نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۵، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۴، ص ۹۱-۸۲

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 5, No. 1, Spring - Summer 2015, p. 82-91

طراحی الگوریتم بینایی رایانه‌ای برای تشخیص فلفل دلمه جهت برداشت روباتیک در شرایط نور طبیعی

علی مقیمی[۱] - محمدحسین آق خانی[۲] - محمودرضا گلزاریان[۳*]

تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۱۷
تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۲۱

چکیده

در سال‌های اخیر، اتوماسیون در بخش کشاورزی به‌خصوص کشت گلخانه‌ای بیش از پیش مورد توجه محققین و همچنین استقبال تولیدکنندگان قرار گرفته است. دلیل اصلی این مسئله کاهش هزینه‌های تولید به‌ویژه هزینه نیروی انسانی و شرایط سخت کاری در فضای گلخانه می‌باشد. در این پژوهش سامانه بینایی یک روبات برای برداشت فلفل دلمه ارائه می‌شود که قادر به تشخیص فلفل دلمه‌ای سبز رنگ روی بوته در شرایط نور طبیعی می‌باشد. چالش بزرگ پیش روی این تحقیق و برخی محصولات دیگر، مشابهت رنگ محصول با برگ‌ها به‌خصوص در شرایط نور طبیعی بود. برای غلبه بر این چالش، یک شاخص جدید بافتی بر پایه تخمین چگالی لبه تعریف و در ترکیب با شاخص‌های رنگی شامل رنگمایه، شدت اشباع رنگی و سبزینگی تشدید شده (EGI) برای شناسایی میوه‌های مورد نظر استفاده شد. برای ارزیابی سامانه نرم افزاری روبات، از بوته‌های مختلف ۵۰ تصویر تهیه و از مجموع ۱۰۷ فلفل دلمه موجود در فضای کاری بازوی روبات سامانه قادر به تشخیص ۹۲ عدد از آن‌ها (دقت تشخیص ۸۶٪) بود. با استفاده از پارامتر تعریف شده بافتی، خطای سامانه در شناسایی پس زمینه مخصوصاً برگ‌ها به‌عنوان فلفل دلمه‌های سبز به‌میزان ۹۲/۹۸ درصد کمتر از آنالیز صرفاً رنگی شد، که نشان از مؤثر بودن شیوه تعریف شده جدید در این پژوهش دارد. از مهم‌ترین عوامل بروز خطا، علاوه بر تشابه رنگی میان فلفل دلمه و برگ، می‌توان به سطح براق و ناصاف فلفل دلمه اشاره نمود که به‌ترتیب باعث بازتابش زیاد و ناهمگنی روشنایی روی سطح فلفل دلمه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: برداشت خودکار، بینایی رایانه‌ای، پردازش تصویر، روبات، شاخص بافت تصویر

مقدمه

در سال‌های اخیر به‌دلیل محدودیت‌های منابع و تقاضاهای خارج از فصل، تولید و مصرف محصولات گلخانه‌ای رشد چشمگیری داشته است. کاهش هزینه‌های تولید به‌ویژه هزینه نیروی انسانی از یک سو و شرایط سخت کاری در فضای گلخانه توسعه تجهیزات خودکار در صنعت گلخانه را توجیه‌پذیر کرده است. استفاده از روبات‌ها در این صنعت به لحاظ محیط کاری و شرایط نسبتاً مناسب مورد توجه محققین از یک سو و مورد استقبال تولیدکنندگان از سوی دیگر می‌باشد. این تحقیق تلاشی در خصوص استفاده از روبات برای برداشت محصول فلفل دلمه‌ای است.

محصول فلفل دلمه در سال‌های اخیر در خارج از کشور و تا حد زیادی در داخل کشور مورد توجه تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان قرار گرفته است. این محصول سرشار از ویتامین‌های مختلف از جمله A، B6، C، K و همچنین مواد معدنی مانند فسفر، کلسیم و منیزیم می‌باشد.

از سوی دیگر تغییر در برنامه غذایی مردم و گرایش بیشتر به غذاهای آماده[۴] و رژیم غذایی سبزیجات که فلفل دلمه یکی از مواد لازم برای تهیه آن‌ها می‌باشد نیز باعث رشد مصرف و تولید آن شده است.

لذا با توجه به تقاضای روز افزون و امکان تولید فلفل دلمه در گلخانه و در شرایط اقلیمی متفاوت، تولیدکنندگان بیشتر تمایل به تولید این محصول را پیدا نمودند. طبق آمار سازمان کشاورزی آمریکا[۵] تولید این محصول در جهان از حدود ۱۰۰۰۰۰۰۰ تن در سال ۱۹۹۰ به حدود ۲۶۰۰۰۰۰۰ تن در سال ۲۰۰۷ رسیده است. البته آمار دقیقی از میزان تولید و مصرف این محصول در داخل کشور وجود ندارد.

از طرف دیگر، همچنان تولیدکنندگان با محدودیت‌هایی در تولید محصولات گلخانه‌ای به‌خصوص محصولاتی مانند فلفل دلمه و

۱- دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲ و ۳- دانشیار و استادیار گروه مهندسی بیوسیستم و اعضای مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: m.golzarian@um.ac.ir

4- Fast food
5- United state department of agriculture (USDA)

Archive of SID
www.SID.ir

گوجه فرنگی که همزمان نمی‌رسند مواجه می‌باشند. مهم‌ترین محدودیت پیش روی تولیدکنندگان هزینه بالای کارگری می‌باشد که برای انجام اموری مانند برداشت محصول صرف می‌شود (Sarig, 2005). به‌همین سبب در دو دهه گذشته تحقیقات زیادی مخصوصاً در کشورهای توسعه یافته جهت ساخت روبات‌های برداشت محصولات کشاورزی انجام شده است مانند روبات برداشت گیلاس (Tanigaki *et al.*, 2008)، خیار (Van Henten *et al.*, 2003)، سیب (De-An *et al.*, 2011) و توت فرنگی (Hayashi *et al.*, 2010). با وجود این تلاش‌ها، به‌ندرت می‌توان روبات‌های برداشت تجاری شده یافت نمود. مهم‌ترین دلایل این مسئله عواملی مانند قیمت بالا، ساختار پیچیده و عدم توانایی روبات‌های حاضر در انجام چند کار می‌باشد (Kassler, 2001). بنابراین تحقیقات بیشتری باید در زمینه‌های مختلف اتوماسیون روبات از جمله بهینه‌سازی نرم افزارها و الگوریتم‌های موجود انجام شود (De-An *et al.*, 2011). البته بینایی رایانه‌ای یا بینایی ماشین یکی از شاخه‌های مدرن و پرتنوع هوش مصنوعی می‌باشد که با ترکیب روش‌های مربوط به پردازش تصاویر و ابزارهای یادگیری ماشین، رایانه ها را قادر به بینایی اشیاء، مناظر و درک هوشمند خصوصیات گوناگون آن‌ها می‌گرداند. در صنعت از بینایی ماشین برای انجام اموری که نیاز به سرعت و دقت بالا دارند و همچنین کارهای ۲۴ ساعته با تکرار محاسبات بالا استفاده شده و به مرور جای نیروی انسانی که به‌دلیل انحراف و شرایط بد دارای خطا می‌باشند را پر می‌کند. به هر حال علی رغم پیشرفت‌های صورت گرفته در این زمینه، هیچ سامانه بینایی ماشین و بینایی کامپیوتری قادر نیست با برخی از ویژگی‌های سیستم بینایی انسان در قالب درک تصویر، تلرانس به تغییرات نور، تضعیف قدرت تصویر و تغییرات اجزا تطبیق پیدا کند.

در زمینه اتوماسیون کشاورزی نیز سامانه بینایی ماشین به‌عنوان یک واحد اصلی برای روبات می‌تواند به‌منظورهای مختلفی از جمله؛ تشخیص ردیف‌ها و هدایت خودکار، تشخیص محصول برای برداشت، سمپاشی روی برگ‌ها و نظارت بر روی گیاهان استفاده شود. در خصوص پردازش تصویر برای کنترل روبات‌ها تحقیقات نسبتاً زیادی انجام شده است ولی کمتر به برداشت خودکار محصولاتی مانند فلفل دلمه سبز که دارای رنگ مشابه با برگ‌ها می‌باشد، پرداخته شده است. در حالی‌که برای تشخیص محصولاتی مانند سیب و گوجه فرنگی با رنگ‌هایی متفاوت از پس زمینه (برگ‌ها، ساقه‌ها) تحقیقات زیادتری صورت گرفته است که در بالا به برخی از آن‌ها اشاره شد.

در ایران سامانه بینایی برای برداشت محصولاتی مانند گوجه فرنگی که رنگ متفاوتی با برگ دارد، ارائه شده است (Mohamadi Monavar *et al.*, 2013). آن‌ها از سه فضای رنگی HSI، RGB و YCbCr و همچنین از سه الگوریتم آستانه‌یابی، انحنای سطح تصویر و شاخص نسبی قرمز به سبز استفاده نمودند که طبق نتایج آن‌ها فضای رنگی YCbCr و الگوریتم انحنای سطح تصویر در تمایز گوجه رسیده از زمینه و در شرایط نور طبیعی موفق‌تر عمل می‌کند.

برای به‌دست آوردن بهترین موقعیت دوربین جهت برداشت فلفل دلمه رنگی (قرمز و زرد)، ۱۴ موقعیت مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و بهترین موقعیت برای دید مستقیم و با زاویه ۶۰ درجه رو به بالا به‌دست آمد. با این حال قدرت آشکارسازی محصول از ۶۶ درصد بیشتر نشد. برای افزایش دقت تشخیص محصول تا ۹۳ درصد، استفاده ترکیبی از چند دوربین و در شرایط مختلف تصویربرداری پیشنهاد داده شده است (Hemming *et al.*, 2012). در این صورت یا باید از چهار دوربین استفاده نمود و یا از یک دوربین با سه درجه آزادی استفاده کرد، که در حالت اول هزینه سامانه بالاتر می‌رود و در حالت دوم زمان مورد نیاز برای پردازش و عکس برداری از هر بوته افزایش می‌یابد.

در یک پژوهش دیگر، برای تشخیص خیار که رنگ متشابه‌ای با برگ دارد از یک دوربین دارای یک درجه آزادی استفاده شده است (Van Henten *et al.*, 2003). حرکت خطی دوربین اجازه عکس‌برداری از زاویه‌های متفاوت را می‌دهد که در نهایت افزایش دقت تشخیص را سبب می‌شود. با این حال، دستیابی به این افزایش دقت به‌معنای افزایش زمان مورد نیاز برای پردازش و عکس برداری و به‌طور کلی پیچیدگی الگوریتم تشخیص شیء در ربات می‌باشد.

با در نظر گرفتن مباحث بالا در این پژوهش برآنیم تا به یک سامانه بینایی ماشین با قابلیت بالا و البته انعطاف‌پذیر و ارزان دست یابیم. وظیفه اصلی این سامانه تشخیص فلفل دلمه روی بوته جهت برداشت خودکار توسط روبات می‌باشد. مهم‌ترین چالش‌های پیش روی این پژوهش تمایز فلفل دلمه از برگ به‌علت داشتن رنگ مشابه و همچنین غلبه بر تغییرات نور محیطی می‌باشد. به‌طور کلی می‌توان گفت هدف از انجام این پژوهش ارائه نمودن بهترین الگوریتم برای تشخیص فلفل دلمه سبز و ارزیابی سامانه بینایی برای روبات در شرایط نور طبیعی است.

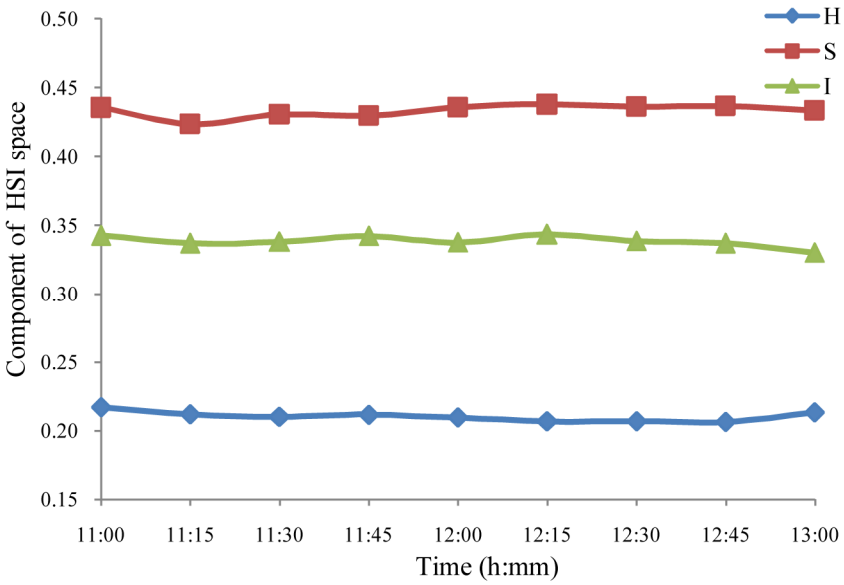
مواد و روش‌ها

سیستم عکس‌برداری

تصاویر از گلخانه‌ای به مساحت ۱۰۰۰ متر مربع واقع در شمال غربی شهرستان مشهد با دوربین Nikon مدل coolpixp510، (Nikon Inc, Japan) گرفته شد. اندازه تصاویر ۱۷۰۴×۲۲۷۲ (۳/۷ مگاپیسکل) و فاصله دوربین تا نمونه در حدود ۴۰ سانتی‌متر بود. تصویربرداری در شرایط نور طبیعی و در طی سه روز از فروردین ۹۲ در محدوده‌ی زمانی نیم روز بین ساعت یازده صبح و یک بعد از ظهر، که خورشید تقریباً در بالاترین نقطه قرار دارد، انجام شد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱– میزان تغییرات مؤلفه‌های فضای HSI در بازه زمانی ۱۱:۰۰ الی ۱۳:۰۰

Fig.1. Variation of HSI components within time interval between 11:00 to 13:00

برای اطمینان از وجود شرایط نوری یکسان در طول زمان عکس‌برداری، از ساعت ۱۱ الی ۱۳ هر ۱۵ دقیقه از یک بوته خاص و با فاصله یکسان تصویربرداری شد. در شکل ۱ می‌توان نحوه تغییرات رنگمایه (H)، درجه اشباع رنگی (S) و شدت روشنایی تصویر (I) را در طی این فاصله زمانی مشاهده نمود. با توجه به این نمودار می‌توان نتیجه گرفت که این مقادیر برای هر تصویر و هر گیاه در طول زمان عکس‌برداری تقریباً ثابت بودند.

الگوریتم

چالش بزرگ پیش روی این تحقیق، رنگ مشابه فلفل دلمه با برگ‌ها به‌خصوص در شرایط نور طبیعی بود که برای غلبه بر این چالش، صرفاً استفاده از روش‌های متداول گذشته کارساز واقع نمی‌شود. این روش‌ها بیشتر برای تشخیص محصولات با رنگ متفاوت از پس زمینه غالباً سبز گلخانه کارایی دارند. از این‌رو تاکنون کمتر به برداشت خودکار محصولات سبز رنگ مانند فلفل دلمه پرداخته شده است زیرا استفاده از پارامترهای رنگی به‌تنهایی برای تشخیص فلفل دلمه از پس زمینه به‌خصوص در شرایط نور طبیعی کارآمد نمی‌باشد. برای غلبه بر این چالش یا باید از تعداد دوربین بیشتر به‌همراه نور مصنوعی استفاده نمود (Kitamura *et al.*, 2008) و یا باید به‌دنبال ابداع شیوه جدیدی در تشخیص میوه‌های دارای رنگ سبز و متشابه با پس زمینه بود، که در پژوهش حاضر با توجه به هزینه بیشتر و پیچیدگی پردازش هم‌زمان اطلاعات چند دوربین راه حل دوم مورد نظر واقع شد. برای این منظور، ترکیب روش‌های دیگر پردازش تصویر به‌کار گرفته شد که این روش ترکیبی شامل تخمین چگالی لبه، آنالیز بافت تصویری و در نهایت شاخص سبزینگی تشدید شده (EGI) می‌باشد و تاکنون کمتر در سامانه بینایی روبات‌ها مورد استفاده واقع شده است.

الگوریتم مورد نظر برای پردازش تصویر به‌کمک نرم افزار متلب (MATLAB-R2010a) و جهت تشخیص فلفل دلمه سبز و تمایز آن از محیط پس زمینه (برگ‌ها، ساقه‌ها، خاک و آسمان) تهیه شد. شکل ۲ این الگوریتم را نشان می‌دهد و در قسمت‌های زیر به بررسی بخش‌های مختلف آن می‌پردازیم.

قبل از انجام هرگونه پردازش، در ابتدا هموارسازی با استفاده از فیلتر پایین گذر میانه بر روی تصاویر اعمال شد که در نتیجه تصاویر آرام‌تر و دارای نویز کمتری شدند. سپس به‌منظور لبه یابی از روش لبه‌یابی کنی[1] استفاده شد. الگوریتم کنی لبه‌ها را با تعیین گرادیان تصویر به‌دست می‌آورد و نقاطی را که گرادیان روشنایی به‌طور محلی در آن‌ها بیشینه است به‌عنوان لبه شناسایی می‌کند (Canny, 1986). شکل ۳ لبه‌های تشخیص داده شده که به‌صورت پاره خط می‌باشند را نشان می‌دهد.

شاخص بافت تصویری

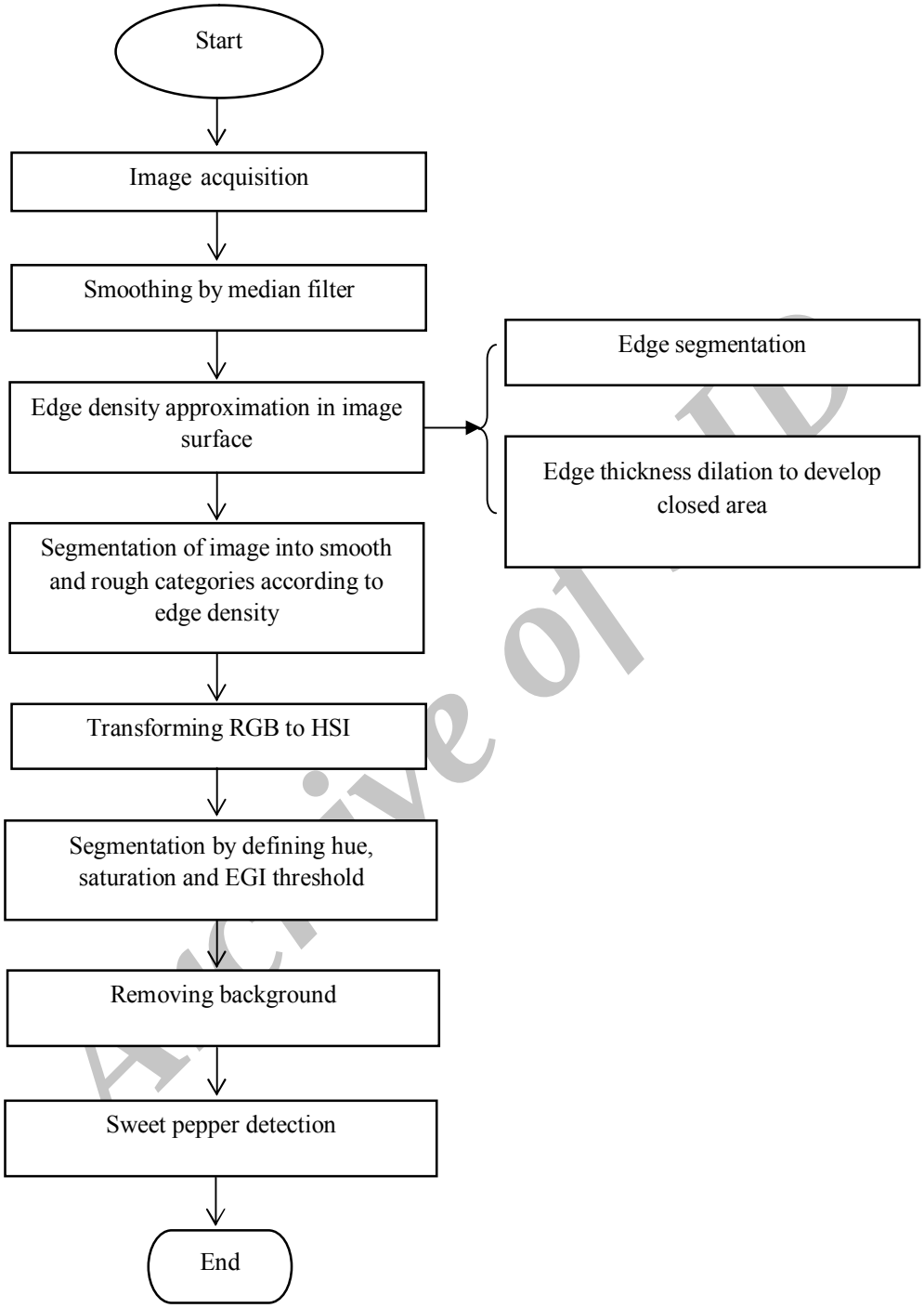
برای تقسیم قسمت‌های مختلف تصویر به ناحیه‌های صاف (دارای تراکم لبه کمتر) و زبر (دارای تراکم لبه بیشتر) از روش

1- Canny

Archive of SID

www.SID.ir

بافت سنجی استفاده شده است که یکی از غنی‌ترین منابع اطلاعات بصری بوده و با ارائه‌ی الگوهای بصری پیچیده در سنجش ویژگی‌هایی مانند نرمی، یکنواختی و زبری یک سطح مورد استفاده قرار می‌گیرد.

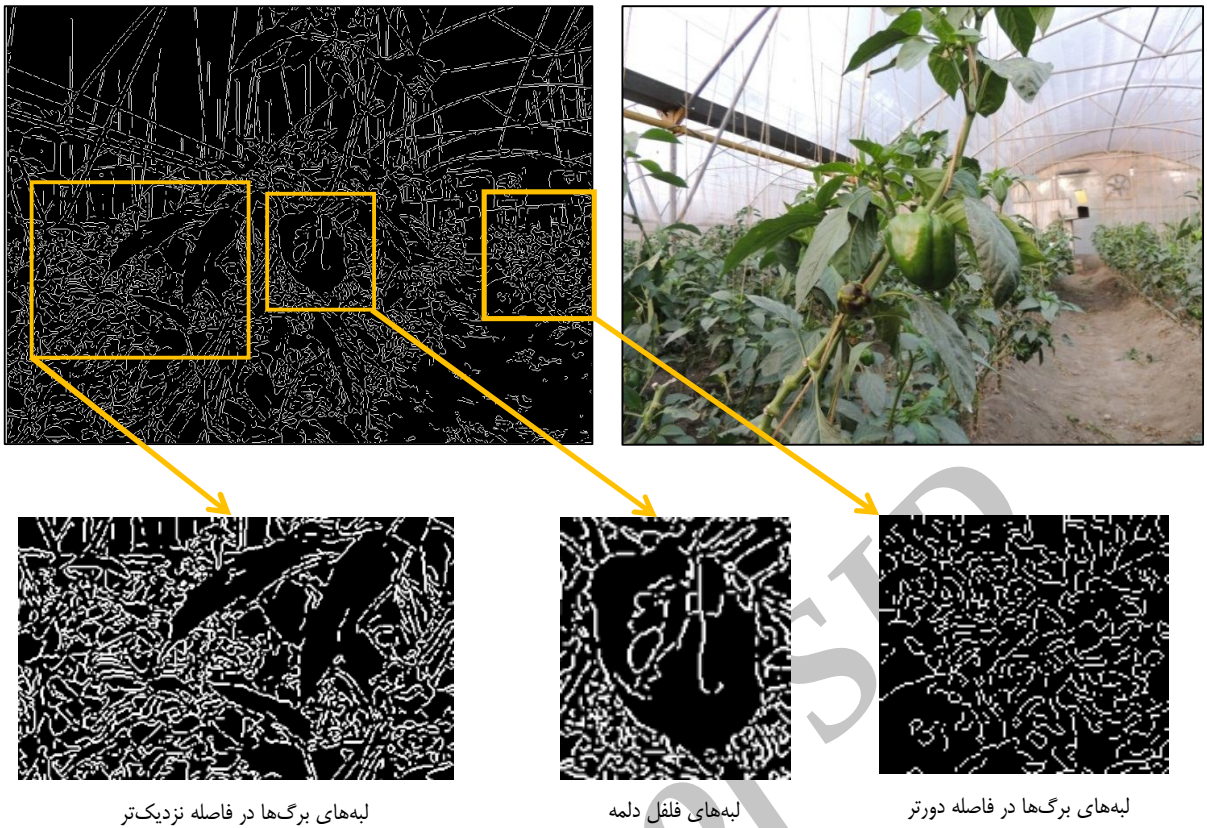


شکل ۲- الگوریتم شناسایی فلفل دلمه سبز از سایر اشیاء شامل برگ‌های گیاه و نواحی پس زمینه‌ای خاک و آسمان

Fig.2. Recognition algorithm of sweet peppers from non-sweet pepper objects including plant leaves, soil and sky background regions

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳- لبه‌های تشخیص داده شده توسط الگوریتم کنی و تصاویر بزرگ‌نمایی شده لبه‌های فلفل دلمه و برگ‌ها

Fig.3. Edges detected by Canny algorithm and magnified images of edges for sweet pepper and leaves

یکی از روش‌های رایج در استخراج بافت از تصویر، روش‌های آماری استفاده شده مبتنی بر توزیع سطوح مختلف روشنایی (یا خاکستری) از روی ممان هیستوگرام شدت روشنایی (سطوح خاکستری) می‌باشد. به هر حال روش‌های آماری مبتنی بر ممان هیستوگرام، به‌دلیل بررسی تمامی سطوح خاکستری تصویر، نیاز به انجام محاسبات و در نتیجه زمان بیشتری دارد که در نتیجه برای استفاده در سامانه بینایی روبات مطلوب نمی‌باشد. بنابراین برای الگوریتم این پژوهش از روش استخراج بافت براساس چگالی لبه استفاده شد. در این روش ابتدا باید لبه‌های تشخیص داده شده به‌صورت پاره خط در تصویر نگاتیو شده ضخیم‌تر شوند تا محیط‌های بسته‌ای تشکیل گردد. تعداد نواحی بسته به‌دست آمده بعد از عملیات لبه‌یابی در یک قسمت مشخص از تصویر (میانگین مساحت فلفل دلمه‌ای بین $5000-6000 mm^2$) چگالی لبه در آن قسمت را مشخص می‌کند که آن را روش تخمین چگالی لبه[1] (EDA) نامیده و از رابطه (۱) قابل محاسبه می‌باشد.

$$EDA=\frac{\text{تعداد نواحی بسته در سطح مشخص}}{\text{مساحت سطح}} \quad (۱)$$

طبق این تعریف فلفل دلمه‌ها به‌علت داشتن چگالی لبه کمتر (تعداد نواحی بسته حاصل از ضخیم‌تر کردن لبه‌ها روی سطح کلی فلفل دلمه‌ای) جزء بافت صاف محسوب می‌شوند و ناحیه پس زمینه به‌علت تراکم بالای برگ‌ها و رگبرگ‌های داخل آن‌ها و همچنین ساقه‌ها بافت زبرتری به حساب می‌آید و با اعمال یک حد آستانه مناسب می‌توان آن‌ها را از تصویر جدا نمود. در تصاویر بزرگ‌نمایی شده شکل ۳ این موضوع به‌خوبی نشان داده شده است که چگالی لبه در قسمت برگ‌ها و ساقه‌ها به‌علت تراکم بالای آن‌ها بیشتر بوده مخصوصاً اگر در فاصله دورتری از دوربین باشند، بنابراین این ناحیه‌ها جزء بافت‌های زبر محسوب می‌گردند. در این تحقیق، EDA=6 به‌عنوان حد آستانه چگالی لبه در نظر گرفته شده است و قسمت‌هایی از تصویر که مقادیر کمتر از این آستانه را دارند مرتبط با قسمت‌های صاف و نواحی مورد نظر بوده و قسمت‌هایی با مقدار چگالی بیش از این آستانه مرتبط با سایر نواحی بوته می‌باشد. از طرف دیگر چگالی لبه در قسمت فلفل دلمه، برگ‌های بزرگ و نزدیک، آسمان و خاک

1- Edge density approximation

Archive of SID

www.SID.ir

نیز کمتر از حد آستانه می‌باشد که این مسئله به‌علت تغییرات کمتر روشنایی در این نواحی است، لذا این قسمت‌ها جزء بافت صاف تصویر لحاظ می‌گردند و در عملیات پردازش رنگ از فلفل دلمه‌ای‌ها مجزا می‌شوند.

شاخص سبزینگی تشدید شده[1] (EGI)

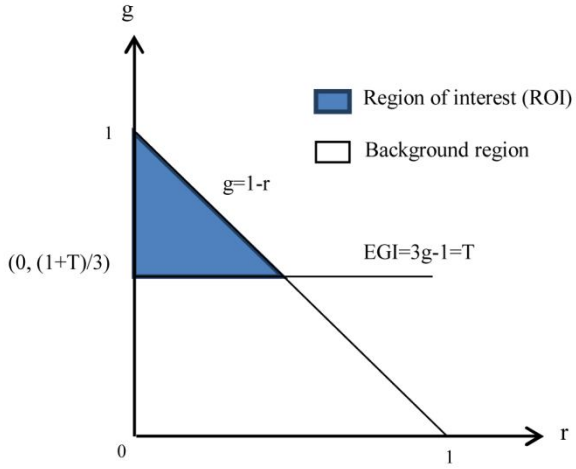
پس از جدا کردن ناحیه‌های صاف تصویر، باید فلفل دلمه را به‌نحوی از دیگر قسمت‌ها جدا ساخت. لذا برای این منظور، با تعریف حد آستانه‌ای برای شاخص رنگمایه (H) می‌توان ناحیه‌هایی مانند خاک و آسمان را جدا نمود، همچنین برای جداسازی برخی برگ‌ها از حد آستانه‌ی درجه اشباع رنگ (S) استفاده شد. اما برای تشخیص فلفل دلمه از برگ‌هایی که دارای درجه اشباع رنگی و پارامتر اشباع رنگ مشابه‌ای با آن می‌باشند نیاز به استفاده از یک شاخص دیگری به نام شاخص سبزینگی تشدید شده (EGI) بود.

EGI در ابتدا براساس مؤلفه‌های رنگی غیر نرمال (اصلی) بوده (Ohta *et al.*, 1980) و سپس بر مبنای مؤلفه‌های رنگی نرمال شده تعریف شد (Lamm *et al.*, 2002). تابع EGI (رابطه ۲) به‌عنوان یک خط مستقیم در نمودار rg نشان داده می‌شود (شکل ۵).

$$EGI=2g-r-b \quad (۲)$$

با در نظر گرفتن این مسئله که جمع سه مؤلفه رنگی r، g و b برابر یک می شود، رابطه (۳) را می‌توان نوشت.

$$EGI=3g-1 \quad (۳)$$



شکل ٤- شاخص رنگی EGI درصفحه rg

Fig.4. Color indices of EGI on rg plane

با توجه به تعریف، دامنه EGI بین ۱- و ۲ متغیر است. با استناد باتوجه به رابطه (۳) می‌توان نتیجه گرفت شاخص EGI و شاخص رنگی g دارای کیفیت یکسانی برای جداسازی تصاویر می‌باشند، البته اگر از مقادیر متعادل شده RGB استفاده شود (Golzarian *et al.*, 2012). با تعریف حد آستانه (T) برای EGI، ناحیه صاف برگ‌ها نیز از تصویر پردازش شده کنار گذاشته شد و بدین ترتیب الگوریتم در پایان قادر به تشخیص فلفل دلمه خواهد بود.

نتایج و بحث

هدف اصلی این پژوهش ارائه الگوریتمی برای تشخیص فلفل دلمه سبز بوده و برای نیل به این هدف از ترکیب پارامترهای بافتی با پارامترهای رنگی استفاده شد. مراحل مختلف جداسازی فلفل دلمه از پس زمینه در شکل ۵ نشان داده شده است. پس از هموارسازی، تصویر لبه‌یابی شده (شکل ۵ b) به‌صورت نگاتیو درآمده و با ضخیم‌تر کردن خطوط سعی می‌شود ناحیه‌های بسته تشکیل گردد (شکل ۵ c). سپس با استفاده از شاخص تعریف شده EDA قسمت‌هایی از تصویر که دارای چگالی لبه کمتری یا به‌عبارتی بافت تصویری نرم می‌باشند مشخص می‌شوند که در شکل ۵ d شماره گذاری شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود فلفل دلمه مورد نظر (ناحیه ۳) به‌همراه قسمت‌هایی از آسمان (ناحیه ۱) و برخی برگ‌ها که شدت روشنایی در آن‌ها تغییرات کمی داشته (ناحیه‌های ۲ و ۴) جزء بافت‌های نرم محسوب شده‌اند. در این مرحله مطابق آنچه در قسمت مواد و روش‌ها بیان شد با استفاده از شاخص‌های EGI، شاخص رنگمایه و درجه اشباع رنگی فلفل دلمه از دیگر ناحیه‌های دارای بافت نرم جدا می‌شود (شکل ۵ e) و روی شکل اصلی در داخل کادری قرار داده می‌شود (شکل ۵ f).

در هر کدام از این مراحل احتمال حذف اشتباهی فلفل دلمه موجود در فضای کاری وجود دارد. مثلاً فلفل دلمه‌هایی که در فاصله دورتر از دوربین قرار دارند و در خارج میدان دید می‌باشند، به‌علت فاصله دورتر سطح آن‌ها مات‌تر و کوچک‌تر به‌نظر می‌رسد و در نتیجه جزء ناحیه‌هایی قرار می‌گیرد که دارای چگالی لبه بیشتری می‌باشند و این مسئله باعث حذف آن‌ها می‌گردد. البته عدم تشخیص می‌تواند دلایل دیگری نیز داشته باشد مانند: زاویه قرارگیری فلفل دلمه نسبت به جهت عکس‌برداری، در سایه قرار گرفتن فلفل، زاویه تابش نور خورشید به آن‌ها و همچنین اگر سطح فلفل دلمه دارای اعوجاج باشد. شکل ۶ عدم تشخیص فلفل دلمه‌ها به‌خاطر دلایل ذکر شده در بالا را نشان می‌دهد.

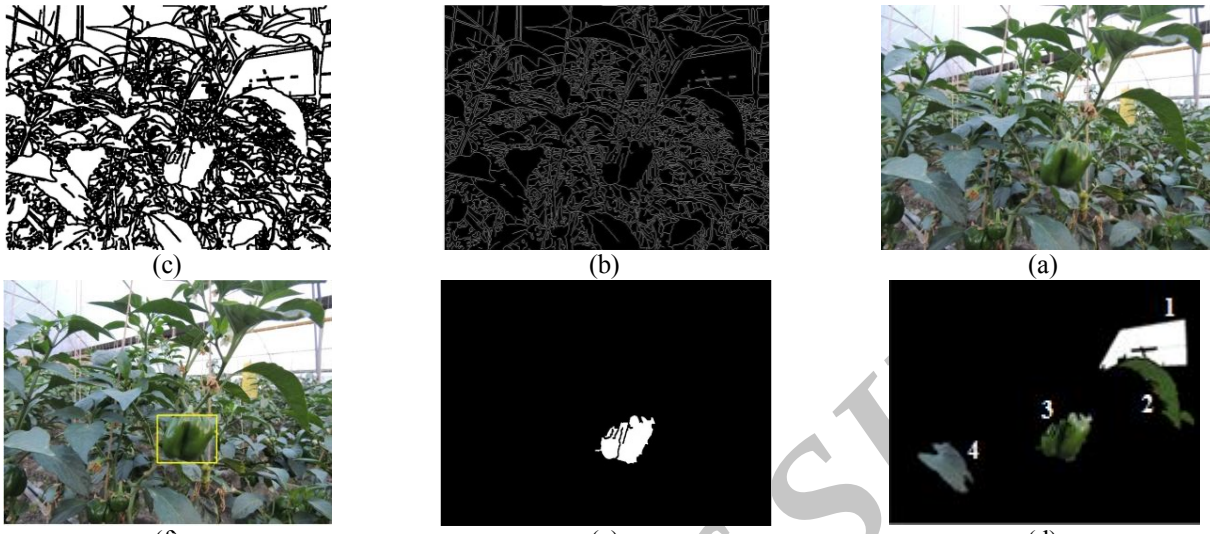
یکی دیگر از چالش‌ها، سطح براق فلفل دلمه می‌باشد که باعث بازتابش زیاد نور می‌شود. بنابراین نورپردازی در چگالی سطح دارای بازتابش زیاد تأثیر به‌سزایی دارد زیرا سطوحی که ممکن است به‌نظر صاف برسند، به‌خاطر سایه و ناهمگن بودن روشنایی به‌صورت

1- Excessive green index

Archive of SID

www.SID.ir

سطوحی با میزان روشنایی مختلف به تصویر کشیده می‌شوند و این سطوح سبب برجسته شدن لبه‌های بیشتر داخل سطح شیء گشته و باعث افزایش چگالی خواهند شد، بنابراین سامانه بینایی این فلفل دلمه را تشخیص نخواهد داد. برای رفع این مشکل پیشنهاد می‌شود سامانه قادر به اصلاح حدهای آستانه بسته به شرایط نوری و زاویه تابش نور باشد.



(a) (b) (c) (d) (e) (f)

شکل ۵– تصاویر به‌دست آمده بعد از اعمال مراحل مختلف الگوریتم نوشته شده برای شناسایی فلفل دلمه؛ (a) تصویر اصلی، (b) تصویر لبه یابی شده، (c) نگاتیو تصویر لبه و ضخیم شدن آن‌ها برای تشکیل یک محیط بسته، (d) جداسازی ناحیه‌های صاف دارای چگالی لبه کمتر، (e) جداسازی فلفل دلمه از دیگر ناحیه‌های صاف با تعریف حد آستانه، (f) مشخص کردن فلفل دلمه روی تصویر اصلی

Fig.5. Resulting images after several steps of the algorithm developed for sweet pepper detection; (a) Original image, (b) Edge detection of image, (c) Negative image of edge and its dilation for developing closed area, (d) Segmentation of smooth area with lower edge density, (e) Segmentation of sweet pepper from other smooth area by threshold defining, (f) Sweet pepper identifying on original image

جدول ۱– میزان دقت سامانه بینایی روبات برای ۵۰ تصویر تفکیک شده

Table 1- Accuracy of robot vision system for 50 categorized images

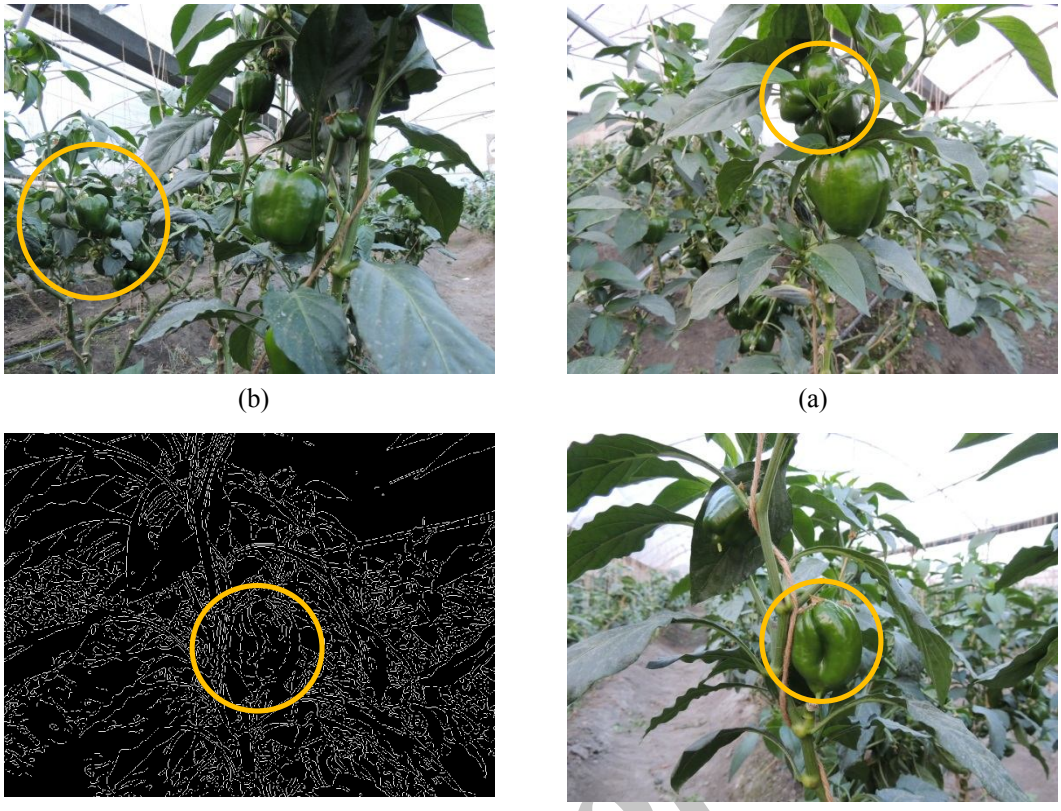
طبقه‌بندی تصاویر Categorizing of images	تعداد عکس No. of images	تعداد فلفل دلمه در تصویر No. of sweet pepper in image	تعداد تشخیص صحیح No. of correct detection	دقت (٪) Accuracy (%)	میزان کاهش خطا در تشخیص نادرست (٪) * Error reduction in incorrect detection (%)
یک فلفل دلمه در تصویر Single sweet pepper in image	20	20	19	95.00	92.40
دو فلفل دلمه در تصویر Double sweet pepper in image	16	32	26	81.25	94.81
بیش از دو فلفل دلمه در تصویر Multi sweet pepper in image	14	55	47	85.45	91.74
کل تصاویر Total images	50	107	92	85.98	92.98

* میزان کاهش خطا توسط الگوریتم دارای شاخص بافت تصویری در تشخیص نادرست پس زمینه به‌عنوان فلفل دلمه نسبت به الگوریتم آنالیز رنگی

* Error reduction in incorrect detection of background as sweet pepper by using algorithm containing texture index in comparison with algorithm of color analysis

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ٦– نمونه‌هایی از عدم تشخیص فلفل دلمه و دلایل آن (فلفل دلمه‌های داخل دایره تشخیص داده نشده‌اند): (a) زاویه قرارگیری نسبت به دوربین، (b) فاصله دورتر نسبت به دوربین، (c) اعوجاج زیاد روی سطح فلفل دلمه، (d) چگالی لبه زیاد فلفل دلمه در قسمت c

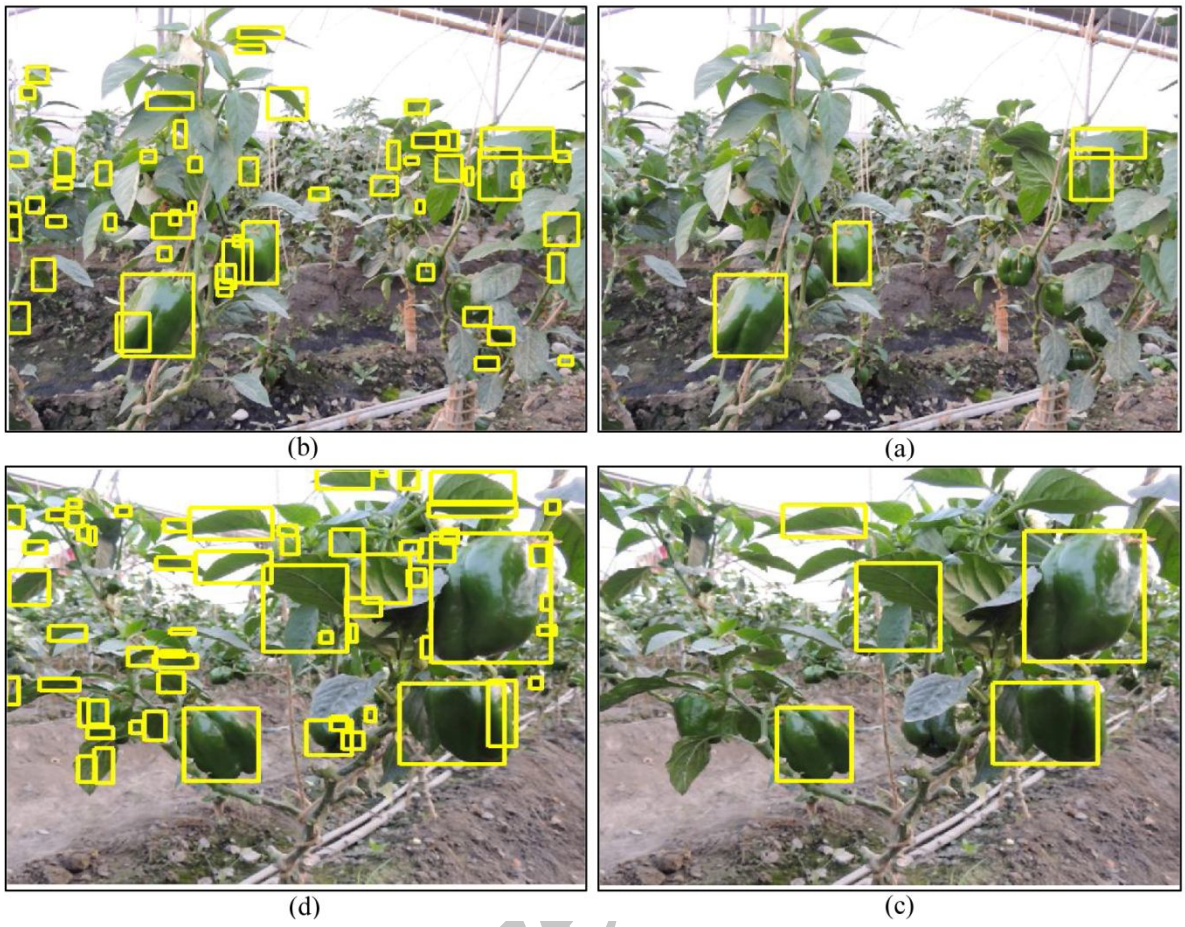
Fig.6. Some samples of not recognized sweet pepper and its reason (sweet peppers in circle were not recognized); (a) Positioning angle with respect to camera, (b) Far distance from camera, (c) Greater distortion on the surface of sweet pepper, (d) High edges density of sweet pepper in part (c)

پس از توسعه الگوریتم، برای ارزیابی آن در تشخیص صحیح فلفل دلمه تعداد ۵۰ تصویر جدید مورد بررسی قرار گرفت و میزان دقت و خطای الگوریتم به‌دست آمد. باید به این نکته توجه داشت که فلفل دلمه‌هایی مد نظر بودند که در فضای کاری بازوهای روبات قرار گرفته بودند. معمولاً فضای کاری بازوی روبات‌های برداشت محصولات گلخانه‌ای، استوانه‌ای به شعاع حدوداً ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاعی در حدود ۱۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود. بنابراین در حالت ایده‌آل الگوریتم باید قادر به شناسایی تمام فلفل دلمه‌های موجود در این فضا باشد. این ۵۰ تصویر شامل ۱۰۷ فلفل دلمه‌ای واقع در فضای کاری می‌شد که سامانه قادر به تشخیص ۹۲ عدد از آن‌ها بود. جدول ۱ میزان دقت سامانه را به تفکیک برای تصاویر دارای یک، دو و بیشتر از دو فلفل دلمه را نشان می‌دهد.

همچنین برای بررسی اهمیت و نقش شاخص بافت تصویری، الگوریتم دیگری فقط براساس آنالیز رنگ و بدون استفاده از بافت تصویری تدوین گشت. برای مقایسه دقت تشخیص فلفل دلمه، تصاویر یکسانی توسط هر دو الگوریتم مورد ارزیابی قرار گرفت که دو نمونه از آن‌ها در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به این شکل می‌توان به اهمیت نقش بافت تصویری در الگوریتم ارائه شده پی برد که چگونه صرفاً استفاده از شاخص‌های رنگی باعث تشخیص اشتباه برگ و ساقه‌ها به‌عنوان فلفل دلمه می‌شود و علت آن تشابه رنگی میان آن‌ها می‌باشد. این در حالی است که خطای تشخیص برگ به‌عنوان فلفل دلمه برای الگوریتم شامل شاخص بافت تصویری بسیار کمتر بود. این مسئله در جدول ۱ نشان داده شده است که استفاده از الگوریتم دارای شاخص بافت تصویری، میزان خطا در تشخیص پس زمینه به‌عنوان فلفل دلمه را تا ۹۲/۹۸ درصد نسبت به الگوریتم آنالیز رنگی کاهش می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۷– نتایج تشخیص فلفل دلمه توسط دو الگوریتم دارای؛ (a) و (c) شاخص بافت تصویری، (b) و (d) الگوریتم براساس آنالیز رنگی

Fig.7. Recognition of sweet pepper by algorithm containing; (a) and (c) Texture index, (b) and (d) Algorithm based on color analysis

به هر حال دقت سامانه بینایی ارائه شده در این تحقیق در مقایسه با دیگر پژوهش انجام شده برای تشخیص فلفل دلمه از قبیل (Kitamura *et al.*, 2008) قابل قبول می‌باشد. البته لازم به ذکر است که در تحقیق ایشان گزارش شده که به‌دلیل عدم دستیابی به نتایج مطلوب از منبع نوری LED و همچنین از دو دوربین استفاده می‌شود. با این حال دقت الگوریتم آن‌ها ۸۰/۸ درصد در تشخیص فلفل دلمه‌ها بود که از دقت الگوریتم ارائه شده در این پژوهش کمتر می‌باشد. از طرف دیگر، الگوریتم ارائه شده در این پژوهش قادر به تشخیص فلفل دلمه سبز در شرایط نور طبیعی می‌باشد که یکی دیگر از تفاوت‌های برجسته الگوریتم حاضر نسبت به الگوریتم آن‌ها شمار می‌آید.

نتیجه‌گیری

ترکیب شاخص بافتی مبتنی بر لبه که در این پژوهش تعریف و مورد استفاده قرار گرفت با پارامترهای رنگی، شیوه مؤثری در تشخیص ناحیه مورد نظر (فلفل دلمه‌ای) از سایر اشیاء و نواحی بعضاً هم‌رنگ با اشیاء مد نظر ارائه داد. ترکیب این پارامترها، دقت ۸۶ درصدی را در تشخیص و جداسازی فلفل‌های دلمه‌ای سبز رنگ از تصاویر تهیه شده در شرایط نور طبیعی نتیجه داد. اگرچه این میزان دقت برای تشخیص محصولی مانند فلفل دلمه سبز در شرایط نور طبیعی قابل قبول می‌باشد ولی برای افزایش دقت سامانه در تشخیص دقیق‌تر فلفل دلمه‌ها و همچنین عدم تشخیص پس زمینه به‌خصوص برگ‌ها به‌عنوان فلفل دلمه انجام مطالعات و تحقیقات بیشتر ضروری به‌نظر می‌رسد. یکی از شیوه های بهبود دقت می‌تواند ترکیب و استفاده از پارامترهای بدون بعد مورفولوژیکی از قبیل ضریب کرویت علاوه بر شاخص‌های رنگی و بافتی که در این پژوهش استفاده گردید باشد. افزایش دقت سامانه در تشخیص را بایستی از نگاه اقتصادی نیز ارزیابی کرد. به‌عنوان مثال، استفاده از نور مصنوعی و دوربین‌های بیشتر نیز ممکن است به افزایش دقت کمک کند ولی این مسئله در نهایت باعث افزایش بهای تمام شده روبات خواهد شد که با توجه به

Archive

www.SID.ir

دستیابی به‌دقت مناسب در تشخیص فلفل دلمـه‌هـا در ایـن پـژوهش استفاده از سخت افزارهای بیشتر راهکار مناسبی به‌نظر نمی‌رسد.

منابع

1. Canny, J. 1986. A computational approach to edge detection. The IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 8: 679-698.
2. De-An, Z., L. Jidong, J. Wei, Z. Ying, and C. Yu. 2011. Design and control of an apple harvesting robot. Biosystems Engineering 110: 112-122.
3. Golzarian, M. R., M. K. Lee, and J. M. A. Desbiolles. 2012. Evaluation of color indices for improved segmentation of plant images. Transactions of the ASABE 55: 261-273.
4. Hayashi, S., K. Shigematsu, S. Yamamoto, K. Kobayashi, Y. Kohno, J. Kamata, and M. Kurita. 2010. Evaluation of a strawberry-harvesting robot in a field test. Biosystems Engineering 105: 160-171.
5. Hemming, J., J. L. Ruizendaal, J. W. Hofstee, and E. J. van Henten. 2012. Fruit detectability analysis for different camera positions in sweet-pepper. Sensors 14 (4): 6032-6044.
6. Kassler, M. 2001. Agricultural automation in the new millennium. Computers and Electronics in Agriculture 30: 237-240.
7. Kitamura, S., K. Oka, K. Ikutomo, Y. Kimura, and Y. Taniguchi. 2008. A distinction method for fruit of sweet pepper using reflection of LED light. In SICE Annual Conference. The University Electro-Communications, Japan.
8. Lamm, R. D., D. C. Slaughter, and D. K. Giles. 2002. Precision weed control system for cotton. Transactions of the ASAE 45 (1): 231-238.
9. Mohamadi Monavar, H., R. Alimardani, and M. Omid. 2013. Computer vision utilization for detection of green house tomato under natural illumination. Journal of Agricultural Machinery 3: 9-15. (In Farsi).
10. Ohta, Y., T. Kanade, and T. Sakai. 1980. Color information for region segmentation. Computer Graphics and Image Processing 13: 222-241.
11. Sarig, Y. 2005. Mechanized fruit harvesting-site specific solutions. Information and Technology for Sustainable Fruit and Vegetable Production, FRUTIC. Montpellier, France.
12. Tanigaki, K., T. Fujiura, A. Akase, and J. Imagawa. 2008. Cherry-harvesting robot. Computers and Electronics in Agriculture 63: 65-72.
13. Van Henten, E. J., B. A. J. Van Tuijl, J. Hemming, J. G. Kornet, J. Bontsema, and E. A. Van Os. 2003. Field test of an autonomous cucumber picking robot. Biosystems Engineering 86: 305-313.

Archive of SID

www.SID.ir