بسط یک الگوریتم ماشین‌بینایی برای شناسایی میوه سیب تحت شرایط نور طبیعی روز

محمدباقر لک[۱]، سعید مینایی[۲]، جعفر امیری‌پریان[۳]، بابک بهشتی[۴]

[۱]– عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، m.lak@modares.ac.ir
[۲] - دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران
[۳] – استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان
[۴] – استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران

چکیده

مکانیزاسیون برداشت میوه‌های درختی گامی است در راستای افزایش بهره‌وری تولید محصولات باغی. خودکار سازی یکی از شیوه‌های مکانیزاسیون برداشت می‌باشد و نقش ماشین‌بینایی در این فرآیند بسیار حیاتی است. بنابراین، بسط یک الگوریتم کارآمد برای شناسایی میوه سیب که بتواند در شرایط نور طبیعی روز کارآمد باشد بسیار ضروری است. در این پژوهش سی تصویر رنگی از چتر درختان سیب رد دلیشز (رقم: *Red Delicious*) تهیه شد. تصاویر تحت شرایط نور طبیعی روز تهیه شدند و در هنگام تهیه تصاویر، هیچ کنترلی روی نور انجام نگرفت. دو الگوریتم برای شناسایی میوه سیب تدوین و ارزیابی شد. این الگوریتم‌ها عبارت بودند از: الگوریتم لبه‌یاب و الگوریتم پردازش رنگ و شکل. الگوریتم لبه‌یاب موفق نبود؛ امّا الگوریتم پردازش رنگ و شکل توانست در ۲۵ تصویر میوه را تشخیص داده و با دقت ۸۵/۱۷٪ محل‌یابی کند.

واژه‌های کلیدی: برداشت مکانیزه، پردازش تصویر، پردازش رنگ و شکل، لبه‌یابی.

مقدمه

در سال ۲۰۱۱ رتبه هشتم جهان در تولید سیب درختی به ایران تعلق گرفت. این در حالیست که در سال ۲۰۰۹ جایگاه چهارم و در سال ۲۰۰۵ رتبه سوم را در اختیار داشته است (وبسایت رسمی فائو). ناکارآمدی مکانیزاسیون عملیات باغبانی می‌تواند یکی از دلایل این رکود باشد. بنابراین، ماشینی کردن عملیات باغبانی در مراحل مختلف، از جمله برداشت، می‌تواند بهره‌وری تولید را افزایش داده و جایگاه قبلی ایران را به آن بازگرداند.

Kepner و همکاران (۱۹۷۸) برداشت مکانیزه محصولات درختی را به طور کل به دو شیوه مکانیکی و انتخابی (یا همان خودکار) تقسیم کرده‌اند. در پژوهش‌های مختلفی از انواع ماشین‌های برداشت مکانیکی استفاده شده است (خیریه و همکاران، ۱۳۸۷؛ Peterson و Wolford، ۲۰۰۳؛ Erdogan و همکاران، ۲۰۰۳). امّا Brown و همکاران (۱۹۸۳) و Peterson و همکاران (۱۹۹۴) برداشت مکانیکی سیب (به‌عنوان یک میوه آب‌دار برای تازه‌خوری) را به روش ریختن توده میوه از درختان ناموفق می‌دانند.

این امر، ناشی از آسیب‌دیدگی شدید میوه است. زیرا میوه به شدت آسیب می‌بیند. این آسیب می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد از جمله (Robinson و Lakso، ۱۹۹۱):

۱) تحرک بیش از حد سیب در حین جدا شدن به علت برخوردهای سیب به سیب یا به شاخه

۲) برخورد سیب به شاخه در حین افتادن

۳) برخورد سیب با سیب در سطوح جمع‌آوری، چراکه اکثر سیب‌ها در فاصله زمانی کوتاهی بین ۳ تا ۶ ثانیه می‌افتند.

آسیب وارده به میوه بر اثر برداشت مکانیکی، کاربرد این سامانه را محدود به میوه‌هایی می کند که قرار است فرآوری شوند (Kepner et al, 1978). بنابراین، بیشتر میوه‌هایی که به روش مکانیکی برداشت می‌شوند، برای مصارف تازه‌خوری چندان مناسب نیستند.

این کاهش کیفیت میوه در حالی است که برداشت خودکار میوه می‌تواند شیوه‌ای پایدار در مکانیزاسیون برداشت میوه‌های درختی باشد که ضمن برداشت میوه با کیفیت، آسیبی نیز به درخت وارد نسازد.

سامانه‌های خودکار

در هر نظام تولیدی، نیاز فزاینده‌ای به فراهم آوردن محصولات با کیفیت بیشتر و هزینه کمتر وجود دارد تا آن را رقابتی کند. یک راه حل برای این چالش، توسعه سامانه‌های خودکار است و در مواقعی که عملکرد یک انسان از لحاظ دقت، تکرارپذیری و چرخه کاری بدتر از دستگاه خودکار است، جانشین توان انسان در انجام کارها شود (Jimenez et al, 2000). کشاورزی نیز از این قاعده مستثنا نیست. یک روبات کشاورز از سه جز اصلی تشکیل شده است (Harrel et al, 1988): ۱) یک سامانه حس‌گر، ۲) پردازش-گر، و ۳) عملگرهایی که متناظراً سامانه را اداره کنند.

ماشین‌بینایی و پردازش تصویر به عنوان یکی از اصلی‌ترین راه‌های درک روبات از محیط پیرامون، توجهات زیادی را به خود جذب کرده است و به طور فزاینده‌ای برای کاربردهای کشاورزی به‌ویژه برای تشخیص وضعیت و کیفیت محصول و برداشت محصول استفاده شده است (Regunathan and Lee, 2005).

نخستین منبعی که تشخیص خودکار میوه را مد نظر قرار می‌دهد متعلق است به Schertz و Brown (۱۹۶۸). از نظر ایشان مشکلاتی که باید در تشخیص خودکار میوه مد نظر قرار گیرند عبارتند از: روشنایی غیر یکنواخت (ناشی از سایه) و تراکم شاخ و برگ که آشکار بودن میوه‌ها را بین ۷۰ تا ۱۰۰٪ محدود می‌کند.

نخستین سامانه ماشین‌بینایی به کارگرفته شده برای تشخیص سیب، توسط Parrish و Goksel (۱۹۷۷) گزارش شد. این سامانه تشکیل می‌شد از یک دوربین سیاه و سفید و یک فیلترنوری قرمز تا تباین بین سیب های قرمز و برگ های سبز رنگ را افزایش دهد.

برای تشخیص میوه با بهره‌گیری از ماشین‌بینایی تا کنون دو شیوه گزارش شده است که عبارتند از: ۱- تشخیص رنگ و ۲- تشخیص الگو.

Levi و همکاران (۱۹۸۸) از روش تشخیص رنگ برای تشخیص مرکبات استفاده کرده‌اند. همچنین Slaughter و Harrell (۱۹۸۷ و ۱۹۸۹)، Juste و همکاران (۱۹۹۱)، Grasso و Recce (۱۹۹۶) نیز از تفکیک رنگ برای بسط الگوریتم برداشت خودکار پرتقال استفاده کردند. Parrish و Goksel (۱۹۷۷)، D'Esnon و همکاران (۱۹۸۷)، Rabatel (۱۹۸۸)، Sites و Delwiche (۱۹۸۸)، Kassay (۱۹۹۲)، و Bulanon و همکاران (۲۰۰۲) نیز میوه سیب قرمز را به روش تفکیک رنگ شناسایی کردند.

در مواردی تشخیص الگو، مبنای شناسایی میوه از چتر است که می‌توان به پژوهش Regunathan و Lee (۲۰۰۵) برای تشخیص میوه مرکبات و Bulanon و همکاران (۲۰۱۰) برای شناسایی سیب اشاره کرد. Pla و همکاران (۱۹۹۳) نیز در برداشت پرتقال الگوریتمی را مبتنی بر تشخیص الگو بسط دادند.

از آنجا که مصرف میوه سیب غالباً تازه‌خوری است، کیفیت ظاهری آن باید حفظ شود. برای این منظور باید میوه‌ها تک‌تک برداشت شوند. بنابراین دستگاه‌های میوه چین مجهز به بینایی‌ماشینی بیشترین کاربرد را خواهند داشت. در این روش برداشت، مؤثرترین عامل در کارآمد کردن دستگاه، تشخیص درست میوه است که تابعی از شرایط تصویر برداری و ارزیابی روش های مختلف تحلیل تصویر است. تهیه تصاویر برای کاربردهای ماشین‌بینایی معمولاً تحت شرایط کنترل شده نور انجام می‌شود که کار پردازش تصویر را تسهیل می‌کند ولی از شرایط واقعی به دور است.

در این پژوهش هدف تدوین الگوریتم تشخیص سیب برمبنای ماشین‌بینایی تحت شرایط نور طبیعی روز است.

مواد و روش‌ها

مراحل انجام پژوهش حاضر به‌طور خلاصه عبارتند از:

۱. تهیه پایگاه داده و ذخیره‌سازی تصاویر

نمونه انتخابی، پایگاه داده‌ای با ۳۰ تصویر از درختان سیب قرمز رنگ رددلیشز (Red Delicious) بود که به‌طور تصادفی از باغی در همدان تهیه شد. برای تهیه تصاویر رنگی RGB، از دوربین دیجیتال مدل Sony DSC-H5 3072×2304 Color) CCD Camera, Japan) استفاده شد.

از آنجا که بازتاب نور از اجسام، در تشخیص رنگ آن‌ها مؤثر است، تغییرات در کیفیت نور باعث خطا در تشخیص رنگ جسم می‌شود. بنابراین، تهیه تصاویر تحت شرایط نور طبیعی روز انجام گرفت تا الگوریتمی تدوین شود که قابلیت تعمیم را داشته باشد.

تهیه تصاویر در شرایط نور طبیعی باعث شد که در قسمت‌هایی از تصویر سایه و در قسمت‌هایی دیگر انعکاس شدید نور انجام گیرد. به عبارت دیگر، بخش‌هایی از تصویر تیره و بخش‌هایی نیز براق بودند. این سطوح تیره و براق اغتشاشاتی به وجود آورد که در مواردی پردازش تصویر را دچار اختلال می‌کرد.

۲. پردازش تصاویر

در این پژوهش هدف از پردازش تصویر، به‌کار گرفتن آن در الگوریتم ماشین‌بینایی بود. به طوری که پس از انتقال تصاویر ذخیره شده به رایانه، تصاویر پردازش شدند تا یک سیب در هر تصویر تشخیص داده شده و محل قرار گیری آن در تصویر مشخص گردد. برای تشخیص میوه سیب از چتر درخت، دو الگوریتم تدوین شد که عبارتند از: الگوریتم لبه‌یاب و الگوریتم پردازش رنگ و شکل.

مراحل پردازش تصویر انجام گرفته عبارتند از:

۲-۱ بهبود تصاویر[1]

تصاویر تهیه شده ابتدا بهبود یافتند تا برای انجام عملیات بعدی پردازش تصویر آماده شوند. انجام عملیات پردازش بر روی تصاویر با اغتشاشات کمتر، با دقت بیشتری انجام می‌گیرد. بنابراین، تصاویر بهبود داده شدند تا اغتشاشات آن‌ها حذف گردد.

در این پژوهش، برای بهبود تصاویر، پنج نوع فیلتر به‌کار گرفته شد که عبارت بودند از: فیلتر میانگین با ماتریس مستطیلی، فیلتر میانگین با ماتریس دایره‌ای، فیلتر افزایش دهنده شدت نور و لبه، فیلتر تقویت لبه، و فیلتر پایین‌گذر گوسی.

فیلترهای میانگین باعث محو شدگی غیر یکنواخت تصویر می‌شدند. فیلتر افزایش دهنده شدت نور و لبه، همه لبه‌های تصویر را تقویت می‌کرد و فیلتر تقویت لبه به جهت تابش نور حساس بود.

پس از بررسی فیلترهای فوق، استفاده از یک فیلتر حساس به فرکانس به نظر می‌رسید. این فیلتر باید فرکانس‌های بالای تصویر را حذف می‌کرد. از این‌رو از فیلتر پایین‌گذر گوسی برای محدود کردن فرکانس‌های بالا استفاده شد. زیرا فرکانس‌های بالا باعث ایجاد لبه می‌شوند. بنابراین، لبه‌ها حذف شدند و اسکلت‌بندی و محتوای کلی تصویر بدست آمد.

از فیلتر گوسی با ابعاد ۲۵۰×۲۵۰ و انحراف معیار ۲۰۰ استفاده شد. به نحوی که این فیلتر فرکانس‌های بیش از ۲۰۰ مگاهرتز را حذف کرد و تصاویری محو را نتیجه داد که اسکلت‌بندی تصویر را در بر می‌گرفت.

فرکانس در نظر گرفته شده، بطور ثابت ۲۰۰ مگاهرتز بود. این مقدار با تغییر فرکانس به طور دستی بدست آمد. به این ترتیب، فرکانس‌های بیش از ۲۰۰ مگاهرتز تصاویر حذف می‌شدند و تصویر بدست آمده از این فیلتر مجموعه‌ای کدر از نواحی رنگی را نشان می‌داد که هیچ‌یک از نواقص فیلترهای پیشین را ندارد (شکل۱-ب).

۲-۲ تبدیل تصویر رنگی به دوسطحی[2]

تصاویر بدست آمده از فیلتر، به تصویر دو سطحی تبدیل شدند (شکل۳-ب).

۲-۳ بخش‌بندی تصویر[3]

برای بخش‌بندی تصاویر دو الگوریتم تدوین شد. این الگویتم‌ها عبارتند از: لبه‌یابی (شکل۲)، و پردازش رنگ و شکل (شکل۳).

الف) لبه‌یابی

1 - Image Enhancement
2 - Binary
3 - Image Segmentation

لبه‌یابی به شیوه Canny انجام گرفت. برای لبه‌یابی تصاویر از تصویر مقیاس خاکستری سبز استفاده شد. این تصویر نسبت به تصاویر مقیاس قرمز و آبی نتایج بهتری داشت.

ب) پردازش رنگ و شکل

در پردازش رنگ و شکل، تصاویر بدست آمده از فیلتر گوسی ابتدا دو سطحی شدند، حذف اغتشاش شدند، به‌هم‌بندها برچسب-زنی شده و برچسب سیب نشان داده شد (شکل۳).

۲-۴ حذف اغتشاشات[1]

آنچه در این پژوهش مطلوب بود، یافتن یک سیب در تصویر، بعنوان نقطه هدف بود. در بخش‌بندی مبتنی بر ناحیه، تنها محل قرار گیری سیب به عنوان ناحیه مطلوب انتخاب شد و همه نواحی دیگر تصویر، به‌عنوان اغتشاش منظور شدند. بنابراین، باید این نواحی حذف می‌شدند.

برای حذف اغتشاشات باید یک مقدار به‌عنوان حداقل سطح ناحیه تعیین می‌شد. لذا، اعداد مختلفی آزمایش شدند. آنچه در این پژوهش، به عنوان یک مقدار ثابت، تعیین شد ۵۵۰۰۰ پیکسل بود. یعنی، این الگوریتم نواحی با مساحت کمتر از ۵۵۰۰۰ پیکسل را بعنوان اغتشاش شناسایی کرده و از همه تصاویر دوسطحی حذف می‌کرد.

۲-۵ برچسب زدن به‌هم‌بندها[2]

یکی از مهمترین مراحل پردازش تصویر، برچسب زدن اشیای تصویر بود. اشیای تصویر یا به‌هم‌بندها مجموعه‌ای از پیکسل‌های متصل به هم بودند که از اتصال ۸گانه پیکسل‌ها بدست می‌آمدند.

۳. تشخیص سیب از سایر قسمت‌ها

پس از برچسب زدن به هم‌بندها، تصاویری دو سطحی به دست آمد که تنها میوه سیب در آن‌ها مشخص بود. پس از مشخص شدن برچسب سیب، مرکز سطح آن مشخص شد تا محل قرار گرفتن سیب در تصویر استخراج شود.

۴. برآورد دقت تشخیص الگوریتم

برای ارزیابی دقت الگوریتم، می‌توان با محاسبه دقیق مساحت همپوشانی[3] سیب در تصویر رنگی و سیب تشخیص داده شده توسط الگوریتم، این مقدار را به‌عنوان دقت الگوریتم در نظر گرفت (شکل۴). امّا این شیوه مستلزم تعیین محل و مساحت دقیق قرار گرفتن سیب در تصویر است.

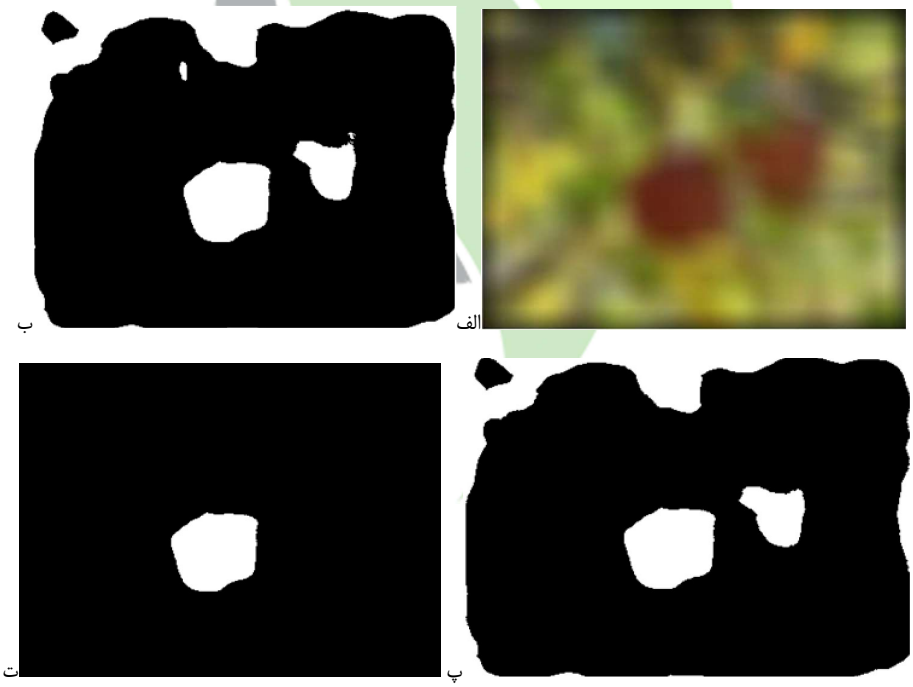
برای برآورد همپوشانی ابتدا مستطیل محیط بر سیب در تصویر رنگی منظور شد و مرکز آن با استفاده از مختصات رئوس مستطیل بدست آمد. سپس همان مستطیل به صورت مرکز به مرکز بر تصویر سیب تشخیص داده شده نگاشت شد. نسبت مساحت مشترک (همپوشانی) بین دو مستطیل بر روی مساحت مستطیل بعنوان دقت الگوریتم منظور شد.

1 - Noise Reduction
2 - Connected Components Labeling
3 - Overlap

الف ب

شکل ۱. اعمال فیلتر بر روی تصویر. الف) تصویر اصلی، ب) تصویر فیلتر شده.

شکل ۲. تصویر لبه‌یابی شده



الف ب پ ت

شکل ۳. تصویر حاصل از پردازش رنگ و شکل. الف) تصویر فیلتر شده، ب) تصویر دو سطحی شده، پ) تصویر حذف اغتشاشات شده، ت) تصویر برچسب سیب

شکل۴. تصویر همپوشانی تصویر اصلی و تصویر بدست آمده از الگوریتم. الف) موقعیت محل تشخیص داده شده و محل واقعی قرار گرفتن سیب نسبت به یکدیگر، ب) مساحت همپوشانی.

نتایج و بحث

هدف از انجام این پژوهش تدوین الگوریتمی بود که تحت شرایط نور طبیعی روز بتواند سیب را تشخیص داده و محل‌یابی کند. برای نیل به این منظور، دو الگوریتم تدوین و ارزیابی شدند. الگوریتم لبه‌یاب نتوانست میوه را از چتر استخراج کند. زیرا همه لبه-های تصویر استخراج شدن که لبه‌های در بر گیرنده سیب تنها بخشی از این لبه‌ها بودند. در عین حال لبه‌های سیب در تصاویر لبه‌یابی شده محیط بسته‌ای را به دور سیب تشکیل ندادند و بنابراین، الگوریتم لبه‌یاب کارایی لازم را نداشت (شکل۲).

برای پیاده‌سازی الگوریتم پردازش رنگ و شکل از پنج نوع فیلتر استفاده شد. از بین فیلترها، فیلتر گوسی با ابعاد ماتریس ۲۵۰×۲۵۰ و انحراف معیار ۲۰۰ مگاهرتز بهتر عمل کرد. با اعمال فیلتر گوسی بخشی از اغتشاشات حذف شدند. شکل۱–ب تصویر حاصل از فیلتر گوسی را نشان می‌دهد. تصویر بدست آمده از فیلتر دوسطحی شد (شکل۳–ب) تا مجدداً حذف اغتشاشات با استفاده از حداقل مساحت انجام گیرد (شکل۳–پ). سپس، تصاویر برچسب‌زنی شدند تا برچسب سیب مشخص شود (شکل۳–ت).

الگوریتم پردازش رنگ و شکل توانست در ۲۵ تصویر از بین ۳۰ تصویر سیب را تشخیص بدهد. به عبارت دیگر، دقت تشخیص الگوریتم ۸۳.۳۳٪ بود. در مرحله بعد، مرکز سطح شکل سیب تشخیص داده شده مشخص شد و مستطیلی، به ابعاد مستطیل محیط بر سیب در تصویر رنگی، بر آن نگاشت شد. همپوشانی بین مستطیل محیط بر سیب تشخیص داده شده و مستطیل محیط بر تصویر رنگی سیب برآورد شد. دقت الگوریتم برای محل‌یابی قرار گیری سیب با نسبت همپوشانی برآورد شد. این الگوریتم توانست محل قرار گرفتن سیب را با دقت ۸۵.۱۷٪ برآورد کند. بیشترین دقت محل‌یابی این الگوریتم ۹۹.۷۱٪ و کمترین دقت آن ۵۴.۴۳٪ بود (شکل۴).

نتیجه‌گیری

الگوریتم پردازش رنگ و شکل توانست در ۲۵ تصویر از بین ۳۰ تصویر سیب را تشخیص بدهد. به عبارت دیگر، دقت تشخیص الگوریتم ۸۳.۳۳٪ بود و توانست محل قرار گرفتن سیب را با دقت ۸۵.۱۷٪ برآورد کند.

با توجه به اینکه هدف از انجام این پژوهش، تدوین یک الگوریتم قابل تعمیم برای شرایط نوری متغیر بود؛ در هنگام تهیه تصاویر، هیچ کنترلی بر روی نور انجام نگرفت. هرچند کنترل شرایط نوری دقت الگوریتم را افزایش می‌داد. با توجه به تغییرات شرایط نور تغییر زاویه دوربین نسبت به جهت تابش نور می‌تواند بر دقت الگوریتم بیافزاید.

افزایش دقت الگوریتم‌های پردازش تصویر و توجه بیشتر به شیوه‌های خودکار سازی برداشت می‌تواند گام مؤثری جهت بهبود بهره‌وری تولیدات باغی باشد.

فهرست منابع

۱. خیریه، م.، مهارلویی، م.م. و کامگار، س.، ۱۳۸۷، طراحی، ساخت و ارزیابی یک شاخه‌تکان تراکتوری مجهز به بازوهای شناور به‌منظور برداشت سیب درختی، پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، مقاله شماره ۱۹۲.

2. Brown, G.K., D.E., Marshall, B.R., Tennes, D.E., Booster, P., Chen, R.E., Garrett, M., O'Brien, H.E., Studer, R.A., Kepner, S.L., Hedden, C.E., Hood, D.H., Lenker, W.F., Millier, G.E., Rehkugler, D.L., Peterson and L.N., Shaw. 1983. Status of harvest mechanization of horticultu crops. St. Joseph, Michigan: ASAE.
3. Bulanon, D.M. and T., Kataoka. 2010. Fruit detection system and an end effect for robotic harvesting of Fuji apples. Agric Eng Int: CIGR Journal, 12(1): 203-210.
4. Bulanon, D.M., T., Kataoka, Y., Ota and T., Hiroma. 2002. A segmentation algorithm for the automatic recognition of Fuji apples at harvest. Biosystems Engineering, 83(4): 405–412.
5. D'Esnon A.G., G., Rabatel and R., Pellenc. 1987. A self-propelled robot to pick apples. ASAE paper 87-1037, ASAE. St Joseph, MI 49085-9659.
6. Erdogan, D., M., Guner, E., Dursun and I., Gezer. 2003. Mechanical harvesting of apricots. Biosystems Engineering, 85(1): 19–28.
7. Food and Agriculture Organization Official Websites Statistics. Retrieved from: http://www.fao.org.
8. Grasso G. and M., Recce. 1996. Scene analysis for an orange picking robot. Proc. Intern, Congress for Computer Technology in Agriculture (ICCTA'96).
9. Harrell, R.C., D.C., Slaughter and P.D., Adsit. 1988. Robotics in agriculture. In: Dorf, R.C. (Ed.-in-Chief), International Encyclopedia of Robotics Applications and Automation. John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 1378–1387.
10. Jimenez, A.R., R., Ceres, and J.L., Pons. 2000. Magali: a surv of computer vision method for locating fruit on trees. Transaction of the ASAE, 43(6): 1911-1920.

11. Juste F., I., Fornes, F., Pla, E., Molto and F., Blay. 1991. Primeros resultados en campo de un prototipo de brazo robotizado para la recoleccion de citricos. CIMA91, 23 Conf. Int. Maquinaria Agricola, Zaragoza, pp. 433-440.
12. Kassay, L. 1992. Hungarian robotic apple harvester. Paper ASAE No. 92-7042 St. Joseph, MI 49085, pages 1-14.
13. Kepner, R.A., R., Bainer and E., Borger. 1978. Principles of farm machinery. John Wiley, New York, PP.571.
14. Levi, P., R., Falla and R., Pappalardo. 1988. Image controlled robotics applied to citrus fruit harvesting, Procedures ROVISEC-VII, Zurich.
15. Parrish, E. and A.K., Goksel. 1977. Pictorial pattern recognition applied to fruit harvesting. Transactions of the ASAE, 20: 822-827.
16. Peterson, D.L., S.S., Miller and J.D., Whitney. 1994. Harvesting semi-dwarf freestanding apple tre with an over-the-row mechanical harveste . Journal of American Society of Horticultural Science, 119: 1114-1120.
17. Peterson, D.L. and S.D., Wolford. 2003. Fresh-market quality tree fruit harvester par II: Apples, applied engine in agriculture, 19(5): 545–548.
18. Pla, F., F., Juste and F., Ferri. 1993. Feature extraction of spherical objects in image analysis: an application to robotic citrus harvesting. Computers and Electronics in Agriculture, 8:57-72.
19. Rabatel, G. 1988. A vision system for magali, the fruit picking robot. Paper 88293, AGENG88, International Conference on Agricultural Engineering, Paris.
20. Regunathan, M. and W.S., Lee. 2005. Citrus fruit identification and size determination using machine visio and ultrasonic sensors. ASAE Annual International Meeting, Paper Number: 053017.
21. Robinson, T and A., Lakso. 1991. Basis of yield and production efficiency in apple orchard systems. Journal of American Society of Horticultural Science, 116(2): 188–194.
22. Robinson, T.L., W.F., Miller, J.A., Throop, S.G., Gapenter and A.N., Lakso. 1990. Mechanical harvestability of Y-shaped and pyramid-shap 'Empire' and 'Delicious' apple trees. Journal of American Society of Horticultural Science, 115:268-274.
23. Schertz, C.E., and G.K., Brown 1968. Basic consideration in mechanizing citrus harvest. Transactions of the ASAE, 343-346.
24. Sites A., M.J., Delwiche. 1988. Computer vision to locate fruit on a tree. ASAE paper 85-3039, ASAE, St Joseph, MI 49085.
25. Slaughter D. and R.C., Harrel. 1987. Color vision in robotic fruit harvesting. Transactions of the ASAE, 30(4): 1144-1148.
26. Slaughter D. and R.C. Harrel R.C. 1989. Discriminating fruit for robotic harvest using color in natural outdoor scenes. Transactions of the ASAE, 32(2): 757-763.

Development of a set of machine-vision algorithms for apple fruits recognition under daylight conditions

M.B. Lak[1], S. Minaei[2], J. Amiriparian[3], B. Beheshti[4]

[1] Young Researchers and Elites club, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. m.lak@modares.ac.ir
[2] Associate Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
[3] Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
[4] Assistant Professor, Department of Mechanics of Agricultural Machinery, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Abstract:

Mechanization of tree fruit harvesting is an approach to promote the productivity of horticultural production. Automation is a method of harvesting mechanization and role of machine vision in the process is vital. Therefore, developing a set of algorithm that is capable to recognize apple fruits under natural daylight conditions is an essential requirement. In the paper, thirty frames of color image were acquired from the canopy of Red Delicious apple trees. The images were acquired under natural daylight conditions and no control was applied on the luminance of the scenes. In order to determine the apple fruits in the images, two set of algorithms were developed and evaluated for recognition of apples in the images. The algorithms were: edge detector and color-and-shape detector. Although, edge detector was not successful, the second algorithm that was based on color-and-shape detection was capable to identify the fruits in 25 frames out of 30 images and locate them with accuracy of 85.17%.

Keywords: mechanized harvesting, image processing, color-and-shape, edge detection