

جداسازی اهداف کاذب از هدف اصلی در ردیاب‌ها با استفاده از الگوریتم‌های حوزه زمان و فرکانس

سعید علیائی*^۱ و محمدرضا مرادیان^۲

۱-استادیار، ۲-کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

(دریافت: ۱۳۹۰/۰۶/۳۰، پذیرش: ۱۳۹۱/۰۲/۱۶)

چکیده

استفاده از ردیاب‌ها، سامانه‌های رهگیر و جستجوگرها نقش مهمی در جنگ الکترونیک دارد. یکی از روش‌های ساده و ارزان قیمت، استفاده از افزاره رتیکل در ردیابی است. اما یکی از مشکلات عمده در استفاده از ساختارهای رتیکلی، حساسیت آنها به اهداف کاذب و از جمله فلیرها است. روش‌های مختلفی به منظور مقابله با این اهداف کاذب وجود دارد، از آن جمله می‌توان به آشکارسازی دوگانه و جداسازی منابع کور اشاره کرد. در این مقاله به طراحی الگوریتم و شبیه‌سازی ساختار شناسایی اهداف کاذب از هدف اصلی به روش جداسازی منابع کور پرداخته می‌شود. برای این منظور رتیکل را از نوع مدولاسیون فرکانسی در نظر گرفته و با استفاده از یک شکافنده پرتو در ساختار بهبود یافته، سیگنال‌های اصلی را از سیگنال‌های مخلوط خروجی (شامل هدف و فلیر) استخراج شدند و سپس، نتایج حاصل از شبیه‌سازی الگوریتم‌های حوزه زمان و فرکانس با هم مقایسه گردیدند.

کلیدواژه‌ها: ردیاب، جداسازی منابع کور، جنگ الکترونیک، جستجوگر، رتیکل، حوزه زمان، حوزه فرکانس.

Separation of the Target and Flares in the Trackers using the Frequency-Domain and Time-Domain Algorithms

S. Olyaei*, M. R. Moradian

Faculty of Electrical and Computer Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University

(Received: 09/21/2011, Accepted: 05/05/2012)

Abstract

The use of trackers and seeker systems has an important role in the electronic warfare. A simple and inexpensive method is based on the use of reticle devices in the trackers. But the most limitation factor for using the reticle systems is resulting from their sensitivity to false targets such as flares. There are various methods to separate the real target from flares such as dual-band detection method and blind source separation (BSS) method. In this paper, we present new algorithms of separating the real target and flares based on the BSS method. For this reason, we utilize fm reticle, and by using a beam splitter in the modified system, the main signals are extracted from the mixed signals (including the target and flare signals). The time-domain and frequency-domain algorithms are designed and compared in this approach.

Keywords: Tracker, Blind Source Separation, Electronic Warfare, Seeker, Reticle, Time-Domain, Frequency-Domain.

*Corresponding author E-mail: s_olyaei@srttu.edu

۱. مقدمه

جستجوگر رتیکلی یکی از متداول ترین سامانه های نوری طراحی شده برای هدایت موشک است. رتیکل یک عنصر نوری شامل نواحی کدر و شفاف است که در صفحه تصویر یک سامانه نوری قرار می گیرد. شار نوری تولید شده توسط هدف به وسیله آینه هایی بر روی سطح رتیکل متمرکز می شود [۱]. به طور معمول، رتیکل در دو نوع مدولاسیون دامنه و فرکانس طراحی و ساخته می شوند [۲].

به دلیل وجود محدودیت هایی در نوع مدولاسیون دامنه، امروزه استفاده از آن کاهش یافته است و بیشتر از نوع مدولاسیون فرکانس استفاده می شود [۳]. یکی از بزرگ ترین معایب مدولاسیون دامنه در ردیابی اهدافی است که هم راستا با مرکز رتیکل حرکت می کنند. در چنین وضعیتی، چرخش رتیکل سطح سیگنال ثابتی را در خروجی آشکارساز نوری موجب می شود در حالیکه، در نوع مدولاسیون فرکانسی این مشکل برطرف شده است [۳].

یک جستجوگر فروسرخ که روی کلاهک موشک های هدایت شونده نصب می شود، موقعیت زاویه ای هدف موجود در میدان دید را تعیین می کند. به این ترتیب، هدف دنبال شده و اطلاعات به تیغه های هدایت کننده موشک ارسال می شود تا سرانجام موشک به هدف برخورد کند. هدف برای اینکه خود را از موشک های دنبال کننده حرارتی در امان بدارد، اقدام به انتشار فلیر می کند. فلیرها اهداف کاذبی هستند که در فاصله های زمانی مختلف و به طور منقطع توسط هدف پرتاب شده و سبب گمراه شدن جستجوگر می شود. در سامانه پردازش موشک، به منظور تشخیص هدف از فلیر، روش های مختلفی ارائه شده است که شامل روش آشکارسازی دوگانه (در دو باند فروسرخ و فروسرخ و یا دو باند فروسرخ و فرابنفش)، استفاده از الگوریتم های خوشه بندی (کلاسه بندی) مانند روش K-means و استفاده از الگوریتم های جداسازی منابع کور است.

در روش آشکارسازی دوگانه از این نکته استفاده می شود که هدف به طور عمده انرژی خود را در پهنای باند فروسرخ منتشر می کند، اما فلیر انرژی خود را در دو باند فروسرخ و فرابنفش منتشر می کند. بنابراین خروجی آشکارساز نوری فرابنفش فقط مربوط به انرژی منتشر شده از فلیر است و می توان با استفاده از تشعشع در باند فرابنفش، هدف را از فلیر جدا کرد [۴].

در روش K-means ابتدا دسته های موجود در میدان دید کلی در صورت وجود فلیر به دو دسته هدف و فلیر کلاسه بندی می شوند و از آنجایی که ابعاد هدف تا ده برابر بزرگ تر از ابعاد فلیر در نظر گرفته می شود، دسته بزرگ تر به عنوان هدف شناسایی می شود. در صورتیکه هیچ فلیری در میدان دید کلی موجود نباشد، کلاسه بندی تنها برای یک دسته انجام گرفته که آن کلاس همان کلاس هدف فرض می شود. این روش هنگامی که دو کلاس در نزدیکی یکدیگر واقع شده باشند، توانایی تشخیص صحیح کلاس ها از یکدیگر را ندارد. علت این امر آن است که فاصله نمونه هایی از یک کلاس تا مرکز واقع شده بر روی کلاس دیگر از فاصله این نمونه ها تا مرکز همان دسته

کمتر است. در نتیجه این نمونه ها به کلاسی نسبت داده می شوند که به آن تعلق ندارند [۵]. روش دیگری که این مقاله به آن می پردازد، استفاده از الگوریتم های جداسازی منابع کور است. کلمه کور به این موضوع که هیچ اطلاعی در مورد نحوه مخلوط شدن سیگنال های منبع وجود ندارد، اشاره می کند. علاوه بر تشخیص هدف اصلی از اهداف کاذب، این روش کاربردهای زیادی مانند جداسازی سیگنال های EEG جنین از مادر، جداسازی تصاویر، استخراج ویژگی و جداسازی مخلوط چند سیگنال صحبت دارد. موضوع جداسازی منابع کور، نخستین بار در سال ۱۹۸۵ در یک کاربرد بیولوژیکی ارائه شد [۶].

در سال ۱۹۸۸، الگوریتم دیگری برای حل مسئله جداسازی منابع کور ارائه شد. همچنین زمینه دیگری که در آن موقع در حال گسترش بود، تحلیل طیفی آمارگان های درجه بالا بود [۷ و ۸]. در سال ۱۹۹۰، روشی بر مبنای بیشینه کردن اطلاعات ارائه شد [۹].

روش های دیگری نیز ارائه شدند که می توان از میان آنها به خانواده ای از روش های کیفیت یکسان اشاره کرد [۱۰]. در این روش ها، کیفیت جداسازی به ماتریس مخلوط کننده بستگی ندارد؛ یعنی هر چقدر سیگنال ها به شدت مخلوط شده باشند، در عدم حضور نویز، تأثیری در کیفیت نهایی جواب ندارند.

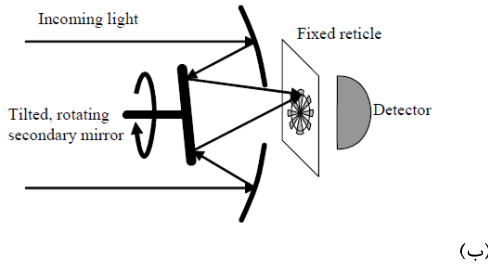
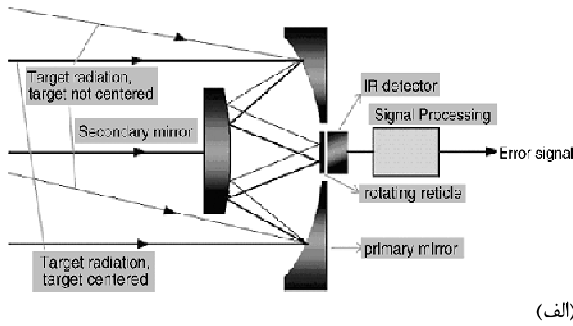
در واقع با وجود سادگی فراوان جستجوگرهای رتیکلی، بزرگ ترین عیب آنها حساسیت به اقدامات متقابل فروسرخ مانند فلیرها است. یکی از روش های حل این مشکل این است که با استفاده از شکافنده پرتو ساختار جستجوگر را بهبود داده و با استفاده از روش های جداسازی منابع کور، سیگنال های اصلی از سیگنال های مخلوط که در خروجی جستجوگر رتیکلی بهبود یافته تولید شده اند، بازیابی شوند [۱۱].

در این مقاله ضمن بررسی الگوریتم های جداسازی منابع کور، مدل ریاضی سیگنال های خروجی ردیاب نوری اصلاح شده به دست خواهد آمد. سپس الگوریتم های مناسب بر روی مدل سیگنال اعمال شده و نتایج تحلیل خواهند شد.

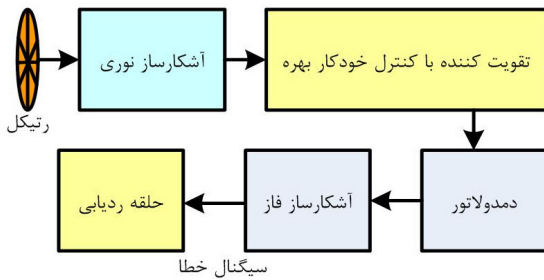
۲. جستجوگر رتیکلی

رتیکل افزارهای نوری شامل نواحی کدر و شفاف است که در صفحه تصویر یک سامانه نوری قرار می گیرد. شار نوری تولید شده توسط هدف، به وسیله آینه هایی در یک نقطه متمرکز می شود و رتیکل در این نقطه قرار می گیرد. برای تبدیل اطلاعات مکانی به اطلاعات زمانی، رتیکل باید شامل پره های مات و پره های شفاف باشد و همچنین یک حرکت نسبی بین رتیکل و هدف وجود داشته باشد. در واقع یا رتیکل گردان است و آینه ها ثابت و یا اینکه رتیکل ثابت و آینه ها گردان هستند.

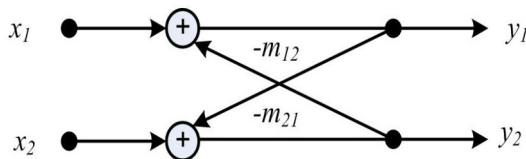
یک جستجوگر رتیکلی ساده شامل بخش متمرکزکننده نور، افزاره رتیکل و آشکارساز است. شار نوری عبوری که توسط آشکارساز دریافت می شود، توسط رتیکل مدوله می شود و آشکارساز یک سیگنال الکتریکی که متناسب با شار نوری است، تولید می کند.



شکل ۱. جستجوگر با (الف) رتیکل متحرک و (ب) رتیکل ثابت [۱]



شکل ۲. بخش پردازش سیگنال



شکل ۳. سامانه جداساز در روش هراولت و جوتن [۶]

$$x = As \quad (۲)$$

در روش هراولت و جوتن (HJ) برای جداسازی دو سیگنال مخلوط، مدل فیدبک شکل (۳) برای سامانه جداساز در نظر گرفته می‌شود. در این روش داریم:

$$\begin{cases} y_1 = x_1 - m_{12}y_2 \\ y_2 = x_2 - m_{21}y_1 \end{cases} \quad (۳)$$

این رابطه را می‌توان به شکل ماتریسی به صورت $y = x - My$ بیان کرد که در آن ماتریس M به صورت زیر تعریف می‌شود:

یک سامانه الکترونیکی سیگنال خطای حاصل را استخراج می‌کند و برای سیستم دنبال‌کننده ارسال می‌کند. ساختار رتیکی ثابت و متحرک در شکل (۱) نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است، پس از آشکارساز یک کنترل‌کننده بهره اتوماتیک و دمدولاتور قرار داده می‌شود. سپس سیگنال دمدوله شده به قسمت آشکارساز فاز ارسال و در نهایت سیگنال خطای حاصل به یک سامانه ژيروسکوپ دقیق وارد می‌شود تا تلسکوپ را در جهت مطلوب قرار دهد [۱].

در جستجوگرهای پیشرفته از فیلترهای نوری مختلفی نیز استفاده می‌شود تا طیف سیگنال مورد نظر را عبور داده و از عبور سایر تشعشعات نامطلوب جلوگیری کنند. مزیت جستجوگرهای رتیکی، سادگی ساختار و قیمت کم به علت تعداد کم آشکارسازی‌های به کار رفته در آن است. بزرگ‌ترین عیب جستجوگرهای رتیکی، حساسیت آنها به اقدامات متقابل فرسوخ مانند فلیرها است.

با توجه به نوع مدولاسیون نیز، رتیکل‌ها به دو دسته مدولاسیون دامنه و مدولاسیون فرکانس تقسیم می‌شوند. تابع انتقال یک رتیکل طوری است که می‌تواند موقعیت هدف را نسبت به بعضی نقاط ثابت در داخل میدان دید به دست آورد. این کار باید در حضور هر منبع آشفتگی مانند پرتوهای پس‌زمینه یا ارتعاشات اتمسفر و با زمان پاسخگویی که هدف از دست داده نشود، انجام گیرد.

۳. جداسازی منابع کور

همان‌طور که در مقدمه به آن اشاره شد، یک روش مناسب برای شناسایی هدف از اهداف کاذب در جستجوگرهای رتیکی استفاده از روش جداسازی منابع کور یا BSS است. در این روش فرض می‌شود N منبع سیگنال در محیطی قرار گرفته‌اند. سیگنال‌های این منابع را $s_1(t)$ تا $s_N(t)$ می‌نامیم. همچنین فرض می‌شود که در این محیط M حسگر قرار داشته و سیگنال‌های دریافتی این حسگرها $x_1(t)$ تا $x_M(t)$ باشد. در این صورت، هر حسگر ترکیبی از کلیه سیگنال‌های $s_1(t)$ تا $s_N(t)$ را دریافت می‌کند، به بیان دیگر:

$$x_i(t) = a_{i1}s_1(t) + a_{i2}s_2(t) + \dots + a_{iN}s_N(t) \quad (۱)$$

در رابطه (۲)، ضرایب a_{ij} نامعلوم هستند. به دست آوردن سیگنال‌های منابع $s_1(t)$ تا $s_N(t)$ ، تنها با در دست داشتن خروجی حسگرها یعنی $x_1(t)$ تا $x_M(t)$ ، هدف اصلی از این روش است. لازم به ذکر است که هیچگونه اطلاعاتی در مورد منابع $s_1(t)$ تا $s_N(t)$ و در مورد روش مخلوط شدن آنها (ضرایب a_{ij}) وجود ندارد. این مدل به صورت ماتریسی با رابطه زیر بیان می‌شود:

۲-۳. مخلوط‌های کانولوتیو خطی

در رابطه (۷)، فرض ساده کننده لحظه‌ای بودن مخلوط در نظر گرفته شده است، یعنی از تأخیرهای متفاوت منابع در رسیدن به حسگرهای مختلف و این حقیقت که سیگنال‌های منبع از کانال‌های متفاوتی برای رسیدن به حسگرهای مختلف عبور می‌کند، صرف‌نظر شده است. مدل بهتر برای این حالت، «مخلوط‌های کانولوتیو» است. این مدل با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$x(t) = [A(z)] s(t) = \sum_k A_k s(t-k) \quad (9)$$

مفهوم رابطه (۹) این است که در این مخلوط‌ها، ماتریس مخلوط کننده یک فیلتر خطی است. علاوه بر این، افزاره شکافنده پرتو نیز یک فیلتر $B(z)$ است که $y(t) = [B(z)] x(t)$ را ایجاد می‌کند. می‌توان نشان داد که این مخلوط‌ها نیز جدا پذیر هستند [۱۲].

۴. مدل ریاضی سیگنال‌های خروجی ردیاب

۴-۱. مدولاسیون فرکانس

در شکل (۴) سامانه ردیاب نوری با فیلتر میان‌گذر به همراه ساختار یک رتیکل FM که از قسمت‌های شفاف و کدر تشکیل شده و برای مدولاسیون پرتو استفاده می‌شود، نشان داده شده است [۱۳].

زاویه ψ از رابطه (۱۰) به دست می‌آید:

$$\psi = \arctan \frac{r \sin \varphi + r_0 \sin \Omega_M t}{r \cos \varphi + r_0 \cos \Omega_M t} \\ = \arctan \frac{\Delta \sin \varphi + \sin \Omega_M t}{\Delta \cos \varphi + \cos \Omega_M t} \quad (10)$$

$$\Delta = \frac{r}{r_0}$$

در این رابطه، r_0 شعاع گردش لکه نورانی و r فاصله لکه نورانی از مرکز رتیکل است. سرعت گردش تصویر منبع نورانی حول مرکز رتیکل از رابطه (۱۱) به دست می‌آید:

$$w(t) = \frac{d\psi}{dt} \\ = \frac{\Omega_M (1 + \Delta \cos \Omega_M t \cos \varphi + \Delta \sin \Omega_M t \sin \varphi)}{\cos \Omega_M t \cos \varphi + \Delta^2 + 2\Delta (\cos \Omega_M t \sin \varphi)} \quad (11)$$

برای رتیکل شکل (۴) با n جفت قسمت شفاف و کدر، فرکانس لحظه‌ای پرتو شار از رابطه (۱۲) به دست می‌آید:

$$\hat{w}(t) = w_0 - \Delta w_m \cos(\Omega_M t - \varphi) \quad (12)$$

$$M \Delta \begin{bmatrix} 1 & m_{12} \\ m_{21} & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

در نتیجه خواهیم داشت:

$$y = (I + M)^{-1} x \quad (5)$$

بنابراین اگر ضرایب m_{12} و m_{21} طوری انتخاب شوند که $I + M = A$ شود، $A \Delta [a_{ij}]$ ، ماتریس ضرایب مخلوط کننده است، آنگاه منابع از هم جدا خواهند شد. در این روش، الگوریتم زیر برای تعیین ضرایب m_{12} و m_{21} به صورت وقتی پیشنهاد شده است:

$$\begin{cases} m_{12} \leftarrow m_{12} - \mu f(y_1) g(y_2) \\ m_{21} \leftarrow m_{21} - \mu f(y_2) g(y_1) \end{cases} \quad (6)$$

در این الگوریتم، μ عدد مثبت کوچکی است که نرخ یادگیری را تعیین می‌کند و $f(y)$ و $g(y)$ دو تابع غیرخطی و فرد هستند که جوتن و هراولت این توابع را به صورت $f(y) = y^3$ و $g(y) = \arctg(y)$ در نظر گرفتند و نشان دادند که این الگوریتم قادر به جداسازی سیگنال‌ها است. با توجه به اینکه در مسئله جداسازی منابع کور، مؤلفه‌های مستقل سیگنال‌های مشاهده شده جدا می‌شوند، این مسئله «تجزیه به مؤلفه‌های مستقل» نیز نامیده می‌شود. از جمله مدل‌های جداسازی منابع کور می‌توان به مخلوط‌های خطی ساده، مخلوط‌های کانولوتیو خطی، مخلوط‌های غیرخطی، مخلوط‌های پساناخطی و مخلوط‌های کانولوتیو پساناخطی اشاره کرد.

۳-۱. مخلوط‌های خطی لحظه‌ای

ساده‌ترین مدل جداسازی منابع کور، مدل خطی لحظه‌ای است که در آن فرض می‌شود N سیگنال مشاهده شده، $x_1(t) \dots x_N(t)$ ، به صورت مخلوط خطی لحظه‌ای N سیگنال مستقل دارای میانگین صفر $s_1(t) \dots s_N(t)$ ، باشند. این مدل با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$x_i(t) = \sum_{j=1}^N a_{ij} s_j(t), \quad j=1, \dots, N \quad (7)$$

این مدل به صورت ماتریسی با رابطه (۸) بیان می‌شود:

$$x(t) = A s(t); \quad x = A s \\ A \Delta [a_{ij}]; \quad s \Delta (s_1, \dots, s_N)^T \\ x \Delta (x_1, \dots, x_N)^T \quad (8)$$

در این رابطه، A ماتریس مخلوط کننده، s بردار منبع و x بردار مشاهده نامیده می‌شود. مسئله جداسازی منابع کور (در حالت مخلوط‌های خطی لحظه‌ای) پیدا کردن ماتریس جدا کننده است، طوری که بردار خروجی $y = Bx$ تخمینی از بردار منبع s باشد. طبق قضیه دارموا، مخلوط‌های خطی لحظه‌ای جدا پذیرند به شرط اینکه: ۱- سیگنال‌های منبع مستقل باشند و ۲- حداکثر یکی از منابع اصلی گوسی باشد.

$$I(t) = I_p s(r_0, \Omega_M t - \varphi_0) \quad (18)$$

با جایگذاری رابطه (۱۴) در رابطه (۱۸) داریم:

$$I(t) = I_p \cos \left[n \Omega_M t - n \frac{r}{a} \sin(\varphi) \right] \quad (19)$$

۴-۲. استخراج مدل سیگنال

شدت نور در نقطه فرضی Q (آشکارساز) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$I_Q = \langle u(Q, t) u^*(Q, t) \rangle \quad (20)$$

که در آن برای $u(Q, t)$ داریم:

$$u(Q, t) = u(Q_1, t) + u(Q_2, t) \quad (21)$$

در این رابطه، $u(Q_1, t)$ اغتشاش تولید شده در نقطه Q ، توسط نقطه نورانی P_1 در صفحه Σ_1 است و $u(Q_2, t)$ اغتشاش تولید شده در نقطه Q ، توسط نقطه نورانی P_2 در صفحه Σ_2 است. کمیت‌های $u(Q_1, t)$ و $u(Q_2, t)$ ، با استفاده از اصل هویگنس-فرنل در مورد انتشار امواج نوری به دست می‌آیند. برای حالت نور شبکه تک رنگ، $u(Q_1, t)$ از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$u(Q_1, t) = \iint_{\Sigma_1} \frac{u(p_1, t - d_1/c)}{d_1} k(P_1, Q_1) \Lambda_1 dP_1 \quad (22)$$

در این رابطه، Λ_1 ضریب انحراف نامیده می‌شود و برای یک زاویه تفرق کوچک θ_1 تقریباً برابر $\Lambda_1 = \frac{1}{j\lambda}$ است، که λ طول موج مرکزی در باند نور منتشر شده است.

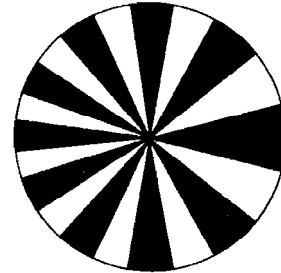
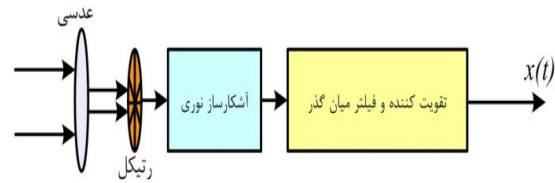
اگر شدت نور بر حسب طیف تابش بیان شود و با در نظر گرفتن قابلیت پاسخ‌دهی، برای منابع شبه تک‌رنگ و تک‌رنگ خالص، مقدار جریان نوری از رابطه (۲۳) به دست می‌آید:

$$i(t) = \frac{A}{\lambda^2} \frac{I(p, \lambda, t)}{d_1^2} R(\bar{\lambda}) s(r_1, \varphi_1, t) + \frac{A}{\lambda^2} \frac{I(p_2, \lambda, t)}{d_2^2} R(\bar{\lambda}) s(r_2, \varphi_2, t) + \frac{1}{\lambda^2 d_1 d_2} \sqrt{I(p_1, \lambda, t) I(p_2, \lambda, t)} \gamma_{12}(t) \times s(r_1, \varphi_1, t) \times s(r_2, \varphi_2, t) \quad (23)$$

که در آن، A مساحت و $R(\bar{\lambda})$ قابلیت پاسخ‌دهی آشکارساز است. با وارد کردن ضرایب $\rho(\lambda)$ و $\tau(\lambda)$ در رابط (۲۳)، شدت جریان‌های نوری i_1 و i_2 به دست می‌آیند. $\tau(\lambda)$ ضریب انتقال جداکننده پرتو و $\rho(\lambda)$ ضریب بازتاب شکافنده پرتو است. سیگنال‌های خروجی ردیاب نوری x_1 و x_2 با عبارت زیر بیان می‌شوند:

$$x_j(t) = g_j(t) * i_j(t) \quad j = \{1, 2\} \quad (24)$$

که g_1 و g_2 پاسخ ضربه تقویت کننده آشکارساز و مفهوم نماد *، کانولوشن است. با استفاده از رابطه (۲۳) معادلات زیر برای منابع شبه تک رنگ و تک رنگ به دست می‌آیند [۱۱ و ۱۳]:



شکل ۴. الف سامانه ردیاب نوری با فیلتر میان گذر و (ب) ساختار ریتیکل

که در آن داریم:

$$w_0 = n \Omega_M \quad (13)$$

$$\Delta w_m = \Delta n \Omega_M$$

می‌توان نشان داد که تابع انتقال این ریتیکل با فرکانس لحظه‌ای که از رابطه (۱۲) به دست می‌آید، به صورت زیر است [۱۱ و ۱۳]:

$$s(r, \varphi) = \cos[w_0 t - \beta \sin(\Omega_M t - \varphi)] \quad (14)$$

این رابطه، شکل استاندارد یک سیگنال FM است. این شکل موج در حقیقت، هارمونیک اصلی پاسخ آشکارساز نوری به شار نوری ورودی است. مؤلفه طیف سیگنال حول فرکانس‌های $2w_0$ و $3w_0$... و نیز به وجود می‌آید، ولی فیلتر میان‌گذر شکل (۴-الف) این مؤلفه‌ها را حذف می‌کند. در نتیجه برای شار نوری روی سطح آشکارساز به صورت تقریبی می‌توان نوشت [۱۳]:

$$\hat{\varphi}(\lambda, t) = \varphi(\lambda, t) s(r, \varphi, t) \quad (15)$$

فرکانس پایه ریتیکل، $f_0 = n f_M$ فرکانس مدوله کننده است. انحراف سیگنال FM نیز از رابطه زیر به دست می‌آید [۱۳]:

$$\beta = \frac{\Delta f_0}{f_M} = \frac{\Delta n f_M}{f_M} = \Delta n = n \times \frac{r}{r_0} = k r \quad (16)$$

که در آن n و r_0 ثابت‌های طراحی هستند و انحراف β متناسب با فاصله شعاعی تصویر از محور گردش است. $s(r, \varphi, t)$ ، تابع انتقال ریتیکل است و φ متغیرهای فضایی تابع انتقال ریتیکل هستند که به ترتیب در محدوده صفر تا R و $\pi - \pi$ تا π هستند. جریان خروجی آشکارساز متناسب با شدت نور خروجی از ریتیکل است و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$I(t) = I_p \int_0^R \int_{-\pi}^{\pi} s(r, \varphi) \delta[r - r_0, \theta - (\Omega_M t - \varphi_0)] r dr d\varphi \quad (17)$$

که در آن، Ω_M سرعت گردش ریتیکل بر حسب $rad \cdot s^{-1}$ و r و θ به ترتیب مختصات فضایی تصویر منبع نورانی بر روی ریتیکل است. بیشینه شدت نور نیز با I_p بیان شده است. چون کانولوشن هر تابع با تابع ضربه برابر مقدار تابع در نقطه وقوع تابع ضربه است، در نتیجه برای رابطه (۱۷) خواهیم داشت:

که $x(w)$ و $s(w)$ بردارهایی هستند که مؤلفه‌های آنها، تبدیل فوریه گسسته سیگنال‌های مشاهده شده و سیگنال‌های منبع هستند و $G(w)$ ماتریسی است که عناصر آن، تبدیل فوریه گسسته پاسخ ضربه معادلات (۲۷) است. سه فرض اصلی برای جداسازی منابع در الگوریتم‌های جداسازی منابع کور، استقلال آماری سیگنال‌های منابع، غیر گوسی بودن سیگنال‌های منابع و غیر منفرد بودن ماتریس مخلوط کننده است.

۵. طراحی الگوریتم و نتایج شبیه‌سازی

جداسازی منابع از مخلوط‌های کانولوتیو به جداسازی سیگنال‌هایی گفته می‌شود که در محیطی مخلوط شده‌اند که سیگنال‌های منابع با تأخیرهای متفاوت به حسگرهای مختلف می‌رسند و از کانال‌های متفاوتی برای رسیدن به حسگرهای مختلف عبور می‌کنند و هیچ اطلاعاتی در مورد خواص منابع و شرایط مخلوط شدن وجود ندارد. هدف جداسازی منابع از مخلوط‌های کانولوتیو پیدا کردن فیلتری است که با اعمال آن فیلتر به سیگنال $x(t)$ ، سیگنال $y(t)$ حاصل شود که مدلی از سیگنال اصلی باشد. در مخلوط‌های کانولوتیو، اگر خروجی‌ها مستقل شوند آنگاه می‌توان نتیجه گرفت که منابع از یکدیگر جدا شده‌اند. الگوریتم‌های موجود برای حل مسئله مخلوط‌های کانولوتیو به دو دسته الگوریتم‌های حوزه زمان و الگوریتم‌های حوزه فرکانس تقسیم می‌شوند. الگوریتم‌های مبتنی بر تنک‌بودن نیز وجود دارد که در مواردی که سیگنال در حوزه زمان یا فرکانس به صورت تنک باشد، کاربرد دارد.

۵-۱. الگوریتم‌های حوزه زمان

مزیت الگوریتم‌های حوزه زمان، هم‌گرایی بهتر حول نقطه بهینه و ایجاد استقلال بهتر است. عیب این روش‌ها از بین رفتن همگرایی در محیط‌هایی با تفرق بالا و داشتن پارامترهای زیاد که باید تنظیم شود، است [۱۴]. استفاده از تابع هزینه یکی از روش‌های جداسازی منابع کور است. تابع هزینه نقش یک تابع هدف را ایفا می‌کند، به این مفهوم که بیشینه شدن این تابع منجر به حل مسئله می‌شود. اثبات شده است که در الگوریتم‌های جداسازی منابع کور، استفاده از توابع هزینه درجات بالاتر برای استخراج منابع موثر است [۱۴]. مانند الگوریتم‌های ارائه شده در مراجع [۱۵-۱۶]، برای رسیدن به همگرایی، به تعداد زیادی تکرار نیاز است که در نتیجه زمان رسیدن به همگرایی طولانی می‌شود. علاوه بر این، در محیط‌هایی با تفرق بالا نیز بازده خوبی ندارد. برخی دیگر از این روش‌ها مانند الگوریتم‌های ارائه شده در مراجع [۱۷-۱۸] نیاز به تنظیم پارامترهای زیادی دارد. در روش مبتنی بر شکل درجه دوم معیار آمارگان مرتبه بالاتر، به منظور جداسازی منابع، از مخلوط کانولوتیو چند ورودی چند خروجی [۱۶] استفاده می‌شود. در ابتدا مدل مخلوط به صورت زیر فرض می‌شود:

$$x(n) = \sum_k H(k)s(n-k) \quad \forall_n \quad (30)$$

$$\begin{aligned} x_1(t) &= g_{11}(t)*s(r_1, \varphi_1, t) \\ &+ g_{12}(t)*s(r_2, \varphi_2, t) \\ &+ g_{13} * [\gamma_{12}(t) \times s(r_1, \varphi_1, t) \times s(r_2, \varphi_2, t)] \\ x_2(t) &= g_{21}(t)*s(r_1, \varphi_1, t) \\ &+ g_{22}(t)*s(r_2, \varphi_2, t) \\ &+ g_{23} * [\gamma_{12}(t) \times s(r_1, \varphi_1, t) \times s(r_2, \varphi_2, t)] \end{aligned} \quad (25)$$

$g_{ij}(t)$ از روابط زیر به دست می‌آیند [۱۱ و ۱۳]:

$$\begin{aligned} g_{11}(t) &= A_1 g_2(t) B_{11}(\lambda, t) \\ g_{12}(t) &= A_1 g_1(t) B_{12}(\lambda, t) \\ g_{13}(t) &= A_1 g_1(t) 2k_1 k_2 \sqrt{B_{11}(\lambda, t) B_{12}(\lambda, t)} \times \text{Re}\{\gamma_{12}(\Delta t)\} \\ g_{21}(t) &= A_2 g_2(t) B_{21}(\lambda, t) \\ g_{22}(t) &= A_2 g_2(t) B_{22}(\lambda, t) \\ g_{23}(t) &= A_2 g_2(t) 2K_1 K_2 \sqrt{B_{21}(\lambda, t) B_{22}(\lambda, t)} \text{Re}\{\gamma_{12}(\Delta t)\} \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} B_{11}(\lambda, t) &= \int \tau(\lambda) I_1(\lambda, t) R_1(\lambda) d\lambda \\ B_{12}(\lambda, t) &= \int \tau(\lambda) I_2(\lambda, t) R_1(\lambda) d\lambda \\ B_{21}(\lambda, t) &= \int \rho(\lambda) I_1(\lambda, t) R_2(\lambda) d\lambda \\ B_{22}(\lambda, t) &= \int \rho(\lambda) I_2(\lambda, t) R_2(\lambda) d\lambda \end{aligned}$$

این مدل سیگنال، یک مدل غیرخطی است. اگر $\gamma_{12}(t) = 0$ باشد، یعنی منابع نوری ناهمدوس باشند، آنگاه این مدل به یک مدل سیگنال خطی تبدیل می‌شود. اگر $\gamma_{12}(t)$ مقدار ثابتی باشد، آنگاه مدل سیگنال با اعمال یک فیلتر میان‌گذر به یک مدل خطی تبدیل می‌شود. اگر $\gamma_{12}(t)$ تابعی از زمان باشد، می‌توانیم یک منبع مصنوعی سیگنال به صورت $s_3(t) = \text{Re}\{\gamma_{12}(t) s_1(t) s_2(t)\}$ در نظر بگیریم و الگوریتم‌های جداسازی منابع کور را در حالت فرو معین (حالتی که تعداد منابع بیشتر از تعداد حسگرها باشد) استفاده کنیم و یا برای بازیابی ۳ سیگنال منبع از ۳ سیگنال مشاهده شده، یک شکافنده پرتو و یک آشکارساز به سامانه اضافه کنیم. مدل سیگنال را می‌توان با اعمال یک فیلتر میان‌گذر مناسب به مدل خطی زیر تبدیل کرد:

$$\begin{aligned} \hat{x}_1(t) &= \hat{g}_{11}(t)*s_1(t) + \hat{g}_{12} * s_2(t) \\ \hat{x}_2(t) &= \hat{g}_{21}(t)*s_1(t) + \hat{g}_{22} * s_2(t) \end{aligned} \quad (27)$$

مدل سیگنال رابطه (۲۷) یک مدل سیگنال کانولوتیو است و به صورت ریاضی با عبارت زیر تعیین می‌شود:

$$x = G * s \quad (28)$$

که G ماتریس پاسخ ضربه است. اگر این مدل سیگنال به حوزه فرکانس برده شود، مدل سیگنال در حوزه فرکانس به صورت زیر بیان می‌شود:

$$x(w) = G(w) s(w) \quad (29)$$

ج) منابع ایستگاه متناوب که در این حالت تابع هزینه $\langle cum\{y(n), y^*(n), y(n), y^*(n)\} \rangle$ تحت قیود $\langle E\{y(n)^2\} = 1$ عملگر متوسط‌گیری زمانی است. این تابع هزینه برای منابع ایستگاه متناوب حقیقی و موهومی استفاده می‌شود.

۵-۲. الگوریتم‌های حوزه فرکانس

اولین مزیت الگوریتم‌های حوزه فرکانس این است که مسئله مخلوط کانتولتو را به چند مسئله مخلوط لحظه‌ای در هر بین فرکانسی تبدیل می‌کند. مزیت دوم این روش‌ها این است که همگرایی سریعی دارند. اولین عیب این روش، مسئله جایگشت و مقیاس‌گذاری است و عیب دوم آن نیز این است که تعداد زیاد نمونه‌ها در هر باند فرکانسی باعث می‌شود که فرض استقلال از بین برود و کیفیت جداسازی کاهش یابد [۱۳]. نتایج شبیه‌سازی این مقاله بر روشی که توسط لوکاس پارا و همکارانش ارائه شده است قرار دارد [۱۸]. در این روش از مدل مخلوط کانتولتو نویزی با رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$x(t) = A * s(t) + n(t) \quad (33)$$

همانند الگوریتم‌های دیگر حوزه فرکانس، این روش نیز مسئله را به حوزه فرکانس منتقل می‌کند و در همه فرکانس‌ها مسئله به طور هم‌زمان حل می‌شود. همبستگی متقابل سیگنال $x(t)$ از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R_x(t, t+\tau) = \langle x(t)x^*(t+\tau) \rangle \quad (34)$$

برای سیگنال‌های ایستگاه، زمان قطعی وقوع سیگنال مهم نیست و همبستگی به زمان نسبی بستگی دارد، به این مفهوم که می‌توان رابطه زیر را نوشت:

$$R_x(t, t+\tau) = R_x(\tau) \quad (35)$$

با استفاده از این رابطه فوق و رابطه (۳۳) تبدیل z ، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R_x(z) = A(z)\Lambda_s(z)A^H(z) + \Lambda_n(z) \quad (36)$$

در این رابطه $A(z)$ ، $\Lambda_s(z)$ و $\Lambda_n(z)$ به ترتیب تبدیل τ فیلتر پاسخ ضربه محدود $A(\tau)$ و خود همبستگی سیگنال‌های منبع و نویز است. با فرض استقلال، این ماتریس‌ها قطری هستند. در کاربردهای عملی تعداد محدودی از ضرایب فیلتر استفاده می‌شود. اگر طول فیلتر را L و طول هر فریم DFT را T در نظر بگیریم، می‌توان نوشت:

$$x(\omega, t) \approx A(\omega)s(\omega, t) + n(\omega, t) \quad (37)$$

که در آن $x(\omega, t)$ ، تبدیل فوریه گسسته فریم $[x(t), \dots, x(t+\tau)]$ است و از رابطه زیر به دست می‌آید:

در این رابطه، $x(n) = (x_1(n), \dots, x_M(n))^T$ بردار مشاهدات، $s(n) = (s_1(n), \dots, s_N(n))^T$ بردار منابع و $H(k)$ پاسخ ضربه فیلتر مخلوط کننده با N ورودی و M خروجی است. با اعمال تابع هزینه، یک منبع از مخلوط استخراج می‌شود. پس از جداسازی یک منبع، سهم این منبع از سیگنال‌های مشاهده شده کسر می‌گردد. پس از این کار، مسئله جداسازی N منبع از مخلوط، به مسئله ساده‌تر جداسازی $N-1$ منبع تبدیل می‌شود؛ به همین علت این روش، روش تقلیلی نامیده می‌شود.

این الگوریتم به صورت زیر ارائه می‌گردد:

۱. $p=1$ ، استخراج اولین منبع $y_1(n)$ ، $n \in Z$ از مشاهدات

$$(x^{(1)}(n))_n = (x(n))_n$$

۲. برای $p \in \{2, \dots, N\}$ دو مرحله جداسازی انجام می‌شود:

الف) کاهش سهم منبعی که در مرحله $p-1$ ام، استخراج شده است که سیگنال $(x^{(p)}(n))_n$ با M مؤلفه و به صورت مخلوط $N-p+1$ منبع را نتیجه می‌دهد. در کاهش سهم منبع $p-1$ ام، عبارت زیر محاسبه می‌شود:

$$(x^{(p)}(n)) = x^{(p-1)}(n) - \sum_k t^{(p)}(k) y_{p-1}(n-k), n \in z \quad (31)$$

که عبارت $t^{(p)}(k)$ پاسخ ضربه یک فیلتر با یک ورودی و M خروجی است. چون منابع مستقل از یکدیگر هستند، این پاسخ ضربه کمینه کننده عبارت زیر است:

$$\mathcal{E}(t^{(p)}) = E\{|x^{(p)}(n)|^2\} \quad (32)$$

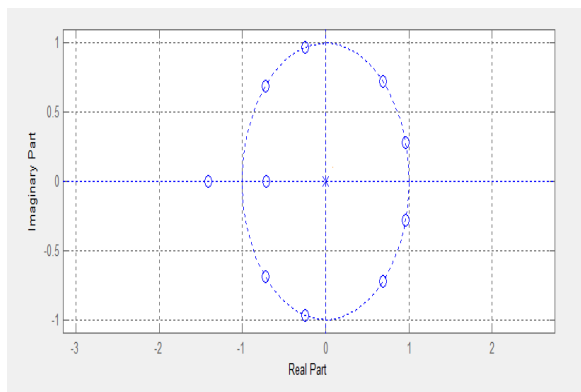
در عمل، فیلترها پاسخ ضربه محدودی دارند و مسئله فوق به حل مسئله کم‌ترین مربعات برای یک سیستم خطی تبدیل می‌شود.

ب) استخراج منبع p ام، $(y_p(n))_n$ از مشاهدات اصلاح شده $(x^{(p)}(n))_n$.

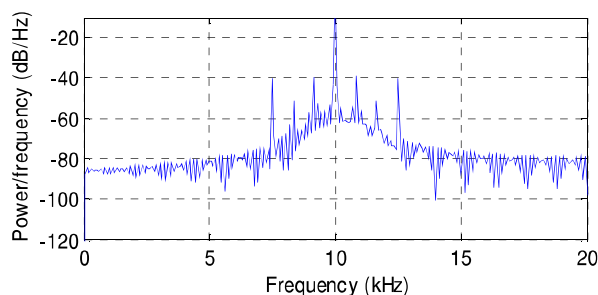
لازم است به این نکته توجه شود که اغلب روش‌های تقلیلی منجر به جمع شدن خطاها می‌شوند. در این روش از توابع هزینه زیر برای حالت‌های مختلف استفاده می‌شود:

الف) حالت منابع ایستگاه (حقیقی) که در این حالت تابع هزینه $\langle cum\{y(n), y(n), y(n), y(n)\} \rangle$ تحت قید $E\{y(n)^2\} = 1$ بیشینه می‌شود. این تابع هزینه برای منابع ایستگاه با مقدار حقیقی قابل قبول است.

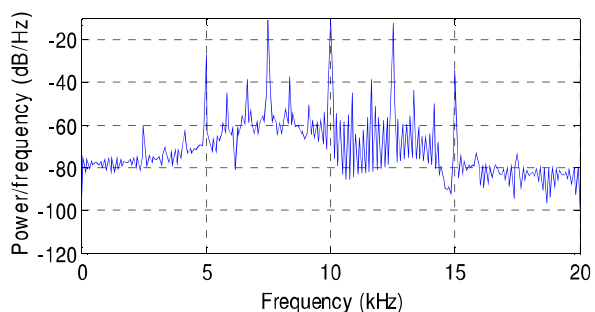
ب) حالت منابع ایستگاه (حقیقی و مختلط) که در این حالت تابع هزینه $\langle cum\{y(n), y^*(n), y(n), y^*(n)\} \rangle$ تحت قید $E\{|y(n)|^2\} = 1$ بیشینه می‌شود. این تابع هزینه برای منابع ایستگاه حقیقی و مختلط قابل قبول است. همچنین در این حالت می‌توان از بیشینه کردن تابع هزینه $\langle cum\{y(n), y^*(n), z(n), z^*(n)\} \rangle$ تحت قید $E\{|y(n)|^2\} = 1$ استفاده کرد که $z(n)$ یک سیگنال مرجع ثابت است.



شکل ۷. دیاگرام صفر و قطب فیلتر پاسخ ضربه محدود

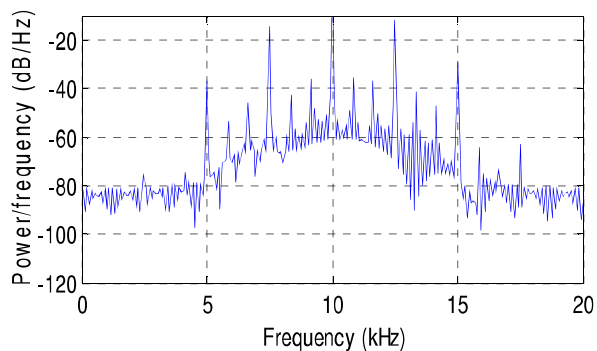


(الف)



(ب)

شکل ۸. طیف توان سیگنال‌های منبع، (الف) s_1 (ب) s_2



شکل ۹. طیف توان سیگنال‌های مشاهده شده، (الف) x_1 (ب) x_2

$$x(\omega, t) = \sum_{\tau=1}^{T-1} e^{-i2\pi\omega\tau/T} x(t+\tau) \quad (38)$$

به $s(\omega, t)$ و $A(\omega)$ نیز با استفاده از رابطه‌هایی مشابه رابطه (۳۸) دست می‌آیند.

۳-۵. نتایج شبیه‌سازی

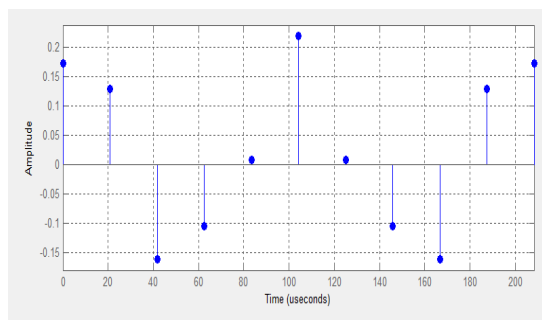
در این مقاله سیگنال‌های x_1 و x_2 با استفاده از معادلات (۱۴)، (۱۶) و (۲۵) مدل شده‌اند [۲۰]. در شبیه‌سازی، تعداد پره‌های مات و شفاف رتیکل برابر ۱۲ در نظر گرفته شده است. همچنین فرض می‌شود

که $\Omega_M = 20\pi \text{ krads}^{-1}$ و نقاط نورانی با شعاع‌های

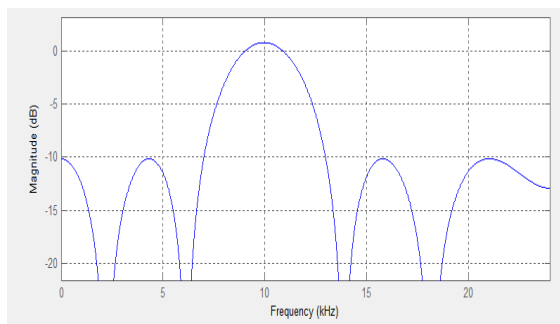
$r_{01} = 1.2\text{mm}$ و $r_{02} = 1.5\text{mm}$ حول نقاطی با مختصات

$r_1 = 0.1\text{mm}$ و $r_2 = 0.5\text{mm}$ نسبت به مرکز رتیکل دوران کنند.

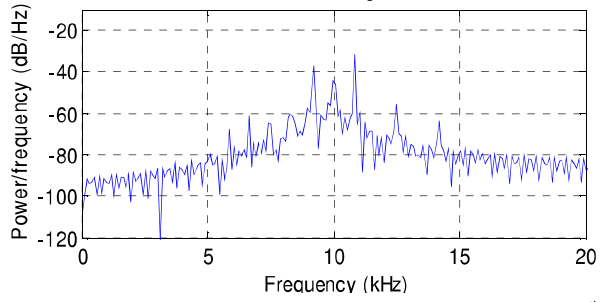
برای فیلتر میان‌گذر از یک فیلتر پاسخ ضربه محدود که پاسخ ضربه، پاسخ دامنه و دیاگرام قطب و صفر آن به ترتیب در شکل‌های (۵)، (۶) و (۷) نشان داده شده است، استفاده می‌شود. طیف توان سیگنال‌های FM، $s_1, s_2, x_1, x_2, y_1, y_2$ به ترتیب در شکل‌های (۸)، (۹)، (۱۰) و (۱۱) نشان داده شده است. شکل‌های (۱۰-الف) و (۱۰-ب) به ترتیب، طیف توان سیگنال‌های y_1 و y_2 با استفاده از الگوریتم حوزه زمان و شکل‌های (۱۱-الف) و (۱۱-ب) به ترتیب، طیف توان سیگنال‌های y_1 و y_2 با استفاده از الگوریتم حوزه فرکانس را نشان می‌دهند.



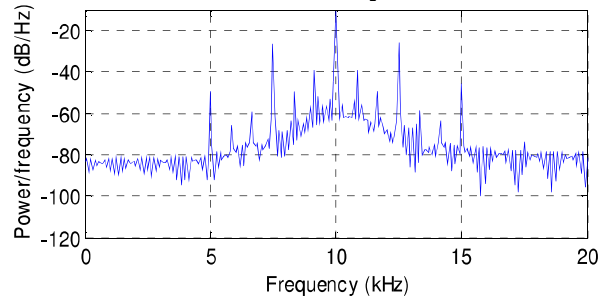
شکل ۵. پاسخ ضربه فیلتر پاسخ ضربه محدود



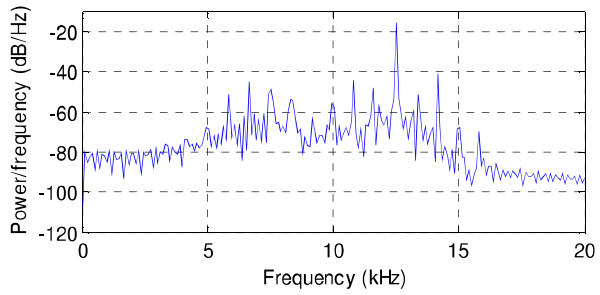
شکل ۶. پاسخ دامنه فیلتر پاسخ ضربه محدود



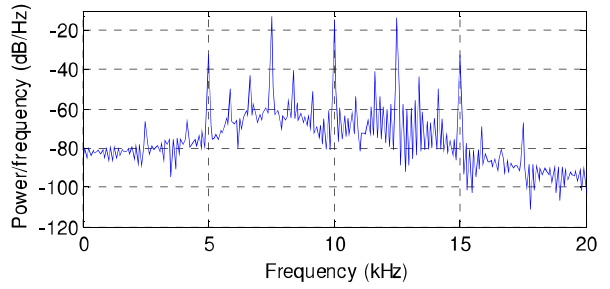
(الف)



(ب)



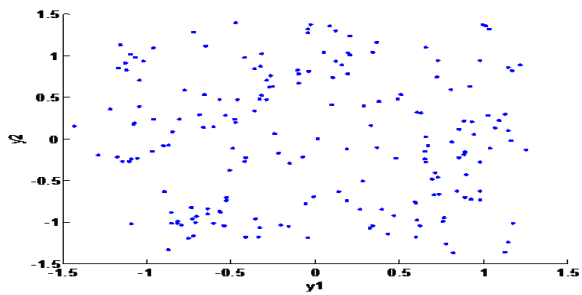
(ب)



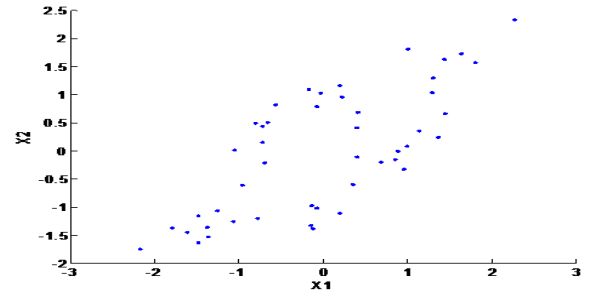
(ب)

شکل ۱۱. طیف توان سیگنال‌های بازسازی شده با اعمال الگوریتم حوزه فرکانس، (الف) y_1 ، (ب) y_2

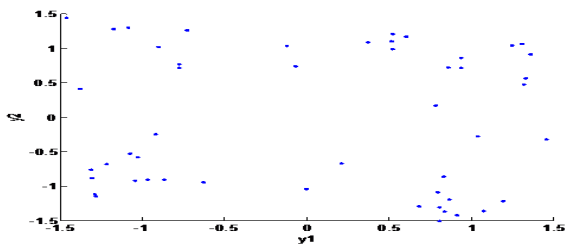
شکل ۱۰. طیف توان سیگنال‌های بازسازی شده با اعمال الگوریتم حوزه زمان، (الف) y_1 ، (ب) y_2



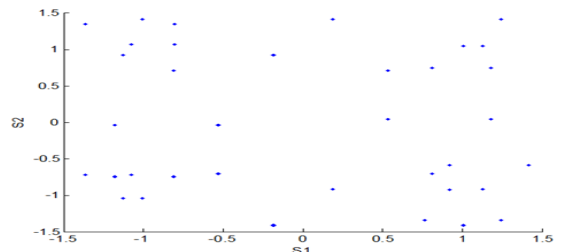
(الف)



(الف)



(ب)



(ب)

شکل ۱۳. توزیع توام سیگنال y با اعمال (الف) الگوریتم حوزه زمان و (ب) الگوریتم حوزه فرکانس

شکل ۱۲. توزیع توام سیگنال s و (ب) سیگنال x

مقایسه نتایج به دست آمده در این مقاله که در اجرای آن از یک فیلتر پاسخ ضربه محدود درجه ۳ استفاده شد، با آنچه که پیش‌تر توسط سایر محققان گزارش شده است (از جمله نتایج مرجع [۱۹]) نشان می‌دهد که در روش ارائه شده در این مقاله برای رسیدن به همگرایی به تکرار زیادی نیاز نیست. از این رو، زمان رسیدن به پاسخ به مراتب کوتاه‌تر خواهد بود.

از طرف دیگر در محیط‌هایی با تفرق بالا نیز دارای بازده خوبی است. لازم به ذکر است که برای جداسازی منابع از مخلوط‌های کانولوتیو علاوه بر دو نوع الگوریتم حوزه زمان و حوزه فرکانس، الگوریتم‌های مبتنی بر تنک‌بودن نیز وجود دارد که در حل مشکل حساسیت جستجوگرهای رتیکیلی به اقدامات متقابل فروسرخ فاقد کاربرد هستند. دلیل این امر این است که سیگنال‌های منبع از نوع سیگنال-های FM هستند و نمی‌توان از این روش‌ها استفاده کرد.

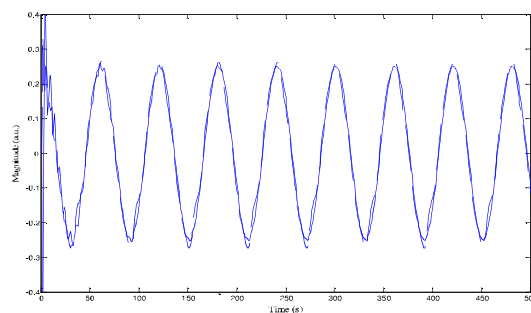
۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش حل مشکل حساسیت جستجوگرهای رتیکیلی به اقدامات متقابل فروسرخ با استفاده از الگوریتم‌های جداسازی منابع کور ارائه شد. ابتدا مدل سیگنال خروجی جستجوگر رتیکیلی بهبود یافته به دست آورده شد. در حالتی که منابع نوری (هدف و فلیر) در میدان دید جستجوگر رتیکیلی ناهمدوس قرار گرفته باشند، مدل سیگنال خروجی جستجوگر رتیکیلی بهبود یافته یک مدل کانولوتیو خطی به دست خواهد آمد. اما در حالتی که منابع نوری (هدف و فلیر) همدوس باشند، مدل سیگنال خروجی جستجوگر رتیکیلی بهبود یافته یک مدل کانولوتیو غیرخطی است که در این حالت با اعمال یک فیلتر میان‌گذر این مدل به یک مدل مخلوط کانولوتیو خطی تبدیل می‌شود.

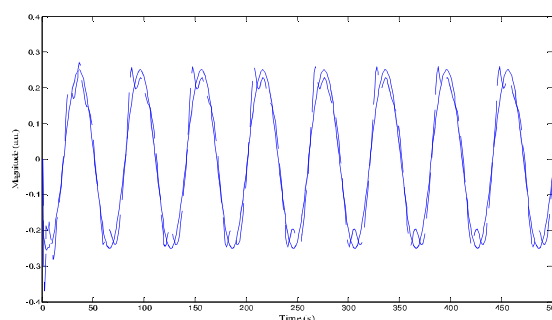
با اعمال الگوریتم‌های حوزه زمان و حوزه فرکانس به سیگنال‌های خروجی جستجوگر رتیکیلی بهبود یافته توانستیم سیگنال‌های هدف و فلیر را جداسازی کنیم. علاوه بر این کار، با مقایسه روش‌های حوزه زمان و حوزه فرکانس مزایا و معایب هر کدام از این روش‌ها به دست آمد. مزیت روش‌های حوزه زمان، همگرایی بهتر حول نقطه بهینه و ایجاد استقلال بهتر است.

عیب این روش‌ها از بین رفتن همگرایی در محیط‌هایی با تفرق بالا و داشتن پارامترهای زیادی است که باید تنظیم شود. در مقابل، از جمله مزایای روش‌های حوزه فرکانس می‌توان تبدیل مسئله مخلوط کانولوتیو به چند مسئله مخلوط لحظه‌ای در هر بین فرکانسی و همگرایی سریع را نام برد. عیب اساسی این روش‌ها مسئله جایگشت و مقیاس‌گذاری است و عیب دیگر آن این است که تعداد زیاد نمونه-ها در هر باند فرکانسی باعث می‌شود که فرض استقلال از بین برود که این امر باعث کاهش کیفیت جداسازی می‌شود.

سیگنال y_1 ، سیگنال بازیابی شده s_1 و سیگنال y_2 ، سیگنال بازیابی شده s_2 است. توزیع توام سیگنال‌های s ، x و y به ترتیب در شکل-های (۱۲) و (۱۳) نشان داده شده است. شکل (۱۳-الف) توزیع توام سیگنال‌های y_1 و y_2 را با استفاده از الگوریتم حوزه زمان و شکل (۱۳-ب) توزیع توام سیگنال‌های y_1 و y_2 را با استفاده از الگوریتم حوزه فرکانس نشان می‌دهد. شکل (۱۲) نشان می‌دهد که از استقلال s_1 و s_2 می‌توان نتیجه گرفت که رابطه $p_{s_1, s_2}(s_1, s_2) = p_{s_1}(s_1)p_{s_2}(s_2)$ برقرار است و (s_1, s_2) ناحیه مستطیل شکل $\left\{ (s_1, s_2) \mid -1.5 \leq s_1 \leq 1.5, -1.5 \leq s_2 \leq 1.5 \right\}$ را ایجاد می‌کند. منحنی پراکندگی نمونه‌های منبع، یک ناحیه مستطیل شکل در فضای (s_1, s_2) را تشکیل می‌دهد. نگاشت کانولوتیو خطی $x = A * s$ ، این ناحیه را به یک ناحیه لوزی شکل تبدیل می‌کند. منحنی پراکندگی نمونه‌های سیگنال بازیابی شده که یک ناحیه مستطیل شکل در فضای (y_1, y_2) را تشکیل می‌دهد، ادعای ما را مبنی بر اینکه سیگنال‌های مخلوط از یکدیگر جدا شده‌اند، اثبات می‌کند. شکل‌های (۱۴) و (۱۵) به ترتیب، سیگنال‌های دمدوله شده با استفاده از الگوریتم حوزه زمان و الگوریتم حوزه فرکانس را نشان می‌دهند. در هر شکل منحنی خط پر، سیگنال اصلی دمدوله شده و منحنی خط چین، سیگنال بازیابی شده دمدوله شده را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴. سیگنال‌های دمدوله شده: منحنی خط پر، سیگنال اصلی دمدوله شده و منحنی خط چین، سیگنال بازسازی شده دمدوله شده با اعمال الگوریتم حوزه زمان



شکل ۱۵. سیگنال‌های دمدوله شده: منحنی خط پر، سیگنال اصلی دمدوله شده و منحنی خط چین، سیگنال بازسازی شده با اعمال الگوریتم حوزه فرکانس دمدوله شده

۷. مراجع

- [12] Yellin, D.; Weinstein, E. "Criteria for Multi-Channel Signal Separation."; *IEEE Trans. Signal Processing* 1994, 42, 2158-2168.
- [13] Kopriva, I.; Persin, A. "Discrimination of Optical Sources by Use of Adaptive Blind Source Separation Theory."; *Applied Optics* 1999, 38, 1115-1126.
- [14] Douglas, S. C.; Gupta, M.; Sawada, S.; Makino, S. "Spatio-Temporal fast ICA Algorithms for the Blind Separation of Convolution Mixtures."; *IEEE Trans. Speech Audio Process* 2007, 15, 1511-1520.
- [15] Babaie-Zadeh, M.; Jutten, C.; Nayebi, K. "Differential of Mutual Information."; *IEEE Signal Process. Letts.* 2004, 11, 33-54.
- [16] Babaie-Zadeh, M.; Jutten, C.; Nayebi, K. "Minimization Projection (MP) Approach for Blind Separating CPNL Mixtures."; *Proceedings of ICASSP'04, Montreal, Canada, 2004*, 533-536.
- [17] Thomas, J.; Deville, Y.; Hosseini, S. "Time-Domain Fast Fixed-Point Algorithm for Convolutional ICA."; *IEEE Signal Process. Letts.* 2006, 13, 223-231.
- [18] Moulines, E.; Cardoso, J. F.; Gassiat, E. "Maximum likelihood for Blind Separation and Deconvolution of Noisy Signals Using mature Models."; *Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP'97), Munich, Germany, 1997*, 1-4.
- [19] Parra, L.; Spence, C. "Convolutional Blind Separation of Non-Stationary Sources."; *IEEE Trans. Signal Process.* 2000, 8, 320-328.
- [20] Moradian, M. R. "Discrimination of Optical Sources Using Blind Source Separation Approaches"; MSc Thesis, Shahid Rajaei University, 2009.
- [1] Biberman, L. M. "Reticles in Electro-Optical Devices."; Pergmon Press, New York, 1966.
- [2] Driggers, K. G.; Halford, C. E.; Boreman, G. D. "Parameters of Spinning AM Reticles."; *Appl. Opt.* 1991, 30, 2675-2684.
- [3] Driggers, R. C.; Halford, K. C.; Boreman, G.; Lattman, D.; Williams, K. "Parameters of Spinning FM Reticles."; *Appl. Opt.* 1991, 3, 887-895.
- [4] Oh, J.; Doo, K. S.; Jahng, S. G.; Choi, J. S. "A New Counter-Countermeasure Algorithm for Two-Color Infrared Seekers."; *Proc. SPIE* 2000, 238-246.
- [5] Jahng, S. G.; Hong, H. K.; Choi, J. S. "Simulation of Rosette Infrared Seeker and Counter-Countermeasure using K-Means Algorithm."; *IEICE Trans. Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences* 1999, E82-A, 987-993.
- [6] Hérault, J.; Jutten, C.; Ans, B. "Detection of Primitive Variables in a Message by Composite Architecture Computational Neuroscience in Unsupervised Learning."; *Proc. Conference on Signal Processing, Nice, France, 1985*, pp. 1017-1022.
- [7] Comon, P. "Independent Component Analysis - a New Concept."; *Signal Process.* 1994, 36, 287-314.
- [8] Cardoso, J. F. "Blind Identification on Independent Signal with Higher-Order Statistics."; *The Workshop on High-order Spectral Analysis, USA, 1989*, 157-160.
- [9] Bell, T.; Sejnowski T. "An information Maximization Approach to Blind separation and Blind Deconvolution."; *Neural Computation* 1995, 7, 1004-1034.
- [10] Cardoso, J. F.; Laheld, B. "Equivariant Adaptive Source Separation."; *IEEE Tran. Signal Processing* 1996, 44, 3017-3030.
- [11] Szu, H.; Kopriva, I.; Persin, A. "Independent Component Analysis Approach to Resolve the Multi-Source Limitation of the Nutating Rising-Sun Reticle Based Optical Trackers."; *Optics Communications* 2000, 176, 77-89.