پردازش اطلاعات در رادار

دکتر محمدرضا عارف

دانشیار دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی اصفهان

مهندس علی فکوریکتا

گروه الکترونیک صنایع دفاع خراسان

چکیده

رشد روزافزون پردازشگرها و کامپیوترهای سریع، تحولی بزرگ در کارآیی و کاربرد رادار بوجود آورده است. از مهمترین این تحولات، تحقق یافتن ایده‌های پردازش اطلاعات و امکان تعقیب چند هدف توسط یک رادار دیده‌بانی می‌باشد.

در این مقاله، ابتدا بررسی مختصری روی ایده‌های پردازش اطلاعات و تخمین پارامترهای سینماتیک اهداف یا تعقیب اهداف شده است و پس از بررسی شیوه‌های متداول مدلسازی هدف و سنسور، پاسخ بهینه مسأله تخمین حالت هدف براساس اطلاعات دریافتی توسط سنسور مورد بحث واقع شده است. در پایان نیز برنامه‌ای برای شبیه‌سازی الگوریتمهای مختلف پردازش اطلاعات در یک رادار TWS (۱) ارائه شده است.

Data Processing of RADAR

M. R. Aref, Ph.D.

Associate Prof. of Electrical Eng. Dept.
Esfahan University of Technology

A. Fackoor Yekta , M.Sc.
Electronic Group, Khorasan Defence Industries

ABSTRACT

Due to the increasing growth of processors and fast computers, there has been big changes in performance and application of RADAR. Data Processing ideas and possibility of multiple target tracking with survilance RADAR, which are of the most important changes, have come true.

In this paper, data processing ideas and cinematic parameters estimation or targets tracking have been briefly considered.

Then common methods of sensor and target modelling have been considered, then optimum solution of target state estimation on the base of the received data from sensor, has been discussed. At the end of the paper,the program for simulation of data processing algorithms in TWS RADAR has been Presented.

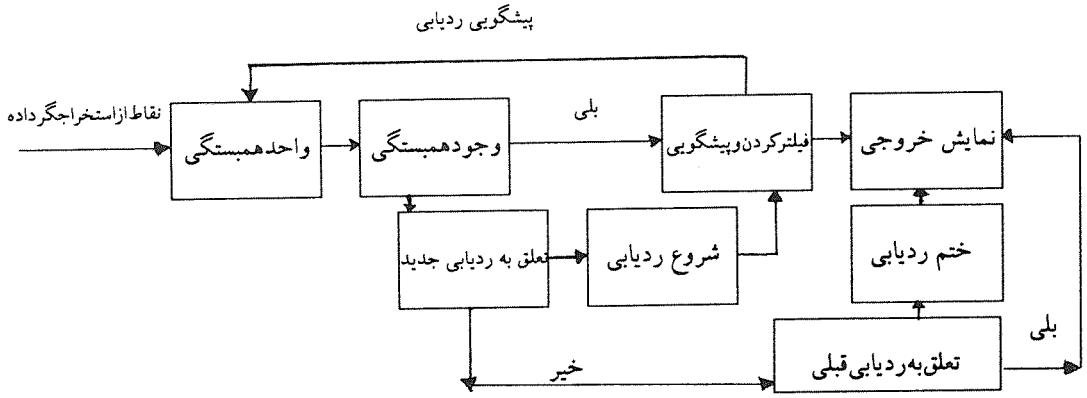
۱) مقدمه

پردازشگر اطلاعات در رادار به مجموعه الگوریتمهایی اطلاق می‌شود که قادر به تأیید و آشکارسازی هدف و تعیین نقاط مربوط به یک هدف از بین نقاط بدست آمده در طی جاروبهای متوالی رادار و تخمین پارامترهای سینماتیک هدف (مکان، سرعت ، شتاب و مانور) یا تشخیص هویت هدف و تعقیب آن می‌باشد [۷]. پردازشگر اطلاعات می‌تواند در یک رادار ساده، یک شبکه متشکل از چند رادار و یا یک رادار آرایه فازی بکاررود و طبعاً در هر یک از این موارد، انتظارات متفاوتی از آن می‌رود. داده‌ها تمام اندازه‌گیریها واطلاعاتی هستند که توسط سنسور جمع‌آوری می‌شوند و در حالت کلی می‌توانند شامل پارامترهای سینماتیک و یا داده‌های شکل مثل ضرایب بالستیک، سطح مقطع هدف، نوع هدف، تعداد، طول و یا شکل هدف باشند. این داده‌ها می‌توانند در فواصل منظم یا غیرمنظم دریافت شوند. زمان توقف و نمونه‌برداری از اهداف نیز می‌تواند متغیر باشد. ولی دراین مقاله صرفاً به تکنیکهای پردازش اطلاعات در رادار Tws اشاره می‌کنیم. در Tws زمان توقف روی هدف و فواصل نمونه برداری ثابت است و نیز فقط اهدافی تعقیب می‌شوند که در جاروبهای متوالی رادار همچنان باقی بمانند. در این رادارها، پردازش اطلاعات در کامپیوتری که بین پردازشگر سیگنال و نمایشگر قرار دارد، انجام می‌شود. اصول کار آشکارسازی و ردیابی اتوماتیک، شامل مراحل منطقی (شروع ردیابی، یافتن داده‌های همبسته با ردیابی، پیشگویی ردیابی، فیلترکردن ردیابی و تشخیص خاتمه ردیابی) می‌باشد که در شکل ۱ مشخص شده‌اند[۷].

قبل از هرچیز بایستی وجود یک هدف تشخیص داده شود. برای اینکار ازیک فایل حاوی نقاط کلاتر استفاده می‌شود، بدین ترتیب که نقاط بدست آمده توسط استخراجگرداده با نقاط ذخیره شده در فایل داده‌های ایستان (نقشه کلاتر)[۲] مورد آزمایش همبستگی قرار می‌گیرند. این نقاط جدید یا ناشی از نقاط کلاتری هستند که توسط پردازشگر سیگنال حذف نشده‌اند، یا متعلق به آژیر غلط هستند و یا ناشی از سیگنالهای بازگشتی ازاهدافند. درصورتیکه داده‌ها با نقاط فایل مزبور همبسته بودند، برای نو کردن نقشه کلاتر مورد استفاده قرار می‌گیرند و در غیر اینصورت در یک فایل موسوم به فایل ردیابی‌های بالقوه [۳] قرار می‌گیرند. آزمایش همبستگی شامل تشکیل یک دروازه حول نقطه بدست آمده در هر اسکن و بررسی حضور یا عدم حضور نقطه دیگری در این دروازه در طی اسکن بعدی است.(ابعاد این دروازه را حداقل سرعت اهداف مورد نظر تعیین می‌کند). بدین ترتیب حضور داده درون دروازه به منزلهٔ ایستا بودن هدف مزبور می‌باشد و در غیر اینصورت می‌تواند بعنوان یک هدف بالقوه قلمداد شود.

فرآیند تأیید ردیابی شامل تشکیل یک دروازه حول هدف بالقوه و تست کردن موقعیت هدف درجاروب بعدی است. (ابعاد این دروازه را واریانس خطاهای اندازه‌گیری و حداکثر شتاب مورد انتظار برای اهداف تعیین می‌کند). وقتی که دو یا سه بار در چهار یا پنج جاروب متوالی هدف درناحیهٔ همبستگی قرار گرفت وجود هدف تأیید می‌شود و نقاط متناظر از فایل ردیابی‌های بالقوه به فایل ردیابی‌های تأیید شده منتقل می‌شود. علاوه بر این روش که به روش m/n (m بار موفقیت در n آزمایش متوالی) موسوم است روش دیگری موسوم به روش تست ترتیبی مبتنی بر تابع امتیاز نیز در [۱] معرفی شده است.

پس از تشخیص و تأیید ردیابی، برای استمرار ردیابی، تست همبستگی داده‌های جدید با ردیابی‌های تأیید شده ضرروت می‌یابد. این عمل الگوریتم تخصیص داده‌ها نامیده می‌شود. اینکار از سه مرحله دروازه‌بندی، تست همبستگی و



شکل ۱ – مراحل اساسی درروش آشکارسازی و ردیابی اتوماتیک

تخصیص تشکیل می‌شود. در این رابطه نخستین کار تعیین دروازه‌ای حول موقعیت پیشگویی شده هدف می‌باشد. (ابعاد این دروازه را واریانس خطای پیشگویی تعیین می‌کند). پس از تشکیل دروازه، اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیشگویی شده هدف را بدست آورده و نرمالیزه می‌شوند و با ابعاد دروازه مقایسه می‌شوند و نقاط درون دروازه کاندیدا برای نوکردن تعقیب می‌شوند. در [۱] دو روش مهم دروازه‌بندی موسوم به دروازه‌های مستطیلی و بیضوی مورد بحث واقع شده‌اند و از جهات مختلف با یکدیگر مقایسه شده‌اند. پس از دروازه‌بندی و تست همبستگی، بایستی بین داده‌های مختلف موجود در دروازه، عمل تخصیص انجام گیرد. دو روش عمده برای عمل تخصیص وجود دارد. نخستین روش موسوم به روش "نزدیکترین همسایه" است. در این روش به هر تعقیب و موقعیت پیشگویی شدهٔ آن فقط نزدیکترین داده، تخصیص یافته و باقیماندهٔ نقاط حذف می‌شوند. روش دیگرکه به روش، "همه همسایه‌ها" موسوم است، از تمام نقاط واقع در دروازه برای نوکردن ردیابی استفاده می‌شود. به اینصورت که هر یک براساس فاصله‌شان از موقعیت پیشگویی شده، وزن دهی شده و ازترکیب آنها برای نوکردن ردیابی استفاده می‌شود.

پس از تخصیص و نوشدن ردیابی توسط دادهٔ جدید، بایستی پارامترهای هدف برای جاروب بعدی پیشگویی شده و سپس براساس موقعیت پیشگویی شده و دادهٔ تخصیص یافته در اسکن بعدی، عمل فیلتر کردن صورت گرفته و با اینکار یک منحنی هموارتر برای مسیر حرکت هدف بدست آید. فیلترها به سه دسته کلی خطی، غیر خطی و وفقی تقسیم می‌شوند. فیلترهای خطی می‌توانند دارای ضرایب ثابت بوده و یا ضرایب متغیر داشته باشند.

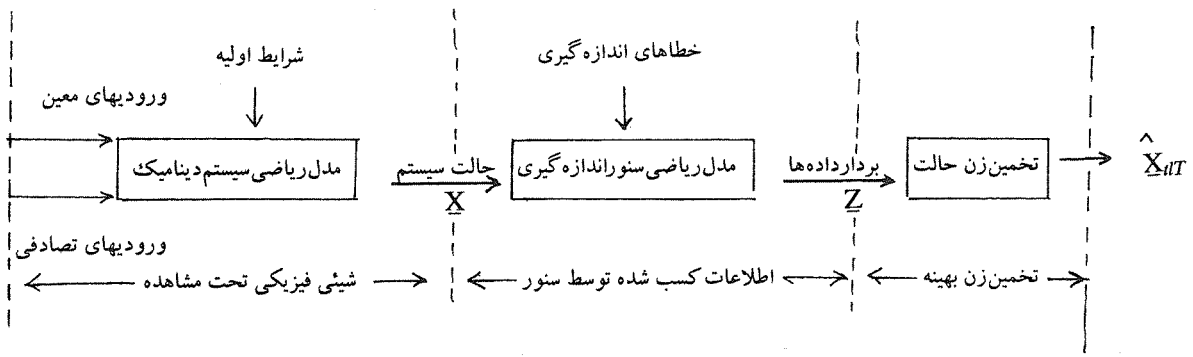
برای استمرار ردیابی چنانکه گفته شد، تست همبستگی ضرورت دارد. در این تست دو مورد ممکن است اتفاق بیفتد: یک یا تعداد بیشتری داده درون دروازه واقع شوند و یا اینکه هیچ داده‌ای درون دروازه قرار نگیرد. در صورت اول براساس الگوریتم تخمین، ردیابی نو می‌شود و اعمال پیشگویی و فیلتر کردن ادامه می‌یابد و در صورت دوم بایستی با برونیابی و براساس تخمین‌های قبلی، ردیابی همچنان ادامه یابد. اگر اینمورد برای چند جاروب متوالی تکرار شود، یعنی درچند جاروب متوالی، هیچ داده‌ای درون دروازه واقع نشود، بایستی ختم ردیابی اعلام شده و ردیابی مزبور از فایل ردیابی‌های تأیید شده خارج گردد.

۲) مبانی ریاضی پردازش اطلاعات

اساس کار در پردازش اطلاعات برتئوری تخمین و یا فیلتر کردن تصادفی استوار است که خود شاخه مهمی از تئوری سیستمهای دینامیک مدرن است. کاربرد عمدهٔ این تئوری در سیستمهای مخابراتی وکنترل اتوماتیک است و ایدهٔ سیستم دینامیک مقدمه‌ای برای دستیابی به یک توصیف ریاضی از رفتار ورودی - خروجی یک سیستم فیزیکی است. پاسخ این معادلات از طریق تئوری فیلترهای تصادفی داده می‌شود. عمل تعیین یک مقدار ازیک وضعیت سیستم نامشخص با پارامترهای داده شده آن همراه با نویز را تخمین تصادفی می‌گویند. مدلهای ریاضی سیستم و سنسور اندازه‌گیری عموماً معلوم فرض می‌شوند.

بهینگی، مفاهیم متعددی می‌تواند داشته باشد که در [۱] به انواع مختلف حداقل مربع خطا (LSE)[۵]، حداقل میانگین مربع خطا (MSE)[۶] ، حداکثر امکانپذیری (ML)[۷] و بیز (Bais) ... اشاره شده است. اما عموماً معیار MSE مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۲ مسأله تخمین را به تصویر کشیده است.

x نمایش بردار حالت، Z بردار اندازه‌گیری شده و $\hat{X}_{t|T}$ تخمین حالت در زمان t براساس اطلاعات حالت در فاصله [T و ۰] می‌باشند. چنانکه در شکل دیده می‌شود دو عنصر اساسی که در طراحی تخمین زن دخالت دارند مدلسازی سیستم (خواص سینماتیک هدف و مانورهای آن) و سنسور اندازه‌گیری (رادار و خطاهای اندازه‌گیری) می‌باشند.



شکل ۲ - معرفی مراحل مختلف یک مسئله تخمین

شکل ۳- انواع مختلف مدل کردن مانور هدف، الف : نویز سفید ، ب : نویز رنگی ، پ و ت : نیمه مارکف

مدل کردن سیستم دینامیک در ابتدا احتیاج به تعیین متغیرها یا حالت هدف دارد. تعیین تعداد و نوع متغیرهای حالت و اینکه در چه سیستم مختصاتی بیان شوند، بستگی به مورد کاربرد دارد. در فصل دوم مرجع [۱] در خصوص مزایا و معایب استفاده از سیستمهای مختصات دکارتی، قطبی، مختلط و مبنا هدف و انتخاب متغیرهای حالت مناسب به تفصیل بحث شده است. مرحله بعدی شامل مدل کردن توانایی‌های مانور هدف است که نقش مهمی در مدل کردن رفتار هدف دارد.

ساده‌ترین روش برای مدل کردن شتاب هدف، تقریب آن با یک متغیر تصادفی ایستان با توزیع گوسی، با میانگین صفر و واریانس مناسب σ^2_a است. در این مدل شتاب در یک فاصلهٔ زمانی، مستقل از مقدار آن در فواصل دیگر در نظر گرفته می‌شود و حرکت هدف، با سرعت ثابت فرض شده و تغییرات از این سرعت ثابت، در نویز شتاب ملحوظ می‌شود. علیرغم منطبق نبودن فرضیات این مدل با واقعیت، به لحاظ سادگی نتایج، این روش بیشترین مورد کاربرد را دارد. روش واقعی‌تر، مدل کردن شتاب با یک نویز رنگی (همبسته) است، چراکه در عمل، شتابها و مانورهای اهداف فرآیندهایی همبسته‌اند. بطور نوعی برای یک چرخش کند، شتاب حاصله برای بیش از یک دقیقه همبسته است. مانورهای سریعتر، برای زمانهایی بین ۱۰ تا ۳۰ ثانیه همبسته‌اند. این مدل به مدل سینگر موسوم است. در دو مدل یاد شده، شتاب بصورت یک فرآیند ایستان در نظر گرفته می‌شود. برای انطباق بیشتر با واقعیت، ناچار ازدر نظر گرفتن شتاب بصورت یک فرآیند غیر ایستان می‌باشیم. روش مرسوم در اینمورد، مدل نیمه مارکف[۸] شتاب هدف است. در این مدل فرض می‌شود که مانور هدف یک فرآیند تصادفی با یک تعداد محدود حالت، که برطبق احتمالات انتقال یک فرآیند مارکف، تغییر حالت می‌دهد. مدلسازی شتاب در این روش به دو طریق میسر است. روش اول فرض می‌کندپس از قرار گرفتن شتاب در هر یک از حالات از پیش‌تعیین شده، شتاب بصورت یک نویز سفید مدلسازی شود و روش دوم فرض را برنگی بودن نویز شتاب در هر یک از محدوده‌های از پیش تعیین شده می‌گذارد. برای درک بهتر مطلب، شکل ۳، تفاوت ایده‌های مختلف مدلسازی هدف را نشان می‌دهد [۷] .

در یک سیستم زمان گسسته، در حالت کلی بردار حالت سیستم در لحظه $k+1$ تابعی از حالت سیستم در لحظه k ، بردار $\underline{U}_k$ (نمایش ورودی معین) و $\underline{V}_k$ (نمایش ورودی تصادفی) است.

$$\underline{S}_{k+1} = \underline{f}\ (\ \underline{S}_k\ ,\ \underline{U}_k\ ,\ \underline{V}_k\ ,\ k\ ) \qquad (۱)$$

مدل کردن سنسور شامل دو مرحله اساسی است : اول مدل کردن ارتباط بین بردار حالت هدف و بردار مشاهدات بدست آمده توسط سنسور است. در حالت کلی، رابطهٔ بین بردار مشاهدات و حالت هدف رابطه‌ای غیر خطی است و $\underline{Z}$ تابعی از زمان، حالت هدف و خطای اندازه‌گیری $\underline{w}$ است:

$$\underline{Z}_{k+1} = g\ (\ \underline{S}_{k+1}\ ,\ \underline{w}_{k+1}\ \ ,\ k+1\ ) \qquad (۲)$$

دوم مدل کردن خطاهای اندازه‌گیری است. این خطاها تابعی از مشخصات رادار، هدف و محیط می‌باشند، ولی برای ساده‌سازی عمدتاً فرآیندها، گوسی و سفید با میانگین صفر فرض شده و انحراف استاندارد آنها بر پایه مشخصات سنسور و پردازشگر سیگنال تعیین می‌شود. در [۱۱] و [۱۲] روش عمومی و دقیق بررسی خطاهای اندازه‌گیری ناشی از نویز حرارتی و پدیده‌هایی چون گلینت [۹] ، تغییر پس فاز [۱۰] . مالتی پت [۱۱]، و ... ارائه شده است. در [۱۳] نیز روش دیگری برای محاسبه خطا در اندازه‌گیریهای برد و زاویه سمت و شیفت دوپلر ارائه شده است، ولی در عمل از رابطه تقریبی $\sigma_M = KM / \sqrt{S/N}$ برای بدست آوردن انحراف استاندارد یک اندازه‌گیری M رادار استفاده می‌شود. که در آن S/N نسبت توان پیک سیگنال به توان نویز در خروجی گیرنده رادار منطبق و k ثابتی است که مقدارش نزدیک به یک است [۷]. در [۱] خطاهای ناشی از پردازش سیگنال و تبدیل مختصات نیز بررسی شده‌اند. برحسب اینکه سیستم و سنسور چگونه مدلسازی شوند، تخمین زنهای حالت متفاوتی وجود خواهند داشت که به سه دسته کلی خطی، غیر خطی و وفقی تقسیم می‌شوند که متداولترین آنها، تخمین زنهای خطی و مهمترین آنها، الگوریتم مشهور کالمن است. این الگوریتم در صورتی بهینه است که مدلهای دینامیک سیستم و سنسور خطی بوده و خطاهای اندازه‌گیری و مانور هدف، نویزهایی با توابع توزیع احتمال گوسی در نظر گرفته شوند. در اینصورت معادلات ۱ و

۲ به شکل زیر در می‌آیند:

$$\underline{S}_{k+1} = \Phi_k \underline{S}_k + \underline{B}_k \underline{U}_k + \underline{G}_k \underline{V}_k \qquad (۳)$$

و

$$\underline{Z}_{k+1} = H_{k+1} S_{k+1} + \underline{L}_{k+1} \underline{w}_{k+1}$$

که در آن Φ_k نمایش ماتریس انتقال حالت بوده و $\underline{B}_k$ و $\underline{G}_k$ برای منظور کردن توانائی هدف در تغییر حالت با استفاده از تغییرات ورودی است. ماتریس H_k نیز برای بیان روابط بین بردار حالت و بردار مشاهدات است و $\underline{L}_k$ نیز رابطه خطاهای اندازه‌گیری با بردار مشاهدات را بیان می‌کند. روابط فیلتر خطی و تراجعی کالمن به قرار زیرند: [۱۴]

رابطهٔ پیشگویی حالت:

$$\hat{\underline{S}}_{k+1|k} = \Phi_k \underline{S}_{k|k} + \underline{B}_k \underline{U}_k \qquad (۴)$$

رابطهٔ فیلترکردن:

$$\hat{\underline{S}}_{k|k} = \underline{S}_{k|k-1} + \underline{k}_k (\underline{Z}_k - H_k \underline{S}_{k|k-1}) \qquad (۵)$$

در روابط فوق $\underline{k}_k$ ماتریس بهرهٔ کالمن است که بصورت تراجعی براساس ماتریس کواریانس پیشگویی و ماتریس کواریانس نوآوری بدست می‌آید [۱۴]. پاسخ فیلتر کالمن درحالت دائمی و نیز مؤلفه‌های بهره درحالت دائمی در مرجع [۱] بررسی شده‌اند.

درحالتی که مسیر هدف مستقیم‌الخط بوده و نویز اندازه‌گیریها ایستان باشد، فیلتر بهینه به یک فیلتر خطی با ضریب ثابت به نام α-β تقلیل می‌یابد که حالت تعمیم یافته آن به α-β-γ موسوم است. بررسی مفصل این دوفیلتر و نیز فیلتر ویز که از ماتریس بهرهٔ حالت دائمی کالمن استفاده می‌کند در[۱] آمده است. از آنجا که در عمل رابطه بین داده‌ها و پارامترهای دینامیکی هدف غیرخطی است، علیرغم پیچیدگی زیاد محاسباتی و عملیاتی و پیدا نشدن جوابهای صریح برای معادلات، گاهی اوقات ناچار به استفاده از فیلترکردن غیر خطی هستیم. پاسخ بهینه MSE تخمین زدن غیر خطی، میانگین احتمال پسین $\underline{S}_k$ به شرط داده‌های $\underline{Z}_k$ تا لحظه k ام می‌باشد، یعنی:

$$\hat{\underline{S}}_{k|k} = E \{ \underline{S}_k \mid \underline{Z}^k \} \qquad (۶)$$

در مرجع [۱] ، فیلترهای غیرخطی متداول چون فیلتر کالمن توسعه یافته و فیلتر گوسی مرتبه دوم و تخمین‌زن غیرخطی مبتنی بر روشهای تبدیل داده‌ها و خطی‌سازی آماری بررسی شده‌اند. در تئوری فیلترکردن خطی و غیرخطی، فرض بر وجود اطلاعات زیادی راجع به سیستم و پارامترهای آن بود، درحالیکه درعمل اغلب چنین نیست و عوامل زیادی چون وقوع مانور، امکان وجود چند هدف واکوهای مجازی، موجب ایجاد ابهام و عدم قطعیت می‌شوند. به این ترتیب ضرورت استفاده از الگوریتمهایی که پارامترها یا ساختمان فیلتر را منطبق برمحیط واقعی تغییر دهند حس می‌شود. تئوری فیلتر وفقی به پاسخ بهینه و شبه بهینه این مطلب می‌پردازد. اگر α را نمایش همه پارامترهای مبهم بدانیم پاسخ بهینه تخمین‌زن وفقی از انتگرالگیری تخمین بهینه وزن داده شده به ازای هر یک از پیشامدهای α روی تمامی بردارهای α بدست می‌آید. یعنی:

$$\hat{\underline{S}}_{k|k} = \int_A \hat{\underline{S}}_{k|k}(\underline{\alpha})\, P(\alpha \mid \underline{Z}^k)\, d\underline{\alpha} \qquad (۷)$$

در [۱] پاسخهای بهینه و شبه بهینه مبتنی بر روشهای بیز و غیر بیز مورد بحث واقع شده‌اند. ساده‌ترین روش برای تقریب یک فیلتر وفقی، استفاده از یک آشکارساز مانور و سپس اعمال تغییراتی در فیلتر جهت تنظیم بهتر و تخمین دقیقتر حالت سیستم می‌باشد. الگوریتمهای مختلفی برای آشکارسازی مانور و مکانیزمهای مختلف تطبیق شدن در [۱] مورد بحث واقع شده است. چنانکه قبلاً نیز بیان شد به لحاظ وجود ابهام در مدل سیستم و حالت هدف و نیز وجود کلاترو ... برابر یک نبودن احتمال آشکارسازی، در عمل برای تخمین بهینه، بایستی از تخمین زن وفقی استفاده کرد و برای داشتن پاسخ بهینه، بایستی با حفظ تاریخچهٔ تعقیب، داده‌های اشتباه را تشخیص داده و حذف کرد. تاریخچهٔ تعقیب به تمامی داده‌هایی که در هر جاروب داخل دروازه همبستگی قرار دارند گفته می‌شود. اگر تاریخچهٔ تعقیب را با $X^{k,l}$ و تعداد کل دنباله‌های موجود در آنرا با L_k نمایش دهیم و احتمال پسین صحت هر یک از L_k دنباله را با P_{kl} نمایش دهیم، فیلتر تعقیب بهینه، ترکیب خطی همه تخمین‌هایی است که براساس هر یک از این دنباله‌ها حاصل می‌شود. همچنین احتمال پسین اینکه هیچ داده‌ای صحیح نباشد و همه متعلق به آژیر غلط باشند نیز در هر مرحله در نظر گرفته می‌شود.

$$\hat{\underline{S}}_{k|k} \triangleq E \{ S_k \mid \underline{Z}^k \} = \sum_{l=1}^{Lk} P_{kl} \qquad (۸)$$

$$E \{ \underline{S}_k \mid X^{k,l}, \underline{Z}^k \} = \sum_{l=1}^{Lk} P_{kl} \hat{\underline{S}}_{k|k}$$

چنانکه از رابطهٔ فوق بوضوح پیداست در این روش حجم حافظه و تعداد محاسبات لازم بطور نامحدودی با زمان افزایش پیدا می‌کند. یک روش متداول برای جلوگیری از این امر، در نظر گرفتن دنباله‌های N اسکن قبل است . به این روش تقریب N اسکن می‌گویند. در عمل بیشتر از تقریب N اسکن با N=۰ استفاده می‌شود. (N=۰ یعنی فقط اسکن حاضر مورد آزمایش قرار می‌گیرد). چنانکه قبلاً نیز اشاره شد، دو روش اساسی در تخصیص وجود دارند که به روشهای NN [۱۲] و AN [۱۳] موسومند. فیلتر وفقی با تقریب N اسکن مبتنی بر روش NN به NNSF [۱۴] و فیلتر مبتنی بر روش AN به PDAF [۱۵] موسوم است. در فیلتر PDA ، احتمالات $P_{k,i}$ و $P_{k,0}$ (احتمال پسین تعلق i امین داده در k امین اسکن به هدف واقعی و احتمال پسین اشتباه بودن تمامی داده‌ها) را بر حسب P_d و P_g (احتمال حضور هدف در دروازه) ، β_f (تعداد متوسط آژیر غلط در واحد

حجم) و V_k (حجم دروازهٔ همبستگی) ، M (ابعاد بردار حالت) و $\underline{S}_k$ (بردار حالت) بدست آمده و از آنها بعنوان اوزان در ترکیب خطی بردار مانده‌های هر یک از داده‌ها با موقعیت پیشگویی شده استفاده می‌شود. فیلتر PDA پس از محاسبه احتمالات مذکور و یافتن بردار نوآوری [۱۶] (ترکیب خطی بردار مانده‌ها) به اصلاح ماتریس کواریانس خطای فیلتر می‌پردازد: [۳]

$$\hat{\underline{P}}_{k|k} = [\, P_{k,0}\ \hat{\underline{P}}_{k|k-1} + (1-P_{k,0})\ \hat{\underline{P}}_{k|k}]$$
$$+ [\underline{k}_k\ (\sum_{i=1}^{mk} P_{k,j}\ \underline{Y}_{k,i}\ \underline{Y}^T_{k,i} - \underline{Y}_k\ \underline{Y}_k^T)\ \underline{K}_k^T\ ]$$

جمله اول در رابطه فوق وزن لازم را به پیشگویی قبلی می‌دهد و جمله دوم میزان افزایشی است که در اثر وقوع سایر داده‌ها درون دروازه همبستگی حاصل می‌شود. در رابطهٔ فوق $\underline{k}_k$ بهرهٔ کالمن و $P^*_{k|k}$ ماتریس کواریانس کالمن استاندارد و $\underline{Y}_k$ بردار نوآوری و $\underline{Y}_{k,i}$ بردار مانده‌ها (تفاضل داده i ام از موقعیت پیشگویی شده هدف k ام) می‌باشد. در حالتی که هدف مانور دهنده باشد، ترکیب آشکار ساز مانور و فیلتر PDA ضرورت دارد. در مرجع [۳] PDAF با ابعاد متغیر (که ابعاد حالت با آشکار شدن مانور روی مقادیر مختلف سویچ می‌کند) و PDAF وفقی چند مدلی بحث شده است که در واقع یک بانک فیلترهای PDAF است. ضمناً مرجع [۸] نیز روشهای تعمیم یافته دیگری مبتنی بر آشکار ساز مانور ارائه داده است.

در حالتی که چند هدف وجود داشته باشند امکان رویهم افتادگی دروازه‌های همبستگی و وقوع داده‌ها در بیش از یک دروازهٔ همبستگی وجود دارد. در اینگونه موارد نیز پاسخ بهینه با داشتن تاریخچه تعقیب و در نظر گرفتن فرضهای مختلف تعلق هر یک از داده‌ها به هریک از ردیابی‌ها و غلط بودن داده‌ها و یا تعلق آن به اهداف جدید و ارزیابی احتمالات آنها داده می‌شود. مجدداً برای ساده‌سازی روشهای مختلف تقریب زدن ضرورت دارد و روشهای کلی مبتنی بر معیارهای AN و NN وجود دارند. در روشهای مبتنی بر NN، ابتدا یک ماتریس تخصیص که سطرها و ستونهای آن به ترتیب مبین تعداد ردیابی‌ها و تعداد داده‌ها می‌باشد و عناصر این ماتریس، احتمالات پسین یا پیشین تخصیص هر داده به هر یک از ردیابی‌ها می‌باشند، شکل گرفته و سعی در یافتن عناصری در هر ردیف می‌شود که مجموع آنها حداقل مقدار ممکنه را داشته باشد و یا با روشهای ساده‌تر بدنبال پاسخهای شبه بهینه هستیم.

در روشهای مبتنی بر معیار AN نیز تعمیمی از فیلتر PDA موسوم به JPAD [۱۷] عمومیت دارد. در JPDA بهرهٔ تخمین حالت و کواریانس مشابه روابط PDA اصلاح می‌شوند و تنها محاسبه احتمالات Pij بایستی به حالت چند هدف تعمیم یابد. روش کلاسیک و کلی JPDA در [۳] و تقریب‌های خاصی از آن در [۴] و [۵] مطرح شده است. الگوریتمهای تعمیم یافته‌ای از JPDA برای اهداف مانور دهنده و برای شبکه‌های راداری و حالات چند سنسوری ارائه شده‌اند که بعنوان نمونه می‌توان به [۶] و [۹] اشاره کرد.

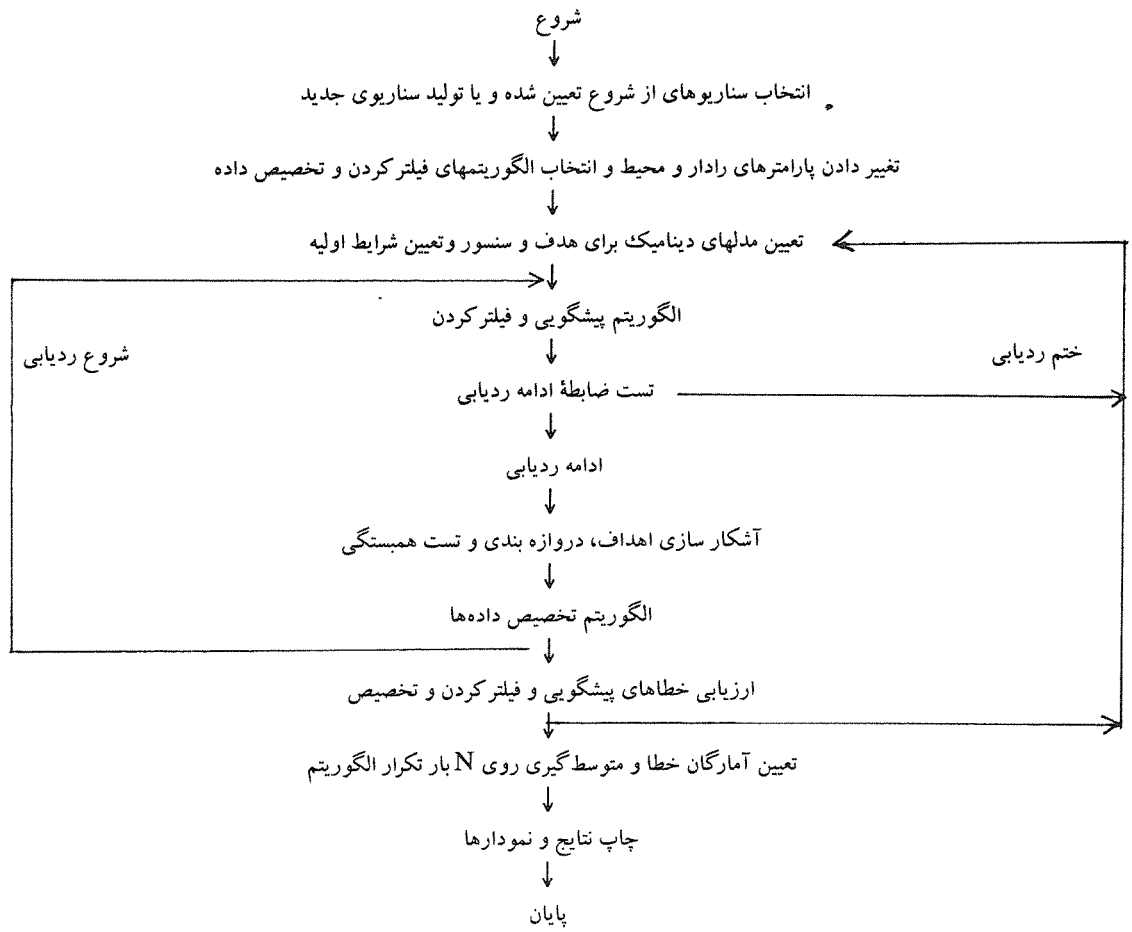
در مواردی که یک دسته هدف روی صفحهٔ رادار ظاهر شوند، بنظر می‌رسد بهترین کار در نظر گرفتن آنها بصورت یک نقطه در مرکز جرمی (مرکز ثقل) نقاط و اهداف است. آنچه در اینگونه موارد اهمیت دارد کنترل رفتار سینماتیکی میانگین مجموعه و آشکارسازی اهداف جدا شده از مجموعه است. مرجع [۱۰] دو روش برای ردیابی گروهی موسوم به روشهای ردیابی گروهی مرکز ثقل [۱۸] و ردیابی گروهی متشکل [۱۹] ارائه داده است.

۳) شبیه‌سازی پردازشگر اطلاعات

دو روش متداول برای ارزیابی سیستم، روش تحلیلی آنالیز کواریانس و روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو است که در این میان روش شبیه‌سازی بعنوان بهترین روش برای آنالیز، طراحی و تست سیستم‌هایی که رفتار آنها بسادگی قابل ارزیابی نیست شناخته شده است. علت این امر ازطرفی، عدم دقت مطلوب روشهای تحلیلی متداول و پیچیدگی آنها و از طرف دیگر، وجود کامپیوترهای سریع با قدرت زیاد و ارزان می‌باشد. مزیت کلیدی این روش انعطاف‌پذیری فوق العاده آن می‌باشد.

در این بخش به معرفی برنامه‌ای می‌پردازیم که هدف از آن شبیه‌سازی پردازشگر اطلاعات در رادارهای TWS و مقایسه کارآیی الگوریتمهای مختلف فیلتر کردن و تخصیص داده‌ها تحت شرایط مختلف می‌باشد. برنامهٔ نوشته شده بنام RDP [۲۰] بوده و دارای روندنمای (فلوچارت) زیر است:

برنامهٔ شبیه‌سازی RDP توسط نرم‌افزار مطلب (MATLAB) نوشته شده است و توضیحات هر زیر برنامه توسط راهنمایی خواستن از آن روی صفحه ظاهر می‌گردد. علاوه براین، برنامه دارای یک مقدمهٔ کلی است که در آن شرح مختصری از ایده‌های پردازش اطلاعات، روند نمای برنامه و معرفی ورودی و خروجیهای هر زیر برنامه است. کلیه این توضیحات به زبان فارسی نوشته شده است. زمان اجرای برنامه برحسب نوع سناریوی انتخابی (تعداد اهداف و داده‌ها)، الگوریتم فیلتر کردن و تخصیص و حضور یا عدم حضور کلاتر در شبیه سازی متغیر است. ولی بطور متوسط یکبار اجرای الگوریتم برای یک داده، بین ۴/۵ تا ۱۰ ثانیه روی مینی کامپیوتر IBM - AT (باکلاک 12MHZ و پروسسور 80286) طول می‌کشد. به عنوان مثال برای سناریویی شامل ۵۰ داده ازیک هدف بین ۴ تا ۸ دقیقه برای یکبار اجرای برنامه بایستی منتظر بود. و در طی این مدت بین ۶۰۰ تا ۸۰۰ هزار عملیات



ممیز شناور انجام می‌گیرد. کار با برنامه بسیار ساده بوده و استفاده کننده فقط کافی است سؤالات را با بلی و خیر و یا مشخص کردن شماره الگوریتم انتخابی خود یا وارد کردن یک عدد مشخص نماید.

متغیرهای حالت در مختصات دکارتی بیان می‌شوند. داده‌های رادار، دو بعدی و در مختصات قطبی فرض شده‌اند. برای مدلسازی شتاب هدف از مدل نویز سفید استفاده شده که قابل تبدیل به مدل نویز رنگی نیز می‌باشد. برای مدلسازی خطا، فرض شده است خطا در مؤلفه‌های قطبی (برد و سمت) مستقل از یکدیگر بوده و بصورت مؤلفه‌های نویز گوسی با میانگین صفر باشند. پس از این مدلسازی با گرد کردن نتایج به ابعاد سلول تفکیک فاصله، خطای ناشی ازاستخراجگر داده شبیه سازی می‌شود. برای شبیه سازی کلاتر و آژیر غلط به ترتیب از دنباله‌های تصادفی گوسی همبسته و ناهمبسته با احتمالات وقوع P_c و P_{fa} استفاده شده است. ضریب همبستگی دنباله تصادفی گوسی همبسته در شبیه سازی کلاتر مبین شکل کلاتر است.

برای شبیه سازی احتمال آشکارسازی، از مقایسه یک عدد تصادفی با توزیع یکنواخت، با سطح آستانه‌ای برابر احتمال آشکارسازی استفاده شده است. در برنامه ضابطه‌ای برای شروع ردیابی در نظر گرفته نشده و فرض شده هدف در دو اسکن اول آشکار شده و ردیابی بر مبنای آنها آغاز گردد. اگر در پنج اسکن متوالی، هدف درون دروازهٔ همبستگی قرار نگرفت، تعقیب خاتمه یافته تلقی شده و فرض می‌شود مجدداً ازاسکن بعد ردیابی دیگری با دردست داشتن موقعیت واقعی شروع شود. الگوریتم تخمین در دو مرحله صورت می‌گیرد. مرحله فیلتر کردن و پیشگویی و مرحله تخصیص داده. برای الگوریتم فیلترکردن و پیشگویی، فیلترهای خطی کالمن و $\alpha - \beta$ و برای مرحله تخصیص داده، الگوریتمهای NN، PDA و JPDA قابل اجرا هستند. به این ترتیب با انتخاب هرزوج از این الگوریتمها، می‌توان فیلترهای وفقی شبه بهینه‌ای چون NNSF , JPDAF , PDAF و ..... را شبیه سازی نمود.

برنامه دارای دو خروجی است: خروجی اول حاصل شبیه

سازی صفحه نمایشگر رادار است که همزمان با اجرای برنامه صورت می‌گیرد. داده‌های دریافتی توسط رادار اعم از سیگنالهای بازگشتی از اهداف، کلاتر و آژیر غلط در هر اسکن، توسط (٠) مشخص شده و روی صفحه با رنگهای متفاوت از یکدیگر متمایز می‌شوند. داده‌هایی که توسط الگوریتم تخصیص داده به اهداف نسبت داده می‌شوند، با (٠) مشخص می‌شوند و مسیر فیلتر شده هدف و تاریخچه یک ردیابی از ابتدا تا خاتمه یک تعقیب توسط یک خط ممتد روی صفحه نمایش داده می‌شود. علاوه بر اینها، موقعیت پیشگویی شده اهداف در اسکن بعد، در هرلحظه روی صفحه با علامت (+) مشخص می‌شود. خروجی دوم حاصل متوسط‌گیری روی نتایج بدست آمده در طی N بار تکرار الگوریتم است و مشتمل بر آمارگانهای همبستگی (احتمالات همبستگی صحیح و غلط، درصد وقوع، اهداف، کلاتر و آژیر غلط دورن دروازه و ...) و سینماتیک (میانگین مربع خطای مؤلفه‌های برد و سمت (قطبی) و x , y (دکارتی) بردارهای مختلف) هم بصورت جداول و هم بصورت نمودارها می‌باشد. علاوه بر اینها، درصد پیچیدگی هر الگوریتم نیز بر مبنای تعداد عملیات جمع، ضرب، مقایسه و دسترسی به حافظه با تقریب محاسبه شده و ارائه می‌شود. در مجموع این نتایج محک خوبی برای ارزیابی کارآیی الگوریتمهاو انتخاب الگوریتم مناسب و پارامترهای بهینه می‌باشند.

۴) نتیجه‌گیری

مقایسه نتایج شبیه‌سازی برای یک رادار دیده‌بانی اهداف هوایی نوعی، مبین آن است که :

- انتخاب سیستم مرجع مختصات دکارتی،
- مدلسازی حالت و سنسور به صورت خطی،
- مدلسازی خطای اندازه‌گیری با نویز سفید و گوسی با میانگین صفر و واریانسهای ۳۰ تا ۵۰ متر در جهت برد و ۳ تا ۵ میلی رادیان در جهت زاویه سمت و
- مدلسازی نیمه مارکف جهت شتاب هدف،

روشی مناسبی است. به علاوه جهت الگوریتم فیلترکردن، فیلتر $\alpha - \beta$ و حتی در مواردی فیلتر کالمن هم کافی نبوده و فیلتر کالمن توسعه یافته در کنار الگوریتم تخصیص دادهٔ JPDA ، مناسب می‌باشد.

پاورقی‌ها:

1- Track - While - Scan
2- Clutter Map
3- Tentative Track
4- Confirm Track
5- Least - Square Estimate
6- Mean Square Estimate
7- Maximum Likelihood Estimate
8- Semi - Markov Model
9- Glint
10- Lag Predominant
11- Multipath
12- Nearest - Neighbor (NN)
13- All - Neighbor (AN)
14- Nearest Neighbor Standard Filter
15- Probabilistic Data Association Filter
16- Innovation Vector
17- Joint Probabilistic Data Association
18- Centroid Group Tracking
19- Formation Group Tracking
20- Radar Data Processing

منابع :

1- فکوریکتا. علی، پردازش اطلاعات در رادار - پایان نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان ، ۱۳۷۰

2- *Bar - Shalom, Y. - " Multitarget - Multisensor Tracking: Advanced Applications " Artch House - 1990.*

3- *Bar - Shalom, Y. & Fortman , T.E.- " Tracking and Data Associations" - Academic Press, Orlando - 1988.*

4- *Fitzgerald; R.J. - " Development of Practical PDA Logic for Multitarget Tracking by Microprocessor" - American Control Conference, Scatlle, Washington - June. 18 - 20 - 1986.*

5- *Bar - Shalom, Y. & Chang , K. C. - A Simplification of JPDAM Algorithm" IEEE Trans . on AC. Vol. AC - 31, No . 10 - PP . 989 - 991 Oct . 1986*

6- *Bar - Shalom, Y. & Chang, K. C. & Chang, C.Y. - "JPDA in Distributed Sensor Networks " IEEE Trans. on AC . Vol. AC-31 No. 10 - PP. 889 - 897 - Oct. 1986.*

7- *Farino, A.& Studer, F.A. - " Radar Data Processing" - Research Studies Press - 1985.*

8- *Bar - Shalom, Y. & Birmiwal, K.- " On Trackig a Monouvring Target in Clutter" - IEEE Trans. On AES - Vol. AES -20. No.5 -pp.635-645-1984.*

9- *Bar - Shalom, Y. & Chang , K. C. - " JPDA for Multitarget Traking With Possibly Unresolved Measurement and Monouvers" - IEEE Trans. On AC . Vol AC - 29 - PP. 585 - 594- July 1984*

10- *Blackman, S.S. - " Multiple Target Tracking With Radar Application" - Artech House - 1984.*

11- *Skolnik, M.I. - " Radar Handbook " - Mc Grow Hill - 1970*

12- *Barton , D. & Word , H.R. - " Handbook of Radar Measurement" - Artech House - 1969.*

13- *Skolnik , M. I. - " Introduction to Radar Systems" - McGraw Hill - 1962.*

14- *Kalman, R.E.- "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems." Journal of Basic Engineering, PP. 35 - 46- March 1960.*