



## استفاده از تلفیق دمستر شافر برای تعیین موقعیت و وضعیت (جهت و زاویه) پرنده توسط دو سنسور GPS

ابراهیم ونکی فراهانی

دانشگاه صنعتی مالک اشتر

Ebrahim.vanaki@gmail.com

احمد رضا عربی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند

Arabi.ahmadreza@gmail.com

وحید بهنام گل

دانشگاه صنعتی مالک اشتر

Vahidbehnamgol@yahoo.com

### چکیده

برای تعیین موقعیت و وضعیت وسیله پرنده دو نوع سنسور اصلی وجود دارد. سنسورهای تعیین مطلق مکان مانند GPS و رادارها که اطلاعات را از خارج وسیله و در موقعیت مکانی مطلق دریافت می‌کنند و در روش دوم استفاده از سنسورهایی که با نام dead rocking شناخته می‌شوند که در آنها با استفاده از موقعیت فعلی تخمینی از جهت و مکان بعدی جسم بدست می‌آید و محاسبات مکانی جسم در داخل آن انجام می‌گیرد. مشکل اصلی سنسورهای نوع دوم در خطای جمع شونده آنهاست زیرا که هیچ اطلاعاتی از بیرون جسم دریافت نمی‌کنند بنابراین خطای محاسبات آنها با گذر زمان به صورت انتگرالی افزایش می‌یابد. از این رو سنسورهای نوع اول و بخصوص GPS جزء عمده‌ترین سنسورهایی است که در کنترل وضعیت و هدایت اجسام استفاده می‌شود. خود این سنسورها مشکلاتی از جمله خرابی سنسور، مشکل چند مسیره، از دست رفتن سیگنال GPS، وجود نویز در سیگنال خروجی سنسور و خطای محاسباتی آن اشاره کرد. برای رفع خطای نویز در سنسور از روش‌های فیلترینگ از جمله فیلتر کالمن بهره گرفته می‌شود و برای رفع مشکلات دیگر معمولاً دو نوع سنسور GPS و INS به صورت مشترک و تلفیقی مورد استفاده قرار می‌گیرند تا به این ترتیب خطای جمع شونده‌ی INS و قطع سیگنال GPS رفع گردد. با این وجود در تحقیقات مختلف اشاره شده است که دلیل خطای بالای هر دو سنسور فوق تلفیق اطلاعات آنها دقت کافی در تخمین موقعیت و وضعیت را در اختیار قرار نمی‌دهد. روش‌های مختلفی برای ترکیب اطلاعات وجود دارد که از جمله آن فیلتر کالمن، روش بیز، دمستر-شافر و .. می‌باشد. در این مقاله به کمک روش دمستر-شافر اطلاعات سنسوری با یکدیگر ترکیب شده تا به اطلاعات مناسبتری از موقعیت و وضعیت جسم دست یابیم.

**واژگان کلیدی:** سامانه موقعیت یاب جهانی، خطای اندازه‌گیری، روش دمستر شافر.



## مقدمه

منظور از جهت یابی برای یک جسم متحرک معمولاً تعیین میزان انحراف این جسم نسبت به محور شمال می‌باشد که به آن زاویه Azimuth نیز گفته می‌شود. در اجسام پرنده از جمله هواپیما این زاویه معادل با زاویه Bearing می‌باشد (Eugen, 2012). برای تعیین جهت یابی با استفاده از این سنسور در واقع ۴ روش کلی وجود دارد که بر حسب تعداد و نوع سنسور استفاده شده تقسیم بندی می‌شوند. زمانی که تنها از یک سنسور GPS استفاده شود. از روش متحرک و یا استاتیکی می‌توان وضعیت جسم را تعیین نمود. زمانی که تعداد سنسورها بیشتر از یکی باشد روش‌های موجود به دو گروه سنسورهای آرایه‌ای و سنسورهای مجزا از هم تقسیم بندی می‌شوند. زمانی که آنتن به جسمی متصل است که متحرک نمی‌باشد، یک پیشنهاد استفاده از تحرک مصنوعی می‌باشد. در این روش سنسور بر روی وسیله‌ای سوار می‌شود که دارای تحرک است معمولاً مسیر حرکت این وسیله به صورت دایروی بوده و با در نظر گرفتن این مسیر حرکت جهت و مکان جسم قابل محاسبه است (Yi-quan et al, 2012). می‌توان بجای استفاده از حرکت دایروی از مسیرهای از پیش تعیین شده نیز استفاده نمود (Su and Dong, 2015). با استفاده از روش آنالیز سیگنال، با استفاده از اختلاف فازی که در سیگنال حامل GPS وجود دارد جهت تشخیص زاویه حرکت استفاده می‌شود. در این روش آنتن به اندازه ۳۶۰ درجه دوران داده می‌شود که این باعث ایجاد اختلاف فاز در سیگنال دریافتی آنتن می‌شود و بدین طریق می‌توان جهت حرکت جسم را تعیین نمود (Broumandan et al, 2007). با استفاده از قدرت انرژی سیگنال GPS نیز می‌توان عمل ردیابی انجام داد. در این روش مقدار چگالی انرژی نویز به انرژی سیگنال حامل را محاسبه می‌کنند از آنجاییکه میزان انرژی در راسته ماهواره بیشترین مقدار است با توجه به کاهش میزان انرژی می‌توان راستای حرکت را تعیین نمود (Häberling and Geiger, 2010). در این روش تعدادی از آنتن‌ها که مقدار آنها بیشتر از ۲ است در یک صفحه تعبیه می‌شوند. با توجه به نحوه قرارگیری آنتن‌ها هر کدام زاویه دریافت سیگنال متفاوتی دارند. در (Wang et al, 2005) با استفاده از پایه اتصالی دو آنتن کار جهت یابی انجام می‌شود. اگر تعیین موقعیت دو آنتن همزمان صورت گیرد در این صورت نادقیقی تعیین جهت متناسب با نادقیقی تعیین موقعیت خواهد بود. در (Jilek And Zalud, 2011) زمانی که دو آنتن بر یک جسم متحرک سوار هستند همزمان خوانده شدن موقعیت دو سنسور الزامی است زیرا که در غیر این صورت منجر به خطای شدید در تعیین جهت می‌شود.

زمانی که فاصله بین آنتن‌ها زیاد باشد دلیل اختلاف زمانی دریافت سیگنال بین دو آنتن نیاز به روابطی جهت تنظیم موقعیت دو سنسور وجود دارد (Verhagen and Teunissen, P.J. G, 2011). در این مقاله، از اطلاعات آماری داده‌ها در حوزه زمان برای



به دست آوردن ویژگی‌های سیگنال اندازه‌گیری شده، استفاده شده است. ویژگی‌های استفاده‌شده، همگی استاتیک می‌باشند؛ چرا که تنها براساس توزیع نمونه‌های سیگنال محاسبه می‌شوند. بسیاری از این ویژگی‌ها بر مبنای گشتاور به دست می‌آیند. در بسیاری از موارد تابع چگالی احتمال<sup>۱</sup> قابل‌تجزیه به گشتاورهای اصلی است. بنابراین اگر تغییری در وضعیت سیگنال ایجاد شود، تابع چگالی احتمال یا به عبارتی همان گشتاورها را تغییر می‌دهد. از این‌رو نمایش ویژگی‌های مبتنی بر گشتاور، اطلاعات لازم جهت تشخیص عیب را فراهم می‌کند.

### روش تحقیق

خطای زمانی تاثیر زیادی در تخمین موقعیت دارد. بنابراین یکی از متغیرهای حالت در تخمین موقعیت خطای زمانی فرض می‌شود. برای مدل‌سازی این متغیر حالت از دو متغیر  $b$  بایاس و دریفت ساعت  $d$  که به ترتیب بیانگر خطای فرکانس و فاز گیرنده می‌باشند به صورت زیر مدل می‌شوند.

$$\begin{aligned} \dot{b}(t) &= d(t) + \tilde{v}_b(t) \\ \dot{d}(t) &= \tilde{v}_d(t) \end{aligned} \quad (1)$$

که در روابط فوق  $\tilde{v}_d(t)$  و  $\tilde{v}_b(t)$  نویز سفید مستقل از هم با طیف توان  $S_b$  و  $S_d$  می‌باشند. با گسسته سازی رابطه فوق خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} x_c(k+1) &= F_2 x_c(k) + v_c(k) \\ F_2 &= \begin{bmatrix} 1 & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2)$$

که در رابطه فوق  $x_c = [b \ d]^T$  و  $v_c(k)$  نویز با میانگین صفر و ماتریس کواریانس زیر می‌باشد.

$$\begin{aligned} Q_c &= S_b T \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} + S_d V_2 \\ V_2 &= \begin{bmatrix} \frac{1}{3} T^3 & \frac{1}{2} T^2 \\ \frac{1}{2} T^2 & T \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3)$$

<sup>1</sup> Probability density function



که  $T$  زمان نمونه برداری می باشد. حال اگر فرض کنیم جسم در حال حرکت باشد می توان مدل دینامیکی از آن را بدست آورد. مدل دینامیکی به مسیر حرکت جسم وابسته است. بنابراین برای رسیدن به دقت مناسب برای تخمین موقعیت جسم نیاز به اضافه کردن متغیرهای حالت مربوط به مسیر حرکت جسم وجود دارد. بنابراین نویزها و خطای دیگری می تواند در موقعیت تاثیر گذار باشند. فرض کنید بتوان مدلی خطی از موقعیت را به صورت زیر بدست آورد.

$$x(k+1) = Fx(k) + v(k) \quad (4)$$

که در آن  $x = [x \ \dot{x} \ y \ \dot{y} \ z \ \dot{z}]^T$  متغیرهای حالت و  $\tilde{v}(t) = [0 \ \tilde{v}_x \ 0 \ \tilde{v}_y \ \tilde{v}_z \ \tilde{v}_c]^T$  نویز گسسته سازی شده می باشند. ماتریس انتقال به صورت زیر خواهد بود

$$F = \text{diag}[F_2 \ F_2 \ 1 \ F_2] \quad (5)$$

و با توجه به ناهمبسته بودن نویزها ماتریس کواریانس سیستم فوق برابر خواهد بود با:

$$Q = \text{diag}[S_x V_2 \ S_y V_2 \ S_z T \ Q] \quad (6)$$

حول نقطه تخمین زده شده  $\hat{x}(k | k-1)$  داریم:

$$\begin{aligned} z(k) &= \psi[x(k)] + w(k) \\ &\approx \hat{\psi}[\hat{x}(k | k-1)] + \left. \frac{\partial \psi}{\partial x} \right|_{=\hat{x}(k|k-1)} [x(k) - \hat{x}(k | k-1)] + w(k) \\ &= \hat{z}(k | k-1) + H(k)[x(k) - \hat{x}(k | k-1)] + w(k) \end{aligned} \quad (7)$$

به این ترتیب روابط لازم برای فیلتر کالمن به صورت زیر می باشد:

$$z(k)^* = z(k) - \psi[\hat{x}(k | k-1)] + H(k)\hat{x}(k | k-1) = H(k)x(k) + w(k) \quad (8)$$

حال اگر  $n$  ماهواره در دسترس باشند، خواهیم داشت:



$$H = \frac{\partial \rho}{\partial x} \Big|_{x=\hat{x}} = \frac{\partial \psi}{\partial x} \Big|_{x=\hat{x}} = \begin{bmatrix} -h_1^x & 0 & -h_1^y & 0 & -h_1^z & c & 0 \\ -h_2^x & 0 & -h_2^y & 0 & -h_2^z & c & 0 \\ \vdots & & & & & & \vdots \\ -h_n^x & 0 & -h_n^y & 0 & -h_n^z & c & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

که در رابطه بالا

$$\begin{aligned} h_i^x &= \frac{(X_i - x)}{\sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2 + (Z_i - z)^2}} \\ h_i^y &= \frac{(Y_i - y)}{\sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2 + (Z_i - z)^2}} \\ h_i^z &= \frac{(Z_i - z)}{\sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2 + (Z_i - z)^2}} \end{aligned} \quad (10)$$

حال با تعیین ماتریس H می توان با هر دو روش فیلتر کالمن و حداقل مربعات تخمین موقعیت را انجام داد. بنابراین مدل فضای حالت سیستم را به صورت زیر می توان بیان کرد:

$$\begin{aligned} x(k+1) &= Fx(k) + v(k) \\ z(k) &= h[k, x(k)] + w(k) \end{aligned} \quad (11)$$

که w بیانگر نویز اندازه گیری می باشد که تابع غیرخطی خروجی به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} h[k, x(k)] &= r_i(k) + b(k) + w_e(k) \\ &= \sqrt{(X_i(k) - x(k))^2 + (Y_i(k) - y(k))^2 + (Z_i(k) - z(k))^2} + b(k) + w_e(k) \end{aligned} \quad (12)$$

تخمین مقدار خروجی با استفاده از رابطه فوق برابر خواهد بود با:

$$\hat{z}(k | k-1) = h[k, \hat{x}(k | k-1)] \quad (13)$$

حال فرض کنید اطلاعات بدست آمده از دو سنسور مجزای GPS یکی توسط الگوریتم فیلتر کالمن و دیگری توسط روش حداقل مربعات بازگشتی تحلیل شود. سپس اطلاعات با یکدیگر ترکیب شوند. زمانی که یکی از سنسورها عملکرد ضعیفی دارد و یا به طور کلی بدون سیگنال است می توان از ترکیب اطلاعات استفاده کرد بنابراین تاثیر خطای سنسورها کاهش یافته و در نتیجه قابلیت اطمینان شدیداً تقویت می شود. برای ترکیب اطلاعات از روش دسمتر-شافر استفاده می کنیم.





از دید احتمالی دو تابع احتمال را می توان تعریف نمود: موقعیت معلوم L (سنسور خوب کار می کند) و موقعیت نامعلوم N (سنسور مخدوش بوده و یا به کلی بدون سیگنال خروجی است). در این حالت مجموعه باور چنین خواهد بود  $2^\theta = \{\Phi, L, N, L \cup N\}$  در این صورت تابع چگال احتمال را چنین می توان تعریف کرد:

$$m_{n,i}(L) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_n} \exp\left(-\frac{(loc_{n,i} - \mu_n)^2}{2\sigma_n^2}\right) \quad (14)$$

$$m_{n,i}(N) = 1 - m_{n,i}(L)$$

که منظور  $loc_{n,i}$  موقعیت جسم از دید سنسور  $i$  می باشد. تابع چگال احتمال کلی برابر خواهد بود:

$$\begin{aligned} m_{n,DST}(L) &= K \times [m_{n,GPS1}(L) \times m_{n,GPS2}(L)] \\ m_{n,DST}(N) &= K \times [m_{n,GPS1}(N) \times m_{n,GPS2}(N)] \end{aligned} \quad (15)$$

که در رابطه فوق  $K$ ، مقدار نرمالیزه شده است. از آنجاییکه هیچ جرمی برای  $\theta$  تعریف نشده است درجه اعتقاد با مقدار تابع چگالی احتمال برابر خواهد بود  $Bel_{n,i}=m_{n,i}$ . این مورد برای  $\sigma_n$  و  $\mu_n$  نیز صادق است. بنابراین می توان بیان کرد  $\mu_n = (\mu_{n,x}, \mu_{n,y}, \mu_{n,z})$  و  $\sigma_n = (\sigma_{n,x}, \sigma_{n,y}, \sigma_{n,z})$  بنابراین واریانس در رابطه (۴) را برابر واریانس نویز سنسور فرض می کنیم. با استفاده از روش دمستر شافر می توان تعیین نمود که کدام سنسور با احتمال زیاد در حالت سالم است:  $(L)$  احتمال بیشتری دارد یا  $(N)$ . با تعیین احتمال ترکیب اطلاعات بر اساس واریانس تخمین دو سنسور و یا ماتریس کواریانس حاصل می شود.

$$\begin{aligned} & \text{if } m(L)_{GPS1} > m(L)_{GPS2} \\ & \sigma_{GPS1} \text{ without change} \\ & \sigma_{GPS2} \text{ 10 times smaller} \\ & \text{end} \end{aligned} \quad (16)$$

و ترکیب موقعیت  $x$  به صورت زیر است. این روش ترکیب برای دو موقعیت  $y$  و  $z$  به طور مشابه انجام می گیرد.

$$x_{mix} = \frac{\sigma_{GPS2}^2}{\sigma_{GPS1}^2 + \sigma_{GPS2}^2} x_{GPS1} + \frac{\sigma_{GPS1}^2}{\sigma_{GPS1}^2 + \sigma_{GPS2}^2} x_{GPS2} \quad (17)$$

در این صورت واریانس کل ترکیب برابر است با:



$$\sigma^2 = \frac{\sigma_{GPS1}^2 \sigma_{GPS2}^2}{\sigma_{GPS1}^2 + \sigma_{GPS2}^2} \quad (18)$$

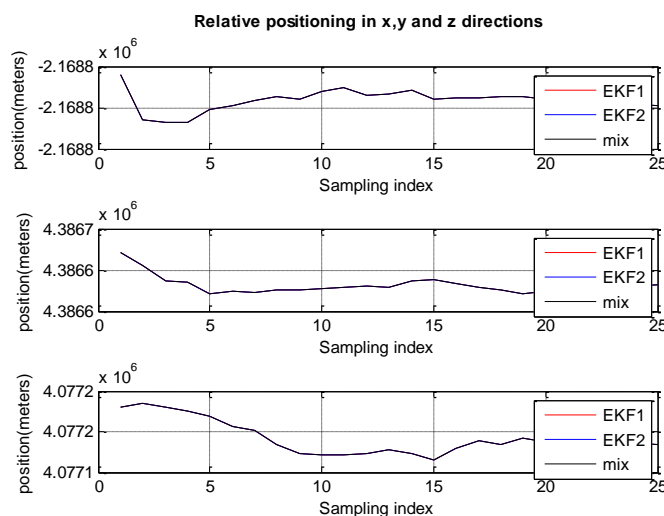
که همیشه واریانس بین واریانس دو سنسور خواهد داشت. در صورتی که قست داشته باشیم از روش بازگشتی برای ترکیب استفاده کنیم می توان از روش زیر بهره برد. P در روابط زیر بیانگر ماتریس کواریانس تخمین موقعیت حاصله از الگوریتم تخمین می باشد.

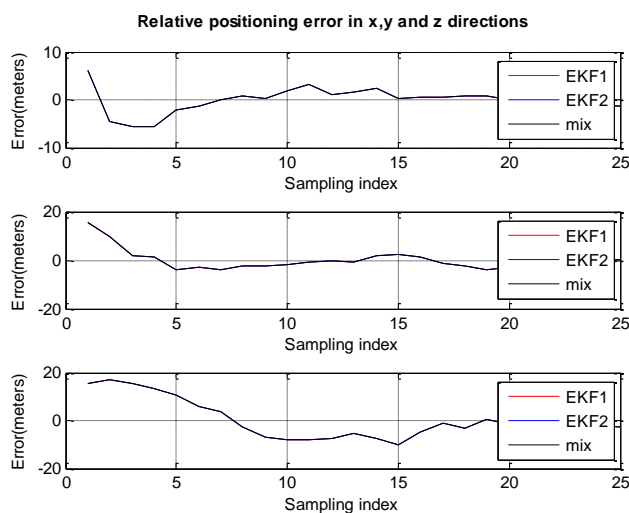
$$\begin{aligned} \hat{x}_{mix}(k|k) &= P(k|k) \left\{ P_{GPS1}(k|k-1)^{-1} \hat{x}_{GPS1}(k|k-1) \right. \\ &\quad + \left[ P_{GPS2}(k|k)^{-1} \hat{x}_{GPS2}(k|k) - P_{GPS2}(k|k-1)^{-1} \hat{x}_{GPS2}(k|k-1) \right] \\ &\quad \left. + \left[ P_{GPS1}(k|k)^{-1} \hat{x}_{GPS1}(k|k) - P_{GPS1}(k|k-1)^{-1} \hat{x}_{GPS1}(k|k-1) \right] \right\} \quad (19) \\ P(k|k) &= \left\{ P(k|k-1)^{-1} + P_{GPS2}(k|k)^{-1} - P_{GPS2}(k|k-1)^{-1} \right. \\ &\quad \left. + P_{GPS1}(k|k)^{-1} - P_{GPS1}(k|k-1)^{-1} \right\}^{-1} \end{aligned}$$

حال با استفاده از روش ترکیب داده های اشاره شده در فوق خروجی دو سنسور GPS که عملکردی یکسان دارند (دو سنسور سالم هستند و هر دو توسط فیلتر کالمن فیلتر شده اند) با هم تلفیق شده تا موقعیت به صورت دقیق تری محاسبه شود.

### یافته ها

نتیجه حاصل از ترکیب ارائه شده در بخش قبل، به صورت زیر است.

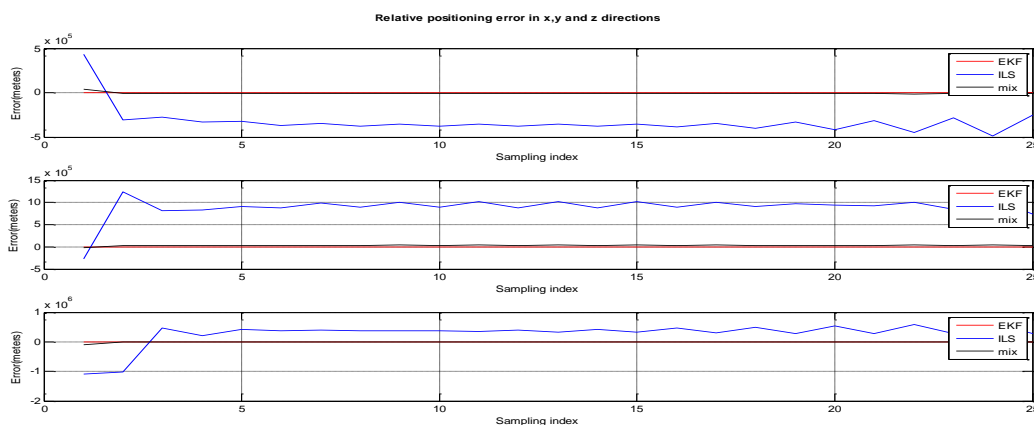




شکل ۲- خطای خروجی دو سنسور GPS و روش تلفیق دسمتر شافر در تخمین موقعیت جسم

دیده می شود زمانی که دو دو سنسور در حالت سالم هستند استفاده از تک تک سنسورها و یا ترکیب آنها بدون مشکل است. حال فرض کنید که سنسور دوم با مشکل روبه رو شده باشد و در اثر این مشکل تخمین مقدار ارتفاع با ۲۰ درصد خطا مواجه شود. در این صورت طبق شکل زیر خطای تخمین این سنسور شدیداً بزرگ خواهد بود. با این وجود با استفاده از روش تلفیق دو سنسور دیده می شود که خروجی روش پیشنهادی به سنسور سالم نزدیک تر خواهد بود و این به دلیل کوچک بودن ماتریس کواریانس این سنسور می باشد. در حالی که اگر این تلفیق اطلاعات نبود در بکارگیری سنسور دقیق دچار سردرگمی

بودیم.

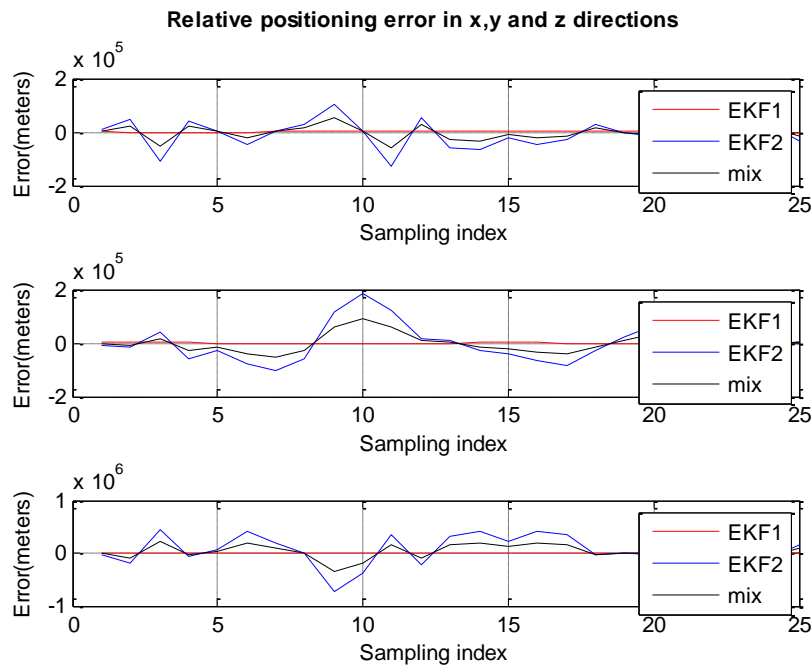


شکل ۳- خطای خروجی دو سنسور GPS (یکی معیوب) و روش تلفیق دسمتر شافر در تخمین موقعیت جسم



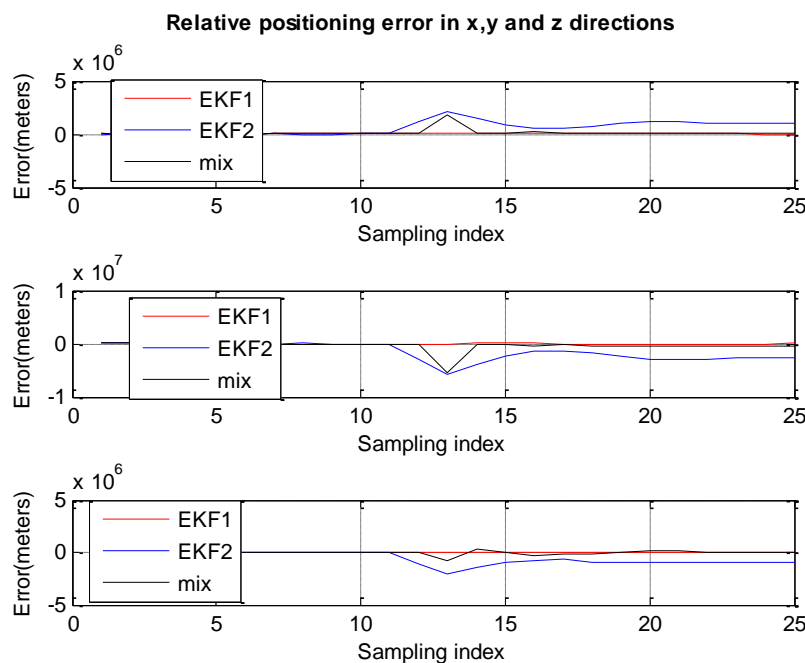


فرض کنید سنسور اول دارای نویز بیشتری در گیرنده خود باشد. با عبور داده های دو سنسور از فیلتر کالمن و تلفیق آنها خطای خروجی های زیر حاصل می شوند.



شکل ۴- خطای خروجی دو سنسور GPS (یکی دارای نویز) و روش تلفیق دسمتر شافر در تخمین موقعیت جسم

طبق شکل فوق ترکیب اطلاعات منجر به پاسخی مناسبتر می شود. حال فرض کنید که مدتی از مسیر یکی از سنسور ها دچار عیب شده و سیگنال دریافتی را از دست دهد. با ترکیب اطلاعات می توان هنوز عملکرد قبلی را حفظ نمود.



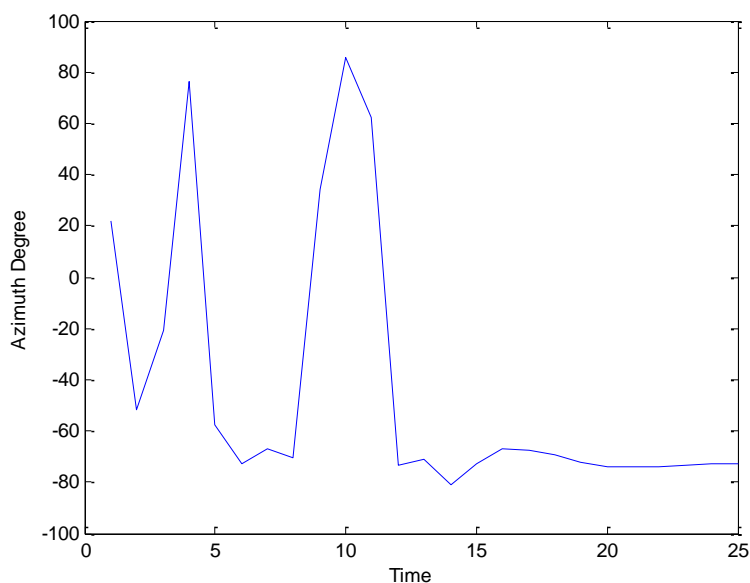


شکل ۵- خطای خروجی دو سنسور GPS (از کار افتادن یک سنسور در بین مسیر) و روش تلفیق دسمتر شافر در تخمین موقعیت جسم طبق شکل فوق می توان نتیجه گرفت که با تلفیق مناسب اطلاعات می توان از اطلاعات مفید و مزایای دو سنسور استفاده نمود و معایب آنها را تا حدود زیادی کاهش داد و بدین ترتیب قابلیت اعتماد سیستم را شدیداً افزایش داد.

در این قسمت جهت یابی توسط سنسور GPS صورت خواهد گرفت. این سنسور قابلیت تعیین موقعیت جهانی را دارد. اما تعیین جهت با استفاده از این سنسور به راحتی قابل انجام نیست. از اینرو در اغلب کاربردها از ترکیب سنسور GPS با سنسورهای مکانی از جمله IMU استفاده می شود ولی در این مقاله قصد داریم با استفاده از دو سنسور GPS جهت یابی انجام گیرد. منظور از جهت یابی برای یک جسم متحرک معمولاً تعیین میزان انحراف این جسم نسبت به محور شمال می باشد که به آن زاویه Azimuth نیز گفته می شود. نامعینی (نادقیقی) در تعیین زاویه Azimuth بر اساس رابطه زیر قابل تعیین است.

$$Az(A, B) = \arctan \left[ \frac{(y_B - y_A)}{(x_B - x_A)} \right], u_{Azi} = \sqrt{\frac{2((\sigma_E \cos Azi_0) + (\sigma_N \sin Azi_0))}{d \times \cos Ele_0}} \quad (20)$$

از رابطه فوق می توان جهت تعیین دقت موقعیت یابی و در نتیجه تعیین دقت جهت یابی استفاده کرد.



شکل 6- تخمین زاویه azimuth



## بحث و نتیجه گیری

در این مقاله با استفاده از روش پیشنهاد شده در فصل قبل به تلفیق اطلاعات دو سنسور پرداخته شده است برای این امر ابتدا توسط الگوریتم مناسب (مانند فیلتر کالمن یا حداقل مربعات) موقعیت خروجی هر دو سنسور محاسبه می شود سپس توسط روش دمستر-شافر ضریبی برای هر یک از سنسورها بر اساس سالم بودن و مقدار ماتریس کوواریانس آنها محاسبه می شود و با استفاده از این ضریب اطلاعات دو سنسور با یکدیگر تلفیق می شوند. دیده می شود که چنین راهکاری منجر به افزایش دقت و قابلیت اعتماد به روش تخمین موقعیت می شود. همچنین با استفاده از دو سنسور GPS در این تحقیق هدف جهت یابی نیز محقق شده است.

## منابع

- Eugen, David. (2012). GNSS antenna orientation based on modification of received signal strengths. Institute fur Geodesy und Photogrammetry. (2012).
- Yi-quan, Sun., Ying-Tang, Zhang. And Zhi-wei, Li. (2012). Method of Engine Fault Diagnosis Based on Kalman Transfer Matrix. In J. Noise and Vibration Control. (2010). vol. 32. 159-163.
- Su, Xiangyang. And Dong, Zengshou. (2015). A Modified Combination Rule to Conflict Evidence for Dempster-Shafer Theory. International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN). (2015).
- Broumandan, A., Lin, T., Moghaddam, A., Lu, D., Nielsen, J. and Lachapelle, G. (2007). Direction of arrival estimation of GNSS signals based on synthetic antenna array. in Proceedings of the 20th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2007), ION GNSS, Fort Worth, TX. (2007). 728-738.
- Häberling, S. and Geiger, A. (2010). Determination of attitude change by a single GPS antenna. In *2nd International Conference on Machine Control & Guidance*. (2010). 149 – 155.
- Wang, C., Walker, R. A. and Moody, M. P. (2005). A GPS signal transmission model for improved single antenna attitude determination. In *11th Australian International Aerospace Congress*. (2005). 178-185.
- Jilek, Tomas. And Zalud, Ludek. (2011). Evaluation of real accuracy of azimuth measurement in the external environment using GNSS compass. *Annals of DAAAM & Proceedings*. (2011). 1493-1495.
- Verhagen, J. and Teunissen, P.J. G. (2011). GNSS-based attitude determination. *Inside GNSS*. (2011). vol. 6. 62-71.

Surf and download all data from SID.ir: [www.SID.ir](http://www.SID.ir)

Translate via STRS.ir: [www.STRS.ir](http://www.STRS.ir)

Follow our scientific posts via our Blog: [www.sid.ir/blog](http://www.sid.ir/blog)

Use our educational service (Courses, Workshops, Videos and etc.) via Workshop: [www.sid.ir/workshop](http://www.sid.ir/workshop)