طراحی الگوریتم های کارآمد برای ردگیری چند هدفی

محمّد حسن باستانی
استاد یار
دانشکده مهندسی برق ، دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

در سیستم های مراقبت امروزی، عواملی همچون پیشرفت های سنسوری (افزایش و تنوع بیش از حد مشاهدات سنسورها)، محدودیت های سخت افزار در تأمین نیازهای پردازشی، محیط های جدی عملیات، اقدامات مؤثر ضد سنجشی (جنگ الکترونیک) و سناریوهای تهدیدی پیچیده، ابداع و بکارگیری الگوریتم های پیشرفته و کارای ردگیری را اجتناب ناپذیر کرده است. الگوریتم هایی که نسبت به منابع پردازشی مورد نیاز، راندمان مطلوبی داشته باشند. در شرایط کنونی، توانایی ردگیری اهداف با قابلیت ضعیف مشاهده، در حضور سطح بالایی از مشاهدات ناشی از کلاتر و سیگنال های کاذب، و نیز ردگیری اهداف نزدیک به هم یا در مسیرهای متقاطع، نیازمند توجه ویژه است.

در این مقاله، الگوریتم های ردگیری قابل پیاده سازی و در عین حال کارا و قابل تطبیق به کاربردهای گوناگون، پیشنهاد شده است و یکی از الگوریتم ها برای کاربرد اهداف هوایی شبیه سازی گردیده است.

Design of Efficient Algorithms for Multitarget Tracking

M. H. Bastani
Assistant Professor
Electrical Engineering Department, Sharif Technology University

Abstract

In modern surveillane systems, implementing of advanced and effective tracking algorithms are unavoidable because of the presence of the factors such as utilizing advanced sensors (with increasing types and varieties of measurements), hardware constraint in satisfying processing needs, restricted operational environments, efficient electronic countermeasures (ECM), and complex threat scenarios; the algorithms which have efficient perfomance subject to the available processing sources.

In current situation, necessity of dim target tracking in presence of excessive clutter or false alarm measurements and also tracking of closely spaced or crossing targets need special attention.

In this paper several feasible, adaptable to different applications and efficient algorithms are presented, and appropriate to airborne target tracking has been simulated.

Keywords
Tracking, Data association, Estimation, Surveillance Systems, Data processing , Manoeuvre, Tracking management.

کلمات کلیدی

ردگیری ـ تخصیص داده ها ـ تخمین ـ سیستم های مراقبت ـ پردازش اطلاعات ـ مانور ـ مدیریت ردگیری.

مقدمه

هدف از هر سیستم ردگیری، آشکارسازی تعداد ناشناخته ای از اهداف حوزه مراقبت و تهیه تخمین هایی از حالت آنها (موقعیت ـ سرعت ـ شتاب) با استفاده از سنجش های سنسوری ـ احتمالاً با مبدأ ناشناخته و آغشته به نویز ـ می باشد. امروزه در سنسورهای مدرن، کامپیوترها به طور پیوسته با همبسته نمودن زمانی مشاهدات دریافتی در اسکن (فریم) های مختلف، قادرند مشخصات جنبشی (و احتمالاً پارامترهای هویت) صدها هدف را همزمان استخراج نمایند. به طور کلی باید گفت ردگیری یک هدف در محیط هایی با تعداد کم مشاهده، چندان مشکل نیست، ولی ردگیری تعدادی هدف در محیط های شلوغ و پرکلاتر، به خصوص در هنگامی که احتمال مانور اهداف وجود دارد، کار بسیار پیچیده ای است.

گرچه در سال های اخیر، توجه زیادی به تحقیقات در مورد ردگیری اهداف در شرایط پیچیده مذکور معطوف شده است و برای هر یک از موارد، راه حل های قابل قبولی وجود دارد، ولی هنگامی که همه موارد مدنظر باشد، فعلاً راه حل ها چندان بالغ و کامل نیستند و همه تکنیک های متداول به تقریب ها و ابتکارات تکیه دارند.

ردگیری علاوه بر بی دقتی ذاتی سنجش ها، با عدم قطعیت ناشی از شناسایی مبدأ سنجش ها نیز مواجه است. بنابر این ردگیری شامل دو فرآیند اصلی، یعنی تخصیص داده ها [۱] و فیلتر نمودن[۲] می باشد. تخصیص داده ها درگیر این مسئله است که کدام مشاهده با کدام سنجش یا ردگیری از اسکن (فریم) پیشین اطلاعات همبستگی دارد و فیلتر نمودن نیز تخمین بهنگام شده ای از حالت هدف (و احتمالاً اطلاعات اضافی) تهیه می کند. معمولاً ورودی فیلترها، مشاهدات جاری و یکسری زمانی از مشاهدات یا ردگیری های پیشین می باشد.

از نیمه دوم دهه ۸۰ تاکنون، روش های تخصیص داده ها و ردگیری، رشد فراگیری داشته اند. در صورت وجود جمعیت متراکمی از مشاهدات، روش های بهینه ردگیری یک یا چند هدف، نیازمند شمارش و بررسی همه فرضیات دائماً رشدیابنده می باشند. واضح است که ردگیری n هدف اساساً می تواند بسیار مشکلتر از n مرتبه تلاش برای ردگیری یک هدف واحد باشد. تحت چنین شرایطی، ردگیری بهینه عملی نیست، زیرا نیازمند محاسبات و حافظه پردازشی بسیار زیادی می باشد. در نتیجه، یک پژوهش دائمی برای یافتن روش های غیر بهینه ولی کارا که به سهولت به نیازمندیهای هر کاربردی تطبیق گردند، در جریان است. با درک این نیاز، در این مقاله یک الگوریتم ردگیری کارآمد برای محیط های چند هدفی، در حضور کلاتر، ارائه شده است. الگوریتم های ویژه ای که در این پردازش مطرح می گردند، عبارتند از (بلوک دیاگرم ضمیمه):

۱ ـ تکنیک انتقال سیستم مختصات که انتقال آشکارسازی های مختلف به یک دستگاه مرجع را ممکن می کنند.

۲ ـ الگوریتم های تشکیل ردگیری، سنجش های همبسته نشده قبلی را به منظور تشکیل ردگیری های جدید همبسته می کنند.

۳ ـ الگوریتم های تخصیص مشاهدات به ردگیری های موجود، که قابلیت بهنگام نمودن تخمین حالت این ردگیری ها را ایجاد می کنند.

۴ ـ تشکیل پنجره[۳] برای حذف تخصیص های غیر لازم.

۵ ـ الگوریتم های فیلتر نمودن ردگیری که برای کاهش خطاهای تخمین و سنجش استفاده می شود. در این مقاله فرض بر آن بوده که از فیلتر کالمن (یا معادل ریاضی آن) استفاده می گردد.

۶ ـ تکنیک حذف ردگیری که ردگیری های قدیمی و یا زاید را پاک می کند.

از آنجایی که این زمینه جدید تحقیق به سرعت رشد یافته است، بسیاری از واژه های مورد استفاده دارای معانی و تعاریف تخصصی هستند که هنوز فراگیر نشده اند، از این رو به منظور تسهیل در بحث، تعاریف تعدادی از واژه های مورد استفاده در این مقاله، مطرح می گردد:

ـ مشاهده[۴] (سنجش ـ گزارش ـ بازگشتی ـ پژواک): پارامتر یا پارامترهای به دست آمده از سیگنال آشکار شده.

ـ ردگیری [۵]: فرایند تفکیک سلسله مشاهدات ناشی از هر هدف و محاسبه تخمین موقعیت حقیقی آن براساس مشاهدات نویزی سنسوری.

ـ ردگیری در حین مرور (اسکن) (TWS)[۶]: مراحل

تشکیل و حفظ ردگیری هدف ها، براساس اطلاعات (مشاهدات) متصل راداری که از اسکن های متوالی به دست آمده است.

- تخصیص داده ها[۷]: فرایند تعیین این که کدام سنجش (یا ترکیب وزنی سنجش ها) می بایست به یک هدف ویژه تخصیص یابد و در تخمینگر حالت یک هدف استفاده گردد.
- تشکیل ردگیری[۸]: آشکارسازی یک هدف (پردازش سنجش های مربوط به چندین اسکن متوالی به منظور تعیین حضور یک هدف) و ایجاد ردگیری جدید (تعیین تخمین اولیه از حالت آن).

مقاله بدین ترتیب ادامه می یابد: ابتدا در بخش ۲ مسئله تخصیص داده ها که مهمترین زیربخش یک سیستم ردگیری است، شرح داده می شود و دو الگوریتم ابتکاری برای حل آن پیشنهاد می گردد. سپس در بخش سوم، مسائل مربوط به مدیریت ردگیری اعم از شروع، ارتقاء و حذف مطرح می شود. مسئله انتخاب سیستم مختصات مناسب در عموم سیستم های ردگیری، در بخش چهارم بیان شده و در بخش ۵ پیشنهاداتی پیرامون نحوه پردازش های قطاعی سنسورهای مرور کننده (TWS) و چگونگی به هنگام نمودن ردگیری ها، عرضه می گردد. نتایج شبیه سازی در بخش ششم آورده شده است. مقاله با نتیجه گیری در بخش هفتم پایان می یابد.

۱ ـ تخصیص داده ها

فرآیند انتخاب سنجش (یا ترکیب وزنی سنجش ها) به منظور استفاده در تخمین گر حالت یک هدف خاص را تخصیص داده ها می نامند. اولین و مهمترین مرحله کاهش پیچیدگی ناشی از وفور بازگشتی ها (هشدارهای کاذب و اهداف حقیقی)، تعریف یک پنجره در فضای ردگیری هدف مورد نظر می باشد تا از جستجوی مشاهده هدف مورد علاقه در کل فضای سنجش، اجتناب گردد. هر سنجش درون پنجره، هر چند که کاندیدای معتبری برای تخصیص می باشد، هیچگونه تضمینی وجود ندارد که از هدف مورد نظر ناشی شده باشد. در اغلب سیستم های ردگیری، مربع باقیمانده نرمالیزه شده[۹] برای تعیین یک پنجره اعتبار (با حجم بیضوی) در فضای سنجش استفاده می شود. بدین ترتیب، تنها سنجش های واقع شده درون پنجره در فرایند تخصیص مدنظر قرار می گیرند، در حالیکه سایر مشاهدات (خارج از پنجره) در ارزشیابی منظور نمی شوند. اندازه پنجره بهینه، برای اینکه احتمال ناشی شدن مشاهده درون آن از هدف مورد نظر، نسبت به ناشی شدن از هر منبع دیگر، بسیار زیادتر باشد، در [4] محاسبه شده است. به منظور کاهش میزان محاسبات می توان ابتدا از یک پنجره تقریبی (مستطیلی) استفاده و سپس مشاهدات واقع شده درون آن را با پنجره بیضوی بهینه مقایسه کرد.

یک تکنیک بسیار مؤثر دیگر در کاهش مشاهدات کاندیدای تخصیص، استفاده از پنجره حداکثر سرعت می باشد، بدینصورت که این پنجره حول آخرین تخمین هر ردگیری، بر مبنای حداکثر سرعت مورد انتظار هدف و همچنین رعایت خطاهای سنجش و تخمین، تشکیل می گردد.

اساساً دو روش (استراتژی) مختلف در تخصیص داده ها وجود دارد: ۱) روش های غیر بیزین که به کمک ابزار آماری، یک تصمیم تخصیص قطعی اخذ می کنند و بعد از آن، احتمال غلط بودن آن مدّنظر قرار نمی گیرد. به عبارت دیگر، در پردازش تخمین از میزان صحت تخصیص ها، استفاده نمی گردد. مثل روش نزدیکترین همسایه[۱۰]، که در آن مشاهده ای با کمترین فاصله نرمالیزه شده از محل پیش بینی،برای بهنگام نمودن فیلتر استفاده می شود. ۲) روش های تخصیص احتمالاتی (بیزین) که احتمالات صحت تخصیص ها را ارزشیابی و از آنها در زنجیره پردازش تخمین استفاده می کنند. همانند روش ردگیری چندین فرضیه ای[۱۱] که در آن به ازاء هر تخصیص، یک فرضیه ردگیری تشکیل می گردد. از آنجا که این الگوریتم موجب رشد نمایی تعداد فرضیات می گردد، تأمین منابع محاسباتی آن با سیستم های امروزی مقدور نبوده و فعلاً عملی نیست. در اینجا، نمونه های اصلاح شده ای از هر دو گروه الگوریتم تخصیص، یعنی نزدیکترین همسایه (NN) و فیلتر احتمالاتی تخصیص (PDAF)[۱۲] پیشنهاد می گردد که در ذیل شرح داده می شود.

نزدیکترین همسایه اصلاح شده

در روش نزدیک ترین همسایه معمول، در محیط های چند هدفی، پردازش تخصیص به دنبال پیدا نمودن جفت های منحصر به فرد مشاهده ـ ردگیری به منظور بهنگام نمودن ردگیری ها می باشد. در این تکنیک، ابتدا فاصله نرمالیزه شده بین هر جفت مشاهده ـ ردگیری (مشاهدات واقع شده درون پنجره) محاسبه و در یک ماتریس نسبت دادن (یک بعد آن متناظر با ردگیری ها و

بعد دیگر متناظر با مشاهدات) درج می‌گردد. سپس الگوریتم بایستی ترکیبی از عناصر ماتریس نسبت دادن را انتخاب نماید، به طوری که مجموع فاصله آماری آنها، کمترین باشد. بدیهی است که حجم محاسبات لازم برای حل بهینه این مسئله، با رشد تعداد مشاهدات و هدف های موجود، به صورت غیرخطی افزایش می‌یابد. در نوع اصلاح شده پیشنهادی، با خطی نمودن روند رشد حجم محاسبات لازم، در صورت افزایش مشاهدات و ردگیری ها، الگوریتم برای محیط های شلوغ قابل استفاده شده است. برخلاف روش معمول، ابتدا ماتریس نسبت دادن براساس احتمالات تخصیص (و نه براساس فاصله آماری) تنظیم می‌شود، سپس برای ردگیری با کمترین عدم قطعیت تخصیص، محتملترین مشاهده انتخاب وبه آن نسبت داده می‌شود. بلافاصله جفت نسبت داده شده (ردگیری و مشاهده نظر) از چرخه پردازش تخصیص حذف می‌گردد و سپس ردگیری بعدی با کمترین عدم قطعیت تخصیص بعدی انتخاب و به همین ترتیب مراحل فوق تکرار می‌گردد. عدم قطعیت تخصیص یک ردگیری، به صورت مجموع آنتروپی های تک تک احتمالات تخصیص میان مشاهدات کاندیدا و آن ردگیری، تعریف و طبق رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$H(\tau) = \Sigma_i P_i \log\left(\frac{1}{P_i}\right) \qquad (۱)$$

در حالیکه P_i احتمال نسبی تخصیص مشاهد iام به ردگیری τ، نسبت به مجموع احتمال تخصیص های ممکن مشاهدات به آن ردگیری می باشد وبرابر است با:

$$P_i = L(y_i|\tau) / \Sigma_j L(y_j|\tau) \qquad (۲)$$

که در آن $L(y_j)|\tau)$ احتمال تخصیص سنجش y_j به ردگیری τ می باشد.

فیلتر تخصیص احتمالاتی (اصلاح شده)

الگوریتم استاندارد PDAF برای ادامه دادن ردگیری یک هدف در کلاتر ابداع شده است. در این فیلتر، به هر یک از مشاهدات درون پنجره، یک احتمال ناشی شدن از هدف مورد نظر، نسبت داده می‌شود. سپس باقیمانده های هر مشاهده به وسیله این احتمالات وزن داده شده و با استفاده از مجموع آنها، یک باقیمانده وزنی محاسبه می‌گردد. این باقیمانده تنها برای تخمین حالت و پیش بینی مدنظر قرار می گیرد. به منظور کسب توانایی ردگیری چند هدف ، این فیلتر به JPDAF[۱۲] تعمیم یافته است [5]. در الگوریتم جدید، احتمالات تخصیص به طور مشترک در میان همه ردگیری ها محاسبه می گردد. البته به دلیل نیاز شدید محاسباتی، اجرای این الگوریتم در اکثر کاربردها عملی نمی باشد.

باتوجه به اینکه کاربرد PDAF فقط در ردگیری یک هدف می باشد واجرای JPDAF نیز مستلزم صرف محاسبات بسیار زیاد است، در اینجا، استفاده از یک نوع الگوریتم PDAF ویژه ردگیری چند هدفی، پیشنهاد می‌گردد. در این روش، مسئله تخصیص چند هدفی به چند تخصیص تک هدفی مستقل تبدیل می شود و سپس برای هر ردگیری، یک بار پردازش فیلتر PDAF اجرا می‌گردد. از آنجا که در کاربردهای ردگیری چندین هدفی، همپوشانی پنجره ها و واقع شدن بیش از یک مشاهده در هر پنجره، محتمل می باشد - به عبارت دیگر ابهام در تخصیص به وجود می‌آید - رفع ابهام ضروری است. به این منظور ابتدا در نواحی همپوشان، احتمالات جفت های مشاهده - ردگیری محاسبه و محتملترین جفت انتخاب و در مورد تخصیص آنها، تصمیم قطعی اخذ می‌شود. این روند ادامه می یابد تا ابهام مشاهدات واقع شده درون ناحیه همپوشان رفع گردد و سپس مسئله باقیمانده به صورت ردگیری های تک هدفی، به روش PDAF حل شود.

در ضمن ، می توان از مشخصه های غیر جنبشی در الگوریتم تخصیص استفاده نمود تا در هنگام مانور اهداف که سنجش های جنبشی هدف بسیار دورتر از مقدار پیش بینی شده واقع می‌گردند و فقط بر مبنای اطلاعات جنبشی احتمال تخصیص ناچیزی دریافت می نمایند، ردگیری کماکان ادامه یابد، چرا که اضافه نمودن مشخصه های غیر جنبشی، موجب می‌گردد که مشاهدات اهداف مانوری احتمالات واقعی خود را کسب کنند.

۲ - مدیریت ردگیری

از جمله قابلیت های مهم و لازم یک سیستم ردگیری مدرن، توانایی کشف اتوماتیک اهداف وارده به حوزه مراقبت و تشکیل ردگیری برای آنهاست. برای تشکیل خودکار ردگیری، روش های زیادی به وجود آمده است که راندمان آنها تابع هزینه محاسباتی صرف شده و نوع کاربرد می باشد. شاید بهترین منطق تشکیل ردگیری،

تکنیک MHT [۱۴] باشد، ولی به دلیل حجم زیاد محاسبات مورد نیاز به خصوص در محیط های کلاتری، فعلاً جاذبه چندانی ندارد. از آنجا که هر مشاهده وارده به پردازشگر اطلاعات، می تواند منشأ هدف جدیدی باشد، لذا مشاهداتی که به هدف های موجود نسبت داده نشوند، برای تشکیل یک ردگیری بالقوه ذخیره می شوند و در اسکن بعد براساس حداکثر سرعت ممکن هدف، طول مدت اسکن، و نویز مشاهده یک پنجره دایره ای حول هر مشاهده ذخیره شده از اسکن قبل، تشکیل و برای هر یک از مشاهدات واقع شده درون آن یک ردگیری آزمایشی ایجاد می گردد. به عبارت دیگر با الهام از ایده تکنیک MHT، به ازاء هر جفت مشاهده یک فیلتر راه اندازی می گردد. چنانچه هیچ مشاهده ای درون پنجره واقع نگردید، مشاهده اولیه به عنوان هشدار کاذب فرض و از مجموعه پردازش های بعدی حذف می شود. هر ردگیری آزمایشی به طوری که از نام آن استنباط می شود، می تواند از یک هدف حقیقی وارده به حوزه مراقبت ناشی شده باشد ویا به صورت اتفاقی، از یک سری مشاهدات کاذب ناشی از نویز، کلاتر یا تداخل، به وجود آمده باشد. لذا باید بر مبنای منطق خاصی، واقعی یا کاذب بودن آن مشخص گردد. براساس آن که سری مشاهدات جمع آوری شده، در یک مدل دینامیکی حرکت صدق کند، واقعی بودن ردگیری ارزیابی می گردد. در صورت واقعی بودن، ردگیری به سطح بالاتر ارتقاء پیدا می کند و به اصطلاح تأیید می شود. معمولاً در مکتوبات برای ارتقاء سطح ردگیری ها، از منطق های گوناگونی استفاده شده است. در اینجا برای انتقال سطح ردگیری، یک الگوریتم ویژه چند مدلی (دو مدل) مارکو توصیه می گردد. حالت اول مارکو (M_1)، هدف های حقیقی را که از حوزه دیدسنسور خارج شده اند و یا ردگیری های کاذب را (که از همبستگی هشدارهای کاذب تشکیل شده اند) با احتمال آشکارسازی صفر ($P_D = 0$) مدل می کند. مدل دوم (M_2)، مربوط به هدف های حقیقی (مقدار واقعی = P_D) می باشد. معادلات دینامیکی سیستم در هر دو مدل یکسان (حرکت با سرعت ثابت) در نظر گرفته می شود. البته می توان یک مدل سوم نیز برای حالت های مانوری اهداف تعریف نمود که به دلیل رعایت حجم پردازش، می توان از اعمال آن صرف نظر نمود. نحوه استفاده از الگوریتم چند مدلی، بدینصورت می باشد: با دریافت جفت های مشاهده از زیربخش تشکیل ردگیری بالقوه، برای هر ردگیری احتمال اولیه ای برای هر یک از دو مدل M_1 و M_2، طبق روابط زیر محاسبه و با گذشت زمان نیز بهنگام می شود:

$$P_0(M_2) = \beta_{NT} / (\beta_{NT} + \beta_{FA}) \quad P_0(M_1) = 1 - P_0(M_2) \qquad (۳)$$

β معرف چگالی است و اندیس های NT و FA به ترتیب «هدف های جدید» و «هشدارهای کاذب» را نشان می دهند.

معیار انتخابی برای تأیید یا حذف ردگیری آزمایشی، مقایسه احتمال بهنگام شده مدل دوم با آستانه های مربوطه می باشد. چنانچه امتیاز مدل دوم یک ردگیری (احتمال واقعی بودن هدف) پایین تر از آستانه حذف (مثلاً ۰/۰۵) قرار گیرد، منشاء کلاتری آن ردگیری محرز، سپس از فایل مربوطه حذف می گردد. از طرفی، اگر امتیاز حقیقی بودن ردگیری (احتمال مدل دوم یعنی $P(M_2)$) از آستانه تأیید [۱۵] بیشتر شد، آنگاه تست دریافت حداقل M مشاهده از پنجره لغزان N_W اسکنی قبلی انجام می گردد. در صورت ارضاء هر دو معیار (تست پنجره لغزان و آستانه مدل دوم)، آن ردگیری حقیقی شناخته شده وبه فایل ردگیری های تأیید شده منتقل می گردد. نکته قابل توجه آن که، حتی پس از تأیید یک ردگیری، بهتر است احتمال مدل اول باز هم در هر اسکن بهنگام گردد تا در صورت خروج هدف از حوزه سنسور و یا از بین رفتن آن (که معادل است با آن که احتمال آشکارسازی هدف، صفر گردد)، امکان حذف اتوماتیک ردگیری وجود داشته باشد. بدینصورت، با تحت نظارت قرار دادن مستمر نیاز ردگیری ها، در الگوریتم توانایی تشکیل و ادامه دادن ردگیری ها و همچنین حذف آنها به وجود می آید؛ به عبارت دیگر، این روش موجب هوشمند شدن سیستم ردگیری می شود. لازم به ذکر است که برای پرهیز از تشکیل ردگیری های زاید، بایستی ردگیری های مشابه در مرحله تأیید، ادغام گردند. نحوه بهنگام شدن احتمالات مدل ها، پس از اعمال الگوریتم تخصیص، بدینصورت است: چنانچه مشاهده Y به ردگیری τ با احتمالات پیشین $P(M_1)$ و $P(M_2)$ تخصیص یابد، احتمالات جدید هر یک از مدل ها برابر است با:

$$P_y(M_2) = \frac{1}{C_Y} P(M_2 \mid \overline{M}_2)\, P(\overline{M}_2)\, P_D(\tau)\, L(Y|\tau) \qquad (۴)$$

$$P_Y(M_1)=\frac{1}{C_Y}[P(M_1|\overline{M}_2)P(\overline{M}_2)(1-P_D(\tau))+P(M_1|\overline{M}_1)P(\overline{M}_1)]L_{FA}(Y)$$

که C_Y به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$C_Y = P_Y(M_2) + P_Y(M_1)$$

و $L(Y/\tau)$ احتمال تخصیص سنجش Y به ردگیری τ می‌باشد.

اگر به ردگیری مذکور هیچ مشاهده‌ای تخصیص نیابد (ردگیری فقط برون یابی گردد)، احتمال مدل‌های آن برابر است با:

$$P_\phi(M_2)=\frac{1}{C_\phi}[P(M_2|\overline{M}_2)P(\overline{M}_2)(1-P_D(\tau))+P(M_2|\overline{M}_1)P(\overline{M}_1)]$$

$$P_\phi(M_1)=\frac{1}{C_\phi}[P(M_1|\overline{M}_2)P(\overline{M}_2)(1-P_D(\tau))+P(M_1|\overline{M}_1)P(\overline{M}_1)]$$

(۵)

در حالی که:

$$C_\phi = P_\phi(M_2) + P_\phi(M_1)$$

۳ ـ سیستم مختصات

اغلب سنسورها موقعیت اهداف را در سیستم مختصات کروی سنجش می‌نمایند. متأسفانه این سیستم مختصاتی همواره بهترین انتخاب برای یک فیلتر ردگیری نمی‌باشد، زیرا حرکت هدف در مختصات دکارتی (به علت خطی بودن)، به بهترین وجهی مدل می گردد.

اجرای ردگیری در مختصات کارتزین، با استفاده از سنجش‌های فاصله (R) و زاویه (θ) به دو صورت مقدور می‌باشد: روش اول، انتقال مشاهدات به سیستم دکارتی و به کارگیری فیلتر کالمن خطی، که در این صورت خطای سنجش‌های انتقالی به مختصات جدید، در هر زمان نمونه برداری، دوباره محاسبه می‌گردد. روش دوم، استفاده مستقیم از سنجش ها در یک فیلتر غیرخطی مثل کالمن تعمیم یافته[۱۶] (EKF) می‌باشد. در این روش راندمان تابع دقت سنجش‌های اولیه هر ردگیری و همچنین دقت خطی سازی‌های بعدی است و سازگاری فیلتر نیز تنها در حوزه کوچکی از مقادیر خطاهای سنسوری تأمین می‌شود، در حالیکه در روش اول، حتی باوجود با یاس در خطای سنجش‌های تبدیلی (که در صورت اهمیت آن، با تکنیک‌های ابداع شده اخیر قابل حذف می‌باشد)، سازگاری فیلتر در حوزه وسیعی از خطاهای سنسوری حفظ می‌گردد که موجب می‌شود تا سنجش‌ها با بهره نزدیک به بهینه پردازش گردند، و از این رو خطای آن نسبت به EKF کمتر است.

۴ ـ پردازش قطاعی وسازماندهی اطلاعات سیستم ردگیری

به منظور کاهش زمان واکنش یک سیستم ردگیری TWS و انجام موازی عملیات جمع‌آوری و پردازش، یک روش مؤثر، پردازش اطلاعات دریافتی بر مبنای قطاع و به محض دریافت می‌باشد. در این حالت، فضای مراقبت، بایستی به قطاع‌های زاویه‌ای برابر تقسیم شوند. در پردازشگر ردگیری، برای هر قطاع یک فایل مشاهده و سه فایل ردگیری (متناظر با سطوح مختلف) تعریف می‌شود. در فرایند تخصیص، ردگیری موردنظر با مشاهدات قطاع متناظر و دو قطاع مجاور (یک قطاع سمت چپ و یک قطاع سمت راست)، مقایسه می‌شوند. برای کاهش تعداد کاندیداهای تخصیص، اندازه زاویه هر قطاع نسبتاً کوچک انتخاب می‌شود. هر چند در مقایسه با اختلاف میان موقعیت سنجش شده و پیش‌بینی شده (باقیمانده)، باید اندازه قطاع به اندازه کافی بزرگ باشد.

یک توالی پردازش بدینصورت می‌باشد: فرض کنیم سنسور هم اکنون اسکن قطاع n را تمام نموده و در حال اسکن قطاع (n + 1)ام می‌باشد. در این لحظه، عمل تفکیک مشاهدات ناشی از اجسام ساکن موجود در قطاع (n -1)ام انجام می‌گیرد و آن دسته از مشاهدات، از مجموع سنجش‌ها حذف می‌گردد. سپس تخصیص ردگیری‌های تأیید شده در قطاع‌های n - 3 و n - 2 با مشاهدات قطاع‌های n - 4 و n - 3 و n - 2 انجام می‌شود. علت دخالت ردگیری‌های قطاع n - 2 در فرایند تخصیص قطاع (n - 3) ام اجتناب از خطاهای احتمالی ناشی از همپوشانی پنجره‌های ردگیری این دو قطاع می‌باشد. کلیه مشاهداتی که برای بهنگام نمودن ردگیری‌های تأیید شده استفاده شدند، از بردار مشاهده حذف می‌گردند تا امکان جذب مشاهدات نسبت داده شده به ردگیری‌های تأیید شده، به وسیله ردگیری‌های آزمایشی منتفی گردند. معادل عملیات فوق برای ردگیری‌های آزمایشی قطاع (n -4) ام و ردگیری‌های بالقوه قطاع (n -6) ام انجام می‌گیرد. در خاتمه سیکل پردازش، هرگاه یک ردگیری بهنگام شده مرز میان د و

قطاع مجاور را قطع نمود، از فایل قطاع قدیمی حذف شده و به فایل قطاع جدید منتقل می‌گردد. یک مزیت مهم پردازش قطاعی، امکان تعریف پارامترها و انتخاب نوع الگوریتم ردگیری هر قطاع، منطبق با میزان تهدید آن و ایجاد حساسیت لازم برای سیستم در مناطق پرخطر، و صرفه جویی در محاسبات در مناطق امن می‌باشد.

لیست پارامترهایی که می‌توان از هر هدف دریک سیستم ردگیری ذخیره نمود، عبارتست از: ۱ ـ کد شناسایی ردگیری ۲ ـ موقعیت و سرعت تخمینی در N اسکن اخیر (بردار حالت) ۳ ـ ماتریس کواریانس متناظر با آخرین تخمین ۴ ـ موقعیت پیش بینی شده ۵ ـ سطح ردگیری (تأییدشده، آزمایشی، بالقوه) ۶ ـ کیفیت ردگیری (احتمال مدل های مختلف) ۷ ـ زمان آخرین بهنگام شدن ردگیری (تعداد اسکن های بدون مشاهده) ۸ ـ تعداد اسکن های سپری شده (عمر ردگیری) ۹ ـ مشاهدات نسبت داده شده به ردگیری در N اسکن اخیر ۱۰ ـ احتمال آشکارسازی (P_D)

علاوه بر اطلاعات فوق، تعدادی پارامتر مربوط به وضعیت قطاع تحت پردازش نیز بایستی حفظ شوند که شامل تعداد کل ردگیری ها (به تفکیک در سطوح مختلف)، چگالی هشدار کاذب، چگالی هدف جدید (که به صورت تطبیقی قابل محاسبه اند) می باشد.

در صورت نیاز و یا به طور دوره‌ای در هر N اسکن، اطلاعات لازم هر هدف برای ارسال به یک سیستم دفاعی شامل شماره اسکن، شماره قطاع، کد شناسایی ردگیری، وضعیت ردگیری، کیفیت (امتیاز) ردگیری، زمان آخرین بهنگام شدن، موقعیت و سرعت تخمینی با کواریانس متناظر پیشنهاد می‌گردد.

پهنای باند ارتباطی برای انتقال اطلاعات ردگیری B_T (بر حسب (Kbyte/sec)) طبق رابطه $B_1 = (N_{TRK}S_T) / (1024\ T_{Scan})$ تخمین زده می‌شود، که در آن N_{TRK} کل تعداد ردگیری های حفظ شده به وسیله پردازشگر، و S_T محتویات اطلاعات ارسالی ردگیری بر حسب بایت، T_{Scan} پریود اسکن سنسور می باشد.

لازم به ذکر است که به جای پردازش قطاعی، می‌توان از پردازش منطقه ای (قطاع خاص، فاصله خاص) استفاده نمود و در هر منطقه بنا به میزان تهدید، الگوریتم و حساسیت مناسب را به کار گرفت. بدیهی است تعمیم روش ذکر شده در بالا می تواند برای پردازش منطقه ای به کار گرفته شود.

۵ـ شبیه سازی

برای بررسی کارایی سیستم ردگیری پیشنهادی، برخی مثال ها شبیه سازی گردید. در سناریوهای مورد نظر چهار هدف هوایی، مطابق شکل ۱ و ۴ تولید گردید. سنسور رادار در مبدأ مختصات بوده و مؤلفه های فاصله و زاویه افق را سنجش می نماید. مجموعه پارامترهای کلیدی سنسور عبارتند از (زاویه سمت نسبت به مبدأ مثلثاتی استاندارد در خلاف جهت عقربه های ساعت در نظر گرفته شده است):

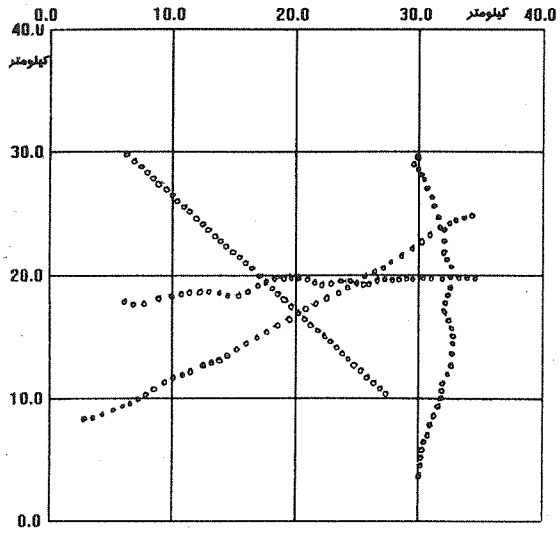
حوزه دید زاویه ای سنسور : ۰ – ۹۰ درجه
حوزه دید فاصله سنسور: ۰ – ۵۰ کیلومتر
قدرت تفکیک: فاصله = ۱۵۰ متر، زاویه = ۱ درجه
سرعت چرخش آنتن: ۳۰ RPM

هدف ها به طور متوسط با سرعت ۱۴۰۰ km/h با قدرت مانور متفاوت، برای مدت ۸۰ ثانیه شبیه سازی شدند. در سناریو اول، چگالی هشدار کاذب برابر $۸/۳\times۱۰^{-۳}$ = PFA می باشد که به معنی آن است که به طور متوسط ۲۵۰ مشاهده کاذب در حوزه دید سنسور، در هراسکن، وجود داشته است. شکل ۲ مشاهدات دریافتی سنسور، اعم از حقیقی و هشدار کاذب را برای ۴۰ اسکن متوالی نمایش می دهد. می توان ملاحظه نمود که چگالی هشدار کاذب به نسبت زیاد است و هدف ها در بسیاری از اسکن ها پنهان شده اند. شکل ۳ نتایج یک نمونه اجرای الگوریتم ردگیری به کمک تکنیک PDAF اصلاح شده را (برای سناریوی اول) نشان می دهد. واضح است که نه تنها هر چهار هدف آشکارسازی شده و برای آنها ردگیری تشکیل یافته است، بلکه در محیط پرکلاتر، الگوریتم به درستی توانسته است تا کلیه ردگیری ها را حفظ و ادامه دهد. مقصود از سناریو دوم، بررسی راندمان الگوریتم نزدیکترین همسایه اصلاح شده در شرایط چالش آور ردگیری است، یعنی زمانی که اهداف در فاصله بسیار کم، به طور موازی حرکت می کنند و یا اهدافی که با زوایای کوچک، در مسیرهای متقاطع از یکدیگر عبور می کنند. کلیه مشاهدات، مسیر واقعی و ردگیری ها، به طور همزمان در شکل ۴ نمایش داده شده است. سرعت هدف ها مشابه سناریو اول، ولی چگالی هشدار کاذب متناظر با $P_{FA} = ۲\times۱۰^{-۳}$ می باشد. واضح است که در هر دو شرایط سخت مذکور، الگوریتم NN اصلاح شده با موفقیت هدف ها را دنبال نموده است.

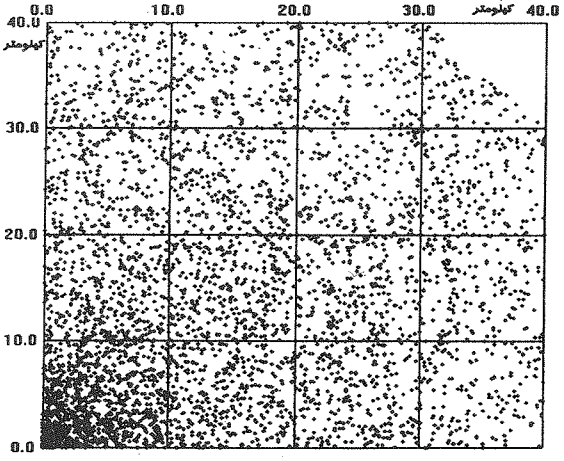
۶ـ نتیجه‌گیری و پیشنهادات

امروزه عواملی همچون وجود سلاح های تهاجمی پیشرفته و نسبتاً هوشمند، به همراه اجرای تکنیک ها و سناریوهای بدیع، محیط عملیات نظامی را شدیداً پیچیده و بغرنج نموده است. لازمه بقاء در چنین محیطی در اختیار داشتن سنسورهای پیشرفته و استفاده بهینه از اطلاعات آنهاست، که این مطلب موجب شده برای افزایش کارآئی سنسورها تلاش زیادی به عمل آید. مقصود اصلی از ردگیری، بهبود دقت و اعتماد اطلاعات سنسور و افزایش ابعاد سنجشی آن می باشد. به بیان دیگر استفاده از نرم افزار پیچیده برای صرفه جویی در سخت افزار (سنسور) مد نظر می باشد.

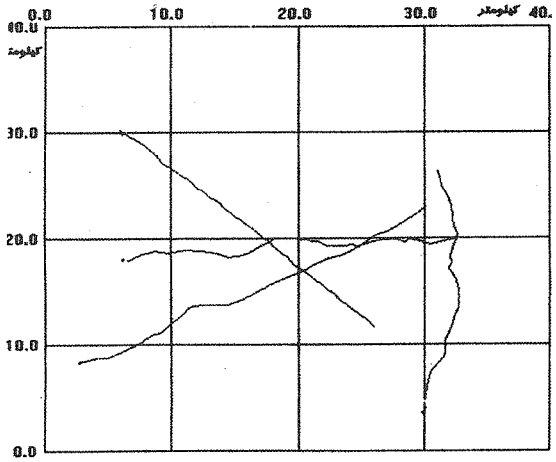
در این مقاله یک الگوریتم ردگیری اتوماتیک برای یک محیط چند هدفی پیشنهاد گردید. مقصود اصلی از این تکنیک، ابداع و به کارگیری روش هایی بود که تحت سخت ترین شرایط میدان (ردگیری چندین هدف مانوری در مسیرهای نزدیک به هم یا متقاطع و در محیط های پرکلاتر) کارایی مطلوب داشته باشد. موضوع تحقیقاتی آینده می تواند ارتقاء راندمان الگوریتم، تعیین افزایش کارایی آن نسبت به منابع پردازشگر در دسترس باشد. مطلب دیگر تحقیقاتی، ارزشیابی دقیق و پیش بینی حداقل منابع مورد نیاز و همچنین ارزیابی الگوریتم ها تحت شرایط واقعی، خواهد بود.



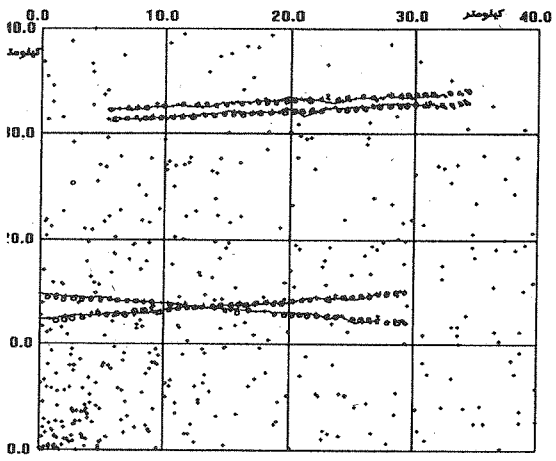
شکل (۱) مسیر واقعی اهداف. (سناریو اول)



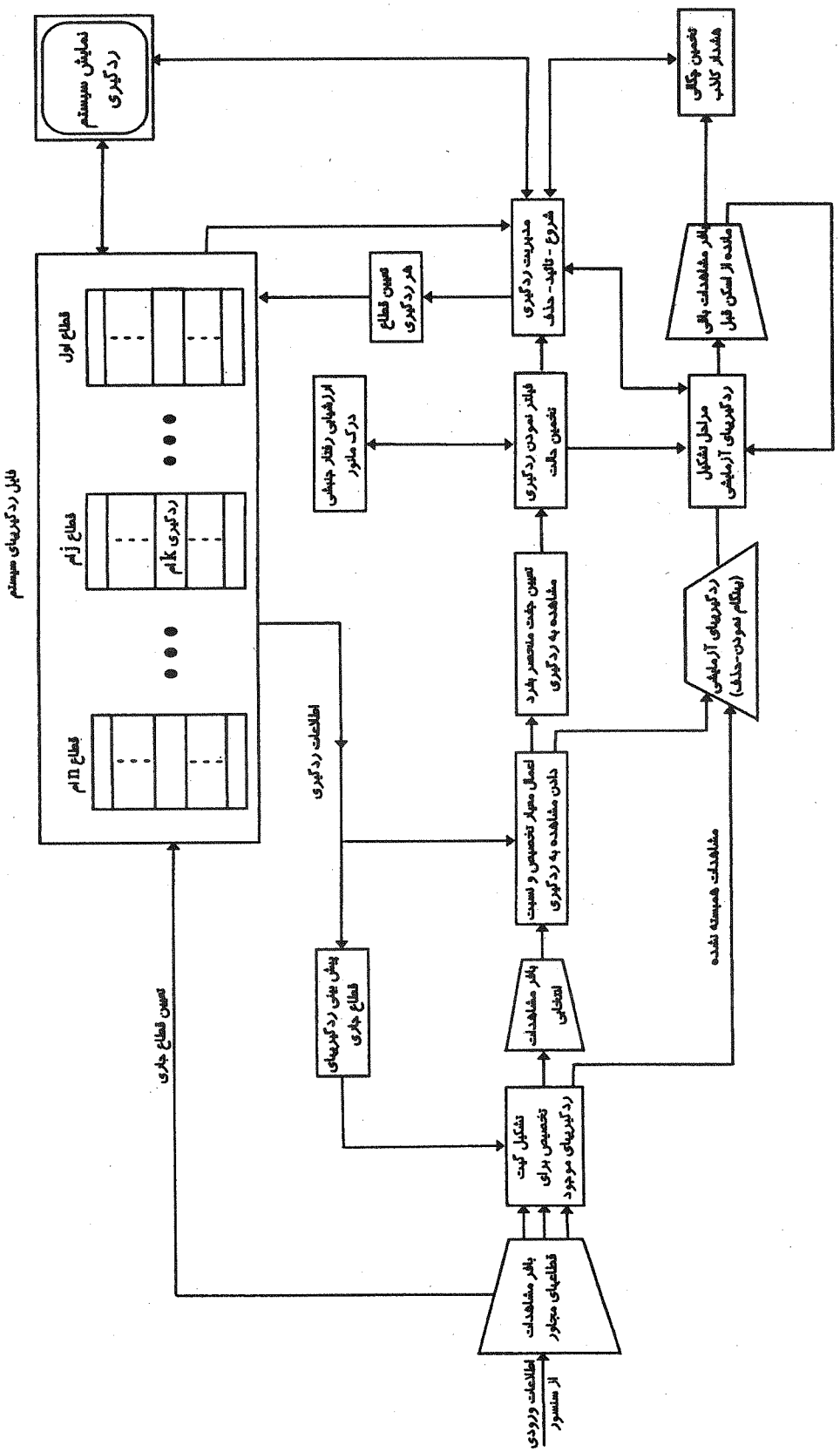
شکل (۲) مشاهدات (واقعی، هشدار کاذب) دریافتی سنسور. (سناریو اول)



شکل (۳) نتایج ردگیری به کمک الگوریتم PDAF اصلاح شده. (سناریو اول)



شکل (۴) مسیر واقعی اهداف، مشاهدات دریافتی و نتایج ردگیری به کمک الگوریتم NNاصلاح شده. (سناریو دوم)



بلوک دیاگرام سیستم ردگیری چند هدفی پیشنهادی.

زیرنویس‌ها

1 - Data Association
2 - Filtering
3 - Gate
4 - Observation
5 - Tracking
6 - Track While Scan
7 - Data Association
8 - Track Formation
9 - Normalized Residual Squared
10 - Nearest Neighbor
11 - Multiple Hypothesis Tracking
12 - Probabilistic Data Association Filter
13 - Joint PDAF
14 - Multiple Hypothesis Tracking
15 - Confirm
16 - Extended Kalman Filter

مراجع

[1] Skolnik, M.I., Introduction to Radar Systems, Mc Graw - Hill, New York, 1985.

[2] Farina, A., Studer, F. A., Radar Data Processing - Volume I, Research Studies Press, England, 1985.

[3] Skolink, M. I., Radar Handbook, Mc. Graw-Hill, New York, 1990.

[4] S.S. Blackman, Multiple Target Tracking with Radar Applications, Artech House, 1986.

[5] Bar-Shalom, Editor, Multitarget-Multisensor Tracking, Applications and Advances-Volume I, II, Artech House, 1990, 1992 respectively.

[6] Kingsley, Quegan, S. Understanding Radar Systems, McGraw-Hill 1992.

[7] Drummond, O.E., Chair Editor Signal and Data Processing of small Targets, Proc. SPIE, Volume 1954, 2235, 2561, SPIE, 1993, 1994, 1995, respectively.