Archive of SID

تخمین فاصله و سرعت اهداف سطحی در نبرد دریایی

جمال قبادی دیزج یکان[۱]، سیّدکمال‌الدین موسوی مشهدی[۲]

jamal_ghobadi@yahoo.com

۱- کارشناس ارشد برق کنترل، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرند
۲- استادیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده

در این مقاله روشی جدید برای تخمین فاصله و سرعت ناو یا بالگرد دشمن در یک نبرد دریایی با استفاده از دوربینی که بر روی زیر دریایی نصب شده مورد بررسی قرار گرفته است. فرض شده است که هیچ گونه ابزار اضافی برای تعیین فاصله و سرعت بین زیر دریایی و هدف در دسترس نیست و تنها اطلاعات دوربین و اندازه یک قسمت از هدف در اختیار ما می‌باشد. با دسترسی به اطلاعات دوربین به پردازش تصاویر نهایی دریافتی پرداخته و با عملیات ساده ریاضی به تخمین پارامترهای فاصله و سرعت هدف می‌پردازیم. روش پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌های موجود از سرعت پردازش بالا و درصد خطای کمتری در حدود ۰,۶ درصد برخوردار می‌باشد. این ایده به صورت عملی در ورزشگاه ثامن مشهد، برای تخمین موقعیت سه بعدی روبات کابلی مورد استفاده قرار گرفته است. برای تخمین فاصله و سرعت ناو، توسط دوربینی که بر روی زیر دریایی نصب شده است، فیلم گرفته شده و با انجام تکنیک‌های پردازش تصویر به طوری که در بخش‌های آتی توضیح داده خواهد شد، سرعت و موقعیت ناو تخمین زده می‌شود.

واژگان کلیدی : پردازش تصویر، تخمین فاصله و سرعت ، زیر دریایی، نبرد دریایی، منطق فازی.

تاریخ دریافت مقاله:	۹۳/۰۹/۱۴
تاریخ پذیرش مقاله:	۹۴/۰۷/۱۱

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

سنجش از دور، علم و هنر جمع آوری اطلاعات از اشیا بدون تماس فیزیکی با آنهاست. فتوگرامتری علم و فن آوری اکتساب اطلاعات در مورد موقعیت، ابعاد و شکل یک جسم به کمک اندازه گیری بر روی تصاویر اجسام به جای اندازه گیری مستقیم روی آنها می‌باشد. گاه امکان بررسی اجسام از نزدیک وجود ندارد برای مثال جهت بدست آوردن اطلاعات هدف بر روی آب به دلایل طبیعی و امنیتی نمی‌توان به روش مستقیم این اطلاعات را بدست آورد.

بنابراین لزوم ساخت وسایلی که بتواند از راه دور این کار را انجام دهد به چشم میخورد. فتوگرامتری صنعتی به دو بخش کلی بر خط[1] و خارج از خط[2] تقسیم می‌گردد [۱]. امروزه سیستم‌های فتوگرامتری برخط کاربرد زیادی در صنعت و علوم نظامی دارند، که با بدست آوردن اطلاعات از دوربین این هدف دنبال می‌شود. سیستم فتوگرامتری خارج از خط خود به دو دسته فیلمی و رقومی تقسیم می‌شوند [۲].

این مقاله به تشریح یک پروژه نبرد دریایی با فتوگرامتری بر خط فیلمی با استفاده از دوربین می‌پردازد. اصلی ترین مشخصه در بدست آوردن اطلاعات یک جسم بدست آوردن فاصله جسم تا دوربین می‌باشد که روش‌های زیادی در این زمینه وجود دارد که به طور مختصر به بیان آن می‌پردازیم. در [۳] کنترل مانور خودرو برای پارک با استفاده از منطق فازی، از روش پیشنهادی پروژه برای تخمین فاصله هدف تا دوربین استفاده شده است.

در مرجع [۴] برای تخمین فاصله جسم تا دوربین از یک لیزر استفاده شده است که دوربین با شناسایی نور لیزر و با انجام محاسبات ریاضی و فیزیکی به تخمین فاصله می‌پردازد.

در مرجع [۵] با استفاده از دو دوربین که در فاصله مشخصل از هم و در یک راستا قرار داده شده اند و نیز دارای مشخصه یکسان و زمان گرفتن عکس همزمان می‌باشند استفاده شده است که این روش نیز دارای محاسبات پیچیده و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست. ما در این مقاله از روش ساده تری استفاده خواهیم کرد که از هدف مورد نظر فیلم گرفته بطوری که سیستم در هر ثانیه ۵ عکس از این فیلم در اختیار ما قرار می‌دهد و با در دست داشتن اندازه قسمتی از هدف می‌توانیم فاصله و سرعت هدف را تخمین بزنیم. در این روش چون از معادلات ساده و ثابت ریاضی و فیزیکی استفاده شده است در صد خطا نسبت به سایر روشها کمتر می‌باشد.

۲- تخمین فاصله با استفاده از دو دوربین

در این روش باید دو دوربین از یک مشخصه و یک مدل داشته باشیم. سعی می‌کنیم دوربینی انتخاب کنیم که اعوجاج کمتری داشته باشد. باید فاصله شی مورد نظر از دوربین را بدست آوریم. برای این کار باید مراحل زیر را طی کنیم:

۱- دو دوربین را برروی یک شاسی به فاصله مشخص از هم محکم قرارمی‌دهیم وباید مرکز دو لنز به صورت افقی با هم تراز باشند. (شکل (۱))

۲- تصاویر دو دوربین باید به صورت همزمان گرفته شود.

۳- زاویه دید دوربین برای هر دو دوربین یکسان می‌باشد.

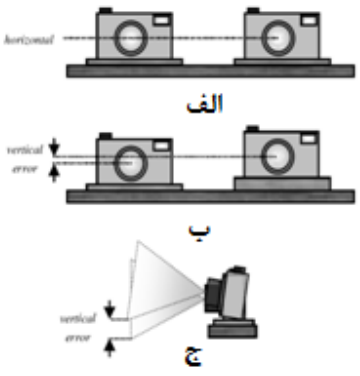
با توجه به شکل (۲)، φ زاویه دید دوربین و D فاصله دوربین از هدف و X مقادیر فواصل عرضی جسم نسبت به دوربین و B فاصله دوربین‌ها نسبت به هم است. بنابراین:

$$\frac{X_1}{\frac{X_0}{2}} = \frac{\tan\varphi_1}{\tan\left(\frac{\varphi_0}{2}\right)} \qquad (۱)$$

$$\frac{-X_2}{\frac{X_0}{2}} = \frac{\tan\varphi_2}{\tan\left(\frac{\varphi_0}{2}\right)} \qquad (۲)$$

بنابراین فاصله D از رابطه زیر محاسبه می‌شود :

$$D = \frac{BX_0}{2\tan\left(\frac{\varphi_0}{2}\right)(X_L - X_D)} \qquad (۳)$$

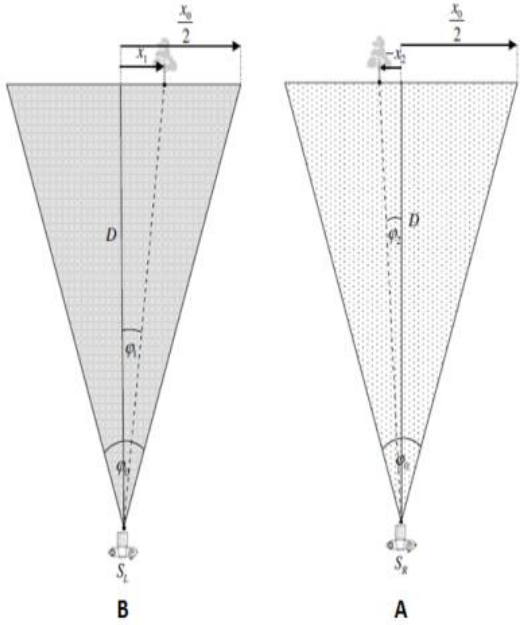


شکل (۱) (الف) نحوه قرار گیری مناسب دو دوربین و (ب) و (ج) نحوه قرار گیری نامناسب دو دوربین[۵].

[1] Online
[2] Offline

www.SID.ir

Archive of SID



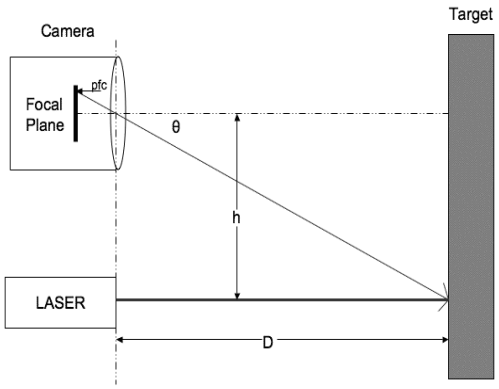
شکل(۲) مختصات تصویر گرفته شده جسم از دو دوربین [۵].

۳- تخمین فاصله با استفاده از دوربین و لیز

شاید تا به حال نیاز داشته اید که فاصله خود راتا جسم یا مکانی را بدون آنکه به سمت جسم حرکت کنید بدانید در این شیوه فاصله سنجی توسط یک دوربین ویک فرستنده نور لیزری طراحی شده است. اساس کار بر قاعده زاویه ومحاسبات مثلثاتی ریاضی می‌باشد. دوربین با فاصله دقیق ومشخص بر روی فرستنده لیزری قرارمی‌گیرد هرچه میزان فاصله بین دوربین وفرستنده لیزری دقیق تر باشد محاسبات دقت بیشتری را دارند. شکل(۳) فرم قرارگیری دوربین و فرستنده لیزری را نمایش می‌دهد[۴].

$$D = \frac{h}{\tan\theta} \qquad (۴)$$

که D فاصله جسم تا دوربین و h فاصله مرکز لنز دوربین تا مرکز لیزر می‌باشد.



شکل (۳) مختصات قرار گیری دوربین و لیزر [۴].

۴- تخمین موقعیت و سرعت ناو

تصویر به وسیله دوربین گرفته شده و برای جدا سازی هدف از تصویر، به نرم افزار پردازش تصویر در Matlab فرستاده می‌شود. برای از بین بردن لبه‌های اضافی تصویر جدا شده به منطق فازی ارسال می‌شود و در ادامه برای از بین بردن نویزهای احتمالی و محیطی از فیلتر کالمن استفاده می‌شود. حال تصویر نهایی برای تعیین موقعیت به پردازش تصویر فرستاده می‌شود که در انتها موقعیت و سرعت هدف در اختیار ما قرار می‌گیرد.

۵- طراحی کنترل کننده فازی

سیستم‌های فازی مبتنی بر دانش یا قواعد هستند. قلب یک سیستم فازی یک پایگاه دانش بوده که از قواعد اگر-آنگاه فازی تشکیل شده است. یک قاعده اگر-آنگاه فازی یک عبارت اگر –آنگاه بوده که بعضی کلمات آن بوسیله توابع تعلق پیوسته مشخص شده اند. به عنوان مثال عبارت فازی زیر را در نظر بگیرید: اگر سرعت اتومبیل بالاست آنگاه نیروی کمتری به پدال گاز وارد کنید[۵].

کنترل کننده منطق فازی (FLC) بر اساس کنترل کننده نوع مشتقگیر (PD) طراحی شده است. فرم زمان گسسته کنترلر (PD) به شکل زیر است :

$$u(k) = kp \,.\, e(k) + kd.\Delta e(k) \qquad (۵)$$

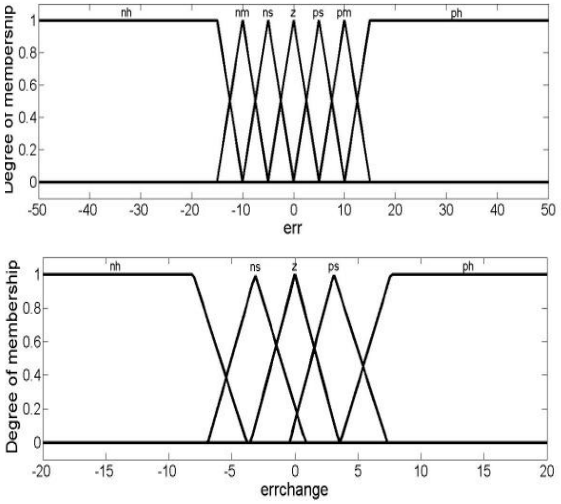
که در آن U(K) ، E(K) و Δe (K) سیگنال کنترل، سیگنال خطا و تغییرات خطا (ce) و KP و KD پارامترهای کنترل می‌باشند. این خطا به عنوان تفاوت بین موقعیت مرجع برآورد (θ(k)) و موقعیت قبلی (θd(k-1)) در درجه برآورده (k-۱) است که مقدار خطا در زمان نمونه قبلی تعریف شده است [۷].

۶- قانون اساسی طراحی

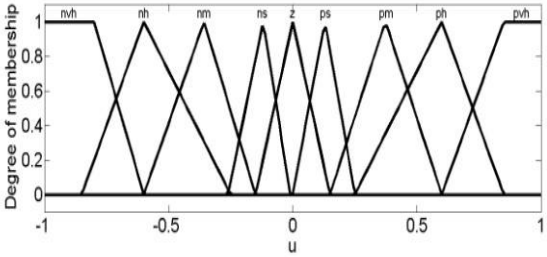
ارتباط بین ورودی و خروجی سیستم، قوانین فازی یا قانون اگر – آنگاه نامیده می‌شود[۵]. در این فرآیند قواعد مورد استفاده برای ردیابی نقطه اصلی و موقعیت مجموعه ای با حداقل خطای حالت ماندگار مشخص شده است. برای مثال، اگر خطا (E) باشد و تغییرات خطا (ce) ، خیلی منفی (NH) باشد بنابراین خروجی (U) خیلی خیلی منفی (NVH) است. مجموعه کاملی از قوانین فازی که در جدول (۱) خلاصه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



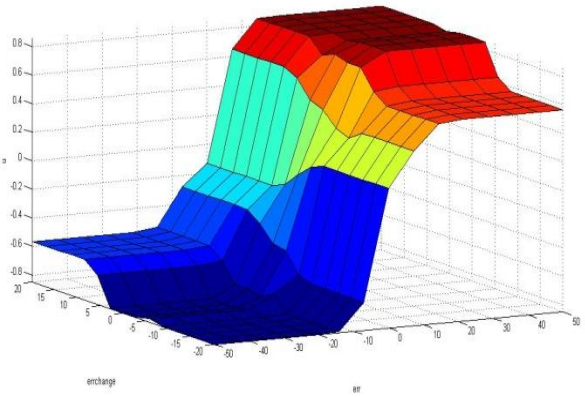
شکل (۴) توابع عضویت ورودی خطا و تغییرات خطا.



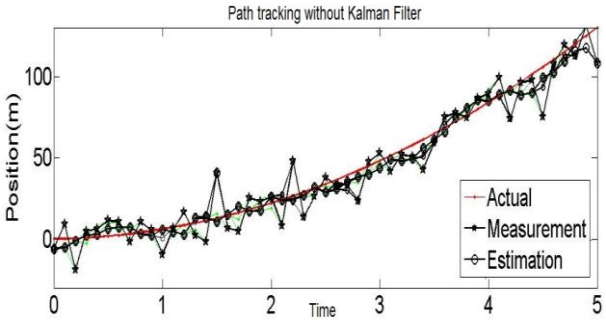
شکل (۵) تابع عضویت خروجی سیگنال کنترلی.

جدول (۱) بانک قوانین سیستم کنترلی

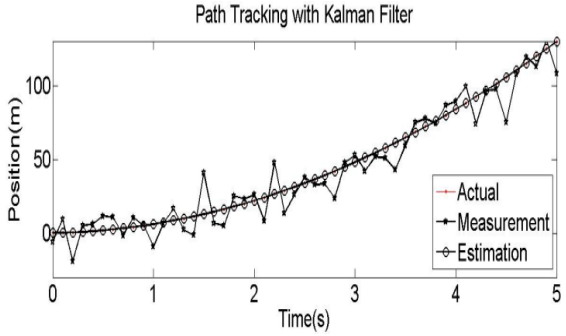
e / Ce	Nh	Nm	Ns	Z	Ps	Pm	Ph
Nh	Nvh	Nvh	Nh	Ps	Pm	Pm	Ph
Ns	Nvh	Nh	Nm	Ps	Ps	Pm	Pvh
Z	Nvh	Nh	Nm	Z	Pm	Ph	Pvh
Ps	Nvh	Nm	Ns	Ns	Pm	Ph	Pvh
Ph	Nh	Nm	Ns	Ns	Ph	Pvh	Pvh



شکل (۶) سطح سه بعدی خروجی منطق فازی.



شکل (۷) نتایج خروجی پس از منطق فازی و بدون فیلتر کالمن.



شکل(۸) نتایج خروجی با وجود فیلتر کالمن.

۷- فیلتر کالمن

فیلتر کالمن یک فیلتر بازگشتی کارامد است که حالت یک سیستم پویا را از یک سری اندازه گیری‌های همراه با خطا بر آورد می‌کند. به همراه یک تنظیم کننده خطی مرتبه دوم فیلتر کالمن مسائل خطی مرتبه دوم را حل می‌کند. فیلتر کالمن ، LQR و LQG راه حلی هستند برای آنچه شاید اساسی ترین مسائل تئوری کنترل می‌نامند[۶]. در این پروژه برای حذف نویزهای محیطی از تصویر از فیلتر کالمن استفاده شده است.

۸- تخمین فاصله هدف تا دوربین

در این قسمت توسط دوربینی که بر روی زیر دریایی به طوری که خارج از آب قرار دارد، می‌خواهیم فاصله و سرعت اهداف سطحی و هوابرد را تخمین بزنیم به طوری که از هدف به صورت برخط فیلم گرفته و این برنامه به صورتی می‌باشد که هدف را دنبال می‌کند و در حقیقت بر روی هدف قفل و مختصات آن نمایش داده می‌شود. برنامه ای که پایه ریزی شده است در هر ثانیه ۵ عکس از فیلم گرفته و در اختیار ما قرار می‌دهد. این الگوریتم یکی از الگوریتم‌های پیشرفته در تعقیب هدف می‌باشد. حال با

www.SID.ir

Archive of SID

عکس‌هایی که در اختیار داریم و نیز با داشتن اندازه قسمتی از هدف مثلا طول ناو یا بالگرد می‌توانیم به روش زیر فاصله هدف تا دوربین را تخمین بزنیم.

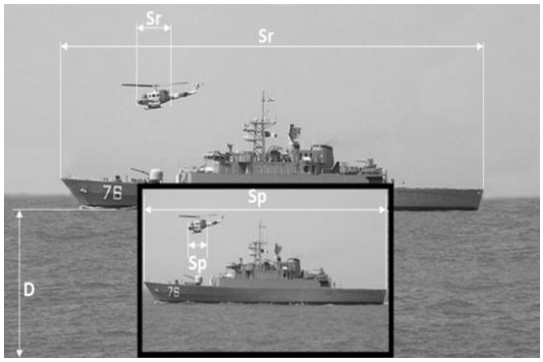
ابتدا ابعاد عکس‌هایی که در اختیار داریم هم با مقیاس سانتی متر و هم تعداد پیکسل موجود در هر سطر و ستون بدست می‌آوریم که این هدف با استفاده از دستور ساده ای در نرم افزار MATLAB تحقق می‌یابد. حال اگر طول عکس را بر حسب سانتی متر L و تعداد پیکسل‌های موجود در طول تصویر را با P نمایش دهیم بنابراین سایز هر پیکسل S بر حسب میلی متر از رابطه زیر بدست می‌آید (شکل (۹)).

$$S = \frac{L}{P \times 10} \ \text{(mm)} \qquad (۶)$$

حال روش بدست آوردن فاصله هدف را از زیر دریایی با دوربین مورد بررسی قرار می‌دهیم. ابتدا قسمتی از هدف مثلا طول ناو یا بالگرد که در اختیار می‌باشد به روش تکنیک‌های لبه یابی در پردازش تصویر انتخاب می‌کنیم، حال با استفاده از فرمول ساده ریاضی زیر می‌توان فاصله هدف تا دوربین را تخمین زد (شکل ۱۰).

$$D = \frac{Sr \times M}{Sp} \ \text{(m)} \qquad (۷)$$

شکل(۹) طریقه بدست آوردن اندازه هر پیکسل در عکس به میلی‌متر.



شکل (۱۰) طریقه بدست آوردن فاصله هدف از دوربین.

که درآن D فاصله و Sr طول واقعی هدف بر حسب متر و Sp طول هدف در تصویر بر حسب میلی متر که در اختیار می‌باشد و M عبارت است از اطلاعات خود دوربین که شامل فاصله کانونی عدسی و عمق میدان و فوکوس که برای هر دوربین عدد ثابتی می‌باشد که برای بدست آوردن آن از روش زیر استفاده می‌کنیم. فرض کنید جسمی داشته باشیم ابعاد آن در اختیار ما می‌باشد و این جسم در فاصله مشخصی از دوربین قرار داشته باشد با گرفتن عکس از آن جسم و قرار دادن در معادله زیر این عدد را بدست می‌آوریم:

$$M = \frac{D \times Sp}{Sr} \qquad (۸)$$

که این عدد برای اکثر دوربین‌ها برابر ۱۸۰ می‌باشد. حال با در اختیار داشتن فاصله هدف تا دوربین می‌توان اطلاعات دیگر نظیر ارتفاع هدف St را با فرمول زیر بدست آورد:

$$St = \frac{Sw \times D \times 1000}{M} \ (cm) \qquad (۹)$$

که در اینجا Sw برابر اندازه ارتفاع ناو در تصویر بر حسب میلی‌متر است.

۹- تخمین سرعت هدف

اکثرا برای تخمین سرعت یک جسم متحرک از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$V = \frac{d}{t} \qquad (۱۰)$$

که در آن v سرعت حرکت جسم که در حال پیمودن مسافت d در مدت زمان t می‌باشد. همان طور که قبلا گفته شد در هر ثانیه ۵ عکس از دوربین در اختیار ما قرار داده می‌شود اگر دو عکس را طوری انتخاب کنیم که در زمان مشخصی از هم گرفته شده باشند با در دست داشتن فاصله به راحتی می‌توان مقدار مسافت طی شده هدف را از روی عکس بدست آورد. ابتدا اجازه بدهید نحوه حرکت هدف را مورد بررسی قرار دهیم. هدف یا به صورت مستقیم به سمت دوربین نزدیک یا خلاف جهت دور می‌شود و یا در حال حرکت به طرفین می‌باشد یعنی از چپ به راست یا از راست به چپ حرکت می‌کند. ابتدا فرض کنید هدف در جهت مستقیم در حال نزدیک تر شدن یا دور شدن از دوربین در حال حرکت می‌باشد، فرض کنید یک تصویر در زمان t1 و تصویر دیگری که در زمان t2 گرفته شده است در اختیار داریم، با در دست داشتن اندازه قسمتی از هدف، فاصله هدف تا دوربین را در هر دو تصویر را با توجه به

www.SID.ir

Archive of SID

رابطه شماره (۷) بدست می‌آوریم. حال با قرار دادن معلومات در رابطه زیر سرعت هدف بدست می‌آید.

$$V = \frac{d_1 - d_2}{t_2 - t_1} \quad (۱۱)$$

اگر مقدار بدست آمده مثبت بود هدف در حال دور شدن و اگر مقدار بدست آمده منفی بود هدف در حال نزدیکتر شدن می‌باشد.

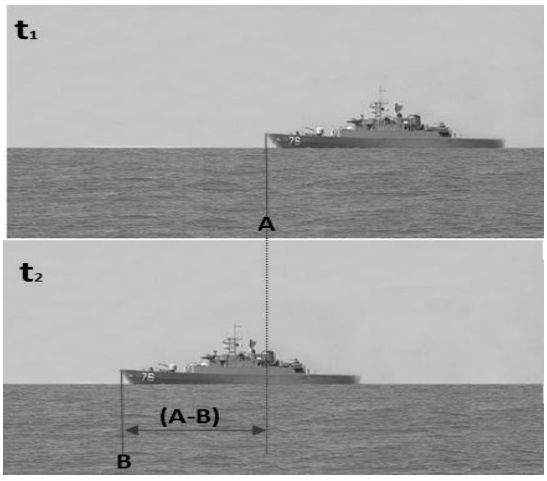
حال فرض کنید که هدف به طرفین یعنی از چپ به راست و یا راست به چپ در حال حرکت می‌باشد، باز فرض کنید یک تصویر در زمان t1 و تصویر دیگری که در زمان t2 گرفته شده است، با در دست داشتن اندازه قسمتی از هدف، فاصله هدف تا دوربین را در هر دو تصویر را با توجه به معادله شماره (۷) بدست می‌آید. حال فرض کنید ابتدای هدف در ستون A بر حسب پیکسل در عکس اول و نیز ابتدای هدف در ستون B بر حسب پیکسل در عکس دوم قرار گرفته شده باشد، با استفاده از رابطه زیر می‌توانیم سرعت حرکت جسم را بدست بیاوریم (شکل ۱۱).

$$V = \frac{(A-B)\times S\times M}{(t_2-t_1)\times D} \quad (۱۲)$$

چون در تصاویر برای شمارش پیکسل از نقطه بالایی سمت چپ استفاده می‌شود بنابراین اگر v منفی آمد هدف از چپ به راست در حرکت و اگر v مثبت شد هدف از راست به چپ در حرکت می‌باشد .

۱۰- پیاده‌سازی و نتایج بدست آمده

در این مقاله فرض شده اندازه طول ناو ۵ متر و تصویر بدست آمده دارای مشخصات زیر است.



شکل (۱۱) طریقه بدست آوردن سرعت هدف.

ابعاد تصویر دریافتی از دوربین ۱۲,۵×۱۶,۶ سانتی‌متر و ۴۸۰×۶۴۰ پیکسل می‌باشد بنابراین با توجه به معادله (۶) اندازه هر پیکسل به میلی متر برابر است با :

$$S = \frac{L}{P\times 10} = \frac{16.6}{640*10} = 0.026\ (mm) \quad (۱۳)$$

با توجه به تصویر دریافتی طول ناو در تصویر ۵۳۰ پیکسل می‌باشد چون اندازه هر پیکسل ۰,۰۲۶ میلی متر است بنابراین طول ناو برابر $530 \times 0.026 = 13.78$ mm می‌باشد که همان Sp است همچنین طول واقعی ناو(Sr) ۵ متر می‌باشد بنابراین طبق رابطه (۷) داریم:

$$D = \frac{Sr\times M}{Sp} = \frac{5\times 180}{13.78} = 65.25\ (m) \quad (۱۴)$$

اگر بخواهیم ارتفاع ناو را از سطح آب به دست آوریم ابتدا تعداد پیکسل‌هایی که در تصویر ارتفاع ناو را در بر دارد و از روی همین ارتفاع ناو در تصویر را بر حسب میلی متر بدست می‌آوریم که برابر ۰,۵۶ میلی متر بنابراین ارتفاع حقیقی ناو با توجه به رابطه (۹) بدست می‌آید:

$$St = \frac{Sw\times D\times 1000}{M} = \frac{0.56\times 65.25\times 1000}{180} = 203\ (cm) \quad (۱۵)$$

برای بدست آوردن سرعت و جهت حرکت فرض کنید در زمان t_1 ابتدای ناو در تصویر روی پیکسل 380 افقی قرار دارد و در زمان t_2 که با فاصله 1 ثانیه نسبت به t_1 می‌باشد ابتدای ناو در تصویر بر روی پیکسل ۴۰۰ قرار دارد بنابراین برای بدست آوردن سرعت و جهت حرکت از رابطه (۱۲) استفاده می‌کنیم:

$$V = \frac{(A-B)\times S\times M}{(t_2-t_1)\times D} = \frac{(380-400)\times 0.026\times 180}{(1-0)\times 65.25} = -86\left(\frac{km}{h}\right) \quad (۱۶)$$

چون عدد بدست آمده منفی می‌باشد بنابراین هدف ازچپ به راست در حرکت می‌باشد.

۱۱- نتیجه گیری

روشهای مختلفی برای تخمین فاصله و سرعت هدف وجود دارد، که هرکدام دارای مزایا و معایبی می‌باشند. در این مقاله برای تخمین فاصله و سرعت از روشی جدید استفاده شده که با استفاده از دوربین و با در دست داشتن اندازه قسمتی از هدف به تخمین فاصله و سرعت می‌پردازیم که با توجه به پیاده سازی این روش دارای سرعت پردازش بیشتر و درصد خطای کمتری نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد (جدول (۲)).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۲) درصد خطای تخمین فاصله و سرعت در فواصل مختلف.

سرعت	فاصله	
۰	۰	10m
۰,۱	۰,۱	50m
۰,۶	۰,۵	100m

۱۲- مراجع

[۱] جمال قبادی دیزج یکان، سیّد کمال الدین موسوی مشهدی، "تخمین فاصله و سرعت اهداف سطحی با دوربین IR", سومین کنفرانس بین المللی اتوماسیون صنعتی ایران، دانشگاه شریف تهران، بهمن ۱۳۹۱.

[۲] جمال قبادی دیزج یکان، سیّد کمال الدین موسوی مشهدی, "کنترل سرعت قطار برای توقف در ایستگاه با دوربین IR"، سومین کنفرانس بین المللی پیشرفت‌های اخیر در مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت، اردیبهشت ۱۳۹۲.

[3] Ghobadi, J., Adine, A. Mousavi, S. K., ‘‘Manour for Control of the Car Park using Fuzzy Logic’’, The Journal of Mathematics and Computer Science Vol .5, No.3, pp.167-175, 2012.

[4] Christian, E., Portugal, Z., “Robust Range Finder Through a Laser Pointer and a Webcam”, Latin American Conference in Informatics, Vol.281, pp.143-57, 2011.

[5]Mrovlje . J, Vrancic, V., “Distance Measuring Based on Stereoscopic Pictures”, the 9th International PhD Workshop on Systems and Control: Young Generation Viewpoint. Izola, Slovenia, 2012

[6] Mousavi. S. K, Zahiri, M, Ghobadi, J., “Simulation of Temperature Controller for an Injection Mould Machine using Fuzzy Logic”, Journal of Mathematics and Computer Science Vol.7, pp.33-42, 2013.

[7] Mousavi. S. K, Ghobadi . J, Ghasem Nejad. M, “Incubator with Fuzzy Logic”, The Journal of Mathematics and Computer Science, Vol.5 No.3 pp.197-204 , 2012.

www.SID.ir