

آنتن آرایه‌ای نامسطح برای تخمین بهینه زاویه ورود سیگنال

سیروس محمدی^۱، آرمین غنی^۲، سیدحسن صدیقی^{۳*}

۱ و ۲- کارشناسی ارشد، ۳- استادیار، دانشکده فناوری‌های نوین، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

(دریافت: ۹۷/۰۷/۲۸، پذیرش: ۹۸/۰۴/۲۰)

چکیده: در این مقاله سعی بر آن است که با استفاده از آرایه‌های نامسطح و شکل‌پذیر، بهترین دقت تخمین پارامتر سیگنال منبع به‌دست بیاید. به این منظور از الگوریتم شناخته‌شده MUSIC برای جهت‌یابی ورود سیگنال استفاده شده است. برای طراحی دقیق ساختار آرایه‌ای، اثر تشعشی عنصرهای آنتنی نیز بر اساس شبیه‌سازی‌های تمام موج لحاظ گردیده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌گر آن است که ساختار آرایه‌ای غیرمسطح ارائه‌شده با ۷ عنصر آنتنی و زوایای جانبی ۴۵ درجه در تمامی زوایا به‌ویژه در زوایای نزدیک به افق دقت تخمین زوایای بسیار بهتری در مقایسه با آرایه مشابه با ساختار مسطح را به‌دست می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: آنتن آرایه‌ای، ساختار نامسطح، زاویه ورود سیگنال، الگوریتم MUSIC

۱- مقدمه

فرض اساسی به‌دست می‌آید که عنصرهای آرایه، الگوی تشعشی همه‌جهته و متقارن دارند. بررسی تأثیر الگوی تشعشی در الگوریتم کنترل پرتو در [۶] و کنترل نقطه پوچی آنتن در [۷] انجام شده است. هرچند مثال‌های بیشتری می‌توان از کارهای انجام‌شده در منظور کردن الگوی آنتن در الگوریتم‌های شکل‌دهی پرتو نام برد، اما مطالعات کمی در منظور کردن این اثر در الگوریتم تخمین DOA صورت پذیرفته است. در [۸] تخمین DOA توسط عنصرهای جهت‌دار که بر روی سطح‌های منسجم قرار گرفته‌اند بحث شده است. وارد کردن اثر الگوی آنتن در مدل سیگنال دریافتی آرایه در [۹] انجام شده است. همچنین اثر الگوی تشعشی عنصرهای آنتنی برای یک آنتن صفحه‌ای و عنصرهایی که همگی الگوی تشعشی یکسانی داشته و در یک جهت قرار گرفته‌اند در [۱۰] مورد بررسی قرار گرفته است. یک آنتن هوشمند پوششی برای کاربردهای پزشکی در [۱۱] پیشنهاد شده است که در آن تخمین زاویه ورود سیگنال و شکل‌دهی بیم برای یک ساختار دو آنتنی قابل نصب بر روی یک سطح منحنی مانند بازوی انسان انجام شده است. در این پژوهش، اثر الگوی تشعشی آنتن در محاسبات لازم نشده است. با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده، مدل‌سازی سیگنال دریافتی آنتن آرایه‌ای با در نظر گرفتن الگوهای تشعشی تک‌تک عنصرهای آرایه صورت پذیرفته است. الگوی تشعشی عموماً به‌صورت مدل ریاضی تئوری و مشترک میان همه عنصرهای آرایه وارد بردار هدایت آرایه شده است. تخمین DOA با استفاده از عنصرهای جهت‌دار برای ساختار نامسطح در [۱۱] انجام شده است. در [۱۲] بیشتر بر روی روش کلی استفاده از عنصرهای جهت‌دار در

آنتن‌های آرایه‌ای کاربردهای فراوانی در مخابرات دارند. از کاربردهای مهم آنتن‌های آرایه‌ای می‌توان به تخمین زاویه ورود سیگنال^۱ (DOA) اشاره کرد. برای محاسبه تخمین زاویه ورود سیگنال الگوریتم‌های بسیاری وجود دارد که از پرکاربردترین آن‌ها می‌توان به الگوریتم MUSIC اشاره کرد. پیدا کردن جهت ورود سیگنال یکی از زمینه‌های پرکاربرد در حوزه پردازش سیگنال است. در اغلب مطالعات انجام‌شده در این حوزه، منبع سیگنال در میدان دور^۲ از صفحه آنتنی قرار گرفته است. بازدهی تخمین DOA در آنتن‌های آرایه‌ای به‌شدت به تعداد عنصرهای آنتنی و محل قرارگیری آن‌ها نیز وابسته است.

به‌منظور ارزیابی و ارائه ساختار آرایه‌ای مناسب برای تخمین DOA با دقت مورد نیاز پژوهش‌های مختلفی انجام شده است. در مقاله [۱] تخمین DOA با در نظر گرفتن عنصرهای همه‌جهته صورت گرفته است. تأثیر عنصرهای جهت‌دار در آنتن‌های آرایه‌ای مسطح برای تخمین DOA نیز در [۲] مورد مطالعه قرار گرفته است. اگر چه در این مقاله، مطالعه‌ای در مورد آنتن آرایه با ساختار نامسطح انجام نشده است. در اغلب کارهای انجام‌شده در این حوزه به تخمین DOA با استفاده از آنتن آرایه‌ای مسطح پرداخته شده است [۳-۵].

مدل دریافت سیگنال برای آنتن‌های آرایه‌ای، اکثراً با این

* نویسنده پاسخگو: sedighy@iust.ac.ir

¹ Direction Of Arrival

² Far Field

همچنین ماتریس جهت آرایه که نشان‌دهنده اختلاف فاز خروجی هر عنصر نسبت به نقطه مبدأ فازی آرایه می‌باشد به صورت زیر می‌باشد:

$$v = \begin{bmatrix} e^{-jk^T p_1} \\ e^{-jk^T p_2} \\ \vdots \\ e^{-jk^T p_N} \end{bmatrix} \quad (2)$$

که در روابط بالا علامت T نشان‌دهنده عملیات ترانپوز می‌باشد. در برخی منابع، به ماتریس فوق ضریب آرایه^۳ نیز گفته شده است.

ماتریس خروجی آنتن آرایه‌ای $y(t)$ است که بعد از اعمال وزن به ماتریس خروجی عنصرهای آرایه به صورت زیر به دست می‌آید:

$$y(t) = w^T x(t) \quad (3)$$

که سیگنال دریافتی در هر عنصر آرایه به صورت زیر خواهد بود:

$$x(t) = v s(t) + n(t) \quad (4)$$

$$w = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_N]^T \quad (5)$$

$$R_{xx} = E\{x(t)x(t)^H\} \quad (6)$$

$$R_{ss} = E\{s(t)s(t)^H\} \quad (7)$$

که در رابطه بالا $E\{\cdot\}$ نماد امید ریاضی آماری می‌باشد و R_{xx} ماتریس همبستگی سیگنال و R_{ss} ماتریس همبستگی منبع است. ماتریس $n(t)$ نیز نشان‌گر تابع احتمالی سیگنال نویز گوسی سفید با میانگین صفر و انحراف از معیار σ_n^2 می‌باشد که به سیگنال اصلی دریافتی در رابطه اضافه شده است. $S(t)$ نیز سیگنال منبع اصلی می‌باشد که به صورت سینوسی با فرکانس و دامنه معین در نظر گرفته شده است.

با فرض اینکه مقادیر ویژه ماتریس R_{xx} برابر $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N\}$ باشد، آنگاه از اتحاد مقادیر ویژه داریم:

$$|R_{xx} - \lambda_i I_N| = 0$$

با قرار دادن رابطه (۶) در رابطه بالا به دست می‌آوریم:

$$|v R_{ss} v^H + \sigma_n^2 I_N - \lambda_i I_N| = 0 \quad (8)$$

آنتن‌های آرایه ای برای تخمین DOA، بحث شده است. اگرچه ساختارهای آنتنی نامسطح در مراجع مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۱۳]، اما بیشتر کارهای انجام‌شده در حوزه DOA مربوط به ساختارهای مسطح دایروی و خطی است که در [۱۴-۱۶] مطالعه شده است.

در این مقاله ابتدا یک روش ساده برای اندازه‌گیری خطای DOA در یک ساختار آرایه آنتنی با الگوی تشعشعی واقعی به دست آمده از شبیه‌سازی تمام موج ارائه شده است. بدین منظور از الگوریتم MUSIC برای تخمین DOA بهره گرفته شده است. سپس، خطای تخمین DOA برای دو ساختار مسطح و شکل‌پذیر بر اساس نتایج شبیه‌سازی تمام موج انجام شده است. در نهایت نیز میانگین خطای به دست آمده در تخمین DOA این دو ساختار بررسی شده است. نتایج به دست آمده نشان‌گر آن است که خطای تخمین DOA برای ساختار شکل‌پذیر به مراتب از ساختار مسطح به‌ویژه در زاویه نزدیک به افق بهتر است.

۲- تخمین زاویه ورود سیگنال

یکی از قابلیت‌های آنتن‌های آرایه‌ای، امکان تشخیص جهت ورود سیگنال است. عمل DOA در بعضی منابع^۱ AOA،^۲ DF و تخمین طیفی نامیده می‌شود اما همگی مبتنی بر یک معنی و مفهوم هستند. با دانستن جهت منابعی که در فضا وجود دارند می‌توان پرتو آنتن را به سمت آن‌هایی که مورد علاقه ما هستند، هدایت کرد و منابعی که باعث تداخل در سیستم می‌شوند را با ایجاد نقاط صفر، حذف کرد.

به‌طور کلی الگوریتم‌های DOA با دریافت سیگنال‌های عنصرهای آنتن آرایه‌ای و انجام پردازش‌های لازم بر روی این داده‌ها، تعداد و زوایای منابع موجود در فضا را در خروجی خود تولید می‌کنند. نوع الگوریتم و شکل آرایه آنتنی، در فرایند تخمین DOA بسیار مهم و تأثیر گذار هستند. لذا در این تحقیق با تمرکز بر الگوریتم شناخته شده MUSIC و در نظر گرفتن ویژگی‌های تمام موج تشعشعی آرایه آنتنی، زاویه ورود سیگنال با دقت خوبی تخمین زده شده است.

اگر منبع با زاویه ϕ و θ و فرکانس f (طول موج λ) به آرایه برخورد کند، پارامتر k که به پارامتر عدد موج معروف است و معادل پارامتر ω (فرکانس) در سامانه‌های زمانی است برابر است با:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \begin{bmatrix} \sin \theta \cos \phi \\ \sin \theta \sin \phi \\ \cos \theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

³ Array Factor

¹ Angle Of Arrival

² Direction Finding

$$v(\varphi, \theta) = \begin{bmatrix} g_1(\varphi, \theta) e^{-j \mathbf{k}^T \mathbf{p}_1} \\ g_2(\varphi, \theta) e^{-j \mathbf{k}^T \mathbf{p}_2} \\ \vdots \\ g_N(\varphi, \theta) e^{-j \mathbf{k}^T \mathbf{p}_N} \end{bmatrix} \quad (15)$$

که در رابطه بالا، $g_1(\varphi, \theta)$ مقدار بهره عنصر n ام که در مکان \mathbf{p}_i واقع است. بدین ترتیب اثر الگوی آنتن‌ها نیز در الگوریتم MUSIC وارد می‌شود. حال برای محاسبه خطای الگوریتم در زوایای مختلف رابطه زیر را داریم.

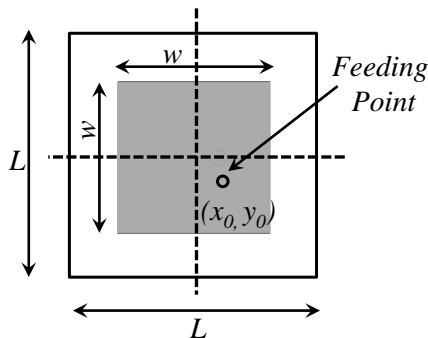
$$\Phi_{error} = \frac{1}{iter} \sum_{k=1}^{iter} |\varphi_{MUSIC} - \varphi_{incident}| \quad (16)$$

$$(17)$$

$$\theta_{error} = \frac{1}{iter} \sum_{k=1}^{iter} |\theta_{MUSIC} - \theta_{incident}|$$

۳- طراحی و شبیه‌سازی

در ابتدای این بخش نوع عنصر آنتنی را تعیین می‌کنیم و سپس ساختارهای مورد نظر را ارائه می‌نماییم. در این مقاله ۲ ساختار ارائه می‌شود. ساختار اول به صورت مسطح بوده و ساختار دوم دارای ۴۵ درجه شیب در عنصرهای جانبی نسبت به عنصر واقع در بالای صفحه، می‌باشد. از آنجا که ساختار آنتن آرایه‌ای عامل بسیار مؤثری در تعیین دقت زاویه ورود سیگنال می‌باشد، در این بخش به بررسی این عامل و تأثیر آن در دقت سیستم می‌پردازیم. ابتدا ساختارهای مد نظر را معرفی کرده سپس دقت و رفتار ساختار مورد نظر در زوایای متفاوت را بررسی می‌نماییم.



شکل (۱): ساختار آنتن پیچ به کاررفته در آرایه برای تخمین DOA

به منظور وارد کردن الگوی تشعشی دقیق آنتن‌ها از نرم‌افزار تحلیل تمام موج HFSS استفاده شده است. الگوی تشعشی هر یک از عنصرهای آنتنی به صورت مستقل استخراج شده و در محاسبه DOA بر اساس روابط ارائه‌شده در بخش قبل مورد

با فرض قرار داشتن مقادیر ویژه \mathbf{e}_i برای ماتریس $\mathbf{v}^H \mathbf{R}_{ss} \mathbf{v}$ داریم:

$$e_i = \lambda_i - \sigma_n^2 \quad (9)$$

از آنجایی که ماتریس \mathbf{v} از بردارهایی با جهت‌های متفاوت تشکیل شده است می‌توان نتیجه گرفت دارای مرتبه کامل است و همچنین ماتریس \mathbf{R}_{ss} مادامی که از منابع با همبستگی تقریباً صفر تشکیل شده باشد، غیرمنفرد می‌باشد. با توجه به متعامد بودن زیرفضای سیگنال و نویز، رابطه زیر برای ماتریس جهت بردارهای نویز (متناظر با مقادیر ویژه نویز) همواره برقرار است:

$$\mathbf{v}^H \mathbf{q}_i = 0 \quad (10)$$

معادله بالا در واقع تأییدی بر متعامد بودن فضای نویز و سیگنال می‌باشد. لذا هر بردار جهت متناظر با جهت منابع موجود در فضا با هر یک از بردارهای نویز (متناظر با مقادیر ویژه نویز) متعامد هستند.

نتیجه بالا در واقع پایه و اساس همه روش‌های DOA زیرفضایی را تشکیل می‌دهد. می‌توان با یافتن بردارهای عمود بر بردارهای نویز متناظر با مقادیر ویژه کوچک ماتریس همبستگی، DOA آن‌ها را به دست آورد. برای رسم طیف توان MUSIC کافی است ماتریس بردارهای نویز را به صورت زیر تشکیل دهیم:

$$\mathbf{V}_n = [\mathbf{q}_{d+1}, \mathbf{q}_{d+2}, \dots, \mathbf{q}_N] \quad (11)$$

که N تعداد عنصرهای آرایه و d تعداد منابع می‌باشد. به دلیل اینکه بردارهای گوناگونی در جهت منابع بر بردارهای نویز عمود هستند، پس معادله زیر در جهت‌های DOA همواره برقرار است.

$$\mathbf{v}_k^H(k) \mathbf{V}_n = 0 \quad (12)$$

و در نهایت طیف توان MUSIC به صورت رابطه ۱۴ ترسیم می‌شود:

$$\mathbf{V}_n = [\bar{e}_1 \quad \bar{e}_2 \quad \dots \quad \bar{e}_{N-D}] \quad (13)$$

$$P_{MU}(\theta) = \frac{1}{|\mathbf{v}^H(\theta) \mathbf{V}_n \mathbf{V}_n^H \mathbf{v}(\theta)|} \quad (14)$$

که در این روابط، \mathbf{V}_n بردار ویژه نویز در روش MUSIC و $P_{MU}(\theta)$ توان سیگنال در روش MUSIC می‌باشد.

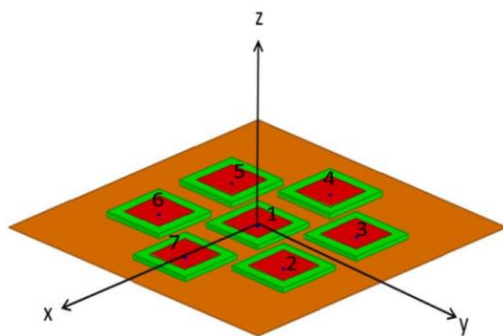
جهت وارد کردن اثر الگوی تشعشی آنتن در این محاسبات داریم:

شکل نمایش داده شده است این عنصر دارای بهره بالایی (۸/۵ dB) در راستای گلبرگ اصلی می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است فرکانس کاری این آنتن در باند S (۲/۲ GHz) بوده و دارای مقدار تطبیق ورودی مناسبی می‌باشد.

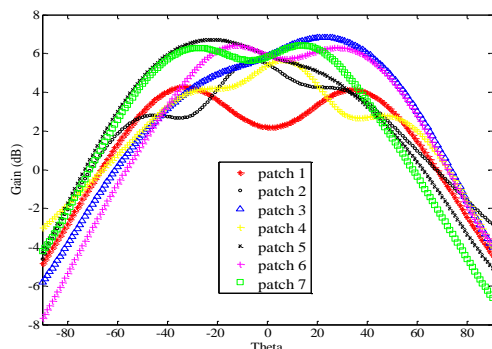
۲-۳- طراحی آرایه مسطح

در شکل (۳) نمایی از ساختار آرایه‌ای مسطح که در محیط نرم‌افزار HFSS شبیه‌سازی شده مشاهده می‌شود. در این ساختار ۷ عنصر پچ به فاصله $\lambda/2$ از یکدیگر قرار دارند. این ۷ عنصر کاملاً مشابه بوده و دارای ویژگی‌های تشعشی یکسانی می‌باشند. با استخراج الگوی تشعشی هر یک از این عناصر و وارد کردن این الگوها در الگوریتم DOA دقت تخمین این ساختار مشخص می‌شود. شکل (۴) الگو و بهره تشعشی هر ۷ عنصر ساختار آنتنی را در زاویه $\phi=0$ درجه نمایش می‌دهد.

همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، به دلیل اثرات تزویج متقابل و نیز موقعیت قرارگیری آنتن‌ها، الگوی تشعشی هر یک متفاوت است. همچنین بیشینه بهره آنتن‌ها نیز حدود ۱/۵ dB افت پیدا کرده است.



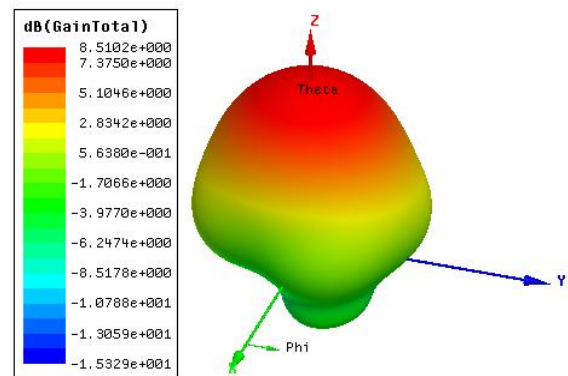
شکل (۳): ساختار آنتن آرایه‌ای مسطح پیشنهادی



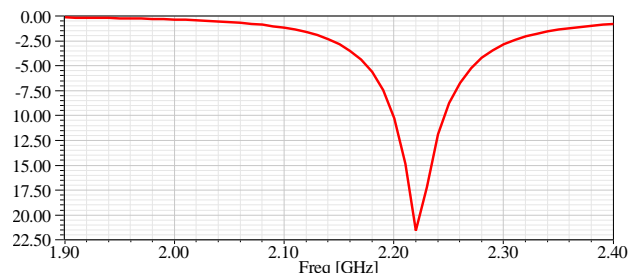
شکل (۴): نمایش الگوی تشعشی بهره‌های مختلف ساختار مسطح در $\phi=0$ درجه

به منظور تخمین خطای DOA این ساختار از روابط (۱۶) و (۱۷) استفاده شده است. در این روابط، پله‌های زاویه در راستای θ و ϕ ، ۱۰ درجه در نظر گرفته شده است. سپس با اجرای ۱۰۰

استفاده قرار می‌گیرند. شایان ذکر است که با شبیه‌سازی تمام موج ساختار آرایه انجام‌شده، اثرات تزویج متقابل بین عنصرهای آنتنی، زیرلایه نگهدارنده آنتن و اثرات سایه‌ای سایر عناصرها لحاظ می‌شود. در تمامی شبیه‌سازی‌های انجام‌شده در این بخش مقدار SNR برابر ۸ dB و Snapshot برابر ۱۰۰۰ در نظر گرفته شده است. به منظور رسیدن به تخمین میانگین و مقایسه دقیق‌تر ساختارهای ارائه‌شده، بایستی الگوریتم MUSIC به صورت متوالی تکرار شده و خطای تخمین به دست آمده میانگین‌گیری شود. تعداد تکرار الگوریتم برای میانگین‌گیری ۱۰۰ بار در نظر گرفته شده است. محدوده فرکانسی نیز برای هر ۲ ساختار باند S (۲/۳ - ۲/۲ GHz) انتخاب شده است. لازم به ذکر است که روش تحلیل ارائه‌شده مستقل از فرکانس انتخابی بوده است. در واقع انتخاب باند فرکانسی تنها در طراحی و تحلیل آنتن مؤثر خواهد بود.



(الف)



(ب)

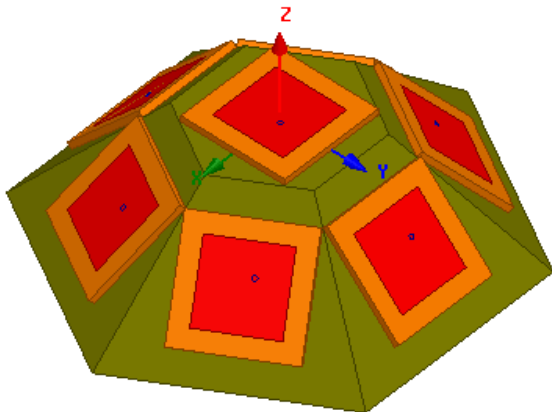
شکل (۲): شبیه‌سازی آنتن پچ پیشنهادی الف) الگوی تشعشی آنتن ب) تطبیق امپدانس ورودی آنتن

۱-۳- طراحی عنصر آنتنی پچ

با توجه به سادگی و شکل‌پذیری آسان آنتن پچ که ساختار آن نیز در شکل (۱) نشان داده شده، از این آنتن در تحلیل استفاده شده است. زیرلایه استفاده شده در این آنتن Rogers 4003 با ضخامت ۳۰ mil بوده و $L=50$ mm، $W=34$ mm و $x_0=y_0=3/\lambda$ mm می‌باشد. الگوی تشعشی این آنتن و تطبیق ورودی آن در شکل (۲) نشان داده شده است. همان‌طور که در

دقت خود در ساختار می‌رسد.

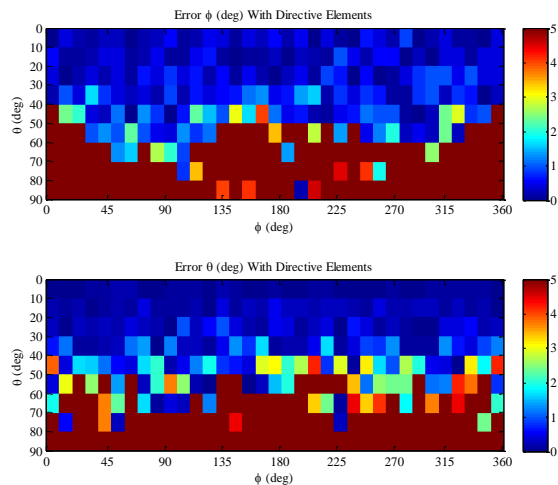
الگوی تشعشعی عنصرهای آنتنی ساختار نامسطح در شکل (۷) نشان داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت، الگوی تشعشعی آنتن در این ساختار تغییرات بیشتری در مقایسه با الگوی تشعشعی عنصرها در ساختار مسطح دارد. الگوی تشعشعی عنصرهای جانبی در زوایای فراز پایین مقدار بهره بالایی نسبت به ساختار مسطح دارند که این موضوع می‌تواند در افزایش دقت تخمین DOA در زوایای نزدیک به افق مؤثر باشد. نتایج تخمین DOA با روش مشابه با روش به‌کاررفته در آرایه مسطح در شکل (۸) نشان داده شده است. روشن است که دقت به‌دست‌آمده از تخمین DOA در این حالت در مقایسه با آرایه مسطح تغییرات قابل توجهی پیدا کرده است. در آرایه نامسطح، دقت ساختار تا زوایای نزدیک به افق نیز در وضعیت بهتری قرار دارد که به‌دلیل داشتن الگوی تشعشعی مناسب در این زوایا می‌باشد. اگرچه این موضوع باعث کاهش دقت در زوایای عمود بر آرایه نسبت به حالت مسطح گردیده است که به‌دلیل کاهش بهره آنتن‌ها در این راستا می‌باشد.



شکل (۶): ساختار نامسطح پیشنهادی با شیب ۴۵ درجه عنصرهای جانبی

نمودار میانگین خطای DOA برای آنتن آرایه‌ای مسطح و غیرمسطح در دو راستای θ و ϕ در شکل (۹) نشان داده شده است. توجه به این نکته ضروری است که در زوایای عمود به ساختار آرایه ($\theta=0$)، تشخیص زاویه ورود سیگنال در آنتن‌های آرایه‌ای دارای ابهام می‌باشد زیرا با تغییر اندکی در زاویه θ ، مقدار زاویه ϕ می‌تواند بین ۰ تا ۳۶۰ درجه تغییر نماید. در نتیجه به‌منظور مقایسه بهتر ساختار، نمودارهای ارائه‌شده از زاویه ۱۰ تا ۹۰ درجه در نظر گرفته شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، میانگین خطای به‌دست‌آمده در آنتن آرایه‌ای غیرمسطح به‌صورت قابل توجهی در زوایای نزدیک به افق کمتر از آنتن

بار الگوریتم MUSIC، مقدار خطای تخمین به‌صورت میانگین در این ۱۰۰ بار اجرا محاسبه شده است. مقدار خطای تخمین DOA توسط الگوریتم MUSIC نیز در شکل (۵) آورده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، مقدار خطای تخمین در زوایای نزدیک به افق افزایش چشمگیری یافته است. باید توجه داشت که آنتن‌های تشعشعی در زوایای نزدیک به افق دارای بهره بسیار پایینی بوده و همین دلیل باعث کاهش قابل توجه دقت تخمین DOA شده است. در نتیجه به‌منظور حل این مشکل و بهبود خطای تخمین DOA، بایستی بهره آنتن را در زوایای نزدیک به افق افزایش داد. می‌توان برای این هدف، از ساختارهای آرایه‌ای غیرمسطح و شکل‌پذیر استفاده کرد که در بخش بعد به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.



شکل (۵): مقادیر خطای تخمین DOA برای ساختار مسطح

۳-۳- طراحی آرایه شکل‌پذیر

همان‌طور که قبلاً نیز گفته شد، به سبب بالا بودن خطای DOA در زوایای فراز پایین، ساختار آرایه‌ای غیرمسطح و شکل‌پذیر پیشنهاد شده است. به عبارت دیگر در ساختار مسطح به‌دلیل پایین بودن بهره عنصرها در زوایای فراز پایین، تخمین DOA در این زوایا با خطای زیادی همراه می‌باشد. بدین منظور ساختاری پیشنهاد می‌شود که دارای بهره بالا در زوایای فراز پایین باشد. ساختار پیشنهادی در شکل (۶) نشان داده شده است که شیب صفحات جانبی نسبت به صفحه افق ۴۵ درجه می‌باشد. این ساختار نیز مشابه ساختار مسطح، دارای ۷ عنصر آنتن پیچ می‌باشد که به فاصله $\lambda/2$ از یکدیگر قرار دارند و حجمی در ابعاد $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 5/5 \text{ cm}$ دارد. با توجه به شبیه‌سازی‌ها و بررسی‌های انجام‌شده در بخش قبلی می‌توان استنباط کرد در زوایایی که لوب اصلی عنصرها قرار دارند تخمین DOA به بهترین

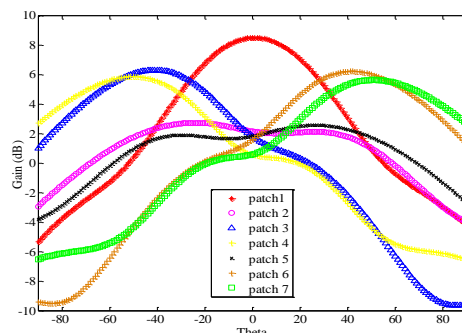
۴- نتیجه گیری

در این مقاله، طراحی یک آنتن آرایه‌ای نامسطح به منظور تخمین بهینه زاویه ورود سیگنال مورد بحث و بررسی قرار گرفت. به این منظور ابتدا بر اساس نتایج به دست آمده از طراحی و شبیه سازی تمام موج آنتن در ساختار آرایه، الگوریتم تخمین زاویه ورود سیگنال ارائه شده است. سپس با استفاده از روش ارائه شده، عملکرد ساختار آرایه مسطح و نامسطح با ۷ عنصر آنتنی و زاویای جانبی ۴۵ درجه در تخمین زاویه ورود سیگنال مقایسه شده است. نتایج به دست آمده نشان گر آن است که استفاده یک ساختار شکل پذیر دقت تخمین زاویه ورود در همه زوایا به ویژه در زوایای افق را به شدت افزایش می دهد.

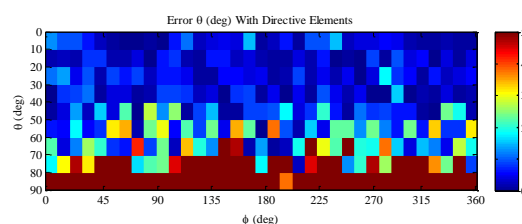
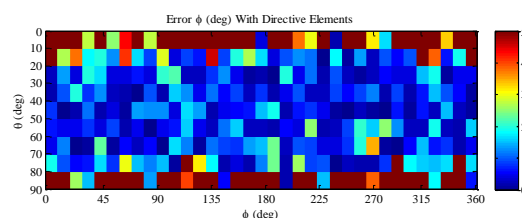
۵- منابع

- [1] U. Baysal, , and L. M. Randolph, "On the geometry of isotropic arrays." *IEEE Transactions on Signal Processing* 51, no. 6, pp. 1469-1478, 2003.
- [2] Z. Chen, G. Gokeda, and Y. Yu, *Introduction to Direction-of-Arrival Estimation*. Artech House Signal Processing Library, 2010
- [3] G. Byun, H. Choo, and H. Ling, "Optimum placement of DF antenna elements for accurate DOA estimation in a harsh platform environment," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 61, no. 9, pp. 4783-4791, Sep. 2013.
- [4] E. Ben-Ari and J. Remez, "Performance verification of a multimodal Interferometry DOA-estimation antenna," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.* vol. 10, pp. 1076-1080, 2011.
- [5] Z. Ye and X. Xu, "DOA estimation by exploiting the symmetric configuration of uniform linear array," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 55, no. 12, pp. 3716-3720, Dec. 2007.
- [6] I. D. Longstaff, P. E. K. Chow, and D. E. N. Davies, "Directional properties of circular arrays", *Electrical Engineers, Proceedings of the Institution of* 114.6, pp. 713-718, 1967
- [7] Lim, J. C., and D. E. N. Davies. "Synthesis of a single null response in an otherwise omnidirectional pattern using a circular array." *Electrical Engineers, Proceedings of the Institution of* 122.4, pp. 349-352, 1957
- [8] K. Kim, T.K. Sarkar, M.C. Wicks, R.F. Recio, and M.S. Palma, "DOA estimation utilizing directive elements on a conformal surface." In *Proceedings of the IEEE Radar Conference*, pp. 91-96 2003.
- [9] R. Sanudin, N. H. Noordin, A. O. El-Rayis, N. Haridas, A.T. Erdogan, T. Arslan, "Analysis of DOA estimation for directional and isotropic antenna arrays." *Antennas and Propagation Conference (LAPC)*, Loughborough, IEEE, pp. 1-4, 2011
- [10] H. Gazzah, "Parameter estimation using antenna arrays of directional sensors." *Communications, Signal Processing, and their Applications (ICCSPA)*, IEEE International Conference on, pp. 1-4, 2015
- [11] P.J. Soh, B. Van den Bergh, H. Xu, H. Aliakbarian, S. Farsi, P. Samal, G. A. Vandebosch, D. M. P Schreurs, B. K. Nauwelaers, "A smart wearable textile array system for biomedical telemetry applications." *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 61, no. 5 pp. 2253-2261, 2015
- [12] K. Kim, T. K. Sarkar, M. C. Wicks, R. F. Recio, and M. S. Palma, "DOA estimation utilizing directive elements on a conformal surface," in *Proc. IEEE Radar Conf.*, May, pp. 91-96, 2003

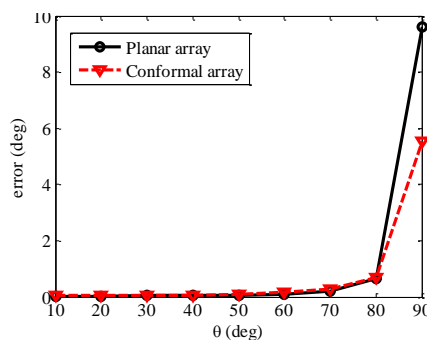
آرایه‌ای مسطح می باشد که این موضوع با توجه به مباحث مطرح شده، دور از انتظار نیز نبود.



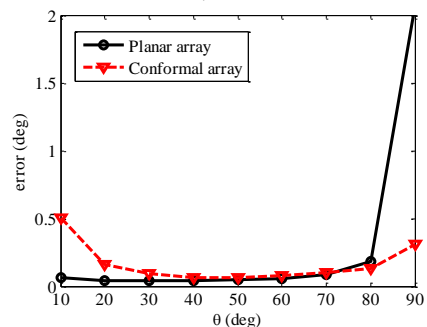
شکل (۷): الگوی تشعشعی ساختار ۴۵ درجه در $\phi=0$ درجه



شکل (۸): مقادیر خطای تخمین DOA برای ساختار ۴۵ درجه



(الف)



(ب)

شکل (۹): مقایسه خطای DOA ساختار مسطح با ساختار

شکل پذیر (الف) در راستای زاویه θ (ب) در راستای زاویه ϕ

- [13] F. Ghorbani, H. Aliakbarian, and S.Radium, "Elimination of Frequency Shift Between Axial Ratio Bandwidth and Impedance Bandwidth of the Circular Polarized Patch Antenna", *Journal of Applied Electromagnetics* Vol. 4, No. 4, pp.29-35, 2017 (in persian)
- [14] Pin T. Rahim and D. E. N. Davies, "Effect of directional elements on the directional response of circular antenna arrays," *IEE Proc. Microw., Opt. Antennas*, vol. 129, no. 1, pp. 18–22, 1982
- [15] S.O. Ata, and C. Isik, "High-Resolution Direction-of-Arrival Estimation via Concentric Circular Arrays." *ISRN Signal Processing*, 2013 .
- [16] S. N. Bhuiya, F. Islam, and M. A. Matin. "Analysis of Direction of arrival techniques using uniform linear array." *International Journal of Computer Theory and Engineering* 4.6, pp. 931-934, 2012

Conformal Array Antenna for Optimized DOA Estimation Performance

S. Mohammadi, A. Ghani, S. H. Sedighy *

Iran University Of Science And Technology

(Received: 20/10/2018, Accepted: 11/07/2019)

Abstract

A conformal array with directive patch antenna element is designed and proposed to achieve optimum direction of arrival performance. The MUSIC method is used for the proposed array evaluation and comparison where the antenna radiation patterns extracted from the full wave simulation software are encountered in the DOA estimation process. Antenna mutual coupling and radome effect are among the radiation patterns used to achieve more precise results. The simulations results prove that conformal array achieves better DOA estimation performance than the planar array antenna especially in the horizontal plane. Moreover, the conformal antenna array angle is evaluated to achieve optimum conformal array structure.

Keywords: Direction of Arrival (DOA), MUSIC, Conformal Array

* Corresponding author E-mail: sedighy@iust.ac.ir