

شکل دهی سه بعدی پرتو و بهبود نرخ امن در شبکه های مخابراتی بی سیم-توان داده شده مبتنی بر صفحات بازتابی هوشمند

کوثر انصاری^۱، مهدی مجیدی^۲

^۱ دانشکده ی مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه کاشان، K.ansari74@grad.kashanu.ac.ir

^۲ دانشکده ی مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه کاشان، m.majidi@kashanu.ac.ir

چکیده - امروزه شکل دهی سه بعدی پرتو به علت بهبود عملکرد شبکه های مخابراتی با استقبال خوبی مواجه شده است. پژوهش حاضر بر روی سیستمی مخابراتی با قابلیت توان رسانی بی سیم به کاربران انجام شده که در آن ایستگاه پایه (BS^1) قابلیت شکل دهی پرتو به صورت سه بعدی را داراست. فناوری صفحات بازتابی هوشمند (IRS^2) ایده ی نوینی در مخابرات بی سیم است که به علت کاربردهای مختلف و نقش بالا در افزایش بازدهی سیستم های مخابراتی بی سیم توجه بسیاری را به خود جلب نموده است. در سیستم مورد بررسی در این مقاله نیز، جهت افزایش امنیت شبکه و بهبود توان رسانی به کاربران از IRS استفاده می نماییم؛ به طوری که با استفاده از این صفحات علاوه بر تغذیه ی کاربران، از شنود اطلاعات مخابره شده جلوگیری می شود. طی بررسی های صورت گرفته به این نتیجه رسیدیم که با تنظیم جهت شکل دهی پرتو به سمت مکان کاربر یا IRS ، شاهد بهبود قابل توجه سیگنال به نویز (SNR^3)، نرخ امن و برداشت انرژی توسط کاربر خواهیم بود و با دور شدن از این دو مکان، سه شاخص ذکر شده، کاهش می یابند. علاوه بر آن بررسی های انجام شده نشان می دهند افزایش تعداد المان های IRS ، افزایش SNR را همراه خواهد داشت.

کلید واژه - شبکه های مخابراتی بی سیم توان داده شده، شکل دهی سه بعدی پرتو، صفحات بازتابی هوشمند، نرخ امن

۱- مقدمه

به بازدهی و کیفیت بالاتری در سیستم دست یافت. اما این روش معمولاً در دوبعد (صفحه ی مختصات افقی یا عمودی) مورد استفاده قرار می گیرد اما جهت بهبود عملکرد سیستم ها در روش جدیدتری شکل دهی پرتو در سه بعد (هر دو صفحه ی مختصات عمودی و افقی) مورد مطالعه قرار گرفته است [۲]. در صورتیکه فناوری فعلی تامین انرژی یکی از دغدغه های مهم انسان به شمار می رود. شبکه های مخابراتی بی سیم علاوه بر تبادل اطلاعات، قابلیت تغذیه ی بی سیم کاربران خود را نیز می توانند داشته باشند. تبادل اطلاعات و

گسترش روزافزون مخابرات بی سیم برکسی پوشیده نیست. این گسترش با انبوهی از کاربران و داده ها همراه است که سبب به کارگیری روش های جدیدتری از جمله سیستم های چندآنتنی شده است. به درستی استفاده از این سیستم ها جهت بهبود سرویس دهی به کاربران بسیار موثر است اما برای ارتقاء کیفیت سرویس دهی به کاربران توسط سیستم های چندآنتنی به روش های دیگری نیاز است که یکی از این روش ها شکل دهی پرتو است [۱]. روشی که به وسیله ی آن می توان با ارسال سیگنال در جهت مورد نظر،

^۱ Base Station

^۲ Intelligent Reflecting Surface

^۳ Signal to Noise Ratio

ویژه‌ای دارد. به‌طور کلی هر چه نرخ انتقال سیگنال از فرستنده به گیرنده بیشتر و نرخ انتقال سیگنال از فرستنده به شنودگر کمتر باشد، نرخ امن بیشتر می‌باشد. مقالات [۸] - [۱۰] به بررسی امنیت اطلاعات در سیستم‌های MISO و SWIPT پرداخته‌اند. جهت دستیابی به سیستمی بهینه و مناسب در زمینه‌ی انرژی، امنیت و... مبحث IRS یا سطوح پیکربندی مجدد هوشمند (RIS^۷) ارائه شده‌است. [۲] به بررسی شکل‌دهی پرتو به صورت سه بعدی در شبکه‌های مخابراتی بی‌سیم مبتنی بر IRS پرداخته‌است. همان‌طور که بیان شد یکی از کاربردهای IRS افزایش امنیت در شبکه‌های مخابراتی است. تاثیر IRS در افزایش امنیت سیستم‌های بی‌سیم مخابراتی در [۱۰] و [۱۱] بررسی شده‌است.

در این مقاله، شبکه‌های مخابراتی SWIPT به صورت چند ورودی تک خروجی (MISO^۸) مورد بررسی قرار می‌گیرند و با استفاده از یک BS تبادل اطلاعات و همچنین تغذیه‌ی کاربران به کمک شکل‌دهی سه بعدی پرتو صورت می‌گیرد. BS با بهره‌گیری از شکل‌دهی سه بعدی پرتو سیگنال را ارسال می‌کند و سیگنال از مسیر مستقیم (از طریق BS) و از مسیر غیر مستقیم (از طریق IRS) به کاربر می‌رسد و کاربر از طریق این سیگنال، هم اطلاعات دریافت می‌کند و هم انرژی مورد نیاز خود را تامین می‌نماید. همچنین در این سیستم یک شنودگر هم در نظر گرفته شده‌است، به طوری که سیگنال‌های ارسالی به وسیله‌ی BS علاوه بر کاربر، می‌تواند توسط شنودگر هم دریافت و شنودگر در اما کار جدیدی که در این پژوهش انجام شده‌است این است که از IRS هم برای دریافت بهتر سیگنال، هم تغذیه‌ی کاربران و هم تامین امنیت سیستم در کنار استفاده از شکل‌دهی سه بعدی پرتو استفاده شده‌است.

۲- مدل سیستم

در این پژوهش سیستمی MISO و SWIPT با یک BS شامل M آنتن، یک کاربر تک آنتنی (UE^۹) و یک IRS با تعداد N آرایه و یک شنودگر (EE^{۱۰}) تک آنتنی مفروض است. مدل سیستم در شکل (۱) ارائه شده‌است که نحوه‌ی انتقال داده و توان بی‌سیم در یک شبکه‌ی

تغذیه‌ی بی‌سیم کاربران (WIPT^۴) با روش‌های مختلفی قابل پیاده‌سازی است؛ یکی از این روش‌ها که توجه بسیاری را به خود جلب نموده SWIPT^۵ است [۳].

بی‌تردید بحث امنیت یکی از ضروریات شبکه‌های مخابراتی است و هنگام مخابره‌ی اطلاعات لازم است پیام توسط گیرنده‌های دیگری به جز گیرنده‌ی مورد نظر ما شنود نگردد. این مشخصه به صورت کمی با مفهومی به نام نرخ امن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مفهومی که با به‌دست آوردن اختلاف بین ظرفیت شانون مبدا و ظرفیت شانون شنودگر به‌دست می‌آید. یکی از ابزارهای مفید در زمینه‌ی افزایش نرخ امن و تغذیه‌ی کاربران سیستم‌های مخابراتی بی‌سیم، IRS است. این صفحات دارای تعداد زیادی سلول کوچک هستند که هر کدام با ایجاد تغییراتی در فاز، دامنه، فرکانس و قطبش سیگنال [۴] علاوه بر حوزه‌های امنیت، در زمینه‌های دیگری همچون تقویت سیگنال، بهبود ظرفیت سیستم، تقویت بهره‌ی چندگانگی^۶ و به‌طور کلی افزایش بازدهی سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرند. این سطوح هوشمند شامل آرایه‌هایی از واحدهای کوچک IRS هستند که هر کدام از آن‌ها به طور جداگانه تغییراتی را در سیگنال‌ها ایجاد می‌نمایند.

همان‌طور که بیان شد یکی از ایده‌های نوین ناشی از فراگیری گسترده‌ی مخابرات بی‌سیم، ارسال انرژی مورد نیاز کاربران توسط ایستگاه‌های پایه یا رله‌ها است. برای این کار روش‌های گوناگونی وجود دارد که معمولاً از روش تشعشع الکترومغناطیسی بر پایه‌ی امواج RF استفاده می‌شود [۵]. WIPT به چهار روش صورت می‌گیرد که این چهار روش به طور مفصل در [۶] معرفی شده‌است. در انرژی شبکه‌های مخابراتی علاوه بر موضوع انتقال انرژی، بحث بازدهی سیستم بسیار قابل توجه است. از این رو مبحثی به نام بهره‌ی چندگانگی مطرح می‌گردد. به طور کلی برای افزایش بهره‌ی چندگانگی از دو روش شکل‌دهی پرتو و چندگانگی استفاده می‌شود. انواع روش‌های شکل‌دهی پرتو در [۷] به طور مفصل بررسی شده‌است. شکل‌دهی پرتو معمولاً در دویعد صورت می‌گیرد اما شکل‌دهی به صورت سه‌بعدی سبب عملکرد بهتر سیستم‌های مخابراتی می‌شود. همان‌طور که پیشتر بیان شد، در یک سیستم مخابراتی مبحث امنیت پیام اهمیت

^۸ Multiple-Input Single-Output

^۹ User Equipment

^{۱۰} Eavesdropper Equipment

^۴ Wireless Information and Power Transfer

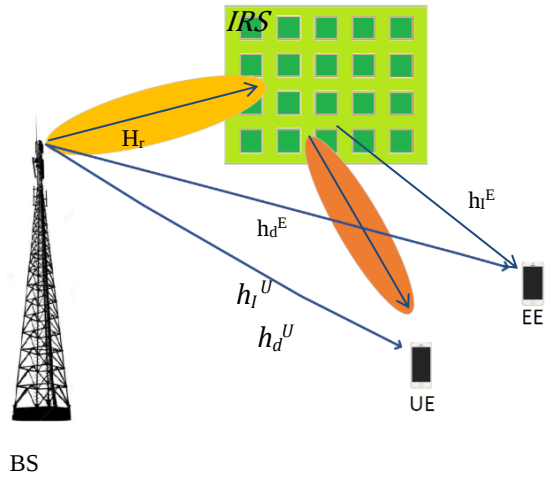
^۵ Simultaneous Wireless Information and Power Transfer

^۶ Diversity

^۷ Reconfigurable Intelligent Surface

فروسو را نشان می‌دهد.

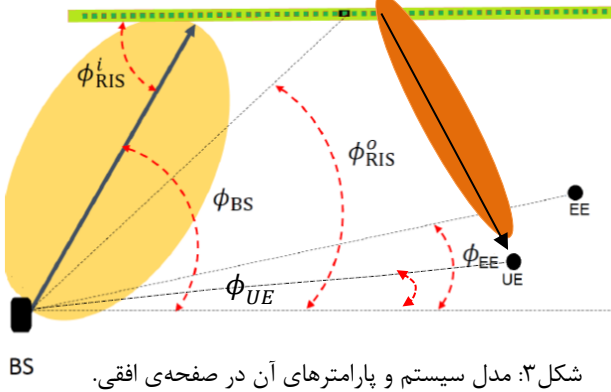
بر این اساس در این مدل سیستم با پنج کانال متفاوت مواجه هستیم که کانال بین BS و IRS را با نماد $H_r \in \mathbb{C}^{N \times M}$ ، کانال بین BS و کاربر را با نماد $h_d^E \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ ، کانال بین BS و شنودگر را با نماد $h_l^U \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ و همچنین کانال بین IRS و شنودگر را با نماد $h_l^E \in \mathbb{C}^{N \times 1}$ نمایش می‌دهیم.



شکل ۱: مدل سیستم.

شکل ۲: مدل سیستم و پارامترهای آن در صفحه‌ی عمودی.

همچنین پارامترهای $\phi_{IRS}^i, \phi_{IRS}^o, \phi_{UE}, \phi_{EE}, \phi_{BS}$ به ترتیب زوایای BS، شنودگر، کاربر، آمین المان IRS، میانگین تمام المان‌های IRS را در صفحه‌ی افقی نشان می‌دهد که در شکل (۳) به خوبی قابل مشاهده است.



شکل ۳: مدل سیستم و پارامترهای آن در صفحه‌ی افقی.

۳- روابط و فرمول‌بندی مسأله

حال طبق مدل سیستم بیان شده در قسمت قبل، به بررسی روابط و مسأله‌ی این سیستم می‌پردازیم.

سیگنال ارسالی BS به نام s با بردار شکل‌دهی پرتو $w \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ برابر می‌شود با:

$$y_{BS} = ws \quad (1)$$

پیشتر بیان شد که کاربر سیگنال‌های ارسالی از طرف BS را از دو مسیر مستقیم و غیر مستقیم دریافت می‌کند. پس سیگنال دریافتی توسط کاربر به همراه نویز $n_u \in \mathcal{CN}(0, \sigma^2)$ برابر است با:

$$y_u = y_u^D + y_u^R + n_u \quad (2)$$

که در آن سیگنال دریافتی از مسیر مستقیم و y_u^D سیگنال دریافتی از مسیر غیرمستقیم می‌باشند:

$$y_u^R = h_l^{UH} \Omega y_I \quad (3)$$

$$y_u^D = \sqrt{\alpha_u^d} h_d^{UH} w s \quad (4)$$

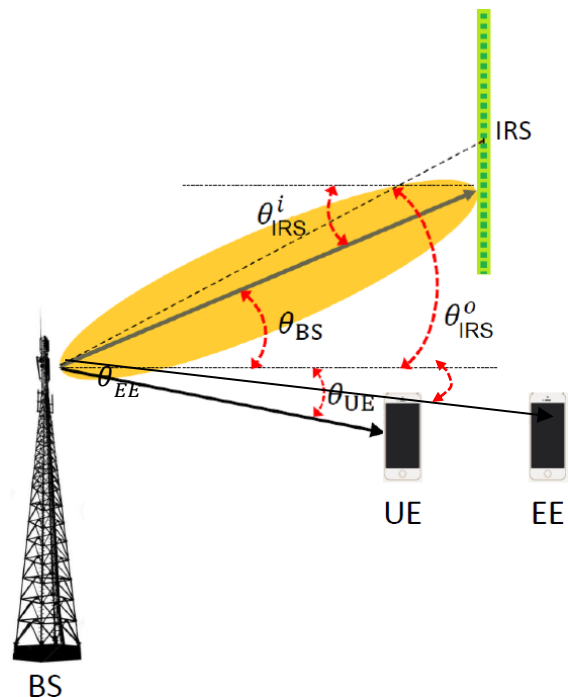
در (۳) و Ω و y_I به ترتیب به عنوان ماتریس بازتابی المان‌های IRS و بردار سیگنال دریافتی توسط IRS برابرند با:

$$y_I = \sqrt{\alpha^r} H_r w s \quad (5)$$

$$\Omega = \text{diag}(\beta_1 e^{j\psi_1}, \beta_2 e^{j\psi_2}, \beta_3 e^{j\psi_3}, \dots, \beta_N e^{j\psi_N}) \quad (6)$$

که در آن diag نماد ماتریس قطری، $\psi_i \in [0, 2\pi]$ فاز سیگنال بازتابی

همان طور که بیان شد BS برای ارسال سیگنال از روش شکل‌دهی پرتو سه بعدی استفاده می‌کند، پس برای این کار به دو زاویه، یکی در صفحه‌ی افقی و دیگری در صفحه‌ی عمودی نیاز دارد. به همین ترتیب آمین المان IRS، میانگین تمام المان‌های IRS در صفحه‌ی عمودی است که در شکل (۲) به نمایش گذاشته شده است.



و داریم:

$$y_E^R = h_I^{EH} \Omega y_I \quad (17)$$

$$y_E^D = \sqrt{\alpha_e^d} h_d^E w s \quad (18)$$

همچنین α_e^d برابر است با:

$$\alpha_e^d = \alpha_{max} 10^{-1.2 \left[\left(\frac{\theta_{BS}-\theta_{EE}}{\theta_{3dB}} \right)^2 + \left(\frac{\phi_{BS}-\phi_{EE}}{\phi_{3dB}} \right)^2 \right]} \quad (19)$$

مانند روابطی که برای کاربر داشتیم، طبق (۱۶)، (۱۷)، (۱۸) و (۵) سیگنال دریافتی توسط شنودگر به همراه نویز به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} y_E &= \sqrt{\alpha_e^d} h_d^E w s + \sqrt{\alpha^r} h_I^{EH} \Omega H_r w s + n_e \\ &= (\sqrt{\alpha_e^d} h_d^E + \sqrt{\alpha^r} h_I^{EH} \Omega H_r) w s + n_e \end{aligned} \quad (20)$$

در نتیجه SNR شنودگر برابر است با:

$$\gamma_e = \frac{|\sqrt{\alpha_e^d} h_d^E + \sqrt{\alpha^r} h_I^{EH} \Omega H_r| w|^2}{\sigma^2} \quad (21)$$

نرخ ارسال داده‌ی شنودگر با استفاده از رابطه‌ی شانون می‌شود:

$$R_e = \log_2(1 + \gamma_e) \quad (22)$$

نرخ امن را از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌نماییم:

$$R_{sec} = \max(0, R_u - R_e) \quad (23)$$

اگر فاصله‌ی بین BS و IRS را زیاد فرض کنیم، می‌توان گفت:

$$\theta_{IRS} = \theta_{BS} \triangleq \theta \quad (24)$$

$$\phi_{IRS} = \phi_{BS} \triangleq \phi \quad (25)$$

Ψ را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$\Psi = \{\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_N\} \quad (26)$$

همان‌طور که [۲] بیان کرده برای هر θ ، ϕ و مقدار w به دست آمده با حداکثر نرخ انتقال (MRT^{۱۱}) شکل‌دهی پرتو در BS بهینه بوده و از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$w^* = \frac{(\sqrt{\alpha_u^d} h_d^{UH} + \sqrt{\alpha^r} h_I^{UH} \Omega H_r)^H}{\|\sqrt{\alpha_u^d} h_d^{UH} + \sqrt{\alpha^r} h_I^{UH} \Omega H_r\|} \quad (27)$$

با توجه به روابط فوق اگر SNR سیستم را طبق (۱۳) به عنوان هدف مسأله‌ی این تحقیق در نظر بگیریم و با توجه به (۲۳) و (۱۵) به ترتیب حداقل نرخ امن، کمینه‌ی انرژی برداشتی کاربر و همچنین محدودیت زوایای Ψ ، θ و ϕ را به عنوان قیود این مسأله لحاظ نماییم داریم:

عنصر نام IRS و $\beta_i \in [0,1]$ دامنه‌ی آن سیگنال می‌باشد و طبق [۲] به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\beta_i = K_1 \cos \theta \sin \phi + K_2 \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad (7)$$

که در آن $K_1 + K_2 = 1$. می‌توان فرض کرد که دامنه‌ی تمام المان‌ها با هم برابر است. بنابراین:

$$\begin{aligned} \Omega &= (K_1 \cos \theta \sin \phi + K_2) \times \\ &\quad \text{diag}(e^{j\psi_1}, e^{j\psi_2}, e^{j\psi_3}, \dots, e^{j\psi_N}) \end{aligned} \quad (8)$$

طبق [۲] α_u^d در (۴) و α^r در (۵) به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\alpha^r = \alpha_{max} 10^{-1.2 \left[\left(\frac{\theta_{BS}-\theta_{IRS}^0}{\theta_{3dB}} \right)^2 + \left(\frac{\phi_{BS}-\phi_{IRS}^0}{\phi_{3dB}} \right)^2 \right]} \quad (9)$$

$$\alpha_u^d = \alpha_{max} 10^{-1.2 \left[\left(\frac{\theta_{BS}-\theta_{UE}}{\theta_{3dB}} \right)^2 + \left(\frac{\phi_{BS}-\phi_{UE}}{\phi_{3dB}} \right)^2 \right]} \quad (10)$$

که در آن θ_{3dB} و ϕ_{3dB} پهنای باند 3dB الگوی تشعشع آنتن BS در دو صفحه عمودی و افقی است.

اگر A_{max} حداکثر بهره‌ی مستقیم المان‌های آنتن آرایه‌ای باشد، α_{max} را از رابطه‌ی زیر به دست می‌آوریم:

$$\alpha_{max} = 10^{A_{max}/10} \quad (11)$$

در نتیجه‌ی روابط (۲)، (۳)، (۴) و (۵) سیگنال دریافتی توسط کاربر به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} y_u &= \sqrt{\alpha_u^d} h_d^{UH} w s + \sqrt{\alpha^r} h_I^{UH} \Omega H_r w s + n_u \\ &= (\sqrt{\alpha_u^d} h_d^{UH} + \sqrt{\alpha^r} h_I^{UH} \Omega H_r) w s + n_u \end{aligned} \quad (12)$$

در نتیجه SNR کاربر برابر است با:

$$\gamma_u = \frac{|\sqrt{\alpha_u^d} h_d^{UH} + \sqrt{\alpha^r} h_I^{UH} \Omega H_r| w|^2}{\sigma^2} \quad (13)$$

نرخ ارسال داده‌ی کاربر با استفاده از رابطه‌ی شانون می‌شود:

$$R_u = \log_2(1 + \gamma_u) \quad (14)$$

همچنین اگر ضریب انرژی برداشتی توسط کاربر را با نماد

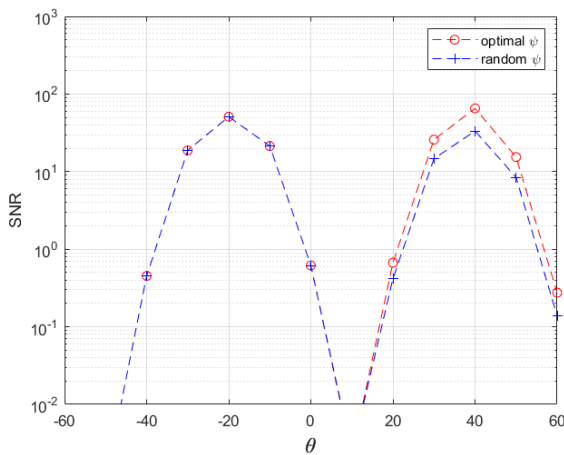
$0 < \zeta < 1$ نمایش دهیم، از رابطه‌ی (۱۲) می‌توان انرژی دریافتی توسط کاربر را نیز به دست آورد:

$$E = \zeta \left| (\sqrt{\alpha_u^d} h_d^{UH} + \sqrt{\alpha^r} h_I^{UH} \Omega H_r) w \right|^2 \quad (15)$$

واضح است که مانند کاربر، سیگنال دریافتی توسط شنودگر با توجه به $n_e \in \mathcal{CN}(0, \sigma^2)$ به صورت زیر است:

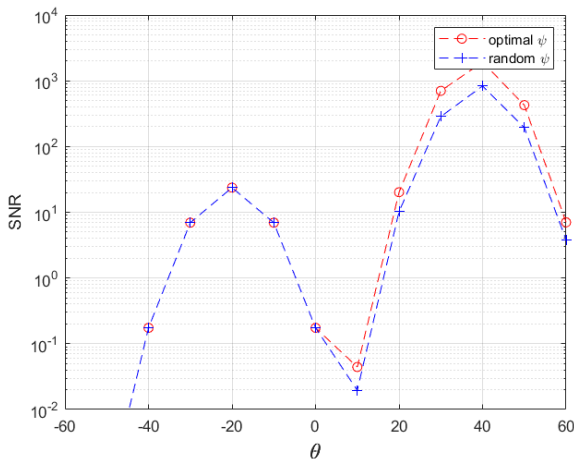
$$y_E = y_E^D + y_E^R + n_e \quad (16)$$

^{۱۱} Maximal Ratio Transmission



شکل ۴: SNR بر حسب θ به ازای $\phi = 10^\circ$.

اگر با همین مقادیر عددی اما با $\phi = 50^\circ$ به نمودار SNR بر حسب θ را به دست آوریم به شکل (۵) خواهیم رسید.



شکل ۵: SNR بر حسب θ به ازای $\phi = 50^\circ$.

با دقت در شکل (۴) و (۵) متوجه می شویم که در دو زاویه ای که کاربر IRS قرار دارند مقدار SNR بیشتر است و این مقدار در نقطه ای که IRS وجود دارد بهتر است. این نظم موجود در صفحه ای عمودی، در صفحه ای افقی نیز حاکم است و SNR در صفحه ای افقی در جهت کاربر و IRS بیشتر است. نکته ای قابل توجه دیگر در این دو شکل این است که Ψ بهینه و تصادفی هر دو تقریباً ما را به یک نمودار SNR رساندند. اما اگر بخواهیم تاثیر تعداد المان های IRS را بر SNR مشاهده کنیم، به ازای N های مختلف و 60 الی 60- θ و همچنین $\phi = 50^\circ$ به نمودار شکل (۶) می رسیم.

$$P1: \max_{\theta, \phi, \Psi} \gamma_u = \frac{|\sqrt{\alpha_d^H} h_d^U + \sqrt{\alpha_l^H} h_l^U \Omega H_F w^*|^2}{\sigma^2} \quad (28)$$

$$S.T \quad R_{sec} \geq \bar{R}$$

$$E \geq \bar{E}$$

$$-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$$

$$0 \leq \phi \leq \pi$$

$$0 \leq \psi_i \leq 2\pi, \forall i = 1, \dots, N$$

اما این مسأله غیرمحدب است و حل آن بسیار دشوار است به همین دلیل این مسأله را به صورت عددی حل می نماییم. بدین منظور مقدار ϕ و θ را ثابت در نظر گرفته و مسأله را با استفاده از تابع fmincon متلب برای یافتن Ψ حل می نماییم، در نتیجه به وسیله ی روش حل عددی می توان P1 را به صورت زیر نوشت:

$$P2: \max_{\Psi} \gamma_u \quad (29)$$

$$S.T \quad R_{sec} \geq \bar{R}$$

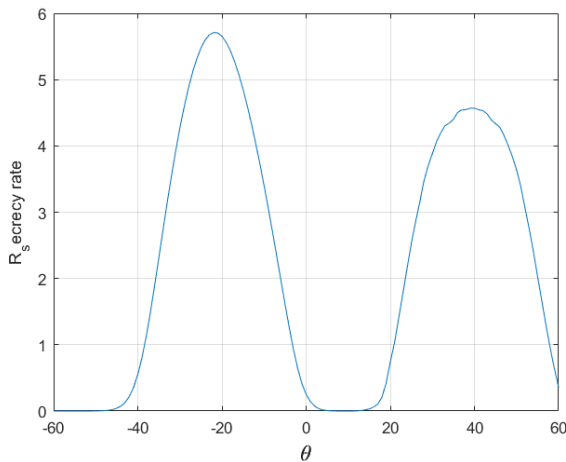
$$E \geq \bar{E}$$

$$0 \leq \psi_i \leq 2\pi, \forall i = 1, \dots, N$$

۴- نتایج عددی و شبیه سازی

در این قسمت به چگونگی حل P2 و نتایج آن می پردازیم. همان طور که بیان کردیم برای مقادیر θ و ϕ مقادیر متفاوتی را در نظر می گیریم، سپس مسأله را به دو صورت حل می نماییم، یکی در حالتی که Ψ بهینه با استفاده از تابع fmincon متلب محاسبه گردد و سپس تحلیل نموداری با آن انجام گیرد و دیگری در حالتی که Ψ به صورت تصادفی تولید شده و سپس با آن اعداد تصادفی، تحلیل نموداری صورت گیرد. در این شبیه سازی با فرض تعداد آنتن $M=64$ برای BS، مقادیر $A_{max}=0dB$ ، $\theta_{3dB}=65^\circ$ و $\phi_{3dB}=15^\circ$ برای پارامترهای مربوط به شکل های سه بعدی پرتو، $\theta_{IRS}=40^\circ$ ، $\phi_{IRS}=50^\circ$ ، $\theta_{UE}=-20^\circ$ ، $\theta_{EE}=20^\circ$ و $\phi_{UE}=10^\circ$ به ترتیب به عنوان زوایای عمودی و افقی IRS، کاربر و شنودگر در نظر گرفته شده اند. همچنین $\zeta=0.5$ ، $\bar{E}=10^{-3}W$ و $\bar{R}=4 \frac{bit}{sec}$ مفروض است. با فرض $N=32$ به عنوان تعداد المان های IRS و همچنین 60 الی 60- θ و $\phi = 10^\circ$ برای رسم نمودار SNR بر حسب θ شکل (۴) به دست می آید.

یا IRS تابانده می شود بیشتر و بهتر است.



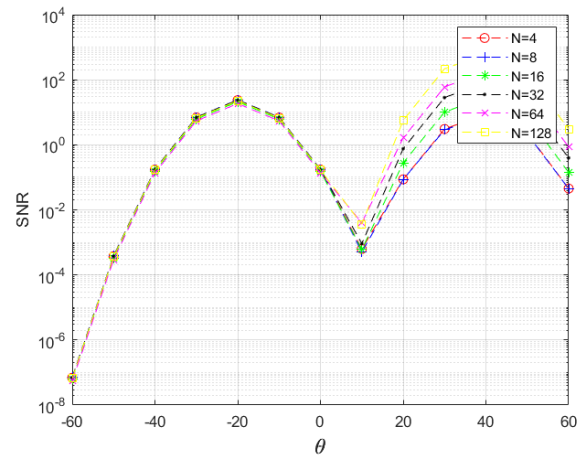
شکل ۸: نرخ امن بر حسب θ به ازای $\phi = 10^\circ$.

نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی سیستمی MISO و SWIPT با بهره گیری از روش های امنیت اطلاعات پرداختیم که در آن یک BS با به کارگیری شکل دهی سه بعدی پرتو، سیگنال ارسال می نمود و کاربر از مسیر مستقیم و همچنین به کمک IRS، اطلاعات و انرژی دریافت می کرد. با بررسی این سیستم نکات فوق حاصل شد: ۱- با جهت دهی پرتو به سمت کاربر یا IRS به SNR بالاتری دست خواهیم یافت. ۲- با افزایش تعداد المان های IRS مقدار SNR نیز بیشتر می شود. ۳- در این سیستم هنگامی انرژی به طور قابل ملاحظه ای برداشته می شود که جهت پرتو شکل دهی شده به سمت IRS یا کاربر باشد. ۴- با تاباندن پرتو به سمت کاربر یا IRS شاهد افزایش قابل توجه نرخ امن سیستم خواهیم بود. این نتایج تاثیر قابل ملاحظه ای IRS بر SNR، نرخ امن و برداشت انرژی را نشان می دهند که در آینده می تواند سبب پیشرفت قابل توجهی در شبکه های مخابراتی بی سیم باشد.

مراجع

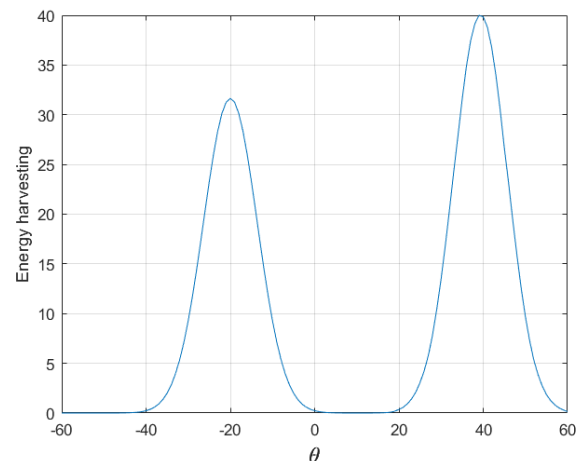
- [1] Y. Alsaba, S. K. A. Rahim, and C. Y. Leow, "Beamforming in wireless energy harvesting communications systems: A survey," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 20, no. 2, pp. 1329-1360, 2018.
- [2] S. M. Razavizadeh and T. Svensson, "3D Beamforming in reconfigurable intelligent surfaces-assisted wireless communication networks," *WSA 2020; 24th International ITG Workshop on Smart Antennas*, Hamburg, Germany, pp 1-5, 2020.
- [3] T. D. P. Perera, D. N. K. Jayakody, S. K. Sharma, S. Chatzinotas, and J. Li, "Simultaneous wireless information and power transfer (SWIPT): Recent advances and future challenges," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 20, no. 1, pp. 264-302, 2017.
- [4] J. Zhao and Y. Liu, "A survey of intelligent reflecting surfaces (IRSs): Towards 6G wireless communication networks," *arXiv:1907.04789*, 2019.



شکل ۶: SNR بر حسب θ به ازای $\phi = 50^\circ$ و تعداد المان های IRS متفاوت.

همان طور که در شکل (۶) مشاهده می کنید با افزایش تعداد المان های IRS مقدار SNR سیستم به طور کلی افزایش می یابد.

حال به بررسی اثر θ بر انرژی برداشتی کاربر در $\phi = 10^\circ$ می پردازیم و نمودار برداشت انرژی بر حسب θ به صورت شکل (۷) حاصل می گردد.



شکل ۷: انرژی برداشتی بر حسب θ به ازای $\phi = 10^\circ$.

همان طور که شکل (۷) نشان می دهد در دو زاویه ای که کاربر و IRS قرار دارند مقدار برداشت انرژی توسط کاربر بیشتر است اما هر چه از این دو زاویه دور شویم برداشت انرژی کمتر خواهد بود.

همچنین می توان اثر θ بر نرخ امن سیستم را نیز بررسی نمود. بر این اساس نمودار نرخ امن بر حسب θ مطابق شکل (۸) حاصل می شود. همان طور که مشاهده می شود نرخ امن زمانی که پرتو به سمت کاربر

- [5] D. Xu and Q. Li, "Resource allocation in OFDM-based wireless powered communication networks with SWIPT," *AEUE - Int. J. Electron. Commun.*, vol. 101, pp. 69–75, 2019.
- [6] T. D. Ponnimbaduge Perera, D. N. K. Jayakody, S. K. Sharma, S. Chatzinotas, and J. Li, "Simultaneous wireless information and power transfer (SWIPT): Recent advances and future challenges," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 20, no. 1, pp. 264–302, 2018.
- [7] E. Ali, M. Ismail, R. Nordin, and N. F. Abdulah, "Beamforming techniques for massive MIMO systems in 5G: Overview, classification, and trends for future research," *Front. Inf. Technol. Electron. Eng.*, vol. 18, no. 6, pp. 753–772, 2017.
- [8] M. R. A. Khandaker and K. K. Wong, "SWIPT in MISO multicasting systems," *IEEE Wirel. Commun. Lett.*, vol. 3, no. 3, pp. 277–280, 2014.
- [9] L. Liu, R. Zhang, and K. C. Chua, "Secrecy wireless information and power transfer with MISO beamforming," in *GLOBECOM - IEEE Global Telecommunications Conference*, vol. 62, no. 7, pp. 1850–1863, 2014.
- [10] W. Shi, X. Zhou, L. Jia, Y. Wu, F. Shu, and J. Wang, "Enhanced secure wireless information and power transfer via intelligent reflecting surface," *arxiv:1911.01001*, 2019.
- [11] A. U. Makarfi, K. M. Rabie, O. Kaiwartya, X. Li, and R. Kharel, "Physical layer security in vehicular networks with reconfigurable intelligent surfaces," *IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring)*, pp. 1-6, 2020.