روشی جدید برای تعیین موقعیت تعداد متغیری از منابع تشعشع سیگنال: تلفیق روش‌های تعقیب چندفرضیه‌ای و تخصیص دادگان

سیدوهاب شجاع‌الدینی و رحمان کبیری

چکیده: در این مقاله یک روش جدید برای تشخیص و تعیین موقعیت چند هدف متحرک با استفاده از سیگنال تابشی از آنها ارائه می‌شود که هیچ پیش‌فرضی راجع به تعداد اهداف، مکان و نوع سیگنال ارسالی از آنها نمی‌کند. در این روش ابتدا همه سیگنال‌های محیط توسط چند گیرنده دریافت شده و سپس با استفاده از محاسبه همبستگی متقاطع، تأخیرهای سیگنال‌های دریافتی نسبت به یک گیرنده مرجع به‌دست می‌آیند که یک فضای برداری از تأخیرها را تشکیل می‌دهند. با استفاده از تلفیق روش تعقیب چندفرضیه‌ای و الگوریتم تخصیص دادگان، رشته‌های معنی‌دار مختلفی از این فضا استخراج می‌شوند که هر رشته به معنای یافت یک هدف احتمالی جدید می‌باشد. برای تفکیک هر هدف احتمالی یک مدل ریاضی متغیر با زمان تشکیل می‌شود. چنانچه هدف فوق در فرآیند به‌روز شدن این مدل در زمان‌های متوالی حذف نگردد، به‌عنوان یک هدف اصلی منظور و با استفاده از فیلتر کالمن ردیابی می‌گردد. نتایج حاصل از آزمودن این روش و مقایسه آن با روش‌های قبلی در شرایطی که نویز و مشاهدات گمشده نیز در نظر گرفته شده‌اند، نشان می‌دهند که تعداد متغیری از اهداف با انواع مسیرهای حرکتی خطی، غیر خطی، موازی، متقاطع و اهداف دارای تغییر جهت حرکتی به کمک این روش با بهبود چشمگیر در دقت نسبت به روش‌های موجود و بدون افت سرعت پردازش، قابل تفکیک و ردیابی هستند.

***کلید واژه:* تخصیص دادگان، تعقیب چندفرضیه‌ای، تعیین موقعیت.**

۱- مقدمه

تعیین مکان منابع منتشرکننده امواج از روی موج ارسالی از آنها دارای سابقه و کاربردهای متعددی در زمینه‌های مختلف است. تعیین موقعیت گوینده با استفاده از سیگنال صوتی [۱]، تعیین منابع تشعشع دشمن در صحنه‌های نظامی [۲]، تعیین موقعیت با استفاده از سیگنال تلفن همراه [۳] و [۴] و حمل و نقل هوشمند [۵] از کاربردهای این رشته از دانش به شمار می‌آیند. برای انجام این کار روش‌های مختلفی استفاده شده‌اند. در دسته‌ای از روش‌ها زاویه قرارگیری[1] اهداف مورد نظر با استفاده از امواج دریافتی از آنها تعیین می‌شود. این روش نیازمند استفاده از آرایه آنتن‌ها و کالیبره‌کردن آنها است که دارای پیچیدگی و هزینه قابل توجهی است [۶]. اختلاف فرکانس[2] سیگنال‌های دریافتی پارامتری است که در گونه دیگری از روش‌ها برای تخمین موقعیت استفاده می‌شود. این روش به تنهایی دارای دقت چندانی در مکان‌یابی نیست و معمولاً در کنار سایر روش‌ها به کار می‌رود [۷]. در روش دیگری که به روش زمان دریافت[3] موسوم است، مکان هدف با استفاده از زمان دریافت سیگنال آن توسط چند گیرنده با مکان‌های متفاوت به‌دست می‌آید. سیستم مکان‌یاب جهانی[4] جهانی[4] از همین روش برای مکان‌یابی استفاده می‌کند. محدودیت عمده این روش آن است که باید زمان شروع ارسال سیگنال از هدف مشخص باشد [۸]. روش دیگر به اختلاف زمان دریافت موسوم است. این روش اختلاف زمانی دریافت سیگنال[5] ارسال‌شده از یک هدف که TDOA نامیده می‌شود را بین گیرنده‌هایی با مکان‌های مختلف محاسبه نموده و با استفاده از اختلاف‌های زمانی مزبور، مکان هدف را مشخص می‌سازد. روش اخیر نیازی به مشخص‌بودن زمان شروع ارسال سیگنال از هدف ندارد. در روش TDOA، ابتدا سیگنال ارسالی از هدف توسط چند گیرنده با مکان‌های مشخص دریافت می‌شود. سپس اختلاف زمان دریافت سیگنال بین هر گیرنده و یک گیرنده مشخص که مرجع نامیده می‌شود، به‌دست می‌آید. به این منظور، تابع همبستگی متقاطع[6] بین دو سیگنال فوق محاسبه شده و تأخیری که به‌ازای آن قله تابع همبستگی رخ داده است، به‌عنوان TDOA محسوب می‌شود. پس از محاسبه TDOA بین همه گیرنده‌ها و گیرنده مرجع، با حل‌کردن یک دستگاه معادلات غیر خطی که در آن مکان گیرنده‌ها و مقادیر TDOA معلوم و مکان هدف مجهول می‌باشد، تعیین موقعیت هدف انجام می‌پذیرد [۹] تا [۱۲]. در شرایطی که اهداف متعددی در حال ارسال سیگنال هستند، تابع همبستگی بین سیگنال‌های هر سایت و سایت مرجع دارای قله‌های متعددی بوده و لذا بین هر گیرنده و گیرنده مرجع TDOAهای متعددی به‌دست می‌آید که هر یک ناشی از یک هدف تشعشع‌کننده است. در این حالت باید مشخص شود که هر یک از TDOAها از چه هدفی ناشی شده‌اند. تاکنون روش‌های مختلفی برای مکان‌یابی اهداف متعدد ارائه شده‌اند که اغلب آنها از تلفیق TDOA با پارامترهای دیگر برای تفکیک اهداف استفاده می‌کنند [۱۳] و [۱۴]. روش‌هایی نیز با استفاده از تکنیک‌هایی مانند بیشینه شباهت[7]، اهداف را جداسازی و سپس مکان‌یابی نموده‌اند. در روش‌های اخیر تعداد اهداف مورد تفکیک، معلوم فرض می‌شود که معمولاً در شرایط واقعی فرض صحیحی نیست. محدودیت دیگر این روش‌ها آن است که در آنها سیگنال تابشی یک فرآیند گوسی با میانگین آماری صفر و با چگالی طیفی مشخص فرض می‌شود [۱۵] و [۱۶]. از طرفی این روش‌ها از اطلاعات مربوط به حرکت اهداف استفاده‌ای نمی‌کنند.

این مقاله در تاریخ ۱۱ مرداد ماه ۱۳۸۹ دریافت و در تاریخ ۲ آبان ماه ۱۳۹۰ بازنگری شد.

سیدوهاب شجاع‌الدینی، گروه مخابرات و فناوری‌های فضایی، پژوهشکده برق و فناوری اطلاعات، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران، صندوق پستی ۱۵۸۱۵/۳۵۳۸ (email: shojadini@irost.ir).

رحمان کبیری، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، تهران (email: pardazinfo@gmail.com).

1. Angle of Arrival
2. Frequency Difference of Arrival
3. Time of Arrival
4. Global Positioning System
5. Time Difference of Arrival
6. Cross Correlation
7. Maximum Likelihood

Archive of SID

www.SID.ir

در این مقاله روش جدیدی برای تشخیص و مکان‌یابی چند هدف متحرک به کمک سیگنال تابشی از آنها ارائه می‌شود که بر تشکیل یک مدل ریاضی متغیر با زمان برای هر هدف استوار است. این مدل ریاضی با تلفیق روش‌های تعقیب چندفرضیه‌ای[1]، تخصیص دادگان[2] و فیلترینگ کالمن تشکیل و با استفاده از اطلاعات حرکت هدف به‌روز می‌شود. به کمک این مدل می‌توان هر هدف را از سایر اهداف جداسازی و ردیابی نمود. روش فوق بر خلاف تکنیک‌های موجود برای اهداف با تعداد متغیر قابل کاربرد بوده و هیچ پیش‌فرضی راجع به تعداد اهداف نمی‌نماید.

ساختار مقاله به‌صورت زیر است. در بخش ۲ مسأله مکان‌یابی چند هدف متحرک به‌صورت ریاضی تشریح و مدل ریاضی پیشنهادی برای هر هدف ارائه می‌گردد. در بخش ۳ عملکرد روش پیشنهادی آزموده می‌شود. برای این کار دو سناریوی مختلف برای تعداد متغیری از اهداف شبیه‌سازی و با اعمال روش پیشنهادی، اهداف فوق در هر سناریو تفکیک و ردیابی می‌شوند. در بخش ۴ نتایج حاصل از شبیه‌سازی مورد بررسی قرار گرفته و از نظر دقت و سرعت با یکی از روش‌های موجود مقایسه می‌گردد. همچنین کارایی روش پیشنهادی و حساسیت آن نسبت به پارامترهای مهم ارزیابی می‌گردد. بخش پایانی مقاله به نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

۲- تشریح روش پیشنهادی

۲-۱ مکان‌یابی اهداف متحرک چندگانه

فرض کنید که N هدف داریم که تشعشع آنها توسط $K+1$ گیرنده دریافت می‌شود. مطابق (۱)، سیگنالی که توسط هر گیرنده در پنجره زمانی i دریافت می‌شود را S_{ki} می‌نامیم که $k=0,1,2,\ldots,K$ و $i=1,2,\ldots,I$:

$$S_{ki} = s_{1ki} + s_{2ki} + \ldots + s_{nki} \qquad (1)$$

که s_{nki} سیگنال ارسالی از هدف nام است که در پنجره زمانی iام و توسط گیرنده kام دریافت می‌شود و $n=1,2,\ldots,N$. رابطه (۱) نشان می‌دهد که سیگنال دریافتی در هر گیرنده برآیند سیگنال‌های ارسالی از اهداف مختلف در همان لحظه است. بر اساس مطالب فوق، همبستگی متقاطع سیگنال‌های S_{ki} و $S_{.i}$ را C_{ki} می‌نامیم که $S_{.i}$ سیگنال دریافتی توسط گیرنده صفرام (مرجع) است. تعداد L قله از C_{ki} به‌دست آورده و آنها را t_{kli} می‌نامیم و $l=1,2,\ldots,L$. به شرط آن که L به حدی بزرگ باشد که $L \geq N$، می‌توان گفت که برای هر یک از مقایر t_{kli} یکی از دو فرض زیر می‌تواند صادق باشد:

- الف) t_{kli} عبارتست از TDOA بین گیرنده‌های k و مرجع در پنجره زمانی iام که توسط یکی از اهداف ایجاد شده است.
- ب) t_{kli} عبارتست از TDOA بین گیرنده‌های k و مرجع در پنجره زمانی iام که در اثر نویز حاصل شده است.

بنابراین می‌توان آرایه T_i را برای پنجره زمانی iام به‌صورت (۲) تعریف نمود

$$T_i = \begin{bmatrix} t_{11i} & t_{12i} \ldots t_{1li} \ldots t_{1mi} \ldots t_{1pi} \ldots t_{1Li} \\ t_{21i} & t_{22i} \ldots t_{2li} \ldots t_{2mi} \ldots t_{2pi} \ldots t_{2Li} \\ \vdots & \\ t_{k1i} & t_{k2i} \ldots t_{kli} \ldots t_{kmi} \ldots t_{kpi} \ldots t_{kLi} \\ \vdots & \\ t_{u1i} & t_{u2i} \ldots t_{uli} \ldots t_{umi} \ldots t_{upi} \ldots t_{uLi} \\ \vdots & \\ t_{r1i} & t_{r2i} \ldots t_{rli} \ldots t_{rmi} \ldots t_{rpi} \ldots t_{rLi} \\ \vdots & \\ t_{K1i} & t_{K2i} \ldots t_{Kli} \ldots t_{Kmi} \ldots t_{Kpi} \ldots t_{KLi} \end{bmatrix} \qquad (2)$$

که $r=1,2,\ldots,K$ و $u=1,2,\ldots,K$ مانند k که پیشتر تعریف شد، شمارنده گیرنده‌های سیگنال هستند. $m=1,2,\ldots,L$ و $p=1,2,\ldots,L$ نیز مانند l شمارنده‌های مرتبط به قله آشکارشده در همبستگی سیگنال هر گیرنده نسبت به سیگنال گیرنده مرجع هستند. با همین فرآیند برای پنجره زمانی بعدی که آن را $i+1$ام می‌نامیم، خواهیم داشت

$$T_{i+1} = \begin{bmatrix} t_{11i+1} & t_{12i+1} \ldots t_{1l'i+1} \ldots t_{1m'i+1} \ldots t_{1p'i+1} \ldots t_{1Li+1} \\ t_{21i+1} & t_{22i+1} \ldots t_{2l'i+1} \ldots t_{2m'i+1} \ldots t_{2p'i+1} \ldots t_{2Li+1} \\ \vdots & \\ t_{k'1i+1} & t_{k'2i+1} \ldots t_{k'l'i+1} \ldots t_{k'm'i+1} \ldots t_{k'p'i+1} \ldots t_{k'Li+1} \\ \vdots & \\ t_{u'1i+1} & t_{u'2i+1} \ldots t_{u'l'i+1} \ldots t_{u'm'i+1} \ldots t_{u'p'i+1} \ldots t_{u'Li+1} \\ \vdots & \\ t_{r'1i+1} & t_{r'2i+1} \ldots t_{r'l'i+1} \ldots t_{r'm'i+1} \ldots t_{r'p'i+1} \ldots t_{r'Li+1} \\ \vdots & \\ t_{K1i+1} & t_{K2i+1} \ldots t_{Kl'i+1} \ldots t_{Km'i+1} \ldots t_{Kp'i+1} \ldots t_{KLi+1} \end{bmatrix} \qquad (3)$$

که در ماتریس اخیر تعریف r'، u'، k'، l'، m' و p' همانند r، u، k، l، m و p است که قبلاً معرفی شده‌اند. با داشتن آرایه‌های T_i و T_{i+1} که TDOAهای احتمالی دو پنجره زمانی i و $i+1$ را نشان می‌دهند، می‌توان اهداف احتمالی را از نویزها تمیز داد. برای این کار باید به طریقی که در ادامه می‌آید عمل همسان‌سازی اهداف را انجام داد.

۲-۲ همسان‌سازی اهداف

منظور از همسان‌سازی یک هدف آن است که بتوان یک رشته معنی‌دار از بردارهای TDOAی دو پنجره زمانی i و $i+1$ تشکیل داد و در صورت ایجاد چنین رشته‌ای آن را به یک هدف واحد نسبت داد. برای این کار، بردار H_{fi} را که شامل تأخیرهای ناشی از یک هدف احتمالی در تمام سنسورها و در پنجره زمانی i است را با (۴) تشکیل می‌دهیم

$$[H_{fi}]_K = ([A]_{K\times L} \bullet [T_i]_{K\times L}) \circ [U]_{L\times 1} \qquad (4)$$

علامت $\bullet$ نشان‌دهنده ضرب عنصر به عنصر و علامت $\circ$ ضرب ماتریسی را نشان می‌دهد. در روابط فوق

$$U = ones(L,1) = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}_{L\times 1} \qquad (5)$$

1. Multiple Hypothesis Tracking
2. Data Association

Archive of SID

www.SID.ir

$$A=\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1l} & \dots & a_{1L} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2l} & \dots & a_{2L} \\ \vdots & & & & & \\ a_{k1} & a_{k2} & \dots & a_{kl} & \dots & a_{kL} \\ \vdots & & & & & \\ a_{K1} & a_{K2} & \dots & a_{Kl} & \dots & a_{KL} \end{bmatrix}$$

$$A(k,:)=[a_{k1}\ a_{k2}\ a_{k3}\dots a_{kl}\dots a_{kL}] = permute([\cdots 1 \cdots\cdots\cdots\cdots])_{1\times L} \qquad (۶)$$

که رابطه اخیر نشان می‌دهد که هر سطر ماتریس A جایگشت‌یافته از برداری است که فقط یک عضو آن یک و سایر اعضای آن صفر هستند. بر اساس روابط فوق، هر بردار H_{fi} یک جایگشت از TDOA های موجود در ماتریس T_i است. همچنین هر H_{fi} برداری K عضوی است که عضو سطر kام آن یکی از TDOA های سطر k از ماتریس T_i است. رابطه (۷)، H_{fi} را بر حسب عناصر T_i بیان می‌کند

$$f=1,2,\dots,F=L^K \quad , \quad H_{fi}=\begin{bmatrix} \vdots \\ t_{kli} \\ \vdots \\ t_{umi} \\ \vdots \\ t_{rpi} \end{bmatrix} \qquad (۷)$$

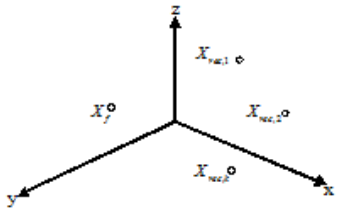
بر اساس روابط ریاضی فوق، هر بردار H_{fi} این شانس را دارد که شامل تمام TDOA هایی باشد که از یک هدف در گیرنده‌های مختلف ایجاد می‌شود. رابطه (۷) نشان می‌دهد که اگر تمام جایگشت‌های ممکن اعمال و همه H_{fi} های ممکن تولید شوند، یک فضای برداری H_i تولید می‌شود که با توجه به ابعاد ماتریس T_i و تعداد بیشینه جایگشت‌های ممکن، تعداد بردارهای عضو این فضا برابر با L^K می‌گردد. با طی همین فرآیند و با توجه به ماتریس T_{i+1}، می‌توان فضای برداری H_{i+1} را برای پنجره زمانی $i+1$ شامل تمام $H_{f'i+1}$ ها تشکیل داد که مشابه (۷) هر $H_{f'i+1}$ و تعداد عناصر این فضا با (۸) تعریف می‌شوند

$$f'=1,2,\dots,F'=L^K \quad , \quad H_{f'i+1}=\begin{bmatrix} \vdots \\ t_{k'l'i+1} \\ \vdots \\ t_{u'm'i+1} \\ \vdots \\ t_{r'p'i+1} \end{bmatrix} \qquad (۸)$$

با داشتن جزئیات فوق هر زوج بردار H_{fi} و $H_{f'i+1}$ که بتوانند یک دنباله معنی‌دار تشکیل دهند، می‌توانند یک هدف را مشخص نمایند که بردار TDOAی سیگنال تشعشعی آن نسبت به سیگنال دریافتی سایت مرجع در دو پنجره زمانی و برابر با H_{fi} و $H_{f'i+1}$ بوده‌اند. سایر بردارهای فضای H_i و H_{i+1} که دنباله معنی‌داری نتیجه نمی‌دهند، عملاً ناشی از نویز و جایگشت‌های نادرست در نظر گرفته و حذف می‌شوند. به این کار آشکارسازی هدف گفته می‌شود که نحوه انجام آن در بخش بعدی بیان می‌گردد.

۳-۲ تعقیب چندفرضیه‌ای و آشکارسازی اهداف

چنان که گفتیم زوج بردارهایی از دو فضای H_i و H_{i+1} که دارای ارتباط منطقی با یکدیگر باشند و یک دنباله معنی‌دار را تشکیل دهند،



شکل ۱: شمایی از نحوه قرارگیری فرستنده و گیرنده‌ها.

یک هدف را مشخص می‌کنند. برای یافتن این ارتباط منطقی ابتدا فرض می‌کنیم که بردار H_{fi} مربوط به هدفی باشد که در موقعیت $X_{fi}=[x_{fi}\quad y_{fi}\quad z_{fi}]^T$ واقع شده است. در این صورت اگر مکان قرارگیری گیرنده‌ها به‌صورت $X_{rec,k}=[x_{rec,k}\quad y_{rec,k}\quad z_{rec,k}]^T$ باشد، بر اساس آنچه در (۹) و شکل ۱ ملاحظه می‌شود، تأخیر زمان دریافت سیگنال ناشی از فرستنده موقعیت X_{fi} در گیرنده $X_{rec,k}$ نسبت به زمان دریافت همین سیگنال در گیرنده مرجع (گیرنده صفر) برابر است با [۹]

$$t_{kli}=\frac{\left\|X_{fi}-X_{rec,k}\right\|}{c}-\frac{\left\|X_{fi}-X_{rec,\cdot}\right\|}{c}+v_{ki}=g_{ki}(X_{fi})+v_{ki} \qquad (۹)$$

که در آن c سرعت انتشار موج در محیط و v_{ki} نیز نویز اندازه‌گیری تأخیر زمان دریافت بین گیرنده‌های kام و مرجع است. این نویز از نوع گوسی با میانگین صفر، واریانس σ_k^2 و ناهمبسته با نویز سایر گیرنده‌ها می‌باشد. علامت $\|\ \|$ نیز بیانگر عملگر نرم دوم است یعنی

$$\left\|X_{fi}-X_{rec,k}\right\| = \sqrt{(x_{fi}-x_{rec,k})^2+(y_{fi}-y_{rec,k})^2+(z_{fi}-z_{rec,k})^2} \qquad (۱۰)$$

با توجه به داشتن $K+1$، (۹) را به‌صورت برداری و با سایز K بازنویسی می‌شود

$$H_{fi}=G_i(X_{fi})+V_i \qquad (۱۱)$$

که در این معادله

$$G_i(X_{fi})=\begin{bmatrix} g_{1i}(X_{fi}) \\ g_{2i}(X_{fi}) \\ \vdots \\ g_{ki}(X_{fi}) \\ \vdots \\ g_{Ki}(X_{fi}) \end{bmatrix} \quad , \quad V_i=\begin{bmatrix} v_{1i} \\ v_{2i} \\ \vdots \\ v_{ki} \\ \vdots \\ v_{Ki} \end{bmatrix} \qquad (۱۲)$$

با استفاده از روشی که بلادی و همکاران ارائه کرده‌اند [۹]، با حل دستگاه معادلات غیر خطی (۱۱)، بردار مجهول X_{fi} که موقعیت هدف احتمالی متناظر با H_{fi} است، به‌دست می‌آید. با همین روش بردار $X_{f'i+1}=[x_{f'i+1}\quad y_{f'i+1}\quad z_{f'i+1}]^T$ که موقعیت هدف احتمالی متناظر با $H_{f'i+1}$ است نیز به‌دست می‌آید. با توجه به پیوستگی حرکت، لختی و دینامیک حرکت اهداف، هر جفت بردار X_{fi} و $X_{f'i+1}$ دارای پیوستگی، می‌توانند به‌عنوان مکان‌های هدفی واحد در دو پنجره زمانی متوالی فرض شده و لذا بردارهای H_{fi} و $H_{f'i+1}$ متناظر نیز به همان هدف نسبت داده می‌شوند. بر همین اساس برای آشکارسازی اهداف احتمالی، ابتدا تمام بردارهای فضاهای زمانی H_i و H_{i+1} با استفاده از (۱۱) به بردارهای مکانی متناظر تبدیل و لذا فضاهای مکانی X_i و X_{i+1} شامل بردارهای X_{fi} و $X_{f'i+1}$ حاصل می‌شوند. سپس هر دو بردار از فضاهای X_i و X_{i+1} که پیوستگی مکانی داشته باشند، یک هدف متناظر را مشخص می‌نمایند. برای تشخیص پیوستگی مکانی بین اعضای X_i و X_{i+1} ابتدا

Archive of SID

www.SID.ir

باید فاصله اقلیدسی میان تک‌تک بردارهای عضو X_{i+1} با تمام بردارهای عضو X_i محاسبه شده و بر این اساس ماتریس فاصله $D_{i,i+1}$ به‌صورت (۱۳) تشکیل می‌شود

$$D_{i,i+1}=\begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} \dots d_{1f} \dots d_{1q} \dots d_{1F} \\ d_{21} & d_{22} \dots d_{2f} \dots d_{2q} \dots d_{2F} \\ \vdots & \\ d_{f'1} & d_{f'2} \dots d_{f'f} \dots d_{f'q} \dots d_{f'F} \\ \vdots & \\ d_{q'1} & d_{q'2} \dots d_{q'f} \dots d_{q'q} \dots d_{q'F} \\ \vdots & \\ d_{F'1} & d_{F'2} \dots d_{F'f} \dots d_{F'q} \dots d_{F'F} \end{bmatrix} \qquad (۱۳)$$

که $q=1,2,\dots,F$ و $q'=1,2,\dots,F'$ اندیس‌هایی از نوع f و f' بوده و $d_{f'f}=\left\|X_{f'i+1}-X_{fi}\right\|$ فاصله اقلیدسی است. حال از فضای X_{i+1} برداری مانند $X_{f'i+1}$ را انتخاب می‌کنیم. سپس آن را با بردار X_{fi} از فضای X_i مقایسه می‌کنیم و به یکی از سه صورت الف تا ج طبق روند زیر عمل می‌نماییم:

الف) اگر تاکنون برای بردار X_{fi} هیچ زوجی در فضای X_{i+1} به‌دست نیامده باشد، X_{fi} را به‌عنوان زوج $X_{f'i+1}$ انتخاب کرده و تعلق این دو بردار را با قراردادن عدد یک به‌عنوان درایه $f'f$ از ماتریس تعلق که به‌صورت $[M]_{F'F}$ تعریف می‌شود، نشان می‌دهیم.

ب) در صورتی که بردار X_{fi} دارای زوجی در فضای X_{i+1} مانند $X_{q'i+1}$ بود، آنگاه اگر $X_{f'i+1}$ به X_{fi} نزدیک‌تر بود، یعنی $d_{f'f}<d_{q'f}$، آنگاه تعلق X_{fi} و $X_{q'i+1}$ را ملغی منظور نموده و X_{fi} را به $X_{f'i+1}$ متعلق می‌نماییم. این کار با صفر کردن عنصر $q'f$ و یک کردن عنصر $f'f$ از ماتریس تعلق $[M]_{F'F}$ صورت می‌پذیرد.

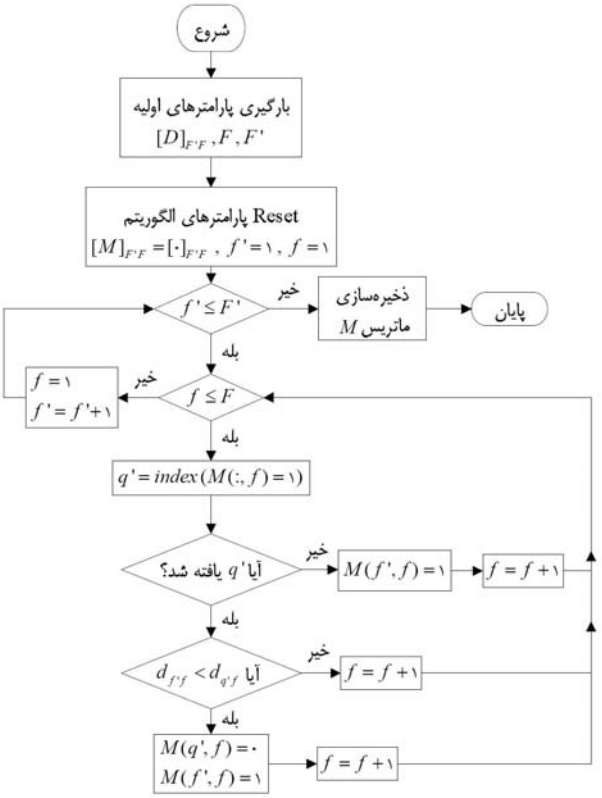
ج) در صورتی که بردار X_{fi} دارای زوجی در فضای X_{i+1} مانند $X_{q'i+1}$ بود ولی بردار $X_{q'i+1}$ به X_{fi} نزدیک‌تر بود، یعنی $d_{f'f}\geq d_{q'f}$، آنگاه تعلق بردارهای X_{fi} و X_{vi+1} حفظ می‌شود. یعنی عناصر $q'f$ و $f'f$ از ماتریس تعلق $[M]_{F'F}$ بدون هیچ تغییری به ترتیب یک و صفر می‌مانند.

روال فوق برای تمام بردارهای فضای X_{i+1} نسبت به بردارهای فضای X_i انجام شده و سرانجام بردارهایی از دو فضا که عنصر تلاقی آنها در ماتریس تعلق یک می‌ماند، تشکیل یک زوج را داده و یک هدف را در دو پنجره زمانی $i+1$ و i معین می‌کنند. روندنمای الگوریتم آشکارسازی فوق‌الذکر که نوعی از الگوریتم زوج‌یابی پایدار[1] می‌باشد، در شکل ۲ مشاهده می‌شود.

۲-۴ ردیابی اهداف

در بخش قبل نشان دادیم که چگونه می‌توان یک هدف متحرک را که در دو زمان متوالی در مکان‌های X_{fi} و $X_{f'i+1}$ مشاهده شده است، آشکار نمود. در این بخش اهدافی که به طریق فوق یافته شده‌اند را ردیابی کرده و برای هر کدام یک منحنی مسیر به‌دست می‌آوریم. فرض کنید که در مرحله آشکارسازی، تعداد w هدف آشکارسازی شده باشد که مکان آنها در پنجره‌های زمانی i و $i+1$ به‌صورت زیرمجموعه‌های θ_i

1. Stable Marriage Matching



شکل ۲: روندنمای الگوریتم زوج‌یابی پایدار.

و θ_{i+1} بیان شوند

$$\begin{aligned}\theta_i&=\{X_{\eta i}\ ,\ \eta=1,2,\dots,w\}\\ \theta_{i+1}&=\{X_{\eta i+1}\ ,\ \eta=1,2,\dots,w\}\end{aligned} \qquad (۱۴)$$

مشاهدات $X_{f''i+2}$ که مربوط به پنجره زمانی $i+2$ هستند نیز فضای X_{i+2} را تشکیل می‌دهند. برای هر یک هدف η عضو θ_{i+1} (مثلاً $X_{\eta i+1}$)، ردیابی عبارتست از یافتن یک $X_{f''i+2}$ از فضای X_{i+2} به‌گونه‌ای که طبق معادلات دینامیکی حرکت، $X_{f''i+2}$ را بتوان مکان هدف η در پنجره زمانی $i+2$ محسوب کرد. در این صورت به دنباله‌ای که توسط مکان‌های هدف در پنجره‌های زمانی متوالی تشکیل می‌شود، یک رد گفته می‌شود. این کار در هر پنجره زمانی و برای همه اهداف انجام می‌شود که به آن به‌روز کردن[2] رد گفته می‌شود.

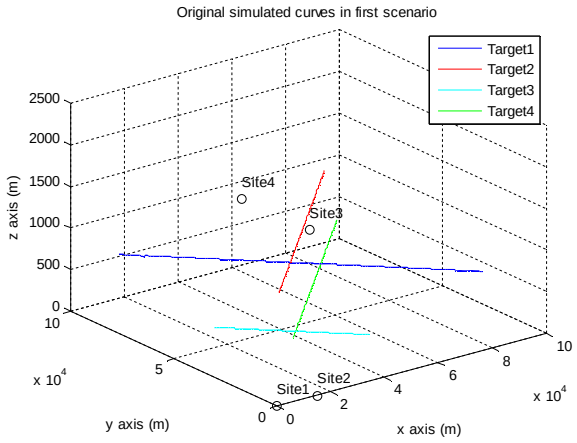
در این تحقیق برای تشکیل و به‌روز کردن رد هر هدف η از فیلتر کالمن $\psi_{\eta i+1}$ به‌عنوان مدل ریاضی رد مزبور استفاده شده است. در فرآیند ردیابی برای هر فیلتر $\psi_{\eta i+1}$ در مواجهه با فضای X_{i+2} به یکی از حالات زیر عمل می‌کنیم:

الف) اگر یکی از مشاهدات فضای X_{i+2} مانند $X_{f''i+2}$ در فیلتر $\psi_{\eta i+1}$ صدق کرد، مکان مشخص‌شده توسط $X_{f''i+2}$ را به‌عنوان موقعیت هدف η در لحظه $i+2$ منظور و فیلتر را با استفاده از آن به‌صورت $\psi_{\eta i+2}$ به‌روز می‌کنیم. اگر تعداد دفعات به روز شدن یک رد از آستانه معینی بیشتر شد، آن رد به‌عنوان یک رد تأییدشده گزارش می‌شود.

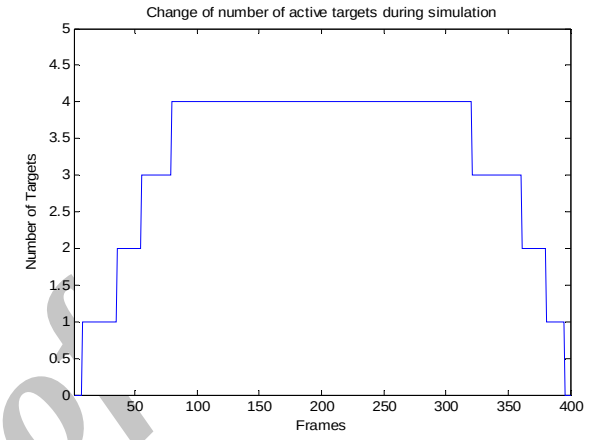
ب) اگر هیچ مشاهده‌ای از فضای X_{i+2} در فیلتر $\psi_{\eta i+1}$ صدق نکرد، مکان هدف در لحظه $i+2$ به‌صورت $\hat{X}_{f''i+2}$ تخمین زده شده و فیلتر با استفاده از آن به‌صورت $\psi_{\eta i+2}$ به‌روز می‌شود. ضمناً این

2. Update

Archive of SID
www.SID.ir



(الف)



(ب)

شکل ۳: (الف) نمایش ردها در سناریوی اول شبیه‌سازی و (ب) نمایش نحوه تغییر تعداد اهداف طی شبیه‌سازی.

حالت را به‌عنوان گم‌شدن هدف محسوب می‌کنیم. اگر تعداد دفعات متوالی گم‌شدن یک هدف از آستانه مشخصی بیشتر شود، از فرآیند ردیابی حذف می‌گردد.

ج) مشاهداتی از فضای $X_{i+۲}$ که در بند الف به هیچ ردی الحاق نشده‌اند، به‌عنوان ورودی به بلوک آشکاری سازی داده شده و فرآیند تشریح‌شده در بخش ۲-۳ به‌منظور یافت اهداف احتمالی جدید بر آنها اعمال می‌گردد.

د) اگر طول یک رد تأییدشده پس از مدتی ثابت بماند، آن رد به‌عنوان یک رد کامل ذخیره شده و دیگر در فرآیند به روز سازی مرحله الف شرکت داده نمی‌شود.

۳- پیاده‌سازی و آزمون روش پیشنهادی

۳-۱ نحوه پیاده‌سازی روش پیشنهادی

روش پیشنهادی با بسته نرم‌افزاری MATLAB ۲۰۰۹ پیاده‌سازی شد. نرم‌افزار پیاده‌سازی شده شامل سه بخش اساسی و مجزا می‌باشد. بخش اول مربوط به شبیه‌سازی اهداف بوده و شامل مواردی مانند تعداد اهداف فعال در هر لحظه، مکان و نوع حرکت اهداف و زمان‌های شروع و خاتمه حرکت هر هدف می‌باشد. بخش دوم مربوط به شبیه‌سازی گیرنده‌ها است که شامل محل قرارگیری آنها، محاسبه اختلاف تأخیر سیگنال هر هدف در گیرنده‌های مختلف و اعمال نویز اندازه‌گیری در آن، گم‌شدن هر هدف در زمان‌های دلخواه و نظایر آن می‌باشد. سرانجام در بخش سوم و اصلی نرم‌افزار، الگوریتم تشریح‌شده در بخش ۲ بر روی

جدول ۱: سناریوی شبیه‌سازی مرحله اول.

ردیف	ویژگی	مقدار
۱	نوع حرکت اهداف	خطی
۲	بیشینه اهداف هم‌زمان	۴ هدف
۳	سرعت هدف در سه محور (متر بر فریم)	۲۰۰-، ۲۰۰، ۰ ۲۰۰-، ۲۰۰-، ۰ ۱۰۰، ۱۰۰-، ۰ ۳۰۰-، ۳۰۰-، ۰
۴	تعداد فریم شبیه‌سازی	۴۰۰
۵	بیشینه نویز مشاهده (نانوثانیه)	۱۰
۶	درصد مشاهدات گم‌شده	هدف ۱: ۱۰٪ هدف ۲: ۱۰٪ هدف ۳: ۱۰٪ هدف ۴: ۱۰٪

TDOA های شبیه‌سازی شده، اجرا و اهداف آشکارسازی و ردیابی می‌شوند. سرانجام در این بخش ردهای به‌دست آمده با ردهای اصلی اهداف شبیه‌سازی مقایسه می‌شوند و درصدی برای صحت عملکرد الگوریتم پیشنهادی این تحقیق در حالات مختلف شبیه‌سازی به‌دست می‌آید. برای بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی سناریوهای مختلفی شبیه‌سازی شدند. به‌منظور صحت‌سنجی نتایج حاصل از روش پیشنهادی، از میان روش‌های موجود روش SDA[1] [۱۲] به‌منظور مقایسه با الگوریتم پیشنهادی این مقاله انتخاب شده و بدین ترتیب نتایج در همه سناریوهای شبیه‌سازی، هم برای الگوریتم پیشنهادی این مقاله و هم برای روش مزبور حاصل گردیدند. بدین ترتیب امکان مقایسه و بررسی بهتر عملکرد روش پیشنهادی با روش‌های موجود فراهم گردید.

۳-۲ سناریوی اول شبیه‌سازی

در اولین سناریو اهداف متعددی با منحنی حرکت خطی شبیه‌سازی شدند. منحنی حرکت سه‌بعدی این اهداف در شکل ۳-الف ملاحظه می‌شود. برای این که امکان مقایسه نتایج در حالات مختلف وجود داشته باشد، در تمام سناریوها مکان گیرنده‌های سیگنال نیز ثابت است که روی همین شکل مشخص شده‌اند. در این حالت تعداد اهداف در طول شبیه‌سازی متغیر است که نحوه تغییر تعداد آنها در شکل ۳-ب آمده است. جدول ۱ سناریوی شبیه‌سازی را برای اهداف خطی نشان می‌دهد.

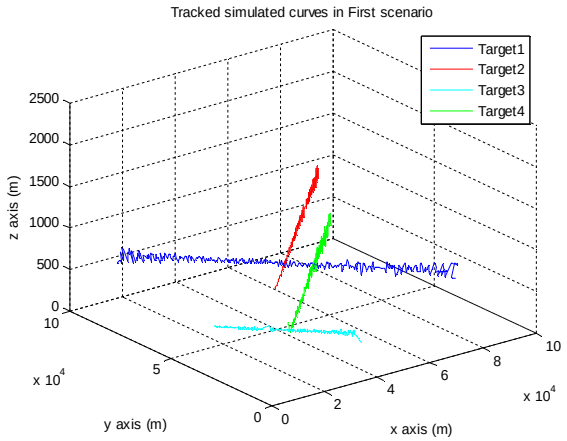
مطابق جدول ۱ برای این که شبیه‌سازی‌ها به واقعیت نزدیک باشند، نویز مشاهده به TDOA ها اضافه می‌شود. همچنین در هر سناریو درصد مشخصی از TDOA ها با نویزی بیش از نویز مشاهده آلوده می‌شوند که این مشاهدات اصطلاحاً گم‌شده نامیده می‌شوند. با توجه به مراحل ب و د از الگوریتم ردیابی بخش ۲-۴، عملکرد ردیاب به تعداد مشاهدات متوالی گم‌شده حساسیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. بر این اساس یک چهارم از کل مشاهدات گم‌شده هر هدف به مشاهدات گم‌شده متوالی اختصاص یافت. در شکل ۴ منحنی سه‌بعدی اهداف یافت‌شده توسط نرم‌افزار مبتنی بر روش این مقاله ملاحظه می‌شود. شکل‌های ۵ نیز منحنی خطای ردیابی را برای هر چهار هدف مزبور در سه بعد مختصاتی نشان می‌دهند.

۳-۳ سناریوی دوم شبیه‌سازی

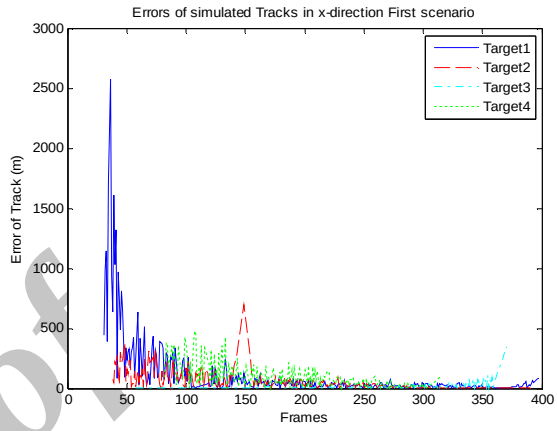
در سناریوی دوم، چهار هدف شبیه‌سازی شدند که دو مورد از آنها

1. SD Association

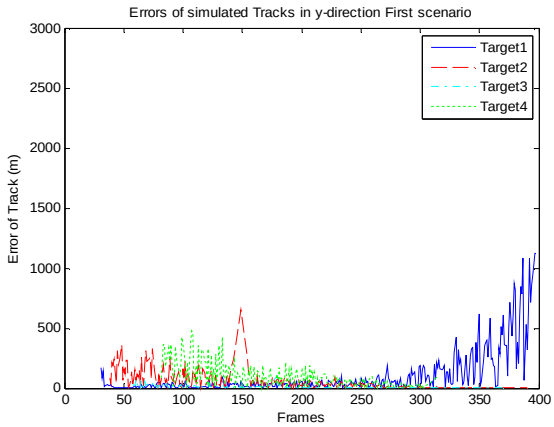
Archive of SID
www.SID.ir



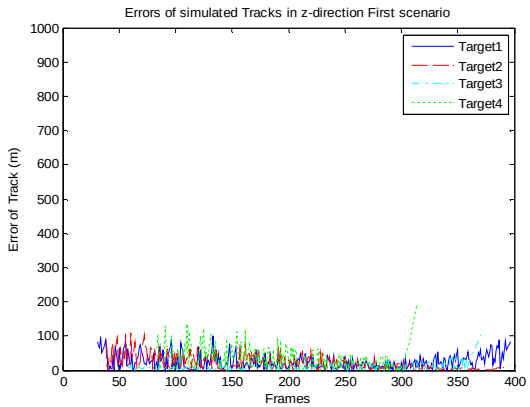
شکل ۴: ردهای یافت‌شده با روش پیشنهادی در سناریوی اول.



(الف)

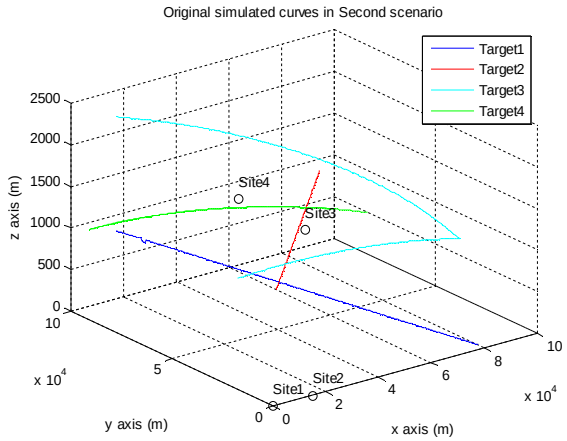


(ب)



(ج)

شکل ۵: خطای ردیابی در سناریوی اول در راستای (الف) x، (ب) y و (ج) z.



شکل ۶: نمایش ردها در سناریوی دوم شبیه‌سازی.

جدول ۲: سناریوی شبیه‌سازی مرحله دوم.

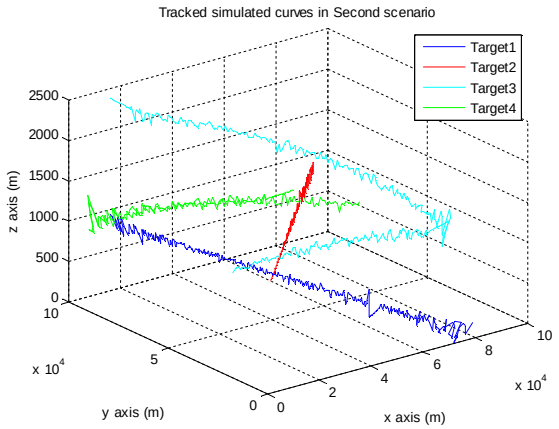
ردیف	ویژگی			مقدار
۱	نوع حرکت اهداف			اهداف ۱ و ۲: خطی اهداف ۳ و ۴: غیر خطی
۲	ماکزیمم اهداف			۴ هدف
۳	محدوده سرعت هدف به‌ترتیب در راستای سه محور کارتزین (متر بر فریم)	هدف ۱	کمینه	۲۰۰-، ۲۰۰، ۳
			بیشینه	۲۰۰-، ۲۰۰، ۳
		هدف ۲	کمینه	۲۰۰-، ۲۰۰-، ۰
			بیشینه	۲۰۰-، ۲۰۰-، ۰
		هدف ۳	کمینه	۶۰۰-، ۴۰۰-، ۷
			بیشینه	۶۰۰، ۶۰۰، ۷
		هدف ۴	کمینه	۶۰۰-، ۴۰۰-، ۰
			بیشینه	۶۰۰، ۶۰۰، ۰
۴	تعداد فریم شبیه‌سازی			۴۰۰
۵	بیشینه نویز (نانوثانیه)			۱۰
۶	درصد کل مشاهده‌های گم‌شده			۱۰٪
				۱۰٪
				۱۰٪
				۱۰٪

دارای حرکت خطی و دو هدف دیگر مدل حرکتی غیر خطی داشتند. منحنی حرکت سه‌بعدی این اهداف در شکل ۶ ملاحظه می‌شود. مکان گیرنده‌ها نیز همانند سناریوی قبلی است و روی شکل ۶ نشان داده شده است. تعداد اهداف در این سناریو نیز متغیر و همانند شکل ۳-ب از سناریوی اول می‌باشد. جدول ۲ شرایط شبیه‌سازی در این سناریو را نشان می‌دهد. در اینجا نیز مانند سناریوی اول یک چهارم از کل مشاهدات گم‌شده هر هدف به مشاهدات گم‌شده متوالی اختصاص دارد. در شکل ۷ منحنی اهداف حاصله و در شکل‌های ۸ خطای ردیابی اهداف در سه بعد ملاحظه می‌شوند.

۴- بررسی نتایج حاصل از آزمون

دو نوع اساسی از اهداف با نحوه حرکت خطی با سرعت ثابت و غیر خطی با سرعت متغیر در شبیه‌سازی‌ها به‌طور جداگانه بررسی شدند. در هر نوع حرکت نیز به‌طور بیشینه چهار هدف به‌طور همزمان ظاهر شده‌اند. نحوه حرکت نسبی این اهداف، هم شامل مسیر حرکت موازی (مانند اهداف ۱ و ۳ در سناریوی اول) و هم مسیر حرکت متقاطع (مانند اهداف ۱ و ۲ در سناریوی دوم) و هم حرکت با تغییر جهت (مانند هدف ۳

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۷: ردهای حاصل با روش پیشنهادی در سناریوی دوم.

جدول ۳: خطای ردیابی در سناریوی اول با روش پیشنهادی.

نام هدف	جذر میانگین مربعات خطای ردیابی در سه محور (متر)
هدف ۱	۳۴، ۲۱۹، ۲۶۶
هدف ۲	۳۰، ۱۰۶، ۱۱۱
هدف ۳	۱۷، ۱۵، ۴۵
هدف ۴	۵۱، ۱۳۸، ۱۴۰

جدول ۴: خطای ردیابی در سناریوی اول با روش SDA.

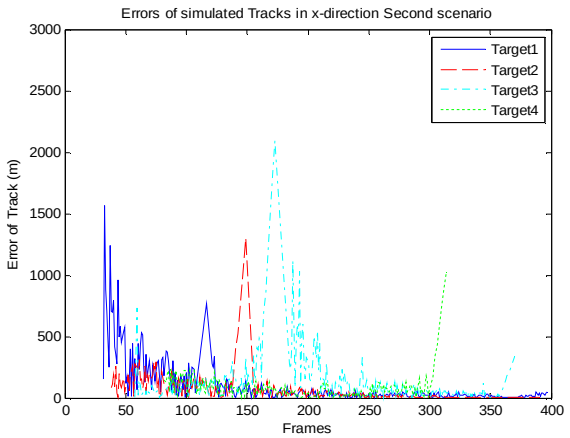
نام هدف	جذر میانگین مربعات خطای ردیابی در سه محور (متر)
هدف ۱	۴۵، ۲۹۷، ۳۴۱
هدف ۲	۳۹، ۱۹۸، ۱۵۷
هدف ۳	۲۶، ۵۹، ۸۸
هدف ۴	۶۰، ۲۰۶، ۲۱۱

در سناریوی دوم) بوده‌اند. نتایج حاکی از این هستند که روش پیشنهادی این مقاله تمام این اهداف را در شرایط مختلف آشکارسازی و ردیابی می‌نماید. برای بررسی نتایج، خطای ردهای به‌دست آمده را نسبت به ردهای اصلی شبیه‌سازی به‌دست می‌آوریم. به‌عنوان معیار خطا نیز از جذر میانگین مربعات خطا[1] استفاده می‌نماییم. در جدول ۳ خطای به‌دست آمده با معیار فوق، بر حسب متر برای هر هدف از سناریوی اول در جهات مختلف کارتزین نشان داده شده است. جدول ۴ نیز خطای حاصله برای همین اهداف را با استفاده از روش SDA نشان می‌دهد.

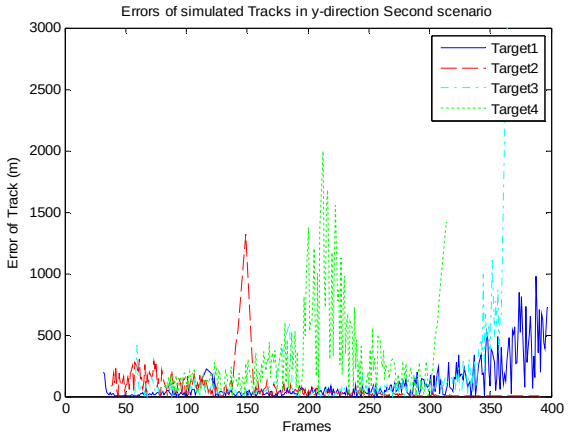
بررسی مقادیر ذکرشده در جدول اخیر به همراه شرایط این سناریو که در جدول ۱ آمده‌اند، نشان می‌دهند که حتی در شرایطی که تا ۱۰ نانوثانیه نویز اندازه‌گیری داشته باشیم، اهداف خطی سرعت ثابت با خطای مؤثر حداکثر ۲۶۶ متر در سه جهت دکارتی قابل ردیابی هستند که این خطا برای ارتفاع اهداف فوق حداکثر به ۵۱ متر می‌رسد. کمتربودن خطای ارتفاع به علت محدودتر بودن حرکت اهداف در این بعد نسبت به دو بعد دیگر است.

همچنین مقایسه جدول‌های ۳ و ۴ حاکی از دقت بهتر روش پیشنهادی این مقاله در ردیابی اهداف نسبت به روش SDA می‌باشد. چنان که ملاحظه می‌شود نتایج روش پیشنهادی این مقاله برای اهداف چهارگانه سناریوی اول و به‌ترتیب در سه جهت مختصاتی حداکثر ۴۸، ۷۴ و ۳۵ درصد و حداقل ۲۲، ۲۶ و ۱۵ درصد بهبود را نسبت به نتایج ذکرشده برای SDA نشان می‌دهند.

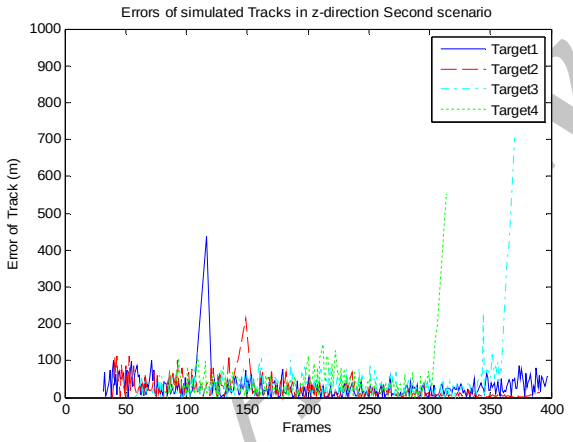
1. Root Mean Square Error



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۸: خطای ردیابی در سناریوی دوم در راستای (الف) x، (ب) y و (ج) z.

در سناریوی دوم، اهداف غیر خطی با سرعت متغیر در نظر گرفته شده‌اند و در جدول ۵ خطای ردیابی اهداف این سناریو با معیار جذر میانگین مربعات خطا به واحد متر نشان داده شده است. جدول ۶ نیز خطای حاصله برای همین اهداف را با استفاده از روش SDA نشان می‌دهد.

نتایج اخیر و شکل ۷ نشان می‌دهند که روش این مقاله اهداف غیر خطی و با سرعت متغیر را نیز با وضعیتی مشابه اهداف خطی ردیابی می‌کند.

مشابه سناریوی قبلی مقایسه دو جدول اخیر حاکی از دقت بهتر روش پیشنهادی این مقاله در ردیابی اهداف سناریوی دوم نسبت به روش موسوم به SDA می‌باشد. بر این اساس، نتایج روش پیشنهادی این مقاله

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵: خطای ردیابی در سناریوی دوم با روش پیشنهادی.

نام هدف	جذر میانگین مربعات خطای ردیابی در سه محور
هدف ۱	۲۱۲، ۱۸۵، ۵۷
هدف ۲	۱۶۵، ۱۶۷، ۳۹
هدف ۳	۳۲۷، ۷۷۳، ۹۶
هدف ۴	۱۷۸، ۴۸۶، ۸۹

جدول ۶: خطای ردیابی در سناریوی دوم با روش SDA.

نام هدف	جذر میانگین مربعات خطای ردیابی در سه محور
هدف ۱	۲۸۶، ۲۲۸، ۶۶
هدف ۲	۲۰۱، ۱۹۹، ۴۴
هدف ۳	۴۴۳، ۹۶۱، ۱۱۱
هدف ۴	۲۳۸، ۶۲۶، ۱۰۱

جدول ۷: مقایسه سرعت عملکرد روش پیشنهادی و SDA.

روش	سرعت اجرا (ثانیه)
روش پیشنهادی این مقاله	۱۸۹٫۸۸
روش SDA	۱۹۳٫۲۳

برای اهداف چهارگانه سناریوی اول و به‌ترتیب در سه جهت مختصاتی حداکثر ۲۶، ۲۲ و ۱۳ درصد و حداقل ۱۸، ۱۲ و ۱۱ درصد بهبود را نسبت به نتایج مربوط به SDA نشان می‌دهند.

علاوه بر دقت حاصل از روش پیشنهادی پارامتر دیگری که در مقایسه آن با سایر روش‌ها می‌تواند مؤثر باشد، سرعت اجرای آن است. مقایسه متوسط سرعت اجرای نرم‌افزار مبتنی بر روش پیشنهادی و روش SDA در جدول ۷ انجام پذیرفته است.

بر این اساس ملاحظه می‌شود که متوسط سرعت اجرای روش پیشنهادی این مقاله نسبت به مقدار مشابه برای الگوریتم SDA تفاوتی به میزان یک درصد را نشان می‌دهد که نشانگر آن است که علی‌رغم بهبود قابل ملاحظه در دقت روش پیشنهادی (مطابق آنچه در مقایسه جدول‌های ۳ و ۵ با ۴ و ۶ دیدیم)، این بهبود به کاهش سرعت و میزان بر خط بودن الگوریتم منجر نگردیده است. نکته قابل ذکر دیگر از نتایج این سناریو آن است که در این حالت خطای مؤثر حداکثر ۷۷۳ متر را در سه جهت دکارتی داشته‌ایم که این خطا برای ارتفاع اهداف فوق حداکثر به ۹۶ متر می‌رسد. بر اساس جدول ۲ باید توجه داشت که مقادیر اخیر با نویز مشاهده‌ای برابر با سناریوی اول حاصل شده‌اند که بر این اساس مقایسه دو جدول ۳ و ۵ حاکی از آن است که ردیابی اهداف غیر خطی نسبت به نویز حساسیت بیشتری دارد. به‌گونه‌ای که بیشینه خطا در سناریوی دوم تقریباً ۲٫۹ برابر سناریوی اول است. حتی بیشینه خطای ارتفاع نیز در سناریوی دوم تقریباً ۱٫۹ برابر سناریوی اول است. نکته قابل ذکر دیگر در این جدول‌ها آن است که خطاهای اهداف خطی (اهداف ۱ و ۲) در سناریوهای اول و دوم اختلاف معنی‌داری را نشان نمی‌دهند، در حالی که برای اهداف غیر خطی (اهداف ۳ و ۴ سناریوی دوم) کلیه خطاها به نحو قابل ملاحظه‌ای نسبت به سایر اهداف بیشتر هستند. این خطاها در هدف سوم از سناریوی دوم و در هر سه بعد دکارتی، به‌طرز چشم‌گیری به بیشینه خود می‌رسند که با توجه به شکل ۶ علت این موضوع علاوه بر حرکت غیر خطی این هدف با توجه به تغییر جهت ناگهانی آن توجیه می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی جدید برای تفکیک و ردیابی اهداف متحرک با تعداد نامشخص و متغیر ارائه شد. در این روش ابتدا سیگنال‌های یک محیط توسط گیرنده‌هایی که در مکان‌های مشخصی مستقر شده‌اند، دریافت شد. در گام بعدی یکی از گیرنده‌ها به‌عنوان مرجع انتخاب شده و کوریلیشن متقاطع میان سیگنال‌های سایر گیرنده‌ها و سیگنال گیرنده مرجع محاسبه گردید. بدین ترتیب تأخیرهای سیگنال‌های دریافتی نسبت به مرجع به‌دست آمد. برای آشکارسازی اهداف یک روش دومرحله‌ای ارائه شد که در مرحله نخست آن یک روش بهینه‌سازی موسوم به الگوریتم زوج‌یابی پایدار اهداف احتمالی را از فضای برداری تشکیل‌شده از تأخیرها استخراج کرده و در مرحله دوم با تشکیل یک مدل متغیر با زمان هر هدف احتمالی در طی چند فریم متوالی تأیید و یا حذف گردید. در نهایت هر هدف تأییدشده به کمک فیلترینگ کالمن ردیابی شد. به‌منظور آزمودن این روش دو سناریوی مختلف شبیه‌سازی شدند. در سناریوی اول تعداد متغیری از اهداف با حرکت خطی و مسیرهای موازی و متقاطع شبیه‌سازی شدند. حداکثر نویز مشاهده قابل تحمل در این آزمون برابر با ۱۰ نانوثانیه بوده و ۱۰ درصد از مشاهدات گم‌شده فرض شدند که یک چهارم آنها متوالی بوده‌اند. نتایج حاصل از این آزمون حاکی از آن بودند که روش پیشنهادی این مقاله می‌تواند اهداف خطی را با خطای اندازه‌گیری حداکثر ۲۶۶ متر آشکار و ردیابی نماید. این در حالی است که خطای حداکثر برای روش SDA که یکی از روش‌های موجود برای ردیابی است، برابر با ۳۴۱ متر می‌باشد که بدین ترتیب روش پیشنهادی بهبود ۲۲ درصدی را در حداکثر خطای حاصله نشان می‌دهد. در سناریوی دیگری عملکرد روش این مقاله در تفکیک اهداف با حرکت غیر خطی و دارای تغییر جهت نیز آزموده شد. نتایج نشان دادند که دقت ردیابی اهداف اخیر حساسیت بیشتری نسبت به نویز مشاهده دارد به‌گونه‌ای که در ردیابی این قبیل اهداف با نویزی مشابه حالت قبل و با لحاظ‌نمودن همان تعداد مشاهده گم‌شده، به حداکثر خطای ۷۷۳ متر رسیدیم. در همین سناریو خطای حداکثر برای روش SDA برابر با ۹۶۱ متر می‌باشد که برتری ۱۹٫۵ درصدی نتایج روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. خطای اندازه‌گیری ارتفاع در هر دو سناریو برای روش پیشنهادی این مقاله کمتر از ۱۰۰ متر بوده است. همچنین مقایسه سرعت اجرای الگوریتم این مقاله و روش SDA نشان داد که بهبود ایجادشده در دقت رهگیری و ردیابی توسط روش این مقاله منجر به کاهش سرعت بر خط بودن نگردیده و این الگوریتم دارای قابلیت به‌کارگیری عملی نیز می‌باشد.

نتایج حاصل از بررسی روش پیشنهادی حاکی از آن هستند که این روش اگرچه قابلیت تفکیک و ردیابی اهداف با مسیرهای حرکتی متنوع در محیط‌های واقعی را داراست، ولی برای اهداف با حرکت غیر خطی و دارای تغییر مسیر ناگهانی، میزان خطای ردیابی نسبت به اهداف خطی ۲٫۹ برابر و خطای اندازه‌گیری ارتفاع تا ۱٫۹ برابر افزایش می‌یابند. بر این اساس، توسعه الگوریتم پیشنهادی برای ردیابی اهداف دارای مانور می‌تواند به‌عنوان موضوعی برای تحقیقات آتی در نظر گرفته شود.

مراجع

[1] N. Ikoma, O. Tokunaga, H. Kawano, and H. Maeda, "Tracking 3D sound source location by particle filter with TDOA and signal power ratio," in *Proc. ICROS-SICE., Int. Joint Conf.*, vol. 7, pp. 1374-1377, Fukuoka, Japan, 18-21 Aug. 2009.

[2] H. Li, J. Wang, and Y. Liu, "Passive coherent radar tracking algorithm based on particle filter and multiple TDOA

Archive of SID

www.SID.ir

measurements," in *Proc. 2nd Int. Congress on Image and Signal Processing*, 4 pp., Tianjin, China, 17-19 Oct. 2009.
[3] J. F. Bull, "Wireless geolocation," *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 4, no. 4, pp. 45-53, Dec. 2009.
[4] S. Camlica and Y. Tanik, "Recursive geolocation with time differences of arrival," in *Proc. 17th IEEE. Conf. on Signal Processing and Communications Applications*, vol. 6, pp. 888-891, Antalya, Turkey, 11 Apr. 2009.
[5] T. S. Rappaport, J. H. Reed, and B. D. Woerner, "Position location using wireless communications on highways of the future," *IEEE Communications Magazine*, vol. 34, no. 10, pp. 33-41, Oct. 1996.
[6] H. Mir and J. Sahr, "Passive direction finding using airborne vector sensors in the presence of manifold perturbations," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 55, no. 1, pp. 156-164, Jan. 2007.
[7] D. Musicki, R. Kaune, and W. Koch, "Mobile emitter geolocation and tracking using TDOA and FDOA measurements," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 58, no. 3, pp. 1863-1874, Mar. 2010.
[8] D. Kaplan, *Understanding GPS Principles*, Artech House Pub. Co., Boston, 1996.
[9] S. Beladi and P. Pathirana, "TDOA based emitter localization with minimum number of receivers and power measurement," in *Proc. 10th Int. Conf. on Control, Automation Robotics and vision*, vol. 7, pp. 1259-1264, Honoi, Vietnam, 17-20 Dec. 2008.
[10] N. Okello, "Emitter geolocation with multiple UAVs," in *Proc. 9th Int. Conf. on Information Fusion*, 8 pp., *Florence, Italy*, 10-13 Jul. 2006.
[11] A. Urruela, J. Sala, and J. Riba, "Average performance analysis of circular and hyperbolic geolocation," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 55, no. 1, pp. 52-66, Jan. 2006.
[12] T. Sathyan, A. Sinha, and T. Kirubarajan, "Passive geolocation and tracking of an unknown number of emitters," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 42, no. 2, pp. 740-749, Apr. 2006.
[13] W. Pan, J. Wu, Z. Jiang, and Y. Wang, "Mobile position tracking by TDOA-Doppler hybrid estimation in mobile cellular system," in *Proc. 7th IEEE Int. Conf. on Communications*, vol. 8, pp. 4670-4673, Glasgow, Scotland, 24-28 Jun. 2007.
[14] Y. Cao and J. Fang, "Constrained kalman filter for localization and tracking based on TDOA and DOA measurements," in *Proc. Int. Conf. on Signal Processing Systems*, vol. 1, pp. 28-33, Singapore, Singapore, 15-17 May 2009.
[15] Y. Bar-Shalom, "Multi-sensor multi-target time delay vector estimation," *IEEE Trans. on Acoustic Speech and Signal Processing*, vol. 34, no. 4, pp. 669-678, Aug. 1986.
[16] M. Wax and T. Kailath, "Optimum localization of multiple sources by passive arrays," *IEEE Trans. on Acoustic Speech and Signal Processing*, vol. 31, no. 5, pp. 1210-1217, Oct. 1983.

سیدوهاب شجاع‌الدینی تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی مهندسی مخابرات در سال۱۳۷۷ در دانشگاه صنعتی امیرکبیر و در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری مهندسی بیوالکتریک به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۵ در دانشگاه تربیت مدرس به پایان رسانده است. وی هم‌اکنون استادیار گروه مخابرات و فنّاوری‌های فضایی پژوهشکده مهندسی برق و فنّاوری اطلاعات سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران می‌باشد. نام‌برده قبل از پیوستن به سازمان پژوهش‌های علمی وصنعتی ایران با تعدادی از مراکز تحقیقاتی و صنعتی از جمله پژوهشکده فنّاوری اطلاعات دانشگاه تربیت مدرس و سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران همکاری داشته است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: پردازش سیگنال و تصویر، فرآیندهای تصادفی، تئوری آشکارسازی، محاسبات نرم و کاربردهای آن، بازشناسی الگو و فیلترهای وفقی.

رحمان کبیری تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی مخابرات به ترتیب در دانشگاه علم و صنعت ایران و دانشکده فنی دانشگاه تهران به پایان رساند. زمینه های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: پردازش سیگنال و تئوری آشکارسازی.

Archive of SID

www.SID.ir