

تخمین موقعیت یک AUV با استفاده از سنسورهای اندازه‌گیری سرعت و زاویه

محسن مجنون^۱، مهدی لویی‌پور^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، پژوهشکده علوم و تکنولوژی زیردریا؛ m.majnoon@ec.iut.ac.ir

^۲ عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی اصفهان، پژوهشکده علوم و تکنولوژی زیردریا؛ loueipour@cc.iut.ac.ir

چکیده

تخمین موقعیت، موضوع مهمی است که در دستگاه‌های دنبال‌کننده مسیر نقشی حیاتی دارد، علی‌الخصوص زمانی که از GPS نتوان استفاده نمود یا اطلاعاتی که از GPS دریافت می‌شود، معتبر نباشد. در وسایل هوشمند بدون سرنشین زیرآبی، با توجه به این‌که اطلاعات GPS در زیر آب قابل دریافت نیست، استفاده از شیوه‌های تخمین موقعیت اهمیت ویژه‌ای دارد. در این تحقیق، تلاش بر این است که تخمینی از موقعیت با ساده‌ترین روش ممکن و با استفاده از سنسورهای اندازه‌گیری سرعت و زاویه ارایه شود، سپس نتایج در مسیرهای گوناگونی شبیه‌سازی شده و نهایتاً با استفاده از اطلاعات دریافتی از GPS، موقعیت تخمینی اصلاح می‌گردد و نتایج با مقادیر واقعی (در حالی که نویز و اختلال در اندازه‌گیری سنسورها تأثیر نداشته باشد) مقایسه می‌شود.

کلمات کلیدی: تخمین موقعیت، AUV, Dead-Reckoning

۱. مقدمه

تخمین حالت‌های سیستم‌ها مبحثی است که همواره مورد توجه بوده است. این مساله زمانی اهمیت پیدا می‌کند که قادر به اندازه‌گیری یک یا چند حالت سیستم نبوده و یا سیستم در معرض خطاها، نویزها و اختلال‌های فراوان باشد. در این شرایط باید از اطلاعات دیگر سیستم برای تخمین زدن حالت‌ها و یا خروجی‌های سیستم استفاده نمود. این اطلاعات می‌تواند شامل اطلاعات سنسورهای دیگر و یا مدل ریاضی خود سیستم باشد.

تخمین موقعیت در روبات‌های هوشمند موضوع مهمی است که در هدایت این‌گونه وسایل، نقشی حیاتی دارد. سنسور اندازه‌گیری موقعیت، GPS، را نمی‌توان به عنوان سنسوری با قابلیت اعتماد بالا مد نظر قرار داد. این بدان علت است که دقت این سنسور کاملاً وابسته به تعداد ماهواره ای است که سنسور می‌تواند از آن‌ها اطلاعات موقعیت را دریافت کند و دریافت اطلاعات از ماهواره‌ها نیز منوط به قرار داشتن در فضای باز و زیر آسمان می‌باشد. پس برای داشتن موقعیت، بخصوص در مواقعی که این شرایط صادق نیست، چاره‌ای جز تخمین موقعیت با استفاده از روش‌های موثر وجود ندارد.

برای وسایل هوشمند بدون سرنشین زیر آبی^۱ موقعیت یابی سخت‌تر می‌شود. تا هنگامی که عملیات در زیر آب صورت می‌گیرد، سنسور GPS هیچ‌گونه اطلاعاتی در اختیار قرار نمی‌دهد. پس برای موقعیت یابی، استفاده از دیگر سنسورهای موجود و ترکیب اطلاعات آن‌ها تنها راه ممکن است. ضمن این‌که دستگاه باید هر از گاهی نیز از آب بیرون بیاید و با استفاده از GPS (در صورت در اختیار قرار دادن اطلاعات با دقت مناسب و قابل قبول) موقعیت تخمینی را اصلاح کند. مهمترین اطلاعات مورد نیاز برای تخمین موقعیت، سرعت خطی در دستگاه بدنه و مقدار زوایای اویلر دستگاه در دستگاه مختصات زمین است که این اطلاعات توسط سنسورهای سرعت و زاویه حتی در زیر آب ارایه می‌شوند. از دیگر سنسورهایی که به‌طور معمول در تخمین موقعیت از آن‌ها استفاده می‌شود می‌توان به سنسور اندازه‌گیری سرعت در سه جهت (برای مثال DVL)، سنسور اندازه‌گیری شتاب‌های خطی و زاویه‌ای (برای مثال IMU) و سنسور اندازه‌گیری زوایای حرکت (برای مثال جاپرو) اشاره کرد. در سال‌های اخیر تحقیقات فراوانی در زمینه‌ی تخمین موقعیت صورت گرفته است که می‌توان ترکیب سنسورهای معمول با استفاده از فیلتر کالمن را به‌عنوان نمونه نام برد [۳، ۴ و ۵].

با توجه به این‌که تخمین موقعیت با استفاده از اطلاعات موقعیت‌های قبلی صورت می‌گیرد که خود از طریق تخمین موقعیت به دست آمده است، در صورت وجود هرگونه نویز یا اختلال، خطای تخمین با گذشت زمان افزایش می‌یابد، بنابراین باید به‌وسیله‌ی اطلاعات GPS، در زمان‌های خاص تخمین موقعیت را اصلاح نمود که این زمان خاص بسته به پارامترهایی مانند نوع مسیر، سرعت حرکت و دقت مورد نیاز برای عملیات خاص تعیین می‌شود. بسته به نوع ماموریت، حداکثر خطای قابل قبول تعریف می‌شود. برای ماموریت‌های بسیار حساس، این خطا ممکن است حتی در

^۱ Automatic Underwater Vehicles

حد میلیمتر باشد که از طریق تخمین موقعیت خالص تقریباً غیر ممکن است و ابزار و وسایل بسیار دقیقی نیاز دارد. ولی در ماموریت‌های عادی دنبال کردن مسیر خاص، بسته به دقتی که نیاز داریم این مقدار مشخص شده و انتخاب می‌گردد.

در این تحقیق، ابتدا فریم‌های مرجع مورد استفاده تعریف می‌گردند، سپس با استفاده از سنسور اندازه‌گیری سرعت خطی رو به جلو و موقعیت زاویه‌ای وسیله، روشی کم‌هزینه برای تخمین موقعیت ارایه می‌شود و در نهایت به وسیله‌ی شبیه‌سازی، خطای بین موقعیت تخمینی و موقعیت واقعی مقایسه خواهند گشت.

۲. فریم‌های مرجع

اندازه‌گیری‌ها، نتایج محاسبات میانی و داده‌های خروجی سیستم موقعیت‌یابی طراحی شده در سیستم‌های مختصات مختلف بیان می‌شوند. به همین منظور، سه فریم مرجع در سیستم معرفی می‌گردند [۶]:

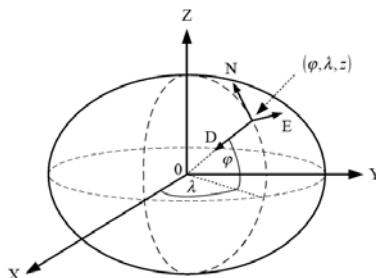
۱- فریم مرجع جغرافیایی سراسری^۲

۲- فریم مرجع افقی (سطح) محلی^۳

۳- فریم بدنه‌ی دستگاه^۴

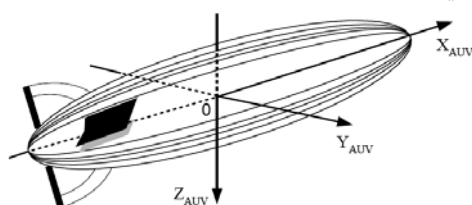
مرکز فریم جغرافیایی کروی XYZ، مرکز جرم کره‌ی زمین است و این فریم نسبت به زمین ثابت می‌باشد، یعنی با چرخش زمین می‌چرخد و لخت نیست. محورهای X و Y در صفحه‌ی استوایی قرار دارند و به نصف‌النهار گرینویچ (محور X) و زاویه‌ی ۹۰ درجه شرق نصف‌النهار گرینویچ (محور Y) اشاره می‌کنند. محور Z همان محور چرخشی زمین خواهد بود و سیستم مختصات راستی XYZ را تکمیل خواهد کرد.

فریم مرجع افقی محلی NED که به آن همچنین عبارت فریم سطح محلی^۵ یا فریم g نیز اطلاق می‌شود، دارای مرکزی معادل با مرکز جرم AUV است و محورهای مختصات آن به سمت جهت‌های شمال، شرق و مرکز زمین خواهد بود. ارتباط بین فریم مرجع جغرافیایی سراسری و فریم مرجع افقی محلی در شکل ۱-۲ نمایش داده شده است. مختصات وسیله بدون سرنشین زیرآبی که به صورت (φ, λ, z) توسط GPS ارایه می‌گردد، در فریم XYZ داده می‌شود، در حالی که سرعت‌های مربوط به آن‌ها در دستگاه مختصات NED و یا بدنه ارایه می‌گردد.



شکل ۱-۲: رابطه‌ی بین فریم مرجع جغرافیایی سراسری XYZ و فریم مرجع افقی محلی NED

به‌طور مشابه با فریم NED، مرکز فریم بدنه‌ی دستگاه (فریم AUV یا فریم b) نیز مرکز جرم AUV است. با این حال محورهای آن منطبق بر محورهای بدنه است (شکل ۲-۲ را مشاهده کنید).



شکل ۲-۲: فریم مرجع بدنه

-انتقال مقادیر خروجی سنسور سرعت به فریم NED

مقادیری که سرعت‌سنج ارایه می‌دهد در فریم بدنه‌ی AUV تعریف شده‌اند. برای استفاده از این مقادیر در تخمین موقعیت باید آن‌ها را به یک فریم مرجع مشترک انتقال داد. در سیستم موقعیت‌یابی مجتمع، فریم g به‌عنوان فریم مرجع مشترک برای محاسبه‌ی سرعت انتخاب شده است. انتقال مختصات نیازمند دانستن زوایای جهت بدنه‌ی AUV نسبت به فریم مرجع NED است. زوایای ارایه شده توسط IMU (رول و پیچ و

² Global Geographical Frame of Reference (XYZ)

³ Local Horizontal Frame of Reference (NED-Frame or g-Frame)

⁴ Vehicle Body Frame (AUV-Frame or b-Frame)

⁵ Local-level Frame

یاو، برای محاسبه‌ی یک ماتریس انتقال مختصات C_{AUV}^{NED} از فریم b (بدنه) به فریم g (گرانشی) استفاده شده‌اند. انتقال مختصات را می‌توان توسط یک ضرب سمت چپ بردار سرعت در فریم AUV در ماتریس انتقال مختصات C_{AUV}^{NED} به تحقق رساند:

$$\begin{bmatrix} v_N & v_E & v_D \end{bmatrix}^T = C_{AUV}^{NED} \cdot \begin{bmatrix} u & v & w \end{bmatrix}^T \quad (1)$$

$$C_{AUV}^{NED} = \begin{bmatrix} C(\psi)C(\theta) & C(\psi)S(\theta)S(\phi) - S(\psi)C(\phi) & C(\psi)S(\theta)C(\phi) + S(\psi)S(\phi) \\ S(\psi)C(\theta) & S(\psi)S(\theta)S(\phi) + C(\psi)C(\phi) & S(\psi)S(\theta)C(\phi) - C(\psi)S(\phi) \\ -S(\theta) & C(\theta)S(\phi) & C(\theta)C(\phi) \end{bmatrix}$$

که در آن u, v, w مولفه‌های بردار سرعت AUV در فریم بدنه، v_N, v_E, v_D مولفه‌های بردار سرعت AUV در دستگاه مختصات NED و ψ, θ, ϕ زوایای فریم بدنه b نسبت به فریم g هستند (رول، پیچ و یاو) و $C(\cdot)$ و $S(\cdot)$ مخفف عملگرهای مثلثاتی کسینوس و سینوس می‌باشند.

۳. تخمین موقعیت با استفاده از سنسورهای سرعت و زاویه

با در نظر گرفتن سنسورهای سرعت که مشخصه‌ی سرعت رو به جلو در دستگاه مختصات بدنه $-u$ را اندازه‌گیری می‌کند می‌توان مقدار جابجایی را تخمین زد. این مقدار جابجایی را نیز می‌توان با در نظر گرفتن زوایای وسیله (پیچ و یاو) به میزان جابجایی در محورهای x و y تبدیل نمود. روابطی که برای این کار نیاز داریم از قرار زیر است:

$$\begin{aligned} \Delta x &= \int u \cdot \cos \psi \cdot \cos \theta \\ \Delta y &= \int u \cdot \sin \psi \cdot \cos \theta \end{aligned} \quad (2)$$

که در این روابط u سرعت رو به جلو، ψ زاویه‌ی سمت (حول محور Z دستگاه مختصات بدنه) و θ زاویه‌ی پیچ (حول محور y دستگاه مختصات بدنه) می‌باشند. اگر بخواهیم از معادلات فوق استفاده کنیم، باید آن‌ها را به صورت گسسته در آوریم:

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= x_k + u_k \cdot \cos \psi_k \cdot \cos \theta_k \\ y_{k+1} &= y_k + u_k \cdot \sin \psi_k \cdot \cos \theta_k \end{aligned} \quad (3)$$

باید در نظر داشت که این روابط نسبت به روابط اصلی بسیار ساده شده‌اند. برای مثال، سرعت جانبی صفر در نظر گرفته شده و حرکت نیز در صفحه‌ی XY صورت می‌گیرد، همچنین تاثیر زاویه‌ی رول نیز در معادلات نادیده گرفته شده است. با این حال با تقریب خوبی می‌توان از این روابط در تخمین موقعیت استفاده کرد. نکته‌ی ای که باید در نظر داشت، مقوله‌ی زمان بندی و نویز است. برای مثال اگر سنسور سرعت مورد استفاده در هر ثانیه دو مقدار و سنسور زاویه (جایرو) در هر ثانیه ۱۰ مقدار را اندازه‌گیری و ارایه کند و در دسترس قرار دهد، زمان نمونه‌برداری ۰/۵ ثانیه برای سیستم در نظر گرفته خواهد شد.

با توجه به این که در عمل GPS در فضای باز اطلاعات قابل قبولی ارایه می‌کند و AUV در زیر آب نمی‌تواند از این اطلاعات استفاده کند، باید در زمان‌های مشخص به سطح آب آمده و موقعیت را گزارش نماید. سپس باید با توجه به میزان دقت اطلاعات در این لحظه (که این میزان دقت به تعداد ماهواره‌هایی بستگی دارد که به GPS در آن لحظه اطلاعات موقعیت را ارسال می‌کنند و به صورت یک عدد در خروجی GPS وجود دارد) اقدام به اصلاح موقعیتی نمود که در مرحله‌ی قبل با استفاده از سنسورهای دیگر به دست آمده است.

- اصلاح موقعیت با استفاده از GPS

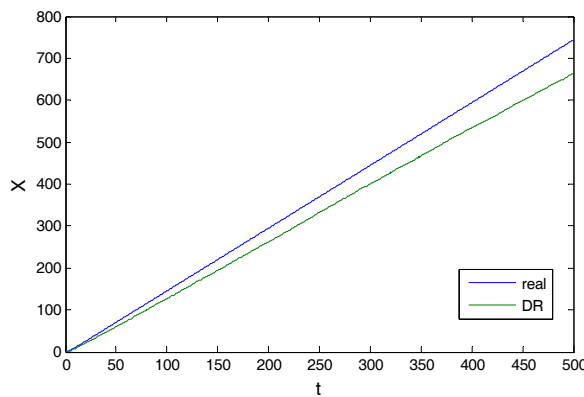
همان‌طور که گفته شد، در لحظاتی که از GPS اطلاعاتی دریافت می‌شود، می‌توان با استفاده از این اطلاعات، موقعیت را اصلاح نمود. برای این کار روش‌های زیادی وجود دارند که می‌توان از میانگین‌گیری، فیلتر کالمن و روش‌های دیگر استفاده نمود. ساده‌ترین روش ممکن، جایگزین کردن موقعیتی که از GPS ارسال می‌شود در موقعیتی که با استفاده از سنسورهای دیگر به دست آمده، در لحظاتی که اطلاعاتی قابل قبول از GPS دریافت می‌گردد، خواهد بود. این روش، مبتنی بر محاسبه‌ی مقدار خطا (تفاوت موقعیت محاسبه شده با موقعیتی که GPS اعلام می‌کند) و سپس اصلاح موقعیت با استفاده از مقدار این خطا است.

۴. شبیه‌سازی و نتایج

در این تحقیق، روش ارایه شده با استفاده از Simulink در نرم‌افزار MATLAB شبیه‌سازی شده و نتایج با مقادیر واقعی، با فرض معلوم بودن موقعیت کنونی، مقایسه می‌گردد. برای آزمودن شیوه‌ی موردنظر در تخمین موقعیت، می‌توان مسیرهای مختلفی را انتخاب نمود و تخمین و دقت آن را در چنین مسیرهایی ارزیابی کرد. برای مثال، می‌توان از این روش برای تخمین موقعیت در یک حرکت مستقیم، یک حرکت مستقیم با

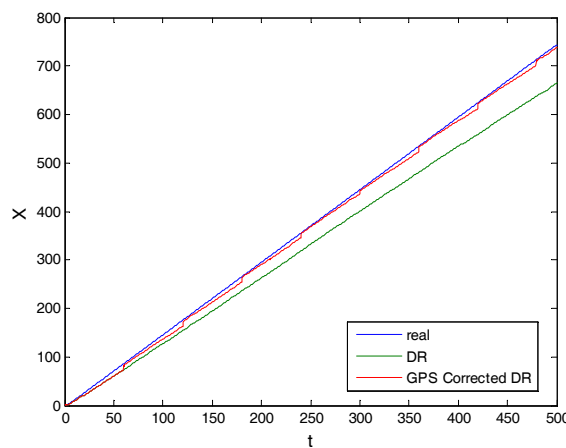
زاویه‌ی اولیه، دنبال کردن چند نقطه‌ی هدف در یک مسیر، حرکت در مسیری منحنی و یا حتی حرکت آشفته استفاده نمود که بسته به پیچیدگی مسیر، رفتارهای مختلفی از سیستم تخمین موقعیت مورد انتظار است.

در شبیه‌سازی روش ارایه شده در این تحقیق، مسیر انتخابی در ابتدا یک خط مستقیم است. شرایطی که برای شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است عبارتند از سرعت مستقیم الخط ۱/۵ متر بر ثانیه در مدت زمان ۵۰۰ ثانیه، فرکانس نمونه برداری از اطلاعات سنسورهای سرعت و سمت به ترتیب برابر با ۲ و ۲۰ هرتز، و برداشت اطلاعات GPS در هر یک دقیقه. نتایج شبیه‌سازی با حالتی مقایسه می‌گردد که اطلاعات دقیقی از موقعیت وسیله‌ی هوشمند زیر آبی داریم. در شبیه‌سازی، برای نزدیک‌تر شدن به شرایط واقعی، در اندازه‌گیری u نویز سفیدی با میانگین صفر و کوواریانس ۰/۱ متر بر ثانیه و در اندازه‌گیری زوایای پیچ و یابو نویز سفیدی با میانگین صفر و کوواریانس ۲ درجه اضافه شده‌اند که بیش از مقادیر نویز و اختلال در حالت‌های عادی هستند. در شکل ۱-۴، نتایج شبیه‌سازی را می‌توان مشاهده کرد:



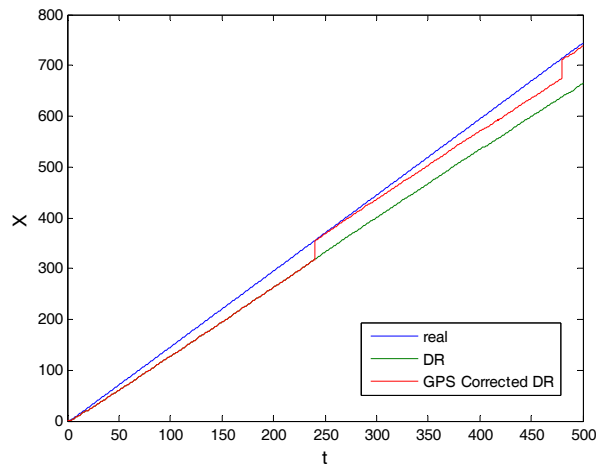
شکل ۱-۴: نتایج شبیه‌سازی تخمین موقعیت در محور X نسبت به زمان بدون داشتن اطلاعات GPS

با توجه به شکل ۱-۴ می‌توان مشاهده کرد که خطا با گذشت زمان با نرخ ثابتی افزایش می‌یابد که در ۵۰۰ ثانیه و با حرکت در مسافتی معادل با ۷۵۰ متر در حدود ۸۰ متر است (کمی بیش از ده درصد) و شعاع حداکثر خطا برابر است با $\sqrt{(\Delta x_t^2 + \Delta y_t^2)_{\max}} = 158.72$ (حدود ۲۱ درصد). با استفاده از اصلاح موقعیت تخمینی توسط GPS، همان‌گونه که در شکل ۲-۴ قابل مشاهده است، مقدار خطا بسیار کاهش می‌یابد. در این حالت شعاع دایره‌ی حداکثر خطا برابر خواهد بود با $\sqrt{(\Delta x_t^2 + \Delta y_t^2)_{\max}} = 20.93$ متر (۲/۸ درصد) و شعاع دایره‌ی میانگین خطا نیز $\sqrt{(\Delta x_t^2 + \Delta y_t^2)_{\text{mean}}} = 11.66$ متر (۱/۵۵ درصد) خواهد بود.



شکل ۲-۴: نتایج شبیه‌سازی تخمین موقعیت در محور X نسبت به زمان با داشتن اطلاعات GPS در هر یک دقیقه

باید در نظر داشت که با افزایش زمان برداشت داده از GPS، خطا افزایش خواهد یافت. برای نمایش این موضوع، با افزایش زمان برداشت داده از GPS به ۴ دقیقه، همان‌گونه که در شکل ۳-۴ می‌توان مشاهده نمود، شعاع دایره‌ی حداکثر خطا برابر خواهد بود با $\sqrt{(\Delta x_t^2 + \Delta y_t^2)_{\max}} = 87.06$ متر (حدود ۱۱/۶ درصد) و شعاع دایره‌ی میانگین خطا نیز $\sqrt{(\Delta x_t^2 + \Delta y_t^2)_{\text{mean}}} = 43.83$ متر (۵/۸ درصد) خواهد بود که همچنان بسته به عملیات می‌تواند جواب خوبی به حساب آید.



شکل ۳-۴: نتایج شبیه‌سازی تخمین موقعیت در محور X نسبت به زمان با داشتن اطلاعات GPS در هر چهار دقیقه

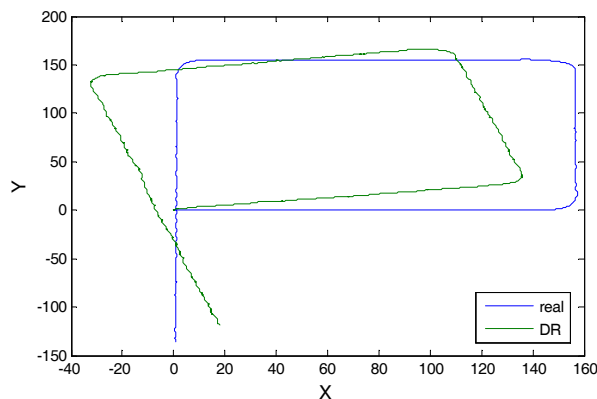
همان‌طور که مشاهده می‌شود، تخمین موقعیت فوق حتی در حضور نویزهای قابل توجه در اندازه‌گیری سنسورها و زمان به نسبت طولانی در برداشت داده‌ی معتبر از GPS، پاسخی مناسب ارایه می‌کند.

اگر مسیر حرکت وسیله‌ی هوشمند زیرآبی پیچیده‌تر در نظر گرفته شود، طبیعتاً از تخمین موقعیتی با چنین سادگی پاسخ بسیار دقیقی انتظار نمی‌رود، اگرچه با تدابیری می‌توان این پاسخ را برای داشتن خطای کمتر بهینه نمود. برای بررسی این موضوع، مسیری با گذر از چند نقطه‌ی هدف و حرکت در تمام جهات را به صورت مربعی می‌توان در نظر گرفت که جزو پیچیده‌ترین مسیرهای ممکن در آزمایش یک سیستم تخمین موقعیت است. شرایط در نظر گرفته شده برای شبیه‌سازی عبارت است از حرکت AUV با سرعت ثابت ۱/۵ متر بر ثانیه در صفحه‌ی XY و در عمق صفر. مسیر موردنظر، مربعی با ضلع ۱۵۶ متر است و کل زمان شبیه‌سازی برابر با ۵۰۰ ثانیه در نظر گرفته می‌شود.

همان‌گونه که در شکل ۴-۴ قابل مشاهده است، شکل کلی موقعیت تخمینی بدون استفاده از GPS مشابه مسیر حرکت است و شعاع

دایره‌ی حداکثر خطا در این مسیر برابر است با $\sqrt{(\Delta x_t^2 + \Delta y_t^2)_{\max}} = 48.88$ (با توجه به مسافت حرکتی معادل ۷۵۰ متر، در حدود ۶/۵۱ درصد)

و شعاع دایره‌ی میانگین خطا در طول زمان نیز عبارت خواهد بود از $\sqrt{(\Delta x_t^2 + \Delta y_t^2)_{\text{mean}}} = 30.53$ (در حدود ۴ درصد) که پاسخی بسیار خوب و جالب توجه در چنین مسیر پیچیده‌ای به نظر می‌رسد.



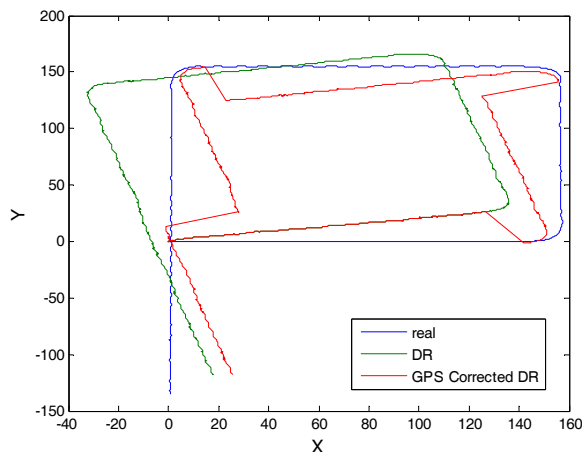
شکل ۴-۴: نتایج شبیه‌سازی تخمین موقعیت در صفحه‌ی XY، با داشتن اطلاعات GPS بر روی نقطه‌های شکست مسیر

حتی می‌توان این نتایج را با برداشت اطلاعات موقعیت از GPS دقیقاً بر روی نقطه‌های شکست و اصلاح تخمین از این طریق، بسیار بهبود

داد. همان‌گونه که در شکل ۴-۵ قابل مشاهده است، تخمین بهبود قابل ملاحظه‌ای یافته است، به‌گونه‌ای که شعاع دایره‌ی حداکثر خطا در این

مسیر برابر با $\sqrt{(\Delta x_t^2 + \Delta y_t^2)_{\max}} = 33.98$ (حدود ۴/۵ درصد) و شعاع دایره‌ی میانگین خطا در طول زمان نیز عبارت خواهد بود از

$\sqrt{(\Delta x_t^2 + \Delta y_t^2)_{\text{mean}}} = 18.22$ (در حدود ۲/۴ درصد) که دقتی بسیار خوب به شمار می‌آید.



شکل ۴-۵: نتایج شبیه‌سازی تخمین موقعیت در صفحه‌ی XY ، با داشتن اطلاعات GPS در هر ۱۰۰ ثانیه

۵. نتیجه‌گیری

روشی که ارائه شد، مبتنی بود بر تخمین موقعیت در محورهای X و Y با استفاده از اطلاعات سنسور سرعت در راستای رو به جلو و سنسور زوایای پیچ و یاو در یک وسیله‌ی هوشمند بدون سرنشین زیرآبی. نکته‌ی مهمی که وجود دارد، افزایش خطای تخمین موقعیت با گذشت زمان در یک مسیر مستقیم است، در صورتی که نویز و یا اختلال یا نامعینی در پارامترها و یا اندازه‌گیری‌ها داشته باشیم، که این موضوع به دلیل انتگرال‌گیری از خطاها است و این موضوع که اطلاعات به دست آمده بر اساس اطلاعات موقعیتی محاسبه می‌گردد که در مرحله‌ی قبل به دست آمده و محاسبه شده است. همان‌طور که در شبیه‌سازی‌ها مشاهده شد، در صورتی که در زمان‌های مناسب (بسته به طول مسیر و نوع مسیر) اطلاعات معتبر GPS برای تصحیح خطا استفاده شود، تخمین بسیار خوبی از موقعیت به دست خواهد آمد و خطا به‌طور قابل توجهی کاهش خواهد یافت. زمان مناسب برداشت اطلاعات GPS به میزان حداکثر خطای قابل قبول و همچنین نوع مسیر و شرایط شبیه‌سازی مانند سرعت حرکت وابسته است. برای مثال همانگونه که در شبیه‌سازی‌ها مشاهده شد، در صورتی که در نقاط شکست مسیر، اطلاعات موقعیت از GPS دریافت کنیم، خطای تخمین بسیار کاهش خواهد یافت.

با توجه به هزینه‌ی بسیار بالای سنسورهای دقیق و وسایل ناوبری پیشرفته، تحقیق فوق نشان داد که می‌توان با استفاده از این روش کم هزینه به دقت‌های بسیار خوبی در کاربردهای معمول دست یافت و نیازی به استفاده از روش‌های پیچیده و تجهیزات پرهزینه نیست. با این وجود، در صورت نیاز به دقت بالاتر می‌توان روش‌های متنوعی را پیشنهاد کرد. برای مثال، با مقایسه‌ی پاسخ در حضور نویز و بدون حضور نویز می‌توان دریافت مهم‌ترین عامل ایجاد خطا در تخمین موقعیت عبارت از نامعینی‌ها، اختلال‌ها و نویز است. پس اولین شیوه‌ای که برای بهبود پاسخ به ذهن می‌رسد استفاده از سنسورهای بهتر برای کاهش اثر نویز در تخمین خواهد بود.

۱- مراجع

- [1] Farrel J. A., *Aided Navigation, GPS with High Rate Sensors*, McGraw-Hill, 2008
- [2] Fauske K. M., Gustafsson F., "Estimation of AUV dynamics for sensor fusion"
- [3] Yong-jie P., Yu-shan S., Yong G., Lei W., "An integrated GPS /DR navigation system for AUV", *Journal of Marine Science and Application*, Vol.5, No.4, December 2006, pp.08-13
- [4] Kun X., Shao-ji F., Yong-jie P., "Strong tracking adaptive Kalman filters for underwater vehicle dead reckoning", *Journal of Marine Science and Application*, Vol.6, No.2, June 2007, pp. 19-24
- [5] Zhen G, Feng S., "Research on integrated navigation method for AUV", *Journal of Marine Science and Application*, Vol. 4, No. 2, June 2005
- [6] Kaniewski P., "Integrated Positioning System for AUV", *Molecular and Quantum Acoustics*, vol. 26, (2005)
- [7] http://en.wikipedia.org/wiki/Inertial_navigation_system