

طراحی و پیاده‌سازی سامانه بینایی ماشین برای تشخیص انسان ایستاده در جلوی تراکتور

حامد رمضانی^۱، حسن مسعودی^{۲*}، حسن ذکی دیزجی^۳ و غلامرضا اکبری‌زاده^۴

چکیده

با توجه به گسترش استفاده از تراکتور و ماشین‌های خودگردان کشاورزی، آمار مرگ‌ومیر ناشی از تصادف با ماشین‌های کشاورزی نیز رو به افزایش است. به همین جهت، وجود یک سامانه هشداردهنده برای تشخیص موانع و انسان جلوی ماشین‌های کشاورزی جهت جلوگیری از تصادفات می‌تواند بسیار مفید باشد. در این پژوهش، با هدف توسعه یک سامانه بینایی ماشین برای تشخیص انسان ایستاده در جلوی تراکتور جهت استفاده در سامانه‌های هشداردهنده یا هدایت خودکار وسایل نقلیه کشاورزی، یک الگوریتم پردازش تصویر خاص، طراحی و در محیط نرم‌افزار متلب به کار گرفته شد. در این سامانه با نصب یک دوربین در جلوی تراکتور، تصویر جاده جلوی تراکتور به نرم‌افزار سامانه منتقل شد. در الگوریتم طراحی شده، پس از حذف بخش‌های زائد تصویر ورودی، با استفاده از اندازه‌گرادیان و تکنیک‌های آبیگر، و سپس با تفاضل انسان از پس‌زمینه، وجود انسان در تصویر تشخیص داده شد. مطابق نتایج به دست آمده از ارزیابی در برداشت‌های مختلف تصویر، الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با دو روش معمول تشخیص انسان (هیستوگرام‌گرادیان جهت‌دار و آبشار) از دقت زیادی در فواصل ۴ تا ۲۰ متر برخوردار بود. میانگین مقادیر دقت شناسایی الگوریتم پیشنهادی در این فواصل، ۸۵ تا ۹۴ درصد به دست آمد. نتایج تجزیه واریانس دقت عملکرد در شناسایی انسان نشان داد که اثر روش شناسایی و فاصله بر دقت شناسایی انسان و همچنین اثرهای متقابل تیمارها، در سطح یک درصد معنادار بودند.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم تشخیص انسان، پردازش تصویر، تراکتورهای کشاورزی، سامانه بینایی ماشین.

ارجاع: رمضانی ح، مسعودی ح، ذکی دیزجی ح، و اکبری‌زاده غ. ۱۳۹۶. طراحی و پیاده‌سازی سامانه بینایی ماشین برای تشخیص انسان ایستاده در جلوی تراکتور. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۶(۲): ۹-۱۸.

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۳- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۴- استادیار گروه مهندسی برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

* نویسنده مسئول: hmasoudi@scu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۰۹

مقدمه

یک وسیله نقلیه خودکار که در کشاورزی استفاده می‌شود، باید بتواند تمامی اعمال انسان را تقلید کند. متأسفانه تقلید کردن به عنوان مهم‌ترین ویژگی یک انسان، سخت‌ترین ویژگی او نیز است. توانایی انسان در دیدن و درک خیلی زیاد چشم‌هایش کلید اصلی است که این امر برای وسایل نقلیه خودکار بدون چشم ریزپردازنده، بزرگ‌ترین محدودیت است. به همین جهت، در کلیه وسایل نقلیه خودکار بایستی وسیله‌ای نصب گردد که موانع موجود در سر راه ماشین را به‌درستی و به‌موقع تشخیص دهد تا از برخورد ماشین با مانع و ایجاد اختلال در روند کاری آن جلوگیری شود. برای این کار، از حسگرهای مختلفی استفاده می‌شود.

پیدایش فناوری بینایی ماشین، افزایش سرعت عملکرد و همچنین کاهش قیمت استفاده از آن، جذابیت این فناوری را در هدایت خودکار برای تشخیص مسیر و شناسایی موانع به همراه داشته است. جنبه‌های گوناگونی از بینایی ماشین وجود دارند. انواع گوناگونی از حسگرها به منظور جمع‌آوری اطلاعات هدایتی می‌توانند انتخاب شوند. حسگرهای تصویرسازی استاندارد یک پاسخ تک‌رنگ ایجاد می‌کنند؛ اما اکثر دوربین‌ها از ترکیب این حسگرهای استاندارد با فیلترهای نوری ساخته شده‌اند (Reid, 1987). استفاده از حسگرهای بینایی در سامانه‌های هدایت خودکار وسایل نقلیه کشاورزی بیشتر به منظور شناسایی موانع و تشخیص یک خط راهنما بر روی ردیف‌های کشت، مسیر شخم و امتداد لبه‌های محصول برداشت‌شده است (Benson et al., 2003). الگوهای مختلفی از پردازش تصویر به منظور استخراج اطلاعات هدایتی بررسی شده‌است. تصاویر پردازش‌شده به منظور هدایت وسایل نقلیه، یک سیگنال خروجی قابل استفاده را فراهم می‌آورد. با مرور پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه هدایت خودکار وسایل نقلیه کشاورزی، مشاهده می‌شود که بینایی ماشین در سال‌های اخیر پیشرفت نویدبخشی در این زمینه داشته‌است که به تنهایی و یا به‌صورت تلفیقی با سایر روش‌های مورد استفاده در هدایت خودکار، پاسخگوی مناسبی در این زمینه است. گروهی از پژوهش‌گران، از سامانه بینایی ماشین در هدایت تراکتور به منظور انجام فرمان‌گیری در ردیف محصول استفاده کردند. برای جداسازی گیاه از خاک اطراف آن در روی ردیف از تصاویر

مادون قرمز نزدیک استفاده شده‌است (Reid & Searcy, 1988). در پژوهشی دیگر نیز سامانه تشخیص مانع برای هدایت خودکار وسیله نقلیه در مزرعه برنج با استفاده از پردازش تصویر طراحی، اجرا و ارزیابی شد (Morimoto et al., 2002). در این پژوهش، توسط یک دوربین بسته‌شده بر روی کمباین در سه نقطه مختلف و طی سه مرحله، از سه الگوریتم بینایی ماشین برای هدایت خودکار استفاده شد. موفق‌ترین الگوریتم زمانی حاصل شد که دوربین در ارتفاع چشم کاربر، روی اتاق کاربر نصب شده بود. این الگوریتم در مدت چهار تا شش ساعت به‌طور خودکار استفاده شد و دقت آن در هر دو شرایط روز و شب رضایت‌بخش بود (Benson et al., 2001). در پژوهشی دیگر، سامانه‌ای به منظور هدایت خودکار تراکتور ارائه شد که در آن یک انسان وظیفه رانندگی در مسیرهای مربوطه را برنامه‌ریزی می‌کرد. این وظیفه به کارهای فرعی تقسیم شده و به هدایت تراکتورهایی اختصاص داده می‌شد که در بخش‌هایی از مسیر فعالیت می‌کردند. هر تراکتور از حسگرهایی به منظور تشخیص انسان، حیوان و سایر وسایل نقلیه موجود در مسیر استفاده می‌کرد و برای موانع مشابه به محض اینکه هشدار ایستگاه کنترل از طریق اتصال بی‌سیم دریافت می‌شد، توقف می‌کرد. اولین مدل این سامانه روی یک تراکتور اجرا شد و ویژگی‌های مختلف آن ارزیابی شد. این سامانه، شامل مسیریابی دقیق و تشخیص مانع براساس خواص هندسی و غیرهندسی و همچنین پایش خودکار در مواقع نیاز به دخالت انسان بود (Stentz et al., 2002). در پژوهش دیگری با نصب یک دوربین بر روی کابین راننده کمباین و دریافت تصاویر گیاهان، سامانه‌ای به منظور هدایت خودکار کمباین طراحی شد. این الگوریتم هدایتی ردیف‌های گیاهان درونشده را با محاسبه سیگنال‌های هدایتی، از تصویر پس‌زمینه جدا می‌کرد (Benson et al., 2003). پژوهش‌گران با ارائه الگوریتمی، سامانه تشخیص انسان را بر روی یک ربات سیار، برای استفاده در محیط بیمارستان بررسی کردند که قادر به تشخیص و ردیابی شخص بود. این الگو، تخمینی از موقعیت و مبدأ شخص متحرک در محیط شلوغ بیمارستان (که می‌تواند دکتر و یا پرستار باشد) می‌دهد. حد فاصل بین شخص مورد نظر و ربات سیار می‌تواند بلافاصله با استفاده از یک دستگاه نشان‌گذار محاسبه شود. بنابراین، ربات می‌تواند سرعت و جهت خود

وسایل نقلیه کشاورزی استفاده خواهد شد. با نصب این سامانه بینایی ماشین بر روی تراکتورهای کشاورزی می‌توان آگاهی راننده را در زمان خستگی و کاهش سطح هوشیاری بالا برد و تصادفات و تلفات انسانی ناشی از آن را کاهش داد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش با هدف توسعه یک سامانه بینایی ماشین برای تشخیص انسان جهت استفاده در وسایل نقلیه کشاورزی (شکل ۱)، یک عدد دوربین CMOS مدل Logitech c920 HD pro Webcam با رزولیشن ۴۸۰×۶۴۰ پیکسل با سرعت ۳۰ فریم بر ثانیه در جلوی تراکتور نصب شد و از طریق کابل‌های رابط به رایانه متصل گردید. سپس، با معرفی دوربین به نرم‌افزار متلب و انجام تنظیمات لازم، تصاویر رنگی فضای جلوی تراکتور در حال حرکت به رایانه ارسال شد.

را در حرکت به سوی شخص مورد نظر تا حد امکان کنترل کند (AbuBakar & Saad, 2012). پژوهش‌گران جهت تشخیص و دورشدن از مانع متحرک (به‌ویژه انسان پیاده)، از یک دوربین نصب‌شده بر روی ربات استفاده کردند و برخی از نتایج اولیه را ارائه نمودند. آن‌ها اشیای متحرک نزدیک ربات را با استفاده از بلوکی مبتنی بر تخمین حرکت، تشخیص دادند (Kim & Do, 2012). همچنین، الگوریتم دورشدن از مانع (الگوی تعقیب هدف) برای یک ربات متحرک ارائه شده‌است. در این الگو، دورشدن از مانع برای یک سیستم هدایت خودکار آزمایشی، طراحی و به‌کار گرفته شد. الگوریتم پیشنهادی در شبیه‌سازی‌ها آزمایش شد و پس از مشاهده موفقیت در نتایج، آزمایش‌هایی با استفاده از موانع ثابت و متحرک انجام شد (Sezer & Gokasan, 2012).

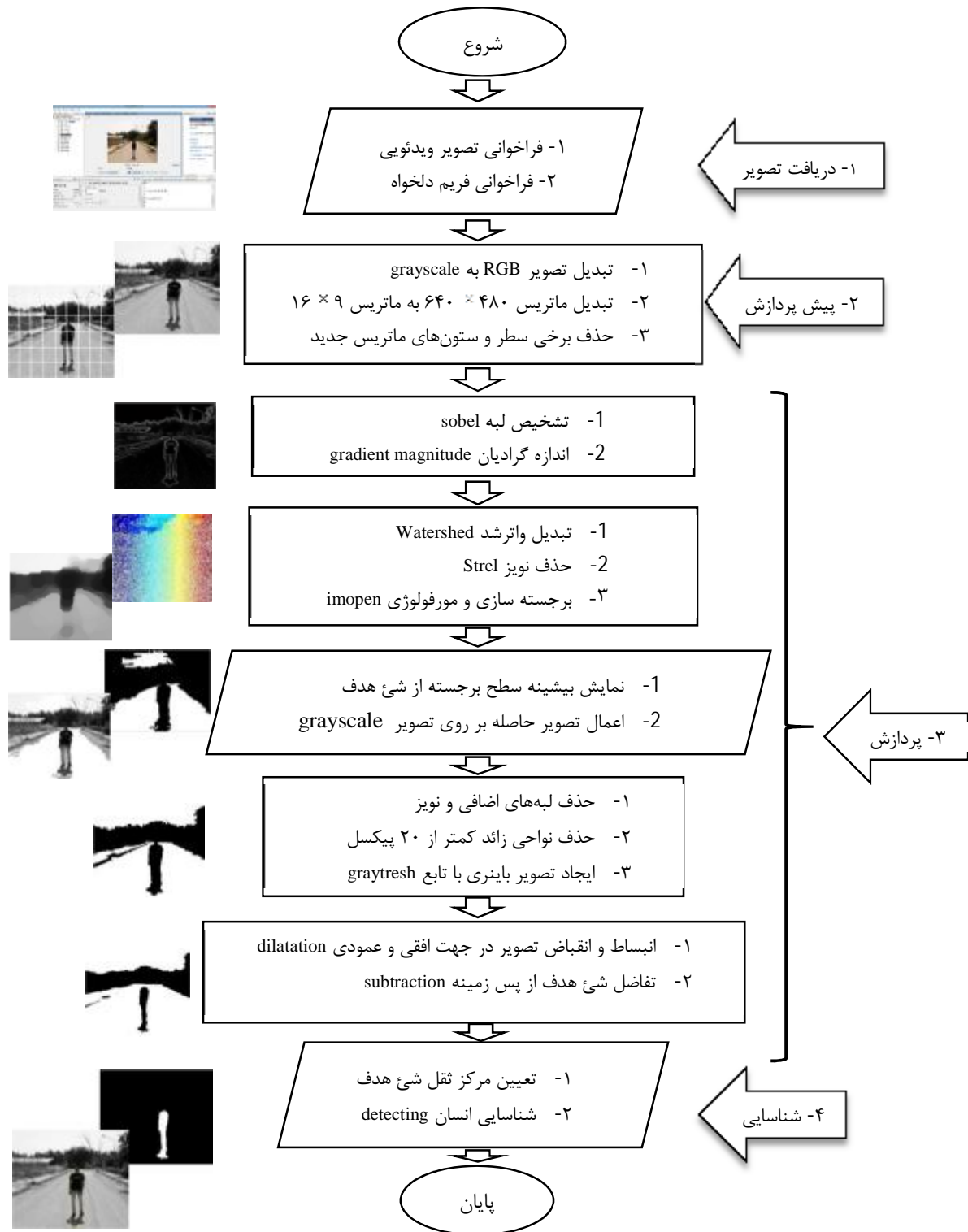
هدف از این پژوهش، طراحی و ارائه سامانه‌ای است که وجود انسان در تصاویر جاده‌ای در طی روز را تشخیص دهد، که در سامانه‌های هدایت خودکار و هشداردهنده



شکل ۱- سامانه بینایی ماشین برای تشخیص انسان در جلوی تراکتور

بی‌درنگ قرار داده می‌شود و تعیین تعداد برداشت‌های تصویر و در نهایت مشخص نمودن تعداد فریم در هر برداشت که در حالت نامحدود تنظیم می‌شود. در این مرحله، دریافت تصاویر انجام و آماده ارسال به واحد پردازش تصاویر می‌باشد. شکل ۲، نمودار بلوکی مراحل انجام کار را نشان می‌دهد.

در محیط جعبه ابزار پردازش تصویر نرم‌افزار متلب، در قسمت دریافت تصاویر با انجام تنظیماتی از قبیل انتخاب دستگاه (در مواقعی که بیش از یک دوربین به رایانه وصل باشد، در این قسمت می‌توان دوربین مورد نظر را انتخاب کرد)، تعیین فرمت ویدئویی مورد نظر که به صورت MPEG4 و رزولیشن و سرعت ضبط تصاویر به صورت فریم بر ثانیه، تعیین نوع برداشت تصویر که در حالت

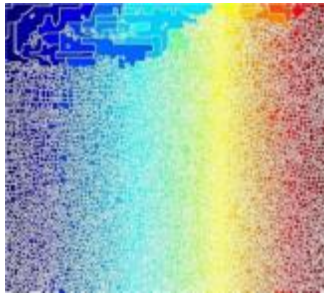


شکل ۲- فلوجارت مراحل انجام کار در الگوریتم طراحی شده برای شناسایی انسان

شده و به تصاویر کوچک‌تری تبدیل شد (شکل ۳). با این کار، قسمت‌های زائد تصویر که احتمال حضور شیء هدف

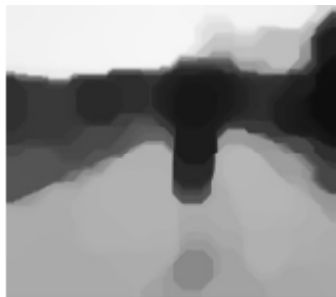
به منظور بهبود کارایی الگوریتم، تصویر رنگی دریافتی به تصویر خاکستری تبدیل شد. در ادامه، تصویر قطعه قطعه

با توجه به اینکه استفاده از روش انتقال آنگیر (شکل ۵) مستقیماً بر روی تصویر حاصل از گرادیان ممکن نیست، ابتدا برخی عملیات پیش‌پردازش روی این تصویر انجام شد. در نتیجه، با محاسبه نشانه‌گذاری‌ها روی انسان و همچنین، بر روی تصویر پس‌زمینه می‌توان عملیات جداسازی بهتری انجام داد.



شکل ۵- به کارگیری تابع انتقال آنگیر روی تصویر

در ادامه، با استفاده از روش‌های مورفولوژی، شیء هدف نسبت به پس‌زمینه برجسته‌سازی و بیشینه سطح همواری از آن ایجاد شد. سپس، با استفاده از تابع imopen ذرات تیره و نویزهای موجود در صفحه حذف گردید که در شکل ۶ مشاهده می‌شود. سایشی که با استفاده از روش مورفولوژی حاصل شد، مؤثرتر از روش‌های معمولی حذف ذرات بود و تأثیری بر شکل شیء هدف نداشت.



(الف)



(ب)

شکل ۶- سایش تصویر با استفاده از روش مورفولوژی (الف): در حین سایش، ب: پس از سایش)

در آن‌ها غیرممکن است، حذف شد؛ در نتیجه، در زمان پردازش صرفه‌جویی شد و خطاهای احتمالی نیز کاهش یافت.



(الف)



(ب)

شکل ۳- تصویر خاکستری حاصل از تصویر رنگی (الف) و تصویر قطعه قطعه شده تبدیلی به تصاویر کوچک‌تر (ب)

در مرحله بعد، تابع اندازه گرادیان به منظور جداسازی تصویر استفاده شد. با استفاده از تابع تشخیص لبه سوبل، فیلترینگ و برخی محاسبه‌های ساده، اندازه گرادیان از رابطه (۱) محاسبه گردید:

$$M G = \sqrt{I_x^2 + I_y^2} \quad (1)$$

شکل ۴ تصویر حاصل از به‌کارگیری این گرادیان را نشان می‌دهد.



شکل ۴- تصویر حاصل از اندازه گرادیان

پس‌زمینه تصویر حاصل از مراحل قبل، با استفاده از روش آستانه‌گیری اوتسو، تصویر تبدیل به یک تصویر باینری شد. در شکل ۸- الف، مشاهده می‌شود که تصویر حاصل دارای بریدگی‌ها و گسستگی‌های اندکی است و شیء هدف (انسان) از قسمت سر با پس‌زمینه در تماس است، جداسازی انسان از پس‌زمینه و همچنین حذف این گسستگی‌ها، با انبساط و انقباض پیکسل‌ها در راستای افقی و عمودی انجام شد. تصویر حاصل از این عملیات در شکل ۸- ب قابل مشاهده است.



(الف)



(ب)

شکل ۸- الف) تصویر باینری با استفاده از روش اوتسو و ب) انقباض پیکسل‌ها در راستای افقی و عمودی

سپس، با تفاضل تصویر پس‌زمینه خالی از تصویر شامل انسان و پس‌زمینه در شکل ۸- ب، (همان‌طور که در شکل ۹- الف دیده می‌شود) انسان شناسایی و تشخیص داده شد. در نهایت، با تعیین مرکز ثقل شیء هدف (انسان) و با ترسیم کادری روی آن، شناسایی انسان اعلان شد که در شکل ۹- ب قابل مشاهده است.

عملکرد الگوریتم طراحی‌شده در سرعت پیشروی ۳۰ کیلومتر بر ساعت تراکتور در ظهر و پنج‌بازه برای فاصله انسان تا تراکتور و در چهار تکرار ارزیابی شد. همچنین، نتایج شناسایی انسان توسط الگوریتم پیشنهادی با نتایج دو روش هیستوگرام‌گرادیان جهت‌دار (HOG) (Dalal &

در مرحله بعد، بیشینه سطح برجسته شیء هدف محاسبه شد تا تصویری مناسب از انسان به دست آید. در شکل ۷ بیشینه سطح برجسته قابل مشاهده است. به منظور تفسیر بهتر نتایج به‌کارگیری توابع، تصویر شیء هدف حاصل‌شده در تصویر اصلی اولیه قرار داده شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بسیاری از اشیای جذب تصویرشده و سایه‌دار شده، نشانه‌گذاری نشده‌اند، که این بدان معناست که این اشیاء در نهایت، به‌خوبی از پس‌زمینه جدا نخواهند شد.

همچنین، در بعضی از اشیاء که به‌عنوان پیش‌زمینه شناسایی شده‌اند، نشانه‌گذاری بیش از مرز شیء پیش‌رفته است که بایستی لبه‌های نشانه‌گذاری قطرات پاک شد و سپس کمی جمع‌گردند. این کار را با بستن عملیات سایش می‌توان انجام داد. به منظور جلوگیری از برخی گسستگی‌ها نیز، پیکسل‌هایی که بایستی حذف شوند به‌صورت قرنطینه محافظت می‌گردند. این عملیات با حذف تمامی قطراتی که تعداد پیکسل‌های موجود در آن‌ها کمتر از یک مقدار ویژه باشد، انجام می‌شود.



(الف)



(ب)

شکل ۷- الف) بیشینه سطح برجسته قابل مشاهده از شیء هدف و ب) بیشینه سطح برجسته قابل مشاهده از شیء هدف قرار داده شده در تصویر اولیه

با توجه به اینکه پیکسل‌های با رنگ تیره در این تصاویر متعلق به پس‌زمینه می‌باشند، به منظور نشانه‌گذاری

این کادرها قرار می‌گیرند، به عنوان انسان و در غیر این صورت، به عنوان غیر انسان شناسایی می‌گردند. در روش آبشار نیز شناسایی اشیاء بر مبنای مدل صورت می‌پذیرد. مدل، رشته‌ای است که نوع شیء مورد شناسایی را توصیف می‌کند. رشته مدل‌های بسیاری در داخل نرم‌افزار متلب موجود است که مثال‌هایی از آن، شامل قسمت جلویی صورت، قسمت فوقانی بدن و پروفیل صورت است. در این روش نیز ابعاد کمینه و بیشینه‌ای برای مدل در نظر گرفته می‌شود که به منظور تشخیص چند مقیاسه شیء هدف، ابعاد مختلفی از مدل‌ها بین این دو مقدار کمینه و بیشینه، به صورت پله‌ای قرار داده می‌شود. نوع تشخیص با استفاده از ویژگی مدل طبقه‌بندی، در SVM کنترل می‌شود.

برای ارزیابی نتایج و مقایسه عملکرد الگوریتم در شرایط مختلف با یکدیگر از سه شاخص میزان دقت، میزان تشخیص عابر پیاده (PDR) و میزان اختراهای اشتباه (FAR) استفاده شد. این شاخص‌ها با استفاده از روابط (۲) و (۳) و (۴) محاسبه شدند:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \times 100 \quad (2)$$

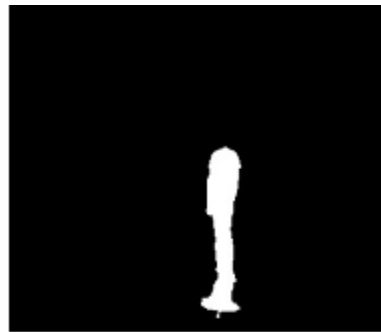
$$PDR = \frac{TP}{TP + FN} \times 100 \quad (3)$$

$$FAR = \frac{FP}{FP + TP} \times 100 \quad (4)$$

در این روابط TP، تعداد تشخیص‌هایی که انسان درست شناسایی شده؛ TN، تعداد تشخیص‌هایی که غیرانسان درست شناسایی شده؛ FP، تعداد تشخیص‌هایی که غیرانسان به اشتباه انسان شناسایی شده و FN، تعداد تشخیص‌هایی که انسان به اشتباه غیرانسان شناسایی شده‌است، می‌باشند.

به منظور سهولت استفاده کاربر از سامانه تشخیص انسان در جلوی تراکتور، یک رابط گرافیکی کاربر در محیط نرم‌افزار متلب ایجاد شد (شکل ۱۰). کاربر با استفاده از این رابط گرافیکی قادر است تا با فشردن هر دکمه، تابع مورد نظر را از نرم‌افزار متلب فراخوانی و اجرا نماید.

(Triggs, 2005) و آبشار (Jones, 2002) که معمولاً به منظور شناسایی انسان به کار می‌روند، مقایسه شد. به همین جهت، تعداد تیمارها ۱۵ و تعداد کل آزمایش‌ها ۶۰ عدد بود. نتایج به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی توسط نرم‌افزار SPSS v. 21 تجزیه و تحلیل شد.



(الف)



(ب)

شکل ۹- الف) تصویر حاصل از تفاضل پس‌زمینه و ب) شناسایی نهایی انسان

روش هیستوگرام گرادین جهت‌دار بر مبنای مدل کردن ابعاد بدن انسان، به صورت کادرهای مستطیلی شکل با ابعاد کمینه 48×96 و بیشینه 64×128 پیکسل به عنوان کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین ناحیه‌ای که انسان در آن قرار می‌گیرد، با دو المان برداری (عرض و ارتفاع) بیان می‌شوند، که این ابعاد با دانش اینکه کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین ابعاد انسان برای تشخیص، چه مقداری است، تعریف شده‌اند. به منظور تشخیص چند مقیاسه شیء هدف، ابعاد مختلفی از تصویر بین این دو مقدار کمینه و بیشینه به صورت پله‌ای قرار داده می‌شود. سپس، با گردش این نواحی در کل تصویر، تک‌تک نواحی شامل انسان یا غیرانسان، توسط SVM طبقه‌بندی می‌شوند. به صورتی که اشیائی که داخل

نتایج و بحث

نتایج شناسایی انسان توسط روش‌های مختلف در برداشت ویدئویی یکسان نشان داد که دقت عملکرد الگوریتم پیشنهادی بیشتر از دو الگوریتم دیگر است. در شکل ۱۱، نمونه‌ای از تصاویری که در آن دو الگوریتم HOG و آبشار شناسایی اشتباه داشتند و در مقابل، الگوریتم پیشنهادی به درستی شناسایی را انجام داده است، دیده می‌شود. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، عملکرد الگوریتم پیشنهادی طبق شاخص‌های میزان دقت و میزان تشخیص انسان عابر، بهتر از دو روش معمول دیگر است.



شکل ۱۰- رابط گرافیکی کاربر طراحی شده برای سامانه



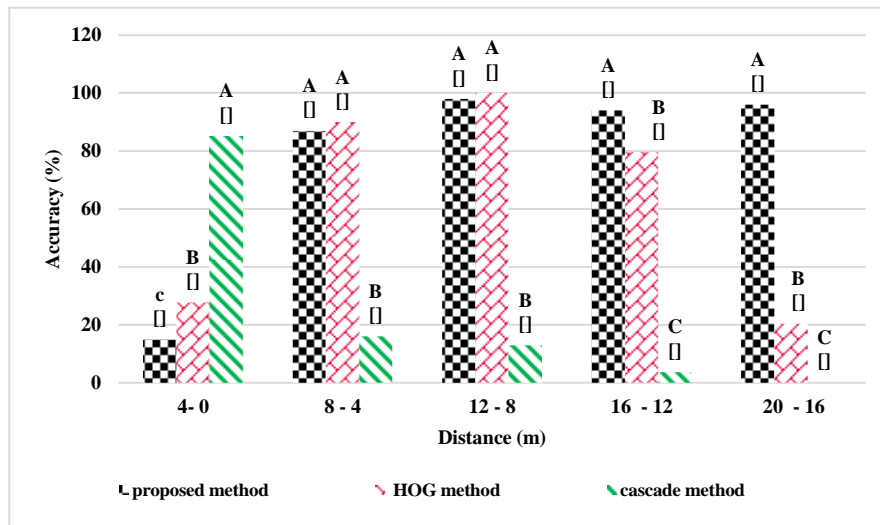
شکل ۱۱- شناسایی اشتباه در روش HOG (راست) و روش آبشار (وسط) و شناسایی صحیح در الگوریتم پیشنهادی (چپ)

جدول ۱- میانگین مقادیر شاخص‌های عملکردی سه روش شناسایی انسان (درصد)

روش شناسایی انسان	میزان دقت عملکرد	میزان تشخیص انسان عابر	میزان اختار اشتباه
الگوریتم پیشنهادی	۹۷/۵	۹۷/۷	۲۵
روش HOG	۶۸	۹۰	۲۶/۹
روش آبشار	۵	۲۹/۴	۸۶/۸

عملکرد مناسب‌تری نسبت به دو شیوه HOG و آبشار در شناسایی انسان دارد. نتایج عملکرد الگوریتم پیشنهادی در فواصل مختلف انسان تا تراکتور در جدول ۲ آمده است. مشاهده می‌شود که علاوه بر اینکه عملکرد الگوریتم پیشنهادی در فواصل ۱۲ تا ۲۰ متر، بالاترین دقت را نسبت به دو روش دیگر داشته، میزان تشخیص انسان و همچنین میزان خطا نیز در این فواصل بهتر بوده است و در فواصل ۴ تا ۱۲ متر نیز نتایج خوبی دارد.

شناسایی انسان توسط سه روش مورد نظر در این پژوهش (الگوریتم پیشنهادی، HOG و روش آبشار) در فواصل مختلف بین تراکتور و انسان، در برداشت ویدئویی یکسان برای هر سه روش مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۱۲). همان‌طور که مشاهده می‌شود، الگوریتم پیشنهادی در فواصل ۱۲ تا ۲۰ متر بیشترین دقت را نسبت به دو روش دیگر داشته و در فواصل ۴ تا ۱۲ متر نیز نتایج خوبی (۹۸-۸۷ درصد) دارد. در سامانه‌های هدایت خودکار، شناسایی مطلوب انسان زمانی است که سریع‌تر و در فواصل دورتری انجام شود؛ بنابراین، الگوریتم پیشنهادی



شکل ۱۲- میزان دقت عملکرد الگوریتم پیشنهادی در ظاهر

جدول ۲- نتایج عملکرد الگوریتم پیشنهادی در فواصل مختلف

FAR (%)	PDR (%)	Accuracy (%)	فاصله (متر)
۰	۱۵	۱۵	۰-۴
۰	۸۷	۸۷	۴-۸
۲	۱۰۰	۹۸/۱	۸-۱۲
۲/۲	۹۶/۲	۹۴/۴	۱۲-۱۶
۲/۴	۹۸/۱	۹۶	۱۶-۲۰

درصد معنادار است. این تفاوت‌ها ناشی از آن است که در فواصل دورتر تفکیک اشیاء از هم مشکل‌تر است؛ در نتیجه تأثیر زیادی بر روی پردازش نهایی تصاویر خواهد داشت و نتایج متفاوتی از عملکرد را در فواصل مختلف شاهد خواهیم بود.

نتایج تجزیه واریانس میزان دقت روش‌های مختلف مورد بررسی در شناسایی انسان در جدول ۳ آمده است. مشاهده می‌شود که اثر روش شناسایی و فاصله تا دوربین بر دقت شناسایی انسان در سطح یک درصد معنادار است. همچنین، اثرهای متقابل دوگانه تیمارها نیز در سطح یک

جدول ۳- تجزیه واریانس میزان دقت روش‌های مختلف در شناسایی انسان

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات
۳۸۴۲/۴۵۸**	۲۶۵۴۱/۰۲۱	۵۳۰۸۲/۰۴۱	۲	روش تشخیص
۸۸۸/۸۷۱**	۶۱۳۹/۶۹۹	۲۴۵۵۸/۷۹۷	۴	فاصله
۲۱۸۴/۰۱۹**	۱۵۰۸۵/۶۷۹	۱۲۰۶۸۵/۴۲۹	۸	روش × فاصله
۹۳۲/۴۸۶	۶/۹۰۷	۹۳۲/۴۸۶	۱۳۵	خطا
		۶۷۹۲۰۲/۸۸۸	۱۸۰	جمع کل

R Squared = .997 (Adjusted R Squared = .996)

سرعت بالا برای هر فریم که در کسری از ثانیه صورت می‌پذیرد، سامانه طراحی شده عملکرد قابل قبولی در شناسایی انسان متحرک در جلوی تراکتور داشت. بیشتر

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از ارزیابی سامانه بینایی ماشین و با توجه به نقطه قوت الگوریتم ارائه شده در

9. Reid, J. F. and Searcy, S. W. 1988. An Algorithm for separating guidance information from row crop images. Transactions of the ASAE, 1624-1632.
 10. Sezer, V. and Gokasan, M. 2012. A novel obstacle avoidance algorithm: Follow the Gap Method. Faculty of Electrical & Electronics, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, 60(9): 1123-1134
- Stentz, A. Dima, C. Wellington, C. Herman, H. and Stager, D. 2002. A system for semi-autonomous tractor operation. Autonomous Robotic, 13(1): 87-104.

خطاها در سایه و همچنین در مواقعی که انسان در حال خروج از کادر تصویر بود، رخ داد که می‌توان با رفع این خطاها و با تقویت این الگوریتم، نتایج بهتری در تشخیص انسان به‌دست آورد و از الگوریتم پیشنهادی در سامانه‌های هشداردهنده یا هدایت خودکار وسایل نقلیه کشاورزی استفاده کرد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز به دلیل حمایت مالی از این پژوهش در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد نهایت تشکر را دارند.

منابع

1. AbuBakar, M. N. and Saad, A. R. 2012. A Monocular Vision-based Specific Person Detection System for Mobile Robot Applications. International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors Proceedings, 41(1): 22-31.
2. Benson, E. R. Reid, J. F. and Zhang, Q. 2001. Machine vision-based steering system for agricultural combines. ASAE meeting presentation: 01-1159.
3. Benson, E. R. Reid, J. F. and Zhang, Q. 2003. Machine vision-based guidance system for an agricultural small-grain harvester. Published as ASAE: 02-1721 in the Journal Series of the Delaware Agricultural Experiment Station. 0001-2351.
4. Dalal, N. and Triggs, B. 2005. Histograms of oriented gradients for human detection. In Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), San Diego, CA, USA, 25(1): 886-893.
5. Jones, W. 2002. Building Safer Cars, IEEE Spectrum, 39(1): 82-85.
6. Kim, J. D. and Do, Y. T. 2012. Moving obstacle avoidance of a mobile robot using a single camera. International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors, IRIS2012, 41(1): 911-916.
7. Morimoto, E. Suguri, M. and Umeda, M. 2002. Obstacle Avoidance System for Autonomous Transportation Vehicle based on Image Processing. The CIGR Journal of Scientific Research and Development. Manuscript, 4(1): 01-009.
8. Reid, J. F. 1987. The development of computer vision algorithms for agricultural vehicle guidance. Unpublished PhD Thesis. Texas A & M University.