دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

تعیین خط سیر هواپیمای بدون سرنشین با استفاده از تکنیک پردازش تصویر

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- مخابرات سیستم

محمد سبزواری

اساتید راهنما

دکتر رسول امیرفتاحی

دکتر محمد رضا احمدزاده

استاد مشاور

دکتر سعید صدری

۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

تعیین خط سیر هواپیمای بدون سرنشین با استفاده از تکنیک پردازش تصویر

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- مخابرات سیستم

محمد سبزواری

اساتید راهنما

دکتر رسول امیرفتاحی

دکتر محمد رضا احمدزاده

استاد مشاور

دکتر سعید صدری

۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی برق – مخابرات آقای محمد سبزواری

تحت عنوان

تعیین خط سیر هواپیمای بدون سرنشین با استفاده از تکنیک پردازش تصویر

در تاریخ /۹۲/۰۱ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- اساتید راهنمای پایان‌نامه	دکتر رسول امیرفتاحی-دکتر محمدرضا احمدزاده
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر سعید صدری
۳- استاد داور	دکتر شادرخ سماوی
۴- استاد داور	دکتر بهزاد نظری
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر عمومی

بر خود لازم می‌دانم که از توجه، راهنمایی و تشویق دوستان سپاسگزاری کنم مخصوصاً آقایان دکتر احمدرضا مساح،مهدی نیکزادالحسینی، مجتبی عسکری زاده، غلامرضا رمضانیان، محمد حدیدی و حمید امان اللهی.

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به:

روح پاک پدر و مادرم و

همسر مهربانم

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول:مقدمه

۱-۱ مقدمه..... ۲

۱-۲ سیستم فرود خودکار مبتنی بر GPSتفاضلی..... ۵

۱-۳ سیستم فرود خودکار مبتنی بر لیزر ۱۰

۱-۴ سیستم فرود خودکار مبتنی بر رادار..... ۱۴

۱-۵ معرفی سیستم پیشنهادی..... ۱۸

۱-۶ سازماندهی پایان نامه ۱۹

فصل دوم:بررسی روش‌های آشکارسازی و ردیابی اجسام متحرک

۲-۱ مقدمه..... ۲۱

۲-۲ نمایش اشیاء و انتخاب ویژگی..... ۲۲

۲-۳ روش‌های ردیابی تصویر ۲۴

۲-۳-۱ روش‌های مبتنی بر شار نوری ۲۵

۲-۳-۲ روش‌های مبتنی بر ناحیه ۲۸

۲-۳-۳ روش‌های مبتنی بر پیرامون فعال ۳۴

۲-۳-۴ روش‌های مبتنی بر نقاط ویژگی ۳۶

۲-۳-۵ روش‌های کلاسیک در ردیابی ۳۹

فصل سوم:به دست آوردن موقعیت هواپیمای بدون سرنشین با استفاده از پردازش تصویر

۳-۱ مقدمه..... ۴۴

۳-۲ تجهیزات مورد استفاده..... ۴۵

۳-۲-۱ دوربین حرارتی ۴۶

۳-۲-۲ فاصله یاب لیزری ۴۸
۳-۲-۳ سکوی موقعیت یاب ۴۹
۳-۳ بلوک دیاگرام الگوریتم پیشنهادی ۵۰
۳-۴ بدست آوردن موقعیت ابتدایی پرنده ۵۳
۳-۴-۱ تفریق پس زمینه ۵۳
۳-۴-۲ تعیین صحت شناسایی پرنده ۵۵
۳-۵ لبه یابی و قطعه بندی تصویر ۵۶
۳-۶ معیار شلوغی تصویر ۵۹
۳-۷ مکان یابی هدف ۶۰
۳-۸ مقابله با انسداد ۶۲
۳-۸-۱ معیار وجود انسداد ۶۲
۳-۸-۲ فیلتر کالمن ۶۳
۳-۹ بدست آوردن موقعیت سه بعدی پرنده ۶۷
۳-۱۰ نتیجه گیری ۶۹
فصل چهارم: آزمایشات و نتایج
۴-۱ آزمایشات و نتایج ۷۳
۴-۱-۱ فاز اول: آزمایشات ایستایی ۷۲
۴-۱-۲ فاز دوم: آزمایشات زمینی با استفاده از سکوی موقعیت یاب ۷۲
۴-۱-۳ فاز سوم: آزمایشات پروازی بالگرد ۷۳
۴-۱-۴ فاز چهارم: آزمایشات نهایی سامانه بر روی بالگرد ۷۵
فصل پنجم: جمع بندی و پیشنهادات
۵-۱ جمع بندی و نتیجه گیری ۸۰
۵-۲ پیشنهادات ۸۱
دستاوردهای پژوهشی پایان نامه ۸۲
مراجع ۸۳
فهرست واژگان ۸۵

چکیده

سامانه فرود خودکار یکی از نیازهای اساسی برای فرود مطمئن هواپیماهای بدون سرنشین است چرا که بیشتر حوادث هواپیماهای بدون سرنشین در قسمت فرود آن‌ها اتفاق می‌افتد که علت آن کم‌تجربگی خلبان و یا تغییرات ناگهانی شرایط جوی مانند باد و باران می‌باشد. یک سامانه فرود خودکار موفق نیازمند اطلاعات دقیق و پیوسته از موقعیت پرنده می‌باشد. بنابراین سامانه موقعیت یاب یکی از بخش‌های اصلی این سامانه است. سه نوع سنسور موقعیت یاب پرنده وجود دارد که سنسورهای GPS، رادار و لیزر می‌باشند. سیستم‌های مبتنی بر رادار بسیار گران قیمت بوده و در برابر اختلالات مقاوم نیستند. اما سنسورهای تصویری کم هزینه و غیر فعال هستند و در برابر اختلال‌ها مقاوم می‌باشند به همین خاطر ردیابی پرنده‌های بدون سرنشین با کمک دوربین مورد توجه قرار گرفته است. دوربین‌های مادون قرمز حرارتی یک وسیله مناسب و قدرتمند برای جمع آوری و مدل کردن تغییرات دما و انرژی ساطع شده از اجسام می‌باشد. سیستم فرود خودکار نوری طراحی شده شامل یک موقعیت یاب می‌باشد که دوربین حرارتی و فاصله یاب لیزری بر روی آن نصب شده‌اند و پرنده را ردیابی می‌کند. به منظور ردیابی پرنده از تلفیق دو الگوریتم مرکز شدت و همبستگی متقابل نرمالیزه شده استفاده شده است.شناسایی پرنده در ابتدای فرایند فرود،اطلاع از گم شدن هدف و استفاده از فیلتر کالمن،جدا کردن پرنده از پس زمینه و غیره نیازمندی های لازم به منظور ردگیری هدف می باشد که این سیستم انجام می دهد.اطلاعات ردیابی بدست آمده به سیستم آنالیز خط سیر فرستاده می‌شود و مسیر حرکت پرنده با دقت کمتر از یک متر به صورت بلادرنگ محاسبه می‌شود. آزمایشات بر روی داده‌های واقعی انجام شده و نشان می‌دهد این الگوریتم دارای عملکرد دقیقی در شرایط ابری و پس زمینه نویزی دارد.

کلمات کلیدی:۱- سیستم فرود خودکار۲- هواپیمای بدون سرنشین۳- ردیابی اجسام متحرک ۴-قطعه بندی تصویر

فصل اول
مقدمه

۱-۱ مقدمه

هواپیمای بدون سرنشین[1] به اشیاء پرنده هدایت پذیر از راه دور گفته می‌شود. این پرنده‌ها در ایران به «پهپاد» شهرت دارند که از حروف اول «پرنده هدایت پذیر از دور» گرفته شده است. کنترل پهپاد بدون استفاده از خلبان داخل پرنده انجام می‌شود، اگر چه انسان می‌تواند به عنوان محموله در آن باشد. این وسیله پرنده از نیروهای آیرودینامیکی برای پرواز در مسیر دلخواه استفاده می‌کند. پهپادها یا به وسیله کنترل از راه دور یا با برنامه‌های پیش پروازی تهیه شده از قبل و یا با سامانه‌های خودکار دینامیکی هدایت می‌شوند. پهپادها در حال حاضر در برنامه‌های نظامی که شامل جاسوسی و حمله می‌شود فعالیت می‌کنند. این هواپیماها همچنین در برنامه‌های غیر نظامی مانند خاموش کردن آتش سوزی‌ها یا پرواز در مکانی که پرواز برای خلبان خطر دارد یا کنترل پلیس در ناآرامی‌ها و صحنه‌های جرم یا شناسایی بیشتر حوادث غیرمترقبه طبیعی استفاده می‌شوند.

هواپیماهای بدون سرنشین مزایای بسیاری نسبت به هواپیماهای عملیاتی با سرنشین دارند.به دلیل ابعاد کوچک‌تر نسبت به هواپیماهای معمولی طبیعتاً هزینه ساخت آن‌ها بسیار پایین است، امکان مداومت پروازی طولانی تری دارند، رادارهای دشمن نمی‌توانند آن‌ها را ردیابی کنند و حتی در صورت ردیابی، انهدام آن‌ها کار بسیار مشکلی است. یکی از نکات بسیار مهم، امنیت اطلاعاتی آن‌ها در مقایسه با هواپیماهای معمولی است. به عنوان مثال اگر در یک جنگ، هواپیمایی مورد هجوم واقع شود، علاوه بر ضررهای مالی، احتمال اسارت خلبان نیز می‌رود و در این صورت مسئله امنیت اطلاعات نیز به خطر می‌افتد.

---

[1] Unmanned Air Vehicle (UAV)

اساساً یکی از اهداف ساخت این پرنده‌های کوچک و تیز پرواز، کاهش میزان تلفات انسانی است. مزایای بسیار دیگری نیز مانند قابلیت مانور بیشتر، نبودن فشارهای فیزیولوژیکی به خلبان بر اثر ارتفاع یا شتاب به خلبان و غیره از موارد قابل ذکر است.

هواپیماهای بدون سرنشین برای اولین بار در کاربردهای اقتصادی همچون تحقیق در مورد کشتزارهای برنج در ژاپن به کار گرفته شده‌اند. در حال حاضر در مورد کاربردهای بیشتری همچون بازبینی خطوط قدرت، نفت و گاز، دیده بانی و مراقبت، کنترل آتش سوزی جنگل‌ها، مشاهده مناطق آسیب دیده از زلزله و سیل و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند.

زمانی سران نظامی از نیاز خود به هواپیماهای بدون سرنشین صحبت می‌کنند که فراهم کردن نیروی متخصص و کارآزموده و خلبان‌های مجرب یکی از مشکلات پیش روی آن‌ها باشد. بنابراین یکی از روش‌های کم کردن نیروی کار، خودکار[۱] کردن فرایندها و به کار گیری تکنولوژی فرود و برخاست خودکار[۲] است.

این تکنولوژی این اجازه را به پرنده خواهد داد تا بدون استفاده از یک تیم بازیابی[۳] و خلبان و تجهیزاتی از قبیل ایستگاه زمینی و لینک‌های ارتباطی در سرتاسر جهان حرکت کند و به مأموریت خود بپردازد. همچنین این تکنولوژی باعث کاهش هزینه‌های پرنده خواهد شد و این امر باعث می‌گردد تا بتوان تعداد پرنده‌های بیشتری را در سطح جهان گسترش داد.

فرود یکی از سخت‌ترین قسمت‌های پرواز یک پرنده می‌باشد. لزوم دقت بالا باعث می‌شود که مسئله فرود از حساسیت بالایی برخوردار شود. در هواپیماهای با سرنشین دلیل اصلی گسترش و استفاده از سیستم فرود خودکار امکان نشستن هواپیما در شرایط دید محدود می‌باشد. در حدود ۳۰ سال پیش سیستمی ساخته شد که قابلیت نشستن در شرایط دید صفر را برای هواپیماهای با سرنشین فراهم نمود[۱].

بیشتر پهپادهای بزرگ در طول پرواز از طریق ایستگاه کنترل زمینی و با استفاده از تجربیات خلبان و از راه دور کنترل می‌شوند. دخالت انسان برای کنترل از راه دور مشکلات زیادی به وجود می‌آورد چرا که خلبان نمی‌تواند صدای موتور را بشنود و شتاب، ارتعاشات و لرزش‌های پرنده و غیره را حس نماید.

وزارت دفاع آمریکا در حدود ۳۰ درصد از پهپادهای شکارچی[۴] خود را از دست داده است که تنها ۳ تای آن‌ها به علت خطای انسانی بوده است و هزینه‌ای در حدود ۲۵۰ میلیون دلار در پی داشته است. ناوبری و سیستم‌های کنترل اتوماتیک در مقایسه با عملکرد از راه دور انسان به منظور به دست آوردن موقعیت پرنده دارای دقت بسیار زیادی بوده و روز به روز در حال افزایش می‌باشد[۲].

---

[1] automatic
[2] Auto landing and take off
[3] recovery
[4] predator

معمولاً نشستن پهپادها به صورت دستی و از طریق خلبان داخل و خارج ایستگاه کنترل زمینی و بر روی باند انجام می‌گیرد. در این روش خلبان از طریق تصاویری که با چشم می‌بیند یا از طریق دوربین نصب شده بر روی پرنده در اختیارش قرار می‌گیرد، این کار را انجام می‌دهد. این امر از طریق تمرین بسیار و آگاهی از محل باند فرود انجام می‌شود.

تقریباً ۵۰ درصد از پهپادها مانند هانتر[1] و پایونیر[2] که توسط ارتش آمریکا به کار برده می‌شوند در زمان نشستن دچار حادثه شده‌اند. برای مثال در حدود ۷۰ درصد از حوادثی که برای پایونیر اتفاق افتاده در زمان نشستن بوده است. بنابراین فرود خودکار پرنده باعث کاهش حوادث و کم کردن بار کاری خلبان می‌گردد.

روش‌هایی از قبیل فرود با چتر به همراه کیسه هوای فشرده و استفاده از تورهای بازیابی به عنوان روش‌های اولیه فرود خودکار مطرح هستند. فرود از طریق خلبان زمینی نیز مطرح است که در این روش برای فرود پرنده، کنترل بر عهده کاربر زمینی گذاشته شده است که در مجاورت باند فرود قرار می‌گیرد تا بتواند پس از مشاهده پرنده عمل فرود را انجام دهد. این امر در حالی صورت می‌گیرد که سرعت پرنده در حدود ۷۰ الی ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد و دارای فاصله ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ متر از ایستگاه کنترل زمینی و ارتفاع در حدود ۵۰ تا ۱۰۰ متر از لبه باند فرود می‌باشد[۳].

در این میان مهارت خلبان در تخمین وضعیت مناسب برای فرود بسیار اهمیت دارد و نیز عواملی همچون اعوجاجات ناگهانی مثل باد شدید یا شرایط نامطلوب دید و فرود در شب کار فرود را بسیار دشوار می‌کند. بنابراین نیاز به سیستم‌های فرود خودکار یک ضرورت اجتناب ناپذیر است و هنگامی که پرنده دارای محموله‌های[3] گران بها از قبیل انواع دوربین‌ها و ادوات شناسایی با اطلاعات جمع آوری شده ذی‌قیمت باشد ضرورت مسئله دو چندان خواهد شد.

به طور کلی می‌توان گفت سیستم‌های فرود خودکار هواپیماهای بدون سرنشین پارامترهای زیر را بهبود می‌بخشد:

الف- قابلیت‌های عملیاتی و بازدهی سیستم‌های پهپاد را به واسطه‌ی کاهش ضربات و تنش‌های هنگام فرود افزایش می‌دهند.

ب-قابلیت های عملیاتی را به واسطه امکان بازیابی[4] در شرایط نامناسب آب و هوایی و نیز در شب افزایش می‌دهند.

ج-نیاز به خلبان را کاهش داده یا نقش خلبان را حذف می‌کند، بنابراین هزینه آموزش و مهارت خلبان را کاهش می‌دهند.

---

[1] Hunter
[2] Pioneer
[3] payload
[4] recovery

یک سیستم فرود خودکار ایده آل نیازمند ارائه یک راه حل جامع برای سیستم پرنده‌های مختلف می‌باشد که شامل بال ثابت[1] و بال چرخان[2] می‌باشد. داشتن سیستم‌های فرود خودکار مختلف برای مناطق و پرنده‌های مختلف کار عملی و مناسبی نمی‌باشد. بنابراین سیستم باید قادر به کار و عمل در کنار سیستم‌های با سرنشین باشد و بتواند در شرایط مختلف و پرنده‌های مختلف کارایی مناسبی داشته باشد. در کل می‌توان گفت سیستمی برای فرود خودکار مناسب می‌باشد که دارای ویژگی‌های زیر باشد:

الف-کیفیت و کارایی (پراکندگی، دقت، قابلیت دستیابی، مداومت در کار)

ب-پوشش[3] مسافت

ج- عملکرد در همه شرایط آب و هوایی و ایمنی در مقابل اختلالات عمدی دشمن[4]

د - قابلیت استقرار، قابلیت تحرک، وزن و زمان برپایی مناسب

سیستم‌های فرود خودکار از دو بخش ناوبری و کنترلی تشکیل شده است که در این پایان نامه تنها قسمت ناوبری آن مورد بررسی قرار گرفته است. به دست آوردن موقعیت دقیق پرنده قسمت ناوبری سیستم فرود خودکار را شامل می‌شود. تاکنون سه گروه عمده تجهیزات در بخش ناوبری سیستم فرود خودکار مورد استفاده قرار گرفته‌اند که عبارتند از:

الف- راداری

ب- سیستم موقعیت یابی جهانی[5]

ج- بر اساس لیزر و تجهیزات دید هوایی

در ادامه نحوه عملکرد هرکدام از این سه روش بیان شده و مزایا و معایب آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۲ سیستم فرود خودکار مبتنی بر GPSتفاضلی[6]

سیستم موقعیت یاب جهانی یک سیستم هدایت ماهواره‌ای است که توسط وزارت دفاع آمریکا طراحی شده و کنترل می‌گردد. این سیستم طی چندین سال اخیر عملکرد بسیار موفقی را از خود نشان داده و بسیار مورد توجه

---

[1] fixed-wing
[2] rotary wing
[3] coverage
[4] jamming
[5] Global Positioning System (GPS)
[6] Differential GPS(DGPS)

قرار گرفته است زیرا هر کاربر با استفاده از یک گیرنده GPS به راحتی می‌تواند تعیین کند که در کجا قرار گرفته و به کدام سمت در حال حرکت است.

سیستم GPS شامل ۲۴ ماهواره در فاصله ۲۰ هزار کیلومتری از سطح زمین است که در حال گردش به دور زمین می‌باشند. اولین ماهواره از این مجموعه در سال ۱۹۸۷ میلادی به فضا پرتاب شد و در نهایت این ساختار در سال ۱۹۹۴ تکمیل گردید. هر ماهواره به ساعت‌های اتمی مجهز می‌باشد که با ساعت موجود در مرکز کنترل زمینی GPS واقع در ایالت کلرادوی آمریکا هماهنگ و همزمان شده‌اند. هر یک از این ماهواره‌ها سیگنال رادیویی پیوسته‌ای مخابره می‌کنند که توسط آن، موقعیت و زمان ارسال سیگنال، مشخص و به گیرنده فرستاده می‌شود. گیرنده روی زمین با دریافت این سیگنال‌ها می‌تواند موقعیت دقیق خود را محاسبه کند. مشخصات ماهواره‌های ناواستار[1] که در سیستم GPS به کار گرفته شده‌اند، در جدول۱-۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- ۱- مشخصات ماهواره‌های ناواستار در سیستم GPS [۴]

عنوان	مقدار
نام ماهواره	NAVSTAR
شرکت سازنده	RACKWELL
ارتفاع مدار استقراری	۲۰۰۰۰ کیلومتر
ابعاد فیزیکی	۱۸۲/۵ متر با صفحات خورشیدی
زمان پیمایش کره زمین	هر دور ۱۲ ساعت نجومی
صفحه مداری	صفحه‌ای با زاویه ۵۵ درجه نسبت به استوا
طول عمر تخمینی	۷/۵ سال
تعداد ماهواره	۲۴ ماهواره

GPS ها دارای دقت‌های متفاوتی می‌باشند. این تغییرات در دقت می‌تواند ناشی از تغییر در انتشار امواج، خطاهای مربوط به مدل‌های ریاضی زمین، اغتشاش‌های اتفاقی در زمان یابی سیگنال و یا عوامل دیگر باشد. تأثیرات نامطلوب چنین تغییراتی را می‌توان به طور چشمگیری به کمک روش‌های تفاضلی کاهش داده و یا حذف کرد. همچنین با این روش می‌توان صحت و سلامت GPS را بررسی نمود[۴].

[1] Navstar satellite

در عملکرد تفاضلی، یک دستگاه گیرنده GPS خاص به طور دقیق در محل ثابت از ناحیه مورد نظر کار گذاشته می‌شود. سیگنال‌های GPS دریافتی به طور آنی بررسی شده و با سیگنال‌هایی که در آن محل ثابت انتظار می‌رود، مقایسه می‌شود. اختلاف بین سیگنال‌های مشاهده شده و سیگنال‌های پیش بینی شده به صورت سیگنال خطا به منظور استفاده کاربران آن ناحیه جهت کاهش خطا و افزایش دقت ارسال می‌شود.

ماهواره‌های GPS آنقدر از سطح زمین بالا هستند که فواصل نسبتاً دور از هم، روی زمین از دید آن‌ها بسیار نزدیک می‌باشند و سیگنال‌هایی که از آن ماهواره‌ها به زمین گسیل می‌شوند، تقریباً فواصل یکسانی را می‌پیمایند و خطاهای ایجاد شده برای گیرنده‌های مذکور تقریباً یکی می‌باشد. اگر یک گیرنده مرجع وجود داشته باشد که موقعیت آن‌را به طور دقیق بدانیم می‌توانیم با بدست آوردن خطای آن مرجع خطای ایستگاه‌های مجاور خود را نیز مشابه آن بدانیم. با این روش می‌توان دقت را به کمتر از ۲ متر رساند. توجه به این نکته ضروری است که برای اصلاح خطا نباید فاصله بین کاربر با گیرنده مرجع بیشتر از ۱۰۰ کیلومتر گردد. RTCM-SC104 یک فرم استاندارد و صنعتی برای تصحیح تفاضلی می‌باشد که در بیشتر ایستگاه‌های مرجع GPSتفاضلی استفاده می‌شود.

یک ایستگاه مرجع GPSتفاضلی مکانی است ثابت که بر اساس مدل‌های ریاضی زمین قرار گرفته است. از این مکان است که ایستگاه مرجع، تمام ماهواره‌های قابل رویت را ردیابی و کلیه اطلاعات جدول مختصات ماهواره‌ای را از آن‌ها گرفته و میزان خطاهای موجود را بر اساس اندازه گیری‌های آنی و با دانستن موقعیت دقیق مدل ریاضی خود، محاسبه می‌کند. این اصلاحات بدست آمده از طریق رادیو به کاربران GPS ارسال می‌گردد تا محاسبات ناوبری آن‌ها بهبود یابد. در این زمینه دو روش متداول است:

۱- محاسبه و ارسال تصحیح مکان بر حسب مختصات XYZ که به GPS کاربر داده می‌شود تا آن نیز با اعمال آن‌ها در محاسبات خود، مکان یابی دقیقی انجام دهد.
۲- محاسبه تصحیحات شبه فاصله هر ماهواره که به همان صورت به GPS کاربر ارسال می‌شود تا پیش از محاسبات مکانی در GPS، در اندازه گیری‌های شبه فاصله آن تأثیر داده شود و در نتیجه دقت بالایی در ناوبری حاصل شود.

در روش اول تنها جملات تصحیح بر حسب مختصات XYZ فرستاده می‌شود و نسبت به روش دوم در پیغام تصحیح ارسالی به اطلاعات کمتری نیاز دارد ولی اعتبار آن جملات تصحیح در اثر افزایش فاصله ایستگاه مرجع و گیرنده کاربر سریعاً کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر هر دو ایستگاه مرجع و گیرنده کاربر باید از یک مجموعه ماهواره استفاده کنند تا پیغام تصحیح خطا معتبر باشد که این اتفاق نادر است.

در روش دوم یک گیرنده در ایستگاه مرجع، سیگنال‌های تمام ماهواره‌های قابل رویت را دریافت و شبه فاصله هر کدام را اندازه گیری می‌کند. چون سیگنال ماهواره حاوی اطلاعات دقیق مربوط به مدارهای ماهواره‌ای می‌باشد و نیز گیرنده مرجع هم موقعیت خود را می‌داند، فاصله واقعی تا هر ماهواره قابل محاسبه است. با مقایسه فاصله محاسبه شده و شبه فاصله اندازه گیری شده میزان تصحیح برای هر ماهواره به دست آمده و در اختیار اندازه

گیری‌های شبه فاصله کاربر قرار می‌گیرد. این روش بهترین محاسبات ناوبری را برای کاربر به همراه دارد و هم اینک توسط خدمات گارد ساحلی ایالات متحده بکار گرفته می‌شود[۵].

محدوده‌ای که در آن، تصحیح‌ها می‌تواند از طریق یک سیستم تفاضلی انجام گیرد به عوامل متعددی از جمله، ارسال به موقع تصحیح‌ها، برد انتقال تصحیح‌ها، محدوده و یکنواختی جغرافیایی آن و نحوه پیاده سازی امکانات در دستگاه گیرنده بستگی دارد. بسته به سیستم استفاده شده و روش پیاده سازی آن، یک واحد تجهیزات تفاضلی قادر است محدوده‌ای به شعاع چند صد مایل را پوشش دهد و یا اینکه تنها به ناحیه چند مایلی محدود شود. همچنین امکان گسترش یک سیستم GPS تفاضلی جهانی نیز وجود دارد.

گارد ساحلی ایالات متحده[1] اطلاعات GPS تفاضلی خود را از ۶۱ سایت رادیویی موجود، ارسال می‌کند. برد رادیویی هر سایت، معمولاً ۱۵۰ مایل در نظر گرفته می‌شود، هر چند در هنگام شب این فاصله به بیش از ۱۰۰۰ مایل می‌رسد. ناحیه تحت پوشش، شامل سواحل ایالات متحده و نیز دریاچه‌های بزرگ می‌شود. هنگام نصب این سیستم، گارد ساحلی به روال معمول، دقت ۱ متر را در نظر داشته است.

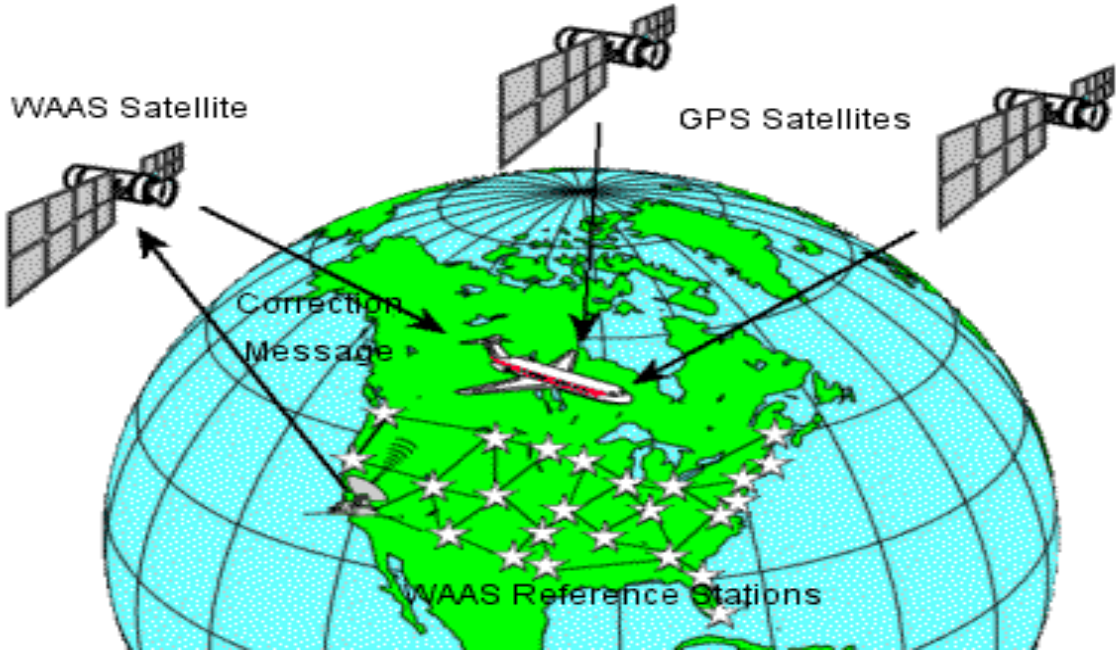
طرح WAAS[2]، دارای دقت ۵ متر با احتمال ۹۵ درصدمی باشد و سیستمی است متشکل از ۲۶ تا ۳۰ سایت زمینی که اطلاعات لازم برای تصحیح را به ماهواره‌هایی خاص می‌فرستد تا مجدداً از آن طریق جهت استفاده کاربران ارسال گردد. این سیستم دقت لازم به منظور ناوبری در مسیر[3] و تقریب با دقت بالا را فراهم می‌سازد، به طوری که حتی فرودگاه‌هایی را که فاقد امکان چنین تقریبی هستند در بر می‌گیرد. علاوه بر دقت زیاد روش‌های تفاضلی بکار گرفته شده در WAAS، امکان مراقبت از صحت و درستی در تثبیت موقعیت ماهواره‌های GPS و نیز کارایی کل سیستم در عرض چندین ثانیه فراهم می‌شود. پیغام‌های تصحیح خطا و صحت و درستی سیستم همگی در فرکانس‌های باند L[4] و البته از طریق ماهواره‌های ایستا نسبت به زمین ارسال می‌گردند که همچنین حاوی اطلاعات مکان یابی افزون تری می‌باشند. شکل۱-۱ شمایی از سیستم تقویت وسیع منطقه‌ای را نشان می‌دهد.

مکان‌هایی که برای ایجاد GPS تفاضلی باید در نظر گرفته شود شامل نواحی همپوشانی سیستم‌های مختلف است. برای مثال WAAS متعلق به FAA در برگیرنده تمام ایالات متحده است، همان‌طور که سیستم GPS تفاضلی متعلق به USCG چنین می‌باشد. شایان ذکر است که WAAS تنها به یک گیرنده نیاز دارد، در حالی که سیستم USCG علاوه بر آن به یک گیرنده باند L اضافی نیز که به یک گیرنده GPS وصل شود، نیازمند است.

جدیدترین جدول خطا در سامانه GPSدر جدول ۱-۲ آمده است.

---

[1] USCG
[2] Wide Area Augmentation System
[3] en-route
[4] 1~2 GHz



شکل ۱- ۱- شمایی از سیستم تقویت وسیع منطقه‌ای موسوم به WAAS[۶]

جدول ۱- ۲- میزان خطا در سامانه GPS [۶]

دقت	خطا
۱۰۰ متر	خطای سیگنال GPS با دسترسی گزینشی SA
۱۵ متر	خطای سیگنال GPS بدون دسترسی گزینشی SA
۳-۵ متر	خطای مکانی GPS تفاضلی بدون دسترسی گزینشی SA
کمتر از ۳ متر	خطای مکانی WAAS

همان‌گونه که گفته شد اصول اولیه سیستم‌های فرود خودکار هواپیماهای بدون سرنشین بر مبنای تعیین موقعیت پرنده نسبت به یک مرجع خاص می‌باشد. GPS یکی از مهم‌ترین سیستم‌های تعیین موقعیت می‌باشد که می‌تواند در تعیین موقعیت پرنده به‌کارگیری شود. این سیستم به علت داشتن خطای زیاد در تعیین موقعیت پرنده، به تنهایی نمی‌تواند در فرود خودکار هواپیماهای بدون سرنشین کمک شایانی را انجام دهد.

استفاده از سیستم‌های GPS تفاضلی یک راه حل مناسب برای بهبود دقت در تعیین موقعیت پرنده می‌باشد که می‌تواند جایگزین مناسبی برای استفاده از GPS به تنهایی باشد. با استفاده از این سیستم می‌توان با صرف هزینه

کمی نسبت به روش‌های دیگر موقعیت پرنده را با دقتی در حدود کمتر از یک متر بدست آورد که این دقت برای یک سیستم فرود خودکار مناسب و قابل قبول می‌باشد.

سیستم GPS تفاضلی داده‌های تصحیح تفاضلی را به فرمت استانداردRTCM[1] ایجاد می‌کند. این داده‌ها از طریق لینک ارتباطی به پرنده ارسال می‌شود و GPS پرنده با دریافت این اطلاعات دقت خود را افزایش می‌دهد. بنابراین اگر پرنده مجهز به GPS تفاضلی باشد، موقعیت دقیق پرنده در اختیار قرار می‌گیرد. کامپیوتر پرنده می‌تواند موقعیت دقیق خود را مورد بررسی قرار داده و سپس تصمیم‌های لازم برای فرود مناسب را بگیرد ولی در صورتی که پرنده این قابلیت را نداشته باشد می‌توان اطلاعات دقیق پرنده را به ایستگاه زمینی ارسال نمود تا ایستگاه زمینی با بررسی این اطلاعات دستورات لازم را به پرنده ارسال کند. این روش در کنار مزایایی که دارد قطعاً دارای معایبی نیز می‌باشد که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد.

یکی از مزایای روش GPS تفاضلی نسبت به روش‌های دیگر کم هزینه بودن و قابل دستیابی بودن آن می‌باشد به نحوی که می‌توان این سیستم را در هر زمان و هر شرایطی تهیه نمود. علیرغم این مزایا، این سیستم دارای نواقص متعددی از جمله حساسیت در مقابل پدیده اختلالات عمدی[2] می‌باشد و به علت اینکه این سیستم وابسته به ماهواره می‌باشد یک سیستم مستقل نیست و از همه مهم‌تر اینکه این سیستم در هر زمانی می‌تواند توسط ارتش آمریکا غیر فعال گردد.

معایب ذکر شده باعث شده این سیستم در حال حاضر در جهان کمتر مورد استفاده قرار گیرد. از معدود هواپیماهای بدون سرنشین معروفی که از این سیستم استفاده می‌کند می‌توان به global hawk اشاره کرد که این پرنده عملیات نشست و برخاست[3] خود را به صورت خودکار وبا استفاده از این سیستم انجام می‌دهد.

۱-۳ سیستم فرود خودکار مبتنی بر لیزر

بدست آوردن موقعیت پرنده یکی از حساس‌ترین قسمت‌های فرود خودکار می‌باشد. استفاده از لیزر به منظور بدست آوردن موقعیت یکی از روش‌های متداول می‌باشد. با استفاده از دیود لیزری به منظور تولید پرتوهای لیزر و یک بازتابنده و یک سنسور می‌توان فاصله بین منبع لیزر و بازتابنده را محاسبه نمود. منبع نور می‌تواند بر روی زمین و بازتابنده بر روی دماغه پرنده نصب گردد و همچنین می‌توان به صورت برعکس عمل نمود به صورتی که منبع نور بر روی پرنده نصب گردد و بازتابنده بر روی زمین قرار گیرد.

به منظور بالا بردن سطح اطمینان می‌توان تعداد منابع و بازتابنده ها را در هر دو حالت افزایش داد. RANGER یکی از هواپیماهای بدون سرنشین معروف می‌باشد که از سیستم مبتنی بر لیزر برای فرود خودکار خود

---

[1] Radio Technical Commission for Maritime(RTCM)
[2] jamming
[3] Take off & Landing