مجله علمی- پژوهشی "الکترومغناطیس کاربردی"
سال اول، شماره ۱، زمستان ۱۳۹۲،ص ۱۸-۹

بهینه‌سازی هندسه آرایه برای شکل‌دهی پرتو در سیستم‌های آنتن هوشمند

فاطمه عسگری[1*]، فروهر فرزانه[2]

۱- دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی شریف، ۲- استاد دانشگاه صنعتی شریف

(دریافت ۹۲/۴/۲۶ ، پذیرش ۹۲/۱۰/۱۸)

چکیده

در این مقاله، تاثیر چینش عناصر آرایه و به عبارت دیگر، ساختار هندسی آرایه در کیفیت الگوریتم بیشینه کردن نسبت سیگنال به تداخل برای شکل‌دهی پرتو بررسی می‌شود و نشان می‌دهد که جابه‌جایی محل عناصر می‌تواند تغییرات قابل توجهی در شکل پرتو ایجاد کند. برای رسیدن به این مقصود، هندسه‌های مختلف دو و سه‌بعدی با تعداد چهار عنصر در آرایه برای حالتی که یک سیگنال اصلی و دو سیگنال تداخلی وجود دارد، با هم مقایسه می‌شوند. همچنین پرتو شکل‌یافته از یک آرایه مستطیلی چهار در چهار که ۱۶ عنصر دارد و تعداد عناصر آن بسیار بیشتر از مجموع تعداد سیگنال‌های اصلی و تداخلی در نظر گرفته‌شده است، به‌عنوان معیار مناسبی برای پرتو مطلوب ایجادشده در کنار ساختارهای هندسی چهار عنصری قرار می‌گیرد و مشاهده می‌شود که با انتخاب ساختار هندسی مناسب برای آرایه می‌توان از تعداد عناصر کمتر و در نتیجه، از هزینه پایین‌تری بهره برد. همچنین ساختار هندسی آرایه چهار عنصری با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای یک سناریوی خاص و تعداد ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ سناریوی تصادفی به‌صورت تجمعی بهینه‌سازی شده و نتایج شکل‌دهی پرتو با این ساختارهای هندسی بهینه آورده می‌شود.

واژه‌های کلیدی:

آنتن هوشمند، آنتن آرایه‌ای، شکل‌دهی پرتو، هندسه آرایه، نسبت سیگنال به تداخل.

۱- مقدمه

آنتن‌های هوشمند در سیستم‌های مخابرات سیار، به‌منظور حل مشکل محدودیت پهنای باند به میان آمدند. افزایش ظرفیت کانال، استفاده بهتر از طیف، افزایش محدوده پوشش، امکان شکل‌دهی پرتو، چرخش همزمان چند پرتو برای ردیابی تعداد بیشتری کاربر، از جمله مزایایی هستند که استفاده از این آنتن‌ها به ارمغان می‌آورد. به مدد این روش، اثرات محوشدگی چند مسیری، تداخل هم‌کانال، پیچیدگی و هزینه سیستم، نرخ خطای بیت و احتمال قطع آنچنان کاهش می‌یابد که برای رسیدن به سیستم‌های مخابراتی با ظرفیت بالا، استفاده از آنتن‌های آرایه‌ای و الگوریتم‌های وفقی، ضروری به نظر می‌رسد.

پرتو آنتن‌های هوشمند به وسیله الگوریتم‌هایی که شرایط خاصی را ارضا می‌کنند، کنترل می‌شود. این شرط می تواند بیشتر[1] کردن نسبت سیگنال به تداخل، کمتر[2] کردن واریانس، کمتر کردن متوسط مربع خطا و یا قرار گرفتن در جهت سیگنال دلخواه و ایجاد نول در برابر سیگنال‌های مزاحم باشد. اطلاعات جامعی در مراجع [۱و۲] در این زمینه آمده است.

فعالیت‌های تحقیقاتی زیادی در این زمینه انجام شده است. در [۳] طراحی آرایه خطی با سطح گلبرگ فرعی پایین و کارایی روزنه بالا برای ایجاد نول در جهات خواسته‌شده براساس الگوریتم ژنتیک انجام گرفته است. همچنین [۴] روشی سریع و مقاوم برای شکل‌دهی پرتو ارائه کرده است که در آن از تخمین گرادیان آشفته پی‌درپی برای کنترل فاز با هدف بیشتر کردن توان دریافتی آرایه استفاده می‌شود. مرجع [۵] هم با کنترل مکان و فاز عناصر آرایه خطی، به شکل‌دهی پرتو برای کنترل نول پرداخته است. برای سادگی اجرا، [۶] با استفاده از وزن‌های حقیقی عناصر آرایه صفحه‌ای یکنواخت، شکل‌دهی پرتو را در محدوده فرکانسی پهنی انجام داده است. به‌دلیل عدم استفاده از تغییردهنده‌های فاز، هزینه نیز کاهش می‌یابد.

رایانامه نویسنده پاسخگو: f.asgari@ee.sharif.ir

1– Maximum
2– Minimum

هندسه آرایه یا محل عناصر آرایه، یکی از عواملی است که می‌تواند برای بهبود عملکرد در سیستم‌های آنتن هوشمند مورد استفاده قرار گیرد؛ اما تلاش‌های تحقیقاتی اندکی در این زمینه انجام شده است. بیشتر فعالیت‌ها به آرایه‌های خطی اختصاص دارد و تحقیقات محدودی در مورد آرایه‌های دو و سه‌بعدی صورت‌گرفته است. در [۷] روشی برای کمینه کردن سطح گلبرگ فرعی با استفاده از وزن و موقعیت عناصر آرایه خطی پیشنهاد شده است. در [۸] روشی برای یافتن وزن‌های بهینه به‌منظور کمینه کردن سطح گلبرگ فرعی برای آرایه‌های صفحه‌ای پهن‌باند با پهنای پرتو مشخص آمده است که به میزان قابل توجهی سریع‌تر از سایر روش‌های وزن‌یابی بهینه پهن‌باند است. این سرعت بالای محاسبه، امکان بهینه‌سازی همزمان وزن‌ها و هندسه را فراهم می‌کند. نتایج این بهینه‌سازی برای آرایه‌های ۴ تا ۷ عنصری نشان می‌دهد که بهترین هندسه برای تعداد عناصر زوج، آرایه دایروی یکنواخت و برای تعداد عناصر فرد، آرایه دایروی یکنواخت با عنصر وسط است.

در این مقاله، ابتدا هندسه‌های مختلف دو و سه‌بعدی برای شکل‌دهی پرتو در مقابل یک سیگنال اصلی و دو سیگنال تداخلی مورد بررسی قرار می‌گیرد. بخش بعدی به بیان صورت مسئله و الگوریتم شکل‌دهی پرتو در حالتی که محل عناصر آرایه در فضای سه‌بعدی به‌صورت دلخواه واقع باشد، می‌پردازد. در بخش ۳، ساختارهای هندسی متنوعی برای آرایه چهار عنصری آورده می‌شود، همچنین برای مقایسه با حالت مطلوب، یک هندسه ۱۶ عنصری هم به‌عنوان معیار در نظر گرفته می‌شود. بخش چهارم، حاوی نتایج شبیه سازی برای هندسه‌های متنوع و مقایسه آنها خواهد بود. در بخش پنجم، هندسه بهینه آرایه برای این سناریوی خاص، همچنین هندسه بهینه برای ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ سناریوی تصادفی با استفاده از الگوریتم ژنتیک آورده می‌شود.

۲- شکل‌دهی پرتو

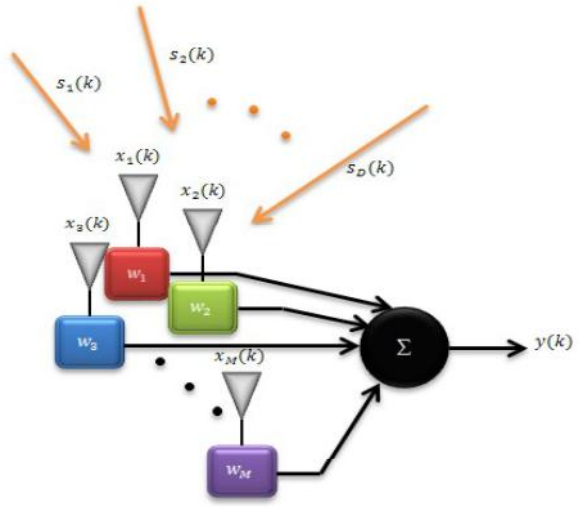
شکل (۱)، D سیگنال که از D جهت مختلف وارد یک آرایه M عنصری می‌شود و دارای M وزن است، را نشان می‌دهد. موقعیت عنصر iام آرایه در فضای سه‌بعدی در مختصات کارتزین $[x_i\ y_i\ z_i]$ است.

هر سیگنال نوفه گوسی جمع‌شونده‌ای با خود دارد و خروجی آرایه به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$y(k)=\bar{w}^T\cdot\bar{x}(k) \qquad (۱)$$

$$\bar{x}(k)=\left[\bar{a}(\phi_1,\theta_1)\ldots\bar{a}(\phi_D,\theta_D)\right]\cdot\begin{bmatrix}s_1(k)\\ \vdots\\ s_D(k)\end{bmatrix}+\bar{n}(k)=\bar{A}\cdot\bar{s}(k)+\bar{n}(k) \qquad (۲)$$

که در آن، $\bar{w}$ بردار وزن، $\bar{\eta}(k)$ بردار سیگنال‌های تابشی در لحظه k، $\bar{\eta}(k)$ بردار نوفه آرایه با متوسط صفر و واریانس σ_n^2، $\bar{a}(\phi_i,\theta_i)$ بردار هدایت آرایه جهت ورود سیگنال iام، $\bar{A}$ ماتریس بردارهای هدایت آرایه با ابعاد M×D هستند. فرض می‌شود D < M است.



شکل ۱- آرایه M عنصری که D سیگنال از جهات مختلف دریافت می‌کند.

$$\bar{A}=\left[\bar{a}(\varphi_1,\theta_1)\ldots\bar{a}(\varphi_D,\theta_D)\right] \qquad (۳)$$

$$\bar{a}(\varphi_i,\theta_i)=\begin{bmatrix}e^{-2\pi j(x_1\sin\theta_i\cos\varphi_i+y_1\sin\theta_i\sin\varphi_i+z_1\cos\theta_i)}\\ \vdots\\ e^{-2\pi j(x_M\sin\theta_i\cos\varphi_i+y_M\sin\theta_i\sin\varphi_i+z_M\cos\theta_i)}\end{bmatrix} \qquad (۴)$$

برای شکل‌دهی پرتو اگر بتوان در تمام جهات، تداخل نول ایجاد کرد مسلماً نسبت سیگنال به تداخل بیشینه می‌شود. چنانچه یک آرایه M تایی داشته باشیم می‌توانیم M-۱ نول ایجاد

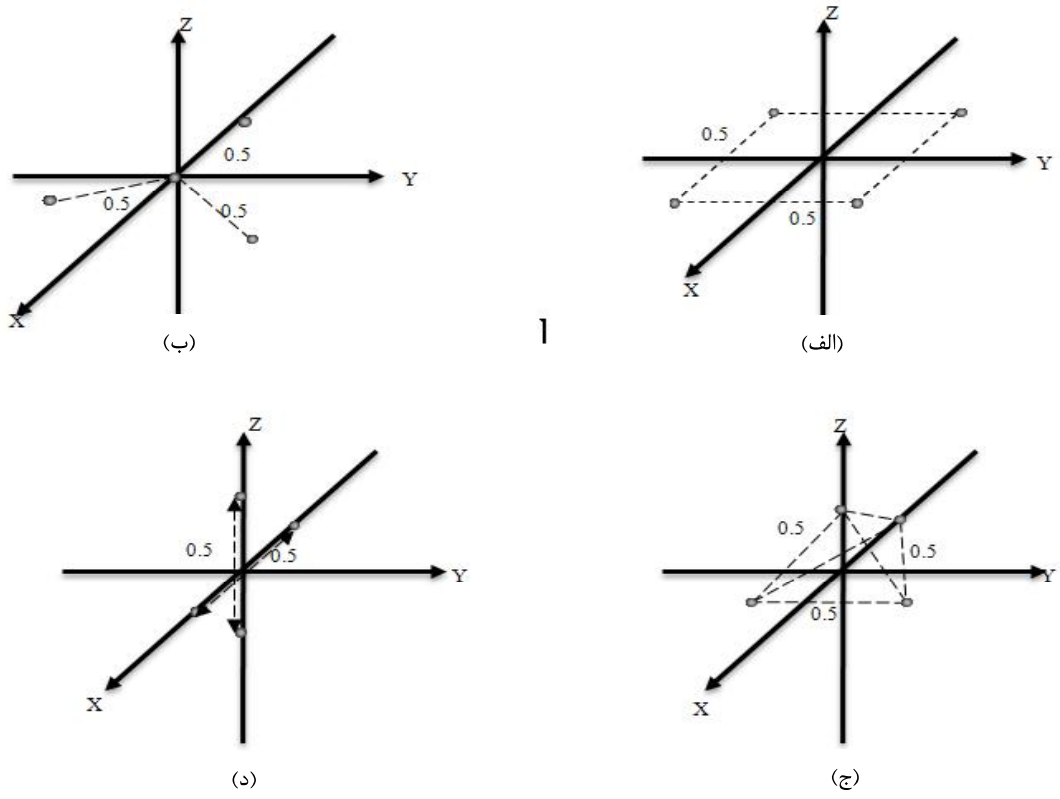
کنیم. در روش بیشینه کردن سیگنال به تداخل، ضرایب شکل‌دهی پرتو از رابطه زیر به‌دست می‌آید [۹]:

$$\overline{w}^H = \overline{u}_1^T.\overline{A}^H\left(\overline{A}.\overline{A}^H + \sigma_n{}^2\overline{I}\right)^{-1} \qquad (۵)$$

که در آن، $\overline{A}$ ماتریس بردارهای هدایت آرایه، $\overline{u}_1$ اولین بردار پایه کارتزین و σ_n^2، واریانس نوفه است. با جایگذاری وزن به‌دست آمده از رابطه(۵) در رابطه(۱) پرتو حاصل از روش شکل‌دهی پرتو با بیشینه کردن نسبت سیگنال به تداخل به‌دست می‌آید. با توجه به سه‌بعدی بودن روابط برای جلوگیری از پیچیدگی بیشتر، از اثر تزویج عناصر آرایه صرف نظر می‌شود.

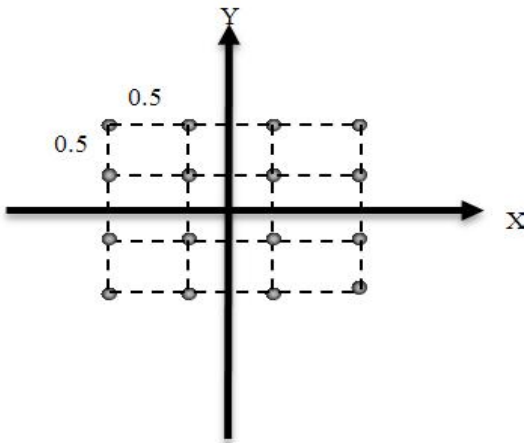
۳- ساختارهای هندسه آرایه

در این قسمت، چهار حالت برای چینش عناصر آرایه چهارتایی در نظر می‌گیریم. در حالت اول، چهار عنصر را روی چهار راس مربعی به ضلع نصف طول موج در صفحه XY می‌چینیم و مرکز مربع را در مبداء مختصات قرار می‌دهیم. این ساختار هندسی را آرایه مربعی می‌نامیم. آرایه دوم هم همچنان یک آرایه سطحی است که چهار عنصر آن در رئوس و مرکز یک مثلث متساوی‌الاضلاع قرار دارند و مرکز آن هم در مبداء مختصات قرار گرفته است. فاصله سه عنصر رأس از مرکز، به اندازه نیم طول موج است. این ساختار هندسی، آرایه مثلثی نامیده می‌شود. آرایه سوم، یک آرایه سه‌بعدی است که به‌صورت چهار وجهی منتظم و با طول یالی به اندازه نصف طول موج در نظر گرفته‌شده است. یکی از وجوه این چهار وجهی در صفحه XY قرار دارد و مرکز این وجه، بر مبداء مختصات منطبق است. این ساختار هندسی با عنوان آرایه چهار وجهی در نظر گرفته می‌شود. آرایه چهارم با وجود دو عنصر خارج از صفحه XY در حقیقت باز هم یک آرایه مسطح است که در صفحه XZ قرار گرفته است. چهار عنصر این آرایه روی محورهای X و Z و به فاصله ربع طول موج از مبداء مختصات قرار گرفته‌اند. این ساختار، آرایه لوزی نامگذاری می‌شود. چینش دیگری هم برای چهار عنصر در آرایه وجود دارد که آرایه‌ای خطی روی محور Z است. این آرایه به‌دلیل اینکه پراکندگی لازم در ۳۶۰ درجه زوایای سمت را ندارد، مورد بررسی قرار نمی‌گیرد. این چهار ساختار هندسی در شکل (۲) آمده است.



شکل ۲- ساختارهای هندسی آرایه چهار عنصری. الف) آرایه مربعی، ب) آرایه مثلثی، ج) آرایه چهار وجهی، د) آرایه لوزی

در کنار این آرایه‌های چهار عنصری، برای بررسی بهتر شکل‌دهی پرتو با حالت مطلوب، از یک آرایه مستطیلی چهار در چهار هم استفاده می‌کنیم. با توجه به اینکه تعداد عناصر این آرایه خیلی بیشتر از تعداد سیگنال‌های تابیده‌شده به آرایه است می‌توان گفت پرتو به‌دست آمده در این حالت به پرتو ایده‌آل نزدیک است و معیار مناسبی جهت مقایسه کارایی الگوریتم شکل‌دهی پرتو برای هندسه‌های متفاوت می‌باشد. شکل (۳) این ساختار آرایه را نشان می‌دهد. فاصله طولی و عرضی عناصر مجاور در این آرایه برابر نصف طول موج است.



شکل ۳- ساختار هندسی آرایه مستطیلی چهار در چهار (آرایه مبنا)

۴- نتایج شبیه‌سازی

برای مقایسه در شرایط مشابه، جهت ورود سیگنال اصلی و دو سیگنال تداخلی را مطابق جدول (۱) در نظر می‌گیریم و شکل‌دهی پرتو را با استفاده از ساختارهای هندسی پیشنهادی در بخش قبل ارزیابی می‌کنیم.

جدول ۱- جهت ورود سیگنال اصلی و دو سیگنال تداخلی برای شکل‌دهی پرتو

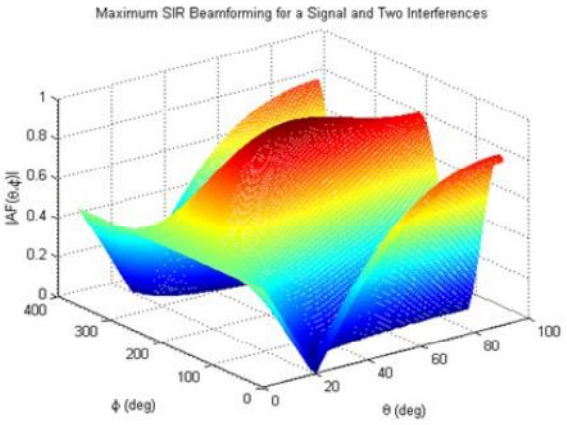
	S	l_2	l_2
θ	40°	20°	70°
φ	155°	0°	240°

برای سادگی در تمام حالات، پرتو عناصر آرایه، هم‌جا[1] فرض شده است.

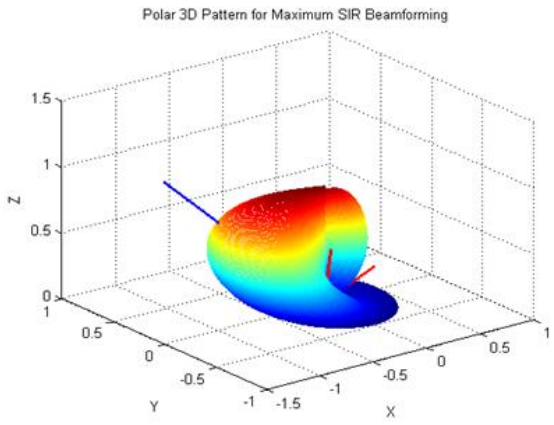
شکل (۴)، پرتو ایجادشده با استفاده از آرایه مربعی را نشان می‌دهد. شکل (۴- الف) پرتو را بر حسب زوایای سمت و ارتفاع نمایش داده و شکل (۴- ب) هم پرتو سه‌بعدی را نشان می‌دهد. محل سیگنال اصلی با خط آبی و محل سیگنال های تداخلی با خط قرمز مشخص‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در محل تداخل‌ها نول‌های عمیقی در پرتو وجود دارد.

پرتو شکل‌دهی‌شده با استفاده از آرایه مثلثی در شکل (۵) آمده است. شکل (۵ - الف) پرتو را بر حسب زوایای سمت و ارتفاع و شکل (۵- ب) پرتو سه‌بعدی را نشان می‌دهند.

شکل (۶)، پرتو آرایه چهار وجهی را نشان می دهد. پرتو برحسب زوایای سمت و ارتفاع در شکل (۶- الف) و پرتو سه‌بعدی در شکل (۶-ب) آمده است.



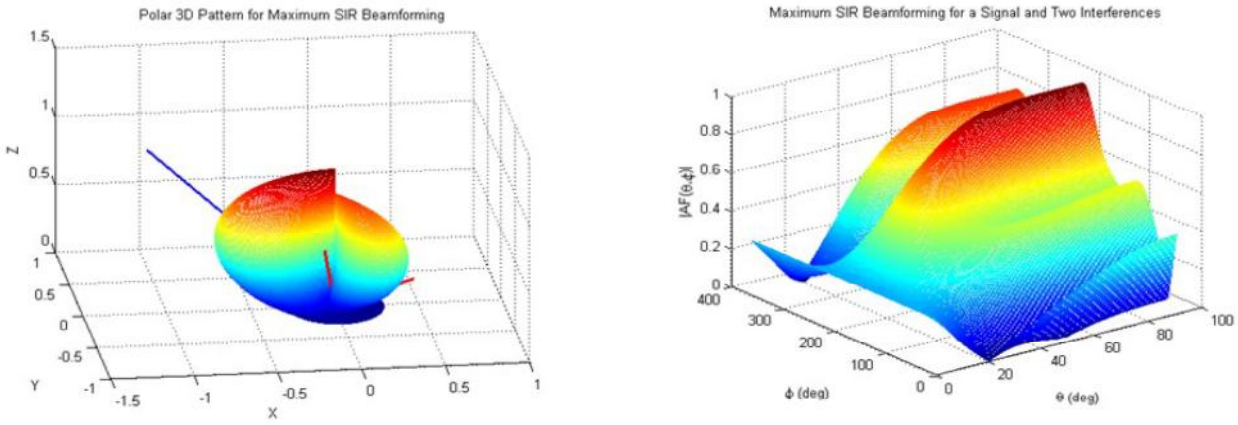
(الف)



(ب)

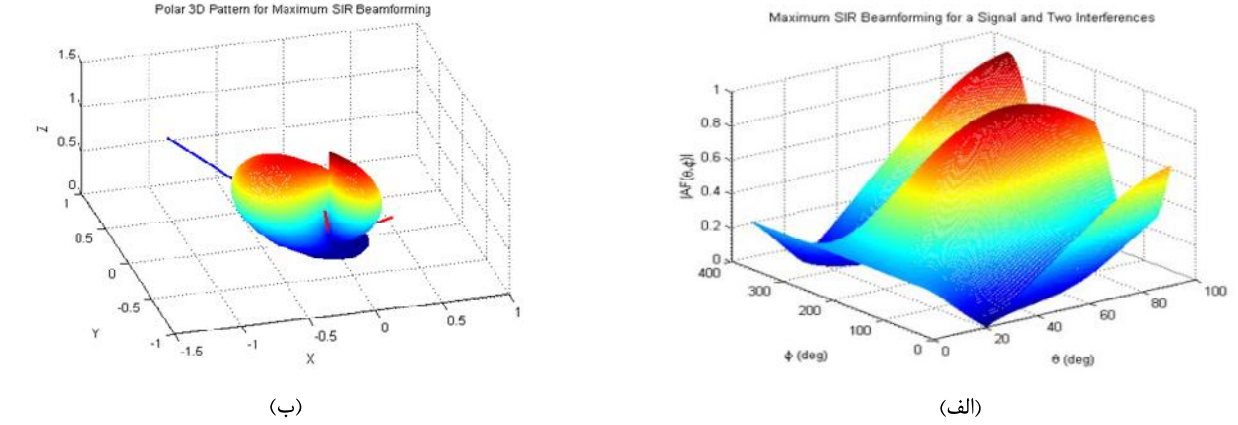
شکل ۴- شکل‌دهی پرتو با آرایه مربعی. الف) فاکتور آرایه برحسب زوایای سمت و ارتفاع، ب) پرتو سه‌بعدی آرایه

1- Isotope



(الف) (ب)

شکل ۵- شکل‌دهی پرتو با آرایه مثلثی. الف) فاکتور آرایه برحسب زوایای سمت و ارتفاع، ب) پرتو سه‌بعدی آرایه

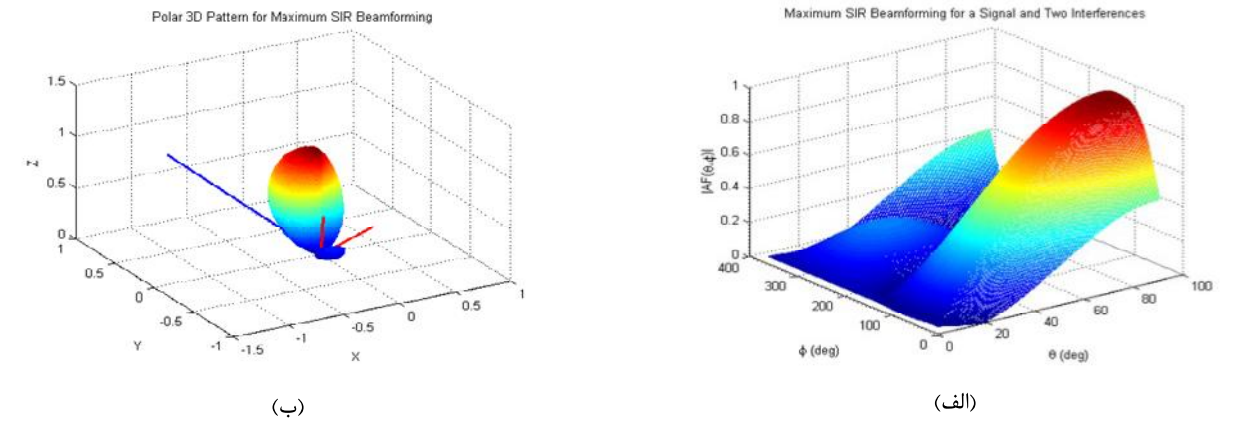


(الف) (ب)

شکل ۶- شکل‌دهی پرتو با آرایه چهاروجهی. الف) فاکتور آرایه برحسب زوایای سمت و ارتفاع، ب) پرتو سه‌بعدی آرایه

در این شکل نیز محل سیگنال اصلی با خط آبی و محل سیگنال‌های تداخلی با خط قرمز مشخص‌شده است.

شکل (۷)، پرتو ایجادشده با استفاده از آرایه لوزی را نشان می‌دهد. فاکتور آرایه بر حسب زوایای سمت و ارتفاع در شکل (۷- الف) آمده است. شکل (۷-ب) هم پرتو سه‌بعدی را نشان می‌دهد. در این شکل محل سیگنال اصلی با خط آبی و محل سیگنال‌های تداخلی با خط قرمز مشخص‌شده است. این نوع هندسه، توانایی خوبی برای قرار دادن بیشینه پرتو در جهت



(الف) (ب)

شکل ۷- شکل‌دهی پرتو با آرایه لوزی. الف) فاکتور آرایه برحسب زوایای سمت و ارتفاع، ب) پرتو سه‌بعدی آرایه

سیگنال اصلی را ندارد. این مسئله با توجه به قرار گرفتن دو عنصر خارج از صفحه XY چندان هم دور از انتظار نیست.

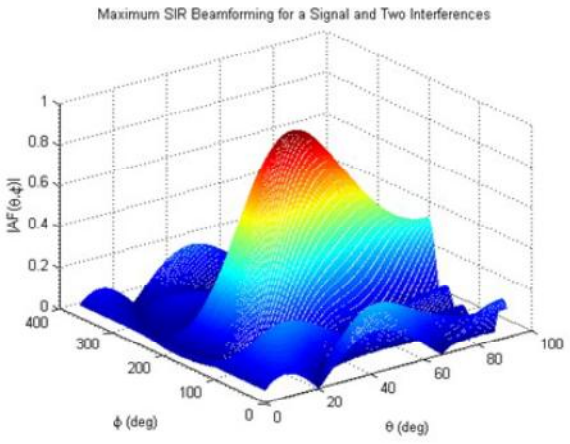
پرتو شکل‌دهی‌شده با استفاده از آرایه مبنا یا همان آرایه مستطیلی چهار در چهار (شکل ۳) در شکل (۸) آمده است. شکل (۸- الف) پرتو را بر حسب زوایای سمت و ارتفاع و شکل (۸- ب) پرتو سه‌بعدی را نشان می‌دهد. در شکل (۸- ب) محل سیگنال اصلی با خط آبی و محل سیگنال‌های تداخلی با خط قرمز علامت‌گذاری شده است. همان‌طور که در بخش قبل نیز گفته شد این آرایه به‌عنوان معیاری برای شکل‌دهی پرتو مطلوب و مقایسه سایر ساختارها با آن آورده شده است. از آنجا که تعداد عناصر این آرایه به میزان قابل توجهی از تعداد سیگنال‌های اصلی و تداخلی بیشتر است، همان‌گونه که انتظار می‌رود شکل پرتو ایجادشده از حیث قرار گرفتن بیشینه در راستای سیگنال اصلی و نول‌ها در جهت تداخل‌ها کاملاً مناسب است.

برای مقایسه کمّی شکل‌دهی پرتو با استفاده از ساختارهای هندسی متفاوتی که در بخش قبل معرفی شد، نسبت سیگنال به تداخل برای جهت‌های سیگنال‌های تداخلی و نسبت سیگنال به بیشینه پرتو در جهت سیگنال اصلی برای الگوریتم شکل‌دهی پرتو به‌کاررفته با استفاده از ساختارهای هندسی مختلف، در جدول (۲) آمده است. نسبت سیگنال به بیشینه پرتو نشان‌دهنده موفقیت شکل‌دهی پرتو در قرار دادن بیشینه پرتو در جهت سیگنال اصلی است و هرچه اندازه این عدد کوچکتر باشد نتیجه رضایت‌بخش‌تر است. در مقابل، هرچه نسبت سیگنال به تداخل برای پرتو به‌دست‌آمده در جهت تداخل‌ها بزرگتر باشد، نول‌های عمیق‌تری در آن راستا ایجادشده است.

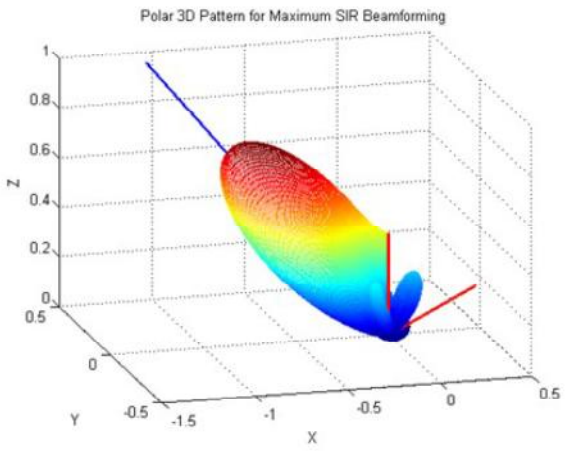
در جدول (۲) نسبت سیگنال به تداخل به‌صورت SIR و نسبت سیگنال اصلی به بیشینه پرتو با SMR مشخص‌شده است. هندسه مستطیلی چهار در چهار که به‌عنوان معیاری برای مقایسه در نظر گرفته‌شده است، در ردیف انتهایی این جدول آمده است. به رغم شکل ظاهری بهتری که پرتو این آرایه می‌دهد، نسبت سیگنال به تداخل سایر ساختارها به‌خصوص هندسه چهار عنصری مربعی با این آرایه قابل مقایسه و مورد پذیرش است.

جدول ۲- نسبت سیگنال به تداخل‌ها و سیگنال به بیشینه پرتو برای ساختارهای هندسه آرایه پیشنهادی در بخش ۳

	SMR (dB)	SIR1 (dB)	SIR2 (dB)
آرایه مربعی	-۰/۰۷	۳۵/۱	۳۴/۴
آرایه مثلثی	-۰/۸۳	۲۶/۶	۲۵/۶
آرایه چهار وجهی	-۰/۵۰	۲۶/۸	۲۹/۳
آرایه لوزی	-۴/۶۱	۱۶/۷	۲۶/۵
آرایه مبنا	-۰/۰۰۵	۴۳/۱	۴۱/۰



(الف)



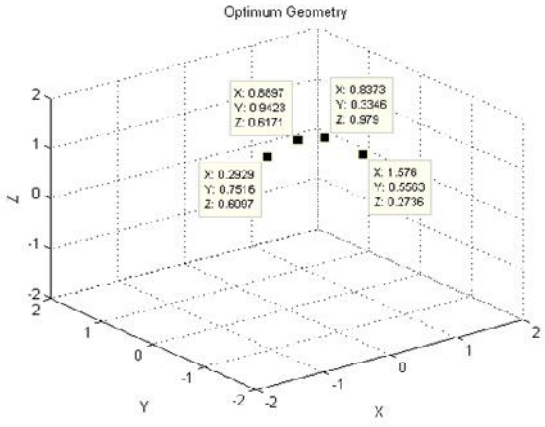
(ب)

شکل ۸- شکل‌دهی پرتو با آرایه مستطیلی چهار در چهار. الف) فاکتور آرایه برحسب زوایای سمت و ارتفاع، ب) پرتو سه‌بعدی آرایه

در مجموع، بین چهار هندسه چهار عنصری مطرح‌شده از حیث کارایی در نسبت سیگنال به تداخل و قرار گرفتن بیشینه پرتو در جهت سیگنال اصلی، آرایه مربعی بهترین مشخصه را دارد و پس از آن، آرایه چهار وجهی و آرایه مثلثی قرار می‌گیرند. فاصله نسبت سیگنال به تداخل‌های به‌دست‌آمده با استفاده از آرایه چهار وجهی و آرایه مربعی چندان زیاد نیست و پرتو در جهت سیگنال اصلی حدود ۰/۵dB از بیشینه پرتو کمتر است. به همین خاطر، آرایه چهار وجهی از حیث شکل‌دهی پرتو هم قابل قبول است. آرایه لوزی در میان چهار ساختار آرایه‌های چهار عنصری ضعیف‌ترین مشخصه را می‌دهد؛ به‌خصوص که نسبت سیگنال اصلی به بیشینه پرتو آن حدود ۴dB است.

۵- ارائه هندسه بهینه برای شکل‌دهی پرتو

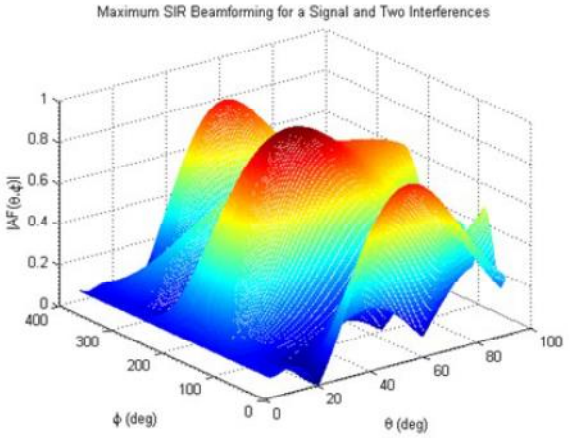
برای رسیدن به هندسه بهینه در جهت بیشینه کردن نسبت سیگنال به تداخل با استفاده از الگوریتم ژنتیک هندسه شکل (۹) برای جهت‌های ورود سناریوی موجود (جدول ۱) به‌دست می‌آید.



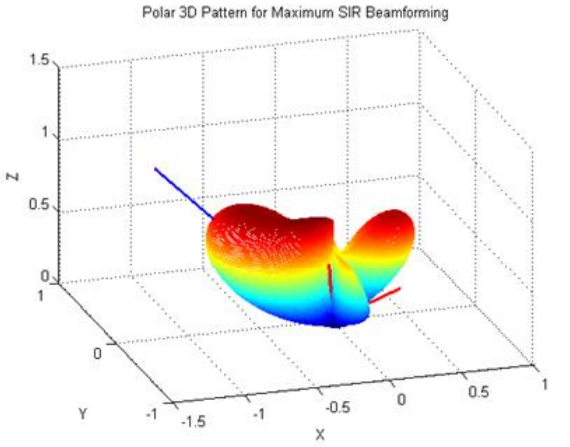
شکل ۹- ساختار هندسی بهینه شکل‌دهی پرتو برای سناریوی موجود (جدول ۱)

شکل (۱۰)پرتو به‌دست‌آمده با روش بیشینه کردن سیگنال به تداخل را برای این هندسه نشان می‌دهد. جدول (۳) هم نسبت سیگنال به تداخل و نسبت سیگنال به بیشینه پرتو را در این شرایط نشان می‌دهد.

اگرچه داده‌های جدول (۳) بسیار رضایت‌بخش است، لیکن



(الف)



(ب)

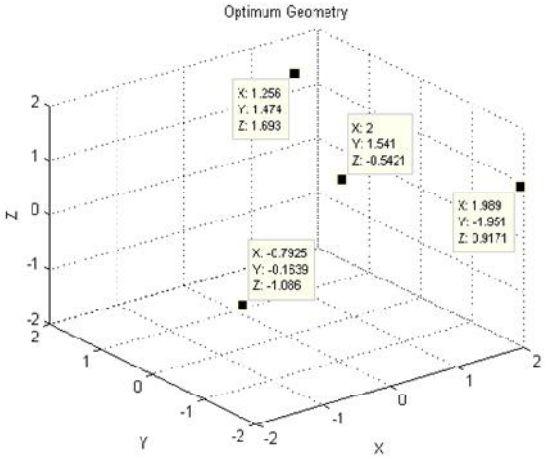
شکل ۱۰- شکل‌دهی پرتو با هندسه بهینه برای سناریوی موجود. الف) فاکتور آرایه برحسب زوایای سمت و ارتفاع، ب) پرتو سه‌بعدی آرایه

جدول ۳- نسبت سیگنال به تداخل وسیگنال به بیشینه پرتو- هندسه بهینه برای سناریوی موجود

	SMR (dB)	SIR1 (dB)	SIR2 (dB)
هندسه بهینه	۰	۵۲،۸	۵۴،۸

بهینه‌سازی هندسی برای یک سناریوی خاص در شرایط عملی چندان مفید به نظر نمی‌رسد. هر چند مرجع [۷] این کار را انجام داده ولی ما به این بهینه‌سازی اکتفا نمی‌کنیم، چرا که با روح تعریف آنتن هوشمند در تناقض است.

برای کاهش وابستگی بهینه‌سازی به جهات ورود سیگنال، این بار بهینه‌سازی را برای ۱۰۰۰ سناریوی تصادفی به‌صورت تجمعی انجام می‌دهیم. شکل (۱۱) این هندسه را نشان



شکل ۱۱- ساختار هندسی بهینه شکل‌دهی پرتو برای ۱۰۰۰ سناریوی تصادفی

می‌دهد. شکل (۱۲) پرتو به‌دست‌آمده با روش بیشینه کردن سیگنال به تداخل را با استفاده از این هندسه برای سناریوی مورد بحث نمایش می‌دهد. نسبت سیگنال به تداخل و نسبت سیگنال به بیشینه پرتو در این شرایط در جدول (۴) آمده است. داده‌های این جدول در حد داده‌های آرایه چهار وجهی با استفاده از همین روش است. برای درک بهتر این هندسه، جدول (۵) مختصات کروی محل عناصر را نشان می‌دهد.

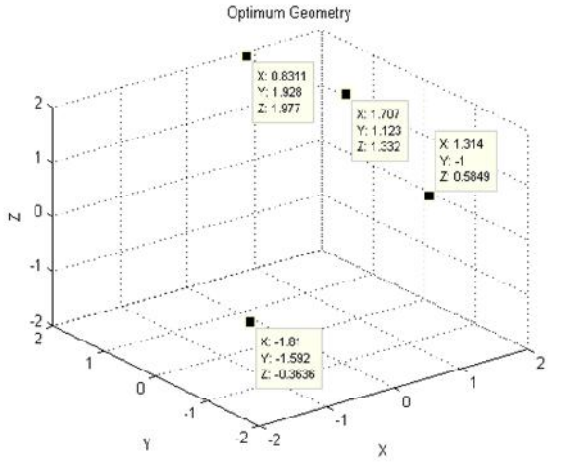
این بار بهینه‌سازی را برای ۱۰۰۰۰ سناریوی تصادفی به‌صورت تجمعی انجام می‌دهیم. شکل (۱۳) هندسه بهینه را نشان می‌دهد.

جدول ۴- نسبت سیگنال به تداخل و سیگنال به بیشینه پرتو- هندسه بهینه برای ۱۰۰۰ سناریوی تصادفی

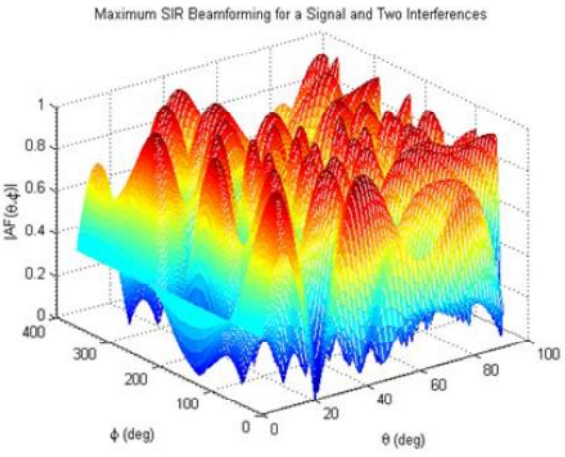
	SMR (dB)	SIR۱ (dB)	SIR۲ (dB)
هندسه بهینه	-۰,۵۹	۲۸,۲	۲۴,۸

جدول ۵- مختصات کروی عناصر هندسه بهینه شکل‌دهی پرتو برای ۱۰۰۰ سناریوی تصادفی

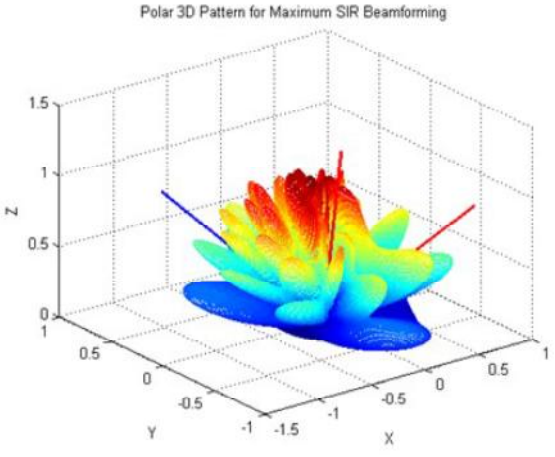
Element Num	Radius	Azimuth	Elevation
۱	۲,۹	۳۱۶	۱۸
۲	۲,۶	۳۸	-۱۲
۳	۲,۶	۵۰	۴۱
۴	۱,۴	۱۹۲	-۵۳



شکل ۱۳- ساختار هندسی بهینه شکل‌دهی پرتو برای ۱۰۰۰۰ سناریوی تصادفی

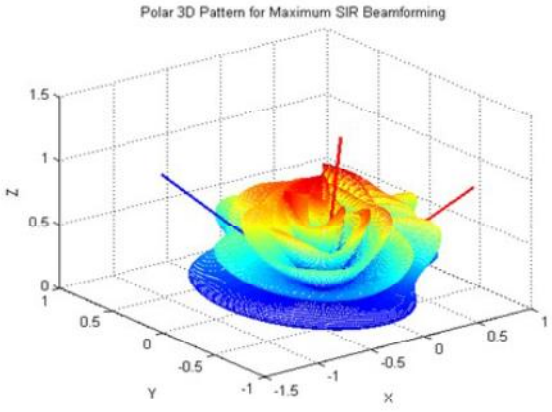


(ب)

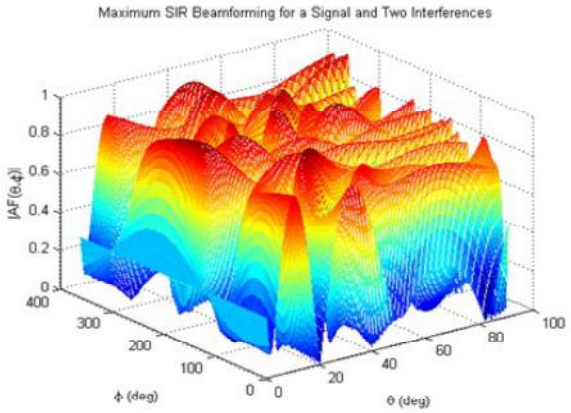


(الف)

شکل ۱۲- شکل‌دهی پرتو با هندسه بهینه برای ۱۰۰۰ سناریوی تصادفی. الف) فاکتور آرایه برحسب زوایای سمت و ارتفاع، ب) پرتو سه‌بعدی آرایه



(الف)



(ب)

شکل ۱۴- شکل‌دهی پرتو با هندسه بهینه برای ۱۰۰۰۰ سناریوی تصادفی. الف) فاکتور آرایه برحسب زوایای سمت و ارتفاع، ب) پرتو سه‌بعدی آرایه

شکل (۱۴) پرتو به‌دست‌آمده با روش بیشینه کردن سیگنال به تداخل را با استفاده از این هندسه برای سناریوی مورد بحث نشان می‌دهد. نسبت سیگنال به تداخل و نسبت سیگنال به بیشینه پرتو در این شرایط در جدول (۶) آمده است. مختصات کروی محل عناصر هم در جدول (۷) آورده شده است.

جدول ۶- نسبت سیگنال به تداخل و سیگنال به بیشینه پرتو- هندسه بهینه برای ۱۰۰۰۰ سناریوی تصادفی

	SMR (dB)	SIR۱ (dB)	SIR۲ (dB)
هندسه بهینه	-۳,۲۶	۱۸,۰	۲۵,۸

جدول ۷- مختصات کروی عناصر هندسه بهینه شکل‌دهی پرتو برای ۱۰۰۰۰ سناریوی تصادفی

Element Num	Radius	Azimuth	Elevation
۱	۲,۹	۶۷	۴۳
۲	۲,۴	۳۳	۳۳
۳	۲,۴	۱۲۲	-۸
۴	۱,۷	۳۲۳	۱۹

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله چهار نوع ساختار هندسی برای آرایه چهار عنصری در سیستم آنتن هوشمند در نظر گرفته شد و با استفاده از الگوریتم بیشینه کردن نسبت سیگنال به تداخل برای شکل‌دهی پرتو، نشان داده شد هندسه آرایه نقش موثری در کارایی الگوریتم شکل‌دهی پرتو دارد. از میان چهار ساختار چهار عنصری تعریف‌شده در این مقاله، هندسه مربعی که پراکندگی بیشتری در ۳۶۰ درجه زاویه سمت دارد، رفتار بهتری از خود نشان می‌دهد و پس از آن، ساختارهای هندسی آرایه چهار وجهی و آرایه مثلثی، مشخصه قابل قبولی دارند. همچنین ساختار هندسی آرایه با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای سناریوی مورد بحث و تعداد ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ سناریوی تصادفی به‌صورت تجمعی بهینه‌سازی شده و نتایج شکل‌دهی پرتو با این ساختارهای هندسی بهینه آورده شد.

۷- مراجع

[1] Liu, W., Weiss, S., "Wideband Beamforming Concepts and Techniques Wireless Communications and Mobile Computing," John Wiley & Sons, 2010.

[2] Haupt, R.L., "Antenna Arrays A Computational Approach," John Wiley & Sons, 2010.

[3] Gomez, N.G., Rodriguez, J.J., Melde, K.L., McNeill, K.M., "Design of Low-Sidelobe Linear Arrays With High Aperture Efficiency and Interference Nulls," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 8, pp. 607-610, 2009.

[4] Fakharzadeh, M., Jamali, S. H., Mousavi, P., and Safavi-Naeini, S., "Fast Beamforming for Mobile Satellite Receiver Phased Arrays: Theory and Experiment," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 57, No. 6, pp. 1645-1654, June 2009.

[5] Elkamchouchi, H.M., Wagih, M.M., "Dynamic Null Steering in Linear Antenna Arrays Using Adaptive Particle Swarm Optimization Algorithm," Proceedings of the Third International Conference on Wireless and Mobile Communications, ICWMC'07, pp.24-34, March 2007.

[6] Uthansakul, M., Uthansakul, P., "Null Steering Scheme for Wideband Spatial Beamformer," Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference, pp. 1-4, Dec. 2007.

[7] Bevelacqua, P.J., and Balanis, C.A., "Minimum Sidelobe Levels for Linear Arrays," IEEE Transactions on Antennas

and Propagation, Vol. 55, No. 12, pp. 3442-3449, Dec. 2007.

[8] Bevelacqua, P.J., and Balanis, C.A., "Geometry and Weight Optimization for Minimizing Sidelobes in Wide-band Planar Arrays," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 57, No. 4, pp. 1285-1289, April. 2009.

[9] F. B. Gross, Smart Antennas for Wireless Communications With MATLAB, McGraw-Hill, 2005.

Applied Electromagnetics
Volum 1, Number 1, 2014

Array Geometry Optimization for Beamforming in Smart Antenna Systems

Fateme Asgari[*1],Forohar Farzane[2]

1- PhD student at Sharif University of Technology
2- Professor Sharif University of Technology

Abstract

This paper investigates different geometries in two and three dimensions for array antenna with four elements. We study the influence of array elements location, or array geometry, on the performance of maximum signal to interference beamforming algorithm which turns out that changing elements place in array antenna varies the array antenna beam. To compare antenna beam for various array geometries, special circumstances of one signal and two interferences have been considered. Also beam of antenna for sixteen elements array antenna in the structure of 4x4 rectangular, is the basis of the comparison, regarding to its elements number, which is much more than the number of signals and interferences. Geometry of the four elements array has in addition been optimized , and is suggested for minimizing signal to interference ratio under special circumstances. Array geometry has furthermore been optimized for 1000 and 10000 random conditions cumulatively using genetic algorithm. The beam of this optimized array geometry has finally been investigated under special circumstances.

Keywords: smart antenna, array antenna, beamforming, array geometry, signal to interference ratio.

❊**Corresponding Author Email:** f.asgari@ee.sharif.ir