Archive of SID

طراحی و ساخت یک سامانه ذخیره و نظارت بر موقعیت جغرافیایی به منظور استفاده در پهپادها

ابراهیم چگینی[۱]، جلیل مظلوم[۲]، ابوالفضل خانزاده ثمرین[۳]

۱- مربی- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه علوم وفنون هوایی شهید ستاری- تهران- ایران

ebrahim.chegini@ssau.ac.ir

۲- دانشیار- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه علوم وفنون هوایی شهید ستاری- تهران- ایران

jalil.mazloum@ssau.ac.ir

۳- کارشناسی ارشد- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی- تهران- ایران

abolfaz.khanzade@gmail.com

چکیده: بکارگیری سامانه‌های پیچیده و پرهزینه ناوبری که مصرف توان و وزن زیادی هم دارند، بر روی هواپیماهای آموزشی و پهپادها که گستره پروازی کمی دارند، مقرون به صرفه نیست. بنابراین نیاز به سامانه‌های ناوبری سبک با هزینه کم و قابلیت اطمینان مناسب برای این‌گونه پرنده‌های سبک احساس می‌شود. در این مقاله یک سامانه برای موقعیت‌یابی و پایش مسیر پروازی برای هواپیماهای سبک آموزشی و پهپادها ارائه شده است. سامانه مذکور که مبتنی بر بکارگیری گیرنده GPS می‌باشد، توان مصرفی بسیار کم (در حدود ۱ وات) داشته و قابلیت کار با باتری یا منبع تغذیه هواپیما را دارد. با استفاده از این سامانه و با تحلیل و مقایسه داده‌های دریافتی از GPS با طرح و محدوده پروازی مجازی که قبل از پرواز توسط خلبان صورت می‌گیرد، می‌توان از گم شدن و یا ورود پهپاد به مناطق پرواز ممنوع جلوگیری کرد. پس از برنامه‌ریزی و وارد کردن طرح پرواز توسط خلبان، این سامانه قادر است در حین پرواز با موقعیت‌یابی برخط هواپیما و مقایسه مسیر پرواز با محدوده برنامه‌ریزی شده، هنگام نزدیک شدن پرنده به منطقه ممنوع، به خلبان هشدار دهد. همچنین داده‌های مربوط به مسیر حرکت داخل کارت حافظه ذخیره شده و با استفاده برنامه‌ای که به زبان C# نوشته شده، قابلیت بازخوانی و نگاشت بر روی نقشه را دارد. با طراحی مدارهای واسط که ارتباط بین این دستگاه با دیگر سامانه‌های ناوبری نظیر INS را برقرار کند، می‌توان دستگاه را به منظور استفاده در سایر هواپیماها ارتقا داد.

واژه‌های کلیدی: GPS، پهپاد، محدوده مجاز پرواز، پایش مسیر پرواز، نگاشت مسیر

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۰۱	**تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۱/۱۵**
از صفحه ۱ تا ۹	**نوع مقاله : پژوهشی**
نویسنده مسئول: ابراهیم چگینی	**نشریه علمی فناوری اطلاعات و ارتباطات انتظامی- دوره دوم- شماره ۵ - بهار ۱۴۰۰**

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

روزانه تعداد زیادی پرواز انجام می‌شود که کنترل همه این هواپیماها به وسیله سامانه‌های موقعیت‌یاب صورت می‌گیرد. این سامانه‌ها موقعیت هواپیما را مشخص کرده و به پایگاه‌های زمینی مخابره می‌کنند تا برنامه‌ریزی دقیق برای کنترل زمان و مسیر پروازها انجام شود [۱-۴]. همچنین، یک سری مسیرهای مجاز و نواحی محدود پروازی وجود دارد که از قبل توسط سازمان‌های هواپیمایی تعیین می‌شود. ولی با همه این تفاسیر ممکن است به دلایل مختلف مثل وجود سایت‌های پدآفندی، یا نواحی با سطح حفاظتی بالا، پرواز در برخی مناطق ممنوع باشد و خلبان توجهی به این مناطق نداشته باشد و یا به دلیلی خاص محدوده‌ای که تا قبل از این جزو نواحی مجاز بوده، پرواز ممنوع شده باشد. به عنوان مثال اخیراً در پرواز شماره ۷۵۲ تهران-کیف به دلیل عدم هماهنگی سامانه پدافندی با سازمان هواپیمایی متأسفانه شاهد حادثه‌ای غمناک بودیم. همچنین از دست رفتن سامانه ناوبری و هدایت اصلی و ورود پهپادهای خودی به محدوده‌های پرواز ممنوع می‌تواند باعث فعال شدن نابجای سامانه‌های پدافندی خودی و یا انهدام این پرنده‌ها توسط سامانه‌های پدآفندی شود که با تحمیل هزینه‌های زیاد همراه است. پهپادها با توجه به ماموریت خاصی که دارند، گاهاً لازم است اطلاعاتی را به صورت برخط، خودکار و مستقل ارائه دهند. به این منظور نیاز به سامانه‌های پشتیبان برای موقعیت‌یابی، کنترل و پایش موقعیت آنها بسیار حائز اهمیت است.

امروزه با پیشرفت دانش الکترونیک و نیز بکارگیری حسگرهای دقیق، سامانه‌های کنترلی خلبان خودکار هواپیماها پیشرفت بسیاری کرده است. با بهره‌گیری از سامانه‌های خلبان خودکار روی پهپادها علیرغم غیرخطی‌های مرتبه بالایی که در دینامیک حرکت پهپاد وجود دارد، ناوبری این پرنده‌ها در مسیرهای از قبل مشخص شده امکان‌پذیر شده است. همه این سامانه‌های کنترل خودکار از دو بخش تشکیل می‌شوند. بخش مشاهده و دریافت وضعیت پرنده که اطلاعات پیرامونی را از طریق حسگرها دریافت می‌کند و بخش کنترل کننده و تصحیح وضعیت که با توجه به اطلاعات دریافتی از بخش مشاهده‌گر و با توجه به طرح و برنامه‌ای که از قبل برنامه‌ریزی شده است، اقدام به تصحیح وضعیت می‌کند. همچنین با توجه به ماموریتی که هر نوع از پهپادها دارند، یک سری سامانه به منظور ثبت اطلاعات پرواز[1] و پشتیبانی از سامانه‌های اصلی ناوبری در این پرنده‌ها تعبیه می‌شود. این سامانه‌ها اطلاعات پرواز و داده‌های بدست آمده از حسگرها در حین پرواز را دریافت و کدگذاری کرده و در واحد حافظه ذخیره می‌کنند. با بررسی اطلاعات ذخیره شده در سامانه ثبت اطلاعات پرواز می‌توان به ارزیابی عملکرد اجزا و زیرسامانه‌های پرنده، داده‌های دریافتی از حسگرها و بررسی اخلال احتمالی پرداخت [۸-۵].

امروزه از سامانه‌های ناوبری متنوعی با توجه به عملکرد و کاربری هریک از اشیای پرنده استفاده می‌شود. برای افزایش دقت مسیریابی و ناوبری، بخصوص در هواپیماهای سنگین، از چندین سامانه ناوبری به طور همزمان و موازی با هم استفاده می‌شود. با بهره‌گیری از سیگنال‌های دریافتی از این تجهیزات کمک ناوبری، مقایسه و پردازش اطلاعات دریافتی از آن‌ها می‌توان تا حدود زیادی دقت ناوبری و امنیت پرواز را افزایش داد. در ادامه به معرفی برخی از این سامانه‌های ناوبری و کمک‌ناوبری پرداخته می‌شود.

۱-۱- GNSS

GNSS، یا سامانه موقعیت‌یابی جهانی ماهواره‌ای[2] منظومه‌ای از ماهواره‌هایی است که درمدارهای مشخصی به دور زمین در حال چرخش هستند. به هریک از این ماهواره‌ها راکت‌های کوچکی متصل است که ماهواره‌ها را در مسیر حرکت صحیح نگه‌می‌دارد. به این ماهواره‌ها اصطلاحاً نواستار[3] گفته می‌شود. هر کدام از ماهواره‌ها سیگنال‌های خاصی را به ایستگاه‌های مستقر در زمین ارائه می‌دهد تا دستگاه‌های گیرنده، این اطلاعات را بررسی کرده و در نهایت موقعیت دقیق را به کاربر ارائه دهند [۹]. امروزه کشورهای آمریکا، روسیه، چین و اتحادیه اروپا دارای سامانه‌های کامل و فعال موقعیت‌یابی ماهواره‌ای هستند و کشورهای هند و ژاپن نیز در حال تکمیل سامانه‌های موقعیت‌یاب بومی خود می‌باشند. پرکاربردترین سامانه موقعیت یاب ماهواره‌ای محصول کشور آمریکا است که با نام سامانه موقعیت‌یاب جهانی[4](GPS) استفاده می‌شود. امروزه استفاده از این سامانه‌ها توسعه زیادی در زندگی روزمره داشته و در دستگاه‌های مختلف برای پایش حرکت و ناوبری انسان و وسایل نقلیه مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین کنترل خودکار وسایل نقلیه مانند اتومبیل‌های خودران و پهپادها با استفاده از داده‌های ناوبری دریافتی از سامانه‌های GNSS میسر شده است. در ادامه مدل سیگنال‌های ارسالی ماهواره‌ها و دریافت این سیگنال‌ها توسط گیرنده بطور خلاصه بیان می‌شود. سیگنال باند پایه که توسط i-امین ماهواره در زمان t ارسال می‌شود، با معادله (۱) بیان می‌شود:

[1] Flight Data Recorder (FDR)

[2] Global Navigation Satellite System
[3] Navstar
[4] Global Positioning System (GPS)

www.SID.ir

Archive of SID

$$S^{(i)}(t)=\sum_{m=-\infty}^{+\infty}\sum_{k=0}^{N_c-1}d_m^{(i)}\hat{c}_k^{(i)}h_{T_\infty}(t-(k+mN_c)T_c)$$
$$=\sum_{k=-\infty}^{+\infty}\varphi_k^{(i)}h_{T_\infty}(t-kT_c) \qquad (۱)$$

و $\varphi_k^{(i)}$ با استفاده از معادله (۲) بدست می‌آید.

$$\varphi_k^{(i)}=d_{\left[\frac{k}{N_c}\right]}^{(i)}\hat{c}_k^{(i)} \qquad (۲)$$

که در آن $\hat{c}_k^{(i)}$، توالی انتشار دوره‌ای یا دنباله شبه‌نویز تصادفی[1] مربوط به i-امین ماهواره است. N_c، تعداد ماهواره‌هایی است که در حال ارسال داده به گیرنده هستند. $d_m^{(i)}$، داده‌های ارسال شده توسط i-امین ماهواره، T_c دوره تناوب ارسال داده و کسر $\frac{1}{N_cT_c}$ فرکانس دریافت اطلاعات ناوبری می‌باشد. معادلات گفته شده در بالا با این فرض که تمامی ماهواره‌ها همزمان و دارای یک مرجع زمانی می‌باشند، برقرار است [۱۰-۱۲].

DME -۲-۱

این ابزار، یک سامانه اندازه‌گیری فاصله[2] می‌باشد که یکی از ساده‌ترین و در عین حال باارزش‌ترین سامانه‌های کمک ناوبری رادیویی است. طرز کار این سامانه به این صورت است که از یک فرستنده در باند فرکانسی ۹۶۰ تا ۱۲۱۵ مگا هرتز استفاده می‌کند. DME، زمانی را که طول می‌کشد تا یک سیگنال به ایستگاه زمینی رفته و برگردد را اندازه‌گیری و از روی آن فاصله را بدست می‌آورد [۱۳].

ILS -۱-۳

سامانه فرود[3]، ابزاری است که برای هدایت هواپیما به هنگام فرود به باند بخصوص در شرایط جوی نامناسب یا در شب بسیار مفید می‌باشد. این سامانه از دو سیگنال رادیویی جهت‌دار افقی در باند فرکانسی ۱۰۸ تا ۱۱۲ مگاهرتز و سیگنال عمودی در باند فرکانسی ۳۲۹ تا ۳۳۵ مگا هرتز استفاده می‌کند. این دو سیگنال‌ها باهم تداخل داشته تا اطلاعات دقیق موقعیتی را در فرم شعاع رادیویی سامانه فرود در اختیار خلبان بگذارند [۱۴].

ADF/NDB -۴-۱

NDB، در واقع یک برج دیدبانی رادیویی بدون جهت[4] می‌باشد که بر روی زمین قرار گرفته و یک سیگنال الکترونیکی را در تمامی جهات منتشر می‌سازد. اگر یک هواپیما به جهت‌یاب خودکار[5] (ADF) مجهز باشد، موقعیت هواپیما نسبت به ایستگاه فرستنده رادیویی قرار داده شده بر روی زمین، بدست خواهد آمد [۱۵]. سامانه جهت یاب خودکار دارای یک اشاره‌گر فلش مانند است که بر روی یک نمایشگر قطب‌نما گونه قرار گرفته است. فلش موردنظر همیشه به سمت ایستگاه فرستنده زمینی اشاره می‌کند، یعنی اگر خلبان هواپیما را در شرایط بدون وجود باد قوی، به سمت فلش هدایت کند، مستقیماً به سمت ایستگاه فرستنده زمینی پرواز خواهد کرد [۱۶].

INS -۵-۱

امروزه هواپیماهای مسافربری سامانه‌های جهت یابی و ناوبری مخصوص خود را دارند که سامانه ناوبری اینرسی[6] (INS) از آن جمله است. سامانه ناوبری اینرسی با سنجش و اندازه‌گیری تغییرات سرعت‌های خطی در جهت محورهای مختصات و نیز سرعت زاویه‌ای حول این محورها و با داشتن موقعیت جغرافیایی پایگاه مبداء معادلات حرکت پرنده را تشکیل می‌دهد. با استفاده از این معادلات حرکت، هواپیما در هر لحظه موقعیت جغرافیایی خود را بروزرسانی می‌کند. این سامانه می‌تواند با موقعیت‌یاب ماهواره‌ای تعامل داشته و به صورت هماهنگ با دریافت و مقایسه داده‌ها، کار خود ادامه دهد و به مقایسه و تصحیح اطلاعات بپردازد. کارکرد این سامانه به این صورت می‌باشد که هواپیما به جای اینکه طول و عرض جغرافیایی خود را از روی سامانه موقعیت‌یاب جهانی دریافت کند به صورت محلی با محاسبه سرعت هواپیما و چرخش‌های انجام شده طول و عرض جغرافیایی خود را پیدا می‌کند و نیازی به ارتباط با هیچ پایگاهی ندارد و بعد از برقراری ارتباط با اولین پایگاه موقعیت خود را اعتبارسنجی می‌کند [۱۷]. همچنین، امروزه با پیشرفت در ساخت سیستم‌های میکروالکترومکانیکی[7]، ساخت سنسورهای اینرسی کم‌حجم و سبک با توان مصرفی کم امکان پذیر شده است [۱۸].

در این مقاله سامانه‌ای طراحی شده که به وسیله آن موقعیت لحظه به لحظه هواپیمای سبک یا پهپاد ثبت و ذخیره شده و به صورت بر خط مورد پایش قرار می‌گیرد. این سامانه با مقایسه مسیر حرکت با طرح پروازی که از قبل توسط استاد خلبان پرواز آموزشی یا

[1] Pseudo-random Noise (PRN)
[2] Distance Measuring Equipment
[3] Instrument Landing System
[4] Non-directional radio Beacon
[5] Automatic Direction Finder
[6] Inertial Navigation System (INS)
[2] Micro-Electro-Mechanical-Systems (MEMS)

www.SID.ir

Archive of SID

خلبان پهپاد تعیین و محدوده‌های پرواز ممنوع در آن وارد شده، به پایش و نظارت بر مسیر پرواز می‌پردازد. بدین ترتیب استاد خلبان پرواز آموزشی یا خلبان پهپاد می‌تواند قبل از پرواز نقاطی که پرواز در آن‌ها ممنوع می‌باشد را مشخص کند و خلبان با استفاده از این سامانه و هشداری که هنگام نزدیک شدن هواپیما به این نقاط به او می‌دهد، اقدام به تصحیح مسیر پرواز نماید. این سامانه ابعاد و وزن کمی داشته و در مواردی مثل پهپادهای سبک که نصب سامانه‌های موقعیت‌یاب گران، حجیم و سنگین معمول در هواپیماها از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد، می‌تواند بکار گرفته شود. همچنین این سامانه با توان مصرفی کم و با بهره‌گیری از سیگنال‌های دریافتی از سامانه موقعیت‌یاب ماهوارهای، قابلیت تعیین و ذخیره موقعیت جغرافیایی را دارد. بعلاوه با تعیین محدوده و پروفایل پرواز توسط استاد خلبان، امکان بررسی پرواز انجام شده پس از انجام مأموریت را برای تیم نظارتی ایجاد می‌کند. با ارتقای مدارهای واسط به منظور دریافت و پردازش سیگنال‌های دریافتی از سایر سامانه‌های ناوبری نظیر INS، می‌توان دقت این سامانه را بهبود بخشید [۲۰,۱۹].

۲- نحوه محاسبه مسافت از روی مختصات جغرافیایی

در صفحه دو بعدی، همانطور که در شکل ۱-الف نیز نشان داده شده است، فاصله اقلیدسی بین دو نقطه طبق معادله (۳) محاسبه می‌شود.

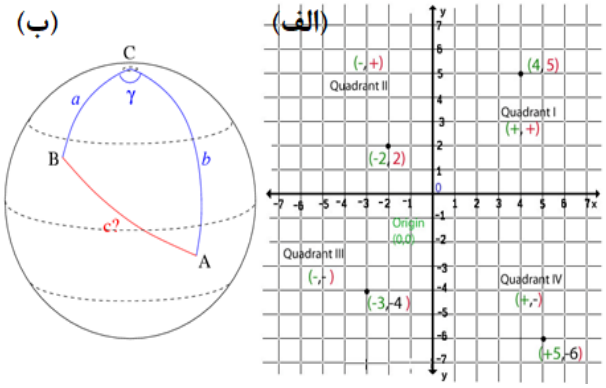
$$D=\sqrt{\left(x_2-x_1\right)^2+\left(y_2-y_1\right)^2} \qquad (۳)$$

که در آن به ترتیب x_1 و x_2 طول و y_1 و y_2 عرض‌های نقاط ابتدا و انتها هستند.

از آنجایی که درواقع ملاک عمل و تغییر مسیر برای خلبان هواپیما یا پهپاد درواقع مسافتی است که از موقعیت فعلی شیء پرنده تا نواحی پروازممنوع وجود دارد، لذا از فاصله اقلیدسی برای محاسبات مسیر پیش رو تا این نواحی استفاده نمی‌شود. برای محاسبه این مسافت و به منظور لحاظ کردن خمیدگی سطح کره زمین، ملزم به استفاده از روش دیگری هستیم که بتواند مسافت را در مختصات سه بعدی نااقلیدسی محاسبه کند. در مختصات سه بعدی از معادله (۴) برای بدست آوردن مسافت بین نقاط استفاده می‌شود.

$$D=R\times cos^{-1}(sin\varphi_1 sin\varphi_2+cos\varphi_1 cos\varphi_2 cos\Delta\theta) \qquad (۴)$$

در این معادله، R شعاع کره زمین می‌باشد که برابر ۶۳۷۱ کیلومتر در نظر گرفته شده است. همچنین φ و θ به ترتیب عرض و طول جغرافیایی هستند. در شکل(۱)-ب مسافت بین دو نقطه A و B بصورت نمادین نشان داده شده است.



شکل (۱) – الف) فاصله اقلیدسی در مختصات دوبعدی، ب) نمایش مسافت پیموده شده بین دو نقطه فرضی روی یک کره.

پس از محاسبه فاصله هوایی هواپیما از مراکز مناطق ممنوعه، اگر این فاصله از شعاع‌های تقرب تعیین شده برای هریک از نواحی پرواز ممنوع کمتر باشد دستگاه به صورت گویا به خلبان هشدار داده و نور صفحه نمایشگر به صورت چشمک‌زن در می‌آید.

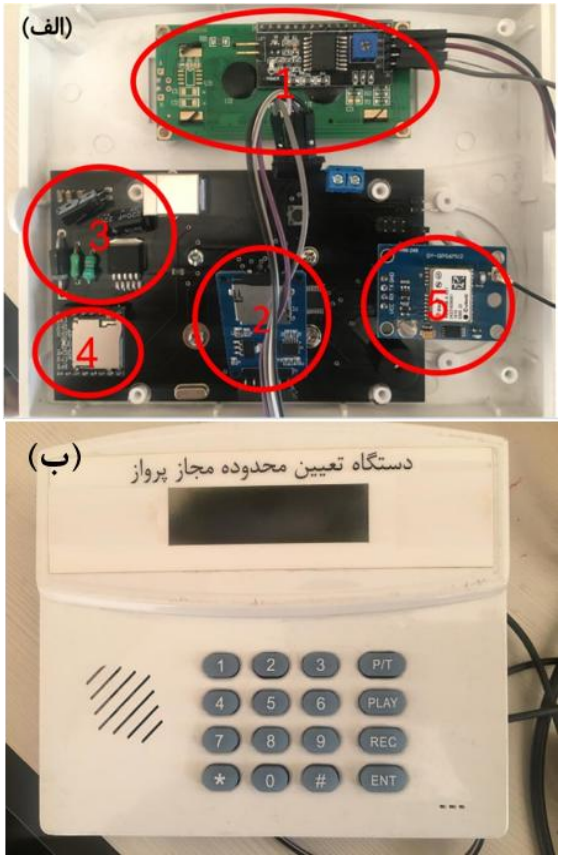
۳- طراحی سخت‌افزار

این سامانه از یک دریافت کننده سیگنال GPS، میکروکنترلر، مبدلUSB به TTL، صفحه نمایشگر ۲×۱۶، کارت حافظه، منبع تغذیه و واحد پخش صدا تشکیل شده است. این قسمت‌ها توسط پین‌ها، اتصالات داخلی و سیم‌های رابط به یکدیگر وصل شده‌اند. جانمایی قطعات و مدارهای داخلی به کار رفته در این سامانه و نمای بیرونی دستگاه به ترتیب در شکل(۲)-الف و شکل(۲)-ب نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۲-الف مشاهده می‌شود، این دستگاه دارای دو قسمت می‌باشد که با کانکتور به یکدیگر متصل شده است. قسمت بالایی دستگاه که شامل نمایشگر و واحد راه انداز I2C[1] می‌باشد و قسمت دیگر که برد اصلی است و قطعات دیگر شامل گیرنده GPS، واحد پخش صدا، کارت حافظه و درگاه USB و سایر اتصالات در آن جانمایی شده است. پایه‌های برنامه‌ریزی میکروکنترلر شامل پایه‌های SPI[2] می‌باشد که به وسیله این پایه‌ها، میکروکنترلر بر روی برد برنامه‌ریزی می‌شود. در شکل ۲-ب نمای بیرونی دستگاه نشان داده شده است که شامل پنل ورودی، خروجی صدا و صفحه نمایش می‌باشد.

[1] Inter-Integrated Circuit
[2] Serial Peripheral Interface

www.SID.ir

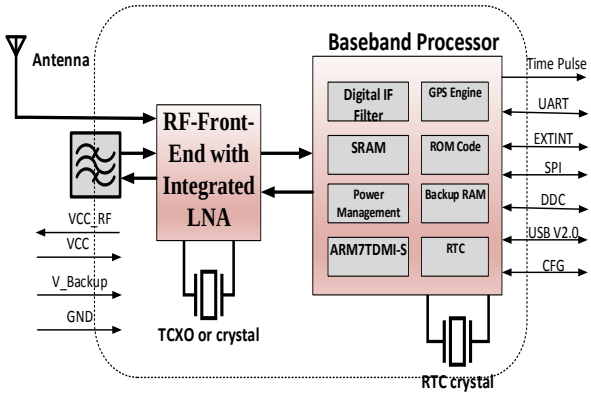
Archive of SID



شکل (۲) : الف) جانمایی مداری، ب) نمای بیرونی دستگاه.

۳-۱- گیرنده GPS

موقعیت جغرافیای هواپیما به وسیله گیرنده GPS دریافت می‌شود و قطعه‌ای که برای دریافت این اطلاعات به کار گرفته شده، قطعه تجاری NEO-6m می‌باشد. این قطعه که ساخت شرکت U-blox آلمان است، یکی از دقیق ترین گیرنده‌های GPS با استاندارد غیر نظامی موجود در بازار می‌باشد و از آنتن فعال نیز پشتیبانی می‌کند. این گیرنده شامل دو بخش آنتن دریافت کننده سیگنال ارسالی از ماهواره و بخش پردازش اطلاعات دریافتی و تعیین موقعیت است. نکته مهمی که می‌بایست مورد توجه قرار گیرد این است که ارتفاعی که GPS به ما می‌دهد با ارتفاع موجود در نقشه‌ها و اطلس‌ها فرق می‌کند. ارتفاع بدست آمده از گیرنده GPS، بر مبنای مختصات بیضوی است، در حالی که ارتفاع موجود در نقشه‌ها ارتفاع اورتومتریک است که از سطح دریاهای آزاد محاسبه می‌گردد. این اختلاف می‌بایست در بدست آوردن موقعیت دقیق جغرافیایی، بخصوص برای اشیای پرنده، لحاظ گردد. همچنین مقدار دقت دستگاه GPS در فضای باز بین ۲ تا ۴ متر می‌باشد که می‌تواند دقت قابل قبولی برای ناوبری هوایی باشد [۲۲,۲۱]. پروتکل ارتباطی این قطعه از نوع UART[1] است که توسط هرگونه میکروکنترلر قابل راه اندازی است. بر روی این قطعه یک باطری قابل شارژ ۳.۷ ولتی نیز درنظر گرفته شده است که جریان مصرفی ۴۵ میلی آمپری آن را تأمین می‌کند، طرحواره اجزای داخلی این قطعه در شکل (۳) نشان داده شده و جانمایی مدار قرائت آن در شکل (۲)-الف با شماره ۵ مشخص شده است.



شکل(۳): طرحواره قطعه GPS– NEO6m [۲۲].

۳-۲- میکروکنترلر

در این سامانه از میکروکنترلر ۸ بیتی Atmega 328 از خانواده AVR با ۳۲ کیلو بایت حافظه داخلی و حداکثر نرخ سوئیچزنی ۲۰ مگاهرتز استفاده شده است. این میکروکنترلر دارای ۳ شمارنده و ۲۳ پایه ورودی/خروجی است. تغذیه این قطعه با ولتاژ ۵ ولت dc بوده و جریان‌کشی آن در فرکانس کاری ۸ مگاهرتز در حدود ۳.۶میلی آمپر است.

۳-۳- مبدل USB به TTL

این مبدل ساخت شرکت FTDI می‌باشد و سرعت انتقال دیتای سریال آن بین ۳۰۰ تا ۳ مگابیت بر ثانیه است. همچنین دارای درگاه ورودی-خروجی USB 2.0 می‌باشد. یک بافر ۱۲۸ بایتی در مسیر دریافت و یک بافر ۲۵۶ بایتی در مسیر ارسال اطلاعات آن قرار گرفته است. این قطعه با پروتکل UART و با نرخ ۹۶۰۰ بیت بر ثانیه با میکروکنترلر مبادله داده می‌کند [۲۳].

[1] Universal Asynchronous Reception and Transmission (UART)

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۴- نمایشگر

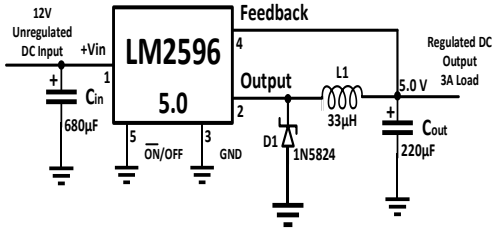
در این دستگاه یک نمایشگر کریستال مایع[1] با ۱۶ ستون و دو ردیف استفاده شده که برای نشان دادن طول و عرض جغرافیایی، نمایش وضعیت و گزارش خرابی سامانه به کار می‌رود. بر روی این نمایشگر قطعه pfc8574 نصب شده که وظیفه آن کنترل پایه‌ها به وسیله پروتکل I2C می‌باشد. به علت کمبود پایه‌های میکرو و کاهش جریان مصرفی آن تا حدود ۱۰۰ میلی آمپر، از این قطعه استفاده شده تا با استفاده از فقط دو پایه میکرو بتوان با نمایشگر ارتباط برقرار کرد. مدار مربوط به این قسمت درشکل(۲)-الف با شماره ۱ نشان داده شده است.

۳-۵- کارت حافظه

قسمت ذخیره‌سازی داده‌های این دستگاه یک کارت حافظه از نوع میکرو اس‌دی می‌باشد و با پروتکل SPI با میکروکنترلر ارتباط برقرار می‌کند و جریان مصرفی آن در حدود ۱۵ میلی آمپر است که در شکل(۲)-الف با شماره ۲ نمایش داده شده است.

۳-۶- منبع تغذیه

با توجه به استفاده از پروتکل I2Cدر برقراری ارتباط واحدهای جانبی با میکرو، مصرف انرژی این سامانه کم و در حدود ۱ وات می‌باشد. برای تأمین این انرژی می‌توان از یک باتری ۹ ولت و یا منبع تغذیه هواپیما استفاده کرد. در این سامانه یک مبدل DC-DC تعبیه شده که ولتاژ باتری یا منبع تغذیه DC هواپیما را به ولتاژ ۵ ولت با خروجی حداکثر ۳ آمپر تبدیل می‌کند. طرحواره این مبدل در شکل (۴) نشان داده شده است [۲۴]. این عمل به وسیله یک تراشه باک[2] انجام می‌شود که می‌تواند ولتاژ ۶ تا ۴۰ ولت را به ولتاژ ۵ ولت تبدیل کند. بازده این مدار در حدود ۹۵ درصد می‌باشد و از لحاظ توان مصرفی برتری زیادی نسبت به مبدل‌های مشابه دارد. جانمایی مداری این مبدل در شکل (۲)-الف با شماره ۳ مشخص شده است.



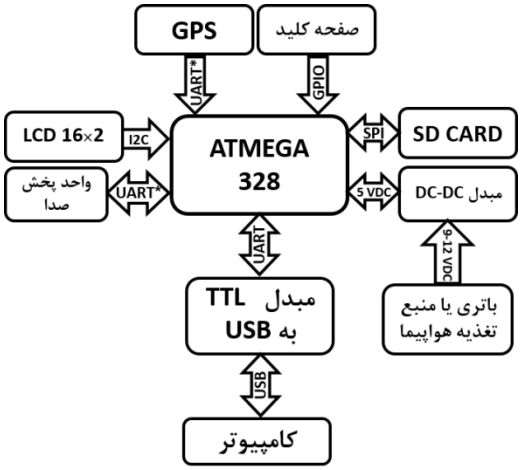
شکل (۴): مبدل **DC-DC** ۱۲ ولت به ۵ ولت [۲۴].

۳-۷- واحد پخش صدا

به منظور ارتباط صوتی با کاربر در هنگام ورود اطلاعات موقعیت مکانی نواحی پرواز ممنوع و یا اعلام هشدار در مواقع ضروری و نزدیک شدن به هریک از این نواحی، صداهای مربوط به موقعیت‌ها و موارد هشدار یا راهنمای مراحل برنامه‌ریزی دستگاه روی کارت حافظه ذخیره شده است. پخش‌کننده صدا به وسیله ارتباط سریال مجازی با میکروکنترلر ارتباط برقرار می‌کند و بنا به موقعیت، صدای ضبط شده موردنظر را از طریق بلندگویی که در پنل بالایی قرار دارد، پخش می‌کند. مدار مربوط به این قسمت در شکل(۲)-الف با شماره ۴ مشخص شده است.

۳-۸- اتصالات مدار

طرحواره اتصالات کلی مدار در شکل (۵) نشان داده شده است. سه بخش از بخش‌های جانبی دستگاه از طریق پروتکل سریال با میکرو در ارتباط هستند. اما از آنجایی که میکروکنترلر استفاده شده در این پروژه فقط دارای یک درگاه سریال است، بنابرین برای رفع این مشکل از پایه‌های معمولی میکروکنترلر به صورت درگاه سریال مجازی استفاده می‌کنیم، درواقع به نوعی شبیه سازی پروتکل ارسال داده سریال را با استفاده از پایه‌های معمولی انجام می‌دهیم. ارتباط گیرنده GPS به میکرو نیز مانند واحد پخش صدا به وسیله اتصال سریال مجازی برقرار شده است.



شکل (۵): اتصال اجزای تشکیل دهنده دستگاه.

۴- بخش نرم‌افزاری

بخش نرم افزاری این سامانه شامل دو قسمت کلی می‌باشد:

۱. برنامه‌ریزی سخت افزار

۲. برنامه تبادل داده‌های دستگاه و کامپیوتر

[1] Liquid Crystal Display (LCD)
[2] Buck IC

www.SID.ir

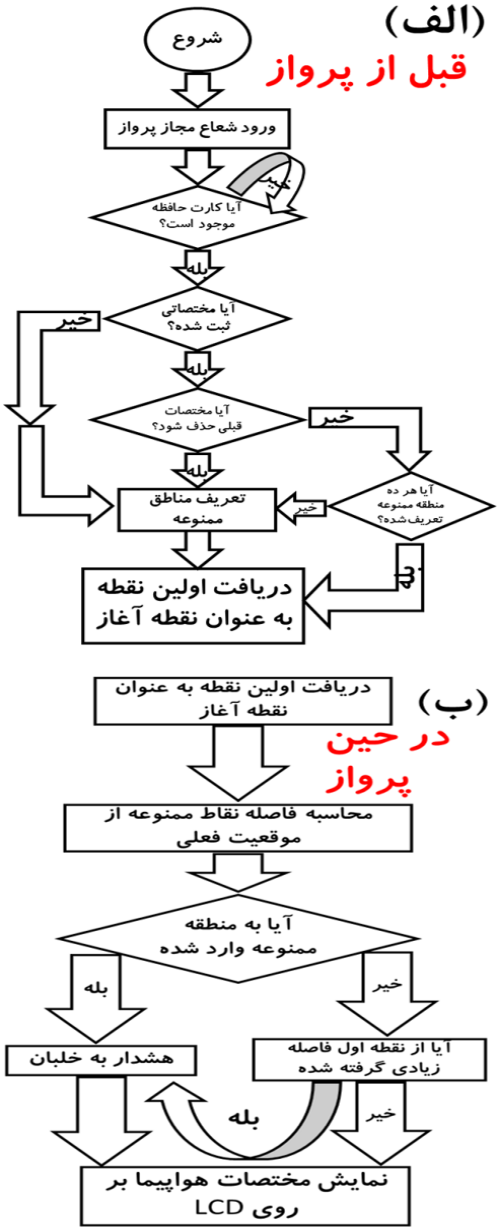
Archive of SID

۴-۱- برنامه‌ریزی سخت افزار

رپردازنده و بخش سخت افزاری دستگاه با استفاده از زبان C برنامه ریزی شده و این امکان را می‌دهد که با تعریف یک سری نقاط به عنوان مراکز نواحی پرواز ممنوع و تعریف شعاع مورد نظر برای هر یک از این ناحیه‌های ممنوعه، مختصات و شعاع همسایگی متناظر هرکدام در حافظه پردازنده مرکزی ذخیره شود. پس از دریافت موقعیت توسط آنتن GPS، موقعیت مکانی پرنده بصورت طول و عرض جغرافیای بر روی نمایشگر نشان داده می‌شود. طول و عرض جغرافیایی بدست آمده، روی کارت حافظه نیز ذخیره شده و بطور همزمان بخش پردازشگر فاصله جغرافیایی از نواحی ممنوعه را مطابق با معادله ۴، محاسبه می‌کند تا در صورت وارد شدن به این نواحی به خلبان هشدار دهد. روش کار به این صورت است که پردازشگر دستگاه همزمان با قرائت موقعیت جغرافیایی، فاصله موقعیت فعلی از مرکز نواحی ممنوعه را محاسبه کرده و کوتاهترین فاصله بین موقعیت فعلی و مراکز نواحی ممنوعه را به عنوان فاصله بحرانی شناسایی می‌کند. این اولویت بندی به صورت آنی با جابجایی هواپیما قابل تغییر و بروزرسانی است. در صورتی که فاصله بحرانی کمتر از شعاع ممنوعه متناظر هریک از نواحی ممنوعه باشد، توسط بلندگو پیغام هشدار برای خلبان پخش شده و نیز صفحه نمایش ضمن نمایش پیام هشدار، شروع به چشمک زدن می‌کند. در شکل (۶) روند مراحل کار دستگاه قبل از پرواز و در حین پرواز نشان داده شده است.

۴-۲- نرم‌افزار جانبی برای ارتباط کامپیوتر با دستگاه

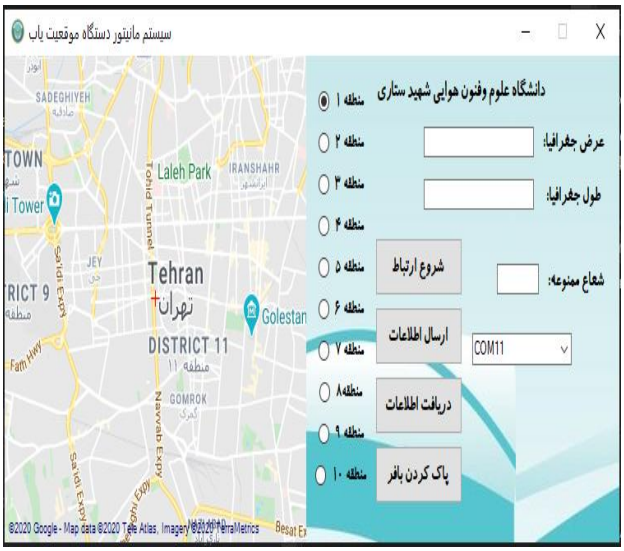
به منظور نمایش اطلاعات پرواز و نگاشت دیتای ضبط شده از مسیر حرکت روی نقشه جغرافیایی، بررسی مسیر پیموده شده و نیز تعیین محدوده پرواز با استفاده از نقشه یک برنامه مبتنی بر زبان برنامه‌نویسی C# برای این دستگاه ارائه شده است[۲۶,۲۵]. برنامه این قابلیت را به وجود می‌آورد که اگر طول و عرض دقیق جغرافیای ناحیه ممنوعه به درستی برای کاربر مشخص نباشد، با ارتباطی که از طریق اتصال درگاه USB دستگاه به کامپیوتر برقرار می‌شود، نقشه زمین در نرم‌افزار نمایش داده شده و کاربر بتواند با کلیک کردن بر روی مناطق ممنوعه، مختصات طول و عرض جغرافیایی این نقاط را بدست آورد. در شکل (۷) نمایش این رابط گرافیکی نشان داده شده است. همچنین با نصب این دستگاه روی هواپیماهای آموزشی می‌توان به مانند یک سامانه ضبط اطلاعات پرواز ضمن ذخیره اطلاعات پرواز و بازخوانی آن به پایش مسیر پرواز پرداخت[۲۷]. به عبارت دیگر از این نرم‌افزار هم می‌توان قبل از انجام پرواز، برای طرح‌ریزی نقشه پرواز و برنامه‌ریزی کردن میکروکنترلر استفاده کرد و هم می‌توان پس از انجام پرواز مسیر پرواز انجام شده و مانورهای انجام شده را روی نقشه واقعی نگاشت کرد. نحوه ارتباط و ارسال دیتا از کامپیوتر به دستگاه به این صورت است که که میکروکنترلر مرکزی دستگاه به صورت سریال داده‌ها را به مبدل سریال به USB ارسال می‌کند و مبدل داده‌های دریافتی را به صورت رشته‌ای که شامل طول و عرض جغرافیایی، شعاع ممنوعه و شماره منطقه می‌باشد به دستگاه می‌فرستد. پس از دریافت رشته اطلاعات طول و عرض جغرافیایی، شعاع ممنوعه و شماره منطقه ممنوعه از داخل آن استخراج شده و در حافظه دستگاه ذخیره می‌شود.



شکل (۶): فلوچارت عملکرد دستگاه. الف) وارد کردن طرح و نقشه پروازی، قبل از شروع پرواز، ب) عملکرد دستگاه در حین پرواز.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۷): نرم افزار رابط کامپیوتر و دستگاه موقعیت‌یاب.

برای ترسیم گراف مسیر پرواز نیز پس از انتخاب درگاه متصل به دستگاه و فشار دادن دکمه شروع ارتباط، ابتدا دکمه پاک کردن بافر را فشار می‌دهیم تا همه اطلاعات باقی مانده در داخل بافر پاک شود و سپس با فشار دادن دکمه انتقال اطلاعات و تمام شدن عملیات انتقال، دکمه دریافت اطلاعات در داخل نرم‌افزار را فشار می‌دهیم تا همه اطلاعات توسط نرم افزار خوانده شده و روی نقشه نمایش داده شود. این اطلاعات شامل ماتریس‌های زمان، طول و عرض جغرافیایی هواپیما می‌باشد که به صورت رشته‌ای از اطلاعات به نرم‌افزار منتقل می‌شود. این داده‌ها به ترتیب زمان مرتب شده و طول و عرض جغرافیایی از آن استخراج و داخل یک آرایه ذخیره می‌شود. با نگاشت این آرایه از نقاط روی نقشه، مسیر پیموده شده روی نقشه واقعی نشان داده می‌شود.

۵- نتیجه

دقیق‌ترین و ارزانترین سامانه موقعیت یاب GPS می‌باشد که با توجه به کم هزینه بودن و آسانی استفاده از آن، در مواردی که خطر ناشی از اخلال الکترومغناطیسی و ارسال سیگنال‌های فریب کم است، مانند پهپادها و هواپیماهای سبک آموزشی می‌تواند بسیار مفید باشد. در این مقاله یک سامانه ناوبری با قابلیت پایش، کنترل و ذخیره موقعیت جغرافیایی هواپیما مبتنی بر GPS ارائه شده است. این دستگاه با ابعادی درحدود ۲/۸×۱۳/۶×۱۶/۳ سانتی متر، با توان مصرفی در حدود ۱ وات با استفاده از یک باتری ۹ ولت با ظرفیت ۴۰۰ میلی آمپر ساعت، قابلیت مداومت پروازی تا ۳ ساعت را دارد. این سامانه، با وجود حجم و توان مصرفی کم، دقت قابل قبولی (در حدود ۶ متر) دارد که برای هواپیماهای سبک یا بدون سرنشین مناسب می‌باشد. همچنین با امکاناتی که برای پایش برخط موقعیت جغرافیایی در این دستگاه تعبیه شده است، می‌تواند در صورت نزدیک شدن به نواحی پرواز ممنوع با صدای هشدار خلبان را متوجه انحراف از مسیر اصلی نماید. علاوه براین با ذخیره لحظه به لحظه موقعیت جغرافیایی توسط این دستگاه، و با نگاشت داده‌های ضبط شده روی نقشه می‌توان به تحلیل مسیر پیموده شده پس از اتمام پرواز پرداخت. با استفاده از گیرنده‌های GPS که در استاندارد نظامی طراحی شده باشند، می‌توان دقت این سامانه را بهبود بخشید. علاوه بر این با طراحی مدارهای واسط مناسب برای دریافت سیگنال از سامانه‌های ناوبری دیگر نظیر INS، می‌توان از این دستگاه در هواپیماهای دیگر نیز استفاده کرد .

مراجع

[1] Marcus, B. D, "System and method for controlling autonomous flying vehicle flight paths," U.S. Patent No. 9,728,089. 8 Aug. 2017.

[2] Fleiger-Holmes, S. L., Murphy, T. A. and Crane, J. M., "Airplane position assurance monitor," U.S. Patent No. 9,257,050. 9 Feb. 2016.

[3] Punzo, G., MacLeod, C., Baumanis, K., Summan, R., Dobie, G., Pierce, G. and Macdonald, M., "Bipartite guidance, navigation and control architecture for autonomous aerial inspections under safety constraints," Journal of Intelligent & Robotic Systems, 95(3-4), pp. 1049-1061, 2019.

[۴] قضاوی, علیرضا, طباطبا, فروغ السادات، "پهپادها و کاربرد آنها در امنیت عمومی و پلیس هوشمند"، نشریه فناوری اطلاعات و ارتباطات انتظامی (فاوا)، ۱ (۱)، ۸۹-۶۷، ۱۳۹۹.

[5] Kangunde, V., Jamisola, R. S., & Theophilus, E. K., "A review on drones controlled in real-time," International Journal of Dynamics and Control, pp. 1-15, 2021.

[6] Khan, S. Z., M. Mohsin, and Iqbal, W. J. P. C. S., "On GPS spoofing of aerial platforms: a review of threats, challenges, methodologies, and future research directions," vol. 7, pp. e507, 2021.

[7] Nilsson, J. O., Skog, I., "Inertial sensor arrays—A literature review," 2016 European Navigation Conference (ENC), IEEE, pp. 1-10, Helsinki, Finland, 2016.

[8] Zhang, Y. Li., Ning, W., P. Li., Y., and Suo, C. J. S., "A Method for Autonomous Navigation and Positioning of UAV Based on Electric Field Array Detection," vol. 21, no. 4, pp. 1146, 2021.

[9] McDonald, K., "Navigation satellite systems: their characteristics, potential and military applications," in Outer Space–A New Dimension of the Arms Race: Routledge, pp. 155-188, 2021.

[10] Nguyen, T. M., "Satellite Systems: Design, Modeling, Simulation and Analysis," BoD–Books on Demand, 2021.

www.SID.ir

Archive of SID

[11] Grewal, M. S., Andrews, A. P., and Bartone, C. G., "Global navigation satellite systems, inertial navigation, and integration," John Wiley & Sons, 2020.

[12] Sheridan, I. J. R. S. o. s., "Drones and global navigation satellite systems: current evidence from polar scientists," vol. 7, no. 3, p. 191494, 2020.

[13] Troxel, J. R., "Systems and methods for providing an integrated tcas, transponder, and DME system using a dedicated DME antenna," U.S. Patent Application No. 15/412,438. 20 October 1988.

[14] Jantz, J.D., West, J.C., Mitchell, T., Johnson, D. and Ambrose, G., "Airborne Measurement of Instrument Landing System Signals using a UAV," 2019 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting, IEEE, pp. 2131-2132, Georgia, USA, 2019.

[15] Suyatmo, S., Prayitno, H., Hasnita, U., Idris, I. and Khair, R., "RANCANG BANGUN MEDIA PEMBELAJARAN AVIONIC-ADF (AUTOMATIC DIRECTION FINDING SYSTEM) BERBASIS MULTIMEDIA ANIMASI PADA ATKP MEDAN," JurTI (Jurnal Teknologi Informasi) vol.3, no.2, pp. 222-227, 2019.

[16] Skrypnik, O. N., "Direction-Measuring Short-Range Navigation Systems," In Radio Navigation Systems for Airports and Airways, Springer, pp. 53-88, 2019.

[17] Wang, H., Liu, M., Hong, S. and Zhuang, Y., "A historical review and bibliometric analysis of GPS research from 1991–2010," Scientometrics, vol. 95, no.1, pp. 35-44. 2013.

[18] Wang, Y., Cao, R., Li, C. and Dean, R.N., "Concepts, Roadmaps and Challenges of Ovenized MEMS Gyroscopes: A Review," IEEE Sensors Journal, vol. 21, no.1, pp. 92-119, 2020.

[19] Pollack, J., and Prakash, R., "Aviation Navigation Systems Security: ADS-B, GPS, IFF," Proceedings of the International Conference on Security and Management (SAM), (WorldComp), pp. 129-135, Las Vegas, USA, 2018.

[20] Yao, Y., Xu, X., Zhu, C. and Chan, C.Y., "A hybrid fusion algorithm for GPS/INS integration during GPS outages," Measurement, vol.103, pp. 42-51, 2017.

[21] Ellingson, G., Brink, K., and McLain, T. J. J. o. A. I. S., "Cooperative Relative Navigation of Multiple Aircraft in Global Positioning System-Denied/Degraded Environments," vol. 17, no. 8, pp. 470-480, 2020.

[22] U-blox GPS module, NEO-6m datasheet, http://www.u-blox.com/images/downloads/Product_Docs/NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005).pdf

[23] FTDIChip-ID, USB UART I.C, FT232R Datasheet 2005. http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf

[24] Texas Instruments, SIMPLE SWITCHER Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator, LM2596 datasheet, Nov 1999 [Rev Feb 2020]. http://www.ti.com/lit/gpn/lm2596.

[25] Singh, Jaiteg., et al. "Evaluating the performance of map matching algorithms for navigation systems: an empirical study," Spatial Information Research, vol.27, no.1, pp. 63-74, 2019.

[26] Singh, J., Singh, S., Singh, S. and Singh, H., "Evaluating the performance of map matching algorithms for navigation systems: an empirical study," vol. 27, no. 1, pp. 63-74, 2019.

[27] Kuo, B.C., Guan, W.L. and Chen, P.C., "In Search of General Aviation Flight Data Monitoring: Lightweight Recording System," in *17th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference*, p. 3439, Denver, Colorado, June 2017.

www.SID.ir

www.SID.ir