

بررسی مقایسه‌ای روش کدبرداری و ارسال مدیریت شده و روش کدبرداری و ارسال معمول در سیستمهای مخابرات مشارکتی

روح‌الله آقاجانی - رضا سعادت - محمدرضا عارف

(۱) استادیار - گروه مخابرات، دانشکده مهندسی برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، اصفهان، ایران

(۲) دانشیار - گروه مخابرات، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه یزد، یزد، ایران

(۳) استاد - گروه مخابرات، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۵/۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۲/۱۹

خلاصه: در این مقاله نرخ خطای سمبل مدولاسیون M-PSK برای مخابرات مشارکتی با به کارگیری یک رله به صورت مدیریت شده استخراج می‌شود. در روش معمول، رله همواره سیگنال دریافت شده در مرحله اول را کدبرداری کرده و ارسال می‌کند و مقصد به منظور افزایش نسبت سیگنال به نویز در گیرنده سیگنال هر دو مرحله را به صورت MRC مقایسه بیشترین نسبت ترکیب می‌کند. در روش دیگر رله به صورت مدیریت شده در ارسال سیگنال مشارکت می‌کند. در این روش اگر مقصد در مرحله اول نتواند از سیگنال منبع کدبرداری کند از رله درخواست ارسال سیگنال کدبرداری شده را خواهد کرد. بنابراین با مدیریت رله علاوه بر کاهش نرخ خطای سمبل می‌توان متوسط توان مصرفی سیستم را نیز کاهش داد. در این مقاله، ابتدا نرخ خطای سمبل مخابرات مشارکتی با مدولاسیون M-PSK در راهبرد کدبرداری و گسیل در کانال‌های رایلی به صورت دقیق به دست آمده است. سپس با تقریب نرخ خطای سمبل در نسبت سیگنال به نویزهای متوسط و بالا ضریب تخصیص توان بهینه به دست آورده شده است. با تخصیص توان به صورت بهینه نرخ خطای سمبل را به حداقل رسانده‌ایم. در تحلیل‌ها حداقل نرخ خطای سمبل دو روش مشارکت رله با یکدیگر مقایسه شده‌اند. به ازاء توان متوسط مصرفی برابر، نرخ خطای سمبل با مدیریت رله کمتر از روش دیگر است.

کلمات کلیدی: مخابرات مشارکتی، کدبرداری و ارسال، رله، نرخ خطای سمبل، کانال‌های محوشونده رایلی.

Comparison of Managed Decode-and-Forward Scheme and Common Decode-and-Forward Scheme in Cooperative Communication Systems

Rohollah Aghajani⁽¹⁾ - Reza Saadat⁽²⁾ - Mohammad Reza Aref⁽³⁾

(1) Assistant Professor - Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Esfahan, Iran
aghajani@iaun.ac.ir

(2) Associate Professor - Department of Electrical Engineering, Yazd University, Yazd, Iran

(3) Professor - Department of Electrical Engineering, Sharif University of Technology

In this paper, the symbol error rate of M-PSK modulation in managed relay scheme is computed. In the conventional technique, the relay always decodes the received signal and re-sends it to the destination. In the destination, the two copies of the signal will be combining in MRC manner. In another method, the relay will partially participate in the signal transmission. In this way, If the destination is not able to decode the source signal properly then requests the relay to re-send signal. Therefore, the average power consumption of the system can be reduced. In this paper, the M-PSK modulation error rate in Rayleigh channels is accurately obtained. Then, an approximation of the symbol error rate in the medium and high signal to noise ratio is achieved. Based on this approximation the power allocation coefficient is derived. The symbol error rates of two schemes are compared. Finally, it is showed that in the equal average power consumption, the symbol error rate of the managed scheme is lower than other scheme.

Index Terms: Cooperative communication, Decode and forward, Relay, Symbol error rate, Rayleigh channels.

۱- مقدمه

به دلیل چندمسیری در کانال‌های بی‌سیم، ارسال در این کانال‌ها همراه با محوشدگی می‌باشد. اخیراً راه‌هایی برای مقابله با محوشوندگی ارائه شده است. استفاده از سیستم‌های چند ورودی و چند خروجی برای ایجاد تنوع در ارسال جهت کاهش اثرات محوشدگی از این جمله می‌باشد [۱].

در سیستم‌های چند ورودی - چند خروجی به منظور ایجاد تنوع ارسال فضایی، به چند آنتن در گیرنده و چند آنتن در فرستنده نیاز می‌باشد. در صورتی تنوع در ارسال مفید خواهد بود که سیگنال از چند مسیر با حداقل همبستگی به گیرنده برسند. به منظور حداقل کردن همبستگی مسیرهای ارسال سیگنال، آنتن‌های گیرنده و فرستنده باید در فاصله‌ای مناسب از یکدیگر قرار بگیرند [۲]. ولیکن به دلیل کوچک بودن دستگاه فرستنده - گیرنده، قرار گرفتن تعداد زیادی آنتن در کنار یکدیگر با همبستگی کوچک مابین کانال این آنتن‌ها بسیار دشوار می‌باشد.

اخیراً شکل جدیدی از تنوع در ارسال و دریافت ارائه شده است که تنوع مشارکتی نامیده می‌شود [۳-۴]. در این سیستم‌ها مزایای تنوع فضایی با پایه‌هایی که به یک آنتن مجهز می‌باشند را خواهیم داشت. با طراحی مناسب شبکه می‌توان با مشارکت گره‌های مختلف شبکه به کارایی بهتری دست یافت. در ساده‌ترین شکل تنوع مشارکتی با استفاده از گره رله، یک پیغام از فرستنده به گیرنده می‌خواهد ارسال شود. گره سوم که از آن به عنوان گره رله یاد می‌شود هیچ اطلاعاتی برای ارسال ندارد و می‌تواند در ارسال اطلاعات فرستنده کمک کند. این شیوه در نظریه اطلاعات به کانال رله معروف است [۵].

کانال رله اولین بار در ۱۹۷۱ توسط ون-درمولن بیان شد و کران پایین ظرفیت را برای آن به دست آورد [۶]. بعد از آن در ۷۸-۷۹ توسط کوور و کدگذاری‌های مختلف و کران بالای ظرفیت برای چنین کانال‌هایی را بیان کردند. کانال‌های رله نازل، کانال‌های رله نازل معکوس، کانال‌های رله نازل گوسی با محدودیت توان متوسط، کانال‌های رله با فیدبک و کانال‌های رله یقینی از جمله مواردی بود که بررسی شدند [۵-۷]. در سال ۱۹۸۰ شبکه رله نازل توسط عارف بررسی شد [۸]. در ۱۹۸۲ توسط عارف ظرفیت کانال رله شبه یقینی که در آن سیگنال دریافت شده در رله یک تابع یقینی از سیگنال فرستاده شده است بررسی شد [۹].

راهبردهای مختلفی در ارسال مشارکتی وجود دارد از جمله این راهبردها، تقویت و گسیل است که در آن رله سیگنال دریافت شده از منبع را تقویت کرده و برای مقصد می‌فرستد. در این راهبرد نویز نیز تقویت شده و به مقصد می‌رسد [۱۰]. در راهبرد دیگر که کدبرداری و گسیل نام دارد، رله سیگنال دریافتی از منبع را کدبرداری کرده و برای مقصد می‌فرستد. در این حالت نویز در رله تقویت نخواهد شد اما در این حالت ممکن است رله به دلیل نسبت سیگنال به نویز پایین قادر به

کدبرداری از سیگنال منبع نباشد [۱۱-۱۲].

در زمینه بررسی کارایی سیستم‌های مشارکتی تحقیقات فراوانی انجام پذیرفته است. از جمله این موارد می‌توان به بررسی ظرفیت، احتمال خاموشی، نرخ خطای سمبل در کانال‌هایی با محوشوندگی رابلی اشاره کرد [۱۳-۱۴]. بررسی کانال‌های محوشونده ناکاگامی m نیز انجام پذیرفته است [۱۵-۱۷]. در اکثر کارهای فوق دو مرحله در نظر گرفته می‌شود، در مرحله اول منبع سیگنال را ارسال کرده و رله و منبع هر دو سیگنال را دریافت می‌کنند. در مرحله دوم رله سیگنال کدبرداری شده را برای مقصد می‌فرستد و گیرنده مقصد به روش ترکیب MRC سیگنال منبع و رله را ترکیب می‌کند. بنابراین در این روش، رله به شرط کدبرداری صحیح باید همواره در مرحله دوم ارسال اطلاعات داشته باشد که موجب صرف توان، طیف و زمان از گره رله می‌شود. از آنجایی که در این سیستم‌ها گره رله خود یک گره فعال می‌تواند باشد و اطلاعاتی برای ارسال خواهد داشت باید از منابع موجود رله به نحو موثرتری استفاده شود.

همانطور که اشاره شد معمولاً رله خود یک گره فعال در شبکه می‌باشد. به عبارت دیگر رله اطلاعاتی برای ارسال به مقصد مورد نظر خود خواهد داشت. رله برای ارسال سیگنال خود به زمان، توان و پهنای باند احتیاج دارد. در شبکه‌های مبتنی بر شناخت، گره‌های شبکه ثانویه از منابع شبکه اولیه برای ارسال سیگنال خود استفاده می‌کنند. به منظور استفاده بهینه از منابع، گره‌های ثانویه گاه نقش رله برای شبکه اولیه خواهند داشت تا منابع شبکه اولیه بیشتر و زودتر جهت استفاده برای آنها فراهم گردد [۱۴]. بنابراین برای مشارکت در این گونه سیستم‌ها باید ساختار مشارکت را به گونه‌ای تعریف کنیم که رله نیز بتواند از منابع در دسترس خود استفاده کند.

روش دیگری نیز برای مشارکت وجود دارد، در این روش در مرحله اول منبع سیگنال را ارسال کرده و مقصد و رله هر دو سیگنال را دریافت کرده و کدبرداری را انجام می‌دهند. اگر در مقصد کدبرداری به صورت صحیح انجام بگیرد، در مرحله دوم رله اطلاعاتی را ارسال نخواهد کرد. اما اگر عمل کدبرداری در مقصد صورت نپذیرد، مقصد از طریق یک اتصال بازخورد با نرخ پایین و مطمئن از رله درخواست ارسال سیگنال کدبرداری شده را خواهد کرد [۱۸ و ۱۹].

بنابراین رله تنها در مواقعی که خطایی در مقصد رخ دهد مورد استفاده قرار خواهد گرفت. در واقع به گونه‌ای مدیریت منابع (رله) صورت گرفته است. با تخصیص به موقع رله در زمان، توان و طیف مورد استفاده توسط رله می‌توان صرفه‌جویی نمود.

مدل معمول توسط نویسنده مقاله [۲۰]، بررسی و روابط نرخ خطای سمبل برای آن محاسبه شده است. در این مقاله کران بالا و تقریب برای نرخ خطای سمبل نیز محاسبه شده است. در این مقاله ابتدا مدل ارسال و دریافت در یک شبکه متشکل از منبع، رله و گیرنده برای روش مشارکت مدیریت شده بحث خواهد شد. در

ارسالی در مرحله دوم (توان ارسالی توسط رله) را با p_2 نشان می‌دهیم. بنابراین سیگنال دریافتی در مقصد در مرحله دوم به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$y_{rd} = \sqrt{p_2} h_{rd} x + n_{rd} \quad (2)$$

که h_{rd} بهره کانال رله - مقصد و n_{rd} نویز سفید گوسی کانال رله - مقصد با میانگین صفر و واریانس N_0 می‌باشند. بهره تمامی کانال‌ها دارای توزیع احتمال رابلی هستند. اگر بهره کانال رابلی باشد تابع چگالی احتمال متغیر تصادفی h به صورت زیر می‌باشد [۱].

$$P_h(\alpha) = \frac{2\alpha}{\Omega} e^{-\frac{\alpha^2}{\Omega}} \quad (3)$$

که $\Omega = E[h^2]$ واریانس متغیر تصادفی h است. اگر مقصد و رله اطلاعات کانال را داشته باشند نسبت سیگنال به نویزهای گیرنده‌های رله و مقصد در مرحله اول را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\gamma_{sd} = \frac{p_1 |h_{sd}^2|}{N_0}, \gamma_{sr} = \frac{p_1 |h_{sr}^2|}{N_0} \quad (4)$$

در عبارت‌های بالا γ_{sd} و γ_{sr} به ترتیب نسبت سیگنال به نویز در رله و مقصد در مرحله اول می‌باشند. از آنجایی که دو روش نشان داده شده در شکل (۱) مرحله دوم متفاوت دارند نسبت سیگنال به نویز مرحله دوم در مقصد در دو روش متفاوت خواهند بود. در روش اول گیرنده مقصد سیگنال‌های رله و منبع را به صورت MRC ترکیب می‌کند بنابراین نسبت سیگنال به نویز مرحله دوم به صورت زیر است [۲۰].

$$\gamma_{mrc} = \frac{p_2 |h_{rd}^2| + p_1 |h_{sd}^2|}{N_0} \quad (5)$$

در رابطه فوق در صورتی که رله در مرحله اول نتواند از سیگنال منبع کدبرداری نماید $p_2=0$ خواهد بود.

در حالی که در روش دوم در صورت رخداد مرحله دوم، نسبت سیگنال به نویز در مقصد از رابطه زیر به دست خواهد آمد.

$$\gamma_{rd} = \frac{p_2 |h_{rd}^2|}{N_0} \quad (6)$$

در عبارت فوق γ_{rd} نسبت سیگنال به نویز در گیرنده مقصد می‌باشد. اگر رله ارسال اطلاعات نداشته باشد نسبت سیگنال به نویز مرحله دوم تعریف نخواهد شد. با توجه به نسبت سیگنال به نویزهای به دست آمده در دو مرحله در ادامه نرخ خطای سمبل برای هر دو روش نشان داده شده در شکل (۱) را به دست خواهیم آورد.

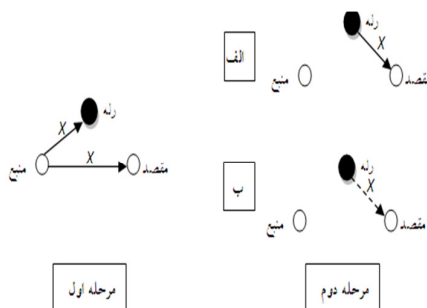
۳- نرخ خطای سمبل

در ابتدا نرخ خطای سمبل برای یک کانال با نسبت سیگنال به نویز γ را به دست می‌آوریم تا در ادامه از آن برای محاسبه نرخ خطای سمبل سیستم مشارکتی با یک رله به صورت مدیریت شده استفاده کنیم. نرخ خطای سمبل برای مدولاسیون M-PSK در نسبت سیگنال به نویز γ به صورت زیر به دست می‌آید [۲۱].

بخش دوم نرخ خطای سمبل این روش را به دست خواهیم آورد. مقایسه این روش با روش مشارکت معمول استفاده شده در [۲۰] در بخش سوم نشان خواهیم داد با مدیریت بر نحوه استفاده از رله می‌توان همزمان با کاهش متوسط توان مصرفی به نرخ خطای سمبل بهتری نیز دست یافت. برای بهبود کارایی، تخصیص توان بهینه توام با مدیریت رله برای سیستم مذکور را در بخش چهارم بررسی می‌کنیم. در انتها با تحلیل‌های عددی و شبیه‌سازی کامپیوتری نشان می‌دهیم که مدیریت بر منابع از جمله توان و زمان استفاده از رله منجر به کاهش نرخ خطای سمبل، کاهش توان متوسط مصرفی و ایجاد فرصت ارسال و دریافت برای رله خواهد شد.

۲- مدل سیستم

دو روش مشارکت توسط رله در شکل (۱) نشان داده شده است. در هر دو روش، مشارکت در دو مرحله صورت می‌گیرد. در مرحله اول منبع سیگنال را در محیط بی‌سیم ارسال می‌کند و مقصد و رله آن را دریافت می‌کنند. در شکل (۱) الف- رله به شرط کدبرداری صحیح از سیگنال مرحله اول، آن را برای مقصد می‌فرستد. ولی با توجه به شکل (۱) ب- در روش دوم، رله تنها هنگامی سیگنال کدبرداری شده را مجدداً ارسال خواهد کرد که مقصد در مرحله اول موفق به کدبرداری نشود و از رله درخواست ارسال سیگنال کند. اگر مقصد بتواند از سیگنال کدبرداری نماید در مرحله دوم رله سیگنال را مجدداً برای مقصد نخواهد فرستاد و منبع می‌تواند سیگنال جدیدی را ارسال کند.



شکل (۱): مدل سیستم مشارکتی توسط رله (الف) روش اول (ب) روش دوم
Fig. (1): Cooperation model with one relay (a) The first method (b) The second method

فرض کنیم منبع در مرحله اول سیگنال x را ارسال کند. سیگنال‌های دریافت شده در مرحله اول در مقصد (D) و رله (R) به ترتیب به صورت زیر خواهند بود:

$$y_{sd} = \sqrt{p_1} h_{sd} x + n_{sd} \quad (1)$$

$$y_{sr} = \sqrt{p_1} h_{sr} x + n_{sr}$$

که h_{sd} بهره کانال‌های منبع - مقصد و منبع - رله بوده و n_{sd} و n_{sr} نویز سفید گوسی با میانگین صفر و واریانس N_0 کانال‌های مربوطه هستند. توان ارسالی در مرحله اول (توان ارسالی منبع) را با p_1 و توان

$$\Psi(\gamma_{mrc}) = \frac{1}{\pi} \int_0^{(M-1)\pi} \left(1 + \frac{b_p \Omega_{sd}}{2N_o \sin^2 \phi}\right)^{-1} \left(1 + \frac{B_p \Omega_{RD}}{2n_o \sin^2 \phi}\right)^{-1} d\phi \quad (14)$$

در عبارت فوق Ω_{sd} واریانس کانال منبع-مقصد بوده و Ω_{rd} واریانس کانال رله - مقصد می‌باشد. از رابطه (۱۳) عبارت زیر باقی می‌ماند.

$$\Psi(\gamma_{sd})\Psi(\gamma_{rd}) = \left\{ \frac{1}{\pi} \int_0^{(M-1)\pi} \left(1 + \frac{b_p \Omega_{sd}}{2N_o \sin^2 \phi}\right)^{-1} d\phi \right\} \times \left\{ \frac{1}{\pi} \int_0^{(M-1)\pi} \left(1 + \frac{b_p \Omega_{rd}}{2N_o \sin^2 \phi}\right)^{-1} d\phi \right\} \quad (15)$$

در بخش بعد نشان داده می‌شود که عبارت (۱۴) بزرگتر از (۱۵) می‌باشد. به عبارت دیگر $SER_{MRC} \geq SER$ می‌باشد.

از طرف دیگر متوسط توان مصرفی در دو روش گفته شده را نیز می‌توان با یکدیگر مقایسه نمود. چون رله همواره در مشارکت دخیل نیست (هنگامی که رله موفق به کدبرداری سیگنال در مرحله اول نشود یا به عبارت دیگر توان مصرفی توسط رله صفر باشد) بنابراین متوسط توان مصرفی در روش اول طبق رابطه زیر به دست می‌آید.

$$MRC = \frac{P}{2} (1 + (1 - \Psi(\gamma_{sr}))) \quad (16)$$

متوسط توان مصرفی در روش دوم نیز به صورت زیر خواهد بود:

$$\bar{P} = \frac{P}{2} (1 + (1 - \Psi(\gamma_{sr}))\Psi(\gamma_{sd})) \quad (17)$$

با مقایسه روابط (۱۶) و (۱۷) دیده می‌شود که توان متوسط مصرفی در روش دوم به دلیل وجود جمله $\Psi(\gamma_{sd})$ کمتر است. نسبت توان مصرفی در دو روش عبارت است از

$$\frac{\bar{P}}{\bar{P}_{MRC}} = \frac{(2 - \Psi(\gamma_{sr}))\Psi(\gamma_{sd})}{2 - \Psi(\gamma_{sr})} = \Psi(\gamma_{sd}) \leq 1 \quad (18)$$

۴- تقریب نرخ خطای سمبل

در رابطه (۱۰) فرض می‌کنیم نسبت سیگنال به نویز بالا باشد بنابراین رابطه (۱۰) به صورت زیر می‌تواند باز نویسی گردد [۲۰].

$$M_\gamma \left(\frac{-b}{\sin^2(\phi)} \right) \cong \left(\frac{b_{p_i} E\{h_j^2\}}{N_o \sin^2 \phi} \right)^{-1} \quad (19)$$

با استفاده از رابطه فوق، نرخ خطای سمبل در نسبت سیگنال به نویز γ به صورت زیر به دست می‌آید [۲۰].

$$\Psi(\gamma) \cong \frac{1}{\pi} \int_0^{(M-1)\pi} \left(\frac{b_{p_i} E\{h_j^2\}}{N_o \sin^2 \phi} \right)^{-1} = \frac{AN_o}{b_{p_i} \Omega_j} \quad (20)$$

که در عبارت فوق P_i توان ارسالی در کانال و Ω_j واریانس کانال است پارامتر A نیز از رابطه زیر به دست می‌آید [۲۰].

$$\Psi(\gamma) = \frac{1}{\pi} \int_0^{(M-1)\pi} M_\gamma \left(\frac{-b}{\sin^2(\phi)} \right) d\phi \quad (7)$$

در مدولاسیون M-PSK متغیر b در رابطه فوق به صورت زیر می‌باشد.

$$b = \sin^2 \frac{\pi}{M} \quad (8)$$

در رابطه (۷) تابع تولید ممان M_γ برای نسبت سیگنال به نویز γ تابع توزیع احتمال $p(\gamma)$ به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$M_\gamma(S) = \int_0^\infty p(\gamma) e^{s\gamma} d\gamma \quad (9)$$

نسبت سیگنال به نویز دریافتی در گیرنده‌ها به صورت $\frac{P_i |h_j^2|}{N_o}$ می‌باشد و h_j ها تابع توزیع احتمال رایلی دارند. بنابراین نسبت سیگنال

به نویز تابع توزیع احتمال نمایی خواهد داشت. با استفاده از رابطه (۹) تابع تولید ممان نسبت سیگنال به نویز با توزیع نمایی به صورت زیر به دست می‌آید [۲۱]:

$$M_\gamma \left(\frac{-b}{\sin^2(\phi)} \right) = \left(1 + \frac{b p_i E\{h_j^2\}}{N_o \sin^2 \phi} \right)^{-1} \quad (10)$$

متوسط نرخ خطای سمبل برای روش اول (مشارکت معمولی) توسط نویسنده [۲۰] به صورت رابطه زیر به دست آمده است.

$$SER_{mrc} = \Psi(\gamma_{sd})\Psi(\gamma_{sr}) + \Psi(\gamma_{mrc})(1 - \Psi(\gamma_{sr})) \quad (11)$$

در رابطه فوق $\gamma_{mrc} = \gamma_{rd} + \gamma_{sd}$ است و تابع تولید ممان آن به صورت زیر به دست می‌آید [۲۱]:

$$M_{\gamma_{mrc}} = M_{\gamma_{rd}} \times M_{\gamma_{sd}} \quad (12)$$

از رابطه (۱۲) در محاسبه نرخ خطای رابطه (۱۱) استفاده می‌شود.

در روش دوم (مدیریت رله) متوسط نرخ خطای سمبل متفاوت با روش مشارکت معمولی به دست می‌آید. در این روش هنگامی از رله استفاده می‌شود که در مرحله اول مقصد موفق به کدگشایی سیگنال نشده باشد (خطا رخ دهد). حال اگر رله توانسته باشد کدگشایی را انجام بدهد در صورتی خطای سمبل رخ می‌دهد که در کانال رله به مقصد خطا رخ دهد. بنابراین رابطه نرخ سمبل خطا در این روش به صورت زیر به دست می‌آید.

$$SER = \Psi(\gamma_{sd})\Psi(\gamma_{sr}) + \Psi(\gamma_{sd})\Psi(\gamma_{rd})(1 - \Psi(\gamma_{sr})) \quad (13)$$

عبارت‌های نرخ خطای سمبل (۱۱) و (۱۳) روابط انتگرالی بوده که به رابطه بسته‌ای منجر نمی‌شوند ولی به صورت عددی توسط کامپیوتر حل خواهند شد.

اگر توان‌های اختصاص داده شده برای مرحله اول و دوم را یکسان ($p_1 = p_2 = \frac{P}{2}$) فرض کنیم، با توجه به این فرض می‌توان نرخ

خطای دو روش را با یکدیگر مقایسه نمود. می‌دانیم که تابع $\Psi(\cdot)$ بزرگتر یا مساوی صفر می‌باشد. برای مقایسه نرخ خطای سمبل در دو روش از دو رابطه (۱۱) و (۱۳) عبارات مشترک را حذف می‌کنیم. از رابطه (۱۱) عبارت زیر باقی می‌ماند.

توان بهینه، عددی بین صفر و یک می باشد. که β ضریب تخصیص

با جایگذاری p_1 و p_2 در رابطه (۲۲) عبارت برحسب ضریب تخصیص توان β به صورت زیر به دست می آید.

$$SER \cong \alpha \left(\frac{1}{\beta^2} + \frac{\left(\frac{\Omega_{sr}}{\Omega_{rd}} \right)}{\beta(1-\beta)} \right) \quad (26)$$

در رابطه فوق $\alpha = \frac{A^2 N_0^2}{b^2 p_1^2 \Omega_{sd} \Omega_{sr}}$ می باشد. با مشتق گیری از 0

نسبت به β و برابر صفر قرار دادن آن ضریب بهینه تخصیص توان به صورت زیر به دست خواهد آمد.

$$\beta = \frac{1 - 4 \frac{\Omega_{rd}}{\Omega_{sr}} + \sqrt{1 + 8 \frac{\Omega_{rd}}{\Omega_{sr}}}}{4(1 - \frac{\Omega_{rd}}{\Omega_{sr}})} \quad \Omega_{sr} \neq \Omega_{rd} \quad (27)$$

$$\beta = \frac{2}{3} \quad \Omega_{sr} = \Omega_{rd}$$

در رابطه بالا β به کیفیت کانال منبع - مقصد بستگی ندارد و این خاصیت از آنجا ناشی می شود که در مرحله اول اگر مقصد بتواند سیگنال را کدبرداری کند به رله نیازی نیست و توانی برای آن تخصیص داده نمی شود. در حالت حدی وقتی که $\frac{\Omega_{rd}}{\Omega_{sr}}$ به سمت صفر

و یا به سمت بی نهایت میل کند β به ترتیب به سمت 0.5 و 1 میل می کند. بنابراین $0.5 \leq \beta \leq 1$ می باشد. این بدین معنا است که همواره اتصال مستقیم بیش از 50% توان را در حالت بهینه به خود اختصاص می دهد. از طرف دیگر β به نوع مدولاسیون (M) بستگی ندارد. در حالی که $\Omega_{sr} = \Omega_{rd}$ ضریب بهینه تخصیص توان برابر

$\frac{2}{3}$ است. در این حالت چون رله در موقعیتی قرار گرفته که کانالهای

منتهی به رله همسان می باشد بنابراین ارسال از طریق رله به صورت کدبرداری و گسیل بهینه به نظر نمی رسد. بنابراین بهتر است از طریق لینک مستقیم با توان بیشتر اطلاعات ارسال گردند.

ضریب تخصیص توان بهینه روش اول نیز با استفاده از رابطه (۲۴) به دست می آید. در مقاله [۲۰] ضریب تخصیص توان بهینه برای روش فوق به صورت زیر بیان شده است.

$$\beta_{MRC} = \frac{1 + \sqrt{1 + 8 \left(\frac{A^2}{B} \right) \left(\frac{\Omega_{rd}}{\Omega_{sr}} \right)}}{3 + \sqrt{1 + 8 \left(\frac{A^2}{B} \right) \left(\frac{\Omega_{rd}}{\Omega_{sr}} \right)}} \quad (28)$$

در رابطه بالا β_{MRC} نیز به کیفیت کانال منبع - مقصد بستگی ندارد. در حالت حدی وقتی که $\frac{\Omega_{rd}}{\Omega_{sr}}$ به سمت صفر و یا به سمت بی نهایت

میل کند β_{MRC} به ترتیب به سمت 0.5 و 1 میل می کند. بنابراین

$$A = \frac{1}{\pi} \int_0^{(M-1)\pi} \sin^2 \phi \, d\phi = \frac{M-1}{2M} + \frac{\sin\left(\frac{2\pi}{M}\right)}{4\pi} \quad (21)$$

با فرض نسبت سیگنال به نویز بالا در رابطه (۱۳) می توان از جمله سوم صرف نظر کرد و با در نظر گرفتن رابطه (۱۰) به شکل بسته ای برای رابطه (۱۳) به صورت زیر خواهیم رسید.

$$SER \cong \frac{A^2 N_0^2}{b^2 p_1^2 \Omega_{sd} \Omega_{sr}} + \frac{A^2 N_0^2}{b^2 p_1 p_2 \Omega_{sd} \Omega_{rd}} \quad (22)$$

فرض کنیم نسبت سیگنال به نویز بالا باشد و پارامتر B به صورت زیر تعریف گردد [۲۰].

$$B = \frac{1}{\pi} \int_0^{(M-1)\pi} \sin^4 \phi \, d\phi \quad (23)$$

رابطه (۱۱) به صورت زیر ساده خواهد شد [۲۰].

$$= \frac{3(M-1)}{8M} + \frac{\sin\left(\frac{2\pi}{M}\right)}{4\pi} - \frac{\sin\left(\frac{4\pi}{M}\right)}{32\pi}$$

$$SER_{MRC} \cong \frac{A^2 N_0^2}{b^2 p_1^2 \Omega_{sd} \Omega_{sr}} + \frac{BN_0^2}{b^2 p_1 p_2 \Omega_{sd} \Omega_{rd}} \quad (24)$$

اثبات می شود که تابع $\frac{A^2}{B}$ تابعی یکنوا و صعودی بر حسب M می باشد بنابراین حداکثر مقدار خود را به ازاء Mهای بزرگ خواهد داشت (به ضمیمه رجوع شود). طبق روابط (۲۱) و (۲۳) می توان به عبارت $\lim_{M \rightarrow \infty} \frac{A^2}{B} = \frac{2}{3}$ رسید.

با توجه به روابط (۲۲) و (۲۴) و ذکر این نکته که $A^2 \leq B$ می باشد، اگر توان های اختصاص داده شده در مرحله اول و مرحله دوم برای هر دو روش را یکسان فرض کنیم نرخ خطای سمبل در روش اول بیشتر از روش دوم است.

$$\frac{SER_{MRC}}{SER} \cong \frac{4A^2 N_0^2 + 4BN_0^2}{4A^2 N_0^2 + 4A^2 N_0^2} \frac{b^2 p_1^2 \Omega_{sd} \Omega_{rd} \Omega_{sr}}{b^2 p_1^2 \Omega_{sd} \Omega_{rd} \Omega_{sr}}$$

$$= \frac{4A^2 N_0^2 + 4BN_0^2}{4A^2 N_0^2 + 4A^2 N_0^2} \quad (25)$$

$$= \frac{A^2 + B}{2A^2} \geq 1$$

برای مقایسه بهتر دو روش باید توان های اختصاص داده شده در مرحله اول و دوم را به صورت بهینه برای هر دو روش به گونه ای به دست آوریم که نرخ خطای سمبل در هر دو روش حداقل گردد. آنگاه می توانیم حداکثر نرخ خطای هر دو روش را با یکدیگر مقایسه کنیم. در بخش بعدی تخصیص توان بهینه بحث می گردد.

۵- تخصیص توان بهینه

فرض کنیم مجموع توان های ارسالی در دو مرحله عدد ثابت P باشد یا به عبارت دیگر $(p_1 + p_2 = P)$ باشد. بنابراین

با بازنویسی نرخ خطای سمبل دو روش نسبت نرخ خطای روش اول به روش دوم به صورت زیر خواهد بود.

$$\frac{SER}{SER_{MRC}} = \frac{\alpha' \left(\frac{1}{\beta^2} + \frac{\left(\frac{\Omega_{sf}}{\Omega_{rd}} \right)}{\beta(1-\beta)} \right)}{P_{MRC}^2 \left(\frac{1}{\beta_{MRC}^2} + \frac{\frac{B}{A^2} \left(\frac{\Omega_{sf}}{\Omega_{rd}} \right)}{\beta_{MRC}(1-\beta_{MRC})} \right)} \quad (33)$$

در رابطه بالا $\alpha' = \frac{A^2 N_0}{b^2 \Omega_{sd} \Omega_{sf}}$ می‌باشد. با توجه به اینکه با فرض

$$\frac{\beta_{MRC}}{\beta} \leq 1 \text{ و } \frac{P_{MRC}}{P} \leq 1 \text{ مساوی بودن توان متوسط مصرفی، می‌باشند، رابطه (33) به صورت زیر بازنویسی می‌شود:} \quad (34)$$

$$\frac{SER}{SER_{MRC}} = \frac{\alpha' \left(\frac{1}{\beta^2} + \frac{\left(\frac{\Omega_{sf}}{\Omega_{rd}} \right)}{\beta(1-\beta)} \right)}{\alpha' \left(\frac{1}{\beta_{MRC}^2} + \frac{\frac{B}{A^2} \left(\frac{\Omega_{sf}}{\Omega_{rd}} \right)}{\beta_{MRC}(1-\beta_{MRC})} \right)}$$

$$\leq \frac{\frac{\left(\frac{\Omega_{sf}}{\Omega_{rd}} \right)}{\beta(1-\beta)}}{\frac{B}{A^2} \left(\frac{\Omega_{sf}}{\Omega_{rd}} \right)} \leq \frac{A^2 (1-\beta_{MRC})}{1-\beta} \quad (35)$$

چون $\frac{\beta_{MRC}}{\beta} \leq 1$ است، بنابراین $\frac{(1-\beta_{MRC})}{1-\beta} \geq 1$ می‌باشد.

$$(1-\beta) - c(1-\beta_{MRC}) = \frac{(-8c + 3\sqrt{1+8ac}) - 3\sqrt{1+8a} - \sqrt{1+8ac}\sqrt{1+8ac} + 8ac + 9}{4(a-1)(3+\sqrt{1+8ac})}$$

به ازاء $c=1$ عبارت فوق برابر با صفر و به ازای c های کوچکتر عبارت فوق مثبت می‌گردد. بنابراین $\frac{SER}{SER_{MRC}} \leq 1$ است یعنی به ازاء

توان متوسط مصرفی مساوی در هر دو روش خطا در روش اول بیشتر از روش دوم می‌باشد یا به عبارت دیگر $SER \leq SER_{MRC}$ است.

۶- نتایج عددی

در این بخش به منظور ارزیابی و بررسی تحلیل‌های آورده شده در قسمت‌های قبل با استفاده از نتایج عددی و شبیه‌سازی به مقایسه دو روش گفته شده می‌پردازیم. برای پیشبرد تحلیل فرض می‌کنیم یک

$0.5 \leq \beta_{MRC} \leq 1$ می‌باشد. این بدین معنا است که همواره اتصال مستقیم بیش از 50% توان را در حالت بهینه به خود اختصاص می‌دهد. بر خلاف روش دوم در این روش β_{MRC} به نوع مدولاسیون (M) بستگی دارد. در این روش هرچه کیفیت کانال منبع-رله نسبت به کانال رله - مقصد بهتر باشد، ضریب تخصیص توان کوچکتر خواهد بود و این بدین معنا است که ارسال سیگنال از طریق رله می‌تواند موثر واقع گردد. اگر کانال منبع - رله کیفیت پایینی داشته باشد، ضریب تخصیص توان بزرگتر خواهد بود. به عبارت دیگر بهتر است اطلاعات به صورت مستقیم و بدون مشارکت رله فرستاده شود.

از آنجایی که $\frac{A^2}{B} \leq 1$ است می‌توان به این نتیجه رسید که $\beta_{MRC} \leq \beta$ می‌باشد. با تعریف $a = \frac{\Omega_{rd}}{\Omega_{sf}}$ در روابط (27) و (28) و $c = \frac{A^2}{B}$ خواهیم داشت. (29)

$$\beta - \beta_{MRC} = \frac{(1 + 3\sqrt{1+8ac} - 3\sqrt{1+8a}) - \sqrt{1+8ac}\sqrt{1+8ac} + 8a}{4(a-1)(3+\sqrt{1+8ac})}$$

در رابطه (28) بزرگترین مقادیر β_{MRC} به ازاء c های بزرگ خواهد بود. بنابراین به ازاء $c=1$ اختلاف $\beta - \beta_{MRC} = 0$ خواهد شد. به ازاء $c=0$ اختلاف حداکثر می‌شود و برابر با 0.5 خواهد شد. بنابراین همواره $\beta - \beta_{MRC} \geq 0$ می‌باشد.

اگر در هر روش از ضرایب تخصیص توان بهینه مربوط به خودش استفاده کنیم، توان متوسط مصرفی کل در روش اول عبارت است از: (30)

$$\bar{P}_{MRC} = P_{MRC} (\beta_{MRC} + (1-\beta_{MRC}) \times (1 - \Psi(\gamma_{sf_{MRC}})))$$

در رابطه فوق P_{MRC} مجموع توان‌های مرحله اول و دوم در روش اول است. متوسط توان مصرفی کل در روش دوم به صورت زیر خواهد بود.

$$\bar{P} = P(\beta + (1-\beta)(1 - \Psi(\gamma_{sf}))\Psi(\gamma_{sd})) \quad (31)$$

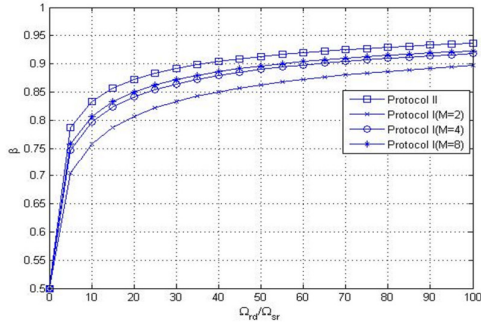
در رابطه فوق P مجموع توان‌های مرحله اول و دوم در روش دوم است. در دو رابطه قبل فرض می‌کنیم که نسبت سیگنال به نویز به اندازه کافی بزرگ است که بتوان از خطا در اتصال منبع - رله صرف‌نظر کرد. حال اگر توان متوسط مصرفی هر دو روش را یکسان در نظر بگیریم در نتیجه خواهیم داشت.

$$P_{MRC} = P(\beta + (1-\beta)\Psi(\gamma_{sd})) \quad (32)$$

از آنجایی که $0 \leq \Psi(\gamma_{sd}) \leq 1$ است، بنابراین به این نتیجه می‌رسیم که $\beta \leq \frac{P_{MRC}}{P} \leq 1$ است. به عبارت دیگر اگر توان متوسط

مصرفی هر دو روش یکسان باشد. باید مجموع توان‌های مرحله اول و دوم در روش اول کمتر از روش دوم باشد.

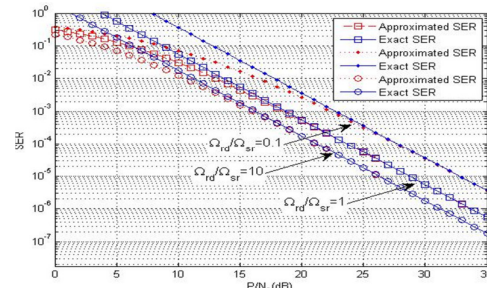
با استفاده از مقادیر جدول (۱) در رابطه (۱۷) ضریب تخصیص توان بهینه روش اول به دست می‌آید که به همراه ضریب تخصیص توان بهینه روش دوم (رابطه (۱۶)) در شکل (۱) رسم شده‌اند. به ازاء واریانس‌های مختلف برای کانال‌های منبع - رله و مقصد، ضریب بهینه تخصیص توان برای هر دو روش در شکل (۳) رسم شده است. همان طور که دیده می‌شود $0.5 \leq \beta \leq 1$ می‌باشد. هرچه کیفیت کانال منبع-رله نسبت به کانال رله-مقصد بهتر باشد ضریب β کوچکتر است و این بدین معنا است که استفاده از رله برای ارسال اطلاعات مفیدتر است.



شکل (۳): ضریب بهینه تخصیص توان در کانال رایلی
Fig. (3): Optimum power allocation coefficient for Rayleigh channel.

نتیجه دیگری که از این نمودار می‌توان استنباط کرد این است که β در روش دوم از β روش اول برای همه مدولاسیون‌ها بزرگتر است. به عبارت دیگر در روش دوم سهم بیشتری برای منبع در نظر گرفته شده است. زیرا در این روش رله فقط در مواقعی که مقصد موفق به کدبرداری صحیح نشده بوده مورد استفاده قرار می‌گیرد. همانطور که در متن گفته شد برای مقایسه نرخ خطای سمبل در روش باید نرخ خطای سمبل هر دو روش برحسب توان متوسط مصرفی هر روش که در روابط 0 و 0 به دست آمده‌اند رسم گردند. در این آزمایش $\Omega_{rd} = \Omega_{sd} = 1$ در نظر گرفته شده است. از شکل (۴) دیده می‌شود که هر چه کیفیت کانال منبع - رله بدتر می‌شود نرخ خطای هر دو روش بیشتر می‌شود. از طرف دیگر به ازاء توان متوسط مصرفی برابر، تفاوت نرخ خطای سمبل در روش به یکدیگر نزدیک می‌شوند. این امر به این دلیل است که با کم شدن نسبت سیگنال به نویز اتصال منبع - رله، رله عملاً برای مشارکت مفید نبوده و در هیچکدام از روش‌ها مورد استفاده واقع نخواهد شد. با توجه به نتایج شکل (۴) در حالتی که $\Omega_{sr} = \Omega_{rd} = \Omega_{sd} = 1$ باشد به ازاء نرخ خطای سمبل 10^6 در توان متوسط مصرفی حدود 2.5dB صرفه‌جویی می‌شود. همچنین به ازای توان متوسط 35dB نرخ خطای سمبل از $10^{-6.1}$ به $10^{-6.6}$ کاهش یافته است.

سیستم متشکل از سه گره منبع، مقصد و رله داریم. گره رله و مقصد قادر به تشخیص اینکه سیگنال را به صورت صحیح کدبرداری کرده‌اند یا خیر، خواهند بود. مدل کانال همانطور که گفته شد رایلی با نویز سفید جمع شونده گوسی با $N_0=1$ فرض می‌شود و مدولاسیون M-PSK در نظر گرفته شده است. در ابتدا جهت بررسی معتبر بودن تقریب‌های استفاده شده در بخش ۴، مقادیر دقیق و تقریبی نرخ خطای سمبل را با یکدیگر مقایسه کرده‌ایم.



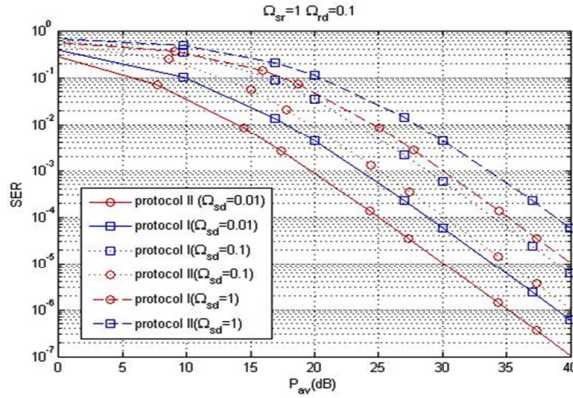
شکل (۲): تفاوت نرخ خطای سمبل واقعی و تقریبی به ازاء $\frac{\Omega_{rd}}{\Omega_{sr}}$ مختلف
Fig. (2): Comparison of the exact SER formulation and the approximated for different $\frac{\Omega_{rd}}{\Omega_{sr}}$

در شکل (۲) مقادیر واقعی و تقریبی نرخ خطای سمبل مدولاسیون 4-PSK به ازاء نسبت‌های متفاوت $\frac{\Omega_{rd}}{\Omega_{sr}}$ برای روش دوم رسم شده است. در این آزمایش $\Omega_{sr} = \Omega_{sd} = 1$ در نظر گرفته شده است. همانطور که از شکل مشخص است در نسبت سیگنال به نویزهای بالا مقدار واقعی که از رابطه (۱۳) به دست آمده با مقدار تقریبی که از رابطه (۲۲) به دست می‌آید بسیار نزدیک می‌باشند. به طور مثال در حالت $\frac{\Omega_{rd}}{\Omega_{sr}} = 10$ ، تفاوت برای نسبت سیگنال به نویزهای بزرگتر از 15dB برابر با 0.14 و برای نسبت سیگنال به نویزهای بزرگتر از 20dB برابر با 0.043 می‌باشد. در ادامه به مقایسه دو روش گفته شده در بخش سوم خواهیم پرداخت. مقایسه ضریب تخصیص توان بهینه دو روش می‌تواند مفید باشد. در جدول (۱) مقادیر $\frac{A^2}{B}$ برای مدولاسیون‌های مختلف آورده شده است. همانطور که از جدول دیده می‌شود مقادیر صعودی بوده و به 0.66 میل می‌کند.

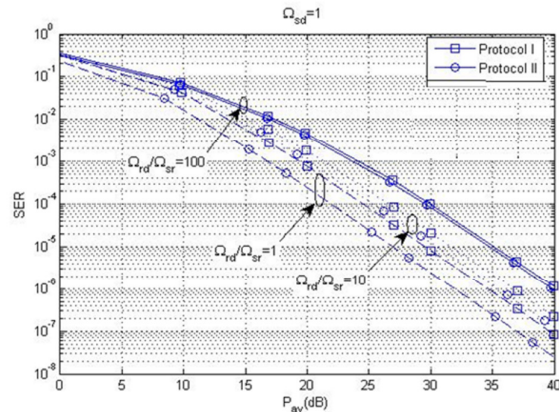
Tabel (1): The value of $\frac{A^2}{B}$ in different constellation size

جدول (۱): مقادیر $\frac{A^2}{B}$ در مدولاسیون‌های مختلف

M	$\frac{A^2}{B}$
2	0.33
4	0.57
8	0.65
16	0.66

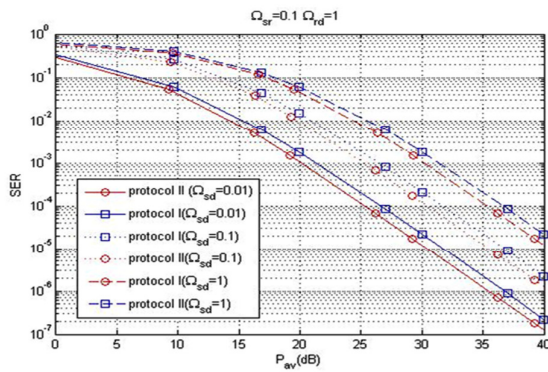


شکل (۵): مقایسه نرخ خطای سمبل دو روش به ازاء مختلف Ω_{sd}
 Fig. (5): SER comparison of two methods for different Ω_{sd}



شکل (۴): مقایسه نرخ خطای سمبل دو روش به ازاء مختلف $\frac{\Omega_{rd}}{\Omega_{sr}}$

Fig.(4): SER comparison of two methods for different $\frac{\Omega_{rd}}{\Omega_{sr}}$



شکل (۶): مقایسه نرخ خطای سمبل دو روش به ازاء مختلف Ω_{sd}
 Fig.(6): SER comparison of two methods for different Ω_{sd}

به منظور مقایسه بهتر نرخ خطای سمبل دو روش می‌توان به شکل (۵) توجه کرد. در این آزمایش $\Omega_{sr} = 1$ ، $\Omega_{rd} = 0.1$ در نظر گرفته شده است و برای مقادیر مختلف Ω_{sd} نمودار رسم شده است. همانطور که از شکل (۵) مشخص است تفاوت نرخ خطای سمبل دو روش در نسبت سیگنال به نویزهای بالا برای Ω_{sd} متفاوت تغییر چندانی نمی‌کند. اما در توان‌های پایین هرچه Ω_{sd} کوچکتر باشد تفاوت نرخ خطای سمبل دو روش کمتر شده و به یکدیگر نزدیک می‌گردند. دلیل این اتفاق این است که با بدتر شدن کانال منبع - مقصد میزان فراخوانی رله در روش دوم زیاد شده و بنابراین مانند روش اول همواره رله ارسال اطلاعات خواهد داشت. در توان‌های بالا (نسبت سیگنال به نویز بالا) این تفاوت کمتر به چشم خواهد خورد زیرا در این حالت نیز رله کمتر فراخوانی می‌شود.

در آزمایش دیگری $\Omega_{sr} = 0.1$ ، $\Omega_{rd} = 1$ در نظر گرفته شده است و برای مقادیر مختلف Ω_{sd} نمودار رسم شده است. از شکل (۵) مشاهده می‌گردد که تفاوت نرخ خطای سمبل دو روش نیز در این حالت در نسبت سیگنال به نویزهای بالا برای Ω_{sd} های متفاوت تغییر چندانی نمی‌کند. اما در توان‌های پایین هرچه Ω_{sd} کوچکتر باشد تفاوت نرخ خطای سمبل دو روش کمتر شده و به یکدیگر نزدیک می‌شوند.

با مقایسه نمودارهای شکل (۵) و شکل (۶) دیده می‌شود که هر چه کانال منبع - رله کیفیت پایین‌تری نسبت به کانال رله مقصد داشته باشد نمودارهای نرخ خطای سمبل به یکدیگر نزدیک‌تر می‌شوند. بنابراین روش دوم هنگامی کارایی بیشتری خواهد داشت که نسبت سیگنال به نویز کانال منبع - رله بالا باشد.

به منظور روشن‌تر شدن نتایج، در آزمایش دیگری ضریب تخصیص توان برای هر دو روش را یکسان فرض می‌کنیم (در این حالت الزاماً ضرایب دیگر بهینه نیستند). مجموع توان‌های مرحله اول و دوم هر دو روش را نیز یکسان فرض می‌کنیم. بنابراین متوسط توان مصرفی گره منبع برای هر دو روش یکسان خواهد شد. اما متوسط توان مصرفی کل سیستم در دو روش با یکدیگر متفاوت خواهد بود.

فرض می‌کنیم $\Omega_{sr} = \Omega_{rd} = \Omega_{sd} = 1$ و $M=4$ باشد. در این حالت ضریب تخصیص توان به صورت بهینه برای روش اول $\beta_{MRC} = 0.627$ خواهد بود و برای روش دوم $\beta = 0.666$ می‌باشد. در این آزمایش، ضریب تخصیص توان را عدد 0.627 در نظر گرفته‌ایم. اگر $M=8$ باشد ضریب تخصیص توان برابر با $\beta_{MRC} = 0.6358$ در نظر گرفته شده است. برای $M=2$ ضریب تخصیص توان را $\beta_{MRC} = 0.5931$ در نظر گرفته‌ایم.

همان‌طور که از شکل (۷) دیده می‌شود در این حالت نیز نرخ خطای سمبل در روش دوم از نرخ خطای سمبل روش اول کمتر است. نکته دیگری که از شکل دیده می‌شود هر چه M بزرگتر شود نرخ خطای دو روش به یکدیگر نزدیک می‌شود.

ضمیمه ۱

در مدولاسیون‌های M-PSK می‌دانیم که $M=2^k$ و $k=1,2,\dots$ می‌باشد. پس

$$0 \leq \sin\left(\frac{\pi}{M}\right) \leq 1, \quad 0 \leq \sin\left(\frac{\pi}{M}\right) \leq 1 \quad (36)$$

با توجه به روابط (۲۱) و (۲۳) خواهیم داشت.

$$\frac{\partial}{\partial M} \left(\frac{A^2}{B} \right) = \frac{2AB \sin^2\left(\frac{\pi}{M}\right) - A^2 \sin^4\left(\frac{\pi}{M}\right)}{M^2 B^2} \quad (37)$$

$$= \frac{A^2 \sin^2\left(\frac{\pi}{M}\right)}{M^2 B^2} \left(\frac{2B}{A} - \sin^2\left(\frac{\pi}{M}\right) \right)$$

از سوی دیگر خواهیم داشت.

$$\frac{2B}{A} = \frac{1}{4} \frac{12\pi(M-1) + M \left(8 \sin\left(\frac{2\pi}{M}\right) - \sin\left(\frac{4\pi}{M}\right) \right)}{2\pi(M-1) + M \sin\left(\frac{2\pi}{M}\right)} \quad (38)$$

با توجه به رابطه (۳۶) و (۳۸) داریم.

$$\frac{2B}{A} \geq \frac{1}{4} \frac{12\pi(M-1)}{2\pi(M-1+M)} \quad (39)$$

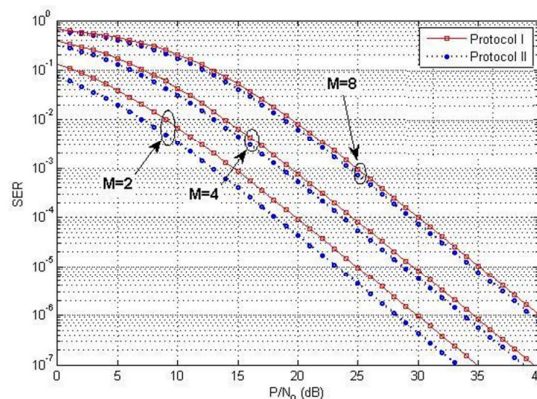
از آنجایی که حداقل M برابر ۲ می‌باشد بنابراین

$$\frac{2B}{A} \geq \frac{1}{4} \frac{12\pi(M-1)}{2\pi(M-1)+M} \geq \frac{3\pi}{2\pi+2} \geq 1 \quad (40)$$

با توجه به اینکه $\sin^2\left(\frac{\pi}{M}\right) \leq 1$ می‌باشد بنابراین

$$\frac{2B}{A} - \sin^2\left(\frac{\pi}{M}\right) \geq 0 \quad (37) \text{ ثابت}$$

می‌گردد که تابع $\frac{A^2}{B}$ تابعی یکنوا و صعودی است.



شکل (۷): مقایسه نرخ خطای سمبل دو روش در ضریب تخصیص توان برابر

Fig. (7): SER comparison of two methods in equal power allocation coefficient.

۷- نتیجه گیری

در این مقاله دو روش برای ارسال داده با مشارکت رله بررسی شد. در یک روش رله همواره در مرحله دوم به ارسال اطلاعات می‌پردازد و مقصد با ترکیب سیگنال فرستنده در مرحله اول و سیگنال ارسالی رله در مرحله دوم به صورت MRC به بهبود نسبت سیگنال به نویز در گیرنده کمک می‌کند. از آنجایی که در این روش رله در مرحله دوم همواره ارسال اطلاعات دارد توان متوسط مصرفی بالا می‌رود، بنابراین رله به صورت بهینه مورد استفاده قرار نگرفته است. روش دیگر برای مشارکت رله، استفاده از رله در مواقعی است که مقصد نتوانسته باشد در مرحله اول از سیگنال منبع کدبرداری کرده باشد. در این صورت به علت استفاده بهینه از رله، در عین کاهش نرخ خطای سمبل، توان متوسط مصرفی نیز کاهش پیدا می‌کند. در این روش تخصیص توان به صورت بهینه مستقل از چینش مدولاسیون M-PSK می‌تواند انجام گیرد. نشان داده شد که مستقل از نوع مدولاسیون همواره ضریب تخصیص بهینه توان در روش دوم بزرگتر از روش اول است. از سوی دیگر نرخ خطای سمبل اول مستقل از تعداد سمبلها و بزرگتر از نرخ خطای سمبل دوم است.

References

- [1] D. Tse, P. Viswanath, *Fundamentals of wireless communication*. Cambridge, U.K: Cambridge Univ Press, 2005.
- [2] S. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.16, No.8, pp.1451-1458, Oct 1998
- [3] J.N. Laneman, D.N.C. Tse, W.W. Gregory W., "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior", *IEEE Trans. on Information Theory*, Vol. 50, No. 12, pp. 3062-3080, Dec. 2004.
- [4] J.N. Laneman, W. Wornell Gregory, "Distributed space-time-coded protocols for exploiting cooperative diversity in wireless networks" *IEEE Trans. on Information Theory*, Vol. 49, No. 10, pp. 2415-2425, Oct. 2003
- [5] A.E. Gamal, "Results in Multiple User Channel Capacity," PhD, Stanford University, 1978.
- [6] E.C. v.-d. Meulen, "Three-terminal communication channels," *Adv.Appl.Prob*, Vol. 3, p. 34, 1971.
- [7] T. Cover, A.E. Gamal, "Capacity theorems for the relay channel", *IEEE Trans. on Information Theory*, Vol. 25, No. 5, pp. 572,584, Sep 1979
- [8] M.R. Aref, "Information flow in relay networks," PhD, Stanford University, October 1980.
- [9] A.E. Gamal, M.R.Aref, "The Capacity of the Semi-Deterministic Relay Channel", *IEEE Trans. on Information Theory*, Vol. 28, p. 526, May 1982.
- [10] J.N. Laneman, W. Wornell Gregory, D.N.C. Tse., "An efficient protocol for realizing cooperative diversity in wireless networks," *Proceeding of the IEEE/ISIT*, Washington, DC, June 2001.
- [11] A. Sendonaris, E. Erkip, B. Aazhang, "User cooperation diversity. Part II. Implementation aspects and performance analysis", *IEEE Trans on Communications*, Vol. 51, No. 11, pp. 1939-1948, Nov. 2003.
- [12] A. Sendonaris, E. Erkip, B. Aazhang, "User cooperation diversity. Part I. System description", *IEEE Trans on Communications*, Vol. 51, No. 11, pp. 1927-1938, Nov. 2003
- [13] GAO, Zhenguo, et al., "Outage performance of cognitive DF relay networks with nonidentical Rayleigh fading channels and maximal ratio combining", *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, Vol. 69, No. 1, pp. 141-150., 2015.
- [14] H.A. Suraweera, P.J. Smith, N.A. Surobhi, "Exact outage probability of cooperative diversity with opportunistic spectrum access", *Proceeding of the IEEE/ICC*, pp.79,84, May 2008.
- [15] J. Zhang, T.Y. Zhang, J.X. Huang, R.P. Yuan, "Selective decode-and-forward cooperation over Nakagami-m fading channels", *Electronics Letters*, Vol. 45, No. 15, pp. 786-788, July 2009.
- [16] W. Zheng, R. Zhao, X. Wen, D. Su, "Symbol error rate of multi-relay decode-and-forward cooperative communication systems under Nakagami-m fading", *Future Networks*, *Proceeding of the IEEE/ICFN*, Vol. 1, No. 1, pp. 58-62, Jan. 2010.
- [17] M. Tsai, Y. Lee, "SER and optimal power allocation for DF cooperative communications over Nakagami-m fading channels", *Proceeding of the IEEE/VTC*, Vol. 1, No. 1, pp. 1251-1255, 11-14 May 2008.
- [18] R. Aghajani, R. Saadat, M.R. Aref, "Power allocation and performance analysis for incremental-selective decode-and-forward cooperative communications over nakagami-m fading channels", *IEICE Trans. Commun.*, Vol. E96-B, No. 6, pp. 1531-1539, July 2013.
- [19] R.A. Renani, R. Saadat, M.R. Aref, G. Mirjalily, "SER of M-PSK modulation in incremental-selective decode-and-forward cooperative communications over Rayleigh fading channels", *Proceeding of the IEEE/ICACT*, pp. 432-437, 2011.
- [20] W. Su, et al., "Cooperative communication protocols in wireless networks: Performance analysis and optimum power allocation", *Wireless Personal Communications*, Vol. 44, pp. 181-217, 2008.
- [21] A. Goldsmit, *Wireless Communications*, 1 ed.: Cambridge University Press., 2005.