Archive of SID

سیزدهمین کنفرانس انجمن هوافضای ایران
تهران، دانشگاه تهران، دانشکده علوم و فنون نوین، ۱۳ تا ۱۵ اسفند ۱۳۹۲

Aero2014P669T602

طراحی مسیر بهبودیافته برای مکان‌یابی یک منبع رادیویی توسط چندین پهپاد بر اساس ترکیب حد پایین خطای تخمین و طول مسیر

محمد صابری توکلی[۱]، سیدمحمدمهدی دهقان[۲]

۱و۲- مجتمع دانشگاهی هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، کیلومتر۲۶ اتوبان تهران-کرج

چکیده

این مقاله به دنبال ارائه روشی برای بهبود طراحی مسیر چندین پهپاد با مأموریت مکان‌یابی یک منبع رادیویی در شرایط انتشار دید غیرمستقیم (NLOS) بر اساس اندازه‌گیری‌های شدت سیگنال دریافتی (RSSI) می‌باشد. طراحی مسیر به گونه‌ای صورت می‌گیرد که بتوان همزمان سه معیار کاهش خطای تخمین، کاهش مسیر پروازی و پیوستگی مسیر پروازی را برآورده کرد. برای این منظور پرنده‌ها با بیشترین شیب درجهت کاهش حد پایین خطای تخمین (معیار حد پایین کرامر-رائو (CRLB)) و همچنین درجهت کاهش فاصله تا هدف هدایت می‌شوند. همچنین برای دستیابی به مسیر پیوسته، فرمان‌های لازم براساس جهت سرعت پهپادها صادر می‌شود. در انتها معیار CRLB به همراه کمترین فاصله از هدف به صورت همزمان، با ضرایب وزنی بی‌بعد به‌کار گرفته شده‌است.

واژه های کلیدی: *مکان‌یابی، افت شدت سیگنال، ماتریس اطلاعات فیشر، کران پایین کرامر-رائو، ، طراحی مسیر*

مقدمه

مکان‌یابی هوایی یک منبع رادیویی کاربردهای نظامی و غیرنظامی فراوانی از جمله در مأموریت‌های جستجو و نجات دارد. کاربرد مورد نظر این مقاله مربوط به شرایطی است که یک انسان که همراه با خود یک گوشی تلفن همراه یا هر منبع رادیویی خاص دیگر دارد که در یک منطقه‌ی دارای پستی و بلندی گم شده‌است و ممکن است هشیار نباشد. در این حالت مکان‌یابی منبع رادیوییِ همراه آن فرد می‌تواند برای جستجو و نجات بکار رود[۱]. مکان‌یابی این منبع بر اساس شدت سیگنال موجود در محیطِ دارای اغتشاش توسط پهپادهایی صورت خواهد گرفت. در چنین شرایطی که سیگنال رادیویی توسط عوامل محیطی دچار اغتشاش می‌شود در اصطلاح شرایط دید غیرمستقیم (Non-Line Of Sight (NLOS)) می‌گویند[۱]. مکان‌یابی منبع رادیویی بر اساس اندازه‌گیری‌های داده‌های مختلفِ شدت سیگنال دریافتی (Received Signal Strength Index (RSSI))، اختلاف شدت سیگنال دریافتی (Differential Received Signal Strength Indication (DRSSI))، زاویه ورود (Angle Of Arrival (AOA))، زمان ورود (Time Of Arrival (TOA)) و اختلاف زمان ورود (Differential Time Of Arrival (TDOA)) در پژوهش‌های بسیاری مورد بررسی قرار گرفته‌است و کماکان تلاش‌هایی برای افزایش دقت مکان‌یابی صورت می‌پذیرد. مکان‌یابی هوایی این منابع توسط یک یا چند پرنده نیز در مقالات زیادی مورد توجه بوده‌است.

همچنین برای حل مسائلی از قبیل یافتن آرایش بهینه، طراحی مسیر بر اساس معیارهای مختلف، افزایش دقت تخمین و ردیابی منبع، همکاری پهپادها برای مکان‌یابی تعداد زیاد منبع و فراهم کردن پوشش منطقه‌ای و ... تلاش‌های فراوانی شده‌است.

طراحی مسیر بهینه برای یک یا چند پرنده با مأموریت مکان‌یابی منابع رادیویی بر اساس معیارهای مختلفی صورت می‌پذیرد. معیار کران پایین کرامر-رائو (Crammer-Rao Lower Bound (CRLB)) از جمله معیارهایی است که در مقالات [۲و۳و۴] مورد استفاده قرار گرفته‌است. در این مقالات برای مکان‌یابی از سه پهپاد استفاده شده‌است که همگی آنها دارای حسگر اسکن می‌باشند و تنها یکی از آنها دارای AOA است. طراحی مسیر بهینه برای دستیابی به بیشترین دقت در مکان‌یابی از طریق تولید نقطه مسیرها بر اساس الگوریتم بیشترین شیب (Steepest Descent) است به گونه‌ای که به صورت محلی دترمینان و یا ماتریس اطلاعات فیشر(Fisher Information) بیشینه می‌گردد. مرجع[۵] آرایشی دوبعدی از سه پهپاد را در قالب مثلثی متساوی‌الاضلاع تشکیل داده‌است که قرار است ناحیه‌ای را جهت جستجو به صورت مسیر مارپیچی تحت پوشش قرار دهند. نکته‌ای که در این مرجع حائز اهمیت است این است که هنگام مانور مارپیچی به دلیل شعاع دوران متفاوت برای هر یک از پهپادها، نگهداری آرایش دشوار می‌شود و باید براساس الگوریتم خاصی آرایش را حفظ کرد. مرجع[۶] نیز آرایش متشکل از سه پهپاد را با دو پرواز مستقیم و پرواز دایره‌ای در نظر گرفته است. در پروازمستقیم پهپادها همراستا با یکدیگر به سمت هدف پرواز می‌کنند ولی در پرواز دایره‌ای پهپادها در مسیری دایره‌ای به صورت مثلث متساوی‌الاضلاع حول هدف چرخش می‌کنند و در نهایت نتیجه‌گیری شده که پرواز مستقیم زمانی کوتاه‌تری برای مکان‌یابی نیاز دارد اما با کاهش دقت همراه خواهد بود. در مقابل، دقت مکان‌یابی حاصل از پرواز دایره‌ای بالاتر است ولی زمان بیشتری برای این کار نیاز دارد. مرجع[۷] سعی کرده است علاوه‌بر معیارهای معمول در طراحی مسیر چندین پهپاد که به‌دنبال مکان‌یابی چندین منبع WiFi ثابت می‌باشند، محدودیت‌های مخابراتی پرنده‌ها را نیز در انتخاب مسیر بهینه لحاظ نماید. مرجع[۸] تعدادی پهپاد را برای مکان‌یابی چندین منبع رادیویی بکار گرفته و سعی کرده‌است مسائل مکان‌یابی منابع و طراحی مسیر برای پهپادها را توأم با یکدیگر حل نماید. یک نسخه اصلاح‌شده از طراح مسیر RRT (Rapidly- expanding Random Tree) با قابلیت تولید مجازی نقاط انتهایی مسیر و با درنظر گرفتن نقشه آنتروپی، مسیر سایر پرنده‌ها و اطلاعات مربوط به نوع زمین به‌منظور تعیین مسیر بهینه هر پرنده بکار گرفته می‌شود. مرجع[۹] نیز یکی دیگر از مقالاتی است که موضوع مکان یابی چندین منبع منتشرکننده سیگنال رادیویی توسط تعدادی پهپاد را موردتوجه قرار داده‌است. در این مسئله علاوه‌بر موقعیت اهداف، پارامترهای مدل انتشار نیز تخمین زده می‌شود. علاوه‌بر این موضوع مسئله انتخاب فرامین کنترلی

۱- کارشناس ارشد مهندسی هوافضا از دانشگاه صنعتی شریف، ۰۹۱۲۱۵۵۶۵۱۱، m_saberi@alum.sharif.ir
۲- دانشجوی دکتری برق-کنترل دانشگاه تهران، عضو هیأت علمی مجتمع دانشگاهی هوافضا

www.SID.ir

Archive of SID

هر پرنده را ازطریق ماکزیمم کردن دترمینان ماتریس اطلاعات فیشر دنبال کرده‌است. البته این مقاله به موضوع تخمین موقعیت اهداف و پارامترهای انتشار فقط در حد فرموله کردن مسئله پرداخته است و حتی شبیه‌سازی آن نیز انجام نشده است.

محاسبه‌ی CRLB، به منظور ارزیابی پایین‌ترین خطای تخمین قابل دستیابی در روش‌های مختلف مکان‌یابی بر اساس داده‌های مختلف و یا به منظور یافتن چیدمان بهینه پهپادها و انتخاب نقطه مسیرهای اندازه‌گیری بسیار مورد بررسی قرار گرفته است. به عنوان نمونه مرجع[۱۰] از طریق روش مثلث‌سازی (Triangulation Technique) به شناسایی اهداف متحرک پرداخته و در نهایت نتیجه‌گیری شده که روش مثلث‌سازی روش مناسبی برای این منظور است. مرجع[۱۱] به دنبال بهترین آرایشِ N عددی از حسگرها حول یک هدف است تا خطای مکان‌یابی کمینه گردد. این مرجع اثبات می‌کند که بهترین آرایش برای N حسگر با قابلیت یکسان، زمانی است که در یک توزیع متقارن زاویه‌ای حول هدف قرار داشته باشند. بنابراین بهترین آرایش برای سه پهپاد، مثلث متساوی‌الاضلاع خواهد بود.

این مقاله طراحی مسیر برای یک یا چند پرنده را در شرایط انتشار NLOS و بر اساس RSSI مد نظر قرار داده‌است. طراحی مسیر بر اساس معیار کاهش حد پایین خطای تخمین که توسط CRLB توصیف می‌شود، انجام می‌شود. انتشار NLOS به صورت شبیه‌سازی یک نویز با توزیع نرمال لگاریتمی بر روی شدت سیگنال دریافتی بر حسب وات و یا یک نویز دارای توزیع نرمال بر روی افت مسیر صورت می‌گیرد. تخمین موقعیت هدف نیز با استفاده از داده‌های روش کمترین مربعات (Least Square) می‌باشد. در این مقاله فرض شده‌است که توان فرستنده معلوم می‌باشد.

مکان‌یابی

همانطور که گفته شد در این مقاله موقعیت منبع رادیویی نامشخص فرض شده‌است و طراحی مسیر بر اساس محاسبه CRLB ِ آخرین تخمین موجود از موقعیت هدف صورت می‌گیرد. تخمین موقعیت هدف نیز بر اساس داده‌های RSSI با استفاده از خانواده روش‌های کمترین مربعات صورت می‌گیرد. مدل افتی که برای این منظور مورد استفاده قرار گرفته است، مدل عمومی افت مسیر (General Loss) می‌باشد که به صورت رابطه(۱) است[۱۲]:

$$PL_{dB} = PL_{d_0} + 10\lambda \log\left(d/d_0\right) \qquad (۱)$$

که در رابطه بالا PL_{dB} میزان افت شدت سیگنال بر حسب دسی‌بل، λ ضریب ثابت و برابر ۴، d فاصله حسگر از هدف، d_0 یک فاصله مرجع و برابر با ۱۰ متر، و PL_{d_0} شدت سیگنال مبنا است که متناسب با d_0 از رابطه(۲) بدست می‌آید:

$$PL_{d_0} = \log\left(4\pi d_0\right) + 10 \qquad (۲)$$

با معلوم بودن توان فرستنده و بر اساس شدت سیگنال دریافتی می‌توان بر اساس رابطه(۳) افت مسیر سیگنال را محاسبه و با استفاده از رابطه(۱) فاصله فرستنده و گیرنده را مشخص نمود.

$$PL_{dB} = 10\log\left(P_t/P_r\right) \qquad (۳)$$

که در رابطه بالا P_t شدت سیگنال ارسالی و P_r شدت سیگنال دریافتی است. بنابراین می‌توان از طریق روابط بیان‌شده فاصله را جهت استفاده در RSSI بدست آورد.

انتشار در شرایط NLOS تحت تأثیر دو پدیده‌ی سایه (Shadowing) و چند مسیری (Multipath) می‌باشد. اثر چند مسیری بر شدت سیگنال دریافتی با میانگین‌گیری از چند نمونه متوالی قابل صرف‌نظر است اثر سایه بر روی شدت سیگنال دریافتی از یک توزیع لگاریتمی نرمال تبعیت می‌کند و معادل با یک توزیع گوسین روی افت مسیر بر حسب دسی‌بل خواهد بود.

$$\hat{PL}_{dB} = PL_{dB} + \upsilon \qquad (۴)$$

در رابطه(۴)، υ تابع توزیع نرمال گوسین بر حسب دسی‌بل با انحراف از معیار σ_{sh} می‌باشد.

در مرجع[۱۳] روش کمترین مربعات برای تخمین موقعیت منبع رادیویی بر اساس RSSI با فرض معلوم بودن توان فرستنده استفاده شده‌است. چنانچه یک مسأله تخمین از فرم ارائه‌شده در روابط(۱)تا(۴) تبعیت کند، می‌توان از رابطه(۵) برای محاسبه تخمین پارامترها استفاده کرد.

$$\hat{X} = A^{-1}b \qquad (۵)$$

که مقادیر پارامترهای رابطه(۵) در تخمین هدف در روابط(۶)تا(۸) ارائه شده است.

$$A = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_2) & 2(y_1 - y_2) \\ 2(x_1 - x_3) & 2(y_1 - y_3) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_1 - x_N) & 2(y_1 - y_N) \end{bmatrix} \qquad (۶)$$

$$b = \begin{bmatrix} {d_2}^2 - {d_1}^2 - {x_2}^2 - {y_2}^2 + {x_1}^2 + {y_1}^2 \\ {d_3}^2 - {d_1}^2 - {x_3}^2 - {y_3}^2 + {x_1}^2 + {y_1}^2 \\ \vdots \\ {d_N}^2 - {d_1}^2 - {x_N}^2 - {y_N}^2 + {x_1}^2 + {y_1}^2 \end{bmatrix} \qquad (۷)$$

$$\hat{X} = \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \end{bmatrix} \qquad (۸)$$

که برای حل معادله نیاز است تا به صورت زیر عمل شود:

$$\hat{X} = A^{-1}b \quad or \quad \hat{X} = \left(A^T A\right)^{-1} A^T b \qquad (۹)$$

حل مسأله مکان‌یابی به روش حداقل مربعات بازگشتی:

حداقل مربعات بازگشتی معمولاً زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که پارامتری قرار است در یک حل بازگشتی از معادلات جبری خطی تعیین گردد. در مورد مسأله مورد نظر نیز اگر از تمام اطلاعات تخمین استفاده شود، آنگاه ماتریس A رفته‌رفته بزرگ شده و معکوس‌گیری از آن مشکل می‌شود. از این رو از روش حداقل مربعات بازگشتی جهت اجتناب از معکوس‌گیری استفاده می‌شود. حلِ حداقل مربعات بازگشتی به صورت زیر خواهد شد[۱۴]:

$$\hat{X}_i = \hat{X}_{i-1} + k\left(b - a_i^T \hat{X}_i\right) \qquad (۱۰)$$

$$k = \frac{1}{1 + a_i^T P_0 a_i} P_0 a_i \qquad (۱۱)$$

$$P_i = \left[I - k a_i^T\right] P_{i-1} \qquad (۱۲)$$

$$P_0 = \left(A_0^T A_0\right)^{-1} \qquad (۱۳)$$

X همان مکان تخمینی از هدف و a و b همان ماتریس‌های A و b در روش RSSI، حاصل از داده‌های جدید هستند. توجه شود که در هر مرحله، $\mathbf{x}_0$ همان $\mathbf{x}$ اصلی از مرحله قبل است و ماتریس P_0 نیز رابطه(۱۲) بِروز می‌شود و فقط اولین‌بار از رابطه(۱۳) بدست می‌آید.

www.SID.ir

Archive of SID

"کران پایین کرامر-رائو" برای یک داده‌برداری Nتایی

در یک تخمین ناباياس، تعیین حد پایینِ قابل دستیابی در واریانسِ خطای تخمین، معیار مناسبی برای مقایسه تخمین‌گرهای مختلف می‌باشد. حد پایین کرامر-رائو معیار تحلیلی شناخته‌شده‌ای برای محاسبه حد پایین واریانس خطای تخمین می‌باشد. به عبارت دیگر اگر $\hat{X}$ یک تخمین ناباياس از X باشد، آنگاه:

$$\sigma_{\hat{X}}^2 \geq CRLB(X) \qquad (۱۴)$$

که CRLB با استفاده از رابطه(۱۵) مشخص می‌شود که در آن $\varphi(X)$ ماتریس اطلاعات فیشر (FIM) نامیده می‌شود.

$$CRLB(X) = |\varphi(X)|^{-1} \qquad (۱۵)$$

که در حالت کلی FIM توسط رابطه(۱۶) محاسبه می‌گردد که در آن $\hat{\theta}$ مشاهدات و f تابع چگالی احتمال می‌باشد[۱۵].

$$\varphi(X) = -E\left\{\left(\frac{\partial}{\partial X}\ln f\left(\hat{\theta}|X\right)\right)\left(\frac{\partial}{\partial X}\ln f\left(\hat{\theta}|X\right)\right)^T\right\} \qquad (۱۶)$$

که در شرایط مسأله مورد نظر $\hat{\theta}$ همان افت شدت سیگنال است که با $\hat{PL}$ نشان داده می‌شود.

وقتی تابع چگالی احتمال از یک توزیع گوسین تبعیت می‌کند FIM به راحتی از رابطه(۱۷) محاسبه می‌شود که در آن J ماتریس ژاکوبین و Σ ماتریس کوواریانس نویز اندازه‌گیری می‌باشد[۲].

$$\varphi(X) = J^T \Sigma^{-1} J \qquad (۱۷)$$

با فرض η_i به عنوان نویز اندازه‌گیریِ افت مسیر (از طریق اندازه‌گیری RSSI و با فرض معلوم بودن توان فرستنده)، افت مسیر اندازه‌گیری‌شده می‌تواند به صورت رابطه(۱۳) مدل شود. برای مسأله‌ی مورد نظر ماتریس اطلاعات فیشر تابعی از موقعیت نسبی میان پهپادها و هدف خواهد بود که در رابطه(۱۸) به آن اشاره شده است[۱۶]:

$$\varphi(X) = \left(\frac{10}{ln10}\right)^2 \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{N}\frac{(x_p - x_i)^2}{\sigma_i^2 d_i^4} & \sum_{i=1}^{N}\frac{(x_p - x_i)(y_p - y_i)}{\sigma_i^2 d_i^4} \\ \sum_{i=1}^{N}\frac{(x_p - x_i)(y_p - y_i)}{\sigma_i^2 d_i^4} & \sum_{i=1}^{N}\frac{(y_p - y_i)^2}{\sigma_i^2 d_i^4} \end{bmatrix} \qquad (۱۸)$$

آنچه مهم است این است که دترمینان ماتریس اطلاعات فیشر بیشینه شود تا کران پایین کرامر-رائو کمینه گردد.

طراحی مسیر در جهت کمینه کردن CRLB

در یک مسأله تخمین موقعیت هدف توسط چندین پهپاد، یکی از اهداف طراحی مسیر به منظور رسیدن به کمترین خطای تخمین می‌باشد. کمترین خطای تخمین در چنین مسأله‌ای که یک تخمین ناباياس است، بر اساس کمترین واریانس خطای تخمین توصیف می‌گردد. بنابراین باید مسیر پهپادها در جهت کمینه کردن CRLB تخمین در هر لحظه (هر نقطه مسیر) باشد. کمینه کردن CRLB از محاسبه ژاکوبین رابطه(۱۸) و استفاده از روش بیشترین شیب انجام می‌گیرد. اگر موقعیت مکانیِ تمام پهپادها در شرایط کنونی با بردار π_i نشان داده‌شود، بهترین مکان در لحظه‌ی بعدی برای آنها به صورت زیر خواهد بود:

$$\pi_{i+1} = \pi_i - \varepsilon \frac{\partial I_x(\theta)}{\partial G_p} \qquad (۱۹)$$

که در این رابطه ε اندازه گام و G_p بردار متغیرهای هندسی است که می‌تواند مؤلفه‌های مکان پهپادها در دستگاه مختصات کارتزین و یا قطبی باشد و π_i به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\begin{cases} \pi_i = [P_1; P_2; \ldots; P_N]^T \\ P_i = [x_i; y_i]^T \end{cases} \qquad (۲۰)$$

مشکل این روش محاسبه ژاکوبین FIM بر اساس پارامترهای متعدد است. برای رفع این مشکل بهینه‌سازی، می‌توان از تقریب مرتبه اول برای مشتق‌گیری، و طراحی مسیر به صورت محلی بهره گرفت. برای این منظور، بر اساس جهت سرعت پهپادها و جابجایی در هر واحد زمانی و موقعیت فعلی آنها، مجموعه‌ای از حرکت‌های مجاز تولید می‌شود و CRLB موقعیت جدیدِ مجموعه پهپادها محاسبه می‌گردد. بر اساس این مقادیر محاسبه‌شده و مقدار فعلی CRLB تخمین، موقعیت بعدی پهپادها بر اساس بیشترین اختلاف محاسبه می‌گردد.

فرض شود N پهپاد وجود دارند و سرعت همه آنها برابر با $|v_{UAV}|$ است که تنها در جهت متغیر هستند. بنابراین بهترین مکان در لحظه‌ی بعدی برای آنها از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\pi_{i+1} = \pi_i + V_{best}\,dt \qquad (۲۱)$$

که در آن dt گام زمانی و V_{best} بردار سرعت تمامی پهپادها است که منجر به بیشترین اختلاف CRLB خواهد شد به طوریکه:

$$\begin{cases} V_{best} = [v_{UAV\,1}; v_{UAV\,2}, \ldots, v_{UAV\,N}]^T \\ v_{UAV\,i} = [v_{i\,x}; v_{i\,y}]^T \end{cases} \qquad (۲۲)$$

برای یافتن V_{best} پس از تخمین هدف در هر لحظه ، باید سرعت‌های متفاوت (از نظر جهت) را برای پهپادها متصور شد تا پهپادها در مکان جدید فرض شوند و CRLB در لحظه بعد بدست آید. از میان تمامی حالاتِ ممکن برای سرعت، آن ترکیبی از سرعت‌ها انتخاب خواهد شد که منجر به کمترین CRLB شود. سپس پهپادها در راستای سرعتِ بدست آمده یک قدم به جلو حرکت می‌کنند و مراحل قبل دوباره تکرار می‌شود. این کار منجر به بهترین تخمین از هدف تا رسیدن به آن می‌گردد.

محاسبه CRLB در طراحی مسیر برای N پهپاد که فقط موقعیت فعلی خود را در محاسبه وارد می‌نمایند با یک پهپاد که سه نقطه مسیر را در محاسبه CRLB در نظر می‌گیرد به صورت یکسان است. البته این CRLB مشابه، به مسیرهای متفاوت خواهد شد.

برای ارزیابی این نوع طراحی مسیر، روش دیگری برای این کار معرفی می‌شود که در آن پهپادها هر لحظه فقط در جهت کاهش فاصله از مکان تخمینیِ هدف حرکت می‌کنند. برای دستیابی به چنین سناریویی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$P_{i+1} = P_i + U_{(P_T - P_i)}|v_{UAV}|\,dt \qquad (۲۳)$$

که در رابطه بالا $U_{(P_T - P_i)}$ بردار یکه در راستای پهپاد به هدف است.

طراحی مسیر بر اساس محدوده مجاز سرعت پهپادها

به دلیل وجود اغتشاشات در محیط، گاهی مسیر تولیدشده براساس تغییرات ناگهانی در جهت سرعت حاصل می‌شود که در پرواز واقعی، یک پهپاد نمی‌تواند تمام این فرمان‌های سرعت را اجرا کند. از این رو بهتر است مسیر تولیدشده طوری باشد که پهپاد بتواند حداکثر سناریوی پروازی را دنبال کند. برای این منظور دو دستگاه مختصات تعریف می‌شود: دستگاه مختصات بدنی و دستگاه مختصات ناوبری. دستگاه مختصات بدنی دستگاهی است که محور ۱ آن در راستای محور طولی بدنه هر پهپاد قرار دارد و محور ۲ آن طوری است که با محور اول دستگاه راستگرد می‌سازد. دستگاه مختصات ناوبری نیز دستگاهی است که محور ۱ آن در راستای

www.SID.ir

Archive of SID

شمال جغرافیایی و محور ۲ آن طوری است که با محور اول دستگاه راستگرد می‌سازد. حال با معرفی دستگاه مختصات بدنی می‌توان جهت‌های سرعت را فقط در این دستگاه تعریف کرد به طوری که هر پهپاد فقط می‌تواند جهت سرعت خود را نسبت به محور طولی خود به اندازه‌ی مشخصی تغییر دهد. به دلیل اینکه پهپادها نسبت به دستگاه ناوبری ثابت نیستند باید ماتریس ارتباطی میان دستگاه بدنی و دستگاه ناوبری وجود داشته باشد تا سرعت‌ها در دستگاه ناوبری بیان شود. این ارتباط از طریق ماتریس به صورت رابطه(۲۴) خواهد بود.

$$C_b^n = \begin{bmatrix} \cos\psi & \sin\psi \\ -\sin\psi & \cos\psi \end{bmatrix} \qquad (۲۴)$$

در رابطه(۲۴) متغیر ψ زاویه سمت پهپاد نسبت به شمال جغرافیایی است. از رابطه(۲۹) به صورت زیر می‌توان سرعت در دستگاه بدنی را به دستگاه ناوبری برد:

$$V_n = C_b^n V_b \qquad (۲۵)$$

بنابراین برای یافتن بهترین سرعت باید پس از تخمین زدن مکان هدف در هر لحظه، سرعت‌های متفاوت (از نظر جهت) برای پهپادها در دستگاه بدنی بدست آید و بر اساس آن کران پایین کرامر-رائو در لحظه بعد بدست آید. از میان تمامی حالات ممکن برای جهات سرعت، آن ترکیبی از سرعت‌ها انتخاب خواهد شد که منجر به کمترین کران پایین کرامر-رائو شود.

طراحی مسیر از روش بی‌بعدسازی معیارها

در این بخش هر دو معیار طول مسیر و کمینه شدن CRLB همزمان با هم مد نظر قرار می‌گیرد. کاری که می‌توان انجام داد این است معیار جدید را برابر با مجموع دو معیار دیگر قرار داد ولی به دلیل اینکه دیمانسیون کرامر-رائو با دیمانسیون طول مسیر یکی نیست باید ابتدا آنها را بی‌بعد کرد و سپس مجموعشان را در معیار جدید به‌کار برد. به همین دلیل این معیار را "معیار بی‌بعد" می‌نامیم و با NDC (Non Dimensional Criteria) نمایش می‌دهیم. برای بی‌بعدسازی دو معیار قبلی، به صورت زیر عمل می‌کنیم:

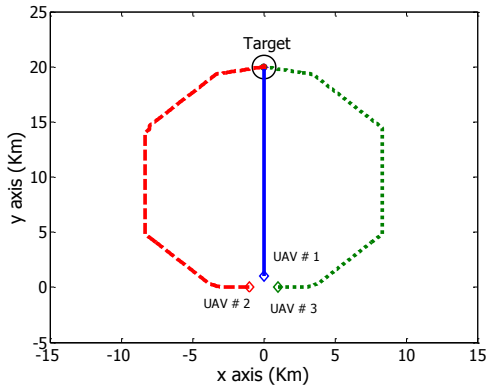
$$NDC = W\frac{CRLB}{CRLB_{ref}} + (1-W)\frac{D}{D_{ref}} \qquad (۲۶)$$

که در رابطه(۲۶)، $CRLB_{ref}$ و D_{ref} یک مقدار مرجع و ثابت برای هر دو معیار هستند. از آنجا که نسبت‌های بیان‌شده بهتر است کمتر از ۱ باشد بنابراین این دو مقدار ثابت بیشترین مقادیر ممکن برای CRLB و D خواهند بود. به دلیل اینکه در لحظه اول پهپادها بیشترین فاصله را از هدف دارند و هنوز هندسه بهینه جهت مکان‌یابی دقیق شکل نگرفته است پس بیشترین CRLB و D در لحظه اول رخ می‌دهد و می‌توان این مقادیر را به عنوان مقادیر مرجع استفاده کرد.

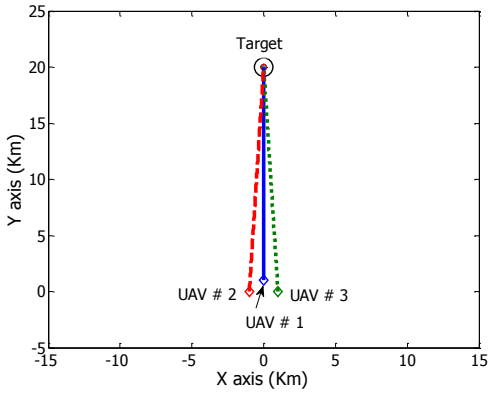
شبیه‌سازی

سه پهپاد در شرایط مسأله در نظر گرفته شده‌اند که قرار است مسیری را با توجه به کمینه کردن کران پایین کرامر-رائو با سرعت ۱۵۰کیلومتربرساعت تا رسیدن به هدف طی کنند. برای قدم اول فرض می‌شود با وجود اغتشاشات محیطی و حسگری، هر لحظه مکان هدف بدون اشتباه تخمین زده می‌شود و پهپادها باید در بهترین مسیر خود را به هدف برسانند. شکل۱ نمایی است از سه پهپاد پس از دریافت اولین سیگنال از طرف هدف، که خود را در مسیری بهینه جهت کاهش CRLB قرار می‌دهند. در این شکل ملاحظه می‌شود که ابتدا پهپادها روی مسیر مستقیم به سمت هدف قرار نگرفته‌اند بلکه به منظور مکان‌یابی بهتر، از یکدیگر دور شده‌اند. پس از طی شدن تقریباً نیمی از مسیر، به تدریج به هدف نزدیک شده و در نهایت به هدف رسیده‌اند.

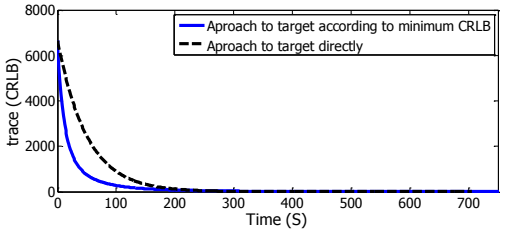
مسیر تولید شده از رابطه(۲۳) نیز با فرض تخمین دقیق از هدف به صورت شکل۲ خواهد بود. در این شکل ملاحظه می‌شود طول مسیر بسیار کوتاه است ولی روند کاهش CRLB بر اساس شکل۳ به خوبیِ مسیر قبل نیست و CRLB در مسیر اول همواره کمتر از CRLB در مسیر مستقیم است.



شکل۱- مسیر بهینه جهت کاهش کران پایین کرامر-رائو



شکل۲- مسیر مستقیم جهت رهگیری هدف



شکل۳- تغییرات CRLB در مسیر مستقیم و در مسیر کمینه CRLB

حال فرض تخمین دقیق حذف می‌شود. پهپادها باید در هر لحظه در مسیری به سمت هدف تخمینی حرکت کنند. در شکل۴ مسیر حاصل از کمینه کردن CRLB نشان داده شده‌است. مشاهده می‌شود که مسیر پهپادها در اثر مکان‌یابی‌های غیردقیق، از حالت تقارن خارج شده‌است.

مسیر مستقیم نیز در شکل۵ قابل مشاهده است. آنچه در شکل۵ برداشت می‌شود این است که مسیر تولید شده برای رهگیری توسط پهپاد مناسب نیست زیرا پهپاد نمی‌تواند چنین مسیر پر پیچ و خمی را دنبال کند. در

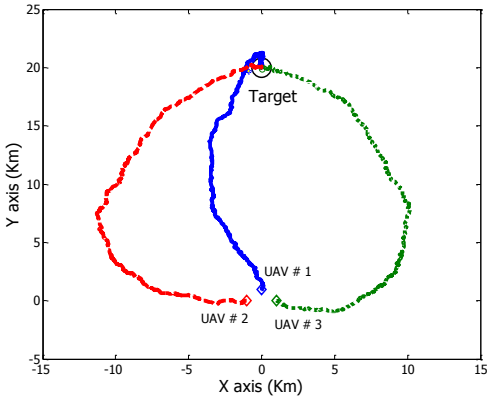
www.SID.ir

Archive of SID

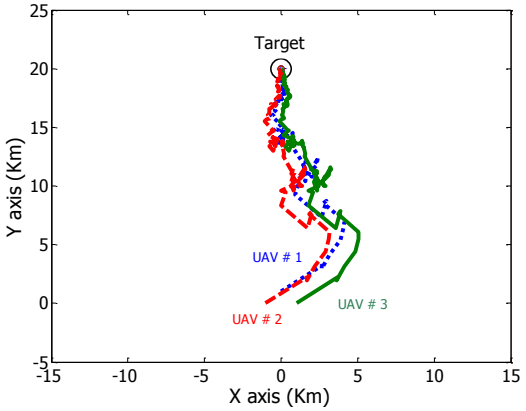
مقابل، مسیر تولیدشده در شکل۴ با وجود نوسانات جزئی قابل رهگیری توسط پهپاد می‌باشد. بنابراین روش کمینه CRLB روشی مناسب برای تولید مسیر خواهد بود.

با توجه به طراحی مسیر از روش بی‌بعدسازی معیارها می‌توان ترکیب هر دو معیار را نیز با یکدیگر در نظر گرفت. در شکل۶ مسیرهای مختلف با در نظر گرفتن تخمین دقیق به ازای ضریب وزنی مختلف رسم شده است. محدوده مجاز برای تغییر جهت سرعت پهپادها نیز ۳۰ درجه در هر سمت در نظر گرفته شده است.

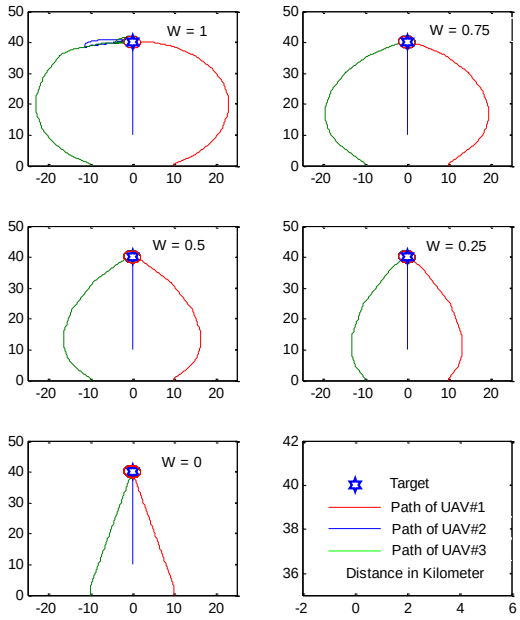
برای بررسی دقیق‌تر مکان‌یابی، اغتشاشات محیطی نیز در نظر گرفته می‌شود که در آن صورت مسیرهای تولیدشده به ازای ضرایب وزنی متفاوت به صورت شکل۷ خواهد بود. در این شکل ملاحظه می‌شود که در در نهایت تمامی مسیرها به نزدیکی هدف میل کرده‌اند و هیچکدام دارای مانورهای غیرمنطقی نیستند.



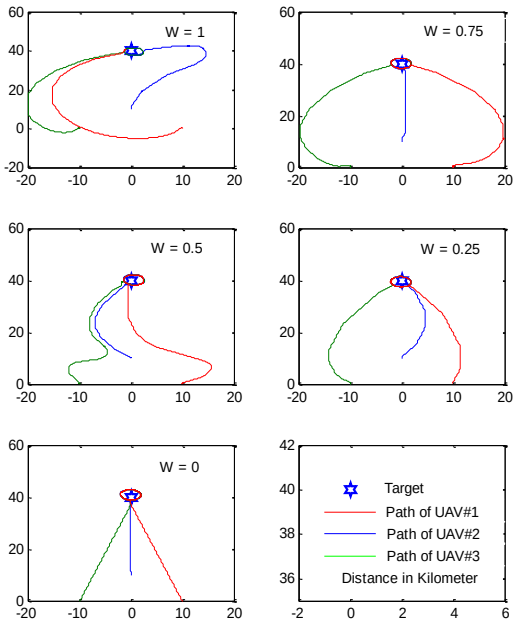
شکل۴- مسیر بهینه جهت کاهش کران پایین کرامر-رائو با تخمین هدف



شکل۵- مسیر مستقیم جهت رهگیری هدف همراه با تخمین هدف



شکل ۶- مسیرهای پروازی تولیدشده به ازای ضرایب وزنی مختلف



شکل ۷- مسیرهای پروازی تولیدشده به ازای ضرایب وزنی مختلف در حضور اغتشاشات

نتیجه‌گیری

آنچه بر مبنای روش کمینه CRLB بدست آمد نشان‌دهنده‌ی مناسب بودن این روش برای تولید مسیر بود. در نتایج ارائه‌شده در این مقاله باید حداقل داده‌های RSSI جمع‌آوری‌شده توسط سه پهپاد برای مکان‌یابی، مورد استفاده قرار گیرد و طراحی مسیر برای این تعداد پرنده انجام شود. در هر لحظه فقط نقطه فعلی و نقطه آینده در نظر گرفته می‌شود؛ در صورتیکه می‌توان نقاط گذرهای قبلی یا چندین نقاط گذر آینده را نیز لحاظ کرد. در این صورت این روش برای کمتر از سه پهپاد نیز قابل تعمیم خواهد بود. همچنین طراحی مسیر با فرض بکارگیری داده‌های قبلیِ جمع‌آوری‌شده برای تخمین انجام می‌گیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

در مورد طراحی مسیر به روش بی‌بعدسازی معیارها به صورت کیفی می‌توان گفت در کل ضرایب وزنی بین W=0.5 و W=0.75 منجر به پاسخ‌های مناسبی خواهند شد.

یکی دیگر از کارها که برای ادامه‌ی این کار تحقیقاتی می‌توان انجام داد این است که شرط یکسان بودن مقدار بردار سرعت حذف شود و پهپادها مجاز به داشتن محدوده‌ای از اندازه‌ی سرعت باشند تا جواب‌های بهتر بدست آید. از دیگر کارهای مهم نیز می‌توان به مسأله مکان‌یابی در شرایط مجهول بودن توان فرستنده اشاره کرد.

مراجع

1. S.M.M. Dehghan, M. Farmani H. Moradi, 2011. "Aerial Localization of an RF Source in NLOS Condition", *Conference of Robotics and Biomimetics.*
2. Kutluyil Dogancay, 2007. "Optimized Path Planning for UAVs with AOA/Scan Based Sensors", *15th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2007), Poznan, Poland, September 3-7, 2007, pp. 1935- 1939.*
3. Kutluyıl Do˘ganc¸ay, 2007. "Optimal Receiver Trajectories for Scan-Based Radar Localization", *InformationT Decision and Control, 1-4244-0902-0/07/ IEEE.*
4. Kutluyil Dogancay, 2007. "Online Optimization of Receiver Trajectories for Scan-Based Emitter Localization", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, VOL. 43, NO. 3, pp. 1117-1125, 0018-9251/07, JULY.*
5. Andrew Sutton & Barıs Fidan & Dirk van der Walle, 2008. "Hierarchical UAV Formation Control for Cooperative Surveillance", *Proceedings of the 17th World Congress, The International Federation of Automatic Control,* Seoul, Korea, July 6-11.
6. Sam Drake, Kim Brown, Jeremy Fazackerley and Anthony Finn, 2005. "Autonomous Control of Multiple UAVs for the Passive Location of Radars ", *0-7803-9399-6/05© IEEE*, ISSNIP.
7. Maciej Stachura, Eric W. Frew, 2011. "Cooperative Target Localization with a Communication-Aware Unmanned Aircraft System", *AIAA Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 34, No. 5, pp. 1352-1362, Sep-Oct.*
8. Paul Scerri, Robin Glinton, Sean Owens, David Scerri, Katia Sycara, *2007*. "Geolocation of RF Emitters by Many UAVs", *AIAA Aerospace Conference, eISBN: 978-1-62410-017-8, May*.
9. Eric W. Frew, Cory Dixon, Brian Argrow, and Tim Brown, 2005. "Radio Source Localization by a Cooperating UAV Team", *AIAA Aerospace Conference, eISBN: 978-1-62410-069-7, Sep.*
10. George York and Daniel Pack, 2005. "Comparative Study on Time-Varying Target Localization Methods using Multiple Unmanned Aerial Vehicles- Kalman Estimation and Triangulation Techniques", *IEEE*, 0-7803-8812-7/05.
11. Adrian N. Bishop and Patric Jensfelt, 2009. "An Optimality Analysis of Sensor-Target Geometries for Signal Strength Based Localization", *Proceedings of the 5th International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks, and Information Processing (ISSNIP'07)*, pages 127-132, Melbourne, Australia, December.
12. Raj Jain, 2007. "Channel Models A Tutorial", *sponsored in part by WiMAX Forum.*
13. Lars Jessen Roost, Michael Østergaard, 2007. "Simultaneous Localization and Mapping for Wireless Networks", *Master thesis, Aalborg University, SUPERVISORS: João Figueras, Henrik Schiøler, Hans-Peter Schwefel, Spring.*
14. Mauro Birattari, Gianluca Bontempi, and Hugues Bersini, 1999." Lazy learning meets the recursive least squares algorithm", *Proceedings of the conference on Advances in neural information* .
15. بهبودیان، جواد، ۱۳۸۲. *"آمار ریاضی"*، تألیف، انتشارات امیرکبیر، چاپ پنجم.
16. S.M.M. Dehghan, M. Saberi Tavakkoli, H. Moradi, "Path Planning for Localization of an RF Source by Multiple UAVs on the Crammer-Rao Lower Bound", First RSI/ISM International Conference on Robotics and Mechatronics (ICRoM2013), Iran-Tehran-Sharif University of Technology, index in IEEE, 13-15 Feb. 2013.

www.SID.ir