پیاده سازی بلادرنگ و کم هزینه الگوریتم مرکز شدت برای ردیابی موقعیت هدف در ویدیو

پیمان معلم[1]، علی اکبر شائمی[2]
۱- استادیار گروه الکترونیک دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان
اصفهان، دروازه شیراز، دانشگاه اصفهان، دانشکده فنی و مهندسی p_moallem@eng.ui.ac.ir
۲- کارشناس ارشد الکترواپتیک، صنایع اپتیک اصفهان
اصفهان، خیابان کاوه، صنایع اپتیک اصفهان ali_akbar_shaemi@yahoo.com

چکیده

یک الگوریتم ردیابی تصویری ویدیویی، هدفی از پیش مشخص شده را در قابهای تصویری ورودی ویدیو دنبال کرده و در صورت موفقیت در ردیابی به عنوان خروجی، موقعیت هدف در هر قاب ورودی مشخص می‌کند. یکی از کارآترین روشهای ردیابی تصویری، استفاده از الگوریتم مرکز شدت است که براحتی به شکل دیجیتال قابل پیاده سازی است. البته در اینصورت لازم است از سخت افزارهای قدرتمند پردازش دیجیتال و بلادرنگ سیگنال ویدیو که هزینه بالا و پیچیدگی خاص خود را خواهند داشت، استفاده شود. از طرفی پردازش آنالوگ سیگنال ویدیو که از عناصر الکترونیکی ساده‌ای چون تقویت کننده عملیاتی، دیود، ترانزیستور، مقاومت و خازن استفاده می‌کند، به علت سادگی، هزینه بسیار پایین و ماهیت بلادرنگ آن، از آغاز پیدایش سیگنال ویدیو که خود در واقع آنالوگ می‌باشد، همواره مورد توجه بوده است. روابط اصلی روش ردیابی مرکز شدت، به گونه‌ای است به سادگی قابل پیاده‌سازی به صورت آنالوگ نمی‌باشد بنابراین در این مقاله ابتدا رابطه‌ای برای پیاده‌سازی این الگوریتم به صورت آنالوگ پیشنهاد و سپس چگونگی پیاده‌سازی آنالوگ آن در سطح بلوک دیاگرام و بعضی از مدارات الکترونیک آن ارائه شده و در انتها با ارائه نتایج شبیه سازی طرح پیشنهادی، کارایی آن نسبت به روش موازنه سطح که از روش‌های مرسوم در ردیابی آنالوگ است، بررسی می‌شود.

واژه های کلیدی

الگوریتم‌های ردیابی، ردیابی مرکز شدت، پردازش آنالوگ سیگنال ویدیو.

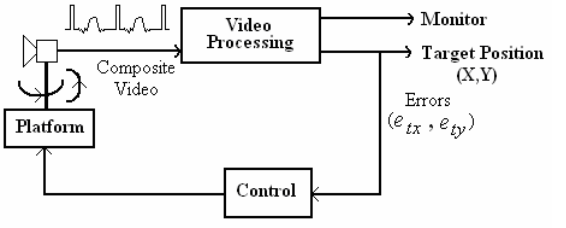
Archive of SID

۱- مقدمه

یکی از متداولترین روشها برای انتقال تصاویر متحرک، استفاده از سیگنال ویدیو ترکیبی[1] است که در آن اطلاعات تصویر، پالس‌های همزمانی و سایر سیگنال‌های لازم با سطوح مختلف ولتاژ ترکیب شده و به شکلی زمانی، اطلاعات تصاویر متوالی را نشان می‌دهند [۱]. خروجی دستگاه‌های تصویر برداری مانند دوربین‌های فیلم برداری و دستگاه‌های پخش تصویری مانند VCD و VHS، همگی از نوع سیگنال ویدیو ترکیبی است.

یکی از موارد مطرح در پردازش تصاویر متوالی، ردیابی هدفی از پیش مشخص شده در تصویر ویدیویی است که کاربردهای متنوعی در صنایع نظامی، سیستم‌های حفاظتی و بینایی ماشینی [۲] دارد. در الگوریتم‌های ردیابی ویدیویی، ابتدا هدف به الگوریتم معرفی شده و در ادامه الگوریتم ردیابی، دنبال کردن هدف در محدودهٔ رؤیت بوسیله ایجاد تمایز بین هدف و زمینه و مشخص کردن موقعیت آن را در رشته تصاویر ورودی انجام می‌دهد [۳]. ردیاب تصویری ویدیویی، سیستمی است که از یک دوربین تصویر برداری با خروجی سیگنال ویدیو، نصب شده بر روی یک سکوی دو درجه آزادی قابل کنترل به همراه بخش‌های پردازش ویدیو و نمایش، مطابق شکل(۱) تشکیل می‌شود. هدف سیستم ردیاب آن است که پس از مشخص

شدن هدف برای سیستم ردیاب، روی آن قفل[۲] کند به عبارت دیگر با حرکت مناسب سکو، همواره هدف را در مرکز رویت نگاه دارد. در واقع عملکرد سیستم ردیاب بدینصورت است که پس از قفل بر روی هدف، قسمت پردازش ویدیو، ردیابی تصویری هدف را انجام داده و خطای موقعیت هدف را نسبت به مرکز تصویر در راستای x و y، که دراینجا با e_{tx} و e_{ty} شناخته می‌شوند، محاسبه کند. واحد کنترل، سکوی دو درجه آزادی را با هدف صفر کردن این خطا، به صورت مناسب حرکت می‌دهد. بنابراین پس از قفل شدن ردیاب بر روی هدف، هدف همواره در مرکز رویت باقی خواهد ماند.



شکل (۱): طرحواره کلی یک سیستم ردیاب تصویری ویدیویی

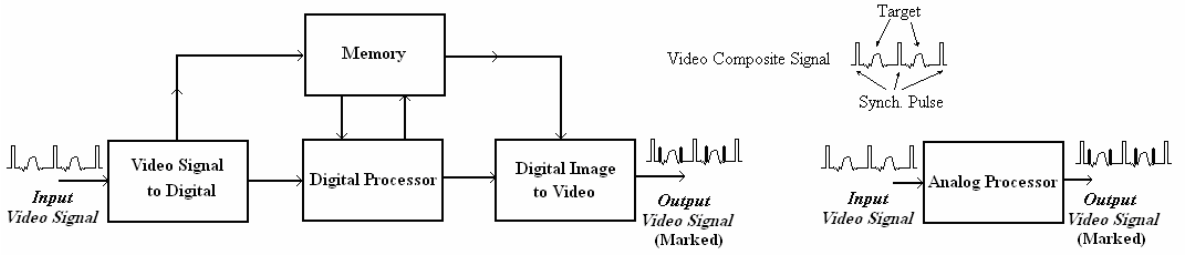
وظیفه واحد پردازش ویدیو در شکل (۱)، پیاده سازی الگوریتم ردیابی تصویری است. پس از طراحی و اطمینان از عملکرد الگوریتم ردیابی، پیاده سازی بلادرنگ آن مطرح می‌شود که روش‌های متنوعی برای اینکار، قابل استفاده خواهد بود.

۱-۱- پیاده سازی الگوریتم ردیابی

اگر سیگنال ورودی یک ردیاب تصویری، ویدیوی ترکیبی باشد، پیاده‌سازی الگوریتمهای ردیابی می‌تواند به دو گونه انجام شود. روشی که امروزه متداول است، نمونه برداری و ذخیره اطلاعات تصویری سیگنال ویدیو در حافظه دیجیتال و استفاده از پردازشگر دیجیتال با سرعت کافی می‌باشد. در این روش که همان پردازش دیجیتالی است، عملا از یک کامپیوتر دیجیتال خاص و یا عام منظوره استفاده می‌شود. در پردازش دیجیتالی سیگنال ویدیو، ابتدا یک مدار آنالوگ به دیجیتال اطلاعات تصویر سیگنال ویدیو را به دیجیتال تبدیل کرده و حداقل به اندازه یک قاب[۳] آن را در حافظه سیستم پردازش ذخیره می‌کند و سپس سیستم پردازش دیجیتال، اطلاعات در حافظه را که متناظر یک یا چند قاب تصویر است را پردازش کرده و موقعیت هدف را در حافظه دیجیتال تصویر، علامت‌دار[۴] می‌کند. در نهایت، سیستم مبدل تصویر دیجیتال به ویدیوی آنالوگ، حافظه دیجیتال تصویر را به سیگنال ویدیو تبدیل کرده که توسط نمایش دهنده‌های ویدیوی، قابل نمایش خواهد بود. در این حالت، استفاده از پردازشگر دیجیتال قابل برنامه ریزی، قابلیت انعطاف گسترده‌ای را به کاربر برای انتخاب الگوریتم پردازش خواهد داد.

روش دیگری که برای پیاده سازی الگوریتم ردیابی استفاده می‌شود، پردازش مستقیم سیگنال ویدیو بوده که معمولا با عنوان پردازش آنالوگ سیگنال ویدیو شناخته می‌شود. در پردازش آنالوگ سیگنال ویدیو، اطلاعات تصویر در حافظه ذخیره نشده و مستقیما سیگنال آنالوگ، بررسی می‌شود، بدینصورت که سیگنال ویدیو که شامل اطلاعات تصویری قابهای متوالی است، به صورت آنالوگ و به کمک مدارات الکترونیکی با قطعات متداولی مانند تقویت کننده عملیاتی، ترانزیستور، دیود، خازن و مقاومت پردازش شده و موقعیت هدف روی سیگنال ویدیو، برای کاربر علامت دار و مشخص می‌شود. برای این منظور ابتدا سیگنال‌های همزمانی افقی و عمودی[۵] تشخیص داده شده و پردازش، روی سیگنال ویدیو و در محدوده زمانی اطلاعات تصویری انجام می‌شود. طرحواره این دو روش در شکل (۲) دیده می‌شود، در هر صورت هدف از الگوریتم ردیابی، مشخص کردن محل هدف و علامت دار کردن سیگنال ویدیویی خروجی خواهد بود.

قبل از امکان ساخت و توسعه سیستم‌های قوی پردازش دیجیتال، اصولا پیاده‌سازی الگوریتمهای ردیابی فقط به شکل آنالوگ مطرح بود [۴] ولی امروزه بدلیل پیشرفتهای چشمگیر در ساخت سیستم‌های دیجیتال و پردازشگرهای DSP، الگوریتمهای ردیابی ویدیویی بیشتر به شکل دیجیتال مطرح و پیاده سازی می‌شوند [۵،۳]. اما در عین حال پردازش آنالوگ سیگنال ویدیو بدلیل سهولت امکان پیاده سازی بلادرنگ، سادگی سخت‌افزار و سهولت تعمیرات و نگه‌داری و همچنین امکان پیاده‌سازی موازی عملیات همچنان مورد توجه بوده و ابداعاتی در آن پیشنهاد می‌شود [۶].



شکل (۲): طرحواره سیستم پردازش ردیاب ویدیوی آنالوگ (راست) و دیجیتال (چپ)

Archive of SID

۱-۲- سرعت پیاده سازی و پیچیدگی الگوریتم

در بعضی کاربردها که ممکن است سرعت هدف زیاد باشد، ردیابی بلادرنگ به معنای ایجاد پردازش تمام تصویر[۶] (یعنی پردازش تمامی اطلاعات تصاویر رشته ورودی در زمان واقعی) و با بررسی قسمت بزرگی از تصویر ورودی جهت جستجوی هدف مطرح می‌گردد. برای مثال فرض کنید در یک الگوریتم ساده ردیابی، برای مشخص کردن موقعیت هدف، فقط به حدود ۲۵۰۰ عمل ریاضی احتیاج باشد. در این صورت قدرت پردازشی لازم برای پیاده‌سازی تمام فیلد چنین الگوریتمی و برای سیگنال تصویر NTSC با سرعت ۶۰ فیلد بر ثانیه و با حداقل تفکیک پذیری ۲۵۶×۲۵۶ ، حدود 10 GIPS (۱۰ میلیارد عملیات در ثانیه) خواهد بود. در چنین سیستمی علاوه بر واحد محاسباتی با چنین قدرت بالائی به یک سخت‌افزار جمع آوری داده برای چندی کردن تصویر ورودی با سرعت حدود 4 MB/S (۴ مگا بایت بر ثانیه) نیز نیاز خواهد بود که پیچیدگی سخت افزاری طراحی و ساخت چنین سیستمی را در کنار بالا بودن هزینه ساخت آن، نشان می دهد.

از طرفی در بسیاری از کاربردهای ردیابی، دنبال کردن هدفی در یک زمینهٔ نه چندان شلوغ مثل آسمان، بیابان و یا دریا مطرح می‌گردد. در این موارد عموماً هدف تباین[۷] مناسبی نسبت به اطراف خود دارد که پس از دو سطحی شدن، توسط الگوریتم‌هایی مثل موازنه سطح[۸] که براحتی بصورت آنالوگ پیاده‌سازی می‌شود قابل ردگیری است. بنابراین در بسیاری از کاربردهای ردیابی، عملا نیازی به استفاده از سخت افزارهای پیچیده دیجیتال برای پیاده سازی الگوریتم نبوده و استفاده از روش پردازش مستقیم سیگنال ویدیو و آنهم به صورت آنالوگ، کاملا مقرون به صرفه خواهد بود.

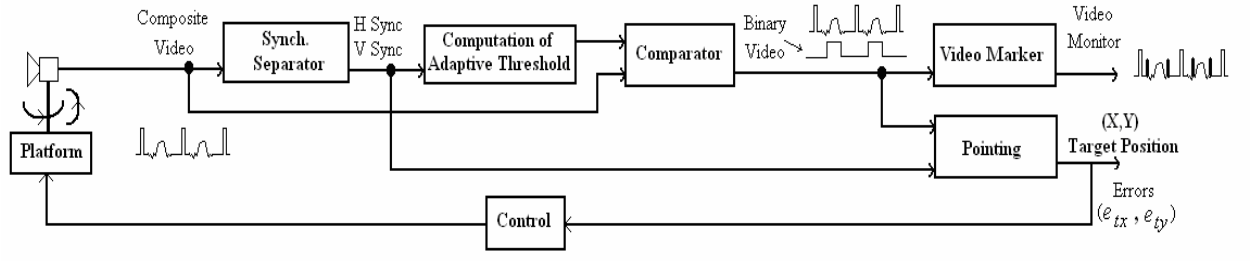
یکی از موارد قابل تامل در الگوریتم‌های ردیابی، دقت نشانه‌روی[۹] است که مخصوصا در کاربردهای نظامی، امنیتی و حفاظتی مورد توجه است. ثابت می‌شود که بهترین دقت نشانه روی در الگوریتم‌های ردیابی، با روش ردیابی مرکز شدت[۱۰] بدست می آید [۷] ولی پیاده سازی این روش، مستقیما روی سیگنال ویدئو که به صورت آنالوگ است، مشکلاتی را به همراه دارد. در این مقاله روشی برای پیاده‌سازی مستقیم این روش روی سیگنال ویدیو و آنهم به صورت آنالوگ، مطرح خواهد شد و نتایج آن با روش نشانه روی موازنه سطح که روشی مرسوم در ردیابی آنالوگ است، مقایسه می‌شود.

برای این منظور در ابتدا اصول پردازش مستقیم سیگنال ویدیو، به منظور ردیابی هدف بررسی شده و سپس معرفی روش نشانه روی موازنه سطح که از روش‌های متداول پردازش مستقیم سیگنال ویدیوست و پیاده سازی آنالوگ آن، مطرح می‌شود. در ادامه اشکالات این روش بررسی خواهد گردید و سپس به روش ردیابی مرکز شدت و مزیت های آن به عنوان یک الگوریتم کارآمد در نشانه روی پرداخته خواهد شد.

در پیاده سازی روش ردیابی مرکز شدت، احتیاج به محاسبه سطح هدف و ممانهای مرتبه اول افقی و عمودی آن بوده که پیاده سازی را بصورت آنالوگ تقریباً غیر ممکن خواهد کرد لذا در ادامه نگرشی نوین بر روابط مربوط به ردیابی مرکز شدت مطرح شده به گونه‌ای که پس از اصلاحات پیشنهادی، روش منتجه بصورت آنالوگ قابل پیاده‌سازی باشد و سپس به پیاده‌سازی آنالوگ آن اشاره خواهد شد. در انتها نیز شبیه سازی دو روش ردیابی موازنه سطح و مرکز شدت اصلاح شده، انجام شده و نتایج بدست آمده، مقایسه خواهد شد.

۲- پردازش سیگنال ویدیو جهت ردیابی هدف

سیگنال ویدیو، ترکیبی از اطلاعات تصویر و پالس‌های همزمانی افقی و عمودی است، لذا در قدم اول لازم است سیگنال همزمانی از سیگنال ویدیوی ترکیبی جدا شود. برای این منظور معمولا از یک جداساز سیگنال همزمانی که انواع مدار مجتمع آن نیز موجود است (مانند LM1881) استفاده می‌شود. در قدم بعدی لازم است تشخیص هدف از زمینه با توجه به مقدار سیگنال تصویر انجام شود. همانطور که قبلا نیز اشاره گردید، در بسیاری از کاربردها، ردیابی برای تصاویری با زمینه‌های ساده مانند هوا، بیابان و دریا تعریف می‌شود که مناسب پیاده سازی آنالوگ خواهد بود. در این موارد، با توجه به وجود تباین کافی بین سطح خاکستری هدف و زمینه، استفاده از روش‌های مختلف آستانه گیری وفقی [۹،۸،۵] که بصورت آنالوگ نیز قابل پیاده سازی است [۱۰] جهت تمایز هدف از زمینه کاملا موثر خواهد بود.



شکل (۳): طرحواره پردازش مستقیم سیگنال ویدیوی آنالوگ به منظور ردیابی هدف

Archive of SID

در هر صورت پس از تمایز هدف از زمینه که معمولا به صورت یک سیگنال دو سطحی ویدیو[11] مشخص می‌شود، لازم است محل هدف در تصویر مشخص و علامت دار شده که برای سایر قسمت‌های ردیاب آنالوگ، مانند کنترل سکو و مشاهده کاربر، قابل استفاده خواهد بود.

معمولا برای ایجاد زمانبندی‌های مورد نیاز جهت تعیین موقعیت هدف از مونواستابل‌های دقیق و یا حتی دیجیتال استفاده می‌شود . شکل (۳) ، طرحواره‌ای از سیستم ردیابی ویدیویی و پردازش سیگنال آنالوگ را برای ردیابی هدف نشان می‌دهد. در این شکل، فرض شده که هدفی روشنتر از زمینه تقریبا در وسط تصویر قرار گرفته است، و در اطلاعات هر خط سیگنال ویدیو به صورت یک تپه کوچک دیده می‌شود. پس از جداسازی پالس‌های همزمانی، مدار محاسب مقدار آستانه، این مقدار را به صورت تطبیقی محاسبه کرده و در اختیار مقایسه‌گر، قرار خواهد داد. یکی از روش‌های محاسبه مقدار آستانه، استفاده از متوسط‌گیری[12] از اطلاعات قاب تصویر است که عملا روشی تطبیقی است و با در نظر گرفتن ضریبی از مقدار آستانه در نظر گرفته شده در قاب قبلی، از تاثیر نویز در آن کاسته می‌شود [۵].

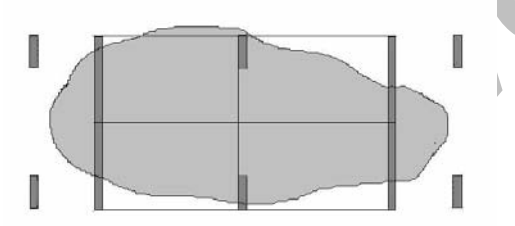
خروجی مقایسه گر عملا یک سیگنال دو سطحی ویدیو است که وجود هدف در آن با سطح یک منطقی و عدم وجود هدف (وجود زمینه) با صفر منطقی مشخص شده است. این سیگنال توسط واحد پردازش محل هدف، پردازش شده و محل هدف محاسبه و گزارش خواهد شد. در اکثر سیستم‌ها که خروجی آنها نیز سیگنال ویدیو است، محدوده هدف روی سیگنال ویدیو خروجی علامت دار می‌شود که ممکن است مانند شکل (۲) و (۳)، با سطح خاکستری روشن مشخص گردد.

یکی از موارد حیاتی در ردیابی اهداف تصویری، نشانه روی به سمت هدف ردیابی شده است. برای این منظور لازم است پس از مشخص شدن محدوده هدف (شکل (۳)، قسمت علامت دار کردن ویدیو[13])، محل دقیق هدف نیز مشخص گردد (شکل (۳)، قسمت نشانه روی) که می‌تواند مورد استفاده بخش‌هایی چون کنترل سکوی نگه دارنده دوربین و یا کنترل آتش قرار گیرد. آنچه برای کنترل سکوی نگه دارنده دوربین حائز اهمیت است، انحراف هدف نسبت به مرکز تصویر بوده که توسط الگوریتم کنترلی مورد استفاده واقع شده و در واقع الگوریتم کنترل با کنترل سکو، سعی در صفر نگه داشتن این خطا و در واقع سعی در وسط نگه داشتن هدف در تصویر ورودی خواهد کرد.

در قسمت بعدی به روش نشانه روی موازنه سطح پرداخته خواهد شد که از روش‌های متداول در نشانه روی به سمت هدف بوده که براحتی با پردازش مستقیم سیگنال ویدیو، قابل پیاده سازی است.

۳– الگوریتم موازنه سطح

قبل از پرداختن به این روش ذکر این نکته ضروریست که در بیشتر سیستمهای ردیابی، پردازش ردیابی در داخل دریچه‌ای به نام دریچهٔ ردیابی[14] که روی هدف قرار می گیرد انجام می‌شود [۱۰،۷،۳]. این روش مزیتهای گوناگونی دارد که می‌توان به مواردی چون جلوگیری از ورود اهداف مجازی در عمل ردیابی، کم کردن حجم محاسبات و کاهش مقدار اطلاعات پس‌زمینه اشاره کرد. در این جا نیز در معرفی و شبیه‌سازی هر دو الگوریتم به شکل آنالوگ، یعنی موازنه سطح که در این قسمت اشاره شده و روش مرکز شدت که موضوع قسمت بعدی است، از دریچه ردیابی استفاده می‌شود. جهت سهولات در پیاده سازی آنالوگ، این دریچه مستطیل شکل در نظر گرفته شده و دارای چندین دریچه لبه‌ای است. بدلیل اینکه ممکن است در هنگام ردیابی، تصویر هدف در میدان دید دچار تغییر اندازه شود این دریچه باید قادر باشد تا با تغییر اندازه هدف، تغییر اندازه یابد و در همه حال، عمل ردیابی بر روی کل هدف انجام گیرد. در واقع وجود دریچه‌های لبه‌ای به همین منظور است که با مقایسه مقدار وجود هدف در این دریچه های لبه‌ای افقی و عمودی، اندازه دریچه در هر یک از این دو جهت تغییر می‌کند. دریچه‌ای که در این مقاله عمل شبیه‌سازی و پیاده‌سازی الگوریتم بر روی آن انجام می گیرد در شکل (۴) نمایش داده شده است.



شکل (۴): نمونه‌ای از دریچه‌ها جهت پیاده سازی ردیابی آنالوگ

تصویر ورودی در داخل دریچه‌های لبه‌ای بر اساس یک آستانه تعیین شده که می تواند ثابت و یا تطبیقی باشد به یک تصویر دو سطحی هدف (مقدار یک منطقی) و غیر هدف (مقدار صفر منطقی) تبدیل می‌شود و سپس مقدار هدف در مقابل غیر هدف در هر یک از دو دریچه لبه‌ای افقی و یا عمودی با همدیگر مقایسه می گردند اگر مقدار هدف از غیر هدف بیشتر باشد دریچه بزرگ و در غیر اینصورت کوچک و یا بدون تغییر خواهد ماند. گرچه این روش براحتی بصورت آنالوگ و مستقیما روی سیگنال ویدیو قابل پیاده سازی است، ولی با توجه به کارایی آن در ردیابی، امروزه نیز پیاده سازی آن به روش دیجیتال، مورد توجه است [۵].

برای تشریح عملکرد الگوریتم موازنه سطح که بر روی یک تصویر دو سطحی عمل می کند، فرض کنید دریچه دربر گیرنده هدف به دو نیمه مساوی تقسیم شده است. هدف اصلی این الگوریتم

Archive of SID

آن است که سطح هدف را در این دو نیمه، مساوی می کند. برای این منظور لازم است سطح هدف در هریک از دو نیمه اندازه گیری شود. برای اندازه سطح هدف، انتگرال گیری از سیگنال دو سطحی شده هدف، انجام می‌گیرد. البته الگوریتم قابل پیاده‌سازی بر روی تصاویر با سطوح خاکستری نیز می باشد. مقدار خطا در جهت x با استفاده از رابطه زیر بدست می آید:

$$e_{tx} = C_x^{-1} \left(\int_{y_0}^{y_2} \int_{x_0}^{x_1} s(x,y)dxdy - \int_{y_0}^{y_2} \int_{x_1}^{x_2} s(x,y)dxdy \right) \qquad (۱)$$

که در آن $S(x,y)$ سیگنال دو سطحی ویدیوی هدف بوده و مختصات دریچه ردیابی از x_0 الی x_2 در جهت x و y_0 الی y_2 در جهت y در نظر گرفته شده است. x_1 نیز مختصات افقی وسط دریچه ردیابی است. برای جهت y نیز رابطه‌ای مشابه وجود دارد. در حالت آنالوگ سیگنالهای مکانی به زمانی تبدیل می شوند و بنابراین رابطهٔ بالا در حالت آنالوگ به رابطه (۲) تبدیل خواهد شد.

$$e_{tx} = C_x^{-1} \left(\int_{t_0}^{t_2} G_R(t) S(t) dt - \int_{t_0}^{t_2} G_L(t) S(t) dt \right) \qquad (۲)$$

که در آن $S(t)$ سیگنال دو سطحی تصویر و $G_R(t)$ و $G_L(t)$ به ترتیب سیگنالهای متناظر با طرف راست و چپ دریچهٔ ردیابی می‌باشند. مقدار این دو سیگنال که در واقع سیگنالهایی دو سطحی هستند، در زمان پنجره مربوطه "1" و در سایر زمانها "0" فرض می‌شوند. C_x در دو رابطهٔ (۱) و (۲) بهرهٔ ردیابی نامیده شده و بنا به تعریف نسبت خطای واقعی و خطای ردیابی است. به عبارت دیگر، هرچه بهره ردیابی بزرگتر باشد، تاثیر خطای واقعی که ناشی از تفاضل دو انتگرال است، در مقدار گزارش شده برای خطای ردیابی (برای مثال e_{tx}) بیشتر خواهد بود. برای ایجاد تشابه با رابطه (۱)، $G_R(t)$ و $G_L(t)$ که به ترتیب سیگنالهای متناظر با طرف راست و چپ دریچهٔ ردیابی می باشند، نقش انتگرال روی x را ایفا کرده و انتگرال روی t ، همانند انتگرال روی y خواهد بود.

روش موازنه سطح سعی می‌کند برای به حداقل رسانیدن خطای ردیابی و بهبود عملکرد نسبت به ردیابهای دیگر، مقادیر انتگرال را در دو طرف پنجرهٔ ردیابی برابر کند. با وجود اینکه این روش به دلیل استفاده از انتگرال سطح هدف، دارای عملکرد بهتری نسبت به ردیابهای قبلی است ولی دارای محدودیتهای نیز هست. محدودیت اصلی این روش وابستگی خصوصیات خطای ردیابی به شکل و اندازهٔ هدف می باشد همانطور که این روش نشان می‌دهد. وقتی خطا در یک محور افزایش می‌یابد، علامت خطا در همان محور افزایش یافته که نهایتا به کمک پسخورد حلقه کنترل (شکلهای ۱ و ۳) ، منجر به کاهش خطا خواهد شد. اما اگر هدف یک نیمه را کاملا ترک کند بدین معنی که وقتی هدف در یک طرف پنجره قرار گیرد هر کجا باشد مقدار خطا تفاوتی نخواهد کرد. بدین ترتیب میدان ردیابی خطی در هر محور (زاویه‌ای که بر روی آن خصوصیات ردیابی خطی است) برابر با زاویه مقابل به هدف در روی آن محور خواهد بود. اگر یک قسمت از هدف به خارج پنجرهٔ ردیابی منتقل شود میدان ردیابی خطی باز هم کاهش خواهد یافت.

عملکرد حلقهٔ ردیابی شدیداً وابسته به بهرهٔ ردیاب (C_x, C_y) می‌باشد که همانطور که گفته شده این بهره را می توان نسبت خطای محاسبه شده به خطای واقع نشان داد. بنابراین آنچه مطلوب است طراحی روش تعیین موقعیت هدف با بهرهٔ ثابت و مستقل از شکل و اندازهٔ هدف می‌باشد. در حالت کلی هیچ بیان ساده‌ای برای مقادیر بهره یعنی C_x و C_y وجود ندارد که بتواند بهره را ثابت نگه دارد. تنها موردی که می تواند بهرهٔ ثابتی به همراه داشته باشد فرض یک هدف مستطیل شکل است که در بیشتر موارد این چنین نیست ولی تقریب خوبی است که در عمل کارائی دارد [۷]. در این حالت $C_x=1/(2h)$ که در آن h اندازه هدف در جهت y می باشد و برای جهت y نیز چنین رابطه ای صادق است. یکی از اشکالات این روش آن است که خطای گزارش شده وابسته به شکل هدف خواهد بود. برای مواردی که شکل هدف از حالت مستطیل بودن خارج می گردد این تقریب جواب خوبی نخواهد داد.

۴– الگوریتم ردیابی مرکز شدت

یک روش تعیین موقعیت هدف که نسبتاً ساده می باشد و ذاتاً بهرهٔ ثابتی دارد. روش ردیابی مرکز شدت است. این روش در عمل میدان ردیابی خطی را محدود نمی‌کند. این بدان معناست که هدف در هر کجای پنجرهٔ ردیابی باشد باز هم قابل ردیابی است این روش ردیابی با استفاده از روابط زیر تعریف می شوند [۷].

$$e_{tx} = A_t^{-1} \int_{y_0}^{y_2} \int_{x_0}^{x_1} x.s(x,y)dxdy \qquad (۳)$$

که در آن A_t مقدار سطح هدف بوده و از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$A_t = \int_{y_0}^{y_2} \int_{x_0}^{x_1} s(x,y)dxdy \qquad (۴)$$

برای مورد y نیز روابط مشابهی برقرار است. همانند موازنه سطح، روش مرکز شدت امتیاز انتگرال گیری را دارد و همچنین می‌تواند بر روی سیگنالهای دو سطحی و یا سطح خاکستری اعمال شود. می‌توان نشان داد که روش مرکز شدت یک روش بهینه برای ردیابی است اگر تابع توزیع تابش هدف یک سهموی و نویز یکی از انواع جمعی،سفید و یا گوسی باشد [۷]. تابع توزیع سهموی شکل، تقریب خوبی برای بیشتر اهداف بوده و دراین‌حالت بهترین تخمین برای مکان هدف، موقعیت گزارش شده از مرکز شدت آن خواهد بود.

توجه به روابط (۳) و(۴) نشان می‌دهد که برای بدست آوردن مختصات مرکز شدت، اطلاعات صحنه باید به صورت دو بعدی در اختیار باشد و یا به عبارتی در حافظه‌ای ذخیره شده باشد. بنابراین

Archive of SID

پیاده سازی ردیاب مرکز شدت بصورت دیجیتال که حافظه‌ای برای ذخیره سازی تمام تصویر وجود دارد، با تبدیل انتگرال دوگانه به جمع دوبعدی، کاملا سرراست بوده و در الگوریتم‌ها و سیستم‌های ردیابی دیجیتال نیز استفاده می‌شود [۵،۱۱]. از طرفی توجه کنید که سیگنال خروجی سیستمهای تصویر بردار آنالوگ، یعنی ویدیو ترکیبی، یک بعدی است و این موضوع پیاده سازی این روابط را بدین شکل عملا غیر ممکن می‌سازد . در ادامه روشی را معرفی خواهیم کرد که امکان بدست آوردن مرکز شدت یک صحنه یا تصویر را با استفاده از سیگنالهای آنالوگ یک بعدی فراهم می‌کند. همچنین به معرفی قسمت‌هایی از سخت‌افزاری آنالوگ که قادر به پیاده‌سازی این روابط باشد، خواهیم پرداخت [۱۲].

رابطهٔ پیشنهادی زیر مکان مرکز شدت را برای یک سیگنال ویدوئی که توسط یک سیگنال $G(t)$ دریچه بندی شده است را نشان می‌دهد. در این رابطه P ولتاژ معادل با مکان مرکز شدت در جهت افقی (و یا عمودی) است.

$$P(t_2) = P(t_0) + K_2\int_{t_0}^{t_2}\left[G(t)S(t) - G(t)K_1\int_{t_0}^{t} G(t')S(t')dt'dt\right] \qquad (۵)$$

با کمک رابطهٔ پیشنهادی (۵)، مکان مرکز شدت تحت شرایطی خاص، برای یک سیگنال ویدوئی که توسط یک سیگنال G(t) دریچه بندی شده است، قابل محاسبه است. در این رابطه $S(t)$ سیگنال تصویر دو سطحی و $G(t)$ سیگنال دریچه بندی بوده که می‌تواند توسط رابطه (۶) بیان گردد. در رابطه (۶)، $U(t)$ تابع پله و T دورهٔ زمانی سیگنال دریچه در جهتی (افقی یا عمودی) است که خطا بر روی آن جهت محاسبه می شود.

$$G(t) = U(t - t_1 + T/2) - U(t - t_1 - T/2) \qquad (۶)$$

فرض شده است که مرکز سیگنال $G(t)$ در $t=t_1$ قرار دارد و قرار است مرکز شدت برای زمان $t_2>t_1+T/2$ محاسبه شود. در شکل (۵) بلوک دیاگرام سیستم آمده است، k_1 ثابت بهرهٔ انتگرال گیر اول (R.INT) و k_2 ثابت بهرهٔ انتگرال‌گیر دوم (INT) فرض شده است. توجه کنید که انتگرال گیر اول، یک انتگرال گیر با کنترل بازنشانی[۱۵] است که در ابتدای هر پالس همزمانی افق (H_s)، صفر می‌شود.

با توجه به رابطه (۵)، می‌توان تغییرات مرکز شدت را مـــابین زمانهای t_0 و t_2 که ΔP فرض شده، با توجه به تعریف $G(t)$ (رابطه (۶)) و در نظر گرفتن زمانهایی که $G(t)=1$ می‌باشد ،محاسبه نمود. خواهیم داشت.

$$\Delta P = P(t_2) - P(t_0) = K_2\int_{t_1-\frac{T}{2}}^{t_1+\frac{T}{2}} S(t)dx - K_2\int_{t_1-\frac{T}{2}}^{t_1+\frac{T}{2}} K_1\left(\int_{t_1-\frac{T}{2}}^{t} S(t')dt'\right)dt \qquad (۷)$$

با جابجا کردن متغیر های انتگرال‌گیری در رابطه (۷) و اندکی عملیات ریاضی خواهیم داشت:

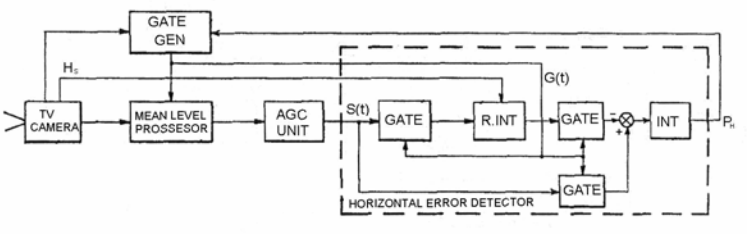
$$\Delta P = K_2\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} S(t+t_1)dt - K_1K_2\frac{T}{2}\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} S(t'+t_1)dt' + K_1K_2\int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} tS(t+t_1)dt \qquad (۸)$$

اگر ثابت بهرهٔ انتگرال اول یعنـی k_1 در شـکل(۵) برابـر $2/T$ باشـد، داریم:

$$\Delta P = \frac{2K_2}{T}\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} tS(t+t_1)dt \qquad (۹)$$

توجه کنید که واحد AGC یا کنترل خودکار بهره[۱۶] در این سیـستم به گونه‌ای عمل می‌کند که $\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} S(t'+t_1)dt'$ مقدار ثـابتی ثـابتی و برابر با K_3 باشد،در اینصورت بـا ضـرب و تقـسیم رابطـه (۹) بـر K_3 خواهیم داشت:

$$\Delta P = \frac{2K_2K_3}{T}\frac{\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} tS(t+t_1)dt}{\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} S(t+t_1)dt} = \frac{2K_2K_3}{T}\frac{\int_{t_1-\frac{T}{2}}^{t_1+\frac{T}{2}} (t-t_1)S(t)dt}{\int_{t_1-\frac{T}{2}}^{t_1+\frac{T}{2}} S(t)dt} \qquad (۱۰)$$



شکل (۵): بلوک دیاگرام واحد محاسبه مرکز شدت

Archive of SID

اگر در خارج از پنجره ردیابی یعنی $|t-t_1|>\frac{T}{2}$، $S(t)$ صفر در نظر گرفته شود خواهیم داشت:

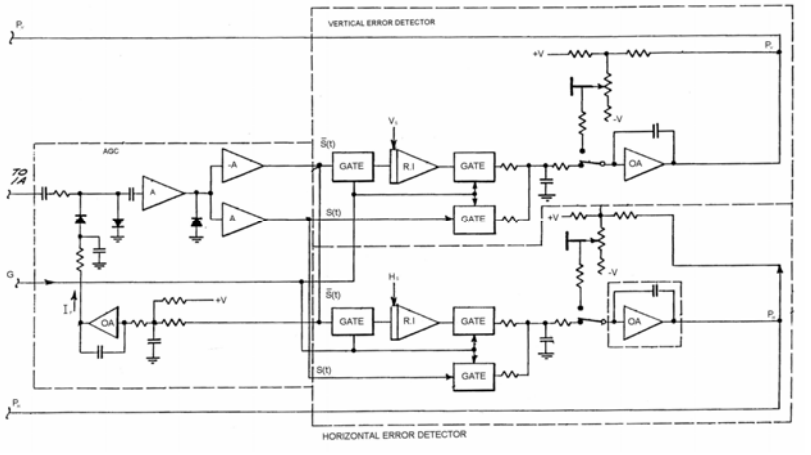
$$\Delta P=\frac{2K_2K_3}{T}\frac{\int_{-\infty}^{+\infty}(t-t_1)S(t)dt}{\int_{-\infty}^{+\infty}S(t)dt}=\frac{2K_2K_3}{T}\left[\bar{t}-t_1\right] \qquad (۱۱)$$

که در آن $\bar{t}=\int_{-\infty}^{+\infty}tS(t)dt\ /\ \int_{-\infty}^{+\infty}S(t)dt$ دقیقا مرکز شدت سیگنال $S(t)$ (رابطه ۳) خواهد بود. بنابراین اگر مقدار انتگرال $S(t)$ در دوره ای که مقدار مرکز شدت آن محاسبه می‌شود، ثابت نگه داشته شود می‌توان گفت ΔP جابجایی مرکز شدت هدف نسبت به مرکز دروازه یا پنجرهٔ ردیابی خواهد بود. این عمل توسط واحد کنترل خودکار بهره (AGC) که قبل از واحد پردازش خطا می‌باشد، انجام می گیرد. همانطور که گفته شده، شکل (۵) طرح ساده‌ای را بر اساس رابطه پیشنهادی (۷) برای پیاده‌سازی این الگوریتم به روش آنالوگ به نمایش می گذارد. سیگنال‌های تصویری که توسط دوربین تولید می‌شود به قسمت پردازشگر سطح متوسط[۱۷] فرستاده می‌شود در این قسمت سطح صفر سیگنال شناسایی و بر اساس آن سیگنال تصویر به دو سیگنال مثبت (بالای محور) ویا سیگنال منفی (پایین محور) تقسیم می‌گردد. بر اساس اینکه هدف روشن‌تر از زمینه باشد و یا بر عکس، یکی از دو سیگنال مثبت و یا منفی برای پردازش‌های بعدی انتخاب و به قسمت کنترل خودکار بهره(AGC) فرستاده می‌شود. وظیفه این واحد ثابت نگه‌داشتن مقدار متوسط سطح سیگنال ورودی میباشد این عمل در پیاده‌سازی این الگوریتم نقش بسیار مهمی دارد که در اثبات رابطه (۱۰) و (۱۱) استفاده گردید. سیگنال خروجی از واحد کنترل خودکار بهره (AGC) سپس وارد آشکارسازهای خطای افقی وعمودی می‌شود که در واقع از رابطه (۷) پیروی می‌کنند. شکل (۶) سخت افزار مربوط به قسمت کنترل خودکار بهره (AGC) و آشکار سازهای خطای افقی و عمودی را نشان می‌دهد.

واحد R.I در شکل (۶) که همان واحد R.INT در شکل (۵) است، می‌تواند به شکل (۷) پیاده‌سازی گردد. در این طرح، توسط ترانزیستور Q_1، ولتاژ ورودی به جریان I_1 تبدیل شده و خازن C_1 را شارژ می‌کند که این مجموعه، نقش انتگرال گیر را ایفا خواهد کرد. ترانزیستور Q_5 نیز در زمان پالس همزمانی (افقی یا عمودی)، باعث بازنشانی خازن C_1 خواهد شد. مجموعه ترانزیستورهای Q_3 و Q_4 نقش بافر را برای انتقال ولتاژ انتگرال گیر با امپدانس مناسب به خروجی بازی می‌کنند.

۵- شبیه‌سازی

برای بررسی صحت روابط و عملکرد روش پیشنهادی، سیگنالهای یک توالی از تصاویر شامل ۳۰۰ فریم تهیه و در یک فایل ذخیره گردید. ورودی قسمت شبیه‌سازی داده‌های تصویر بهمراه سیگنالهای دریچه و خروجی آن شامل موقعیت مرکز شدت هدف می‌باشد. برای سادگی، شکل هدف دایره‌ای با ابعاد متغیر در نظر گرفته شده است. هر دو روش موازنه سطح و مرکز شدت پیشنهادی (بلوک دیاگرام شکل (۵) با شرایط مطرح شده در متن مقاله)، توسط نرم افزار MATLAB و به کمک جعبه ابزار SimuLink شبیه سازی گردید. شکل (۸) نتایج این شبیه‌سازی را برای ردیابی هدف، در مختصات تصویر برای دو ناحیه مختلف از توالی تصویر و شکل (۹) خطای موقعیت هدف یابی را در جهت y را نسبت به مسیر واقعی در طول فریمهای مختلف نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است خطای ردیابی روش پیشنهادی برای پیاده سازی آنالوگ مرکز شدت، کمتر از روش موازنه سطح می‌باشد. بررسی نتایج نشان می‌دهد، متوسط خطای روش موازنه سطح بیش از ۲۵٪ بوده ولی متوسط خطای روش مرکز شدت، حدود ۵٪ می‌باشد که به خصوص برای کاربردهایی که نشانه روی در آن اهمیت دارد، قابل توجه خواهد بود.

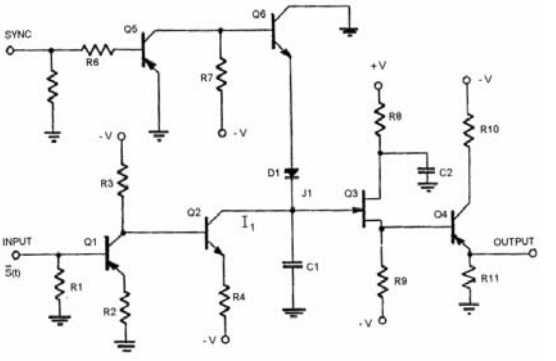


شکل(۶) پیاده سازی AGC و محاسبه خطای افقی و عمودی

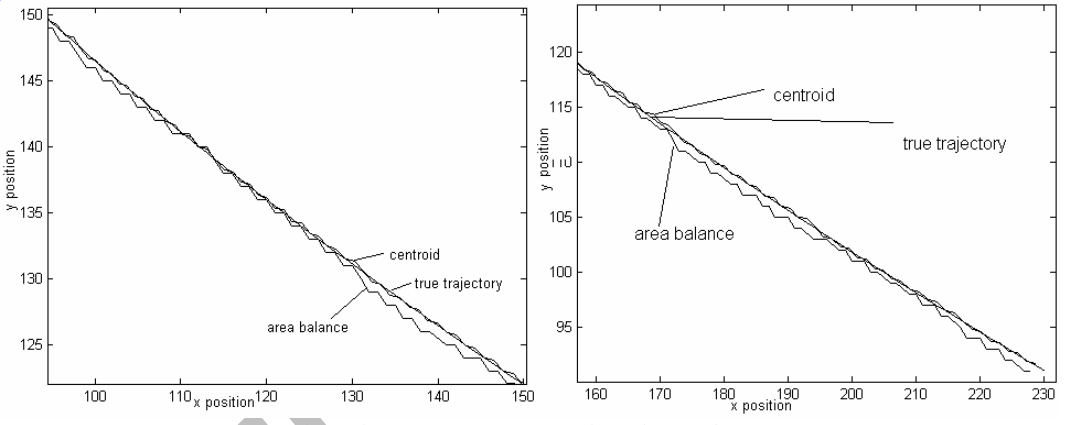
Archive of SID

۶– نتیجه‌گیری

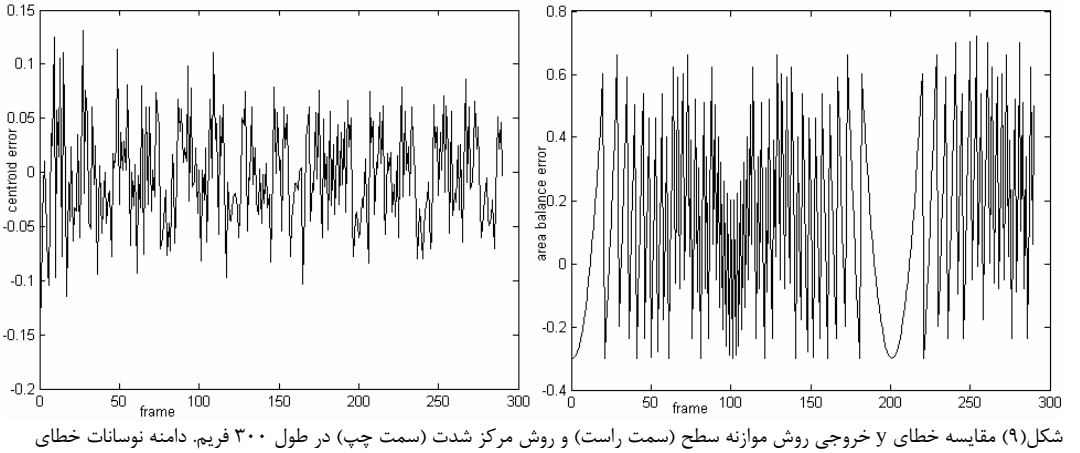
در این مقاله، ابتدا به پردازش آنالوگ سیگنال ویدیو، مزایا و عیوب آن اشاره شد. سپس با توجه به مزیت‌های ردیابی مرکز شدت، مشکلات پیاده سازی آن در حالت آنالوگ مورد بررسی قرار گرفت و روشی برای پیاده سازی مستقیم آن روی سیگنال ویدیو ترکیبی ارائه شد. نشان داده شد که تحت شرایطی، روش پیشنهادی که تغییراتی نسبت به روش مرسوم دارد، با استفاده از یک انتگرال گیر با قابلیت بازنشانی و استفاده مناسب از یک کنترل بهره خودکار، قادر است ردیابی مرکز شدت را به درستی پیاده کند. جهت بررسی صحت و دقت روش، دیاگرام پیشنهادی توسط نرم افزار MATLAB شبیه سازی شد. بررسی نتایج نشان داد که الگوریتم مرکز شدت پیشنهادی نسبت به روش موازنه سطح دارای دقت و پایداری بیشتری بوده ضمن اینکه پیاده‌سازی آن بصورت سخت‌افزاری آنالوگ نیز عملی می‌باشد.



شکل(۷) پیاده سازی انتگرال گیر با بازنشانی کنترل شده (R.INT)



شکل(۸) مقایسه ردیابی مسیر حرکت هدف توسط روش موازنه سطح و روش مرکز شدت در دو حالت مختلف. دقت روش پیشنهادی ردیابی مرکز شدت، به وضوح از روش موازنه سطح بهتر است.



شکل(۹) مقایسه خطای y خروجی روش موازنه سطح (سمت راست) و روش مرکز شدت (سمت چپ) در طول ۳۰۰ فریم. دامنه نوسانات خطای روش پیشنهادی ردیابی مرکز شدت، به مراتب از روش موازنه سطح کمتر است.

۷– مراجع

[۱] Hartwig, R.L.; "**Basic TV Technology, Digital and Analog,** 4th Edition, Elsevier Science & Technology, 2004.

[۲] Snyder, W.E.; Qi, H.; "**Machine Vision,**" Cambridge University Press, 2003.

[۳] Moallem, P.;Memarmoghaddam, A.; Ashourian, M.; "**Robust and Fast Tracking Algorithm in video Sequences by Adaptive Window Sizing Using a Novel Analysis on Spatiotemporal Gradient Powers**", International Journal of Circuit, Systems and Computers (JCSC), Vol. 16, No 2, pp. 305-317, April 2007.

[۴] Prince, P.; **"Adaptive video centroid tracker,"** US Patent 3953670, 1976.

[۵] معلم، پیمان؛ عشوریان، محسن؛ "**ردیابی سریع تصویری به کمک آستانه گذاری و انداز بندی وفقی**"، مجموعه مقالات همایش بین المللی جهان اسلام، فناوری اطلاعات و جامعه اطلاعاتی، صفحات ۸۵ الی ۹۴. دانشگاه اصفهان، آذر ۱۳۸۵.

[۶] Shima, R. M; Lomheim, T.S.; "**Performance characterization of a high-speed analog video processing signal chain for use in visible and infrared focal plane applications**", SPIE Vol. 3061, p. 860-883, Infrared Technology and Applications XXIII, 1997.

[۷] Wolfe, W.; Zissis, G.; "**The Infrared Handbook**" , SPIE Press, 1985.

[۸] Gonzales, R.C.; Woods, R.E.; "**Digital Image Processing,**" Prentice Hall, 2002.

[۹] Jain, R.; Kasturi, R.; Schunk, B.G.; "**Machine Vision**" , McGraw-Hill, 1995.

[۱۰] Gay, D.; "**Video tracker**", US Patent 4316218, 1980.

[۱۱] معلم، پیمان؛ معمارمقدم، علیرضا، "**ردیابی هدف در رشته تصاویر ویدئویی به کمک تقطیع احتمالاتی سطوح خاکستری آن**"، چهاردهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، مجموعه مقالات کامپیوتر، ص ۲۴۲ تا ۲۴۷، اردیبهشت ۱۳۸۵.

[۱۲] شائمی، علی اکبر؛ **" بررسی و بهبود روشهای ردیابی در پردازشگرهای علائم تصویری پیوسته"** پایان نامه کارشناسی ارشد الکترواپتیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شاهین شهر اصفهان، ۱۳۸۴.

۸– پی‌نوشتها

۱- Composite Video Signal
۲- Lock
۳- Frame
۴- Mark
۵- Horizontal and Vertical sync
۶- Full Field
۷- Contrast
۸- Area Balancing
۹- Pointing
۱۰- Centroid
۱۱- Binary Video
۱۲- Mean Level
۱۳- Video Marker
۱۴- Tracking Gate
۱۵- RESET Integrator
۱۶- Automatic Gain Control
۱۷- Mean Level Processor

Archive of SID