان با روش لاگرانژ است. اما برای حالت‌های پیچیده‌تر که روش لاگرانژ راهکاری را ارائه نمی‌کند، روش پیشنهادی، روشی کارا برای تخصیص توان جهت دستیابی به بیشینه ظرفیت می باشد. گرچه در این مقاله از یک گره میانی در شبیه سازی‌ها استفاده شده است اما توسعه روش پیشنهادی به تعداد گره‌های میانی بیشتر سراسر است.

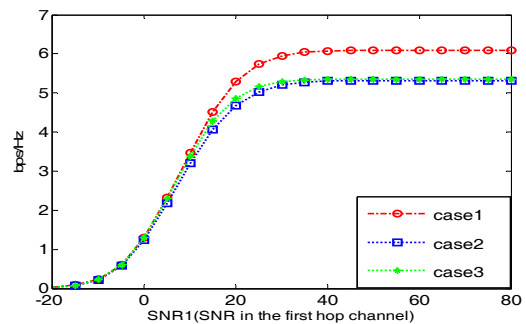
## مراجع

- [1] Bo Wang, J. Zhang and A. Host-Madsen, "On the capacity of MIMO relay channels," IEEE Trans. Information Theory, vol. 51, Issue 1, pp. 29 - 43, Jan. 2005.
- [2] J. Zhang, Ch. Shao, Y. Wang and P. Zhang, "Optimal power allocation for non-regenerative relaying system based on STBC," IEEE International Symposium on PIMRC, vol. 2, 2004, pp. 1234-1240.
- [3] J. Zhang, Ch. Shao, Y. Wang and P. Zhang, "Optimal power allocation for multiple-input-multiple-output relaying system," IEEE International Symposium on VETECF, 2004, pp. 1405-1409.
- [4] O. Munoz, A. Agustin and J. Vidal, "Linear Transceiver Design in Nonregenerative Relays With Channel State Information," IEEE Trans. Signal Processing, Vol.55 pp. 2593 - 2604, June 2007.
- [5] A. Agustin, J. Vidal, "TDMA Cooperation Using Spatial Reuse of the Relay Slot with Interfering Power Distribution Information," IEEE Int. CASSP, 2006, pp. 669-672.
- [6] O. Munoz, A. Agustin and J. Vidal, "Non-Regenerative MIMO relaying with channel State information," Proc. Of ICASSP 2005. Conf. on Signal processing, Vol. 3, 2005, pp. 361 - 364.
- [7] M. Costa, "Writing on dirty paper," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 29: 439-441, May 1983.
- [8] C. B. Chae, T. Tang, R. W. Heath, Jr., and S. Cho, "MIMO Relaying with Linear Processing for Multiuser Transmission in Fixed Relay Networks," IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 56, no. 2, pp. 727-738, Feb. 2008.
- [9] A. D. Dabagh and D. J. Love, "Precoding for Multiple Antenna Gaussian Broadcast Channels With Successive Zero-Forcing," IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 55, NO. 7, JULY 2007.
- [10] S. Boyd and L. Vandenberghe, "Convex Optimization. Cambridge", U.K.: Cambridge Univ. Press, 2004.

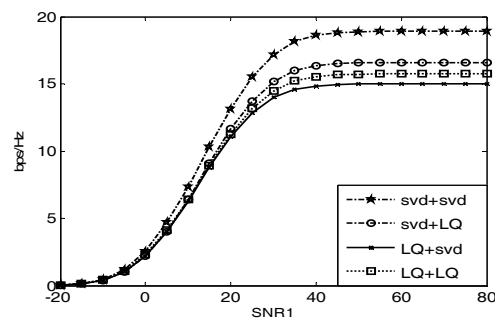
بین سه حالت به کمک روش تجزیه LQ (DPC) (البته با فرض وجود اطلاعات کامل در گره منبع و گره تقویت کننده) و همچنین حالتی که از SVD جهت تجزیه سیستم استفاده می‌شود (به کمک روش الگوریتم ژنتیک)، به نمایش می‌گذارد (SNR) گره مقصد برابر با ۱۵ دسی بل فرض شده است). مشاهده می‌شود که نمودار روشی که در تجزیه مسیر هر دو پرش از SVD استفاده می‌کند، ظرفیت بالاتری ایجاد می‌کند. حالتی که از روش SVD در مسیر پرش اول استفاده می‌شود نسبت به حالتی که در مسیر پرش دوم استفاده می‌شود، ظرفیت بیشتری دارد.



.M=N=R=2 SNR<sub>2</sub>=15db



MIMO :  
SNR<sub>2</sub>=10db SVD SNR  
.M=N=R=2



LQ- LQ SVD- LQ LQ-SVD :  
.M=N=R=4 SNR<sub>2</sub>=15db SNR<sub>1</sub> SVD- SVD