یک روش مؤثر برای موقعیت‌یابی اشیاءپرنده به کمک داده‌های سنسورهای زمینی

محمد سبزواری، رسول امیرفتاحی، محمدرضا احمدزاده

۱. کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی اصفهان m_sabzevary@yahoo.com

۲. دکتری برق ، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳. دکتری برق ، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۴

چکیده

موقعیت‌یابی اشیاء پرنده از طریق سنسورهای غیرفعال زمینی یکی از نیازهای اساسی به‌منظور مراقبت و کنترل می‌باشد. استفاده از سامانه‌های راداری بسیار گران‌قیمت بوده و مقرون‌به‌صرفه نیست. در این مقاله از تصویر به‌عنوان مرجعی برای به دست آوردن موقعیت شیء پرنده استفاده‌شده است. این سیستم شامل یک موقعیت‌یاب می‌باشد که دوربین مادون‌قرمز و فاصله‌یاب لیزری بر روی آن نصب‌شده‌اند و شیء پرنده را ردیابی می‌کند. اطلاعات ردیابی به سیستم آنالیز خط سیر فرستاده می‌شود و مسیر حرکت شیء پرنده به‌صورت بلادرنگ محاسبه می‌گردد. الگوریتم ردیابی ارائه‌شده در این مقاله به‌گونه‌ای می‌باشد که علاوه بر بهبود بخشیدن به خطاهای روش‌های دیگر دارای قابلیت پیاده‌سازی آسان بوده و از سرعت خوبی برخوردار می‌باشد.

سامانه فرود خودکار یکی از نیازهای اساسی برای فرود مطمئن هواپیماهای بدون سرنشین است چراکه 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 شیء پرنده می‌باشد، بنابراین سامانه موقعیت‌یاب یکی از بخش‌های اصلی این سامانه است. سیستم پیشنهادی در این مقاله به‌منظور موقعیت‌یابی شیء پرنده می‌تواند روش مناسبی برای استفاده در سیستم فرود خودکار باشد. این سیستم علاوه بر کم‌هزینه بودن غیرفعال بوده و در برابر اختلال‌ها مقاوم می‌باشد. آزمایش‌های این سیستم بر روی‌داده‌های واقعی انجام‌شده است و توانسته موقعیت هواپیمای بدون سرنشین را با دقت کمتر از یک متر به دستآورد. همچنین این الگوریتم در بدترین حالت حدود ۵ درصد از فریم‌ها را از دست می‌دهد که بسیار ناچیز می‌باشد و دارای عملکرد دقیقی در شرایط ابری و پس‌زمینه نویزی می‌باشد.

کلیدواژه

سیستم فرود خودکار، هواپیمای بدون سرنشین، ردیابی اجسام متحرک،قطعه‌بندی تصویر

مقدمه

استفاده از سنسورهای غیرفعال زمینی به‌منظور مراقبت و کنترل اشیاء پرنده یکی از روش‌های ارزان قیمت و مناسب می‌باشد. استفاده از دوربین‌های مادون‌قرمز علاوه بر ارزان قیمت بودن نسبت به سامانه‌های راداری، می‌توانند نقاط کور سامانه‌های راداری را پوشش داده و ابزار مناسبی برای شناسایی اشیا پرنده در ارتفاعات پایین و فواصل کوتاه باشند.

در این مقاله از تصویر به‌عنوان مرجعی برای به دست آوردن موقعیت شیء پرنده استفاده شده است. این سیستم از یک دوربین مادون‌قرمز و یک فاصله‌یاب لیزری تشکیل‌شده است که بر روی موقعیت‌یاب[1] با دقت بالا سوار شده‌اند. با استفاده از تصاویر دوبعدی به‌دست‌آمده از دوربین، موقعیت شیء پرنده در تصویر به‌دست‌آمده و دستورات لازم به‌منظور قرار گرفتن جسم در وسط تصویر به سروو موتورها داده خواهد شد. در این لحظه می‌توان از طریق فاصله‌یاب‌های لیزری نصب‌شده بر روی دوربین فاصله شیء پرنده تا دوربین را به دست آورد. زوایای θ و $\emptyset$ موقعیت پرنده در دستگاه مختصات کروی از طریق سروو موتورها و فاصله شیء پرنده تا دوربین (r) نیز از طریق فاصله‌یاب لیزری به دست خواهد آمد.

1 . Positioner(pan/tilt)

اصول اولیه سیستم‌های فرود خودکار پهپادها بر مبنای تعیین موقعیت دقیق شیء پرنده می‌باشد.در حال حاضر استفاده از GPS، رادار و لیزر بر روی پهپادهای مطرح در جهان مرسوم است که هرکدام از این سیستم‌ها دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشند. RAPS [۲] و TALS [۳] از جمله این سیستم‌ها هستند که به‌صورت گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند[۱].

سیستم پیشنهادی در این مقاله می‌تواند، به‌عنوان سامانه موقعیت‌یاب فرود خودکار هواپیمای بدون سرنشین مورد استفاده قرار گیرد. این سیستم بر روی بالگرد به‌صورت عملی و با موفقیت، پیاده‌سازی و تست گردیده است ودارای دقت کمتر از یک متر در شرایط عادی بوده و قابل پیاده‌سازی در روز، شب وتمامی شرایط جوی اعم از باران، برف و مه می‌باشد.

موقعیت‌یابی شیء پرنده

ردیابی شیء پرنده و تعقیب آن به‌صورت بلادرنگ، نقش مهمی در این سیستم ایفا می‌کند. در این سیستم از دوربین مادون‌قرمز با مشخصات ذکرشده در جدول ۱ استفاده شده است. این دوربین به همراه یک فاصله‌یاب لیزری با مشخصات ذکرشده در جدول ۲، بر روی یک سکو با مشخصات مندرج در جدول ۳، سوار شده است که قادر است شیء پرنده را در آسمان ردیابی نماید.

به‌طورکلی این سیستم دارای دو قسمت کلی ردیابی شیء پرنده در تصویر و تعقیب شیء پرنده می‌باشد به‌نحوی‌که در قسمت اول زوایای θ و $\emptyset$ مکان شیء پرنده در مختصات کروی و در قسمت دوم فاصله شیء پرنده تا دوربین به دست می‌آید. بلوک دیاگرامالگوریتم پیشنهادی در این مقاله در شکل ۱ نشان داده شده که تمامی مراحل آن در ادامه توضیح داده خواهد شد.

جدول ۱- مشخصات دوربین مادون‌قرمزاستفاده‌شده در سیستم OALS

عنوان	مشخصات
آشکارساز حرارتی	Cooled FPA, 3~5 µm
تفکیک‌پذیری	320 x 256پیکسل
میدان دید	9.2 x 7.3درجه
فاصله کانونی	۶۰ میلی‌متر
محدوده طیفی	۳ تا ۵میکرون
دمای عملکرد	50+ ~ 20-درجه سلسیوس
اندازه پیکسل[۴]	30میکرومتر
نرخ فریم[۵]	25هرتز

جدول ۲.مشخصاتفاصله‌یاب لیزری

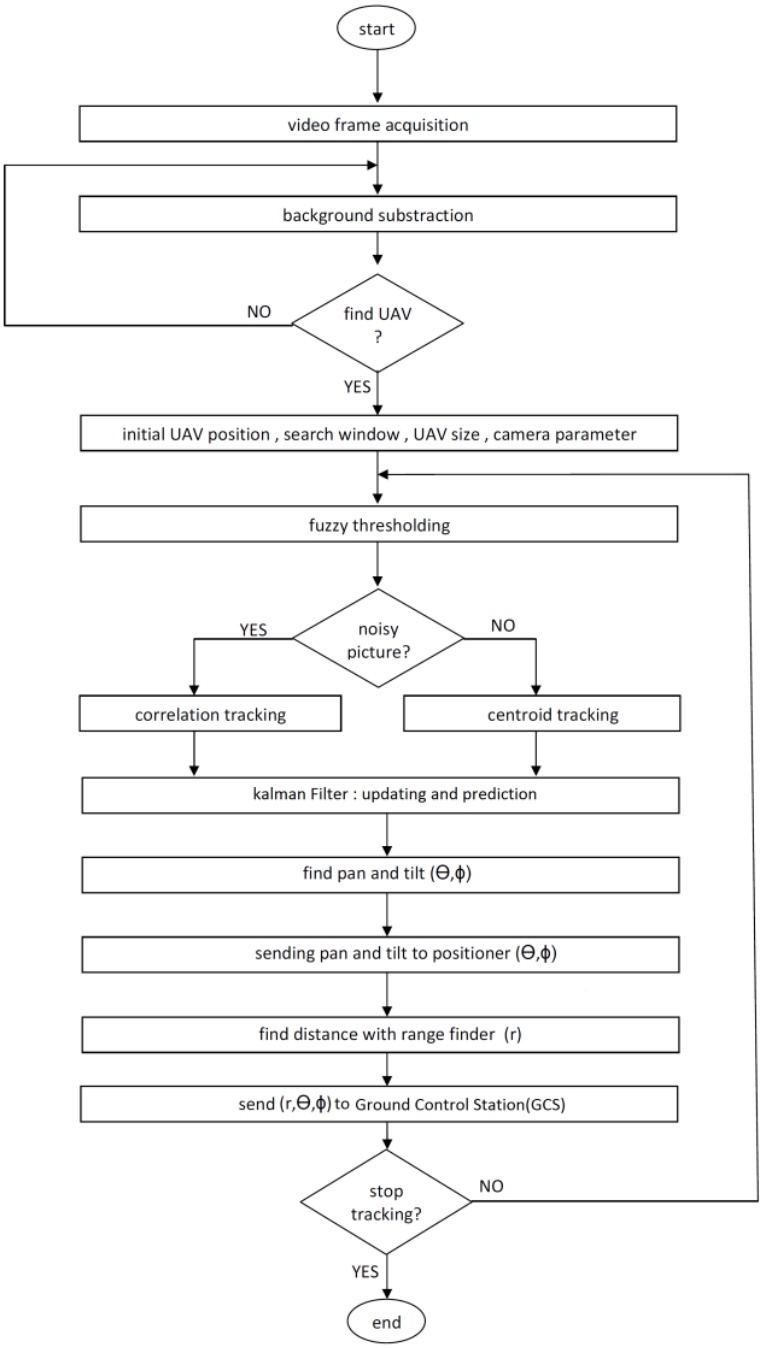
عنوان	مشخصات
برد	1-2000 m
دقت	40 cm
طول‌موج	905 nm

جدول ۳. مشخصات سکوی موقعیت‌یاب

عنوان	مشخصات
حرکت در جهت سمت[۶]	N x 360 درجه
حرکت در جهت برد[۷]	بین ۳۰- تا ۸۵+ درجه
حداکثر سرعت زاویه‌ای در دو محور	۶۰ درجه بر ثانیه
حداقل سرعت زاویه‌ای در دو محور	۰,۰۵ درجه بر ثانیه
تفکیک‌پذیری زوایای سمت و برد	۰/۱ درجه

2. Ranger Autolanding Process System
3. Tactical Auto Land System

4.Pixel size
5.Frame Rate
6. Azimuth
7. Range



شکل۱- بلوک دیاگرام الگوریتم موقعیت‌یابیشیء پرنده

ردیابی شیء پرنده در تصویر

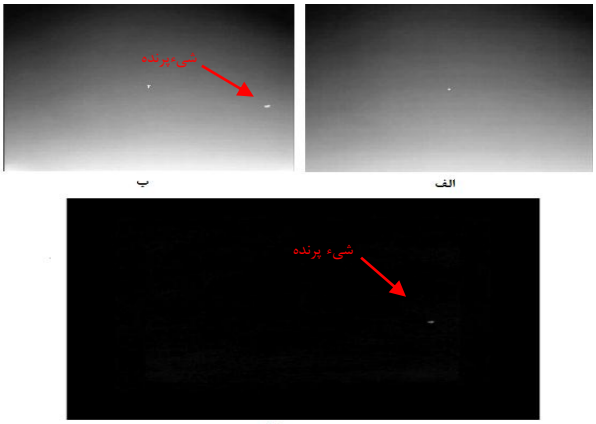
در حال حاضر الگوریتم‌های ردیابی زیادی وجود دارد و مقالات زیادی در این مورد منتشر شده است، بنابراین انتخاب یک الگوریتم ردیابی مناسب و توسعه و بسط دادن آن در کاربردهای مختلف بسیار مهم می‌باشد[۲]. در ابتدا فرایند فرود، شیءپرنده در پس‌زمینه آسمان می‌باشد و با تصویر نسبتاً خلوتی مواجه می‌باشیم ولی با گذر زمان و با کاهش ارتفاع پس‌زمینه تغییر خواهد کرد و شلوغ‌تر خواهد شد؛ بنابراین باید الگوریتمی به‌منظور ردیابی انتخاب گردد تا بتواند در هر دو زمینه شلوغ و خلوت کارایی داشته باشد. با توجه به اینکه در فاصله‌های دور هدف تنها چند پیکسل از تصویر را تشکیل می‌دهد، دقت آشکارسازی موقعیت هدف یکی دیگر از ملاک‌های انتخاب الگوریتم ردیابی می‌باشد. دارا بودن معیار مناسبی برای تشخیص گم کردن هدف یکی دیگر از معیارهای انتخاب الگوریتم ردیابی مناسب می‌باشد.

در سیستم موقعیت‌یاب پیشنهادی، نیازمند سه الگوریتم ردیابی متفاوت هستیم. یکی از این الگوریتم‌ها به‌منظور شناسایی ابتدایی

شیء پرنده مورداستفاده قرار می‌گیرد و دو الگوریتم دیگر به‌منظور ردیابی شیء پرنده در شرایط مختلف پس‌زمینه خلوت و شلوغ بکار گرفته می‌شود. در ابتدا با استفاده از تفریق پس‌زمینه از تصویر اصلی شیء پرنده شناسایی‌شده و موقعیت ابتدایی آن مشخص می‌گردد. موقعیت ابتدایی شیء پرنده در لبه یابی و همچنین ردیابی در فریم‌های بعدی مورد استفاده قرارگرفته که در این مورد در ادامه توضیح داده خواهد شد. بعد از شناسایی اولیه شیء پرنده، از الگوریتم مرکز شدت به‌منظور ردیابی استفاده می‌شود و سپس در صورت نزدیک شدن شیء پرنده به سطح زمین به علت شلوغ‌تر شدن پس‌زمینه از الگوریتم همبستگی متقابل نرمالیزه شده استفاده می‌شود. این سیستم قادر است به‌صورت خودکار میزان شلوغی تصویر را تعیین کرده و بین دو الگوریتم ردیابی ذکرشده تغییر وضعیت دهد[۳-۴].

تفریق پس‌زمینه

به دست آوردن موقعیت ابتدایی شیء پرنده و همچنین تشخیص و تأیید آن به‌عنوان هدف، یکی از حساس‌ترین و اساسی‌ترین قسمت‌های سیستم موقعیت‌یاب پیشنهادی می‌باشد. شکل ۲- الف نشان‌دهنده تصاویر ابتدایی سیستم در شروع فرایند جستجو بوده که منتظر ورود شیء پرنده در تصویر می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود این تصویر دارای پس‌زمینه بسیار خلوتی می‌باشد بنابراین با ثابت نگه‌داشتن دوربین و با استفاده از الگوریتم تفریق پس‌زمینه، موقعیت ابتدایی شیء پرنده به‌راحتی به دست می‌آید. در شکل ۲- ب شیء پرنده از سمت راست وارد تصویر شده که با الگوریتم تفریق پس‌زمینه، سیستم توانسته موقعیت ابتدایی آن را به دست آورد که در شکل ۲- ج قابل مشاهده است.



شکل ۲.تصاویر دوربین مادون‌قرمز از هواپیما در فاصله ۲ کیلومتر الف- تصاویر ابتدایی بدون حضور شیء پرنده ب-لحظه ورود شیء پرنده به تصویر ج-شناسایی شیء پرنده از طریق الگوریتم تفریق پس‌زمینه

به‌منظور اطمینان از تشخیص درست شیء پرنده نیازمند تحلیل حرکت آن می‌باشیم. تا زمانی که شیء پرنده در حال نزدیک شدن به وسط تصویر است،ردیابی خواهد شد و درصورتی‌که ازنظر اندازه، سرعت تقریبی و مسیر حرکت مطابق با حرکت شیء پرنده بود، جسم ردیابی شده به‌عنوان هدف در نظر گرفته‌شده و فرایند ادامه پیدا خواهد کرد. سرعت تقریبی شیء پرنده و اندازه آن از دانسته‌های ما می‌باشد[۲].

مرکز شدت

الگوریتم مرکز شدت یک روش تعیین موقعیت هدف نسبتاً ساده می‌باشد. در این روش می‌توان جسم را در هرجای تصویر که وجود داشته باشد ردیابی کرد. زمانی که شیء پرنده وارد تصویر می‌شود از طریق الگوریتم تفریق پس‌زمینه موقعیت ابتدایی شیء پرنده مشخص می‌شود. پنجره جستجو الگوریتم مرکز شدت در این موقعیت ابتدایی تعریف می‌گردد. این الگوریتم برای ردیابی هدف در زمینه‌های خلوت همچون آسمان، بیابان و دریا مناسب می‌باشد. الگوریتم مرکز شدت دارای بهترین دقت موقعیت‌یابی در بین الگوریتم‌های ردیابی است [۵]. ساده بودن پیاده‌سازی در سخت‌افزار، به دست آوردن مرکز هدف و حساس نبودن به شکل هدف از دیگر مزایای این روش می‌باشد [۵]. این روش ردیابی با روابط زیر تعریف می‌شود:

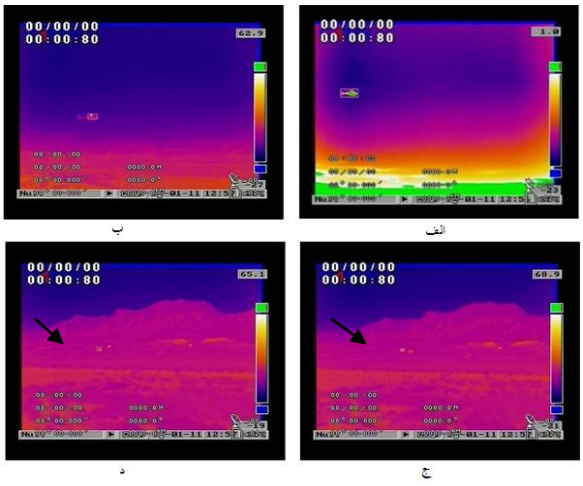
$$C_{tx} = A_t^{-1} \iint xS(x,y)dydx \quad (۱)$$

$$C_{ty} = A_t^{-1} \iint yS(x,y)dydx \quad (۲)$$

$$A_t = \iint S(x,y)dydx \quad (۳)$$

در این روابط $S(x,y)$ علامت مربوط به هدف می‌باشد که نشان‌دهنده میزان روشن‌تر یاتیره‌تر بودن هدف از پس‌زمینه می باشد. X و y مختصات نقطه‌ای از هدف می‌باشد که علامت از آن نقطه گسیل‌شده است و A_t بیانگر مجموع روشنایی پیکسل‌های پنجره جستجو می‌باشد. طبق تعاریف و معادلات ذکرشده ، C_{tx} و C_{ty} مختصات دوبعدی جدید جسم ردیابی شده است که به دست می‌آید [۵]. یک نمونه از عملکرد این الگوریتم در شکل۳ نشان داده شده که توسط دوربین مادون‌قرمز از فرود یک بالگرد تهیه شده است. در این شکل بالگرد تغییر شکل زیادی دارد و الگوریتم مرکز شدت انتخاب مناسبی برای ردیابی آن می‌باشد. این الگوریتم هنگام ردیابی هدف در یک زمینه شلوغ دچار مشکل می‌شود و معیاری برای تشخیص گم کردن هدف ندارد. همان‌گونه که درشکل ۳(الف و ب) مشاهده می‌شود درپس‌زمینه خلوت الگوریتم مرکز شدت توانسته بالگرد را به‌درستی ردیابی کند. ولی در شکل

۳ (ج و د) این الگوریتم نتوانسته بالگرد موردنظر را به‌درستی ردیابی کند که علت آن پس‌زمینه شلوغ در تصویر می‌باشد.
همچنین این الگوریتم معیاری به‌منظور اعلام گم کردن هدف ندارد. در شکل ۳ (د) این الگوریتم بالگرد را گم‌کرده و بالگرد نزدیک به هدف را به‌عنوان هدف در نظر گرفته است.
به‌منظور استفاده هرچه بهتر از این الگوریتم نیازمند بخش‌بندی[۸] تصویر می‌باشیم تا از این طریق بتوان تصویر خود را به دودویی[۹] تبدیل کنیم. روش‌های زیادی به منظور قطعه‌بندی تصاویر مادون‌قرمز وجود دارد که آستانه گذاری یکی از روش‌های معروف و پرکاربرد می‌باشد، اما این روش دقت بالایی به‌منظور استخراج هدف ندارد که علت آن وجود پس‌زمینه پیچیده و سطح روشنایی متفاوت باهدف است.



شکل۳.عملکرد الگوریتم مرکز شدت در تصاویر مادون‌قرمز (الف و ب) بالگرد در پس‌زمینه خلوت (ج و د) بالگرد در پس‌زمینه شلوغ

قطعه‌بندی تصویر

انتخاب یک الگوریتم دقیق قطعه‌بندی تصویر به‌منظور ردیابی بسیار مهم است و باید این الگوریتم قادر باشد تا تصویر را به دو قسمت هدف و پس‌زمینه تقسیم کند [۶-۷]. مناطق معنی‌دار در یک تصویر معمولاً به صورت قطعی دسته‌بندی نشده‌اند، بنابراین می‌توان با استفاده از مجموعه فازی آن‌ها را منظم و مناسب دسته‌بندی نمود. در این مقاله از روش آستانه گذاری فازی[۱۰] استفاده شده است که کارایی مناسبی در تصاویر مادون‌قرمز دارد[۸].
در این الگوریتم دانستن برخی اطلاعات پیشین الزامی می‌باشد. دانستن اندازه کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین شیء در تصویر و همچنین موقعیت تقریبی شیءازجمله این اطلاعات می‌باشد. در این مقاله شباهت[۱۱]، نزدیکی[۱۲] و تابع عضویت[۱۳] مجموعه فازی به‌منظور قطعه‌بندی تصاویر مادون‌قرمز تعریف می‌شوند.
شباهت در این مجموعه بیانگر شباهت مقدار روشنایی پیکسلg با میانگین سطح خاکستری پنجره جستجو می‌باشد که می‌توان این معیار شباهت را از طریق معادله زیر بیان نمود[۸]:

$$(g, g_m) = 1 - \frac{|g - g_m|}{c} \qquad (۴)$$

که در این معادله g_mمیانگین سطح خاکستری پنجره جستجو می‌باشد و c مقدار ثابتی است و در صورتی که g_{min} نشان‌دهنده کمترین مقدار روشنایی پنجره جستجو باشد می‌توان از معادله زیر به دست آورد [۸]:

$$c = g - g_{min} \qquad (۵)$$

در صورتی‌که شباهت یک پیکسل بسیار زیاد باشد، آن پیکسل می‌تواند با احتمال بسیار زیاد شامل هدف باشد. اما اگر تنها از معیار شباهت به‌منظور قطعه‌بندی تصویر استفاده گردد با مشکل روبرو خواهیم شد زیرا تصاویر مادون‌قرمز دارای سطوح خاکستری مختلفی می‌باشند و به‌عنوان مثال یک ناحیه با سطح خاکستری پایین در هدف می‌تواند به‌عنوان پس‌زمینه انتخاب شود.
به‌منظور برطرف کردن این مشکل علاوه بر معیار شباهت از موقعیت مکانی پیکسل‌ها نیز استفاده می‌کنیم. فرض کنید $d[(x,y),(x',y')]$ نشان‌دهنده فاصله بین پیکسل در مکان (x,y) با نقطه مرجع (x',y') می‌باشد که طبق معادله ۷تعریف می‌شود. با این تفسیر معیار مجاورت را طبق معادله ۶ تعریف می‌کنیم[۸].

$$A[(x,y),(x',y')] = \frac{1}{1 + d[(x,y),(x',y')]} \qquad (6)$$

$$d[(x,y),(x',y')] = \max(|x - x'|, |y - y'|) \qquad (7)$$

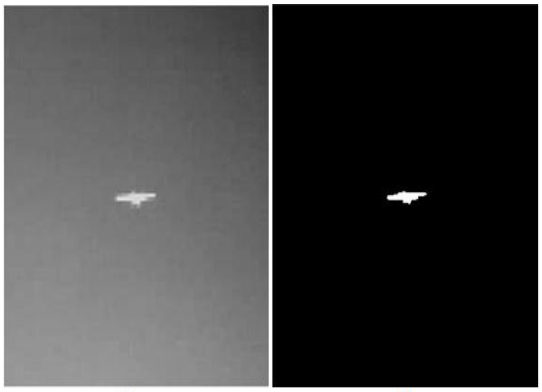
با به دست آوردن معیار شباهت و نزدیکی پیکسل‌ها در پنجره جستجو می‌توان تابع عضویت هر پیکسل را به دست آورد که طبق معادله زیر بیان می‌شود[۸]:

$$MF(g) = \beta \times s(g, g_m) + (1 - \beta) \times A[(x,y),(x',y')] \qquad (8)$$

در این معادله β ثابت است که میزان تأثیر معیار شباهت و نزدیکی را مشخص می‌کند، که مقدار بهینه آن از طریق آزمایش به‌دست‌آمده است. در شکل۴می‌توان عملکرد این الگوریتم را مشاهده نمود که در آن $\beta = 0.4$ انتخاب شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود این الگوریتم توانسته شیء پرنده و پس‌زمینه را به خوبی از یکدیگر جدا کند [۸].

8.Segmentation
9.Binary
10.Fuzzy thresholding

11.Similarity
12.Adjacency
13. Membership function



شکل۴ . قطعه‌بندی تصویر با استفاده از الگوریتم آستانه گذاری فازی

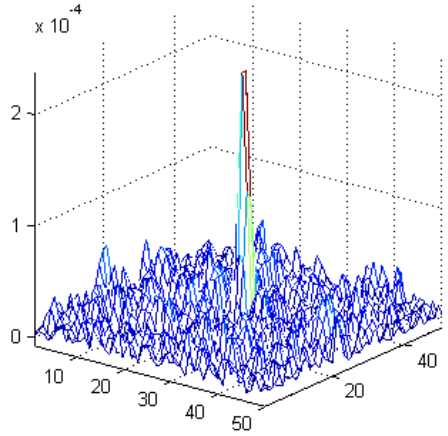
همبستگی متقابل نرمالیزه شده

همان‌گونه که بیان شد الگوریتم مرکز شدت در محیط‌های شلوغ کارایی مناسبی ندارد. استفاده از الگوریتم‌های مبتنی بر ناحیه می‌تواند این مشکل را برطرف کند. دراین الگوریتم‌ها از عامل شباهت برای یافتن هدف استفاده می‌شود. معیارهای متفاوتی به‌منظور محاسبه شباهت وجود دارد که هرکدام دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشند[۲].

معیارهایی همچون تابع همبستگی متقابل[۱۴]، معیار مربعات خطا[۱۵] ، معیار قدرمطلق خطا[۱۶] ، معیار همبستگی متقابل نرمالیزه شده[۱۷] و غیره از مهم‌ترین معیارهای موجود می‌باشد[۹]. در این مقاله از معیار همبستگی متقابل نرمالیزه شده استفاده شده است.این معیار بر خلاف روش‌های دیگر ذکرشده، در مقابل تغییرات اندازه هدف و روشنایی صحنه در فریم‌های متوالی عملکرد خوب و مناسبی دارد و همچنین دارای معیارمناسبی برای تشخیص گم کردن هدف است و در پس زمینه‌های شلوغ بسیار عالی کار می‌کند. از دیگر ویژگی‌های این روش می‌توان امکان پیاده‌سازی آن به‌صورت بلادرنگ اشاره کرد[۹].

تعریف این معیار در رابطه‌ی ۹ نشان داده‌شده است که دارای مقادیر خروجی در بازه (۱،۱-)می‌باشد و درصورتی‌که این مقدار از یک حد آستانه بیشتر باشد، بیانگر وجود هدف است و درصورتی که از این حد آستانه کمتر باشد بیانگر گم کردن هدف می‌باشد.

در این معادله $\overline{I_1}$و$\overline{I_2}$ متوسط شدت روشنایی نقاط تصویر در نواحی مورد مقایسه می‌باشند. شکل۵ بیانگر mesh مربوط به معیار همبستگی متقابل نرمالیزه شده می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود این معیار دارای کمینه‌های اندکی است که این مطلب باعث شده هدف با دقت بالاتری تشخیص داده شود[۹].



شکل۵.نمودارمربوط به معیار همبستگی متقابل نرمالیزه شده [۹]

به علت آنکه الگوریتم مرکز شدت معیار مناسبی برای تشخیص گم کردن هدف ندارد، می‌توان از الگوریتم همبستگی متقابل نرمالیزه شده استفاده کرد و مقدار خروجی این الگوریتم را به‌طور پیوسته محاسبه نمود و درصورتی‌که این مقدار از یک حد آستانه کمتر باشد، نتیجه گرفت که هدف گم شده است. زمانی که سیستم وارد مرحله انسداد شده و از گم شدن هدف مطمئن شود، حال زمان آن است که از طریق فیلتر کالمن محل جدید هدف را پیش‌گویی کنیم. ردیابی یک هدف در واقع پردازش اندازه‌گیری‌ها برای به دست آوردن تخمینی از حالت فعلی آن است که این حالت هدف معمولاً شامل موقعیت، سرعت و شتاب می‌باشد. فیلتر کالمن قادر است حالت یک فرایند زمان گسسته را تخمین زند.یکی از مشکلات این روش حجم محاسباتی بالای آن می‌باشد بنابراین می‌توان از فاصله‌یاب لیزری برای تشخیص گم کردن هدف استفاده کرد بنحویکه اگر لیزر تابیده شده به شیء پرنده بازتابیده نشود بیانگر گم کردن هدف بوده و از فیلتر کالمن استفاده گردد. عدم بازگشت پرتو لیزر تابیده شده به شیء پرنده علت‌های زیادی دارد که یکی از آن‌ها برخورد نکردن پرتو لیزر به شیء پرنده می‌باشد.در سیستم موقعیت‌یاب پیشنهادی در ابتدا از طریق فاصله‌یاب لیزری، از در دسترس بودن و گم نشدن هدف مطمئن می‌شویم و درصورتی‌که هدف گم شده باشد از طریق الگوریتم همبستگی متقابل نرمالیزه شده از گم شدن شیء پرنده مطمئن گشته و از الگوریتم فیلتر کالمن استفاده می‌کنیم. این روش بار محاسباتی سیستم را کاهش داده و دقت و اطمینان را افزایش می‌دهد.

14.Cross correlation
15.Sum of Squared Difference(SSD)
16.Sum of Absolute Difference (SAD)
17.Normalized Cross Correlation(NCC)

$$Corr(d_x, d_y) = \frac{\sum_{x=-w/2}^{w/2}\sum_{y=-w/2}^{w/2}\{(I_1(x,y)-\bar{I_1})(I_2(x+dx,y+dy)-\bar{I_2})\}}{\{\sum_{x=-w/2}^{w/2}\sum_{y=-w/2}^{w/2}(I_1(x,y)-\bar{I_1})^2 \times \sum_{x=-w/2}^{w/2}\sum_{y=-w/2}^{w/2}(I_2(x+dx,y+dy)-\bar{I_2})^2\}^{\frac{1}{2}}} \quad (9)$$

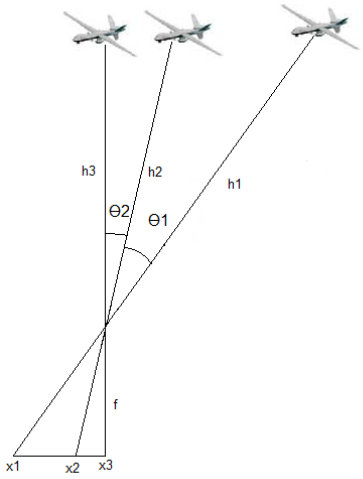
الگوریتم ناوبری شیء پرنده

از طریق ردیابی شیء پرنده در تصویر می‌توان موقعیت دوبعدی آن را به دست آورد. ما به دنبال آن هستیم تا با تغییر زوایای سکو، شیء پرنده ردیابی شده را در وسط تصویر قرار دهیم تا در اینصورت فاصله‌یاب لیزری بتواند فاصله دوربین تا شیء پرنده را به دست آورد. جابجایی شیء پرنده در فریم‌های متوالی باعث جابجایی آن در CCDمی‌گردد، همان‌گونه که در شکل۶ مشاهده می‌شود می‌توان از طریق یک رابطه مثلثاتی ساده بیان‌شده در زیر میزان تغییر زاویه شیء پرنده را نسبت به سکو پیدا نمود.

$$\theta = \tan^{-1}\frac{x}{f} \quad (10)$$

$$x = \text{تعدادپیکسل} \times \text{pixelsize} \quad (11)$$

که در این معادله x بیانگر تغییرات در CCD می‌باشد و f فاصله کانونی می‌باشد. از این طریق می‌توان زوایای θ و Ø مربوط به مکان شیء پرنده در دستگاه مختصات کروی را به دست آورد و همچنین با اعمال این زوایا به سکو، شیء پرنده را در وسط تصویر نگه داشت. در صورتی‌که شیء پرنده در وسط تصویر قرار گیرد می‌توان از طریق فاصله‌یاب لیزری نصب‌شده بر روی دوربین فاصله شیء پرنده تا دوربین را به دست آورد. فاصله‌یاب لیزری استفاده شده در این سیستم دارای بیم لیزر بازشده با زاویه ۵ میلی رادیان از هر دو طرف می‌باشد بنحویکه پرتوهای لیزر فاصله‌یاب همانند یک مخروط به سمت شیء پرنده تابیده می‌شوند.این مطلب باعث می‌شود تا دایره‌ای به شعاع ۱۰ متر زمانی که شیء پرنده در فاصله ۲ کیلومتری قرار دارد تحت پوشش لیزر قرار گیرد و احتمال برخورد پرتوهای لیزر به شیء پرنده زیاد گردد. با این تفاسیر ما توانستیم مختصات کروی شیء پرنده(r، θ و Ø) را نسبت به سکو به دست آوریم. این مختصات به ایستگاه کنترل زمینی ارسال‌شده تا تصمیمات و دستورات لازم اتخاذ گردد[۱۰-۱۱].



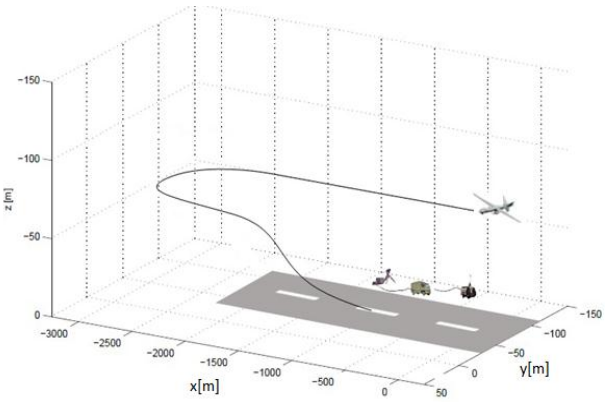
شکل۶- تغییرات بهوجود آمده در حرکت شیء پرنده و طریقه به دست آوردن مقادیر این تغییرات

سیستم فرود خودکار نوری

فرود یکی از سخت‌ترین قسمت‌های پرواز یک پهپاد می‌باشد. لزوم داشتن دقت زیاد باعث حساس نمودن این مرحله شده است[۱۲]. معمولاً نشستن پهپادها به‌صورت دستی و از طریق خلبان در داخل و خارج ایستگاه کنترل زمینی و بر روی باند انجام می‌گیرد. در این روش خلبان از طریق تصاویری که به‌صورت چشمی و یا دوربینی که بر روی پهپاد قرار دارد این کار را انجام می‌دهد. این امر از طریق تمرین بسیار و آگاهی از محل باند فرود انجام خواهد گرفت. 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،مثل فرود در شب، کار را بسیار دشوار می‌کند. بنابراین نیاز به سیستم‌های فرود خودکار یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است[۱۳].

به دست آوردن موقعیت دقیق شیء پرنده،یکی از نیازهای اساسی سیستم فرود خودکار می‌باشد. در این مقاله با استفاده از دوربین مادون‌قرمز و فاصله‌یاب لیزری ساخت یک سیستم موقعیت‌یاب مطمئن برای فرود خودکار هواپیماهای بدون سرنشین محقق شده است که نتایج آن در ادامه تشریح خواهد شد. در شکل ۷ مسیر پروازی شیء پرنده در مرحله فرود نشان داده شده است. با قراردادن سیستم پیشنهادی در کنار ایستگاه کنترل زمینی

می‌توان شیء پرنده را ردیابی نمود و موقعیت سه بعدی شیء پرنده را به دست آورده و این موقعیت را به ایستگاه کنترل زمینی ارسال نمود. ایستگاه زمینی با توجه به ایرودینامیک شیء پرنده که مشتقات آن با استفاده از نرم افزار تخمین ضرایب AVL و DATCOM محاسبه شده است و همچنین شرایط جوی دستورات لازم به‌منظور یک فرود خودکار را به شیء پرنده ارسال می‌کند.



شکل۷. مسیر پروازی هواپیمای بدون سرنشین به‌منظور فرود مناسب

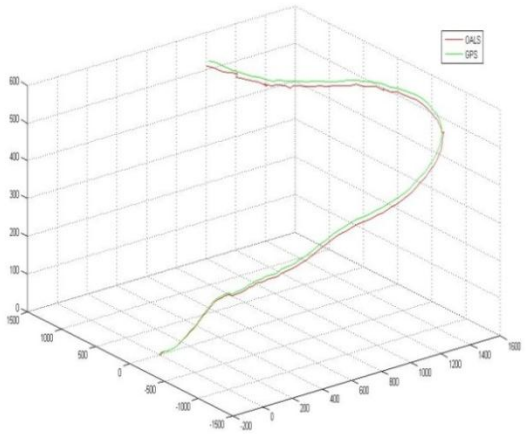
فرایند فرود از ۴ فاز تقرب، سرش، چرخش و تاکسی تشکیل‌شده است که سیستم هدایت و کنترل هواپیما با فرامین خود هواپیما را در این چهار فاز قرار می‌دهد. نیازمندی هرکدام از فازهای ذکرشده تعیین موقعیت و وضعیت هواپیما می‌باشد. سیستم موقعیت‌یاب پیشنهادی در این مقاله تنها موقعیت هواپیما را در اختیار سیستم هدایت و کنترل قرار داده است و الگوریتم های هدایت و کنترل و همچنین ضرایب آیرودینامیکی پرنده خارج از چارچوب این مقاله می‌باشد.

آزمایش‌ها

این سیستم به‌صورت عملی بر روی بالگرد با موفقیت اجرا شده است.در این آزمایش از دو GPS به‌منظور به دست آوردن موقعیت بالگرد استفاده شده است،که یکی از آن‌ها بر روی بالگرد قرارگرفته و طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا بالگرد را به دست می‌آورد و دیگری در کنار سیستم موقعیت‌یاب پیشنهادی قرار گرفته ودر هر لحظه موقعیت این سیستم را محاسبه می‌کند. با استفاده از روابط ریاضی ساده و آگاهی از این نکته که هر ثانیه طول جغرافیای در خط استوا معادل ۳۰/۹۲۲ متر می‌باشد، مختصات شیء پرنده در هر لحظه به دست خواهد آمد که این مختصات به‌عنوان مرجع برای مقایسه سیستم مورد نظر مورداستفاده قرار می‌گیرد. در این آزمایش، بالگرد مسیری مشابه با فرود هواپیماهای بدون سرنشین را طی می کند و موقعیت به‌دست‌آمده از GPS را با موقعیت به‌دست‌آمده از سیستم پیشنهادی مقایسه می کنیم.

این سیستم برروی پردازنده DSP به‌صورت عملی پیاده‌سازی شده است و در هر ثانیه ۲۵ فریم را پردازش می‌کند. همان‌گونه که در شکل۸ مشاهده می‌شود سیستم موقعیت‌یاب پیشنهادی توانسته شیء پرنده را به خوبی ردیابی کند.در این شکل خط قرمز رنگ نشان‌دهنده اطلاعات GPSو خط سبز نشان‌دهنده اطلاعات سیستم پیشنهادی می‌باشد. خطای سیستم مذکوردر فواصل دور نسبتاً زیاد می‌باشد ولی به علت اینکه در این لحظات قرار گرفتن شیء پرنده در وسط باند فرود مهم است بنابراین این خطا اهمیت چندانی ندارد و می‌توان از آن چشم‌پوشی نمود. زمانی که شیء پرنده در حال تماس با زمین می‌باشد، دقت بسیار مهم می‌باشد. احتمال آسیب شیء پرنده در لحظه فرود بیشتر معطوف به دقت در محور Z می‌باشد. شیء پرنده در زمانی که در حال نشستن برروی زمین و لمس آن می‌باشد، باید دقتی در حدود کمتر از یک متر داشته باشد که در این سیستم این مقدار در حدود ۸۰ سانتی‌مترمی‌باشد که بسیار قابل‌قبول است.

الگوریتم ردیابی پیشنهادی در این سیستم دارای دقت مناسب و قابل‌قبولی می‌باشد به‌نحوی‌که در بدترین حالت حدود ۵ درصد از فریم‌ها دچار مشکل شده و الگوریتم ردیابی نتوانسته هدف را به‌صورت صحیح ردیابی کند. با توجه به تمهیدات نرم‌افزاری این میزان خطا مشکلی در عملکرد کلی سیستم ندارد و فیلتر کالمن توانسته این میزان خطا را جبران کند.

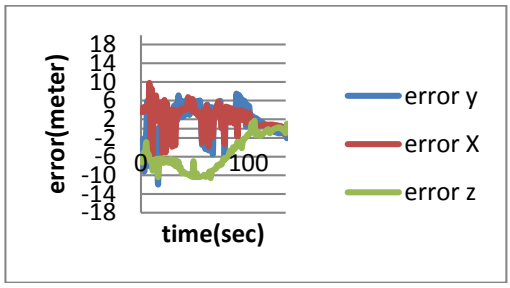


شکل۸- مسیر فرود به‌دست‌آمده از سیستم موقعیت‌یاب پیشنهادی در مقایسه با مسیر به‌دست‌آمده از طریق GPS

شکل۹ میزان خطا در سه محور X،Y وZ را نشان می‌دهد. در این شکل محور افقی نشان‌دهنده زمان می‌باشد که از ابتدای فرایند فرود تا زمان نشستن شیء پرنده را شامل می‌شود. همان‌گونه که مشاهده می‌شود خطای اندازه‌گیری شده در سه محور، زمانی که

شیء پرنده در فاصله ۶۰۰ متری از سیستم قرار دارد و در حال نزدیک شدن به زمین می‌باشد در حدود یک متر است. هر چند این خطای به وجود آمده به‌منظور یک فرود مناسب قابل قبول است اما این خطا را می‌توان از طریق کالیبره کردن دوربین[18] تا حدود نیم متر نیز کاهش داد.

دقت در محور z، بسیار حائز اهمیت است بنابراین می‌توان از طریق اضافه کردن ارتفاع سنج لیزری در زیر شیء پرنده خطا در این محور را کاهش داد و همچنین استفاده از بازتابنده[19] بر روی شیء پرنده نیز می‌تواند احتمال بازگشت پرتو لیزر را افزایش دهد.



شکل۹-میزان خطای سیستم پیشنهادی در سه محور نسبت به GPS

نتیجه‌گیری

سامانه فرود خودکار هواپیماهای بدون سرنشین از دو بخش ناوبری و کنترلی تشکیل‌شده است. در قسمت ناوبری این سامانه موقعیت دقیق پرنده به‌دست‌آمده و به قسمت کنترلی آن ارسال می‌شود. در این مقاله با استفاده از هنر پردازش تصویر موفق به پیاده‌سازی قسمت ناوبری سامانه فرود خودکار شده‌ایم. همان‌گونه که بیان شد این سامانه متشکل از دوربین حرارتی، فاصله‌یاب لیزری و سکوی موقعیت‌یاب می‌باشد که توانسته موقعیت سه بعدی پرنده را نسبت به دوربین به دست آورد. اساس کار این سیستم ردیابی شیء پرنده می‌باشد که دو الگوریتم همبستگی و مرکز شدت به‌عنوان الگوریتم‌های مناسب این روش انتخاب شده‌اند. این سامانه به‌صورت عملی و بر روی پردازنده DSP پیاده‌سازی شده است و دارای دقت مناسبی می‌باشد. این سامانه دارای ویژگی‌های زیر می‌باشد:

- نسبت به سامانه راداری ارزان‌قیمت‌تر است.
- یک سامانه غیرفعال می‌باشد و شناسایی آن توسط دشمن سخت‌تر است.
- در تمام شرایط آب و هوایی عملکرد مناسبی دارد.
- بر خلاف GPS در مقابل اختلال‌های عمدی ایمن می‌باشد.
- در شب و روز قابل به‌کارگیری می‌باشد.
- قابلیت استقرار، تحرک، وزن و زمان برپایی مناسبی دارد.

18.camera calibration
19. retro reflector

مراجع

[1]PauloRosa,CarlosSilvestre,DavidCabecinhas,RitaCunha, "Autolanding Controller for a Fixed Wing Unmanned Air Vehicle," AIAA Guidance, Navigation and Control Conference and Exhibit, Hilton Head, South Carolina, August 2007,pp.1-22

[2]YilmazAlper, Javed Omar and Mubarak Shah. "Object Tracking: A Survey Tracking", ACM Computing Surveys, Vol. 38, No. 4, Article 13, December 2006

[3]Tan Liu and Xiang Li, "Infrared Small Targets Detection and Tracking based on Soft Morphology Top-Hat and SPRT-PMHT," 3rd International Congress on Image and Signal Processing (CISP2010), 2010, pp.968-972

[4]AlperYilmaz,KhurramShafique,Mubarak Shah, "Target tracking in airborne forward looking infrared imagery," Image and Vision Computing 21 Elsevier Science,2003, pp.623-635

[۵] پیمان معلم، علی اکبر شائمی،"پیاده‌سازی بلادرنگ و کم‌هزینه الگوریتم مرکز شدت برای ردیابی موقعیت هدف در ویدیو"، فصل نامه علمی پژوهشی مهندسی برق دانشگاه آزاد مجلسی، تابستان۱۳۸۶، شماره اول، صفحه۴۳-۵۱

[6]XiaoliHao, Houjin Chen, Yongyi Yang, Chang Yao, Heng Yang and Na Yang, "Occupant Detection through Near-Infrared Imaging," Tamkang Journal of Science and Engineering, 2011, Vol. 14, No. 3, pp. 275_283

[7]Sn.Pleshkova and Al.Bekiarski, "Algorithm of feature estimation for real time object detection in thermal images," The 4th International Congress on Image and Signal Processing, October 2011, Donghua University, Shanghai, China, pp.253-258

[8]Sun-Gu Sun, HyunWook Park, "Target tracking in airborne forward looking infrared imagery,"Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers,November2001,Vol. 40, No 11, pp. 2638-2645

[9]Mojtabaasgarizadeh, H. pourghasem and G. Shahgholian, "*Robust Object Tracking Using Regional Mutual Information and Normalized Cross Correlation*", IEEE 3rd International Conference on Signal Processing Systems(ICSPS2011), August 2011,Vol. 3, No. 4, pp. 166-170.

[10]Michael Gschwandtner, Roland K witt and Andreas UbI, "Infrared Camera Calibration for Dense Depth Map Construction," IEEE Intelligent Vehicles Symposium(IV), Germany, June 2011, pp.857-862

[11]Qizhi Wang and Xinyu Cheng, “The Simple Camera Calibration Approach Based on a Triangle and Depth Estimation from Monocular Vision,” IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, St. Louis, USA, October 2009, pp.316-320

[12]Williams, K.W.“A summary of unmanned aircraft accident/incident data,” human factors implications. U.S.Departmentof TransportationReport,2004.

[13]Ajmal Mian, “Realtime Visual Tracking of Aircrafts,” IEEE computer society, 2008, pp.351-356