

ارائه یک روش جدید (DMSAE) برای جهت یابی رادیویی و تشخیص تعداد منابع سیگنال با سطوح توانی متفاوت

علی اکبر تدین تفت^{(۲)،(۳)}
دانشجوی دوره دکتری مخابرات
tadaion@mehr.sharif.edu
(۳) صنایع الکترونیک زعیب

مسعود موحدی^{(۱)،(۳)}
دانشجوی دوره دکتری مخابرات
movahhedi@aut.ac.ir
(۱) دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(۲) دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

در این مقاله روش جدیدی به نام Direction Finding of Multiple Sources by Alternating Eliminations (DMSAE) در بحث جهت یابی رادیویی ارائه میگردد. این روش که بر پایه الگوریتم MVDR استوار است علاوه بر اینکه قابلیت تشخیص همزمان تعداد و جهت منابع ارسال کننده سیگنال را دارد، قدرت تفکیک کنندگی بسیار بیشتری نسبت به سایر روشهای متداول جهت یابی رادیویی داشته و همچنین امکان آشکارسازی منابع بسیار ضعیف در حضور منابع قوی را دارا می باشد.

کلمات کلیدی: DOA, MVDR, DMSAE, Direction Finding, Beamforming Algorithms

۱) مقدمه

مبحث جهت یابی رادیویی^۱ و یا Direction of Arrival (DOA) از جمله زمینه هائی است که از سالیان پیش تحقیقات زیادی روی آن صورت گرفته است. این مقوله که ابتدا در سیستمهای آرایه^۲ مطرح شده بود در حال حاضر نیز به همراه مبحث شکل دهی پرتو^۳ در زمینه مخابرات سیار (سیستمهای SDMA^۴ و آنتنهای هوشمند^۵) مورد توجه بسیاری از مراکز تحقیقاتی قرار دارد [۱]. بطور کلی روشهای تخمین DOA پیشنهاد شده را میتوان به دو گروه روشهای تخمین طیفی^۶ و روشهای ساختار ویژه^۷ طبقه بندی نمود [۱]. در روشهای گروه اول که مهمترین آنها MVDR [۲] و Maximum Likelihood [۳] هستند، با محاسبه طیف مکانی^۸ و بدست آوردن نقاط ماکزیمم محلی، تعداد و جهت منابع سیگنال تعیین میگردد. تخمین همزمان تعداد و جهت منابع ارسال کننده سیگنال و همچنین زمان پردازشی کم این روشها از جمله نقاط قوت آنها محسوب میگردد ولی قدرت تفکیک پذیری کم در تشخیص منابع نزدیک بهم و منابع با اختلاف توانی زیاد، همچنین حساسیت زیاد آنها به نویز و کالیبراسیون آرایه دلایلی هستند که استفاده از آنها را محدود نموده است. روشهای گروه دوم که به الگوریتم MUSIC [۴] به عنوان مهمترین آنها میتوان اشاره کرد، بر پایه این خاصیت ماتریس

- 1- Radio Direction Finding
- 2- Adaptive Array Systems
- 3- Beamforming
- 4- Space Division Multiple Access
- 5- Smart Antennas
- 6- Spectral Estimation Methods
- 7- Eigenstructure Methods
- 8- Spatial Spectrum

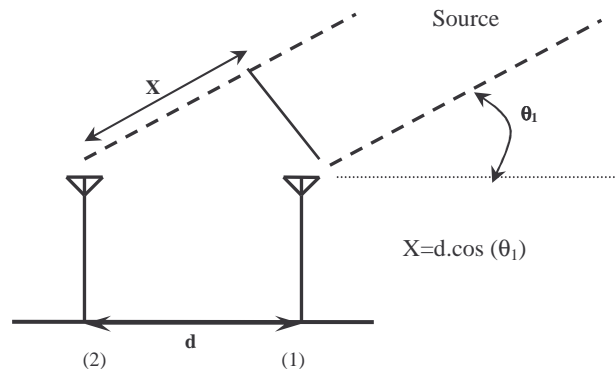
کواریانس پایه گذاری شده اند که فضا توسط بردارهای ویژه آن به دو زیرفضای سیگنال و نویز تقسیم میشود به گونه ای که بردارهای آرایه در جهت منابع، عمود بر زیر فضای نویز قرار میگیرند. سادگی فرمول بندی، قدرت تفکیک زیاد و حساسیت بسیار کمتر آنها به نویز از جمله محاسن آنها محسوب میشود ولی احتیاج به دانستن تعداد منابع قبل از اعمال الگوریتمها و تنها قابل اعمال بودن بعضی از روشهای این دسته به آرایه های خطی از مهمترین معایبشان به شمار می آید.

در این مقاله روش جدیدی که تلفیقی از روش MVDR و Iterative Null Steering [۵] است ارائه میگردد. در این الگوریتم - که قابلیت تشخیص همزمان تعداد منابع و جهت آنها وجود دارد- به روش تکراری، با حذف اثر منابع سیگنال تخمین زده شده، امکان آشکارسازی و جهت یابی منابع سیگنال ضعیف و یا نزدیک بهم نیز فراهم میگردد. لذا با استفاده از این الگوریتم به خوبی میتوان معایب روش MVDR را پوشش داده و روش قدرتمندی در جهت یابی رادیویی و همچنین جهت دهی پرتو برای سیستمهای افقی بدست آورد.

در این گفتار ابتدا مدل سیگنال برای یک آرایه آنتنی ارائه شده و مسأله فرمول بندی میگردد، سپس بصورت خلاصه به روش MVDR به عنوان پایه الگوریتم جدید اشاره شده و در ادامه، به معرفی الگوریتم DMSEA با جزئیات کامل به همراه نتایج شبیه سازی می پردازیم. در بخش انتهایی نیز با اعمال الگوریتم به داده های واقعی صحت آن مورد ارزیابی قرار می گیرد.

۲) فرمول بندی مسأله

در مسأله جهت یابی رادیویی با استفاده از یک آرایه آنتنی - که این آرایه در حالت کلی می تواند هر نوع ساختاری داشته باشد(خطی، دایروی ، ...) - و با تحلیل سیگنالهای دریافتی توسط هر کدام از المانهای آرایه می توان تعداد و جهت منابع ارسال کننده سیگنال را تخمین زد. ابتدا جهت سادگی فرض می کنیم که تنها یک منبع، امواج الکترومغناطیس ساطع نموده و این امواج، توسط آرایه ای که فقط دو المان آنتنی دارد دریافت می گردند.



شکل (۱): آرایه آنتن دو المانی در حضور یک منبع سیگنال

همانگونه که در شکل (۱) مشخص است با فرض اینکه منبع در فاصله دوری از آرایه قرار داشته باشد، امواج رسیده به هر کدام از المانهای آرایه با یکدیگر موازی خواهند بود. با فرض اینکه آنتنها از نوع همه جهت^۱ باشند سیگنال دریافتی آنتنها $x_1(t)$ و $x_2(t)$ را می توان بصورت ماتریسی نشان داد.

$$\underline{X}(t) = s(t)\underline{a}(\theta) + \underline{n}(t) \quad (۱)$$

$$\underline{n}(t) = \begin{bmatrix} n_1(t) \\ n_2(t) \end{bmatrix}, \quad \underline{a}(\theta) = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{-j\beta d \cos(\theta)} \end{bmatrix}, \quad \underline{X}(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} \quad \text{که}$$

$n_1(t)$ و $n_2(t)$ به ترتیب نشان دهنده نویز دریافتی آنتنهای (۱) و (۲) هستند. مسأله مهمی که باید به آن توجه داشت این است که فرض می شود پهنای باند سیگنال $s(t)$ نسبت به فرکانس مرکزی کوچک بوده و یا به عبارتی سیگنال، باند باریک است.

حال اگر آرایه‌ای از M المان در نظر گرفته و فرض کنیم N منبع در محیط وجود داشته باشد می‌توان بسادگی دید.

$$\underline{X}(t) = A\underline{s}(t) + \underline{n}(t) \quad (2)$$

که A یک ماتریس $M \times N$ به صورت زیر بوده

$$A_{M \times N} = [\underline{a}(\theta_1) \underline{a}(\theta_2) \underline{a}(\theta_3) \dots \underline{a}(\theta_N)] \quad (3)$$

و $\underline{s}(t)$ و $\underline{n}(t)$ بردارهایی به صورت زیر می‌باشند.

$$\underline{s}(t) = \begin{bmatrix} s_1(t) \\ s_2(t) \\ \vdots \\ s_N(t) \end{bmatrix}, \quad \underline{n}(t) = \begin{bmatrix} n_1(t) \\ n_2(t) \\ \vdots \\ n_M(t) \end{bmatrix} \quad (4)$$

در روابط بالا $\underline{a}(\theta)$ را بردار فضای آرایه^۱ و یا Array manifold می‌نامند که می‌تواند در حالت کلی تابعی از دو زاویه θ و φ (زاویه افقی و φ زاویه عمودی) باشد [۶]. در بحث جهت یابی، هدف پیدا کردن ماتریس $A(\theta)$ با داشتن سیگنالهای مشاهده شده ($\underline{X}(t)$) از آرایه آنتنی می‌باشد.

(۳) روش (Minimum Variance Distortionless Response) MVDR

الگوریتم MVDR در اصل برای جهت دهی پرتو در Adaptive Array Systems مورد استفاده قرار می‌گیرد. در الگوریتمهای جهت‌دهی پرتو، خروجی هر کدام از المانهای آرایه در یک ضریب W_i^* - که این ضریب بسته به نوع الگوریتم مشخص می‌شود - ضرب شده و سپس با یکدیگر جمع می‌گردند. در الگوریتم MVDR که بنام روش کاپون^۲ نیز شناخته می‌شود، ضرایب آرایه به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که سیگنال جهت مورد نظر بدون هیچ گونه اعوجاج عبور داده شود در حالی که بیشترین تضعیف نیز روی سیگنالهای نویزی (شامل نویزهای مداری و سیگنالهای تداخلی^۳) اعمال گردد. همان گونه که مشخص است با تغییر دادن جهت مورد نظر می‌توان از این الگوریتم برای تعیین منابع سیگنال موجود در اطراف آرایه همچنین جهت آنها استفاده نمود. ماتریس کوواریانس داده‌های نمونه برداری شده را (R_s) بصورت زیر تعریف می‌نمائیم.

$$R_s \equiv \sum_{k=1}^Q \underline{X}(k) \underline{X}^H(k) \quad (5)$$

که علامت H نشان دهنده ترانپوز مزدوج می‌باشد. حال سیگنالهای دریافتی از المانهای آرایه که در ضرایب W_i ضرب شده اند با یکدیگر جمع می‌گردند تا خروجی آرایه $y(t)$ ایجاد شود.

$$y(t) = \underline{W}^H \underline{X}(t) = \underline{W}^H A(\theta) \underline{s}(t) + \underline{W}^H \underline{n}(t) \quad (6)$$

که بردار ضرایب الگوریتم MVDR می‌باشد؛ به گونه ای تعیین می‌شود که علاوه بر اینکه توان خروجی $(y(t)y(t)^*)^4$ حداقل میگردد (برای حداقل کردن اثر تداخل و نویز)، گین (بهره) در جهت مورد نظر^۵ θ_1 نیز برابر واحد شود یعنی:

$$\text{minimize} \quad \underline{W}^H R_s \underline{W} \quad (7)$$

$$\underline{W}^H \underline{a}(\theta_1) = 1$$

که W با توجه به شرطهای (۷) بصورت زیر بدست می‌آید [۷].

$$\underline{W} = \frac{R_s^{-1} \underline{a}(\theta_1)}{\underline{a}^H(\theta_1) R_s^{-1} \underline{a}(\theta_1)} \quad (8)$$

و با این بردار ضرایب، توان خروجی سیستم برابر می‌شود با

$$P = y(k)y^H(k) = \underline{W}^H \underline{X}(k) \underline{X}^H(k) \underline{W} = \underline{W}^H R_s \underline{W} = \frac{1}{\underline{a}^H(\theta_1) R_s^{-1} \underline{a}(\theta_1)} \quad (9)$$

1- Array Space Vector
2- Capon's Method
3- Interfering Signals
4- Mean-square Value
5- Look Direction

حال برای جهت یابی از رابطه بالا می توان استفاده نمود به این صورت که با تغییر جهت دید یعنی θ_1 ، $P(\theta)$ را رسم نموده و در محلی که ماکزیمم مشاهده شود بمعنای وجود منبع سیگنال می باشد. البته مشکلی که وجود دارد این است که چون دامنه ماکزیمم متناسب با توان هر منبع است اگر اختلاف توان منابع از یکدیگر زیاد باشد نمی توان وجود و محل منابع ضعیف را تشخیص داد. لذا در ادامه روشی ارائه می گردد که بتوان با حذف منابع قوی، محل منابع ضعیف را نیز تشخیص داد.

با دقت در رابطه (۷) ملاحظه می گردد که علاوه بر شرط مینیمم کردن مقدار مربع متوسط خروجی سیستم $(y(t))$ ، تنها یک شرط دیگر که بصورت $\underline{W}^H a(\theta_1) = 1$ بوده و به معنای ایجاد بهره واحد در جهت θ_1 می باشد به مسأله بهینه سازی اعمال شده است. حال برای اینکه الگوریتم، قابلیت حذف یک یا چند منبع را که در جهتهای مختلف $\theta_{n1}, \theta_{n2}, \dots, \theta_{nm}$ قرار گرفته اند را داشته باشد مسأله ای بصورت زیر تشکیل می دهیم.

$$\begin{aligned} \text{minimize } & \underline{W}^H R \underline{W} \\ & \underline{W}^H a(\theta_1) = 1 \\ & \underline{W}^H a(\theta_{n1}) = 0 \\ & \vdots \\ & \underline{W}^H a(\theta_{nm}) = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

که بردار ضرائب (W) با توجه به شرطهای بالا بصورت زیر بدست می آید [۸].

$$\underline{W} = \frac{R_S^{-1} \underline{a}_N(\theta_1)}{\underline{a}_N^H(\theta_1) R_S^{-1} \underline{a}_N(\theta_1)} \quad (11)$$

$$\underline{a}_N(\theta_1) = Q \underline{a}(\theta_1) / \sqrt{(Q \underline{a}(\theta_1))^H (Q \underline{a}(\theta_1))} \quad \text{که}$$

$$Q = I - K \quad (12)$$

$$K = P \cdot (P^H \cdot P)^{-1} \cdot P^H$$

$$P = [\underline{a}(\theta_{n1}) \underline{a}(\theta_{n2}) \underline{a}(\theta_{n3}) \dots \underline{a}(\theta_{nm})]$$

I ماتریس واحد بوده و Q ماتریس تصویر^۱ نامیده می شود. باید توجه داشت که m باید کوچکتر و یا مساوی تعداد المانهای آرایه باشد.

تابعی که برای جهت یابی منابع باقیمانده باید ماکزیمم شود عبارتست از:

$$P_{DMSAE}(\theta) = \frac{1}{\underline{a}_N^H(\theta) R_S^{-1} \underline{a}_N(\theta)} \quad (13)$$

۴) الگوریتم DMSAE (Direction finding of Multiple Sources by Alternating Eliminations)

الگوریتم DMSAE بر پایه جهت یابی منابع از طریق روش MVDR که در بخش پیش توضیح داده شد پایه گذاری شده است. الگوریتم که بصورت تکراری عمل می نماید، پارامترهای یک منبع سیگنال (از جمله جهت) را با حذف سایر منابع تخمین می زند. هنگامی که جهت های تخمین زده شده تمام منابع ثابت باقی بماند، تعداد منابعی که پارامترهای آنها باید مشخص شود به اندازه یک واحد افزایش می یابد. به همین ترتیب الگوریتم اولیه ادامه پیدا می کند تا اینکه مقدار ماکزیمم ظاهر شده در تابع جهت یابی از یک معیار^۲ از پیش تعریف شده کمتر شود.

جزئیات الگوریتم DMSAE را می توان به این صورت بیان داشت:

(۱) ابتدا بزرگترین ماکزیمم^۳ در تابع (۹) پیدا شده و تعداد منابع موجود برابر با یک تنظیم می گردد (no. = 1). در این وضعیت فرض

می کنیم که θ_1 زاویه متناظر با این بزرگترین ماکزیمم است. این مرحله تکرار اول الگوریتم می باشد (n = 1).

(۲) در این مرحله Q_n با توجه به ماتریس P تشکیل می شود (ماتریس P از روی زوایای $\theta_{n-(no-1)}$ تا θ_n و رابطه (۱۲) ایجاد می گردد).

(۳) ماتریس Q_n به Array manifold اعمال شده (رابطه (۱۲)) و با رسم رابطه (۱۳) بزرگترین ماکزیمم آن (θ_{n+1}) تعیین می شود.

(۴) اگر دامنه ماکزیمم قسمت (۳) کمتر از مقدار معیار بوده و یا زاویه θ_{n+1} برابر با یکی از زوایای حذف شده $(\theta_n$ تا $\theta_{n-(no-1)})$

1- Projection Matrix
2- Threshold
3- Maximum Peak

باشد الگوریتم خاتمه می‌یابد؛ و تعداد منابع برابر با $no.$ و جهت آنها θ_{n-no} تا θ_n است.

$$(5) \text{ اگر } \theta_{n+1} = \theta_{n-no} \text{ آنگاه } no. = no. + 1$$

$$(6) \text{ n} = \text{n} + 1 \text{ و رفتن به مرحله (2)}$$

حال با ارائه یک مثال، نحوه عملکرد الگوریتم کاملاً توضیح داده می‌شود. فرض می‌کنیم سه منبع سیگنال با دامنه‌های متفاوت در جهت‌های $(\theta_1 = 50^\circ)$ و $(\theta_2 = 120^\circ)$ و $(\theta_3 = 250^\circ)$ قرار گرفته‌اند. سیستم جهت‌یابی شبیه‌سازی شده، دارای آرایه‌ای شامل ۵ المان آنتنی است که ساختار آن در بخش بعد توضیح داده خواهد شد، است.

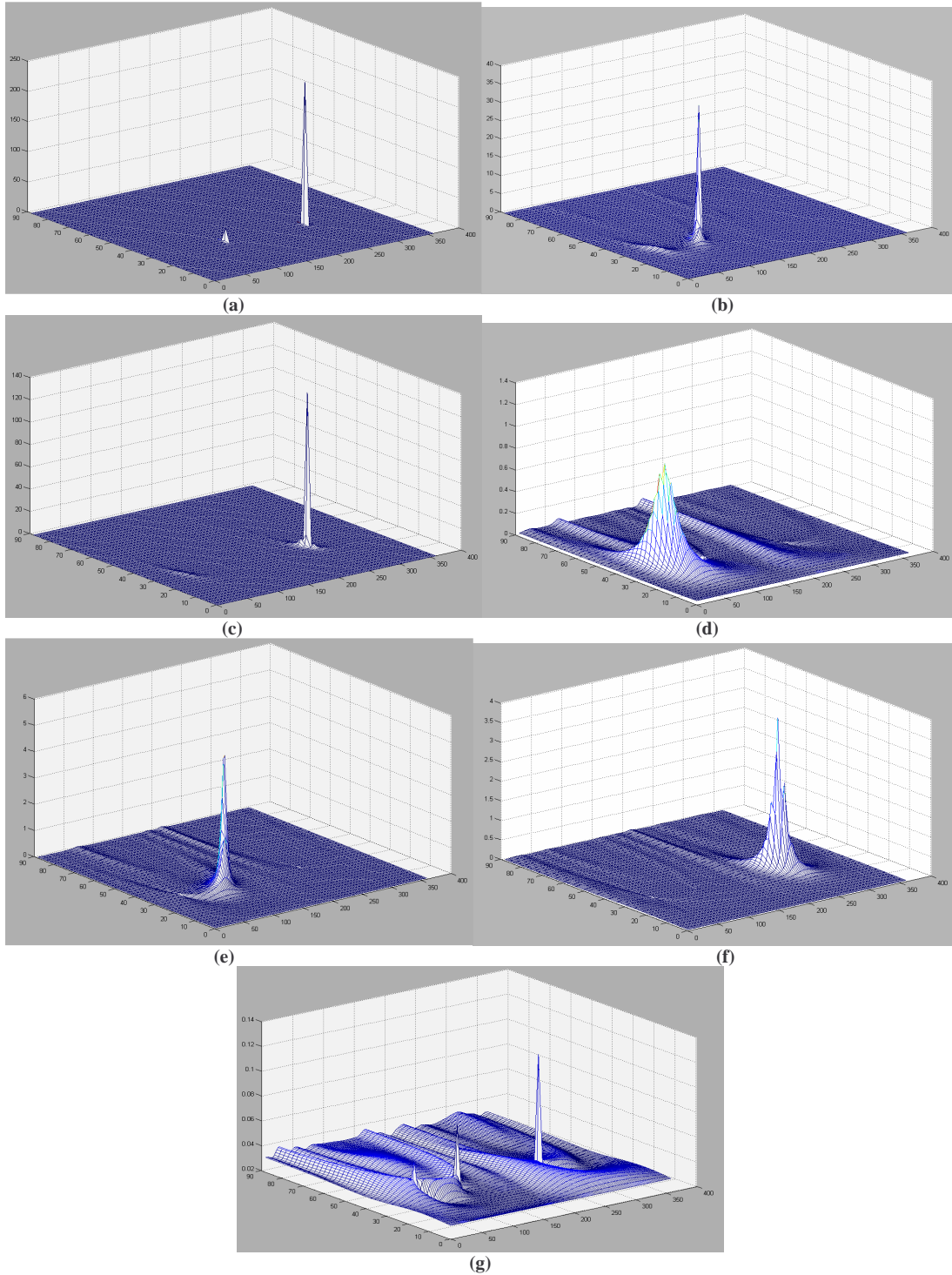
در این سیستم سطح نویز ثابت بوده و توان سه منبع به گونه‌ای تنظیم می‌شود که $SNR_1=0\text{dB}$ و $SNR_2=20\text{dB}$ و $SNR_3=30\text{dB}$ ، یعنی اختلاف توان بین منبع ۱ و ۳ برابر ۱۰۰۰ و بین منبع ۱ و ۲ برابر ۱۰۰ می‌باشد. با اعمال الگوریتم MVDR به داده‌ها و رسم $P(\theta)$ ، شکل (۲-ا) حاصل می‌شود. به علت وجود اختلاف توان بین منابع سیگنال همان‌گونه که مشخص است تنها دو منبع (منبع ۲ و ۳) از این روش قابل تشخیص است. حال با استفاده از الگوریتم DMSAE تعداد منابع و محل دقیق آنها تعیین می‌گردد

جدول (۱): جهت منبع متناظر با بزرگترین ماکزیمم و دامنه آن در تکرارهای متوالی الگوریتم DMSEA

تکرار (n)	دامنه ماکزیمم	جهت منبع
1	240	$(252^\circ \ 32^\circ)$
2	35	$(122^\circ \ 32^\circ)$
3	130	$(252^\circ \ 32^\circ)$
4	1.3	$(50^\circ \ 32^\circ)$
5	5.5	$(120^\circ \ 32^\circ)$
6	3.7	$(252^\circ \ 32^\circ)$
7	0.12	$(254^\circ \ 34^\circ)$

همان‌گونه که از جدول (۱) و شکل (۲) مشخص است در تکرار اول ($n=1$) محل بزرگترین ماکزیمم در جهت 252° افقی و 32° عمودی قرار دارد. در تکرار دوم با حذف بزرگترین منبع، شکل (۲-ب) حاصل می‌شود که بزرگترین ماکزیمم به محل $(122^\circ \ 32^\circ)$ منتقل گردیده و منبع سوم که در شکل (۲-ا) قابل رؤیت نبود ظاهر می‌گردد. به همین ترتیب تک تک، منابع حذف می‌گردند تا در تکرار چهارم ($n=4$) به علت اینکه محل ماکزیمم تکرار سوم و اول با یکدیگر مساوی هستند، دو منبع مربوط به مرحله دوم و سوم ($no. = 2$) حذف می‌شوند که باعث ظاهر شدن کامل منبع سوم می‌گردد (شکل (۲-د)). به همین صورت در تکرارهای بعدی نیز دو تا دو تا، منابع حذف می‌گردند تا در تکرار هفتم چون محل ماکزیمم تکرار ششم با تکرار سوم مساوی است سه منبع (در محل‌های مربوط به تکرار چهارم، پنجم و ششم) حذف می‌شوند. کاملاً مشخص است که در تکرار هفتم - که محل ماکزیمم آن در $(254^\circ \ 34^\circ)$ قرار دارد - دامنه ماکزیمم کاملاً کاهش یافته و زیر سطح معیار (در این مثال سطح معیار برابر 0.15 انتخاب شده است) قرار می‌گیرد. شکل (۲) روند الگوریتم را کامل نشان می‌دهد.

مهمترین پارامتری که در الگوریتم DMSAE باید با دقت تعیین شود، سطح معیار برای خاتمه الگوریتم است. هنگامی که تمام منابع حذف می‌شوند (به وسیله ماتریس تصویر) تنها سیگنال‌های موجود، سیگنال‌های مربوط به نویز هستند؛ لذا با دانستن سطح نویز سیستم و تنظیم سطح معیار برابر با آن می‌توان عملکرد درستی از این الگوریتم انتظار داشت. ولی به علت پاره‌ای مسایل، تعیین سطح معیار به این سادگی نمی‌باشد. یکی از مهمترین این علتها، مساله کالیبراسیون آرایه است. همان‌گونه که در بخش (۲) دیده می‌شود در فرمول بندی



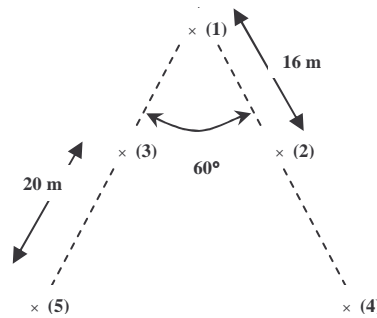
شکل (۲): شکل تابع $P_{DMSAE}(\theta, \phi)$ در تکرارهای متوالی الگوریتم DMSEA (شکل (a) مربوط به تکرار اول تا شکل (g) مربوط به تکرار هفتم)

مسئله فرض شده است که قدرت تقویت کنندگی تمام المانهای آرایه بایکدیگر برابر بوده و اختلاف فاز بین سیگنالهای دریافتی هر المان آرایه، تنها ناشی از اختلاف مکانی المانها می باشد. ولی در عمل به علت عدم یکسانی سخت افزارهایی که به هر کدام از المانهای آرایه متصل هستند (از جمله تقویت کننده ها، A/D ها و خطوط انتقال و غیره)، این شرط برآورده نمی گردد. لذا برای حل این مشکل مسئله کالیبراسیون آرایه مطرح می شود [۹]. ولی چون اعمال کالیبراسیون دقیق نیز در اکثر موارد امکان پذیر نیست، لذا در مواجه شدن با سیگنالهای واقعی، مسئله تعیین تعداد منابع و جهت آنها بسیار سخت شده که توضیحات بیشتر در این مورد در بخش بعدی داده خواهد

شد. به این دلایل، در اعمال الگوریتم به داده‌های واقعی، باید با توجه به سخت‌افزار، سطح نویز و میزان دقت کالیبراسیون سطح معیار انتخاب گردد. در سخت‌افزار استفاده شده در این پروژه، با انتخاب سطح معیار برابر با چهار برابر سطح نویز (دامنه کوچکترین ماکزیمم تکرار اول) نتایج نسبتاً خوبی بدست می‌آید.

۵) نتایج اندازه گیری

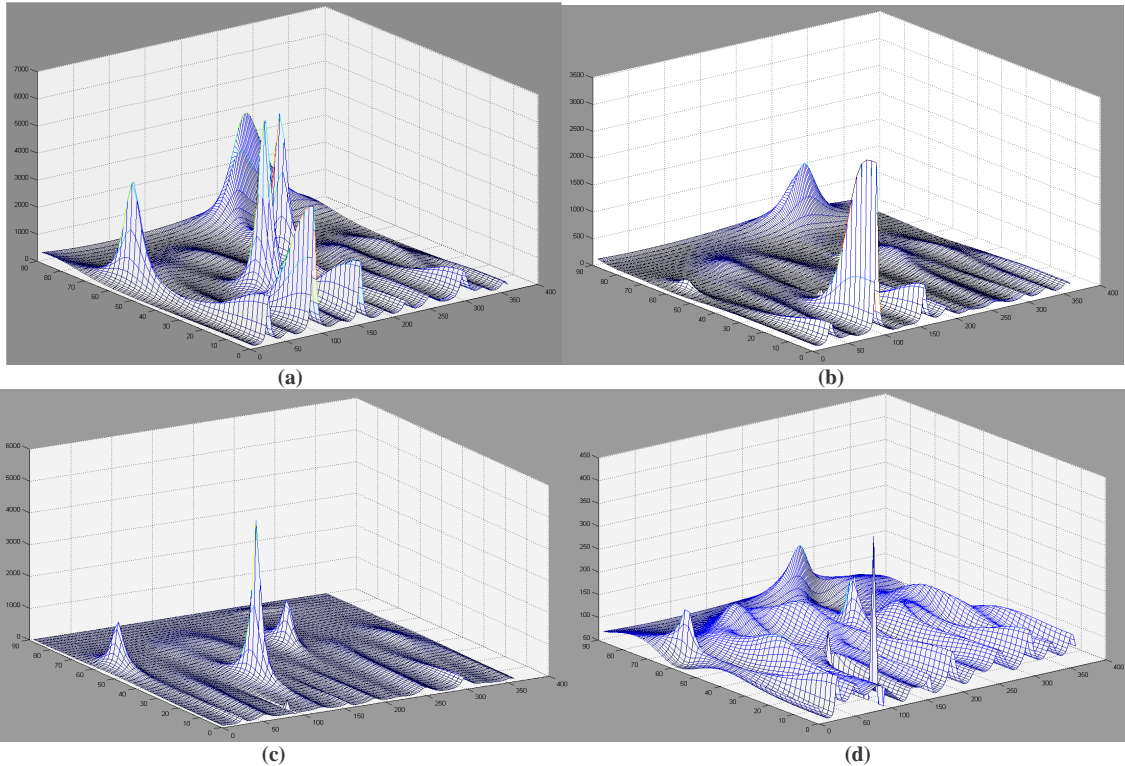
نتایجی که در این مقاله ارائه خواهد شد، از یک آرایه پنج عنصری که برای جهت یابی در باند HF طراحی شده (شکل (۳))، بدست آمده است. دامنه ها و فازهای نسبی توسط پنج کانال گیرنده که هر کدام به گیرنده های دیگر سنکرون شده و به یکی از آنتنهای تک قطبی متصل گردیده است، اندازه گیری میشود. در این سیستم پس از انتخاب فرکانس حامل، سیگنالها به طبقه IF با فرکانس 5KHz انتقال می یابند و یک مبدل آنالوگ به دیجیتال کنترل شونده با کامپیوتر، به طور همزمان از خروجی گیرنده ها با فرکانس 64KHz نمونه برداری کرده و آنها را برای پردازش های بعدی ذخیره می نماید. تعداد داده هایی که برای تشکیل ماتریس کوواریانس و استفاده از آن برای اعمال الگوریتم جهت یابی بکار برده می شوند ۸۰۰۰ می باشد.



شکل (۳): ساختار آرایه آنتنی ۵ المانه

همچنین یک سیستم شبیه ساز _ که بخش آرایه آنتنی را شبیه سازی کرده و با استفاده از چندین خط کوکسیال با طولهای متفاوت اختلاف فاز لازم برای هر المان را فراهم می آورد _ برای تست نمودن الگوریتم، گیرنده ها و انجام عمل کالیبراسیون طراحی شده است. این سیستم اختلاف فازهای لازم برای حالتی که دو منبع در جهتهای $\begin{pmatrix} 120^\circ \\ 30^\circ \end{pmatrix}$ و $\begin{pmatrix} 90^\circ \\ 0^\circ \end{pmatrix}$ قرار داشته باشند را ایجاد می نماید.

در مواجهه با داده های نمونه برداری شده و واقعی، کار براحتی داده های شبیه سازی شده نیست. همان گونه که از شکل (۴-a) مشاهده می شود با اعمال الگوریتم MVDR به داده های عملی مربوط به دو منبع قرار گرفته در جهتهای $\begin{pmatrix} 120^\circ \\ 30^\circ \end{pmatrix}$ و $\begin{pmatrix} 90^\circ \\ 0^\circ \end{pmatrix}$ با توانهای مساوی، علاوه بر پیک هائی که در این محلها بوجود می آید، در چند جهت دیگر نیز نقاط ماکزیمم محلی مشاهده می گردد. این پیک ها مربوط به هیچ منبعی نبوده و ناشی از عدم کالیبراسیون خوب سخت افزار (به علت محدودیتهای موجود)، وجود نویزهای همبسته، تزویج بین گیرنده ها و سایر موارد می باشد. حال نشان داده می شود که با اعمال الگوریتم DMSAE به این داده ها به راحتی می توان پیک های اصلی (که مشخص کننده تعداد و جهت منابع است) را تشخیص داد و ماکزیممهایی که مربوط به هیچ منبعی نمی باشند را از بین برد. با استفاده از الگوریتم DMSAE و حذف منبع $\begin{pmatrix} 122^\circ \\ 32^\circ \end{pmatrix}$ شکل (۴-b) حاصل می شود که کاملاً وجود منبع در محل $\begin{pmatrix} 90^\circ \\ 4^\circ \end{pmatrix}$ را نشان می دهد. شکل (۴-c) نیز با حذف منبع $\begin{pmatrix} 90^\circ \\ 4^\circ \end{pmatrix}$ بدست آمده است. در شکل (۴-d) با حذف دو منبع، دامنه بزرگترین پیک زیر سطح معیار (500) قرار می گیرد؛ لذا الگوریتم خاتمه یافته و دو منبع در جهت های $\begin{pmatrix} 122^\circ \\ 32^\circ \end{pmatrix}$ و $\begin{pmatrix} 90^\circ \\ 4^\circ \end{pmatrix}$ که بسیار نزدیک به مقدرهای واقعی هستند، تعیین می گردد.



شکل (۴): اعمال الگوریتم DMSAE به داده های اندازه گیری شده

۶ نتیجه گیری

الگوریتم جدیدی که در این مقاله معرفی شده است علاوه بر قابلیت جهت یابی رادیویی به معنای تشخیص جهت ارسال سیگنالهایی که می توانند کاملا مشابه یکدیگر باشند، امکان تشخیص تعداد منابع ارسال کننده سیگنال که در مواجهه با داده های واقعی مساله نسبتا پیچیده ای است - را نیز دارا می باشد. قدرتمندی الگوریتم علاوه بر اینکه بر روی نمونه های شبیه سازی شده ارزیابی گردیده است، در اعمال به داده های واقعی نیز کارایی خوب خود را نشان می دهد. این الگوریتم تا حد زیادی می تواند کالیبراسیون سیستم را بهبود بخشد به گونه ای که توانایی تشخیص پیکهای غیر اصلی را داشته و امکان آشکارسازی منابع ضعیف در حضور منابع قوی را فراهم می آورد.

۷ مراجع

- [1] L. C. Godara, "Limitations and Capabilities of Directions-of-Arrival Estimation Techniques using an Array of Antennas: A mobile Communications Perspective," *IEEE Int. Symp. Phased Array Systems and Technology*, Boston, MA, 1996.
- [2] J. Capon, "High-resolution Frequency-wavenumber Spectrum Analyses," *Proc. IEEE*, vol. 57, no. 8, pp. 1408-1418, August 1969.
- [3] I. Ziskind & M. Wax, "Maximum Likelihood Localization of Multiple Sources by Alternating Projection," *IEEE Trans. on Acoustic, speech and signal Processing*, vol. ASSP-36, pp. 1560-1577, 1988.
- [4] R. O. Schmidt, "Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation," *IEEE Trans. on Antenna and Propag.*, vol. 34, pp. 276-280, 1986.
- [5] M. A. Zatman, H. J. Strangeways & E. M. Warrington, "Resolution of Multimoded HF Transmissions Using the DOSE Superresolution Direction Finding Algorithm," *Proceedings of the IEE International Conference on Antenna and Propagation*, pp. 415-418, 1993.
- [6] H. R. Karimi, A. Manikas, "The Manifold of a Planar Array and Effect on the Accuracy of Direction-Finding Systems," *IEE Proceedings- Radar, Sonar & Navigation*, vol. 14, no. 6, pp. 349-357, December 1996.
- [7] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Printice-Hall Inc., 1996.
- [8] J. E. Hudson, *Adaptive Array Principle*, Peter Peregrinus, 1981.
- [9] N. Fistas and A. Manikas, "A New General Global Array Calibration Method," *IEEE Proceedings of ICASSP*, vol. 4, pp. 73-76, April 1994.