

## تعیین محل قرار گیری رله ها در شبکه های سلولی مبتنی بر روش دسترسی چندگانه تقسیم کد

زلیخا سپهوند

دانشکده مهندسی برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران  
zolekhasepahvand@yahoo.com

روح الله آقاجانی

دانشکده مهندسی برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران  
aghajani@iaun.ac.ir

### چکیده

در این مقاله به مسئله بهینه قرار دادن ایستگاه رله در شبکه های سلولی مبتنی بر روش دسترسی چندگانه تقسیم کد، با هدف به حداکثر رساندن ظرفیت لبه سلول نسبت به حالتی که ایستگاه رله با توزیع یکنواخت و یا سلول بدون ایستگاه رله می باشد، می پردازیم. استقرار ایستگاه رله را بر اساس سیگنال به نویز و تداخل، در نظر می گیریم. به عبارتی دیگر، با محاسبه تداخل و در نظر گرفتن سایه، به استقرار ایستگاه های رله، بر اساس تداخل کانال مشترک در یک نقطه بهینه جهت افزایش ظرفیت در لبه سلول می پردازیم و عملکرد رله با راهبرد تقویت و ارسال، کد گشایی و ارسال در دو حالت توزیع یکنواخت و بهینه مورد مقایسه قرار می دهیم.

**کلمات کلیدی:** مخابرات مشارکتی، شبکه سلولی، دسترسی چند گانه تقسیم کد.

### ۱. مقدمه

استفاده از رله در شبکه های سلولی می تواند گسترش دامنه پوشش، اتصال کاربران در حال حرکت، افزایش ظرفیت با استقرار کم هزینه ایستگاه های رله داشته باشد [1]. پیشنهاد قرار دادن ایستگاه های رله در شبکه های سلولی رادیویی در سال ۱۹۸۵ مطرح شد [2]. مقالات متعددی بر روی یک ایستگاه پایه که چندین ایستگاه رله را تحت کنترل دارد به مطالعه پرداخته اند [3,4]. در [4] نویسندگان به مسئله بهینه قرار دادن رله در یک شبکه بی سیم محلی (WLAN) تک سلول، به منظور به حداقل رساندن متوسط زمان انتقال یک بسته پرداخته اند. در [5] استقرار ایستگاه های رله بر روی یک دایره در اطراف ایستگاه پایه با یک بهینه سازی متغیر صورت گرفته است. در [6] همین کار با این تفاوت که ایستگاه های رله با عملکرد AF و DF می باشند، انجام شده است. در [7] یک منطقه به مناطق فرعی تقسیم شده و توسط ایستگاه پایه تحت کنترل قرار گرفته است و با هدف افزایش ظرفیت کاربران در کمترین پهنای باند مورد نیاز، ایستگاه های رله در این مناطق فرعی قرار گرفته اند.

با توجه به استفاده مجدد فرکانس برای تسهیل استفاده از طیف فرکانسی در شبکه های سلولی، تداخل کانال مشترک در شبکه های مشارکتی یک عامل مهم است که می تواند این شبکه ها را به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار دهد. در [8] نویسندگان به معرفی یک طرح جالب بر اساس تداخل کانال مشترک برای به کارگیری ایستگاه های رله در سیستم ها با

دسترسی چندگانه تقسیم زمان جهت بهبود توان پرداخته اند. در [9] با فرض تأثیر تداخل در گره مقصد، احتمال قطع با حضور رله AF را مورد بررسی قرار داده اند. در [10] با این فرض که تنها رله متأثر از تداخل کننده کانال مشترک است و تداخل بر روی گره مقصد تأثیری ندارد، ظرفیت در شبکه های مشارکتی با رله AF شده است. در [11] و [12] اثر تداخل بر روی کانال با محور شدگی رایلی در شبکه های مشارکتی با رله AF بررسی شده است. در [13] به استقرار ایستگاه رله DF بر اساس نسبت سیگنال به نویز و تداخل در شبکه سلولی با دسترسی چندگانه تقسیم فرکانس متعامد پرداخته اند. در شبکه های سلولی با دسترسی چندگانه تقسیم کد با توجه به استفاده کاربران از یک پهنای باند مشترک، تداخل کانال مشترک در این شبکه های سلولی قابل توجه و مورد اهمیت می باشد. شبکه های سلولی با دسترسی چندگانه تقسیم کد با داشتن مزایایی همچون: تنوع فرکانسی، مقاومت در برابر چند مسیری و حفظ حریم شخصی و همچنین وجود غیر قابل انکار تداخل در این شبکه های سلولی، ما را بر این داشت که به استقرار بهینه رله بر اساس نسبت سیگنال به نویز و تداخل در شبکه های سلولی با دسترسی چندگانه تقسیم کد پردازیم.

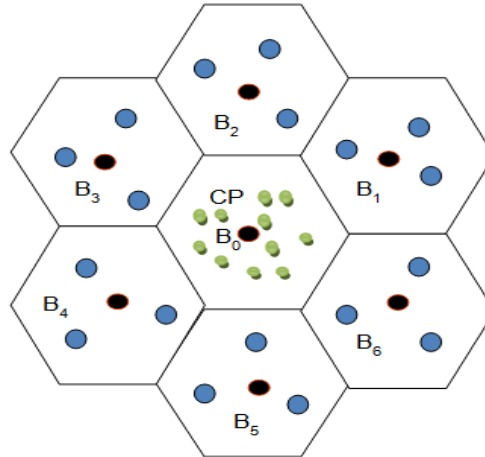
ما در این مقاله به استقرار بهینه رله بر اساس نسبت سیگنال به نویز و تداخل در شبکه های سلولی مبتنی بر دسترسی چندگانه تقسیم کد می پردازیم و اگرچه در بسیاری از کارهای صورت گرفته بر روی ایستگاه رله سایه نادیده گرفته شده است، ما در این مقاله در مدل تداخل، افت سایه را نیز در نظر می گیریم. ادامه مقاله به شرح زیر می باشد:

مدل سیستم در بخش دوم گنجانده شده است و شامل: مدل تداخل سیستم، شبکه سلولی CDMA بدون رله، شبکه سلولی مبتنی بر CDMA با استفاده از رله ها با توزیع یکنواخت، شبکه سلولی مبتنی بر CDMA با استقرار بهینه ایستگاه رله می باشد. نتایج عددی در بخش سوم مورد بحث قرار گرفته است. در بخش چهارم به نتیجه گیری در مورد نتایج شبیه سازی می پردازیم.

## ۲. مدل سیستم

یک شبکه سلولی با ۷ سلول در نظر می گیریم به طوری که یک سلول در مرکز و مابقی اطراف آن قرار گرفته اند و با  $i = \{0, \dots, 6\}$  نمایش می دهیم، ایستگاه پایه در هر سلول در مرکز آن سلول قرار گرفته است، می خواهیم ظرفیت سلول زمانی که رله در انتقال داده نقش دارد و محل قرارگیری رله به طور بهینه در سلول داخلی را بررسی کنیم، همچنین عملکرد دو رله AF و DF در سلول داخلی را در دو حالت، با توزیع یکنواخت و بهینه مورد مقایسه قرار می دهیم. تمرکز و توجه ما بر روی سلول داخلی می باشد، دیگر سلول ها هر کدام شامل ایستگاه پایه و سه ایستگاه رله هستند، به طوریکه این ایستگاه های رله با فاصله و زاویه یکسان از یکدیگر بر روی دایره ای قرار گرفته اند. ایستگاه های رله سلول داخلی تعداد و مکان مشخصی ندارند، ایستگاه های رله کل سیستم را با L نمایش می دهیم. کاربرها را با user نمایش می دهیم و به دو دسته شامل کاربرهای مرکز سلول که با  $user_c$  نمایش می دهیم و کاربرهای لبه سلول که با  $user_e$  نمایش می دهیم، تقسیم می شوند. جهت بهینه قرار دادن ایستگاه های رله نقاطی را انتخاب می کنیم که این نقاط انتخابی برای استقرار ایستگاه های رله را با CP نمایش می دهیم، اندیس این نقاط را با M نمایش می دهیم. نقطه ی انتخابی CP که ایستگاه رله در آن قرار می گیرد را با  $X_m$  نمایش می دهیم به طوری که اگر ایستگاه رله در این نقاط انتخابی باشد  $X_m$  را با عدد ۱ و در غیر اینصورت با صفر جایگزین می کنیم. عمل رله کردن در دو شکاف زمانی بدین شرح انجام می شود: در شکاف زمانی اول ایستگاه پایه داده را به کاربرهای مرکز و لبه سلول ارسال می کند و هیچ ارسالی از ایستگاه رله نداریم، در شکاف زمانی دوم ایستگاه پایه همچنان به انتقال داده به  $user_c$  ها و همچنین  $user_e$  ها ادامه داده و علاوه بر این انتقال به ایستگاه رله را نیز بر عهده دارد، از ایستگاه

رله به  $user_e$  نیز انتقال وجود دارد. عملکرد رله ها ثابت و قرارگیری رله ها بر اساس SINR می باشد و تداخل تنها از اولین ردیف سلول های اطراف سلول داخلی در نظر گرفته می شود. با فرض عدم کنترل توان، توان ایستگاه پایه ( $P_{BS}$ ) و توان ایستگاه رله ( $P_{RS}$ ) می باشد.



شکل ۱ - شبکه سلولی با ۷ سلول که در هر سلول یک ایستگاه پایه (دایره سیاه)، سلول داخلی نقاط انتخابی برای ایستگاه رله (دایره سبز) و سلول های مجاور با سه ایستگاه رله (دایره آبی) وجود دارد.

## ۲-۱. مدل تداخل سیستم

تمام کاربران حاضر در سیستم را فعال فرض کرده و بار سلول را مطابق رابطه زیر تعریف می کنیم:

$$\sigma = \frac{\rho}{user_t} = \frac{\lambda}{user_t \mu} = \frac{N \lambda \mu}{user_t \mu} \quad (1)$$

که در رابطه فوق  $\rho$  تراکم ترافیک،  $\lambda$  نرخ ورود هر کاربر،  $\lambda \mu$  نرخ ورود هر کاربر،  $\mu$  سرویس دهی برای هر کاربر و  $user_t$  کل کاربران سلول می باشد.

$$N = \frac{user_t \mu}{\lambda \mu} \sigma \quad (2)$$

$\sigma$  و  $N$  به ترتیب برای بار سلول داخلی و تعداد کاربران در سلول تعریف می شوند.

$$P_{block} = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right) \sum_{k=k_0}^{\infty} \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k}{k!} \quad (3)$$

$k_0$  ماکزیم تعداد کاربرها،  $k$  برابر با تعداد کاربرهای فعال،  $P_{block}$  احتمال انسداد برای حالتی که تماس های از دست رفته تاخیر داشته باشند می باشد

به طور کلی افت مسیر را با  $L_{i,x}^y$  نمایش می دهیم که اندیس  $x$  می تواند  $RS$  و یا  $user$  باشد،  $i$  شماره ایستگاه سلول مورد نظر و  $y$  می تواند  $BS$  یا  $RS$  باشد. مدل انتشار را  $Kd^{-\gamma}$  می گیریم که  $2 \leq \gamma \leq 4$ ، که  $\gamma$  ضریب تضعیف،  $d$  فاصله و  $K$  ضریب افت مسیر می باشد. افت بر حسب دسیبل به صورت زیر نوشته می شود:

$$L_{i,x}^{Bs} = 10\gamma \log_{10} d_{i,x} + \xi \quad (4)$$

که در رابطه فوق، نماد  $L_{i,x}^{Bs}$  افت توان از ایستگاه پایه سلول  $i$  تا ایستگاه رله و یا کاربرها را نمایش می دهد. و همچنین  $d_{i,x}$  فاصله بین ایستگاه  $i$  و کاربر یا رله مورد نظر است.

$$\xi = 10 \log_{10} K \quad (5)$$

$\xi$  افت سایه مسیر می باشد، که دارای توزیع نرمال با متوسط صفر و واریانس  $\sigma^2$  بین  $2dB$  و  $8dB$  می باشد [14].

$$L_{i,m,n}^{Rs} = 10 \log_{10} d_{i,m,n} + \xi \quad (6)$$

نماد  $L_{i,m,n}^{Rs}$  از ایستگاه رله  $i$  بر روی هر کاربر در سلول  $m$  تعریف می شود. که  $m$  اندیس یکی از سه رله است. همچنین  $n$  اندیس کاربر است.  $d_{i,m,n}$  فاصله بین ایستگاه رله از سلول مورد نظر و کاربرها است. همچنین طبق تئوری اطلاعات می دانیم که ظرفیت کانال برابر با ماکزیمم اطلاعات متقابل می باشد

$$C = \max(I) \quad (7)$$

در رابطه فوق  $C$  ظرفیت و  $I$  اطلاعات متقابل می باشد.

$$r = (1 - P_{\text{block}})C(\text{SINR}) \quad (8)$$

نرخ قابل دسترسی داده برابر با  $r$  و ظرفیت براساس  $\text{SINR}$ ، محاسبه می شود. نرخ قابل دسترسی ( $r \leq C$ ) می باشد. طبق فرمول ظرفیت شانون خواهیم داشت:

$$C(x) = \log_2(1 + x) \quad (9)$$

که در این مقاله  $x$ ، نسبت سیگنال به نویز و تداخل می باشد.

## ۲-۲. سیستم سلولی مبتنی بر CDMA، بدون ایستگاه رله

در این قسمت یک شبکه بدون رله را در نظر می گیریم، به طوری که همه ی کاربران به طور مستقیم به ایستگاه پایه متصل می شوند، ماکزیمم نرخ دسترسی برای یک کاربر توسط رابطه زیر محاسبه می شود:

$$r = (1 - P_{\text{block}})C(\text{SINR}_{Bs-user_r}) \quad (10)$$

$\text{SINR}_{Bs-user_r}$  نسبت سیگنال به نویز و تداخل ایستگاه پایه نسبت به کل کاربرها می باشد.

## ۳-۲. سیستم سلولی مبتنی بر CDMA با قرار دادن ایستگاه های رله با توزیع یکنواخت

در این قسمت ایستگاه های رله در سلول مرکزی و سلول های مجاور بر روی دایره ایی با فاصله ی یکسان از یکدیگر قرار گرفته اند، همانطور که قبلا بیان شد، عمل رله کردن در دو شکاف زمانی انجام می شود. بنابراین نرخ دسترسی برای کاربران مرکز سلول به دو قسمت  $r_{nc1}$  و  $r_{nc2}$  تقسیم می شود، نرخ دسترسی برای کاربرهای مرکز سلول در شکاف زمانی اول که عمل رله کردن صورت نمی گیرد، تعریف شده است.  $r_{nc2}$  نرخ دسترسی برای کاربران مرکز سلول در شکاف زمانی دوم می باشد که در آن عمل رله کردن انجام شده و تداخل از ایستگاه رله بر روی کاربران در مرکز سلول را نیز داریم.

$$SINR_{Bs-user_{nc}} = \frac{P_{Bs} K d_n^{-\gamma}}{\sum_{i=1}^6 K d_{i,x}^{-\gamma} + N_0 W} \quad (12)$$

رابطه (۱۲) محاسبه، سیگنال به نویز و تداخل ایستگاه پایه نسبت به کاربران داخلی سلول در شکاف زمانی اول می باشد،  $P_{Bs} K d_n^{-\gamma}$  توان ایستگاه پایه همراه با افت نسبت به فاصله هر کاربر است،  $N_0$  نویز حرارتی و  $W$  پهنای باند است.

$$r_{nc1} = (1 - P_{block}) C(SINR_{Bs-user_{nc}}) \quad (13)$$

رابطه فوق نرخ قابل دسترسی برای کاربران داخلی سلول در شکاف زمانی اول را نشان می دهد.

$$SINR'_{Bs-user_{nc}} = \frac{P_{Bs} K d_n^{-\gamma}}{\left( \sum_{i=0}^6 K d_{i,x}^{-\gamma} + \frac{1}{L} \sum_{i=1}^6 \sum_{m=1}^L K d_{i,n,m}^{-\gamma} + \frac{1}{L} \sum_{m=1}^L K d_{i,n,m}^{-\gamma} \right) + N_0 W} \quad (14)$$

رابطه فوق محاسبه، سیگنال به نویز و تداخل ایستگاه پایه نسبت به کاربران داخلی سلول در شکاف زمانی دوم می باشد.

جمله های دوم و سوم در مخرج کسر به ترتیب، متوسط تداخل سلول داخلی به علت ایستگاه های پایه و ایستگاه های رله در سلول های مجاور می باشد، از فاکتور  $\frac{1}{L}$  به این دلیل استفاده شده است که، فقط یک ایستگاه رله از  $L$  ایستگاه رله ممکن است به یک کاربر از لینک مستقیم ( $DL$ ) تخصیص داده شود (هر کاربر تنها به یک ایستگاه رله متصل می شود، این بدین معنی است که لینک بین ایستگاه پایه و ایستگاه رله ( $BL$ ) در شکاف زمانی دوم به یک کاربر تخصیص داده شده است).

$$r_{nc2} = (1 - P_{block}) C(SINR'_{Bs-user_{nc}}) \quad (15)$$

رابطه فوق برای نرخ قبل دسترسی کاربران مرکز سلول در زمان دوم را تعریف می شود.

$$r_{nc} = r_{nc1} + r_{nc2} \quad (16)$$

$r_{nc}$  مجموع نرخ قابل دسترسی برای کاربران داخلی سلول در دو شکاف زمانی است. نرخ قابل دسترسی برای رله با راهبرد  $AF$  و  $DF$  به طور متفاوت محاسبه می شود:

$$r_{AF} = \frac{1}{2} (1 - P_{block}) \left( \log(1 + SINR_{Bs-user_e}) + f(SINR_{Bs-user_e}, SINR_{Rs-user_e}) \right) \quad (17)$$

رابطه فوق محاسبه نرخ قابل دسترسی برای کاربران لبه توسط رله با راهبرد AF را بیان می کند،  $SINR_{BS-user_e}$  نسبت سیگنال به نویز و تداخل ایستگاه پایه نسبت به کاربران لبه و  $SINR_{RS-user_e}$  نسبت سیگنال به نویز و تداخل ایستگاه رله نسبت به کاربران مرکز را نمایش می دهد.

$$f(SINR_{BS-user_e}, SINR_{RS-user_e}) = \frac{SINR_{BS-user_e} * SINR_{RS-user_e}}{SINR_{BS-user_e} + SINR_{RS-user_e} + 1} \quad (18)$$

رابطه ۱۸ چگونگی ترکیب سیگنال دریافتی در مقصد ( در اینجا کاربران لبه مقصد ما می باشد) را با حضور رله AF نشان می دهد.

$$r_{DF} = \frac{1}{2} (1 - P_{block}) \min \{ \log(1 + SINR_{BS-user_e}), (1 + (SINR_{BS-user_e} + SINR_{RS-user_e})) \} \quad (19)$$

رابطه فوق محاسبه نرخ قابل دسترسی برای کاربران لبه توسط رله با راهبرد DF را بیان می کند.

$$SINR_{BS-user_e} = \frac{P_{BS} K d_n^{-\gamma}}{\sum_{i=1}^6 K d_{i,n}^{-\gamma} + N_0 W} \quad (20)$$

$SINR_{BS-user_e}$  نسبت سیگنال به نویز و تداخل ایستگاه پایه می باشد.

$$SINR_{BS-RS} = \frac{P_{BS} K d_n^{-2}}{\sum_{i=1}^6 K d_{i,m}^{-\gamma} + N_0 W} \quad (21)$$

$SINR_{BS-RS}$  نسبت سیگنال به نویز و تداخل ایستگاه رله به کاربران لبه را نمایش می دهد.

$$SINR_{RS-user_e} = \frac{P_{RS} K d_n^{-\gamma}}{(\sum_{i=0}^7 K d_{i,n}^{-\gamma} + \frac{1}{L} \sum_{i=1}^6 \sum_{m=1}^L K d_{i,m,n}^{-\gamma}) + N_0 W} \quad (22)$$

$SINR_{RS-user_e}$  نسبت سیگنال به نویز و تداخل ایستگاه رله به کاربران لبه را نمایش می دهد و  $P_{RS} K d_n^{-\gamma}$  توان ایستگاه رله همراه با افت نسبت به فاصله هر کاربر است.

## ۲-۴. سیستم سلولی مبتنی بر CDMA با استقرار بهینه ایستگاه های رله

ایستگاه های رله سلول های مجاور را به طور یکنواخت، با فاصله ی یکسان از یکدیگر بر روی یک دایره فرض می کنیم، اما ایستگاه های رله در سلول مرکزی را در نقاط انتخابی برای استقرار ایستگاه های رله قرار می دهیم و سپس فرمول (۱۴) به شرح زیر خواهد بود :

$$SINR_{BS-user} = \frac{P_{BS} K d_n^{-\gamma}}{(\sum_{i=1}^6 I_{i,n}^{BS} + \frac{1}{L} \sum_{i=1}^6 \sum_{m=1}^L x_m I_{0,m,n}^{RS} + \frac{1}{L} \sum_{m=1}^L I_{1,m,n}^{RS}) + N_0} \quad (22)$$

با بهینه قرار دادن ایستگاه های رله، مسئله ماکزیمم ظرفیت عدد غیر خطی از روابط زیر پیروی می کند:

$$\max_{X,Y} \sum_{m \in M} \sum_{n \in \text{cell-edge}} Y r + \sum_{n \in \text{cell-centre}} Y_n \quad (23)$$

هدف از (۲۳) حداکثر سازی ظرفیت سلول ها است.

$$\sum_{m=1}^M Y_m = 1 \quad \begin{matrix} n \in \text{cell} - \text{edge} \\ m \in M \end{matrix} \quad (24)$$

رابطه فوق حداکثر ظرفیت لبه سلول را نشان می دهد.

$$Y_m \leq X_m \quad \begin{matrix} n \in \text{cell} - \text{edge} \\ m \in M \end{matrix} \quad (25)$$

رابطه (۲۵) تضمین می کند که هر کاربر به یک ایستگاه رله اختصاص داده می شود

$$\sum_{m=1}^M X_m = L \quad m \in M \quad (26)$$

رابطه فوق این اطمینان را می دهد که ایستگاه رله نمی تواند به هیچ کاربری اختصاص داده شود مگر اینکه در نقاط انتخابی قرار بگیرد. در این کار ما فقط موقعیت و مقدار متغیر  $X_m$  را در سیستم مدل شده را محاسبه می کنیم. زیرا به دست آوردن مقادیر و یا موقعیت هر دو متغیر  $X_m$  و  $Y_m$  وضعیت را بدتر می کند.

### ۳. نتایج عددی

در این بخش، به قرار دادن ایستگاه های رله با شبیه سازی در نرم افزار متلب می پردازیم. فرض می کنیم که کاربرهای مرکز سلول داری توزیع یکنواخت با فاصله  $r$  از ایستگاه پایه و زاویه  $\theta$  به شرح زیر می باشند:

$$r \sim U(35m, R) \quad \theta \sim U(0, 2\pi) \quad (27)$$

به طوریکه مینیمم فاصله بین کاربرها و ایستگاه پایه برابر با  $35m$  می باشد. فرض شده که همه ی کاربرها در داخل سلول قرار دارند. هر سلول مجاور و همچنین سلول داخلی دارای سه ایستگاه رله می باشد و فرض شده است که ایستگاه های رله در شش سلول مجاور با زاویه های برابر نسبت به یکدیگر در روی دایره ایی با شعاع  $0.7R$  قرار گرفته اند. ۱۵ موقعیت انتخابی برای قرار دادن ایستگاه رله با توزیع یکنواخت  $r, \theta$  مطابق روابط زیر قرار گرفته است:

$$r \sim U(0.6R, 0.8R) \quad \theta \sim U(0, 2\pi) \quad (28)$$

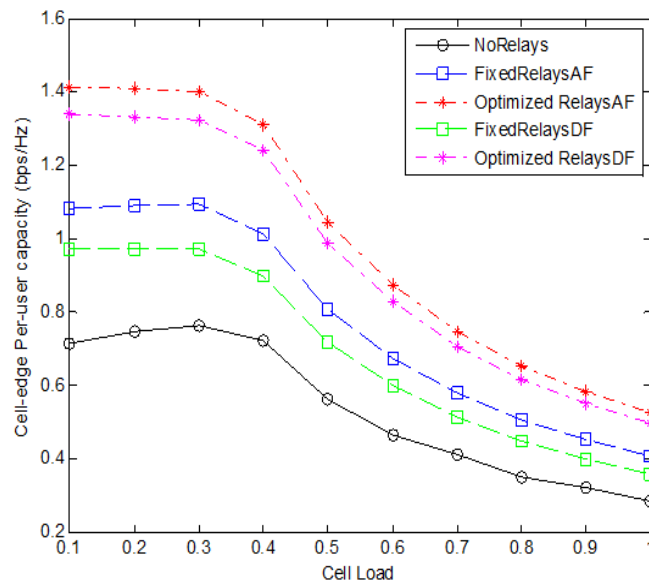
فیدینگ با مقیاس بزرگ (افت مسیر) را در نظر می گیریم و از فیدینگ با مقیاس کوچک چشم پوشی می کنیم. به طور کامل تر مدلی از ترکیب افت مسیر و سایه را در نظر می گیریم.

جدول ۱- مقادیر شبیه سازی

| مقادیر     | پارامترها                               |
|------------|---|
| 500m       | شعاع سلول ( $R$ )                       |
| 1          | بار سلول های مجاور ( $\delta_A$ )       |
| 46dBm      | توان ایستگاه پایه ( $P_{RF}$ )          |
| 30dBm      | توان ایستگاه رله ( $P_{RG}$ )           |
| -174dBm/Hz | چگالی طیف توان نویز<br>حرارتی ( $N_0$ ) |
| 180KHz     | پهنای باند ( $W$ )                      |
| 120        | تعداد کاربرها                           |

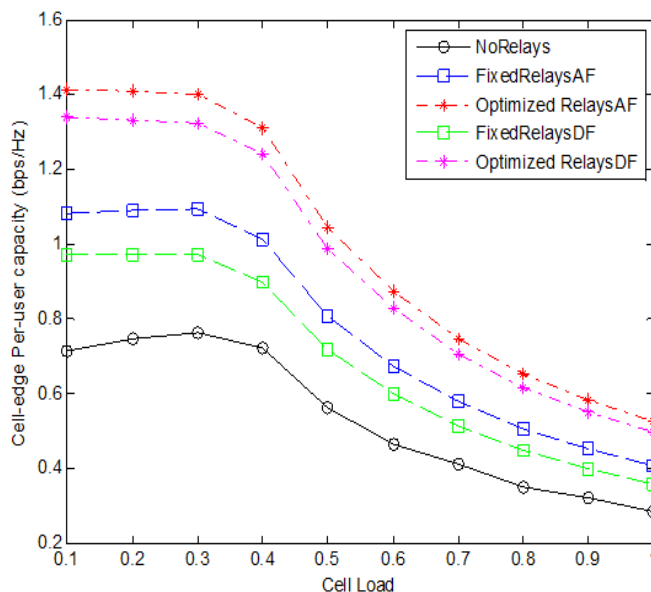
شکل ۲- ظرفیت کاربران لبه را برای رله ها با راهبرد AF و DF با استقرار ایستگاه های رله به طور یکنواخت و بهینه هنگامی که کاربران داری توزیع یکنواخت هستند، نشان می دهد. سطح نمودار ظرفیت کاربران لبه برای هر دو رله AF و DF در حالت ثابت پایین تر از حالتی هست که ایستگاه های رله به صورت بهینه قرار می گیرند. با استقرار بهینه ایستگاه های رله، ظرفیت برای حالت بهینه نسبت به حالتی که ایستگاه های رله به صورت یکنواخت قرار می گیرند بیش از ۴۵ درصد افزایش می یابد. روند تغییر نمودارها برای رله های AF و DF با استقرار یکنواخت و بهینه، یکسان می باشد به گونه ایی که ظرفیت در ۰,۱ تا ۰,۳ تقریباً ثابت و خطی است و نمودارها در فاصله ی ۰,۳ تا ۰,۴ ماکزیمم مقادیر خود را دارند، سپس در فاصله ی ۰,۴ تا ۱ ظرفیت کاربران لبه در تمام نمودارها با شیبی کند کاهش می یابند. روند کاهشی در شیب نمودارها به این دلیل است که احتمال قطع با افزایش بار در سلول افزایش می یابد و این امر روندی طبیعی است. اختلاف سطح نمودار ظرفیت کاربران لبه برای رله AF و DF قابل توجه می باشد همانگونه که مشاهده می کنید ظرفیت کاربران لبه با رله AF در هر دو حالت استقرار رله به صورت بهینه و یکنواخت نسبت به رله DF ۲۰ درصد می باشد و همچنین افزایش ظرفیت کاربران لبه در حالت بهینه با رله AF چشمگیر و کاملاً قابل توجه می باشد.





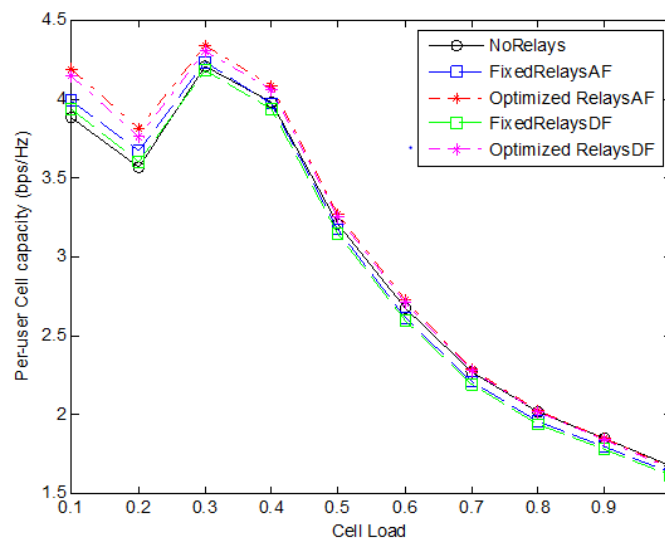
شکل ۲- ظرفیت کاربران لبه سلول با دو راهبرد رله AF و DF با استقرار یکنواخت و بهینه و حالت بدون رله (کاربران با توزیع یکنواخت).

شکل ۳- ظرفیت کاربران لبه را برای رله ها با راهبرد AF و DF با استقرار ایستگاه های رله به طور یکنواخت و بهینه هنگامی که کاربران داری توزیع غیریکنواخت هستند، نشان می دهد. ظرفیت برای کاربران لبه با استقرار ایستگاه های رله AF و DF به طور یکنواخت و بهینه مطابق ظرفیت کاربران لبه را برای رله ها با راهبرد AF و DF با استقرار ایستگاه های رله به طور یکنواخت و بهینه با کاربران داری توزیع یکنواخت، می باشد. به طوریکه قبلا نیز بیان کردیم ظرفیت کاربران لبه با استقرار بهینه ایستگاه های رله تقریبا ۵۰ درصد نسبت به ظرفیت کاربران لبه با توزیع یکنواخت افزایش یافته است و مشاهده می کنیم که ظرفیت برای کاربران لبه با رله AF ۲۰ درصد بیشتر از رله DF می باشد.



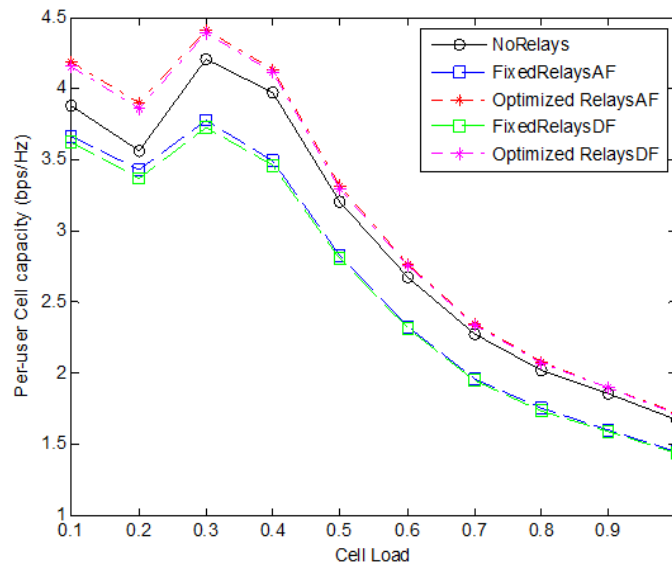
شکل ۳- ظرفیت کاربران لبه سلول با دو راهبرد رله AF و DF با استقرار یکنواخت و بهینه و حالت بدون رله (کاربران با توزیع غیر یکنواخت).

شکل ۴- ظرفیت هر کاربر در سلول را با استقرار یکنواخت و بهینه ایستگاه های رله AF و DF و سلول بدون رله هنگامی که کاربران داری توزیع یکنواخت هستند، نشان می دهد. از ۰,۱ تا ۰,۲ ظرفیت هر کاربر در سلول مورد نظر با شیبی خطی کاهش یافته است و ظرفیت برای استقرار یکنواخت و بهینه ایستگاه های رله AF و DF و سلول بدون رله دارای اختلاف بسیار کمی می باشد و می توان گفت ظرفیت یکسان است، در فاصله ی ۰,۲ تا ۰,۴ ظرفیت برای تمامی نمودارها یکسان، خطی و دارای شیب افزایشی می باشد، از ۰,۴ تا ۰,۵ ظرفیت دوباره با شیبی کند کاهش یافته است ولی از ۰,۵ تا ۱ ظرفیت به طور غیر خطی و با شیبی تندتر کاهش یافته است. چون در این حالت منهای تداخل کاربران لبه سلول، تداخل کاربران داخلی سلول محاسبه شده و میزان تداخل ایجاد شده افزایش می یابد در نتیجه نسبت سیگنال به نویز و تداخل کاهش یافته و به تبع آن ظرفیت سلول نیز کاهش یافته، البته هدف اصلی ما افزایش ظرفیت کاربران سلول می باشد زیرا احتمال قطع آنان بیشتر است و مجبور به جابه جایی به سلول های مجاور می باشد.



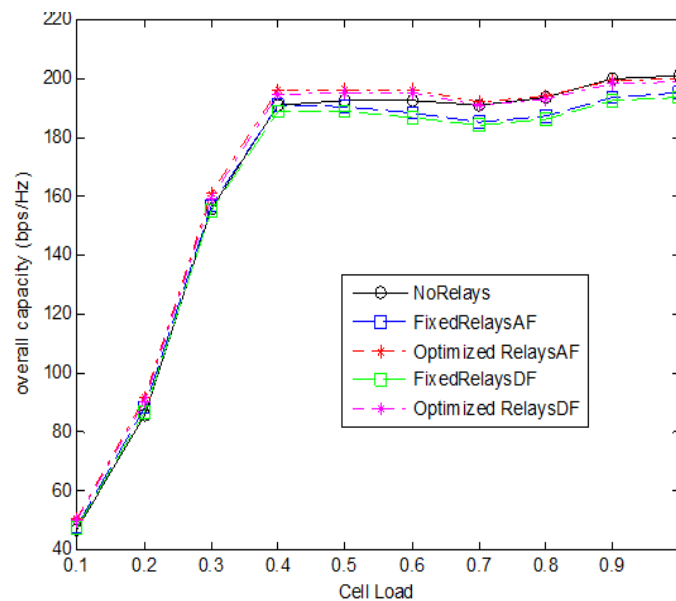
شکل ۴- ظرفیت هر کاربر سلول با دو راهبرد رله AF و DF با استقرار یکنواخت و بهینه و حالت بدون رله (کاربران با توزیع یکنواخت).

شکل ۵- ظرفیت هر کاربر سلول را با استقرار یکنواخت و بهینه ایستگاه های رله AF و DF و سلول بدون رله هنگامی که کاربران داری توزیع غیر یکنواخت هستند، نشان می دهد. از ۰,۱ تا ۰,۲ نمودارها با شیبی خطی کاهش پیدا کرده اند اما ظرفیت کاربران سلول برای رله AF و DF با استقرار بهینه ۵۰ درصد بیشتر از حالتی که رله ها با توزیع یکنواخت قرار می گیرند، همانگونه که مشاهده می کنیم سطح نمودار برای حالتی که ایستگاه های رله AF و DF به طور یکنواخت قرار می گیرند پایین تر از حالت بدون ایستگاه رله می باشد، در فاصله ۰,۲ تا ۰,۳ نمودارها دارای شیب صعودی هستند و ظرفیت افزایش یافته است، از ۰,۳ تا ۰,۵ ظرفیت کاربران در تمام نمودارها با شیبی کند و خطی کاهش یافته اند، در فاصله ۰,۵ تا ۱ روند نمودارها کاهشی و غیر خطی می باشد، در این بازه ظرفیت کاربران سلول برای رله های AF و DF با استقرار بهینه و حالت بدون رله دارای اختلاف بسیار کمی می باشد به گونه ای که می توان گفت دارای ظرفیتی یکسان می باشند، اما ظرفیت در حالتی که ایستگاه های رله به صورت یکنواخت قرار گرفته اند همچنان پایین تر از حالت بدون رله می باشد.



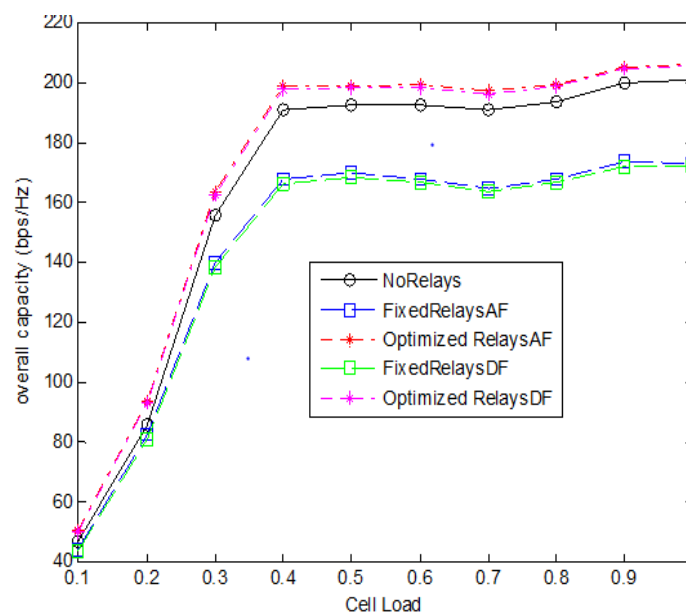
شکل ۵- ظرفیت هر کاربر در سلول با دو راهبرد رله AF و DF با استقرار یکنواخت و بهینه و حالت بدون رله (کاربران با توزیع غیر یکنواخت).

شکل ۶ ظرفیت کل سلول مورد نظر برای حالت هایی که ایستگاه های رله AF و DF با توزیع یکنواخت و بهینه قرار گرفته اند و همچنین برای حالت بدون ایستگاه رله را نشان می دهد. ظرفیت کل سلول در سه حالت از ۰,۱ تا ۰,۴ خطی و صعودی است. در بازه ی ۰,۴ تا ۰,۷ ثابت و نمودارها برای سه حالت: بدون رله، با استقرار یکنواخت رله AF و DF و حالت بهینه ظرفیت کل سلول خطی و ثابت است اما سطح نمودار برای حالت های بهینه بالاتر از حالت بدون رله و برای توزیع یکنواخت پایین تر از حالت بدون رله می باشد البته این اختلاف بسیلر ناچیز است و فقط باعث تمایز نمودارها از یکدیگر شده است. از ۰,۷ تا ۱ ظرفیت کل برای حالت بدون رله و حالتی که رله را بهینه قرار داده ایم یکسان و حالتی که ایستگاه های رله با توزیع یکنواخت قرار گرفتند پایین تر از حالت بدون ایستگاه رله می باشد.



شکل ۶- ظرفیت کل کاربران سلول با دو راهبرد رله AF و DF با استقرار یکنواخت و بهینه و حالت بدون رله (کاربران با توزیع یکنواخت).

شکل ۷- ظرفیت کل سلول مورد نظر برای حالت هایی که ایستگاه های رله AF و DF با توزیع غیر یکنواخت و بهینه قرار گرفته اند و همچنین برای حالت بدون ایستگاه رله را نشان می دهد. مانند شکل (۶) ظرفیت کل سلول در حالت بدون ایستگاه رله خطی و خیلی پایین تر از حالتی است که ایستگاه رله در سلول قرار گرفته است. اما اختلاف سطح ظرفیت کل سلول با استقرار بهینه ایستگاه های رله نسبت به حالتی که رله ها به صورت یکنواخت قرار گرفته اند بهبود یافته است. روند عملکرد نمودارها مشابه می باشد به طوری که ظرفیت در بازه ی ۰,۱ تا ۰,۴ خطی و صعودی می باشد. ظرفیت کل سلول از ۰,۴ تا ۱ تقریباً ثابت می باشد و برای استقرار بهینه رله AF و DF یکسان و ۱۰ درصد نسبت به حالت بدون ایستگاه رله افزایش دارد، اما نسبت به حالتی که ایستگاه های رله به طور یکنواخت قرار گرفته اند ۳۰ درصد ظرفیت کل سلول افزایش یافته است.



شکل ۷- ظرفیت کل کاربران سلول با دو راهبرد رله AF و DF با استقرار یکنواخت و بهینه و حالت بدون رله (کاربران با توزیع غیر یکنواخت).

## ۴. نتیجه گیری

با استقرار بهینه ایستگاه های رله ظرفیت کاربران لبه سلول نسبت به استقرار یکنواخت ایستگاه های رله بیش از ۴۰ درصد افزایش می یابد، عملکرد رله AF برای افزایش ظرفیت کاربران لبه سلول بهتر از عملکرد رله DF می باشد. برای ظرفیت کل سلول و همچنین ظرفیت هر کاربر عملکرد رله های AF و DF یکسان می باشد. ظرفیت کل سلول و همچنین ظرفیت هر کاربر زمانی که کاربران توزیع یکنواخت دارند برای حالت هایی که رله به طور بهینه و یکنواخت استقرار می یابد یکسان است اما در حالتی که کاربران دارای توزیع غیر یکنواخت هستند، ظرفیت کل سلول و ظرفیت هر کاربر با استقرار بهینه ایستگاه های رله نسبت به استقرار ایستگاه رله به طور یکنواخت افزایش می یابد و استقرار بهینه ایستگاه های رله و عملکرد بهتری نسبت به استقرار ایستگاه های رله به طور یکنواخت دارد. می توان بیان کرد که، استقرار بهینه ایستگاه رله AF ظرفیت لبه سلول را بیش از استقرار بهینه رله DF افزایش می دهد که می توان برای جلوگیری از احتمال قطع کاربران لبه سلول و کاهش جابه جایی به سلول های مجاور با استقرار بهینه ایستگاه های رله AF به ظرفیت بالایی دست یافت. اما به طور کلی تاثیر دو رله AF و DF بر روی ظرفیت کل سیستم یکسان می باشد.

## سپاسگزاری

این کار تحت قرارداد با شماره ۱۳/۹۷۶/۲۱۵۴۹۳ مورد حمایت های مادی و معنوی شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب قرار گرفته است، بدین وسیله از تمامی مسئولان این شرکت قدردانی و تشکر می شود.

## مراجع

- [1] A. Chattopadhyay, A. Sinha, M. Coupechoux, and A. Kumar, 2012. "Optimal capacity relay node placement in a multi-hop network on a line," in Proc.. Modeling Optimization Mobile, Ad Hoc, ireless Netw. pp. 597-600.
- [2] Z. Drezner and H. W. Hamacher, 2004. Facility Location: Applications and Theory. Springer Verlag, pp.96-102.
- [3] A. So and B. Liang, May 2007. "Enhancing WLAN capacity by strategic placement of tetherless relay points," IEEE Trans. Mobile Comput., vol. 6, no. 5, pp. 487-500.
- [4] D. Yang, X. Fang, G. Xue, and J. Tang, 2010. "Relay station placement for cooperative communications in WiMAX networks," in Proc. IEEE Global Conf. Commun., pp.487-500.
- [5] L.-C. Wang, W.-S. Su, J.-H. Huang, A. Chen, and C.-J. Chang, 2008. "Optimal relay location in multi-hop cellular systems," in Proc. IEEE Wireless Commun. Netw. Conf.
- [6] Y. Dong, Y. Zhang, M. Song, Y. Teng, and Y. Man, 2009. "Optimal relay location in OFDMA based cooperative networks," in Proc. IEEE Int. Conf. Wireless Commun., Netw. Mobile Comput. pp. 181-217.
- [7] C.-Y. Chang, C.-T. Chang, M.-H. Li, and C.-H. Chang, 2009. "A novel relay placement mechanism for capacity enhancement in IEEE 802.16j WiMAX networks," in Proc. pp.487-500.
- [8] A. Agustin and J. Vidal, May 2008. "Amplify-and-forward cooperation under interference-limited spatial reuse of the relay slot," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 7, no. 5, pp. 1952-1962.
- [9] C. Zhong, S. Jin, and K.-K. Wong, Mar. 2010. "Dual-hop systems with noisy relay and interference-limited destination," IEEE Trans. Commun., vol. 58, no. 3, pp. 764-768.

- [10] I. Krikidis, J. S. Thompson, S. McLaughlin, and N. Goertz. June 2009. "Max-Min relay selection for legacy amplify-and forward systems with interference," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, pp. 3016–3027.
- [11] H. A. Suraweera, H. K. Garg, and A. Nallanathan. 2010. "Performance analysis of two hop amplify-and-forward systems with interference at the relay," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 14, no. 8, pp. 692–694.
- [12] S. S. Ikki and S. Aïssa, 2010. "Performance analysis of dual-hop relaying systems in the presence of co-channel interference," in Proc, PP.1-7.
- [13] Guo, W. and O'Farrell, T. August 2013, "Relay deployment in cellular networks: planning and optimization", *IEEE journal on* (Volume: 31, Issue: 8), page(s), 1597 – 1606.
- [14] Kamil Sh. Zigangirov. 2004. "THEORY OF CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS COMMUNICATIONS" the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. rights reserved. Published simultaneously in Canada. PP.1 -412.

## Relay placement in CDMA based Cellular networks

**Zoleikha Sepahvand, Rouhollah Aghajani**

Department of electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University,  
Najafabad, Iran, Email: zolekhasepahvand@yahoo.com

Department of electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University,  
Najafabad, Iran, Email: Aghajani@iaun.ac.ir

**Abstract.** In this paper, the optimal relay stations in cellular networks based on code division multiple access, with the aim to maximize the capacity of the cell edge where the relay station is uniformly distributed or cell-free relay station, we . Relay station based on the signal to noise and interference, consider. In other words, by calculating the interference and taking shade, the establishment of relay stations, according to co-channel interference in an optimal point to increase the capacity of the cell edge and we send relay with reinforced strategy, Amplify-and-Forward (AF) and Decode-and-forward (DF) and two cases we compare uniform distribution and optimized.

**Keywords:** Cooperative Communication, cellular network, code division multiple access.