مروری کوتاه بر کاربردهای سامانه بینایی استریو در کشاورزی دقیق

زهرا فرجی مهیاری[۱]، شاهین رفیعی[۲]*، سلیمان حسین‌پور[۳]، خدیجه فرجی مهیاری[٤]

۱- دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تهران- پردیس‌کشاورزی و منابع طبیعی

۲- استاد، دانشگاه تهران- پردیس‌کشاورزی و منابع طبیعی

۳- استادیار، دانشگاه تهران- پردیس‌کشاورزی و منابع طبیعی

٤- مربی، دانشگاه آزاد اسلامی- واحد شهرری

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: shahinrafiee@ut.ac.ir

چکیده

سامانه‌هایی که بتوانند به طور خودکار موقعیت اجسام را ارائه دهند می‌توانند بسیار مفید باشند. در سال‌های اخیر، گسترش تکنولوژی حسگرهای دوربین، کاهش قیمت دوربین‌های با کیفیت بالا و نیز افزایش توان محاسباتی رایانه‌ها موجب اهمیت سامانه‌های کنترلی مبتنی بر دوربین از جمله بینایی استریو گردیده است. بینایی استریو یک سامانه مبتنی بر ماشین بینایی و پردازش تصویر است. در این سامانه با استفاده از دو دوربین، مختصات سه بعدی ویژگی‌های سطح جسم اندازه‌گیری می‌شود؛ سپس موقعیت آن در فضای سه بعدی تعیین و به ربات ارسال می‌گردد. بر این اساس می‌توان از سامانه بینایی استریو در کاربردهایی که به موقعیت‌یابی دقیق نیازمندند، بهره گرفت. ظهور فناوری کشاورزی دقیق موجب شد که مسائلی چون تشخیص هدف، تعیین مکان و یا ارتفاع هدف در عرصه کشاورزی مطرح شود. بینایی استریو، یک روش اندازه‌گیری غیر فعال، غیر مخرب، بدون تماس و ارزان قیمت است. همین ویژگی‌ها موجب گردیده تا بینایی استریو در حوزه کشاورزی دقیق نیز مورد توجه قرار گیرد. در این پژوهش سعی می‌شود که به معرفی مهم‌ترین و متداول‌ترین کاربردهای بینایی استریو در کشاورزی دقیق بپردازیم.

واژه‌های کلیدی: ماشین بینایی، تصویربرداری سه بعدی، بینایی استریو، کشاورزی دقیق.

مقدمه

کاربرد ماشین بینایی، به عنوان یکی از شاخه‌های هوش مصنوعی، در دهه ۱۹٦۰ آغاز شد. ماشین بینایی عبارت است از گرفتن تصویر و پردازش آن که امکان ارزیابی واقعی و غیر مخرب پدیده‌های فیزیکی را فراهم می‌کند. ماشین بینایی می‌تواند در هر جایی که نیاز است تا ماشین به جای انسان ببیند، مورد استفاده قرار گیرد و به کاهش هزینه، خطا و در نتیجه

بهبود عملکرد بیانجامد. با این حال یکی از مزایای بینایی انسان قابلیت درک محیط سه بعدی است در حالی که سامانه‌های پردازش تصویر و ماشین بینایی معمولاً در دو بعد کار می‌کنند.

یکی از تحولات اخیر در زمینه ماشین بینایی، تصویربرداری سه بعدی است که در آن به موجب بهره‌گیری از الگوریتم‌ها و ابزارهای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری خاص می‌توان موقعیت هر نقطه را در بعد سوم نیز پردازش و سنجش نمود. روش‌های مختلفی برای تصویربرداری سه بعدی وجود دارد. در بالاترین سطح می‌توان این روش‌ها را به دو گروه تماسی و غیر تماسی تقسیم‌بندی نمود (سنگی، ۱۳۸۸). با توجه به اینکه در بسیاری از کاربردها امکان تماس مستقیم با جسم و جابجایی آن وجود ندارد، روش‌های غیر تماسی در عمل از کاربرد بیشتری برخوردار هستند. بینایی استریو از جمله روش‌های غیر تماسی است که در سال‌های اخیر توسعه یافته است. در بینایی استریو، با مقایسه دو تصویر از یک صحنه که از زوایای مختلف برداشته شده‌اند، فاصله نقاط از دوربین یا همان بعد سوم محاسبه می‌شود. بدین ترتیب، با افزودن بعد سوم به مختصات محلی هر نقطه، یک مختصات دکارتی سه بعدی ایجاد می‌شود که جزئیات صحنه را متناسب با وضوح تصاویر بدست آمده توصیف می‌کند (Rosell and Sanz, 2012). اساس این روش، تفاوت جابه‌جا شدن نقاط مختلف تصویر با جابه‌جایی دوربین است، به این صورت که نقاط دورتر از دوربین، کمتر و نقاط نزدیک‌تر، بیشتر جابه‌جا می‌شوند (Correal et al., 2013Y; Rovira Más et al., 2010).

موضوع بینایی استریو در زمینه‌های ماشین بینایی، بینایی کامپیوتر، واقعیت مجازی (Lin et al., 2008)، هدایت ربات (Michalos et al., 2012)، اندازه‌گیری عمق، بازسازی محیط (Zhaoa and Wang, 2010) و جنبه‌های دیگری همچون ساخت و تولید (Lee et al., 2013)، امنیت، دفاع، اکتشاف، و سرگرمی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. امروزه، همگرایی حوزه‌های مختلف تخصصی منجر به تداخل زمینه‌هایی مانند کشاورزی دقیق، رباتیک، و ماشین بینایی شده است. بینایی استریو با برداشت اپتیکی تصاویر دیجیتالی از اشیاء به یکی از ابزار معمول داده‌برداری تبدیل شده است و استفاده از آن به عنوان حسگر تشخیص سه بعدی اشیاء، روش ارزان قیمتی فراهم می‌نماید. بنابراین نگاهی کوتاه بر کاربردهای سامانه بینایی استریو در عرصه کشاورزی دقیق نیز می‌تواند مفید باشد.

بینایی استریو در کشاورزی

موقعیت و فاصله اجسام جزء اطلاعات ورودی مهم و کاربردی در اکثر سامانه‌های کنترلی به شمار می‌آیند که دقت و صحت آن‌ها در عملکرد دقیق و به موقع آن سامانه نقش بسزائی دارد. دسترسی به این اطلاعات در دهه گذشته، توسعه برنامه‌های متعددی در چارچوب کشاورزی دقیق را به همراه داشته است. بنابراین تعیین این پارامترها از محورهای اساسی در کشاورزی دقیق و از مهم‌ترین زمینه‌های تحقیقاتی در بینایی ماشین و کامپیوتر است که توسط سامانه بینایی استریو انجام می‌شود. در حال حاضر، بینایی استریو کاربردهای گسترده‌ای در کشاورزی دارد که در ادامه به برخی از مهم‌ترین و متداول‌ترین موارد کاربرد آن در کشاورزی دقیق می‌پردازیم.

تهیه نقشه‌های سه بعدی از مزرعه

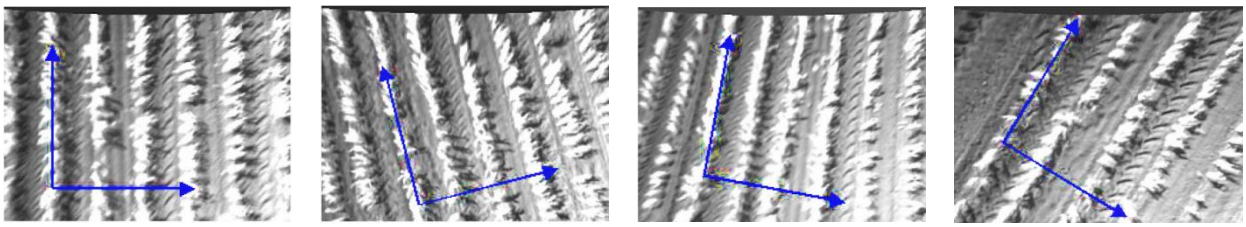
اجرای عملی کشاورزی دقیق به منابع جغرافیایی وابسته است. در واقع اجرای عملیات خودکار کشاورزی مستلزم کنترل متغیرها در هر نقطه از مزرعه در زمان واقعی است. از توالی زمانی متغیرهای کنترل شده، نقشه عملیاتی مزرعه ایجاد می‌شود. اما، این نقشه‌ها اغلب در دو بعد نمایش داده و با سطح وضوح معمولی توسط ماهواره‌های مبتنی بر تصویر ایجاد می‌شوند (Rovira Más et al., 2010). نسل نقشه‌های سه بعدی زمین (که مزرعه مجازی نیز نامیده می‌شوند)، موقعیت‌یابی جهانی را با وضوح بالا و درک موقعیت سه بعدی همراه با اطلاعات رنگی در زمان واقعی ارائه می‌کنند (Bhatti, 2011; Rovira Más et al., 2008).

در ابتدا از تصاویر هوایی گرفته شده توسط هلیکوپتر کنترل از راه دور، برای ایجاد نقشه‌های سه بعدی استفاده می‌شد. اما مشکل اصلی این روش، جهت‌گیری مختلف تصاویر هوایی و همچنین تصویربرداری از ارتفاعات مختلف است که نماهای مختلفی از مزرعه را بدست می‌دهد (شکل ۱) (Rovira Más et al., 2010; Rovira Más et al., 2005).

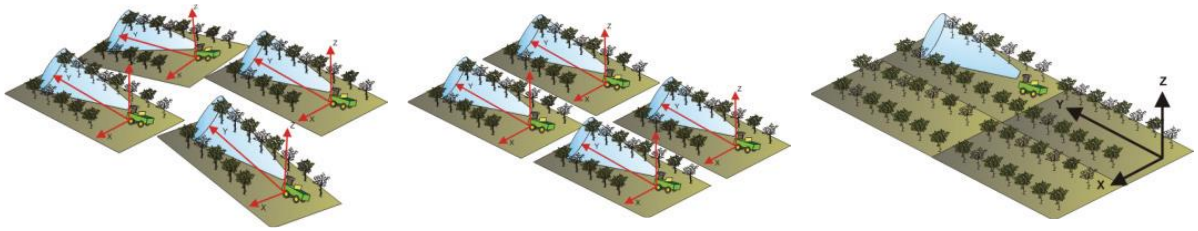
راه حل جالب‌تر و راحت‌تر، قرار دادن موتور نقشه‌برداری استریو بر روی ماشین‌های کشاورزی است تا در حین انجام امور زراعی، نقشه‌برداری نیز انجام شود. این کار توسط رویرامس[1] و همکاران (۲۰۰۸) انجام شد. ایجاد مزرعه مجازی بر اساس مجموعه‌ای از تصاویر استریو بدین صورت انجام می‌گیرد که وسیله نقلیه در حین حرکت در یک مسیر (نه الزاماً مستقیم) تصویربرداری استریو را انجام می‌دهد و بلافاصله آن‌ها به توده‌ای از نقاط سه بعدی تبدیل می‌شوند (شکل ۲). این نقاط پس از تبدیل مختصات دوربینی به مختصات زمینی وسیله نقلیه، نقشه‌های سه بعدی را تشکیل می‌دهند. هر تصویر استریو به منزله یک نقشه محلی است. ادغام نقشه‌های محلی با یکدیگر بر اساس مختصات جهانی، یک نقشه منحصر به فرد و منسجم ایجاد می‌کند؛ به گونه‌ای که فاصله ردیف‌ها و جهت‌گیری در مزرعه مجازی و نقشه‌های محلی با هم مشابه هستند (شکل سمت راست در شکل ۲) (Bhatti, 2011). بنابراین می‌توان از نقشه سه بعدی مزرعه جهت طراحی نقشه مسیر و جهت‌یابی (Correal et al., 2013)، شناسایی و اندازه‌گیری ارتفاع، حجم و فاصله بین ردیف‌های محصول (Kise et al., 2008) استفاده نمود. این امر به خصوص در زمینه هدایت خودکار و قابل اعتماد ادوات در مزرعه اهمیت دارد.

با توجه به اینکه، معمولاً انتقال مستقیم ناهمواری‌های سطح مزرعه از طریق محل اتصال چرخ و زمین به تراکتور در حال حرکت منجر به حرکات نامنظم و کاهش ثبات حرکتی تراکتور می‌گردند؛ استفاده از نقشه‌های سه بعدی در پیش‌بینی وضعیت حرکتی و واژگونی تراکتور نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این نقشه‌ها نه تنها شیب سطح مزرعه را نشان می‌دهند بلکه گویای ناهمواری‌های آن نیز هستند. برای ایجاد مزرعه مجازی سه بعدی و نمایش شیب و ناهمواری‌های پیش روی خودروی در حال حرکت در سطح مزرعه، لازم است که مکان نقاط سه بعدی در تصاویر استریو را از مختصات دوربین به مختصات زمینی مزرعه (که مبدأ آن بر مرکز ثقل تراکتور منطبق است) تغییر دهیم و از آنجایی که سامانه‌های استریو فقط سطح زمین را نسبت به خودروی سکودار نمایش می‌دهند، باید زاویه گردش، شیب سکو و زاویه کف را بدست آورد تا نقشه سه بعدی نسبت به مختصات زمین ایجاد شود (Kise et al., 2005; Kise and Zhang, 2006; Kise and Zhang, 2006).

[1] Rovira Más



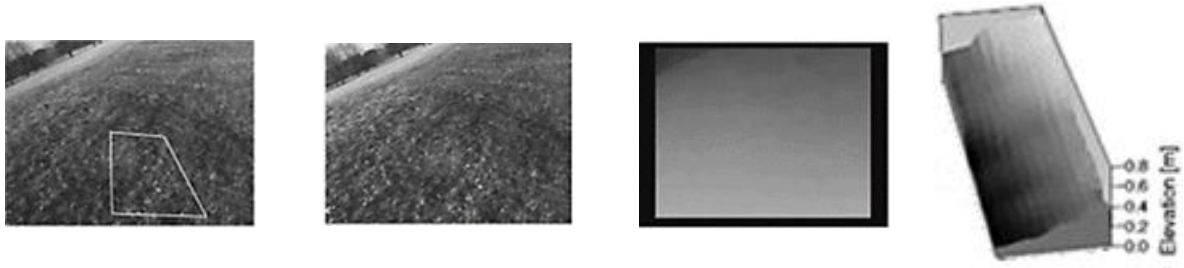
شکل ۱- تصاویر هوایی گرفته شده از یک مزرعه ذرت با جهت‌گیری‌های مختلف (Rovira Más et al., 2005).



شکل ۲- تولید نقشه سراسری از نقشه‌های محلی مبتنی بر استریو (Bhatti, 2011).

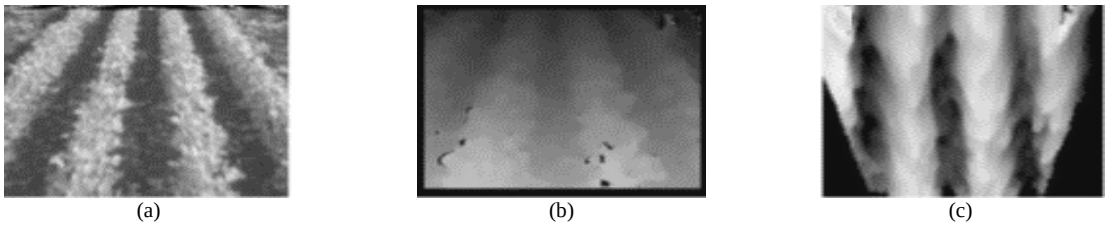
مزرعه مجازی سه بعدی به شکل یک ماتریس ظاهر می‌شود که هر عنصر آن ارتفاع مکان‌های منطبق بر آن را نشان می‌دهد. این مزرعه مجازی یک فضای کافی بزرگ را برای خودرو فراهم و سطح مجازی سه بعدی مزرعه واقع در جلوی تراکتور را بازسازی می‌کند.

نظر به این که در این گونه کاربردها، هدف اصلی بازسازی زمین به منظور برنامه‌ریزی مسیر و جهت‌یابی است، باید بیشترین تعداد اختلاف مکانی‌های ممکن را بدست آورد. بنابراین، معمولاً در فرایند تناظریابی از روش‌های مبتنی بر ناحیه استفاده می‌شود، که در آن تعداد تطبیق‌های ممکن، ذاتاً بالا است (Correal et al., 2013). شکل ۳ یک نمونه مزرعه مجازی را نشان می‌دهد که با استفاده از اطلاعات تصویر اختلاف، صحنه مزرعه بازسازی شده است. تصاویر استریوی مورد استفاده از زاویه دید تراکتور در حال حرکت گرفته شدند. چهارگوش سفید در تصویر سمت چپ بیان‌گر ناحیه مورد نظر از نقشه سه بعدی سطح زمین است (Kise and Zhang, 2006). شکل ٤ نیز بازسازی سه بعدی ردیف‌های محصول به کمک نقشه‌های سه بعدی زمین را نشان می‌دهد.



(a) (b) (c) (d)

شکل ۳- مثالی از ایجاد نقشه سه بعدی زمین. (a) تصویر سمت چپ با یک چهارگوش سفید که ناحیه مورد نظر از نقشه سه بعدی سطح زمین را نشان می‌دهد؛ (b) تصویر سمت راست، (c) نقشه اختلاف محاسبه شده از تصاویر چپ و راست، (d) نقشه زمین بازسازی شده بر اساس اطلاعات نقشه اختلاف (Kise and Zhang, 2006).



(a) (b) (c)

شکل٤- مثالی از ایجاد نقشه سه بعدی ردیف‌های محصول: (a) تصویر اصلی (دوربین سمت چپ). (b) نقشه اختلاف؛ و (c) نقشه سه بعدی ردیف‌های محصول. سطح خاکستری در (b) و (c) بیانگر میزان ارتفاع است (نواحی روشن تر، ارتفاع بالاتر را نشان می‌دهند.) (Kise and Zhang, 2008).

شناسایی و مکان‌یابی موانع موجود در مزرعه

ماشینی شدن کشاورزی یکی از مهم‌ترین دستاوردهای مهندسی قرن بیستم بود. هر چند این ماشینی شدن به کشاورزان در تولید محصولات کمک کرد اما محیط کار را نیز برای آن‌ها پر مخاطره کرد. از این رو تشخیص و شناسایی موانع (به خصوص افراد در حال کار) در ایمنی عملکرد تراکتورهای خودکار از اهمیت بالایی برخوردار است.

تعیین فاصله در زمان واقعی و بدون نیاز به پرتونگاری از مزیت‌های بینایی استریو به عنوان یک حسگر تشخیص مانع است. سامانه بینایی استریو این امکان را فراهم می‌سازد که در ابتدا موانع توسط دوربین تشخیص داده شوند و سپس فاصله تقریبی بین وسیله نقلیه و مانع محاسبه گردد. اگر مانع در حال نزدیک شدن باشد، وسیله نقلیه متوقف می‌شود؛ و در صورتی که مانع در حال دور شدن باشد، وسیله نقلیه با سرعت کمتری به حرکت خود ادامه می‌دهد. از آنجایی که معمولاً تجهیزات در عقب تراکتور نصب می‌شوند و حوادث اغلب در قسمت عقب رخ می‌دهند؛ اطمینان از ایمنی در جلوی تراکتور خودکار کافی نیست بلکه در هنگام کار و حرکت آن، باید از برقراری ایمنی در تمامی جهات اطمینان حاصل نمود. این امر مستلزم شناسایی و مکان‌یابی موانع در پیرامون تراکتور خودکار است. بینایی استریوی تمام جهته[2] این امکان را فراهم می‌سازد که علاوه بر وضعیت حرکت، وضعیت ثابت تراکتور خودکار نیز در نظر گرفته شود تا همیشه در مرحله شروع به حرکت و

[2] Omni-directional Stereo Vision (OSV)

دور زدن، تراکتور متوقف گردد و از ایمن بودن محیط قبل از پیشروی بیشتر اطمینان حاصل شود. دستگاه بینایی استریوی تمام جهته با استفاده از یک دوربین استریوی دوار (Lin et al., 2008)، دو دوربین تمام جهته کاتادیوپتریک[3] (Andreasson et al., 2007; Lima et al., 2001) و یا ترکیب دو دوربین تمام جهته چند لنزی (Yang and Noguchi, 2012) ساخته می‌شود. آزمایشات مزرعه‌ای نشان می‌دهد که می‌توان از این سامانه به عنوان یک سامانه کمکی برای کنترل محیط کار تراکتور خودکار در طول روز استفاده نمود (Yang and Noguchi, 2012).

هدایت و کنترل ربات‌های گلخانه‌ای

آخرین دستاوردهای فن‌آوری و تحقیقات به طور فزاینده‌ای در کشاورزی استفاده می‌شود، به خصوص در زراعت‌های عمقی و برای اطمینان از بازده مناسب. اکثر زراعت‌های گلخانه‌ای در این دسته قرار می‌گیرند، که با وجود سطح نسبتاً بالای فن‌آوری در گلخانه‌ها، اما هنوز هم اکثر عملیات به صورت دستی و توسط نیروی انسانی انجام می‌شود که اغلب نیازمند به تکرار در دفعات زیاد و خطرناک هستند. این امر تا حد زیادی بر کیفیت محصول، هزینه تولید و مسائل جانبی، از قبیل آلودگی و ایمنی تأثیرگذار است.

ربات‌ها در گلخانه‌ها برای انجام انواع عملیات داشت و برداشت به کار می‌روند. نقشه مسیر حرکت ربات در محیط گلخانه و موقعیت اجزای مختلف گیاه به عنوان ورودی بلادرنگ ربات‌های گلخانه‌ای به شمار می‌آیند.

در سال‌های اخیر ماشین بینایی در زمینه‌های مختلفی مورد توجه قرار گرفته است؛ به ویژه در بخش کشاورزی که تمایل به استفاده از سامانه‌های خودکار با هزینه تولید کم، مدیریت کارآمد و حفاظت از سلامت انسان، زیاد است. در اوایل سال ۱۹۹۰، نمونه‌های اولیه ربات برداشت معرفی شد (Xia et al., 2009). حدود ۲۰ سال بعد، با توسعه ماشین بینایی و رباتیک، تکنیک‌های مختلفی برای انجام عملیات خودکار کشاورزی ارائه شد (Xia et al., 2009). امروزه، با تمرکز بر بینایی استریو برای مکان‌یابی اهداف با استفاده از ساختار یک دوربینه و یا دو دوربینه (Li et al., 2011) ، بیشتر ربات‌های کششی سیار گلخانه‌ای بر اساس بینایی کار می‌کنند. برخی از محققان از بینایی استریو در ربات‌های گلخانه‌ای برای شناسایی و مکان‌یابی قسمت‌های مختلف محصول (مانند میوه، ساقه و برگ) بهره گرفتند.

وان هنتن[4] و همکاران (۲۰۰۲) یک ربات برداشت خیار در گلخانه طراحی کردند که برای شناسایی خیار و مکان‌یابی آن به منظور برداشت محصول از روش بینایی استریو بهره گرفتند. در این ربات از دو دوربین با طیف‌های ۸۵۰ و ۹۷۰ نانومتر استفاده شد. بازتاب نور در هر دو طیف یکسان بود؛ اما انعکاس نوری محصول در طیف ۸۵۰ نانومتر بیشتر بود. بر این اساس، شناسایی محصول و سپس تعیین موقعیت آن نیز انجام می‌گرفت. همچنین ربات‌های گلخانه‌ای برداشت فلفل شیرین (Kitamura and Oka, 2005) و گوجه‌فرنگی (Yang et al., 2007) نیز با بهره‌گیری از بینایی استریو توسعه یافت.

راث[5] و کاولک[6] (۲۰۰۹) یک ماشین آزمایشگاهی برای برداشت گل ژربرا[7] طراحی و در آن از روش بینایی استریو به کمک فیلتر مادون قرمز برای شناسایی گل استفاده کردند. با قرار دادن گل روی یک میز گردان، تصویربرداری از هشت زاویه

[3] Catadioptric
[4] Van Henten
[5] Rath

مختلف انجام می‌گرفت. سپس مدل سه بعدی گل بدست می‌آمد و محل جدا شدن گل از ساقه مشخص و به ربات ارسال می‌شد.

شیا[8] و همکاران (۲۰۰۹) از بینایی استریو برای تعیین موقعیت سه بعدی برگ به منظور هدایت ربات سمپاش خودکار استفاده کردند. سامانه طراحی شده شامل یک دوربین بود که توسط بازوی رباتیکی جابه‌جا می‌شد. در مرحله اول، عملیات تصویربرداری با استفاده از این سامانه بینایی انجام می‌گرفت و نقشه اختلاف که حاوی اطلاعات عمق برگ‌های گیاه است محاسبه می‌شد. پس از پردازش نقشه اختلاف، برگ‌ها قطعه‌بندی و عمق آن‌ها نسبت به مختصات محلی دوربین اندازه‌گیری شد؛ در نهایت مختصات محلی دوربین به مختصات ربات تبدیل می‌شد تا کنترل ربات را یکنواخت سازد.

باس[9] و همکاران (۲۰۱٤) نیز از روش بینایی استریو برای مکان‌یابی ساقه فلفل شیرین در شرایط آزمایشگاهی و گلخانه‌ای بهره گرفتند. آن‌ها از یک سیم پشتیبان که در اطراف ساقه پیچ خورده بود به عنوان نشانه بصری استفاده کردند.

در ایران نیز کهن (۱۳۹۰) یک ماشین برداشت برای گل محمدی طراحی و ارزیابی کرد. این ماشین از سه بخش بینایی، سامانه کنترل و دستکار برداشت تشکیل شده است. در بخش بینایی، از روش بینایی استریو برای شناسایی و تعیین موقعیت گل‌ها استفاده شد و عملیات تصویربرداری تحت شرایط نوری مختلف و در دو محیط باز و بسته انجام گرفت.

تجزیه و تحلیل شکل هندسی گیاهان

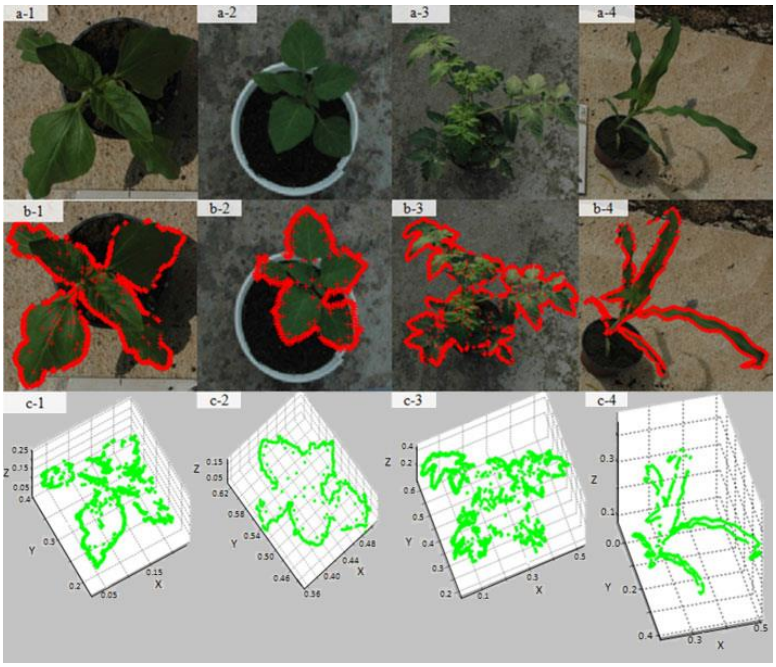
تجزیه و تحلیل شکل هندسی گیاهان در کشاورزی دقیق از اهمیت بالایی برخوردار است. در این میان برآورد شاخص‌های رشد محصول، پایه و اساس مدل‌سازی‌های بیولوژیکی و مدیریتی را تشکیل می‌دهد. به عنوان مثال شاخص‌هایی مانند حجم ردیف، ارتفاع و عرض محصول، مساحت برگ، و پژمردگی گیاه می‌توانند برای محاسبه نرخ رشد و توصیف عکس‌العمل گیاه نسبت به ورودی‌ها و شرایط محیطی مفید باشند.

روش‌های مستقیم اندازه‌گیری شاخص‌ها علیرغم سادگی و قابل اعتماد بودن بسیار زمان‌بر هستند. در مقابل روش‌های مبتنی بر بینایی امکان اندازه‌گیری غیر مخرب شاخص‌های گیاه را فراهم می‌سازند. در این روش‌ها معمولاً از تک تصاویر دو بعدی برای برآورد شاخص‌ها استفاده می‌شود که البته دقت آن‌ها از موقعیت تصویربرداری و تراکم گیاهی (به عنوان مثال، هم‌پوشانی تاج‌ها) تأثیر می‌پذیرد و به ویژگی‌های دو بعدی محدود می‌شوند (Lati et al., 2013, a). امروزه با افزایش قدرت محاسباتی، بینایی استریو به جایگزینی مناسب برای ارائه دقیق شاخص‌های گیاه تبدیل شده است. این روش با تخمین بعد سوم صحنه از طریق مقایسه دو تصویر گرفته شده در زمان‌های مختلف و تعیین ساختار سه بعدی پوشش گیاهی، اطلاعات مهمی برای کابردهای کشاورزی از جمله مشاهده شرایط رشد محصول (Lati et al., 2013, a; Lati et al., 2013, b; Flora Yeh et al., 2014; Mizuno et al., 2007)، و تخمین شاخص‌های فیزیکی محصول (Shrestha et al., 2003; Cantón et al., 2012; Leemans et al., 2012)، فراهم می‌سازد (Kise and Zhang, 2008). برآورد این شاخص‌ها پس از شکل‌گیری مدل سه بعدی

[6] Kawollek
[7] Gerbera
[8] Xia
[9] Bas

گیاه ممکن می‌شود (شکل ۵). به عنوان مثال، ارتفاع گیاه به صورت فاصله عمودی مبدأ تا بالاترین نقطه تعریف می‌شود یعنی مقدار بیشینه فاصله از دوربین، به عنوان ارتفاع گیاه در نظر گرفته می‌شود (Lati et al., 2013, a). با توجه به اینکه سامانه بینایی استریو، امکان استخراج هم‌زمان اطلاعات رنگ و فاصله را فراهم می‌سازد؛ بنابراین می‌توان فاصله آستانه گیاه را بر اساس ارتفاع و رنگ آن مورد تجزیه و تحلیل قرار داد و از آن برای تشخیص علف هرز از گیاه زراعی استفاده نمود (Tilneac et al., 2012; Piron et al., 2009). البته دقت و صحت این روش تا حد زیادی به اختلاف ارتفاع گیاه و علف هرز وابسته است (Tilneac et al., 2012). همچنین، مساحت تحت پوشش برگ‌ها به صورت تصویر عمودی تاج گیاه بر روی زمین تعریف می‌شود و از طریق طرح‌ریزی نقاط مدل سه بعدی روی صفحه و محاسبه مساحت آن بدست می‌آید (Lati et al., 2013, b).

یکی از مشکلات اصلی در این گونه کاربردها این است که با کاهش فاصله، عملکرد بینایی استریو کاهش می‌یابد به خصوص برای سطوحی مانند برگ. در چنین سطوحی به خاطر داشتن بافت همگن، مقادیر اختلاف بسیار ناچیز بدست می‌آید و در نتیجه موجب کاهش اطلاعات عمق می‌شود. استفاده از الگوریتم‌های تناظریابی سراسری اگر چه از نظر محاسباتی زمان‌برند اما می‌توانند تا حدودی بر این مشکل غلبه کنند (Kazmi et al., 2014).



شکل ۵- (a-1) آفتابگردان، (a-2) تاجریزی سیاه، (a-3) گوجه فرنگی و (a-4) ذرت. (b-1، b-2، b-3 و b-4) ویژگی‌های استخراج شده و (c-1، c-2، c-3 و c-4) مدل سه بعدی نهایی (Lati et al., 2013, b).

نتیجه‌گیری

تعیین موقعیت اجسام در فضای سه بعدی یکی از مسائل مهم در کشاورزی دقیق است. برای این منظور راه حل‌های متعددی پیشنهاد شده است. بینایی استریو یک روش نو ظهور مبتنی بر دو تصویر گرفته شده از یک صحنه است که دقت معقول و قابل تنظیمی دارد. این روش ماتریسی از فاصله را در اختیار ما قرار می‌دهد که بیان‌گر تفکیک زاویه‌ای بالای آن است. علاوه بر این، بینایی استریو به عنوان یک حسگر غیر فعال و غیر تماسی است که امکان استخراج غیر مخرب و هم‌زمان اطلاعات رنگ و فاصله را فراهم می‌کند. همین مزیت‌ها استفاده از بینایی استریو را در ایجاد مزرعه مجازی، شناسایی و مکان‌یابی موانع، هدایت ربات‌های کششی سیار گلخانه‌ای و تجزیه و تحلیل شکل هندسی گیاهان مناسب می‌سازد.

مراجع

۱. سنگی م.، ۱۳۸۸. تشخیص وضعیت دست توسط سیستم بینایی استریو. دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی برق، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی.

۲. کهن ا.، ۱۳۹۰. طراحی، ساخت و ارزیابی ماشین هوشمند برداشت رز داماسینا. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران، رساله دکتری، مکانیک ماشین‌های کشاورزی.

3. Andreasson, H., Treptow, A., Duckett, T., 2007. Self-localization in non-stationary environments using omni-directional vision. Robotics and Autonomous Systems 55:541–551.
4. Bac C. W., Hemming J., Van Henten E. J., 2014. Stem localization of sweet-pepper plants using the support wire as a visual cue. Computers and Electronics in Agriculture 105: 111–120.
5. Bhatti A. 2011. Advances in Theory and Applications of Stereo Vision. PP 228–242. Bhatti A. ed. Published by InTech. Printed in India.
6. Cantón J.A., Donaire J.G. and Sánchez-Hermosilla J., 2012. Stereovision Based Software to Estimate Crop Parameters in Greenhouses. International Conference of Agricultural Engineering, July 8-12, 2012. Valencia, Spain.
7. Correal R., Pajares G., Ruz J.J., 2013. Automatic expert system for 3D terrain reconstruction based on stereovision and histogram matching. Expert Systems with Applications.
8. Flora Yeh Y-H, Lai T-C, Liu T-Y, Liu C-C, Chung W-C, Lin T-T, 2014. An automated growth measurement system for leafy vegetables. Biosystems Engineering 117: 43–50.
9. Kazmi W., Foix S., Alenyà G., Andersen H. J., 2014. Indoor and outdoor depth imaging of leaves with time-of-flight and stereo vision sensors: Analysis and comparison. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 88: 128–146.
10. Kise M., Zhang Q., Rovira Ma´s F., 2005. A Stereovision-based Crop Row Detection Method for Tractor-automated Guidance. Biosystems Engineering 90 (4): 357–367.
11. Kise M., Zhang Q., 2006. Sensor-in-the-loop tractor stability control: Look-ahead attitude prediction and field tests. Computers and Electronics in Agriculture 52: 107–118.
12. Kise M., Zhang Q., 2008. Development of a stereovision sensing system for 3D crop row structure mapping and tractor guidance. Biosystems Engineering 101: 191–198.
13. Kitamura S., Oka K., 2005. Recognition and Cutting System of Sweet Pepper for Picking Robot in Greenhouse Horticulture. Proceedings of the IEEE, International Conference on Mechatronics & Automation, Niagara Falls, Canada, July 2005.

14. Lati R. N., Filin S., Eizenberg H., 2013, a. Estimating plant growth parameters using an energy minimization-based stereovision m Dumontodel. Computers and Electronics in Agriculture 98: 260–271.
15. Lati R. N., Filin S., Eizenberg H., 2013, b. Plant growth parameter estimation from sparse 3D reconstruction based on highly-textured feature points. Precision Agric 14:586–605.
16. Lee D., Kim M. Y., Cho H., 2013. Path planning for micro-part assembly by using active stereo vision with a rotational mirror. Sensors and Actuators A: Physical 193: 201–212.
17. Leemans V., Dumont B., Destain M-F., Vancutsem F., Bodson B., 2012. A method for plant leaf area measurement by using stereo vision. International Conference on Agricultural Engineering CIGR-AgEng, July 8-12, 2012. Valencia, Spain.
18. Li P., Lee S., Hsu H-Y., 2011. Review on fruit harvesting method for potential use of automatic fruit harvesting systems. Procedia Engineering 23: 351–366.
19. Lima P., Bonarini A., Machado C., Marchese F., Marques C., Ribeiro F., Sorrenti D., 2001. Omni-directional catadioptric vision for soccer robots. Robotics and Autonomous Systems. 36:87–102.
20. Lin T-T., Hsiung Y-K., Hong G-L., Chang H-K., Lu F-M., 2008. Development of a virtual reality GIS using stereo vision. Computers and Electronics in Agriculture 63: 38–48.
21. Michalos G., Makris S., Eytan A., Matthaiakis S., Chryssolouris G.,2012. Robot Path Correction Using Stereo Vision System. 45th CIRP Conference on Manufacturing Systems.
22. Mizuno S., Noda K., Ezaki N., Takizawa H., Yamamoto S., 2007. Detection of Wilt by Analyzing Color and Stereo Vision Data of Plant. In André Gagalowicz & Wilfried Philips, ed., MIRAGE, Springer, pp. 400-411.
23. Piron A., Leemans V., Lebeau F., Destain M. F., 2009. Improving in-row weed detection in multispectral stereoscopic images. Computers and Electronics in Agriculture 69: 73–79.
24. Rath T., Kawollek M. 2009. Robotic harvesting of Gerbera Jamesonii based on detection and three-dimensional modeling of cut flower pedicels. Computers and Electronics in Agriculture 66:85–92.
25. Rosell J.R., Sanz R., 2012. A review of methods and applications of the geometric characterization of tree crops in agricultural activities. Computers and Electronics in Agriculture 81: 124–141.
26. Rovira Más F., Zhang Q., Hansen A. C., 2010. Mechatronics and Intelligent Systems for Off-road Vehicles. PP 111–185. Published by London: Springer, 2010.
27. Rovira Mas F., Zhang Q., Reid J. F., 2005. Creation of Three-dimensional Crop Maps based on Aerial Stereoimages. Biosystems Engineering 90 (3): 251–259.
28. Rovira Mas F., Zhang Q., Reid J. F., 2008. Stereo Vision three-dimensional terrain maps for precision agriculture. Journals of computers and electronics in agriculture 60: 133–143.
29. Shrestha, D. S., Steward, B. L., Kaspar, T. C., 2003. Determination of early stage corn plant height using stereo-vision. Proceedings of the 6th International Conference on Precision Agriculture and Other Precision Resources Management, Minneapolis, MN, USA, 14-17 July, 2002: 1382-1394.
30. Tilneac M., Dolga V., Grigorescu S., Bitea M. A., 2012. 3D Stereo Vision Measurements for Weed-Crop Discrimination. Electronics and Electrical Engineering 7(123).
31. Van Henten E.J., Hemming J., Van Tuijl B.A.J., Kornet J.G., Meuleman J., Bontsema J., Van Os, E.A. 2002. An autonomous robot for harvesting cucumbers in greenhouse. Autonomous Robots 13 (3): 241–258.
32. Xia C., Li Y., Chon T-S., Leel J-M., 2009. A stereo vision based method for autonomous spray of pesticides to plant leaves. IEEE International Symposium on Industrial Electronics.

33. Yang L., Dickinson Q., Wu Q. M. J., Lang S., 2007. A Fruit Recognition Method for Automatic Harvesting. 14th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice, December 4-6, 2007.
34. Yang L., Noguchi N., 2012. Human detection for a robot tractor using omni-directional stereo vision. Computers and Electronics in Agriculture 89:116–125.
35. Zhaoa P., Wang N-H., 2010. Precise perimeter measurement for 3D object with a binocular stereo vision measurement system. Optik 121: 953–957.

Brief overview of stereo vision system applications in precision agriculture

Abstract

Systems that automatically measure the position of objects, are very useful. In recent years, camera-based control systems is important, due to the development of camera technology, increase their quality and reduce their prices, and also increase the computational power of computers. Stereo vision based on machine vision and image processing. The method uses two cameras, three-dimensional coordinates of the surface properties of three-dimensional object is obtained and its location in three-dimensional space is sent to the robot. The three-dimensional coordinates of the object is calculated using the left and right camera images and stereo equations. The stereo vision system can be used for applications that require precise localization. Following the advent of precision agriculture, discussions about recognition, location and Determine the target height was introduced. The main characteristics of stereo vision, including passive, non-destructive, non-contact and cheap. So stereo vision in the field of precision agriculture is also developed. In this paper, we introduce the most important and most common stereo vision applications in precision agriculture.

Keywords: Machine vision, 3D imaging, Stereo vision, Precision agriculture.