

تعیین خط سیر هدف‌های راداری

محمد علائی^{۱*}، رضا امیری^۲، رضا کیوانشکوه^۳، عبدالله مهملو^۴

۱- کارشناس ارشد، ۲- کارشناس ارشد، ۳- کارشناس ارشد، ۴- کارشناس، مرکز تحقیقات فجر، دانشکده و پژوهشکده فناوری اطلاعات و ارتباطات،

دانشگاه جامع امام حسین(ع)

(دریافت: ۱۳۸۹/۰۳/۲۵، پذیرش: ۱۳۸۹/۱۲/۱۲)

چکیده

به منظور ایجاد امکان پدافند در برابر اهداف مانوری و بهبود سرعت تصمیم‌گیری، در این مقاله ساختاری کلی برای مانورهای مختلف اهداف در مختصات حرکتی ارائه شده است. به علاوه، خط سیر اهداف مختلف از دیدگاه رادار شبیه‌سازی شده و شناخت مانور در ردگیری مورد توجه قرار گرفته است. به منظور ارائه ساختار کلی برای مانورهای مختلف اهداف راداری، در این مقاله نمونه‌های ارائه شده برای خط سیر اهداف به صورت یک-بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی، برای اهداف دارای مانور و اهداف غیرمانوری مورد مطالعه و شبیه‌سازی قرار گرفته است. به عنوان یک نوآوری، تأثیرات احتمال‌های آشکارسازی و آژیرخطا را در تمامی سناریوها اعمال شده است. برای تمامی نمونه‌های ارائه شده، شبیه‌سازی خط سیر انجام و در نمودارهایی در پایان مقاله آمده است. نتایج حاصل از این مقاله، می‌تواند برای ارزیابی الگوریتم‌های مختلف ردگیری در نسبت‌های مختلف سیگنال به نویز مورد استفاده قرار بگیرد.

کلیدواژه‌ها: ردگیری، خط سیر، رادار، مانور، احتمال آشکارسازی، احتمال آژیر غلط

Trajectory Determination of RADAR Targets

M. Alaei^{*1}, R. Amiri², R. Keyvanshokoh³, A. Mahdlo⁴

Fajr Research Center, Faculty and Research Center of Communication and Information Technology,
Imam Hossein University

(Received: 06/15/2010, Accepted: 03/03/2011)

Abstract

In order to provide the possibility of defense against maneuvering targets and providing better opportunity for decisions, a general structure for different maneuvers of targets have been provided in this paper. Moreover, variety of trajectories is simulated from radar perspective and the maneuver determination is considered carefully. In order to detect and track the targets trajectory to perform a proper defense, the targets motion must be simulated so that the tracking is to be done with minimal error. In order to present a general structure for maneuvers of targets, in this paper, different models for targets trajectory in one, two and three-dimensional forms for maneuvering and non-maneuvering targets are studied and simulated. As an innovation, effects of detection and false alarm probabilities were applied to the simulations. For all the presented models, trajectory simulation was done and the results are summarized in diagrams in this paper. The results can be used for evaluating different tracking algorithms in different SNRs.

Keywords: Tracking, Trajectory, RADAR, Detection Probability, False Alarm Probability

* Corresponding author E-mail: vimmalae@aut.ac.ir

۱. مقدمه

با توجه به گسترش استفاده از انواع هواگرد در جنگ‌های به‌وقوع پیوسته در قرن بیستم، این قرن را باید قرن تغییر راهبرد نبرد، به نبرد هوا-زمینی و نبرد هوایی دانست؛ هرچند که بعدها و در آستانه قرن بیست و یکم فضا به‌عنوان بعد چهارم قدرت اهمیت ویژه‌ای یافت و قدرت‌های بزرگ نظامی دنیا در صدد تسخیر آن جهت تأمین امنیت و دستیابی به اهداف خود هستند.

طی این سال‌ها هواناوه که اهمیت دستیابی به جنگنده‌ها و بمبافکن‌های جدید برای قدرت‌های بزرگ بیشتر می‌شود، اهمیت پدافند هوایی و دستیابی به جنگ‌افزارهای پدافند هوایی، از رادارهای اخطار سریع تا سامانه‌های پدافند هوایی ضد موشک و حتی آتش‌بارهای توپ ضد هوایی برای سایر کشورها حیاتی‌تر می‌شود.

یکی از مهم‌ترین موضوعات در پدافند در برابر اهداف متحرک هوایی، ردگیری صحیح و پیش‌بینی دقیق موقعیت آینده اهداف است. تاکنون روش‌های متنوعی برای ردگیری اهداف ارائه شده‌اند که در این بین روش‌هایی که مبتنی بر شناخت مانور هدف هستند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. گام اول در شناخت مانور، بررسی تحلیلی و ریاضیاتی روش‌های موجود برای حرکت اشیاء در فضای دوبعدی و یا سه‌بعدی می‌باشد. شناخت صحیح مانور می‌تواند در الگوریتم‌های ردگیری سوئیچینگ، به افزایش دقت در پیش‌بینی موقعیت آتی هدف منجر گردد.

اصولاً ردگیری و مکان‌یابی اهداف متحرک، توسط حس‌گرهای مختلف نظیر رادار و جهت‌یاب به‌منظور به‌دست آوردن مشخصات حرکتی و جنبشی^۱ اهداف می‌باشد که این مشخصات عبارتند از: مکان، سرعت، شتاب و درگاهی اوقات مسیر^۲. در فیلترهای تخمین‌گر نظیر کالمن، حالت را مجموعه همین مشخصه‌ها تعریف می‌نمایند و منظور از تخمین‌زدن و فیلتر کردن، اینست که مشخصه‌های حرکتی و جنبشی هدف متحرک را با به دست آوردن مشاهده‌ها و سنجش-های نویز آلوده شده ناشی از همین حالات هدف، استخراج و تعیین نماییم.

تعیین نحوه تغییرات و جابه‌جایی مکان هدف و سرعت و شتاب و مسیر آن بر اساس روابط ریاضی را مدل کردن حرکت و حالت‌های هدف گویند [۱]. هرچه این مدل کردن واقعی‌تر باشد مشخصه‌های حرکتی هدف بهتر و دقیقتر به دست خواهد آمد.

بنابراین آنچه که در این مقاله مد نظر است، ارائه چهارچوبی کلی برای شبیه‌سازی اهداف، با استناد به مقالات ارائه شده و واقعیت موجود برای مسئله رادار می‌باشد. یکی از موضوعات بحث برانگیز در مورد مبحث شبیه‌سازی هدف، مسئله مدل‌سازی عدم قطعیت ناشی

از حرکات هدف و خطاهای حسگر اندازه‌گیری می‌باشد [۲]. همچنین، فرض ردگیری در بیشترین برد رادار، سبب می‌شود که الزام ردگیری در حداقل SNR قابل آشکارسازی وجود داشته باشد [۳]. در این حالت، احتمال‌های P_d و P_{FA} به ترتیب سبب می‌شوند که اطلاعات سیگنال به نسبت P_{FA} در حسگر آشکارسازی نشود و به نسبت P_{FA} ، اهداف غلط آشکارسازی گردند.

همچنین اندازه‌گیری‌هایی که در سامانه‌های رهگیر و توسط حسگرها صورت می‌پذیرد، معمولاً به همراه منابع گوناگونی از نویز و اغتشاشات، مانند منابع نویز گرمایی درون سامانه و یا ناشی از کلا ترهای محیطی بوده، که به همراه سیگنال برگشتی از هدف توسط آنتن دریافت می‌شود. یکی از وظایف سامانه‌های رهگیر، حذف چنین سیگنال‌هایی است.

۲. شبیه‌سازی مسیر حرکت برای ایجاد اهداف مجازی

در رادار

اکثر الگوهای رهگیری و الگوریتم‌های ردیابی هدف، بر مبنای ردیابی بر اساس مدل بنا شده‌اند [۵]. در این دسته از روش‌ها، فرض بر این است که حرکات هدف به خوبی به وسیله یک مدل مناسب و با دقت کافی شبیه‌سازی می‌گردد [۶].

مدل‌های مختلف ارائه شده جهت شبیه‌سازی حرکات هدف بر اساس ابعاد و فضای حرکت هدف به سه دسته کلی زیر تقسیم می‌گردند: الف- مدل‌سازی هدف بر اساس حرکت یک بعدی، ب- مدل‌سازی هدف بر اساس حرکت دو بعدی، ج- مدل‌سازی هدف بر اساس حرکت سه بعدی. از طرفی یک دسته‌بندی مهم دیگر با توجه به ماهیت حرکات هدف به شکل زیر است: الف- اهداف بدون مانور، ب- اهداف با مانور.

برای اهدافی که بتوان متغیرهای حالت مربوط به آنها را در هر یک از سه جهت محورهای مختصات مستقل فرض کرد، از مدل‌های یک بعدی استفاده می‌شود. در این مدل‌ها، به‌طور معمول شتاب هدف به صورت یک فرآیند تصادفی در نظر گرفته می‌شود.

در مدل‌سازی دو بعدی هدف، فرض بر این است که هدف در یک صفحه افقی حرکت کرده و می‌تواند دارای چرخش و یا تغییر جهت باشد. از این رو معادلات حالت در راستای دو محور مختصات به یکدیگر وابسته خواهند بود.

مدل‌های مربوط به مانورهای سه بعدی اهداف به دو دسته کلی تقسیم می‌گردند. در دسته اول، فرض می‌شود که هدف دارای حرکات مانوری در یک صفحه افقی بوده و میزان مانور آن در جهت محور بسیار ناچیز است. در این صورت، جهت مدل‌کردن مانور در صفحه افقی، می‌توان از مدل‌های دو بعدی استفاده کرد.

مانور عمودی هدف با یک مدل سرعت و یا شتاب ثابت و به صورت مستقل از مدل دو بعدی مربوط به مانور افقی هدف بررسی می‌گردد.

¹ Kinematic

² Course

۲-۱. حالت بدون مانور

بردار اولیه حالت هدفی که به صورت نقطه‌ای فرض شده است، در مختصات کارتزین به صورت زیر می‌باشد [۶].

$$x_k = [x_0 \quad vx_0 \quad y_0 \quad vy_0 \quad z_0 \quad vz_0]^t \quad (۴)$$

در این رابطه x_0 ، y_0 و z_0 به ترتیب نشان دهنده موقعیت و vx_0 ، vy_0 و vz_0 نشان دهنده سرعت اولیه هدف شبیه‌سازی شده، در راستای سه محور X ، Y و Z می‌باشند. بالانویس t نشان دهنده ترانهاده می‌باشد. نمونه این حرکت به شکل زیر نوشته می‌شود [۸]:

$$x_{k+1} = Fx_k + Gw_k \quad (۵)$$

که در آن

$$F = \begin{bmatrix} 1 & T & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (۶)$$

و w_k فرم گسسته‌شده نویزهای اندازه‌گیری سامانه در راستای سه محور X ، Y و Z برابر $w_k = [w_x \quad w_y \quad w_z]^t$ می‌باشند و T بازه آشکارسازی و یا زمان اعلام هر هدف می‌باشد که در رادارهای TWS متناسب با نرخ چرخش آنتن است. رابطه G به صورت زیر بیان می‌شود.

$$G = \begin{bmatrix} \frac{T^2}{2} & 0 & 0 \\ T & 0 & 0 \\ 0 & \frac{T^2}{2} & 0 \\ 0 & T & 0 \\ 0 & 0 & \frac{T^2}{2} \\ 0 & 0 & T \end{bmatrix} \quad (۷)$$

نمونه ارائه شده فوق، به عنوان نمونه سرعت ثابت و یا نمونه نزدیک به سرعت ثابت شناخته می‌شود.

۲-۲. حالت مانوری

در صورتی که هدف دارای مانور باشد، با حرکت شتابدار مواجه هستیم. تاکنون بر اساس اینکه شتاب هدف دارای چه تابع چگالی فرض شود، نمونه‌های گوناگونی ارائه شده است. ساده‌ترین حالت آن زمانی است که تابع چگالی احتمال فرض شده برای شتاب هدف، سفید گوسی باشد [۸]. در صورتی که شتاب به صورت رنگی گوسی فرض شود، نمونه دیگری از مانور برای هدف به دست می‌آید. همچنین، شتاب می‌تواند به صورت گوسی سفید یا رنگی با میانگین پرشی در نظر گرفته شود. نمونه‌های دیگری نیز برای تغییرات شتاب پیشنهاد شده است که معروف‌ترین آنها، فرض شتاب به عنوان یک

در دسته دوم فرض بر این است که هدف دارای مانورهای سریع در فضای سه بعدی است. در این صورت، روش فوق دقت قابل قبولی نخواهد داشت. واضح است که در این مورد متغیرهای حالت هدف، در هر یک از سه جهت محورهای مختصات به هم وابستگی دارند. در فیلترهای تخمین گر حرکت، یک سامانه دینامیک معمولاً بدین وسیله مجموعه‌ای از معادلات دیفرانسیل تعریف می‌گردد که تحولات مکانی هدف را در زمان تحلیل می‌نماید. در عمل اصولاً سعی می‌گردد که این تحولات حالت سامانه، در فاصله‌های زمانی گسسته که ناشی از پرونده‌های زمانی نمونه برداری از سامانه است، جای گیرد.

رابطه زیر یک نمونه مکان‌یابی جنبشی برای ارتباط مکان یک هدف در زمان t_i و t_{i+1} خواهد بود که یک معادله دیفرانسیل می‌باشد:

$$P_{i+1} = P_i + \dot{P}_i \Delta t + \ddot{P}_i \frac{\Delta t^2}{2} + \overset{\cdot\cdot\cdot}{\ddot{P}_i} \frac{\Delta t^3}{6} + \dots \quad (۱)$$

در رابطه فوق \dot{P}_i و \ddot{P}_i و ... مشتقات اول (سرعت)، دوم (شتاب)، سوم (جهش) و ... از مسافت و مکان هدف در لحظه $t_i - t_{i+1}$ می‌باشد.

در حوزه عمل، پیاده‌سازی چنین نمونه‌ای خیلی سخت و یا تقریباً ناممکن است. لذا فقط از چند مشتق اول استفاده می‌شود که عمدتاً مشتق اول (سرعت) و مشتق دوم (شتاب) خواهد بود:

$$P_{i+1} = P_i + \dot{P}_i \Delta t \quad (۲)$$

$$P_{i+1} = P_i + \dot{P}_i \Delta t + \ddot{P}_i \frac{\Delta t^2}{2} \quad (۳)$$

با فرض اینکه سرعت و شتاب در فاصله زمانی Δt ثابت باشند، معادله (۲) را مدل با سرعت ثابت (CV) و معادله (۳) را مدل با شتاب ثابت (CA) گویند.

اگر شتاب و سرعت در فاصله زمانی Δt نیز ثابت فرض نشوند، مؤلفه‌های سرعت و شتاب را می‌توان به‌عنوان یک فرآیند مدل کرد که در زمان با یکدیگر همبستگی دارند.

اگر متغیرهای حالت هدف در هر یک از سه جهت محورهای مختصات مستقل باشند، می‌توان به‌طور مستقل در هر یک از سه جهت، معادلات حالت را بررسی نمود. در این صورت، مدل حرکت هدف یک نمونه یک بعدی خواهد بود. برای اهدافی که دارای چرخش و یا تغییر جهت باشند، متغیرهای حالت در جهت‌های مختلف محورهای مختصات مستقل نمی‌باشند.

عموماً برای اهدافی که در روی زمین و یا اهداف زیر دریا که برای آنها تغییرات سرعت و موقعیت در راستای محور Z ناچیز باشد، از یک مدل دو بعدی و برای اهدافی که در فضای سه‌بعدی حرکات مانوری دارند، از مدل‌های سه‌بعدی استفاده می‌نماییم [۷].

w بر اساس تابع چگالی وینر و یا نمایی و یا هر تابع چگالی دیگری در نظر گرفته شود، دینامیک حرکتی سامانه بر اساس نمونه در نظر گرفته شده می‌تواند متغیر باشد.

در صورتی که نویز پردازش وارد شده در نمونه دارای همبستگی باشد، نمونه‌های دیگری معرفی می‌شوند که از نظر نزدیکی به واقعیت دارای تطابق بهتری هستند. یکی از نمونه‌های معروف که در آن شتاب یک فرآیند مارکوف مرتبه اول با امید صفر^۱ و ایستای^۲ فرض می‌شود، نمونه سینگر نام دارد [۸]. در این نمونه شتاب هدف به عنوان یک فرایند مارکوف ایستای مرتبه اول و با میانگین صفر در نظر گرفته می‌شود. تابع خود هم‌بستگی شتاب نمونه سینگر به صورت نمایی بیان می‌شود:

$$R_a(\tau) = E\{a(t)a(t+1)\} = \sigma_a^2 \exp(-\alpha|\tau|) \quad (12)$$

که در آن σ_a واریانس شتاب هدف، α تابع دوره شتاب هدف به شکل $\tau = 1/\alpha$ و نشان دهنده زمان وجود مانور در دینامیک هدف است. می‌توان نشان داد که اگر ثابت زمانی مانور یعنی τ افزایش یابد، نمونه سینگر به نمونه CA نزدیک می‌شود و با کاهش τ به نمونه CV تبدیل می‌گردد. از جمله اشکالات نمونه سینگر این است که امید شتاب، صفر در نظر گرفته می‌شود. این امر سبب ایجاد خطا و بوجود آمدن نتایج غیر دقیق در تخمین متغیرهای حالت هدف خواهد شد. بنابراین باید به دنبال نمونه‌هایی رفت که خواص تصادفی آنها بیشتر جلوه نماید و یا به عبارت دیگر پیش فرض‌های آنان در مورد رفتار شتاب هدف کمتر باشد. یکی از این نوع نمونه‌ها، نمونه Current می‌باشد [۱۰]. در این نمونه، امید شتاب به صورت وقتی تغییر می‌نماید و تفاوت آن با نمونه سینگر نیز در همین نکته است. به عبارت دیگر در این نمونه، شتاب با رابطه زیر بیان می‌گردد:

$$a(t) = \tilde{a}(t) + \bar{a}(t) \quad (13)$$

در رابطه فوق $\tilde{a}(t)$ شتاب مربوط به نمونه سینگر و دارای میانگین صفر است و $\bar{a}(t)$ امید شتاب هدف می‌باشد. تخمین $\bar{a}(t)$ برای دوره نمونه‌گیری بعدی مستقیماً با توجه به اطلاعات لحظه‌ای ثبت شده از هدف انجام می‌شود. در صورتی که در نمونه سینگر از اطلاعات لحظه‌ای در تعیین و تخمین شتاب هیچ‌گونه استفاده‌ای نمی‌شود. این نمونه به شکل زیر است:

$$x_{k+1} = Fx_k + \begin{pmatrix} [T^2/2] \\ [T] \\ [1] \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} (aT-1+e^{-aT})/a^2 \\ (1-e^{-aT})/a \\ e^{-aT} \end{pmatrix} \bar{a}_k + w_k \quad (14)$$

فرآیند وینر، نمونه‌های چند جمله‌ای و نیز نمونه‌هایی که بر اساس فرآیند مارکوف پیشنهاد می‌شوند، مانند نمونه سینگر [۸] و یا فرآیندهای مارکوف شبه پرشی می‌باشد.

اگر بخواهیم ابعاد نمونه حرکتی را گسترده‌تر نماییم، می‌توانیم از مشتق شتاب هم در بیان معادلات دینامیک حرکتی هدف استفاده نماییم. در این صورت، مدل‌هایی مانند مدل جرک پیشنهاد می‌شوند. در ادامه، ماتریس‌های انتقال چند نمونه ذکر شده که برای آنها شبیه-سازی انجام شده، آورده شده است [۹].

(a) شتاب با تخصیص تابع چگالی احتمال

موقعی که مانور هدف (تغییرات ناگهانی سرعت یا شتاب) ناچیز باشد و یا اینکه هیچ‌گونه اطلاعاتی از مشخصات مانوری هدف نداشته باشیم، شتاب را یک فرآیند نویز سفید فرض خواهیم کرد. در این حالت بردار اولیه حالت در مختصات کارتزین به صورت زیر است.

$$x_k = [x_0 \quad vx_0 \quad ax_0 \quad y_0 \quad vy_0 \quad ay_0 \quad z_0 \quad vz_0 \quad az_0]^T \quad (8)$$

نمونه حرکت هدف به صورت زیر نوشته خواهد شد.

$$x_{k+1} = Fx_k + Gw_k \quad (9)$$

که در آن

$$F = \begin{bmatrix} 1 & T & \frac{T^2}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & T & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & T & \frac{T^2}{2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & T & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & T & \frac{T^2}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

رابطه G به صورت زیر بیان می‌شود.

$$G = \begin{bmatrix} \frac{T^2}{2} & 0 & 0 \\ T & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{T^2}{2} & 0 \\ 0 & T & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{T^2}{2} \\ 0 & 0 & T \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

در این نمونه، تابع چگالی w می‌تواند گوسی سفید با میانگین صفر، گوسی رنگی با میانگین صفر، گوسی سفید با میانگین پرشی و یا گوسی رنگی با میانگین پرشی در نظر گرفته شود. همچنین اگر توزیع

¹ Expectation Value

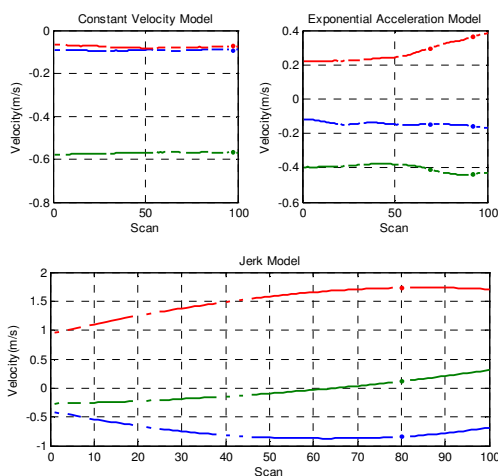
² Stationary

داده به اشتباه به آژیر خطا اختصاص داده شود. بنابراین، برای ارزیابی یک سامانه ردیابی TWS، باید در طراحی سناریو، اثر این احتمالات نیز آورده شود.

همچنین خطاهای ذاتی سامانه راداری، مانند خطا در اندازه‌گیری رنج (دقت رادار در رنج)، زاویه سمت و یا ارتفاع، مستقیماً به الگوریتم ردیابی باید وارد شوند.

۴. شبیه‌سازی‌ها

در این قسمت برای تمامی سناریوهای اعلام شده، شبیه‌سازی مسیر را انجام می‌دهیم. ماتریس دینامیک حرکت اهداف، بر اساس آنچه در بخش‌های قبلی به آن اشاره شد، در شبیه‌سازی‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. آنچه در اینجا به آن توجه شده است، تأثیر احتمالات آشکارسازی و آژیرخطا و نیز خطاهای سامانه در طراحی مشاهدات است. نمودار سرعت تخمین زده شده برای اهداف با مانور سرعت ثابت، شتابدار نمایی و مدل جرک در شکل (۱) آمده است.



شکل ۱. نمودار سرعت تخمین زده شده برای اهداف با مانور سرعت ثابت، شتابدار نمایی و مدل جرک

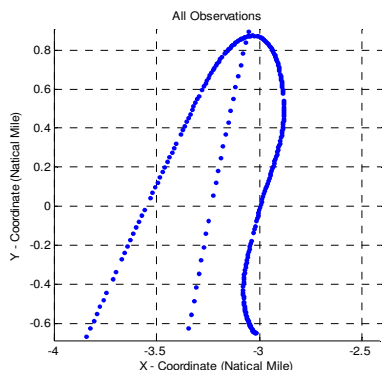
در این شکل محور افقی تعداد گذر آنتن از روی موقعیت تخمین زده شده برای هدف می‌باشد و محور عمودی نمایانگر سرعت تخمین زده شده است. این نمودارها با استفاده از رابطه کلی معادله (۵) به دست آمده‌اند. برای ترسیم نمودار سرعت ثابت، ماتریس انتقال از روی معادله (۶)، به دست آمده است. مانورهای طراحی شده، بر اساس روابط ارائه شده، در مختصات کارتزین و به صورت سه‌بعدی مدل شده‌اند، اما در شکل‌های خروجی شبیه‌سازی‌ها، به منظور خوانا بودن، فقط محورهای مختصات X و Y را نمایش داده‌ایم و از محور Z صرف‌نظر شده است. در معادله (۱)، حرکت شتابدار هدف با نویز نمایی هم مدل شده است. تمامی این نمودارها در کمترین نسبت سیگنال به نویز قابل آشکارسازی برای رادار که شرایط بدترین

که در این مدل نیز می‌توان هر تابع چگالی دلخواهی را که با شرایط هدف در حالت واقعی سازگاری بیشتری داشته باشد، برای فرض کرد. در این صورت شبیه‌سازی‌های متفاوتی در توابع چگالی مختلف به وجود می‌آید و الگوریتم ردیابی پیشنهادی، می‌تواند برای هر حالت، منحصراً مورد ارزیابی قرار گیرد.

۳. احتمال‌های آشکارسازی و آژیرخطا و خطاهای سامانه

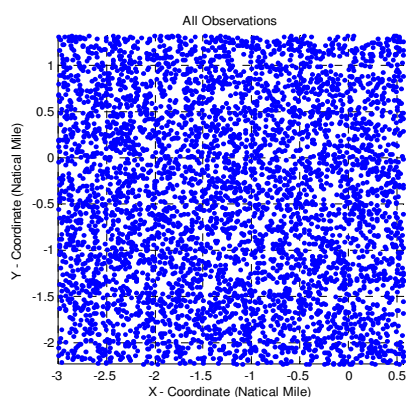
در سامانه‌های راداری، سنجش‌ها در حالت کلی می‌توانند شامل اندازه‌گیری‌هایی از اهداف مورد علاقه همراه با اغتشاش‌های ناخواسته‌ای چون نویز و تداخل‌های عمدی و غیرعمدی باشند. سنجش‌ها، کلیه اندازه‌گیری‌ها و اطلاعاتی است که توسط حسگر جمع‌آوری می‌شود و در حالت کلی، می‌توانند شامل پارامترهای جنبشی مثل موقعیت (برد، زاویه سمت و ارتفاع)، سرعت و شتاب و یا مشخصه‌های هویت همانند ضرایب بالستیک، سطح مقطع راداری هدف، نوع هدف، تعداد و یا شکل هدف باشند. مقصود اصلی از طراحی سامانه ردگیری رادار، تقسیم نمودن سنجش‌های دریافتی حسگر به مجموعه‌های مشاهدات یا ردگیری‌های ایجاد شده توسط اهداف مجزا می‌باشد. زمانی که ردگیری‌ها تشکیل و تایید شدند، می‌توان تعداد هدف‌ها و کمیت‌هایی همانند سرعت هدف، موقعیت پیش‌بینی شده آینده و حتی مشخصات کلاس هدف را برای هر ردگیری محاسبه نمود. یکی از انواع سامانه‌های ردگیری چند هدفه (MTT)، رادار ردگیری در حین مراقبت (TWS) می‌باشد که در آن اطلاعات در فواصل زمانی مشخص، مثل فاصله زمانی اسکن‌های متوالی رادار دریافت شده، و اعمال جستجوی اهداف جدید و نو کردن سابقه اهداف قبلی، به طور همزمان انجام می‌شوند. اگر بخواهیم برای یک سامانه راداری، ردگیری TWS طراحی نماییم، گام اول شبیه‌سازی سناریوی حرکتی اهداف است. سناریوی حرکتی را بر اساس آنچه پیش از این توضیح داده شد، تشکیل می‌دهیم. پس از آن باید تأثیر خطاهایی که معمولاً مشاهدات در یک سامانه راداری با آن مواجه می‌شوند را به سناریوی طراحی شده وارد کرد. گام سوم، تأثیر گذاری احتمال‌های آشکارسازی و آژیرخطا روی سیگنال است.

به منظور حفظ P_d و P_{FA} تعیین شده در طراحی به صورت وقتی آستانه گذاری انجام می‌شود. این آستانه‌گذاری سبب می‌شود که در کمترین SNR دریافتی، احتمال آژیرخطا و یا احتمال آشکارسازی ثابت بماند. به عنوان مثال، اگر آستانه‌گذاری برای $P_d = 0.9$ انجام شود، به معنی آن است، که در هر ده بار اعلام آشکارسازی، ممکن است یکبار هدف آشکارسازی نگردد و $P_{FA} = 10^{-6}$ مبین آن است که اگر و بار اعلام آشکارسازی داشته باشیم، یکبار ممکن است، هشدار کاذب به عنوان هدف نمایش داده شده باشد. بنابراین در الگوریتم‌های تخمین، اولاً ممکن است داده مشاهده دریافت نشود، که با آن پیش‌بینی‌اصلاح شود و ثانیاً در Data Association ممکن است

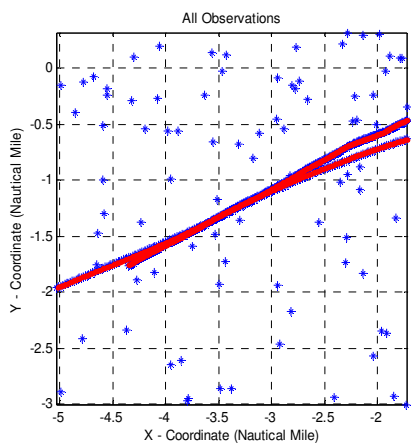


شکل ۳. تأثیر احتمال آشکارسازی در $P_d = 0.9$

خطوط پرنرنگ در شکل (۵)، خروجی فیلتر ردیاب کالمن روی دو هدف شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شوند که اهداف به خوبی ردیابی شده‌اند. البته در این مقاله هدف ما فقط طراحی سناریو می‌باشد و بنابراین وارد مبحث ردگیری نمی‌شویم.



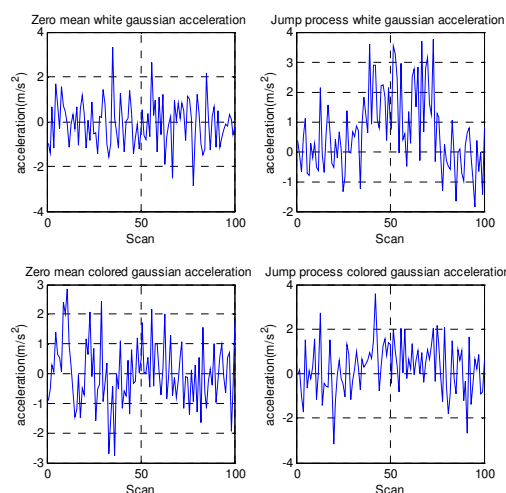
شکل ۴. پنج هدف با مانورهای مختلف در ۱۰۰۰ اسکن از نمایشگر رادار در نرخ هشدار خطای $P_{FA} = 10^{-6}$



شکل ۵. دو هدف با سرعت‌های مختلف پس از ردگیری

احتمال‌های آشکارسازی و آژیر خطا را برآورد می‌کند، ترسیم شده است. بنابراین عدم پیوستگی نمودار سرعت به دلیل احتمال آشکارسازی اعمال شده به شبیه‌سازی‌ها می‌باشد، که سبب شده است، به صورت رندم، برخی از مشاهدات پوچ گردند. همچنین دقت‌های لحاظ شده برای این شبیه‌سازی‌ها، دقت زاویه‌ای ۰.۱ درجه در سمت و ارتفاع در قسمت سوم این شکل و نیز ۱۰ متر در برد رادار می‌باشد. شکل (۲) نمایش مدل شتاب تصادفی بر اساس فرض‌های مختلف نویز سفید با میانگین صفر (a)، نویز سفید با میانگین پرشی (b)، نویز رنگی با میانگین صفر (c) و نویز رنگی با میانگین پرشی (d) را نشان می‌دهد. تمامی قسمت‌های این شکل، با استفاده از معادلات (۹) تا (۱۱) به دست آمده‌اند.

البته با این تفاوت که تابع چگالی احتمال نویز جمع شونده، می‌تواند یکی از توزیع‌های بیان شده در قسمت مربوطه باشد. در این شکل، محور افقی تعداد اسکن‌ها و محور عمودی مقدار شتاب تخمینی را نشان می‌دهد.



شکل ۲. نمایش مدل شتاب تصادفی بر اساس فرض‌های مختلف: (α) نویز سفید با میانگین صفر، (β) نویز سفید با میانگین پرشی، (γ) نویز رنگی با میانگین صفر، (δ) نویز رنگی با میانگین پرشی

تعداد اسکن‌ها در واقع تعداد گذر آنتن از روی موقعیت تخمین زده شده برای هدف است. شکل (۳) تأثیر احتمال آشکارسازی در $P_d = 0.9$ را نشان می‌دهد. در این شکل، دو هدف با مانورهای دلخواه هم‌دیگر را قطع کرده‌اند. همان‌طور که از این شکل مشخص است، در بعضی از زمان‌ها، اطلاعات سیگنال به دلیل آشکارسازی در کمترین SNR مد نظر رادار، وجود ندارد. در ردیابی TWS زمانیکه مشاهداتی وجود نداشته باشد، پیش‌بینی جایگزین مشاهده می‌شود. شکل (۴) هزار اسکن از رادار را نشان می‌دهد که به دلیل اعلام‌های آشکارسازی متعدد در این ۱۰۰۰ اسکن، False alarm آن‌قدر زیاد شده است که ۵ هدف طراحی شده در این شکل قابل رؤیت نیستند.

۵. نتیجه‌گیری

یکی از مهمترین مسائل برای طراحی یک الگوریتم ردیابی مناسب، استفاده از مدل در تشکیل سناریو و یا خط سیر می‌باشد. از آنجایی که نمی‌توان الگوریتم ردیابی را بر اساس داده‌های دریافتی از رادار طراحی کرد (به دلیل عدم امکان دسترسی به تمامی مانورهای ممکن برای اهداف در مدت زمان محدود)، در رادارها معمولاً چگونگی حرکت اهداف، با توجه به مشخصات هر سامانه مدل می‌شود. در این مقاله، مدل‌های ارائه شده در تبیین خط سیر در انواع حالت‌های یک-بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی بیان شده است. همچنین، تأثیرات احتمالات آشکارسازی و آژیرخطا در تشکیل خط سیر مورد بررسی و شبیه‌سازی قرار گرفته و تمامی سناریوهای بیان شده، شبیه‌سازی شده‌اند. شبیه‌سازی‌های به‌دست آمده می‌تواند در طراحی الگوریتم‌های ردیابی مورد استفاده قرار گرفته و با استفاده از آن، کارایی یک الگوریتم ردیابی در خط سیرهای مختلف مورد بحث و بررسی قرار گیرد.

۶. مراجع

- [1]. Bar-Shalom, Y.; Li, X. R.; Kirubarajan, T. "Estimation with Applications to Tracking and Navigation: Theory, Algorithms, and Software."; New York: Wiley, 2001.
- [2]. Fornaro, G. "Trajectory Deviations in Airborne SAR: Analysis and Compensation."; s. l. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1999, 35.
- [3]. Deng, X.; Pi, Y.; Morelande, M.; Moran, B. "Track-Before-Detect Procedures for Low Pulse Repetition Frequency Surveillance Radars."; s. l. : Radar, Sonar & Navigation, IET, 2011, 5.
- [4]. Grossi, E.; Lops, M. "Sequential Detection of Markov Targets with Trajectory Estimation."; s. l.: IEEE Transactions on Information Theory, 2008, 54.
- [5]. Baheti, R. S. "Efficient Approximation of Kalman Filter for Target Tracking."; s. l.: IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1986, 22.
- [6]. Skolnik, Merrill. L. "Radar Handbook" New York: Mc Graw Hill, 2008.
- [7]. Rong-Li, X.; Jilkov, V. P. "A Survey of Maneuvering Target Tracking, Part I: Dynamic Models."; s. l.: IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, Oct. 2003, 39, 1333-1364.
- [8]. Singer, R. A. "Estimating Optimal Tracking Filter Performance for Manned Maneuvering Targets."; IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1970, AES- 6.
- [9]. Wang, T. C.; Varshney, P. K. "A Tracking Algorithm for Maneuvering Targets."; IEEE Transactions on Aerospace and Electronics Systems, 1993, 29.
- [10]. Zhou, H.; Kumar, K. S. P. "Current Statistical Model and Adaptive Algorithm for Estimating Maneuvering Targets."; s.l.: AIAA Journal of Guidance, 1984, 7.
- [11]. Mehrotra, K.; Mahapatra, P. R. "A Jerk Model for Tracking Highly Maneuvering Targets."; s. l.: IEEE Transactions on Aerospace and Electronics Systems, 1997, 33.