

## بهبود عملکرد الگوریتم تعویض کانال در سیستمهای مخابرات سیار سلولی

ناصر رضایی

استاددیار گروه مهندسی برق و کامپیوتر - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

حسین یکتایی

دانشجوی کارشناسی ارشد مخابرات گروه مهندسی برق و کامپیوتر - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۷۶/۹/۲۲، تاریخ تصویب ۷۷/۱/۲۹)

### چکیده

در سیستمهای مخابرات سیار سلولی هرگاه واحد متحرک<sup>(۱)</sup> در حال مکالمه از محدوده پوشش یک سلول خارج و به محدوده پوشش سلول دیگری وارد شود، بدون ایجاد وقفه‌ای در مکالمه، کانال مورد استفاده واحد متحرک در سلول فعلی آزاد شده، کانال دیگری در سلول جدید به وی اختصاص می‌یابد. این فرآیند که بصورت مداخله‌کاربر، توسط سیستم انجام می‌شود، تعویض کانال<sup>(۲)</sup> نام دارد. تصمیم‌گیری به موقع برای تعویض کانال و اجرای سریع آن اهمیت بسیاری در حفظ کیفیت ارتباط و کاهش بار شبکه دارد.

یکی از الگوریتمهای متداول برای تعویض کانال، الگوریتم "میانگین‌گیری و هیستریزس" است. در انتخاب طول پنجره میانگین‌گیری و حاشیه هیستریزس باید به مصالحه میان تعداد متوسط تعویض کانال، تاخیر و کیفیت سیگنال دریافتی توجه داشت. در این مقاله نشان داده می‌شود که استفاده از هیستریزس زیاد و میانگین‌گیری کم، موجب بهبود کیفیت سیگنال دریافتی و کاهش حساسیت الگوریتم نسبت به تغییر سرعت واحد متحرک می‌گردد. در این شرایط حساسیت نسبت به تغییرات انحراف معیار فیدینگ آهسته افزایش می‌یابد. برای کم کردن این حساسیت، تغییر حاشیه هیستریزس، متناسب با انحراف معیار فیدینگ آهسته، پیشنهاد شده است.

با استفاده از شیب تغییرات توان دریافتی، الگوریتمی برای کاهش هم‌زمان تاخیر و تعداد متوسط تعویض کانال ارائه شده است. هرگاه واحد متحرک در حال نزدیک شدن به (دور شدن از) یک ایستگاه پایه<sup>(۳)</sup> باشد، شیب تغییرات توان دریافتی از آن ایستگاه پایه مثبت (منفی) است. با تخمین این شیب و تغییر حاشیه هیستریزس به کمک آن، تعویض کانال به ایستگاه پایه‌ای که واحد متحرک در حال نزدیک شدن به (دور شدن از) آن است، آسان‌تر (مشکل‌تر) می‌شود. در نتیجه تاخیر و تعداد متوسط تعویض کانال به طور هم‌زمان کاهش می‌یابند. با جلوگیری از قرار گرفتن مرز سلولها در امتداد خیابانهای پرتردد، تعداد تعویض کانالها در کل شبکه بازهم کمتر می‌شود.

کلید واژه‌ها: مخابرات سیار سلولی، مخابرات بی سیم، Handover, Handoff

### مقدمه

می‌نامند. فاصله جغرافیایی سلولهایی که از یک باند فرکانسی مشترک استفاده می‌کنند به اندازه‌ای انتخاب می‌شود که میزان تداخل هم‌کانال از حد معینی کمتر باشد [۱].

هرگاه واحد متحرک در حال مکالمه از محدوده پوشش یک سلول خارج و به محدوده پوشش سلول دیگری وارد

سیستمهای مخابرات سیار سلولی به علت استفاده مجدد از یک طیف فرکانسی واحد میزان بهره‌وری از منابع رادیویی را افزایش می‌دهند. در چنین سیستمهایی از یک باند فرکانسی واحد در دو یا چند قسمت از ناحیه تحت پوشش سیستم استفاده می‌شود. هریک از این نواحی که توسط یک ایستگاه پایه پوشش داده می‌شوند، سلول

کانال بکار روند. BER فقط بر روی لینک ارتباطی واحد متحرک و ایستگاه پایه سرویس دهنده اندازه گیری می شود و معمولاً در تعویض کانال داخل سلولی بکار می رود. فاصله واحد متحرک تا ایستگاه پایه سرویس دهنده با دقتی در حدود یک کیلومتر بدست می آید [۴]. بنابراین مهمترین پارامتر در تصمیم گیری برای تعویض کانال بین سلولی، توان دریافتی از ایستگاه پایه سرویس دهنده و ایستگاههای پایه مجاور است.

یکی از الگوریتمهای متداول در تصمیم گیری برای تعویض کانال، الگوریتم "میانگین گیری و هیستریزس" است. در این الگوریتم هرگاه میانگین  $n_w$  نمونه اخیر توان دریافتی از یک ایستگاه پایه مجاور به اندازه  $h$  دسیبل از میانگین  $n_w$  نمونه اخیر توان دریافتی از ایستگاه پایه سرویس دهنده بیشتر باشد، واحد متحرک به آن ایستگاه پایه متصل می شود. اگر  $n_w$  (طول پنجره میانگین گیری) و  $h$  (حاشیه هیستریزس) کم باشند، تعداد متوسط تعویض کانال زیاد خواهد شد و در نتیجه بار سیگنالینگ و سوئیچینگ شبکه افزایش می یابد. با افزایش  $n_w$  و  $h$ ، تعداد متوسط تعویض کانال کاهش می یابد اما در عوض تاخیر در تصمیم گیری برای تعویض کانال زیاد می شود و کیفیت سیگنال دریافتی افت می کند. با انتخاب مناسب  $n_w$  و  $h$  می توان مصالحه ای میان تعداد متوسط تعویض کانال و تاخیر برقرار نمود [۵].

نکته دیگری که در انتخاب  $n_w$  و  $h$  باید مورد توجه قرار گیرد، حساسیت الگوریتم نسبت به تغییر پارامترهای انتشار و سرعت واحد متحرک است. در مرجع [۶] نشان داده شده است که با استفاده از  $n_w$  زیاد و  $h$  کم می توان حساسیت الگوریتم را نسبت به تغییر انحراف معیار فیدینگ آهسته کاهش داد. برای کاهش حساسیت نسبت به تغییر سرعت واحد متحرک، تغییر  $n_w$  متناسب با عکس سرعت واحد متحرک پیشنهاد شده است [۷].

در بخش دوم الگوریتم میانگین گیری و هیستریزس به کمک یک ساختار مرجع با شبیه سازی مورد ارزیابی قرار گرفته و در بخش سوم حساسیت این الگوریتم نسبت به تغییر سرعت واحد متحرک و تغییر پارامترهای انتشار بررسی شده است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که استفاده از  $h$  زیاد و  $n_w$  کم موجب بهبود

شود، بدون ایجاد وقفه ای در مکالمه، کانال مورد استفاده واحد متحرک در سلول فعلی آزاد شده و کانال دیگری در سلول جدید به وی اختصاص می یابد. این فرایند که بدون مداخله کاربر، توسط سیستم انجام می شود، تعویض کانال نام دارد. تعویض کانال به کاربر اجازه می دهد بدون اینکه به ایستگاه پایه خاصی وابسته باشد، آزادانه در شبکه گردش نماید و همچنان به مکالمه ادامه دهد. بعلاوه تعویض کانال، مخابرات بین دو ایستگاه را به مخابرات بین دو فرد تبدیل می نماید و از این جهت اساس سیستمهای مخابرات فردی<sup>(۱)</sup> به شمار می آید [۲].

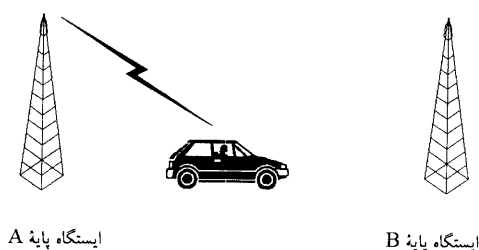
تعداد کانالهای رادیویی در یک سیستم مخابرات سیار سلولی ثابت است، از این رو برای افزایش ظرفیت بایستی سلولها را کوچکتر نمود تا این تعداد کانال در محدوده جغرافیایی کوچکتری مورد استفاده قرار گیرند. استفاده از سلولهای کوچکتر موجب افزایش تعداد متوسط تعویض کانال در طول مدت مکالمات می شود. این امر لزوم استفاده از الگوریتم های مناسب در تصمیم گیری و اجرای تعویض کانال را آشکار می کند.

تعویض کانالی که به علت خروج واحد متحرک از یک سلول و ورود آن به سلول مجاور روی می دهد، تعویض کانال بین سلولی<sup>(۲)</sup> نامیده می شود. در داخل یک سلول نیز ممکن است به علت بالا رفتن توان تداخل در کانال مورد استفاده واحد متحرک، مکالمه به کانال دیگری در همان سلول که توان تداخل کمتری دارد، منتقل شود. این نوع تعویض کانال، داخل سلولی<sup>(۳)</sup> نامیده می شود. در این مقاله تعویض کانال بین سلولی مورد بررسی قرار می گیرد. اولین سیستم مخابرات سیار سلولی تمام دیجیتال، GSM<sup>(۴)</sup> است. این سیستم در سال ۱۹۹۲ پس از ده سال تحقیق و توسعه در اروپا بکار گرفته شد و در سال ۱۹۹۴ وارد ایران شد [۳]. در سیستم GSM فقط نحوه اندازه گیری کمیتهایی که می توانند در تصمیم گیری برای تعویض کانال بکار روند، استاندارد شده است ولی الگوریتم خاصی برای تعویض کانال وضع نشده است [۴]. تصمیم گیری برای تعویض کانال معمولاً با توجه به توان دریافتی صورت می گیرد. علاوه بر توان دریافتی، میزان خطای بیت (BER) و فاصله تقریبی واحد متحرک تا ایستگاه پایه نیز ممکن است در تصمیم گیری برای تعویض

بدست می آید.

ب - فیدینگ آهسته یا به بیان بهتر Shadowing که در اثر پستی و بلندیهای زمین و قرار گرفتن واحد متحرک در سایه رادیویی ساختمانها پدید می آید

ج - فیدینگ سریع که به علت چند مسیره بودن انتشار امواج در محیط مخابرات سیار پدید می آید.



شکل ۱: حرکت واحد متحرک بین دو ایستگاه پایه .

تغییرات توان ناشی از فیدینگ سریع، بسیار شدیدتر از تغییرات توان ناشی از فیدینگ آهسته است. به علت میانگین گیری انجام شده در اندازه گیری توان، انحراف معیار فیدینگ سریع تا حد زیادی کاهش می یابد، بطوری که می توان از آن در برابر فیدینگ آهسته صرف نظر نمود. برای این منظور لازم است میانگین گیری از توان در فاصله ای به اندازه ۲۰ تا ۴۰ برابر طول موج سیگنال، صورت گیرد [۸]. با صرف نظر از مؤلفه توان ناشی از فیدینگ سریع، توانی که واحد متحرک از دو ایستگاه پایه A و B دریافت می کند از روابط زیر بدست می آید [۵]:

$$P_A(d) = \alpha - \beta \log(d) + u_0(d) \quad (1)$$

$$P_B(d) = \alpha - \beta \log(D-d) + u_1(d) \quad (2)$$

در روابط فوق  $d$  فاصله واحد متحرک تا ایستگاه پایه A و  $P_A(d)$  و  $P_B(d)$  به ترتیب توان دریافتی از ایستگاههای پایه A و B هستند.  $\alpha$  نشان دهنده توان مؤثر فرستنده ایستگاه پایه و  $\beta$  شیب افت توان با تغییر فاصله واحد متحرک تا

کیفیت سیگنال دریافتی و کاهش حساسیت الگوریتم نسبت به تغییر سرعت واحد متحرک می گردد. در این شرایط حساسیت نسبت به تغییرات انحراف معیار فیدینگ آهسته افزایش می یابد. برای کم کردن این حساسیت، تغییر حاشیه هیستریزس، متناسب با انحراف معیار فیدینگ آهسته، پیشنهاد شده است.

در بخش چهارم روش جدیدی برای کاهش هم زمان تاخیر و تعداد متوسط تعویض کانال ارائه شده است. در این روش ابتدا شیب تغییرات توان دریافتی از ایستگاههای پایه مجاور با معیار "کمترین مجموع مربعات خطا" تخمین زده می شود. اگر شیب تغییرات توان دریافتی از یک ایستگاه پایه مثبت باشد، واحد متحرک در حال نزدیک شدن به آن ایستگاه پایه است، بنابراین هیستریزس لازم برای تعویض کانال به آن ایستگاه پایه کاهش داده می شود و اگر شیب تغییرات توان دریافتی از یک ایستگاه پایه منفی باشد، واحد متحرک در حال دور شدن از آن ایستگاه پایه است، بنابراین هیستریزس لازم برای تعویض کانال به آن ایستگاه پایه افزایش داده می شود. استفاده از این روش تاخیر و تعداد متوسط تعویض کانال را به طور هم زمان کاهش می دهد.

در بخش پنجم نشان داده می شود که با جلوگیری از قرار گرفتن مرز سلولها در امتداد خیابانهای پر تردد می توان تعداد تعویض کانالها را در کل شبکه کاهش داد.

### بررسی عملکرد الگوریتم میانگین گیری و هیستریزس

به منظور بررسی کارایی الگوریتم میانگین گیری و هیستریزس، سیستمی متشکل از دو ایستگاه پایه A و B که به فاصله D از یکدیگر قرار دارند در نظر می گیریم. واحد متحرک بر روی یک مسیر مستقیم با سرعت ثابت از ایستگاه پایه A شروع به حرکت نموده، به ایستگاه پایه B می رسد. (شکل (۱) را ببینید).

تصمیم گیری برای تعویض کانال با توجه به توان دریافتی از ایستگاههای پایه صورت می گیرد. توان دریافتی در محیط مخابرات سیار رادیویی از سه جزء زیر تشکیل می شود:

الف - تلفات مسیر که از مدل های آماری (نظیر مدل Lee)

الف - تعداد متوسط تعویض کانال در یک بار طی مسیر از ایستگاه پایه A تا ایستگاه پایه B که بیانگر حجم عملیات سیگنالینگ و سوئیچینگ است [۵].

ب - تعداد متوسط outage (بازه‌های زمانی که در آنها توان دریافتی از حداقل لازم جهت برقراری ارتباط کمتر است) در یکبار طی مسیر از ایستگاه پایه A تا ایستگاه پایه B که نشان دهنده کیفیت سیگنال دریافتی است [۱۰].

ج - فاصله نقطه‌ای از مسیر تا ایستگاه پایه A که در آن احتمال اتصال واحد متحرک به ایستگاه پایه A به  $0.5$  می‌رسد. این نقطه Crossover point نامیده می‌شود و بیانگر تاخیری است که در تصمیم‌گیری برای تعویض کانال وجود دارد [۵].

از آنجایی که تاکنون روش تحلیلی کاملی جهت بدست آوردن کارایی الگوریتم میانگین‌گیری و هیستریزس ارائه نشده است [۱۱]، از شبیه‌سازی استفاده می‌کنیم. برای بررسی عملکرد الگوریتم میانگین‌گیری، تعداد متوسط تعویض کانال، تعداد متوسط Outage و Crossover point با تغییر طول پنجره میانگین‌گیری از  $n_w = 2$  تا  $n_w = 60$  بدست آورده شده‌اند و برای بررسی عملکرد الگوریتم هیستریزس، همین معیارها با تغییر حاشیه هیستریزس  $h = 2\text{dB}$  تا  $h = 20\text{dB}$  بدست آورده شده‌اند. سایر پارامترهای بکار رفته در این شبیه‌سازیها عبارتند از:

$$\begin{aligned} D &= 2000\text{m} & \alpha &= 15\text{dBm} \\ \beta &= 35\text{dBm/dec} & \sigma_s &= 6\text{dB} \\ d_0 &= 30\text{m} & \gamma &= -98\text{dBm} \\ V &= 45\text{Km/h} & T &= 480\text{msec} \end{aligned}$$

D فاصله میان دو ایستگاه پایه،  $\alpha$  توان مؤثر فرستنده ایستگاه پایه،  $\beta$  شیب افت توان سیگنال،  $\sigma_s$  انحراف معیار فیدینگ آهسته،  $d_0$  فاصله همبستگی فیدینگ آهسته،  $\gamma$  حداقل توان لازم برای برقراری ارتباط، V سرعت واحد متحرک و T پریود اندازه‌گیری توان است. تصمیم‌گیری برای تعویض کانال هر T ثانیه یکبار صورت می‌گیرد.

در الگوریتم میانگین‌گیری با افزایش  $n_w$  و در الگوریتم هیستریزس با افزایش h، تعداد متوسط تعویض کانال کاهش و تعداد متوسط Outage و Crossover point

ایستگاه پایه است.  $u_0(d)$  و  $u_1(d)$  دو فرایند ایستگاه گوسی با میانگین صفر و مستقل از هم هستند که فیدینگ آهسته را مدل می‌کنند و تابع خود همبستگی آنها با رابطه زیر داده می‌شود [۹]:

$$\begin{aligned} E\{u_0(d) u_0(d + \Delta)\} &= E\{u_1(d) u_1(d + \Delta)\} & (۳) \\ &= \sigma_s^2 \exp\{-|\Delta|/d_0\} \end{aligned}$$

در رابطه فوق  $\sigma_s$  انحراف معیار فیدینگ آهسته است.  $d_0$  سرعت افت تابع خود همبستگی را با افزایش فاصله نشان می‌دهد و "فاصله همبستگی فیدینگ آهسته" نامیده می‌شود.

فرض می‌کنیم واحد متحرک متوسط توان دریافتی از ایستگاههای پایه A و B را هر T ثانیه یکبار اندازه می‌گیرد. نمونه‌های توان اندازه‌گیری شده را  $P_A(n)$  و  $P_B(n)$  می‌نامیم. الگوریتم میانگین‌گیری و هیستریزس به شرح زیر تعریف می‌شود:

اگر واحد متحرک با ایستگاه پایه A در ارتباط باشد و  $\bar{P}_B(n) > \bar{P}_A(n) + h$  شود، آنگاه واحد متحرک به ایستگاه پایه B متصل می‌شود. و اگر واحد متحرک با ایستگاه پایه B در ارتباط باشد و  $\bar{P}_A(n) > \bar{P}_B(n) + h$  شود، آنگاه واحد متحرک به ایستگاه پایه A متصل می‌شود.  $\bar{P}_A(n)$  و  $\bar{P}_B(n)$  میانگین  $n_w$  نمونه اخیر توان دریافتی از ایستگاههای پایه A و B هستند و بصورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\bar{P}_A(n) = \frac{1}{n_w} \sum_{i=n-n_w+1}^n P_A(i) \quad (۴)$$

$$\bar{P}_B(n) = \frac{1}{n_w} \sum_{i=n-n_w+1}^n P_B(i) \quad (۵)$$

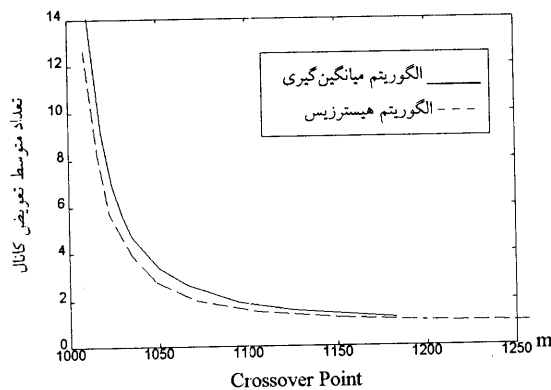
دو حالت خاص الگوریتم فوق عبارتند از:

الف - الگوریتم میانگین‌گیری با پارامترهای  $h=0$  و  $n_w > 1$  (از هیستریزس استفاده نمی‌شود).

ب - الگوریتم هیستریزس با پارامترهای  $h > 0$  و  $n_w = 1$  (از میانگین‌گیری استفاده نمی‌شود).

معیارهایی که در بررسی عملکرد الگوریتمهای تعویض کانال بکار می‌روند عبارتند از:

تعداد متوسط تعویض کانال و Crossover point، می توان از چند زوج پارامتر  $(n_w, h)$  استفاده نمود. به عنوان مثال برای دو زوج پارامتر  $(n_w = 10, h = 2)$  و  $(n_w = 5, h = 5)$ ، تعداد متوسط تعویض کانال برابر ۳ و Crossover point برابر ۱۰۴۸ متر می باشد. اما تعداد متوسط Outage برای زوج پارامتر  $(n_w = 10, h = 2)$  برابر ۳/۵۴۷ و برای زوج پارامتر  $(n_w = 5, h = 5)$ ، برابر ۳/۰۰۷ است. این نتیجه قابل انتظار است زیرا همانطور که در شکل (۲) نشان داده شد، الگوریتم هیستریزاس در تعداد تعویض کانال مساوی با الگوریتم میانگین گیری، تعداد Outage کمتری دارد.

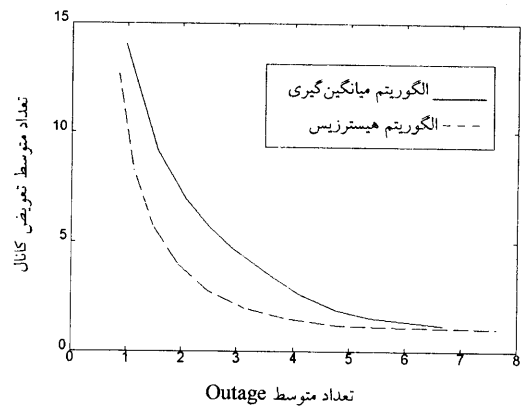


شکل ۳: مقایسه عملکرد الگوریتم میانگین گیری و الگوریتم هیستریزاس.

### آنالیز حساسیت الگوریتم میانگین گیری و هیستریزاس

نکته مهمی که در انتخاب پارامترهای الگوریتم میانگین گیری و هیستریزاس  $(n_w, h)$  باید به آن توجه نمود، حساسیت الگوریتم حاصل نسبت به تغییر پارامترهای انتشار و سرعت واحد متحرک است. فرض کنید عملکرد خاصی از لحاظ تعداد متوسط تعویض کانال و Crossover Point مورد نظر است و به ازای دو زوج پارامتر  $(n_w, h)$  این عملکرد قابل دستیابی است. الگوریتمی که از میانگین گیری بیشتر و حاشیه هیستریزاس کمتر استفاده می کند، نسبت به تغییر واریانس فیدینگ آهسته، مقاومتر از

افزایش می یابد. بنابراین با انتخاب مقدار مناسبی برای  $n_w$  و  $h$  در این دو الگوریتم، می توان مصالحه ای میان این معیارها برقرار نمود. نمودارهای مصالحه میان تعداد متوسط تعویض کانال و تعداد متوسط Outage برای الگوریتم میانگین گیری و الگوریتم هیستریزاس در شکل (۲) رسم شده است.

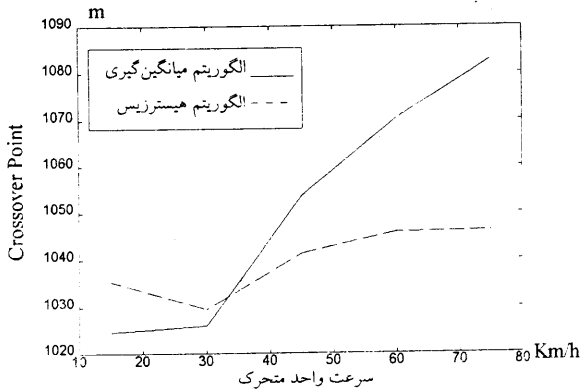


شکل ۲: مقایسه عملکرد الگوریتم میانگین گیری و الگوریتم هیستریزاس.

همانطور که ملاحظه می شود، الگوریتم هیستریزاس نسبت به الگوریتم میانگین گیری عملکرد بهتری دارد بطوری که در تعداد تعویض کانال مساوی، تعداد Outage کمتر و در تعداد Outage مساوی، تعداد تعویض کانال کمتری دارد.

شکل (۳) نمودارهای مصالحه میان تعداد متوسط تعویض کانال و Crossover point را برای الگوریتم میانگین گیری و الگوریتم هیستریزاس نشان می دهد. همانطور که در شکل دیده می شود، عملکرد الگوریتم هیستریزاس کمی بهتر از الگوریتم میانگین گیری است.

در الگوریتم میانگین گیری و هیستریزاس می توان یکی از دو پارامتر  $n_w$  یا  $h$  را ثابت در نظر گرفت و با تغییر پارامتر دیگر، منحنی مصالحه میان تعداد متوسط تعویض کانال و تعداد متوسط Outage و منحنی مصالحه میان تعداد متوسط تعویض کانال و Crossover point را بدست آورد. در این الگوریتم برای دستیابی به عملکرد خاصی از لحاظ

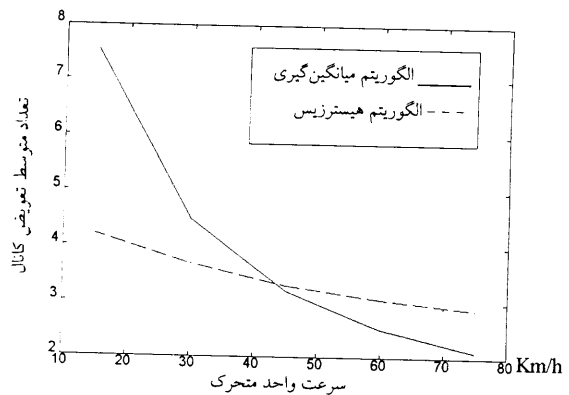


شکل ۴ - ب: مقایسه حساسیت الگوریتم میانگین گیری و الگوریتم هیستریزس نسبت به تغییر سرعت واحد متحرک.

نکته قابل توجه در مورد الگوریتم میانگین گیری این است که هرگاه عملکرد خاصی از لحاظ تعداد متوسط تعویض کانال و Crossover point مورد نظر باشد، برای حفظ این عملکرد در سرعت‌های متفاوت، باید فاصله مکانی که در طول آن میانگین گیری از توان صورت می‌گیرد ثابت بماند. برای این منظور تعداد نمونه های بکار رفته در عملیات میانگین گیری متناسب با عکس سرعت واحد متحرک تغییر داده می‌شود. برای مثال وقتی سرعت واحد متحرک ۱۵ Km/h و  $n_w=50$  است برای حفظ همان عملکرد در سرعت ۷۵ Km/h باید  $n_w=10$  در نظر گرفته شود [۷].

الگوریتم هیستریزس نسبت به تغییرات سرعت واحد متحرک مقاوم است، اما نسبت به تغییر انحراف معیار فیدینگ آهسته حساس است. برای رفع این حساسیت می‌توان حاشیه هیستریزس را متناسب با انحراف معیار فیدینگ آهسته تغییر داد. نمودار تعداد متوسط تعویض کانال و Crossover point با تغییر انحراف معیار فیدینگ آهسته از  $\sigma_s = 3dB$  تا  $\sigma_s = 9dB$  برای الگوریتمی که همواره از  $h=9dB$  استفاده می‌کند (الگوریتم ساده) و برای الگوریتمی که در آن  $h=1.5 \sigma_s$  است (الگوریتم وفقی) در شکل‌های (۵- الف) و (۵- ب) رسم شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود الگوریتمی که از حاشیه هیستریزس متناسب با انحراف معیار فیدینگ آهسته استفاده می‌کند، حساسیت بسیار کمتری نسبت به تغییر انحراف معیار فیدینگ آهسته دارد.

الگوریتمی است که از میانگین‌گیری کمتر و حاشیه هیستریزس بیشتر استفاده می‌کند [۶]. در مرجع [۶] همچنین نشان داده شده است که حساسیت الگوریتم میانگین گیری و هیستریزس نسبت به تغییرات شیب افت توان سیگنال و فاصله همبستگی فیدینگ آهسته کم است. برای بررسی حساسیت الگوریتم میانگین گیری و هیستریزس نسبت به تغییر سرعت واحد متحرک از الگوریتم میانگین گیری با  $(n_w=16, h=0)$  و الگوریتم هیستریزس با  $(n_w=1, h=9)$  استفاده می‌کنیم. عملکرد دو الگوریتم فوق با استفاده از پارامترهای بکار رفته در شبیه‌سازهای قبلی بدست آورده شده است. این دو الگوریتم در سرعت ۴۵ Km/h از لحاظ تعداد متوسط تعویض کانال و Crossover Point عملکرد تقریباً یکسانی دارند. حال سرعت واحد متحرک را از ۱۵ Km/h تا ۷۵ Km/h تغییر می‌دهیم تا میزان حساسیت الگوریتم‌های فوق را نسبت به تغییر سرعت واحد متحرک بدست آوریم. نمودار تعداد متوسط تعویض کانال و Crossover point با تغییر سرعت واحد متحرک از ۱۵ Km/h تا ۷۵ Km/h در شکل‌های (۴- الف) و (۴- ب) رسم شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود الگوریتم هیستریزس نسبت به تغییر سرعت از الگوریتم میانگین گیری مقاومتر است. بنابراین استفاده از هیستریزس بیشتر و میانگین‌گیری کمتر در الگوریتم "میانگین‌گیری و هیستریزس" موجب مقاومت بیشتر در برابر تغییر سرعت می‌شود.



شکل ۴ - الف: مقایسه حساسیت الگوریتم میانگین گیری و الگوریتم هیستریزس نسبت به تغییر سرعت واحد متحرک.

ایستگاههای پایه A و B به ترتیب  $P_A(n)$  و  $P_B(n)$  باشند. الگوریتم تعویض کانال را به صورت زیر تعریف می کنیم: اگر واحد متحرک به ایستگاه پایه A متصل باشد و  $P_B(n) > P_A(n) + h_B$  شود، آنگاه واحد متحرک به ایستگاه پایه B متصل می شود. اگر واحد متحرک به ایستگاه پایه B متصل باشد و  $P_A(n) > P_B(n) + h_A$  شود، آنگاه واحد متحرک به ایستگاه پایه A متصل می شود.

اگر  $h_A = h_B$  باشد، الگوریتم حاصل همان الگوریتم هیستریزس خواهد بود. با توجه به اینکه واحد متحرک از طرف ایستگاه پایه A به طرف ایستگاه پایه B می رود، اگر  $h_A > h_B$  انتخاب شود، تعویض کانال از ایستگاه پایه A به ایستگاه پایه B آسان تر و از ایستگاه پایه B به ایستگاه پایه A مشکل تر خواهد شد. در نتیجه اولین تعویض کانال از ایستگاه پایه A به ایستگاه پایه B در فاصله نزدیکتری به مرز دو سلول صورت می گیرد (Crossover point کاهش می یابد) و پس از آن تعویض کانال از ایستگاه پایه B به ایستگاه پایه A به سختی صورت می گیرد (تعداد متوسط تعویض کانال کاهش می یابد).

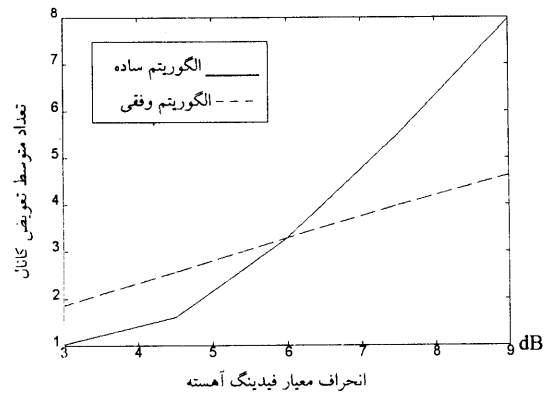
برای تشخیص جهت حرکت واحد متحرک می توان از تخمین شیب تغییرات توان سیگنال استفاده نمود. اگر شیب تغییرات توان دریافتی از یک ایستگاه پایه مثبت باشد واحد متحرک در حال نزدیک شدن به آن ایستگاه پایه و اگر این شیب منفی باشد واحد متحرک در حال دور شدن از آن ایستگاه پایه است.

برای تخمین شیب تغییرات توان سیگنال، ابتدا توان دریافتی را با استفاده از رابطه (۶) فیلتر می کنیم تا اثرات فیدینگ آهسته به میزان قابل توجهی کاهش یابد (چون برای تشخیص جهت حرکت، فقط تغییرات شیب توان ناشی از افت مسیر اهمیت دارد).

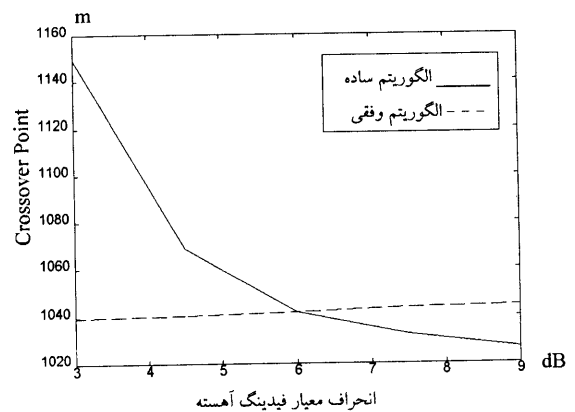
$$\bar{P}(n) = \alpha \bar{P}(n-1) + (1-\alpha)P(n) \quad (6)$$

در رابطه فوق  $P(n)$  نمونه های دریافتی و  $\bar{P}(n)$  نمونه های توان فیلتر شده، است.

با استفاده از N نمونه اخیر  $\bar{P}(n)$ ، شیب بهترین خطی که این نقطه را بیان می کند با معیار "کمترین مجموع مربعات خطا" بدست می آوریم. (جزئیات محاسبه در



شکل ۵ - الف: مقایسه حساسیت الگوریتم هیستریزس ساده و وفقی نسبت به تغییر انحراف معیار فیدینگ آهسته.



شکل ۵ - ب: مقایسه حساسیت الگوریتم هیستریزس ساده و وفقی نسبت به تغییر انحراف معیار فیدینگ آهسته.

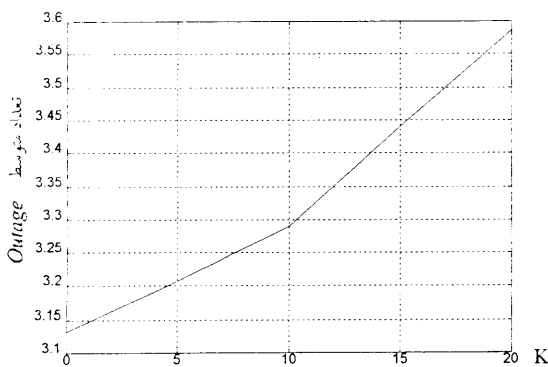
کاهش هم زمان تأخیر و تعداد متوسط تعویض کانال با تخمین شیب تغییرات توان سیگنال

در الگوریتمهایی که تاکنون مورد بررسی قرار گرفت، کاهش تعداد متوسط تعویض کانال موجب افزایش Crossover point می گشت. در این بخش الگوریتم جدیدی ارائه می شود که موجب کاهش هم زمان تعداد متوسط تعویض کانال و Crossover point می گردد.

حالتی را در نظر بگیرید که واحد متحرک با سرعت ثابت از ایستگاه پایه A شروع به حرکت نموده، به سمت ایستگاه پایه B می رود. فرض کنید توان دریافتی از

می‌دهد. در این شکل  $h=12$ ،  $N=30$  و  $\alpha=0.99$  در نظر گرفته شده‌اند. سایر پارامترهای بکار رفته در این شبیه‌سازی با شبیه‌سازهای قبلی یکسان است. همانطور که ملاحظه می‌شود، با افزایش  $K$ ، تعداد متوسط تعویض کانال و Crossover Point به طور همزمان کاهش می‌یابند و برخلاف الگوریتمهای قبلی کاهش یکی موجب افزایش دیگری نمی‌شود.

در حالت ایده آل که فقط یک تعویض کانال در مرز دو سلول روی می‌دهد، Crossover Point برابر ۱۰۰۰ متر است و تعداد متوسط Outage مساوی  $4/983$  می‌باشد. با افزایش  $K$  می‌توان به این حالت ایده آل نزدیک شد اما اگر  $K$  را خیلی بزرگ انتخاب کنیم، Crossover Point از ۱۰۰۰ متر کمتر می‌شود و تعداد متوسط Outage بیش از حد افزایش می‌یابد. شکل (۷) تعداد متوسط Outage را با تغییر  $K$  از صفر تا ۲۰ نشان می‌دهد. با افزایش  $K$ ، تعداد متوسط Outage افزایش می‌یابد اما همواره از تعداد متوسط Outage مربوط به نقطه عملکرد ایده آل ( $4/983$ ) کمتر است.



شکل ۷: افزایش تعداد متوسط Outage با افزایش  $K$ .

شبیه‌سازهای انجام شده نشان می‌دهد که حساسیت الگوریتم فوق نسبت به تغییرات  $N$  بسیار اندک است به طوری که با انتخاب  $K=20$ ،  $h=12$ ،  $\alpha=0.99$  و تغییر  $N$  از ۱۰ تا ۵۰، حداکثر تغییرات تعداد متوسط تعویض کانال، تعداد متوسط Outage و Crossover point به ترتیب برابر  $0/116$ ،  $0/42$  و  $2$  متر می‌باشد.

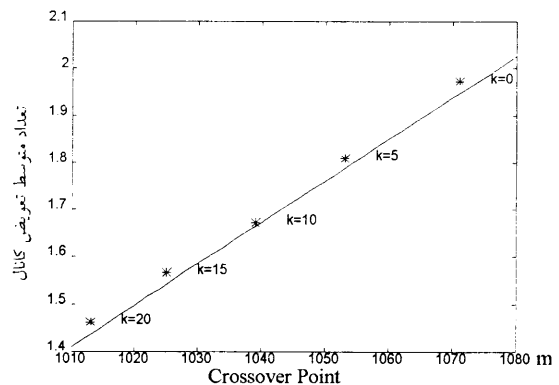
ضمیمه آورده شده است). پس از تخمین شیب تغییرات توان دریافتی از ایستگاههای پایه  $A$  و  $B$  که به ترتیب  $m_A$  و  $m_B$  نامیده می‌شوند، حاشیه هیستریزس را بصورت و فقی (پس از دریافت هر  $N$  نمونه توان سیگنال) با استفاده از روابط زیر تغییر می‌دهیم:

$$h_A = h - K \arctan(m_A) \quad (۷)$$

$$h_B = h - K \arctan(m_B) \quad (۸)$$

در روابط فوق  $h$  حاشیه هیستریزس و  $K$  ضریب ثابت است.

اگر شیب تغییرات توان دریافتی از یک ایستگاه پایه منفی باشد، حاشیه هیستریزس مربوط به آن ایستگاه پایه از  $h$  بیشتر می‌شود و اگر این شیب مثبت باشد، حاشیه هیستریزس مربوط به آن ایستگاه پایه از  $h$  کمتر می‌شود. استفاده از  $\arctan(m_A)$  و  $\arctan(m_B)$  موجب می‌شود تغییرات حاشیه هیستریزس در محدوده  $(-\pi/2, \pi/2)$  باشد.

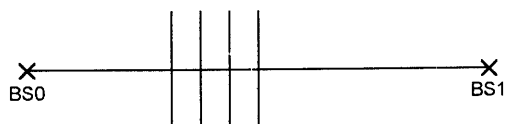


شکل ۶: کاهش هم زمان Crossover Point و تعداد متوسط تعویض کانال با افزایش  $K$ .

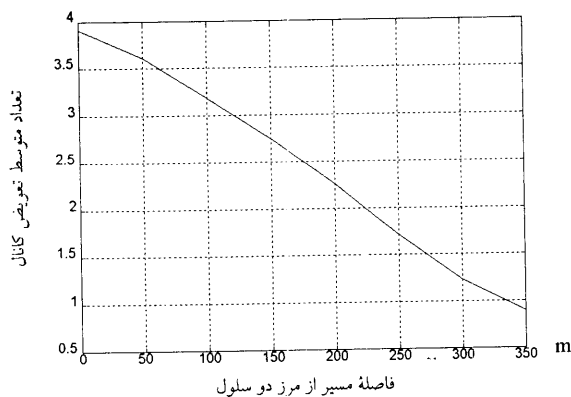
پارامتر کلیدی الگوریتم فوق  $K$  است. با افزایش  $K$  میزان تغییرات حاشیه هیستریزس بیشتر می‌شود. برای مشاهده عملکرد این الگوریتم از شبیه‌سازی استفاده می‌کنیم. شکل (۶) نمودار تعداد متوسط تعویض کانال را بر حسب Crossover point با تغییر  $K$  از صفر تا ۲۰ نشان



کانال را برحسب فاصله مسیر از مرز دو سلول نشان می دهد. هرچه مسیر حرکت واحد متحرک از مرز دو سلول دورتر شود، تعداد تعویض کانالها کمتر می شود. با توجه به این امر برای کاهش تعداد تعویض کانالها در کل شبکه، می توان به هنگام طراحی سلولها از قرار گرفتن مرز سلولها در امتداد خیابانهای پرتردد جلوگیری کرد.



شکل ۹: مسیرهای عمود بر خط واصل میان دو ایستگاه پایه.

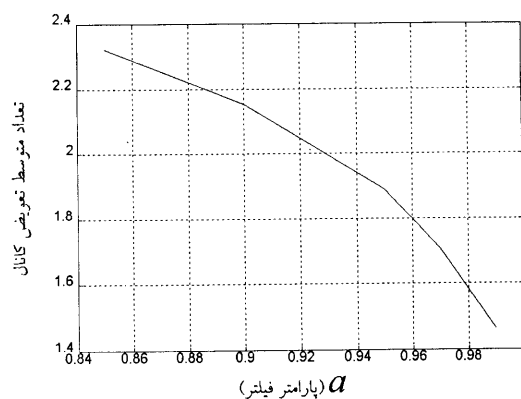


شکل ۱۰: کاهش تعداد متوسط تعویض کانال با دور شدن مسیر حرکت واحد متحرک از مرز دو سلول.

### نتیجه گیری

در الگوریتم میانگین گیری و هیستریزس با استفاده از چندین زوج پارامتر ( $n_w$  و  $h$ ) می توان به عملکرد مطلوب از لحاظ تعداد متوسط تعویض کانال و Crossover Point دست یافت. نشان داده شد زوج پارامتری که  $h$  بیشتر و  $n_w$  کمتری دارد، تعداد متوسط Outage کمتری خواهد داشت و در نتیجه موجب بهبود کیفیت سیگنال دریافتی می شود. استفاده از  $h$  زیاد و  $n_w$  کم، حساسیت الگوریتم تعویض کانال را نسبت به تغییر سرعت واحد متحرک کاهش

شکل (۸) تعداد متوسط تعویض کانال را به ازای  $a=0.85$ ,  $K=20$ ,  $h=12\text{dB}$ ,  $N=30$  و تغییر پارامتر فیلتر از  $a=0.85$  تا  $a=0.99$  نشان می دهد. با افزایش  $a$ ، تعداد متوسط تعویض کانال کاهش می یابد. حداکثر تغییرات تعداد متوسط Outage و Crossover point در این حالت به ترتیب برابر  $0/141$  و  $3$  متر می باشد که بسیار کم است. بنابراین مقدار مناسب برای  $a$ ،  $0.99$  می باشد اگر  $a$  بیش از حد بزرگ باشد ممکن است تغییرات شیب توان دریافتی ناشی از تغییر افت مسیر، نادیده بماند.



شکل ۸: کاهش تعداد متوسط تعویض کانال با افزایش  $\alpha$ .

### بررسی تعویض کانال در حالتی که واحد متحرک بر روی مرز سلولها حرکت می کند

وقتی واحد متحرک بر روی مرز دو سلول حرکت می کند، توان دریافتی از دو سلول نزدیک به هم تغییر می کند و در نتیجه واحد متحرک به تناوب به دو ایستگاه پایه متصل می شود. برای شبیه سازی این حالت مسیرهایی به طول 500 متر که بر خط واصل میان دو ایستگاه پایه عمودند در نظر می گیریم (شکل (۹) را ببینید) و حرکت واحد متحرک را بر روی این مسیرها شبیه سازی نموده، تعداد متوسط تعویض کانال را بدست می آوریم. برای تعویض کانال از الگوریتم میانگین گیری و هیستریزس با ( $n_w=8$ ,  $h=6$ ) استفاده شده است. سرعت واحد متحرک  $15\text{Km/h}$  و سایر پارامترها با شبیه سازیهای قبلی یکسان است. شکل (۱۰) تعداد متوسط تعویض

## ضمیمه

می خواهیم از یک مجموعه نقاط  $(X_i, Y_i)$  و  $1 \leq i \leq N$ ، خطی با معادله  $y = ax + b$  عبور دهیم بطوری که مجموع مربعات فواصل این مجموعه نقاط از خط  $y = ax + b$  که با رابطه زیر داده می شود، حداقل گردد:

$$\sum_{i=1}^N (ax_i + b - y_i)^2$$

از عبارت فوق نسبت به  $a$  و  $b$  مشتق می گیریم و مساوی صفر قرار می دهیم.

$$\sum_{i=1}^N x_i(ax_i + b - y_i) = 0$$

مشتق نسبت به  $a$ :

$$\sum_{i=1}^N (ax_i + b - y_i) = 0$$

مشتق نسبت به  $b$ :

با استفاده از دو معادله فوق  $a$  از رابطه زیر بدست می آید:

$$a = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2}$$

نسبت به تغییر انحراف معیار فیدینگ آهسته افزایش می دهد. برای کاهش حساسیت نسبت به تغییر انحراف معیار فیدینگ آهسته، می توان  $h$  را متناسب با انحراف معیار فیدینگ آهسته تغییر داد.

اگر شیب تغییرات توان دریافتی از یک ایستگاه پایه مثبت (منفی) باشد، واحد متحرک در حال نزدیک شدن به (دور شدن از) آن ایستگاه پایه است. با استفاده از شیب تغییرات توان دریافتی حاشیه هیستریزس لازم برای تعویض کانال به ایستگاه پایه ای که واحد متحرک در حال نزدیک شدن به (دور شدن از) آن است، کاهش (افزایش) داده می شود. در نتیجه Crossover point و تعداد متوسط تعویض کانال به طور هم زمان کاهش می یابد و به نقطه عملکرد ایده آل که فقط یک تعویض کانال در مرز دو سلول روی می دهد نزدیک می شویم.

به هنگام طراحی یک سیستم مخابرات سیار سلولی باید توجه داشت که خیابانهای پرتردد بر روی مرز سلولها واقع نشوند تا تعداد تعویض کانالها در کل شبکه کاهش یابد.

## مراجع

- 1 - Lee, W. C. Y. (1989). "Mobile cellular telecommunication systems." McGraw-Hill .
- 2 - Li, V. O. K. and Qiu, X. (1995). "Personal Communication Systems." *Proc. IEEE*, 83(9), 1208-1243. Sept.
- 3 - Redl, S. M., Weber, M. K. and Oliphant, M. W. (1995). "An Introduction to GSM." *Artech House*.
- 4 - GSM Recommendation (0508). (1992).
- 5 - Vijian, R. and Holtzman, J. M. (1993). "A Model for analyzing handoff algorithms." *IEEE Trans. Vehi. Tech.* 42(3), 351-356.
- 6 - Vijian, R. and Holtzman, J. M. (1993). "Sensitivity of handoff algorithms to variaions in the propagation environment." *Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Conf. Universal Personal Commun.*, 158-162.
- 7 - Holtzman, J. M. and Sampath, A. (1995). "Adaptive averaging methodology fo handoff in cellular systems." *IEEE Trans. Vehi. Tech.*, 44(1), 56-66.

- 8 - Lee, W. C. Y. (1982). "Mobile communications engineering." McGraw-Hill.
- 9 - Gudmundson, M. (1991). "Correlation model for shadow fading in mobile radio systems." *Elec. Letters*, 27(23), 2145-2146.
- 10 - Santucci, F. and Benvenuto, N. (1996). "A Least square path loss estimation approach to handover algorithms." *IEEE Int. Conf. Commun., (ICC)*, 802-806.
- ۱۱ - یکتایی، ح. "تعویض کانال در مخابرات سیار سلولی." پروژه کارشناسی ارشد مخابرات، گروه مهندسی برق و کامپیوتر، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، اسفند (۱۳۷۶).

## واژه نامه

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1 - Mobile Station                         | واحد متحرک            |
| 2 - Handoff or Handover                    | تعویض کانال           |
| 3 - Base Station                           | ایستگاه پایه          |
| 4 - Personal Communication Systems (PCS)   | سیستمهای مخابرات فردی |
| 5 - Intercell Handoff                      | بین سلولی             |
| 6 - Interacell Handoff                     | داخل سلولی            |
| 7 - Global System for Mobile Communication | GSM                   |