ماشین‌بینایی و کاربردهای آن در کشاورزی

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

[۱] کارشناس‌ارشد مکانیزاسیون کشاورزی، *mbagherlak@yahoo.com*

[۲] دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

[۳] استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا

[۴] استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

چکیده

نیاز فزاینده به غذای سالم، فنّاوری‌های نوینی را می‌طلبد که فرآیند تولید محصول را از بدو تولید تا بازار رسانی آن ارتقاء بخشد. در میان این فنّاوری‌ها ماشین‌بینایی جایگاهی ویژه یافته است و در سال‌های اخیر، رویکردی ویژه به توسعه سامانه‌های هوشمند و مبتنی بر ماشین‌بینایی شده است. این مقاله، مفصلاً به پردازش تصویر و کاربردهای ماشین‌بینایی در کشاورزی می‌پردازد

واژه‌های کلیدی: پردازش تصویر، کشاورزی دقیق، اتوماسیون.

مقدمه

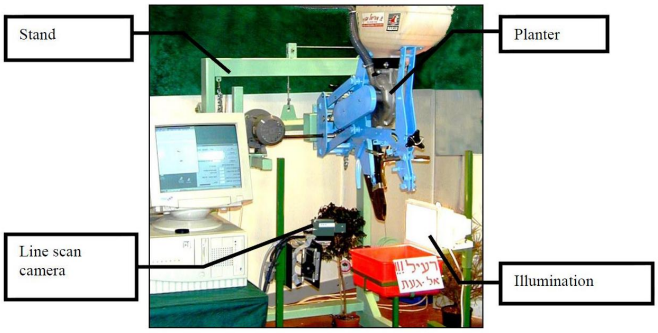
پردازش تصویر پردازش تصویر دیجیتال بر مبنای تبدیل یک فیلد تصویر پیوسته به شکل دیجیتال معادل است (Pratt, 2007). پردازش تصویر مجموعه عملیات و روش‌هایی است که به‌منظور تحلیل و آنالیز تصویر، برای رسیدن به هدفی خاص، انجام می‌شود. یک تصویر ممکن است به‌عنوان یک تابع دو بعدی، $f(x,y)$، تعریف شود، به‌طوری‌که x و y مختصات فضایی و دامنه f در هر جفت از مختصات (x,y)، شدت یا سطح خاکستری تصویر در نقطه است. زمانی‌که x، y و مقادیر دامنه f همگی مقادیری کران‌دار و گسسته باشند تصویر را یک تصویر دیجیتال می‌نامند (Gonzalez, 2004).

در زمینه پردازش تصویر، با بهره‌گیری مضاعف از کاربردهای بی‌شمار تصویر همراه با بهبودهایی در اندازه، سرعت و کارآمدی هزینه رایانه‌های دیجیتال و فنّاوری‌های پردازش سیگنال مرتبط از سال ۱۹۶۸ به‌طور قابل توجهی رشد کرده‌است. پردازش تصویر نقشی عمده در کاربردهای علمی، صنعتی، فضا و دولت پیدا کرده‌است. اکنون، در آغاز قرن بیست و یکم، پردازش تصویر یک نظم کامل مهندسی شده است. امّا پیشرفتهایی در مبنای نظری پردازش تصویر ادامه دارد (Pratt, 2007).

ماشین‌بینایی برگردان واژه *machine vision* است که تعریف آن در وب‌سایت مرجع ویکیپدیا چنین آمده است: "بینایی رایانه‌ای یا بینایی‌کامپیوتری (*computer vision*) یا ماشین‌بینایی (*machine vision*) یکی از شاخه‌های مدرن، و پرتنوع هوش مصنوعی است که با ترکیب روش‌های مربوط به پردازش تصاویر و ابزارهای یادگیری ماشینی رایانه‌ها را به بینایی اشیاء، مناظر، و"درک" هوشمند خصوصیات گوناگون آن‌ها توانا می‌گرداند".

در عملیات مختلف کشاورزی از قبیل کاشت، داشت، برداشت و هدایت خودکار فعالیت‌های متعددی انجام شده است که در زیر به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود:

www.agrimechanization.com



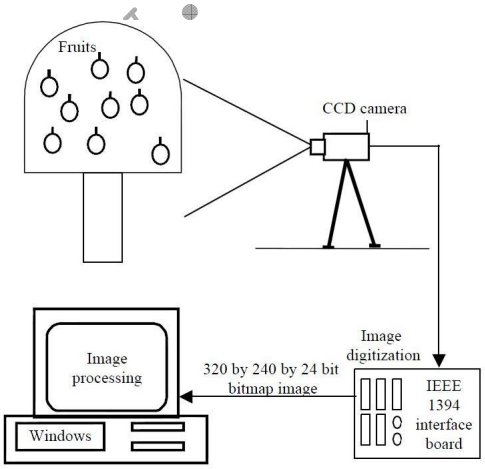
کاشت

در عملیات کاشت برای کنترل فواصل بذور و در نتیجه صرفه‌جویی در مصرف بذر از فنّاوری ماشین‌بینایی استفاده می‌شود؛ به‌طور نمونه Alchanatis و همکاران (۲۰۰۲) یک سامانه ماشین‌بینایی را برای ارزیابی توزیع مکانی بذر توسط بذرکار به‌کار بردند. آن‌ها سامانه اپتیکی را بر مبنای یک دوربین اسکن خط و الگوریتم‌های پردازش تصویر، برای اندازه‌گیری توزیع فاصله بذور توسعه دادند. به گفته ایشان، ریزبینی اپتیکی سامانه می‌تواند توزیع فاصله بذور ریز را اندازه‌گیری کند، که تا پیش از آن انجام پذیر نبود. الگوریتم‌های پیشرفته ایشان قادر به تفسیر توزیع بذور در خط بودند. محل بذور و نیز فواصل آن‌ها بر روی یک تسمه مجازی که در زیر کارنده حرکت می‌کرد، محاسبه می‌شد.

داشت

پیرامون تشخیص علف‌هرز نیشکر در میان ردیف‌های محصول مطالعه‌ای انجام گرفت که منجر به ساخت و توسعه دستگاه پاشنده علف‌کش آهنگ متغیر آنی با استفاده از بینایی ماشین برای وجین بین ردیفی مزارع نیشکر گردید. در این بررسی تمامی سبزینه‌هایی که بین ردیف‌های نیشکر رشد می‌کنند، علف‌های هرز تلقی شدند. فریم‌های تصویر گرفته شده در طی آمد و شد سم‌پاش پردازش می‌شدند تا درصد سبزی برآورد شود. همبستگی این پارامتر با کمیت علف‌های هرز نیز تعیین گردید. شدت رنگ سبز به چهار سطح تقسیم بندی شد و به‌منظور کنترل آهنگ جریان سم در نازل‌های سمپاش به‌کار برده شد (Tangwongkit et al, 2006).

Gripentrog و همکاران (۲۰۰۴) با ترکیب فنّاوری تهیه نقشه بذر و تشخیص و تعیین گیاهچه‌ها بر مبنای ماشین-بینایی، دقت و بازدهی دستگاه وجین‌کن خود را افزایش دادند. طبق گزارش‌های ایشان، با بهره گرفتن از این فنّاوری، کشاورزان خواهند توانست نهاده‌های شیمیایی را کاهش داده و بازدهی تولید محصولاتی مانند چغندرقند، ذرت، سبزیجات و دیگر محصولات ارزش‌مند را افزایش دهند.



برداشت میوه

برداشت مکانیزه محصولات درختی به‌طور کلی با استفاده از دو نوع دستگاه انجام می شود: برداشت کننده‌های مکانیکی، و برداشت کننده‌های خودکار.

معمولاً میوه‌های آبداری را که مصرف تازه‌خوری دارند، نمی-توان به‌صورت مکانیکی برداشت کرد. بیشتر میوه‌هایی که به روش ماشینی برداشت می‌شوند، در کارخانه‌های فرآوری

agrimechanization.com

محصولات غذایی مانند کنسروسازی استفاده می‌شوند (خوشخوی و همکاران، ۱۳۸۵) در حالی‌که از این روش برای برداشت محصولات خشکباری نیز استفاده می‌شود (Kepner et al, 1978).

آسیب وارده به میوه بر اثر برداشت مکانیکی، کاربرد این سامانه را محدود به میوه‌هایی می کند که قرار است فرآوری شوند و فرآوری میوه باید در همان روز یا کمی پس از برداشت انجام‌گیرد (Kepner et al, 1978). Brown و همکاران (۱۹۸۳) و Peterson و همکاران (۱۹۹۴) تلاش‌ها برای برداشت مکانیکی سیب (به‌عنوان یک میوه آب‌دار برای تازه‌خوری) به روش ریختن توده میوه از درختان را ناموفق گزارش می‌کنند. این امر، ناشی از آسیب-دیدگی شدید میوه است. این آسیب می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد از جمله ۱) تحرک بیش از حد میوه در حین جدا شدن به علت برخوردهای میوه‌ها با هم یا برخورد با شاخه، ۲) برخورد میوه به شاخه در حین افتادن و ۳) برخورد میوه‌ها با یکدیگر در سطوح جمع‌آوری، زیرا اکثر سیب‌ها در فاصله زمانی کوتاهی بین ۳ تا ۶ ثانیه می‌افتند (Robinson and Lakso, 1991; Robinson et al, 1990; Peterson, 2005)

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

استفاده از ماشین‌بینایی و تشخیص میوه مرکبات در کنوپی درخت را می‌توان در پژوهش‌های Okamoto و Lee (۲۰۰۹) و Bulanon و همکاران (۲۰۰۹) مشاهده کرد.

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 (۱۹۹۸) از روش تشخیص رنگ برای تشخیص مرکبات استفاده کرده‌اند. Bulanon و همکاران (۲۰۰۲) میوه سیب قرمز را به روش تفکیک رنگ شناسایی کردند. در مواردی نیز تشخیص الگو، مبنای شناسایی میوه از کنوپی است که می‌توان به پژوهش Regunathan و همکاران (۲۰۰۵) برای تشخیص میوه مرکبات اشاره کرد. در پژوهش دیگری که توسط Plebe و Grasso (۲۰۰۱) انجام گرفت ابتدا میوه پرتقال براساس اختلاف رنگ تشخیص داده شد و سپس با استفاده از روش مبتنی بر تشخیص الگو، محل آن شناسایی شد.

در تشخیص میوه درختان مرکبات و سیب قرمز، بر تفکیک رنگ تأکید فراوانی شده‌است. این، شاید از آن جهت است که تفاوت رنگ میوه و کنوپی در مرکبات بسیار برجسته است. بنابراین، در تشخیص میوه‌هایی که رنگ آن‌ها تفاوتی با زمینه (رنگ سبز برگ درخت) ندارد باید به دنبال شیوه‌های نوین بود.

سامانه معاینه کیفی و تهیه نقشه عملکرد مرکبات بر اساس ماشین‌بینایی توسط Chinchuluun و همکاران (۲۰۰۷) توسعه‌یافت. آنها از تشخیص الگو برای تعیین میوه‌های پرتقال و در نتیجه عملکرد محصول استفاده‌کردند. در این بررسی الگوریتمی برای پردازش تصویر تدوین شد که می‌توانست میوه را تشخیص دهد و کیفیت آن را پایش کند.

در ابتدا Bulanon و همکاران (۲۰۰۸)، از پرتو فروسرخ (IR) برای تشخیص میوه پرتقال استفاده‌کردند که به علت وابستگی قدرت تشخیص این روش به اختلاف دمای میوه با چتر پوشش درخت[1] و محیط پیرامون و نیز نوسانات‌دمایی، در ادامه کار خود (۲۰۰۹) ترکیبی از تصاویر گرمایی و مرئی به‌کار بردند. آن‌ها تصاویر پرتوهای مرئی و گرمایی را با هم ترکیب کردند تا خطاهای تشخیص هر یک از تصاویر را با مزایای نسبی تصویر دیگر، جبران‌کنند.

1 - Canopy

www.agrimechanization.com

لازم به توضیح است که پیش‌تر Bulanon و همکاران (۲۰۰۲) از تفکیک رنگ برای تشخیص میوه سیب فوجی (قرمز رنگ) استفاده‌کرده‌اند.

در ایران مکانیزاسیون برداشت میوه‌های درختی تا کنون منحصر به استفاده از برداشت کننده‌های مکانیکی، آن هم در موارد بسیار خاص بوده‌است و در برداشت گردو، پسته و زیتون و حتی در مورد سیب گزارش‌هایی شده‌است. امّا تا کنون پژوهشی در مورد برداشت خودکار سیب درختی گزارش نشده است.

متأسفانه در ایران درباره کیفیت سیب برداشت شده توسط ابزارهای مکانیکی گزارشی ارائه نشده است و این ابزار شاید تنها در مواردی مناسب باشد که محصول برداشت شده برای فرآوری به کارخانه‌های صنایع غذایی انتقال داده شود که با همین فرض نیز، صدمات وارده به میوه از عمر انباری آن می‌کاهد.

خواص مواد

وضع ظاهری غذا یکی از عوامل ارزیابی آن است. بنابراین، بخش مهم کنترل کیفی در صنایع غذایی بر اساس بازبینی بصری است. این کار به‌طور سنتی توسط انسان انجام می‌گیرد. جدا از عدم وجود معیارهای ارزیابی عددی قابل اعتماد، ارزیابی بصری توسط انسان وقت‌گیر و هزینه‌بر است (کوشان و عبیدی، ۲۰۰۸؛ Lock و همکاران، ۱۹۹۶).

در عملیات پس از برداشت معمولاً ویژگی‌های بیوفیزیکی محصولات مطرح می‌شود. در مطالعات مختلف در هریک، بخش‌هایی از این ویژگی‌ها مورد نظر هستند که با استفاده از ماشین‌بینایی می‌توان بر دقت آزمایش افزود و در ادامه به چند مورد اشاره می‌شود:

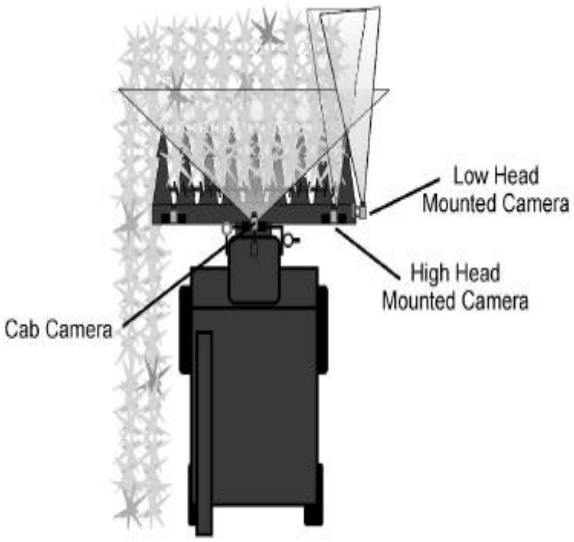
در تحقیقی از روشی ساده مبتنی بر سه قطر اصلی هر محصول، حجم محصولات به کمک سامانه‌ی ماشین‌بینایی برآورد شده است (امیری‌پریان و همکاران، ۱۳۸۵).

همین پژوهشگران، حجم سیب‌زمینی را به کمک تکنیک پردازش تصویر برآورد کردند. در این پژوهش الگوریتمی برای تعیین حجم اجسام ناهمگون از نظر شکل، با اتکا به تحلیل شکلی اجسام، به‌کار برده شده است (امیری پریان و همکاران، ۱۳۸۶). رشیدی و سیفی حجم طالبی را با استفاده از پردازش تصویر برآورد کردند (Rashidi and Seyfi, 2008).

در پژوهش دیگری که توسط امیری‌پریان و همکاران (۲۰۰۷) صورت گرفت، مدلی عملی برای برآورد حجم سیب‌زمینی ارائه شده است. در این روش با تکیه بر ترکیب اطلاعات مدل محاسبات و مشخصات شکلی در تصویر محصول، حجم آن با دقتی برابر با ۹۴ درصد برآورد شده است. در ادامه‌ی این تحقیقات، مدلی عملی بر اساس مشخصات شکلی و مدل تئوری مختص هر محصول، برای تخمین حجم چهار محصول کشاورزی شامل: سیب، پیاز، پسته و سیب‌زمینی؛ برآورد شده‌است (امیری‌پریان و همکاران، ۱۳۸۷).

در پژوهشی که توسط سیگاری و همکاران (۱۳۸۷) انجام گرفت، از بینایی رایانه‌ای برای تخمین مدت زمان خشک‌شدن کدوحلوایی استفاده‌شد. برای این‌منظور، تصویری از یک قطعه کدوحلوایی تهیه گردیده و به سیستم داده شد. سپس با استفاده از الگوریتم‌های پردازش تصویر، محل کدوحلوایی در تصویر تعیین شده و تعدادی از ویژگی‌های آن شامل مساحت، همگنی، کنتراست و آنتروپی تصویر استخراج گردید. ویژگی‌های استخراج شده به یک شبکه عصبی پرسپترون چند لایه داده‌شد تا مدت زمان قرار گرفتن قطعه کدوحلوایی در فرآیند خشک‌شدن را تعیین‌کند.

www.agrimechanization.com



هدایت خودکار

دو سامانه غالب هدایت خودکار عبارتند از: سامانه هدایت مبتنی بر GPS و سامانه هدایت مبتنی بر حس-گر. سامانه‌های هدایت ماشین‌بینایی و RTK GPS هردو بطور اقتصادی برای کنترل کلتیواتورهای مکانیکی بین ردیف‌ها موجود هستند. این سامانه‌ها سطوح مشابهی از دقت تعیین موقعیت در امتداد ردیف‌ها (عموماً با دامنه خطای استاندارد ۲۵ میلی‌متر) را داشته و مزایا و معایبی دارند که در اینجا به آن پرداخته می-شود. سامانه‌های هدایت ماشین‌بینایی نیازمند دیدی معقول از یک خط راهنمای قبلی (به‌طور نمونه ردیف محصول) هستند، در حالی‌که سامانه‌های RTK GPS نیازمند یک دید خوب از آسمان و ایستگاه مبنای RTK GPS هستند که در نزدیکی قرار گرفته و برای امور خاک‌ورزی اولیه می‌توان از آن استفاده کرد. در حال حاضر، هزینه‌های تجهیزات سامانه‌های هدایت ماشین‌بینایی به‌طور قابل توجهی کمتر از هزینه‌های تجهیزات RTK GPS هستند (Slaughter و همکاران، ۲۰۰۸).

در یک سامانه ماشین‌بینایی برای هدایت خودکار خودروی کشاورزی برای کار در محصولات ردیفی، یافتن اطلاعات هدایت از ساختار ردیف محصول، کلید نیل به کنترل دقیق خودرو می‌باشد (Han و همکاران، ۲۰۰۴). رویه‌ای که ایشان اتخاذ کردند شامل بخش‌بندی ردیف، تشخیص ردیف، و انتخاب خط راهنما است. رویه پردازش تصویر با شیوه خط راهنمای هدایت از دو مجموعه داده آزمون به دقت خوبی رسید: برای مجموعه‌ای از تصاویر ردیف سویا، میانگین خطای اریب RMS ۱ سانتی‌متر و برای مجموعه‌ای از تصاویر ردیف ذرت میانگین خطای اریب RMS ۲.۴ سانتی‌متر بود (Han و همکاران، ۲۰۰۴).

Benson و همکاران (۲۰۰۱) پروژه هدایت خودکار را بر روی کمباین کیس ۲۱۸۸ اجرا کردند. در این طرح، سوپاپ فرمان الکتروهیدرولیک، حسگرهای هدایت وسیله و ادوات کنترل وابسته ترکیب شده است. وظیفه کنترل وسیله موتوری بین یک رایانه اصلی هدایت و یک کنترل‌گر مجزای فرمان تقسیم شد. پردازش تصویر آنی در رایانه اصلی هدایت انجام می‌گرفت. چهار دوربین، دو دوربین در دو انتهای بیرونی یک خوشه‌چین ذرت هشت ردیفه، یک دوربین بر روی لبه برش و یک دوربین در بالای کابین، به‌کار گرفته شد.

در این پروژه، سه الگوریتم مختلف ماشین‌بینایی تدوین شد، در آزمایشگاه آزمون شد و در شرایط مزرعه در ایلینوی ارزیابی گردید. موفق‌ترین الگوریتم، از فرآیند کار کاربر پیروی می‌کرد و شامل یک دوربین تکی سوار بر کابین در ارتفاع تقریبی سطح دید بود. از این الگوریتم برای هدایت خودکار کمباین در بیش‌از ۴.۶ هکتار مزرعه معمولی ذرت استفاده شد و نشان داد که سامانه قادر به هدایت کمباین در طول عملیات روز یا شب می‌باشد. البته تغییرات زیاد در روشنایی، عملکرد سامانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Benson و همکاران، ۲۰۰۱).

www.agrimechanization.com

سایر موارد

طبق بررسی‌های انجام گرفته، به‌کارگرفتن ماشین‌بینایی در ایران در مواردی چون تشخیص نطفه تخم مرغ (فروزانمهر و همکاران، ۱۳۸۷)، شناسایی ژنوتیپ‌های گردو(محمودی و همکاران، ۱۳۸۷)، تخمین زمان خشک‌شدن (زابلستانی و طباطبایی فر، ۱۳۸۷)، و خواص هندسی و بیوفیزیکی محصولات مختلف (بستان و رضوی، ۱۳۸۷؛ حسنخانی، ۱۳۸۷) جلوه‌گر بوده است. به‌عنوان نمونه، خواص رنگی و ظاهری برگ و میوه های سه نمونه گردوی تجاری و دو ژنوتیپ با استفاده از پردازش‌تصویر برای شناسایی ژنوتیپ‌های گردو بررسی شده است (محمودی و همکاران، ۱۳۸۷).

فروزانمهر و همکاران نیز نرم‌افزاری به منظور ارزیابی ماشین‌بینایی در انتخاب تخم مرغ‌های نابارور، با استفاده از الگوریتم‌ها و تکنیک‌های پردازش تصویر برای تشخیص و جداسازی تصاویر تخم مرغ‌های دارای جنین از آنهایی که فاقد جنین می‌باشند، تهیه و ارزیابی کردند (فروزانمهر و همکاران، ۱۳۸۷).

مشعشعی و همکاران (۱۳۸۶) برای جدا کردن بندهای نیشکر دستگاهی تحقیقاتی مبتنی بر ماشین‌بینایی را ساختند. ایشان با بهره‌گیری از ماشین‌بینایی موقعیت نقاط برش قلمه‌های نیشکر را تعیین کرده و با به‌کار انداختن واحد کار انداز، گره‌ها را از نیشکر جدا کردند.

جمع‌بندی و پیشنهاد

ماشین‌بینایی دارای کاربرد وسیعی در صنایع و کشاورزی است که از نیم قرن گذشته، با اقبالی روزافزون، کارایی آن رشد چشم‌گیری داشته است. گزارش‌ها و مقالات زیادی در این زمینه در جهان منتشر شده و در ایران نیز تعداد معدودی کار تحقیقی اجرا شده است. علیرغم توانایی بالقوه این شاخه از علم، در کشاورزی ایران تا کنون توجه درخوری به آن نشده است. کاربرد ماشین‌بینایی در پژوهش‌های کشاورزی ایران محدود شده‌اند به طرح‌های پراکنده‌ای که حداکثر خروجی آن مقاله است و کیفیت کارها خیلی بالا نبوده است. بخش عمده تمرکز پژوهشگران صرف کار بر روی بخش کوچکی از کاربرد این علم بوده است که امید می‌رود با گسترش امکانات و توجه شایسته پژوهشگران، شاهد عمق بخشیدن به تحقیقات نیز باشیم.

در تحقیقات پژوهشگران ایرانی به کاربرد ماشین‌بینایی در هدایت خودکار ماشین‌های مزرعه، پایش محصول، خودکار سازی کاشت، داشت و برداشت، و علوم دام، طیور و شیلات توجه درخوری نشده که با عنایت به میدان گسترده پیش‌رو، انتظار می‌رود به این موارد نیز پرداخته شود.

فهرست منابع

امیری‌پریان، ج.، خوش‌تقاضا، م.ه.، کبیر، ا.، مینایی،س.، ۱۳۸۵، تعیین حجم با استفاده از پردازش تصویر برای کاربرد در بینایی ماشین جهت درجه‌بندی و جداسازی محصولات کشاورزی، دومین همایش و نمایشگاه بزرگ صنایع غذایی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

امیری‌پریان، ج.، خوش‌تقاضا، م.ه.، کبیر، ا.، ۱۳۸۷، مدلی برای برآورد حجم محصولات کشاورزی با کاربرد ماشین-بینایی، پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، مقاله شماره ۴۳۳.

www.agrimechanization.com

امیری‌پریان، ج.، خوش‌تقاضا، م.ه.، کبیر، ا.، مینایی، س.، ۱۳۸۶، برآورد حجم سیب‌زمینی با استفاده از پردازش تصویر، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد:۸، شماره: ۴، صفحه ۱۲۶-۱۱۳.

بستان،ا.، رضوی، س.م.ع.، ۱۳۸۷، استفاده از تکنیک پردازش تصویر در اندازه‌گیری خواص هندسی دانه‌های کوچک، پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، مقاله شماره ۵۰۸.

حسنخانی، ر.، ۱۳۸۷، بررسی خواص فیزیکی محصول سیب‌زمینی با استفاده از سیستم ماشین‌بینایی، پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، مقاله شماره ۶۱۰.

خوشخوی، م.، شیبانی، ب.، روحانی، ا.، تفضلی، ع.، ۱۳۸۵، اصول باغبانی، انتشارات دانشگاه شیراز، شماره ۱۸۶.

خیریه، م.، مهارلویی، م.م.، 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.

زابلستانی، م.، طباطبایی‌فر، س.ا.، ۱۳۸۷، تأثیر میزان رطوبت بر سرعت حد مغز بادام، پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، مقاله شماره ۵۰۰.

سیگاری، م.ح.، سیگاری، ح.، مزینی، ن.، ۱۳۸۷، تخمین زمان خشک‌شدن مواد غذایی با استفاده از بینایی کامپیوتر و شبکه‌عصبی (مطالعه موردی کدوحلوایی)، پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، مقاله شماره ۵۵۲.

فروزان‌مهر، س.ا.، محبیب‌اللهی، م.، علوی، س.ن.، فروزان‌مهر، س.ا.، ۱۳۸۷، پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، مقاله شماره ۵۹۲.

کفاشان، ج.، صدرنیا، ح.، رامون، ه.، تیسکینز، ب.، ۱۳۸۷، خواص دینامیکی نقاط مختلف میوه در آزمون ضربه، پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، مقاله شماره ۶۱۲.

محمودی، م.، خزایی، ج.، وحدتی، ک.، ۱۳۸۷، شناسایی ژنوتیپ‌های گردو با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر و شبکه عصبی، پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، مقاله شماره ۱۲۰.

مشعشعی، ک.، الماسی، م.، مینایی، س.، برقعی، ع.م.، ۱۳۸۶، تعیین پارامترهای مهندسی برای طراحی یک سیستم تشخیص و جداکن تک‌بندهای نیشکر از طریق کاربرد ماشین‌بینایی و پردازش تصویر، رساله دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.

وبسایت ویکیپدیا، http://fa.wikipedia.org

Alchanatis, V., Y. Kashti, R. Brikman, 2002. A machine vision system for evaluation of planter seed spatial disturibution. Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific esearch and Development, Manuscript IT 01 005. Vol. IV. April.

Amiriparian, J., Khoshtaghaza, M.H., Kabir, E., Minaee, S., 2007, A Practical Method for Volume Estimation of Potato by Image Processing, 3rd International CIGR, Food and agricultural Products: Processing and Innovations, Naples, Italy.

www.agrimechanization.com

Benson, E.R., J.F. Reid and Q. zhang, 2001. Machine Vision Based Steering System for Agricultural Combines. ASAE Annual International Meeting, Paper Number: 01-1159.

Brown, G.K., Marshall, D.E., Tennes, B.R., Booster, D.E., Chen, P., Garrett, R.E., O'Brien, M., Studer, H.E., Kepner, R.A., Hedden, S.L., Hood, C.E., Lenker, D.H., Millier, W.F., Rehkugler, G.E., Peterson, D.L., Shaw, L.N., 1983, Status of Harvest Mechanization of Horticultural Crops. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Bulanon, D.M., Burks, T.F., Alchanatis, V., 2009, Image fusion of visible and thermal images for fruit detection, Biosystems Engineering, 103, 12-22.

Bulanon, D.M., Burks, T.F., Alchanatis, V., 2008, Study on Temporal Variation in Citrus Canopy Using Thermal Imaging for Citrus Fruit Detection, Biosystems Engineering, 101(2), 161–171.

Bulanon, D.M., Kataoka, T., Ota, Y., Hiroma, T., 2002, A Segmentation Algorithm for the Automatic Recognition of Fuji Apples at Harvest, Biosystems Engineering, 83 (4), 405–412.

Chinchuluun, R., Lee, W.S., Ehsani, R., 2007, Citrus Yield Mapping System on a Canopy, Shake and Catch Harvster, ASABE Annual International Meeting, Paper Number: 073050.

Gonzalez, R.C., Woods, R.E., Eddins, S.L., 2004, Digital Image Processing Using MATLAB, Pearson Education, Inc.

Gripentrog, H.W., Christensen, S., Sogaard, H.T., Norremark, M., Lund, I, Graglia, E., 2004, Robotic Weeding, AgEng2004-Engineering the Future, Leuven, Belgium.

Han, S., Q. Zhang, B. Ni, J.F. Reid, 2004. A guidance directrix approach to vision-based vehicle guidance systems. Computers and Electronics in Agriculture 43 179–195.

Jimenez, A.R., Ceres, R., Pons, J.L., 2000, A Survey of Computer Vision Methods for Locating Fruit on Trees, Transaction of the ASAE, Vol. 43(6): 1911-1920.

Kepner, R.A., Bainer, R., Borger, E., 1978, Principles of farm machinery, John Wiley, New York, PP.571.

Koschan, A., M. Abidi, 2008. Digital color image processing. John Wiley & Sons, Inc., Publication. Hoboken, New Jersey.

Levi P., Falla, R., Pappalardo, R., 1988, Image controlled robotics applied to citrus fruit harvesting, Procedures ROVISEC-VII, Zurich.

Lock, P., P. Mikkelsen. And K. Thomsen, 1996. Advanced color analysis for the food industry: It's here now. AdvancedImaging, November, pp. 12- 16.

Okamoto, H., Lee, W.S., 2009, Green citrus detection using hyperspectral imaging, Computers and Electronics in Agriculture, 66, 201–208.

Peterson, D.L., 2005, Harvest Mechanization Progress and Prospects for Fresh Market Quality Deciduous Tree Fruits, Hortechnology Junuary-March 15(1).

Peterson, D.L., Miller, S.S., Whitney, J.D., 1994, Harvesting Semidwarf Freestanding Apple Trees with an Over-the-row Mechanical Harvester, Journal of American Society of Horticultural Science, 119:1114-1120.

Peterson, D.L., Wolford, S.D., 2003, Fresh-Market Quality Tree Fruit Harvester Part II: Apples, Applied Engineering in Agriculture, Vol. 19(5): 545–548.

Plebe, A., Grasso, G., 2001, Localization of spherical fruits for robotic harvesting, Machine Vision and Applications, 13: 70–79.

Pratt, W.K. 2007. Digital image processing. Fourth edition. John Wiley & Sons, Inc., Publication. Los Altos, California.

Rashidi, M., Seyfi, K., 2007, Determination of Cantaloupe Volume Using Image Processing, World Applied Sciences Journal, 2 (6): 646-651.

Regunathan, M., Lee, W.S., 2005, Citrus Fruit Identification and Size Determination Using Machine Vision and Ultrasonic Sensors, ASAE Annual International Meeting, Paper Number: 053017.

Robinson, T, Lakso, A., 1991, Basis of yield and production efficiency in apple orchard systems, Journal of American Society of Horticultural Science, 116(2): 188–194.

www.agrimechanization.com

Robinson, T.L., Miller, W.F., Throop, J.A., Gapenter, S.G., Lakso, A.N., 1990, Mechanical Harvestability of Y-shaped and Pyramid-shaped 'Empire' and 'Delicious' Apple Trees, Journal of American Society of Horticultural Science, 115:268-274.

Slaughter, D.C., Giles, D.K., Downey, D., 2008, Autonomous Robotic Weed Control Systems: A Review, Computer and Electronics in Agriculture, 61, 63-78.

Tangwongkit, R., Salokhe, V.M., Jayasuriya, H.P.W., 2006, Development of a Real-time Variable Rate Herbicide Applicator Using Machine Vision for Between-row Weeding of Sugarcane Fields, Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript PM 06 009. Vol. VIII.

www.agrimechanization.com