

آشکارسازی وفقی چند منبع سیگنال در تداخل چندگانه با استفاده از آرایه های خطی

علی میرکمالی

دانشجوی دکتری مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت

e-mail: a_mirkamali@iust.ac.ir

محمد حسین کهای

استادیار، دانشکده مهندسی برق دانشگاه علم و صنعت

e-mail: kahaei@iust.ac.ir

چکیده:

در این مقاله آشکارسازی چند منبع از طریق توسعه یک الگوریتم صفرگذاری وفقی بر روی پرتو آرایه خطی در جهات جمرها مورد بررسی قرار می گیرد. الگوریتم پیشنهادی افزایش تعداد عناصری را که برای آشکارسازی تعداد منابع بیشتر از یکی باید به آرایه اضافه شود نسبت به الگوریتم پایه موجود به نصف کاهش می دهد. الگوریتم پیشنهادی برای حالتی که چند منبع سیگنال و چند جمر وجود داشته باشد بکار برده شده و نشان داده می شود که پرتو آرایه پس از اعمال الگوریتم در جهات جمرها صفر گذاری شده است. منابع سیگنال، استخراج شده و با سیگنالهای اصلی مقایسه می شوند، نشان داده می شود که سیگنالهای اصلی با سیگنالهای استخراج شده حاصل از الگوریتم برابر می باشند.

کلمات کلیدی: پردازش وفقی، آرایه خطی، جمر

۱-مقدمه

صفرگذاری وفقی^۱ بر روی پرتو یک آرایه از حسگرها نوعی شکل دهی وفقی پرتو آرایه به شمار می رود. در واقع شکل دهی پرتو روشی است که در آن یک سیگنال مطلوب با جهت تابش معین در میان سیگنالهای تداخل کننده دریافت می شود و سیگنالهای تداخلی بوسیله کنترل پرتو تشعشعی آرایه حذف می شوند. شکل دهی وفقی پرتو آرایه در زمینه های مختلفی مانند رادار، سونار، سیستمهای مخابراتی، کاوشهای ژئوفیزیک و سیستمهای دیگر که نیاز به حذف تداخل دارند کاربرد دارد. برای تمامی سیستمهای مذکور هدف کلی این است که سیگنال مطلوب در حضور سیگنالهای تداخلی بازسازی شود. این مقاله بر روی کاربرد الگوریتمهای وفقی شکل دهی پرتو آرایه به منظور تنظیم وفقی وزنه های آرایه فازی برای حذف سیگنالهای تداخل کننده (جمرها) تمرکز دارد. مسئله تنظیم وفقی وزنه های یک آرایه فازی به صورت گسترده ای مورد مطالعه قرار گرفته و الگوریتم های

^۱-Adaptive nulling

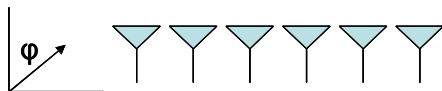
۲- الگوریتم بازیابی چند سیگنال در حضور چند

جمهر

۱-۲- الگوریتم پایه

آرایه خطی N عنصری با فواصل مساوی نسبت به یکدیگر را مطابق شکل (۱) در نظر بگیرید. زاویه نسبت به جهت پهلواش آرایه φ فرض می شود. متغیر $u = \sin(\varphi)$ را در نظر بگیرید. $R(u_i)$ برداری را مشخص میکند که ترانواده آن با رابطه (۱) داده می شود. در رابطه (۱) d فاصله بین عناصر آرایه است و K عدد موج می باشد که با رابطه $k = \frac{2\pi f}{c} = \frac{2\pi}{\lambda}$ داده می شود،

$$\begin{aligned} \underline{R}(u) \\ = [1, \exp(jkdu), \dots, \exp(j(N-1)kdu)] \end{aligned} \quad (1)$$



شکل ۱- ساختار آرایه خطی

بردار $\underline{R}(u_i)$ فاکتور آرایه را مشخص می کند. فرض می شود که M منبع سیگنال در ناحیه میدان دور نسبت به آرایه قرار دارند که یکی از این تعداد منبع سیگنال و بقیه جمهر می باشند. منابع دارای دامنه های A_1 و ... و A_M و جهت های تابش u_1 و ... و u_M می باشند. در حالت کلی برای بازیابی تمامی منابع نیاز به $N = 2M - 1$ عنصر داریم. حال فرض کنید که سیگنال دریافتی توسط آرایه از تابش منبع m ام (می تواند سیگنال مطلوب و یا جمهر باشد) در لحظه t بصورت رابطه (۲) باشد

$$\underline{E}_m^T(t) = [f_{1m}(t), f_{2m}(t), \dots, f_{Nm}(t)] \quad (2)$$

بنابراین با توجه به رابطه (۲) کل سیگنال دریافتی از تابش تمام منابع با رابطه (۳) داده می شود.

$$\begin{aligned} \underline{E}_v^T(t) &= [f_1(t), f_2(t), \dots, f_N(t)] \\ &= \sum_{m=1}^M \underline{E}_m^T(t) \end{aligned} \quad (3)$$

با فرض اینکه فاز منبع m ام $\varphi_m(t)$ باشد سیگنال منبع m ام را با رابطه $S_m(t) = A_m e^{j\varphi_m(t)}$ نشان می دهیم با ترکیب

مختلفی ارائه شده است [۱]. لوترا^۲ [۲] با استفاده از الگوریتم های ارائه شده الگوریتم جدیدی برای حذف جمهرهای هم دوس ارائه کرد که معایب الگوریتمهای پیشین را تا حدودی بر طرف کرده بود. روش مذکور در نهایت به یک معادله ماتریسی می انجامد که برای بدست آوردن وزنه های بهینه نیاز به معکوس کردن ماتریس ضرائب دارد و این یک نقطه ضعف برای این روش محسوب می شود. می توان برای جلوگیری از معکوس کردن ماتریس یک الگوریتم تکراری مانند روش شیب دارترین نزولی را که در کتب و مراجع فیلترهای و فقی [۳] معرفی شده است، برای رفع این مشکل بکار برد. سرکار^۴ [۴] با استفاده از فرمولاسیون لوترا روشی ساده تر برای دستیابی به معادله ماتریسی پیشنهاد کرد ضمن اینکه با ارائه الگوریتم تکراری CGM^۴ الگوریتمی را معرفی کرد که نسبت به الگوریتمهای تکراری دیگر سریعتر همگرا می شود اگر چه تا حدودی بر پیچیدگیهای محاسبات در این روش افزوده می شود. در هر دو روش لوترا و سرکار الگوریتم صفرگذاری برای آشکارسازی یک سیگنال مطلوب ارائه شده است بنابراین برای آشکارسازی چندین سیگنال ناگزیر از چند بار اجرای الگوریتمهای مذکور هستیم. در این مقاله روشی ارائه می شود که بتوان چندین سیگنال مطلوب را آشکارسازی کرد، ضمن اینکه افزایش تعداد عناصر در آرایه برای آشکارسازی چندین سیگنال با الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتمهای قبلی به نصف کاهش می یابد. پس از بیان تئوری مسئله، الگوریتم توسعه داده شده در مورد آشکارسازی دو منبع سیگنال مدوله AM در حضور چهار جمهر تکنوا بکار برده می شود، نتایج شبیه سازی نشان می دهد که دو منبع سیگنال بدرستی آشکارسازی شده و پرتو آرایه در زوایای جمهرها صفرگذاری شده است.

^۱-LUTHRA

^۲-SARKAR

^۴-Conjugate Gradient Method

روابط فوق می توانیم رابطه
 $\underline{E}_m(t) = A_m \exp(j\varphi_m(t)) \underline{R}(u_m)$ را بدست آوریم. با
 تعریف پارامترهای Z بصورت رابطه (۴) می توان سیگنال
 دریافتی حاصل از منبع S را با رابطه (۵) نشان داد.

$$Z = \exp(jkdu_s) \quad (4)$$

$$\underline{E}_s^T(t) = S(t)[1, Z, Z^2, \dots, Z^N] \quad (5)$$

سیگنال دریافتی از آنتنها بصورت ماتریس $A_{M \times M}$ که با رابطه
 (۶) داده می شود پردازش می شود [۴].

$$\underline{A}(m, n) = \begin{cases} Z^{n-1}, m=1 \\ f_{m+n-2} - f_{m+n-1} Z^{-1}, m=2, \dots, M \end{cases} \quad (6)$$

که در آن: $n=1, \dots, M$

وزنهای آرایه از رابطه (۷) بدست می آید. که در آن \underline{Y} طبق
 رابطه (۸) تعریف می شود.

$$\underline{AW} = \underline{Y} \quad (7)$$

$$\underline{Y}^T = [C, 0, \dots, 0] \quad (8)$$

در رابطه (۸) C یک ضریب ثابت است. سیگنال S با استفاده
 از رابطه (۹) بازیابی می شود.

$$S = \frac{1}{C} \sum_{k=1}^M f_k w_k \quad (9)$$

۲-۲- توسعه الگوریتم پایه برای بازیابی چند سیگنال

در الگوریتم توسعه یافته نیز روابط ۱ و ۲ برقرار هستند. در
 مورد تعداد عناصر فرض می شود که M_T منبع سیگنال در
 ناحیه میدان دور نسبت به آرایه قرار دارند که از این تعداد
 M_S منبع سیگنال و M_J جمر می باشند یعنی
 $M_J + M_S = M_T$. منابع دارای دامنه های A_1 و ... و A_{M_T}
 و جهت های تابش u_1 و ... و u_{M_T} می باشند. در حالت کلی
 برای بازیابی تمامی منابع نیاز به N عنصر داریم که با رابطه
 ۱۰ داده می شود.

$$N = 2M_J + M_S \quad (10)$$

برای اینکه بین تعداد عناصر در دو حالت الگوریتم توسعه
 یافته و الگوریتم پایه مقایسه ای داشته باشیم فرض می کنیم

در ابتدا یک منبع سیگنال و M_J منبع جمر داشته باشیم در
 این حالت تعداد عناصر آرایه $N_1 = 2M_J + 1$ خواهد بود
 حال اگر تعداد سیگنالهای مطلوب به M_S افزایش یابد تعداد
 عناصر مورد نیاز در الگوریتم پایه
 $N_2 = 2M_J + 2M_S - 1$ خواهد بود. بنابراین افزایش
 تعداد عناصر در الگوریتم پایه $N_2 - N_1 = 2M_S - 2$
 میشود. افزایش تعداد عناصر در مورد الگوریتم توسعه یافته
 $N - N_1 = M_S - 1$ میباشد. بنابراین همانطور که مشاهده
 می شود تعداد عناصر اضافه شده در الگوریتم توسعه یافته
 نصف تعداد عناصر اضافه شده در الگوریتم پایه است. حال
 به روابط مربوط به الگوریتم توسعه یافته برگردیم با تعریف
 پارامترهای Z_i بصورت رابطه (۱۱) می توان سیگنال دریافتی
 حاصل از منبع S_i را با رابطه (۱۲) نشان داد.

$$Z_i = \exp(jkdu_{s_i}) \quad i=1, 2, \dots, M_S \quad (11)$$

$$\underline{E}_{s_i}^T(t) = S_i(t)[1 \quad Z_i \quad Z_i^2 \dots Z_i^N] \quad (12)$$

الگوریتم باید طوری وزن ها را تنظیم کند که در این جهات در
 پرتو تشعشعی آرایه صفرگذاری انجام شود. برای آشکارسازی
 M_S منبع سیگنال به M_S بردار وزن با بعد $M_J + 1$ نیاز
 داریم. سیگنال دریافتی حاصل از تمام منابع در ناحیه میدان
 دور یک آرایه خطی برای عنصر k ام از آرایه با رابطه (۱۳)
 بیان می شود.

$$f_k = S_1 Z_1^{k-1} + S_2 Z_2^{k-1} + \dots + S_{M_S} Z_{M_S}^{k-1} \quad (13)$$

$$+ J_{1k} + J_{2k} + \dots + J_{M_J, k}$$

در رابطه (۱۳) J_{mk} به معنی جمر m ام است که توسط عنصر
 k ام در آرایه دریافت شده است. حال فرض کنید هدف
 بازیابی سیگنال i ام باشد سیگنالهای دریافتی طی مراحل زیر
 برای بازیابی سیگنال i ام پردازش می شوند. (شماره مرحله
 مورد نظر را با L) نشان می دهیم و رابطه ۱۳ مرحله
 $L=0$ می باشد در مرحله اول پردازش ($L=1$) بین
 عنصر k ام و $k-1$ ام سیگنال رابطه ۱۴ را بدست می آوریم

حال با توجه به ماتریس ضرائب فوق وزنهای مربوط به بازیابی سیگنال i ام از رابطه (۱۷) بدست می آیند. که در آن \underline{Y}_i طبق رابطه (۱۸) تعریف می شود. در رابطه (۱۸) C_i یک ضریب ثابت است. سیگنال S_i با استفاده از رابطه (۱۹) بازیابی می شود.

$$\underline{A}_i \underline{W}_i = \underline{Y} \quad (۱۷)$$

$$\underline{Y}_i^T = [C_i, 0, \dots, 0] \quad (۱۸)$$

$$S_i = \frac{1}{C_i \prod_{r=1, r \neq i}^{M_S} (1 - Z_i Z_r^{-1})} \sum_{k=1}^{M_J+1} f_{k,i} W_{k,i} \quad (۱۹)$$

۳-نتایج شبیه سازی

در این قسمت نتایج شبیه سازی برای بازیابی سه سیگنال مطابق مشخصات مندرج در روابط (۲۰-الف) در حضور جمهرائی با مشخصات مندرج در روابط (۲۰-ب) ارائه می شود.

$$S_1(t) = A_{c1} (1 + \cos(2\pi f_{m1} t)) \exp(j2\pi f_c t) \quad (۲۰-الف)$$

$$S_2(t) = A_{c2} (1 + \cos(2\pi f_{m2} t)) \exp(j2\pi f_c t)$$

$$J_k(t) = A_{Jk} \exp(j2\pi f_c t), k=1,2,3,4 \quad (۲۰-ب)$$

همانطور که از روابط مشخص است سیگنال S_1 و S_2 مدوله دامنه هستند و جمرها تکنوا^۵ می باشد. شکل (۲) پرتو تشعشی آرایه پس از اعمال الگوریتم صفرگذاری را نشان می دهد. مشاهده می شود که پرتو تشعشی آرایه در زوایای تابش جمرها دارای صفر می باشد. مشخصات دو سیگنال و جمرها در جدول ۱ آورده شده است. در روابط فوق φ زاویه هر یک از منابع (سیگنالهای مطلوب و جمرها) نسبت به آرایه می باشد. همانطور که مشاهده می شود پترن آرایه در محل جمرها که در زوایای ۰، ۱۰، ۵۰ و ۸۵ درجه نسبت به پهلو آتش آرایه می باشند صفر گذاری شده است. در جدول ۲ ده نمونه اول خروجی آرایه و منابع سیگنال را که با ده برابر فرکانس حامل منابع سیگنال نمونه برداری شده است ارائه می شود. مشاهده می شود که خروجی آرایه با منابع سیگنال

$$f_{k-1}^{(0)} - f_k^{(0)} Z_1^{-1} = S_2 Z_2^{k-2} (1 - Z_2 Z_1^{-1}) \quad (۱۴)$$

$$+ \dots + S_{M_S} Z_{M_S}^{k-2} (1 - Z_{M_S} Z_1^{-1}) + J_{k-1}^{(1)}$$

$$= f_{k-1}^{(1)}$$

$$k=2, \dots, N \quad \text{که در آن:}$$

با انجام این الگوریتم تا مرحله (Ms -1) ام به مجموعه روابط (۱۵) می رسیم.

$$\begin{aligned} f_1^{(M_S-2)} - f_2^{(M_S-2)} Z_p^{-1} \\ = S_i \prod_{r=1, r \neq i}^{M_S} (1 - Z_i Z_r^{-1}) + J_1^{(M_S-1)} \\ = f_1^{(M_S-1)} \end{aligned} \quad (۱۵)$$

$$\begin{aligned} f_{N-M_S+1}^{(M_S-2)} - f_{N-M_S+2}^{(M_S-2)} Z_p^{-1} = \\ Z_i^{N-M_S} S_i \prod_{r=1, r \neq i}^{M_S} (1 - Z_i Z_r^{-1}) + J_{N-M_S+1}^{(M_S-1)} \\ = f_{N-M_S+1}^{(M_S-1)} \end{aligned}$$

شایان ذکر است که در هر مرحله یکی از منابع سیگنال حذف می شود بنابراین در کل برای بازیابی سیگنال i ام $M_S - 1$ مرحله پردازش انجام می شود. تا مرحله Ms -1 ام منبع از سیگنال دریافتی عناصر آرایه حذف شده است. فرض می شود که سیگنال $S_p \neq S_i$ در رابطه (۱۵) آخرین منبع حذف شده باشد. J نمایانگر کل سیگنال مربوط به جمرها می باشد و بالا نویس داخل پرانتز بالای حروف مرحله الگوریتم را نشان می دهد همین روند را می توان برای تمام سیگنالها انجام داد. در هر حال برای منبع i ام پس از اجرای الگوریتم فوق $2M_J + 1$ سیگنال f طبق رابطه (۱۵) بدست می آیند. این سیگنالها طوری پردازش می شوند که ماتریس \underline{A}_i بصورت رابطه (۱۶) بدست آیند [۴].

$$\underline{A}_i(m, n) = \begin{cases} Z_i^{n-1}, m=1 \\ f_{m+n-2} - f_{m+n-1} Z_i^{-1}, m=2, \dots, M_J+1 \end{cases} \quad ۱۶$$

$$n=1, \dots, M_J+1 \quad \text{که در آن:}$$

[2]. A.K.Luthra,"A Solution to the Adaptive Nulling Problem with a Look-Direction Constraint in the Presence of Coherent Jammers"IEEE Trans. Antennas Propagat.,Vol. AP-34, No. 5, May 1986

[3]. Simon Haykin,"Adaptive Filter Theory",Third edn. Prentice-Hall, Inc. 1996

[4]. T.K.Sarkar and N.Sangruji,"An Adaptive Nulling System for a Narrow-Band Signal with a Look-Direction Constraint Utilizing the Conjugate Gradient Method" , IEEE Trans. Antennas Propagat. Vol. 37, No. 7, July 1989.

برابر میباشند. در نهایت بردار وزنها بصورت رابطه ۲۱ خواهد شد.

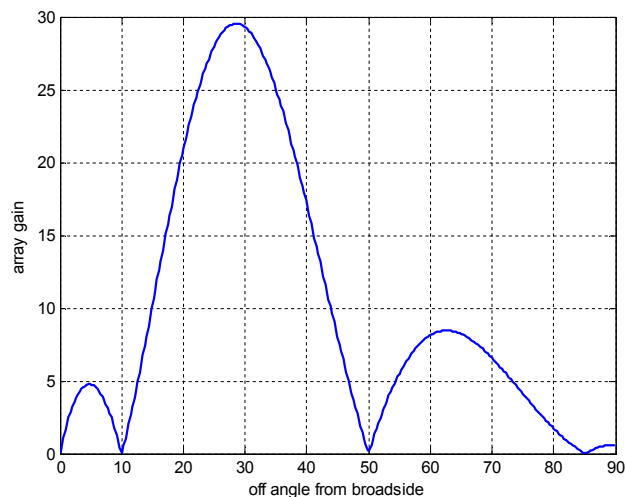
$$\begin{aligned} \underline{W}_1 &= \begin{bmatrix} 13.5450 + j3.8687 \\ -6.1797 + j15.8356 \\ -26.2587 - j10.4553 \\ 6.3962 - j15.7493 \\ 12.4972 + j6.5003 \end{bmatrix} \\ \underline{W}_2 &= \begin{bmatrix} 2.7731 + j3.4370 \\ -4.4429 + j2.9429 \\ -4.8424 - j7.4205 \\ 4.4828 - j2.8817 \\ 2.0294 + j3.9223 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (21)$$

۵- نتیجه گیری

در این مقاله مسئله بازیابی چند سیگنال در حضور چند جمر مورد بررسی قرار گرفت و الگوریتمی برای بازیابی سیگنالهای مطلوب ارائه شد. نشان داده شد که الگوریتم پیشنهادی افزایش تعداد عناصری را که برای آشکارسازی تعداد منابع بیشتر از یکی باید به آرایه اضافه شود نسبت به الگوریتم پایه موجود به نصف کاهش می دهد. الگوریتم مورد نظر برای یک مثال بکار برده شد، نتایج بیانگر بازیابی سیگنالهای مطلوب و صفر گذاری در جهات جمرها می باشند.

مراجع

[1]. Special Issue on Adaptive Arrays, IEEE Trans. Antennas Propagat., Sept. 1976



شکل ۱- پرتو تشعشعی صفرگذاری شده

جدول ۱- مشخصات سیگنالهای مطلوب و جمرها

دامنه سیگنال	فرکانس حامل	فرکانس پیام	زاویه تابش
$A_{C_1} = 2$	$f_C = 10^6 \text{ Hz}$	$f_{m_1} = 3 \times 10^3 \text{ Hz}$	$\varphi_{S_1} = 20^\circ$
$A_{C_2} = 3$	$f_C = 10^6 \text{ Hz}$	$f_{m_2} = 10^4 \text{ Hz}$	$\varphi_{S_2} = 70^\circ$
$A_{J_1} = 10$	$f_{J_1} = 10^6 \text{ Hz}$		$\varphi_{J_1} = 0^\circ$
$A_{J_2} = 20$	$f_{J_2} = 10^6 \text{ Hz}$		$\varphi_{J_2} = 10^\circ$
$A_{J_3} = 12$	$f_{J_3} = 10^6 \text{ Hz}$		$\varphi_{J_3} = 50^\circ$
$A_{J_4} = 20$	$f_{J_4} = 10^6 \text{ Hz}$		$\varphi_{J_4} = 85^\circ$

جدول ۲- ده نمونه اول منابع سیگنال و خروجی آرایه

Source-1	Output-1	Source-2	Output-2
4.0000	4.0000	6.0000	6.0000
$3.2361 + 2.3511i$	$3.2361 + 2.3511i$	$4.8541 + 3.5267i$	$4.8541 + 3.5267i$
$1.2361 + 3.8042i$	$1.2361 + 3.8042i$	$1.8540 + 5.7061i$	$1.8540 + 5.7061i$
$-1.2361 + 3.8042i$	$-1.2361 + 3.8042i$	$-1.8539 + 5.7058i$	$-1.8539 + 5.7058i$
$-3.2360 + 2.3511i$	$-3.2360 + 2.3511i$	$-4.8533 + 3.5262i$	$-4.8533 + 3.5262i$
$-3.9999 + 0.0000i$	$-3.9999 + 0.0000i$	$-5.9985 + 0.0000i$	$-5.9985 + 0.0000i$
$-3.2360 - 2.3511i$	$-3.2360 - 2.3511i$	$-4.8524 - 3.5255i$	$-4.8524 - 3.5255i$
$-1.2360 - 3.8041i$	$-1.2360 - 3.8041i$	$-1.8532 - 5.7036i$	$-1.8532 - 5.7036i$
$1.2360 - 3.8040i$	$1.2360 - 3.8040i$	$1.8529 - 5.7027i$	$1.8529 - 5.7027i$
$3.2358 - 2.3510i$	$3.2358 - 2.3510i$	$4.8502 - 3.5239i$	$4.8502 - 3.5239i$