

## تهیه نقشه محیط گلخانه به کمک مکان‌یابی لبه سکوی کشت مبتنی بر بینایی استریو

امین نصیری<sup>۱</sup> - حسین مبل<sup>۲\*</sup> - سلیمان حسین‌پور<sup>۳</sup> - شاهین رفیعی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۲۸

### چکیده

بینایی سه‌بعدی درک بالایی از محیط پیرامون ارائه می‌دهد، چراکه اطلاعات زیادی در عمق تصاویر ذخیره می‌شوند که در تصاویر دوبعدی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. از مهم‌ترین راه‌ها برای رسیدن به بینایی سه‌بعدی، استفاده از بینایی استریو است. در ناوبری، از بینایی استریو برای تعیین موقعیت موانع حرکت استفاده می‌شود. اصلی‌ترین مانع حرکت در گلخانه سکوی کشت می‌باشد، از طرفی برای انجام هر عمل خودمختار توسط وسیله نقلیه خودکار نیاز است که وسیله یک نمایش از محیط اطراف در اختیار داشته باشد، بنابراین با تعیین موقعیت سکوی کشت امکان ساخت نقشه جامع محیط گلخانه و کنترل خودکار فراهم می‌شود. روش ارائه شده در این تحقیق برای مکان‌یابی سکوی کشت به‌کارگیری ویژگی عدم پیوستگی عمق در محل لبه‌ی سکوی می‌باشد. استفاده از این ویژگی باعث کاهش حجم نقاط مدل ابر نقطه‌ای و در نتیجه کاهش زمان پردازش و افزایش دقت در تخمین مختصات گوشه‌ی سکوی شد. نقشه جامع تولید شده برای محیط گلخانه نشان داد که الگوریتم معرفی شده توانایی شناسایی ۱۰۱/۰۴۲ متر یعنی ۹۴/۷۹ درصد از طول کل لبه‌ی سکوی را دارد. برای ارزیابی دقت نتایج الگوریتم در تخمین موقعیت سکوی، مختصات گوشه‌ی سکوی از نقشه‌های محلی استخراج و سپس به‌منظور محاسبه خطا، فاصله اقلیدسی بین مختصات گوشه‌های به‌دست‌آمده از حسگر مرجع و نقشه‌های محلی محاسبه شد. بیش‌ترین خطا در تخمین موقعیت گوشه‌ها ۰/۱۶۹ متر، کم‌ترین مقدار ۰/۰۰۱ متر و میانگین خطا ۰/۰۷۳۰۹ متر بود. نتایج شناسایی گوشه‌ی سکوی نشان داد که الگوریتم طراحی شده توانایی تشخیص ۸۳/۳۳ درصد از گوشه‌ها را دارا می‌باشد.

### واژه‌های کلیدی: بینایی استریو، سکوی کشت، لبه، مانع، ناپیوستگی عمق

### مقدمه

استفاده از فناوری پردازش تصویر در کشاورزی در زمینه‌های مختلفی چون نظارت بر رشد مطلوب محصولات، تخمین زمان رسیدگی محصول، ماشین‌های وجین علف هرز و آفت‌کش‌ها از موضوعات مورد علاقه محققان در سال‌های اخیر بوده است (Peyman et al., 2016). در حال حاضر استفاده از فناوری ماشین بینایی و تکنیک‌های پردازش تصویر کاربردهای گسترده‌ای در کشاورزی به‌ویژه در هدایت ربات و مکانیزم‌های خود هدایت‌شونده دارند. گرچه در دو دهه گذشته، بینایی کامپیوتر و تکنیک‌های پردازش تصویر پیشرفت‌های چشم‌گیری داشته‌اند، اما به‌طور کلی دید سه بعدی نسبت به تصاویر معمولی دو بعدی نمایش دقیق‌تری از واقعیت ایجاد می‌کند (Bhatti, 2011). درک خصوصیات سه‌بعدی یک منظره واقعی و یافتن ویژگی‌های اجسام موجود در آن از مهم‌ترین زمینه‌های تحقیقاتی در بینایی ماشین و کامپیوتر می‌باشد که توسط سامانه بینایی استریو انجام می‌شود. بینایی استریو به معنای توانایی استخراج عمق بر اساس تحلیل دو تصویر گرفته شده از زوایای مختلف یک صحنه می‌باشد. مزیت اصلی بینایی استریو نسبت به بینایی یک چشمی معمولی، توانایی آن در شناسایی فاصله بین اشیاء واقعی و

تاریخ بشر تاکنون سه عصر کشاورزی، صنعت و اطلاعات را پشت سر گذاشته و در حال حاضر در حین ورود به عصر جدید یعنی عصر مجازی است. بینایی مهم‌ترین سامانه ارتباطی انتقال اطلاعات از محیط پیرامون می‌باشد. لذا با توجه به اهمیت بعد، بینایی سه‌بعدی جایگاه مهمی در دنیای مجازی خواهد داشت. یکی از روش‌های بینایی سه‌بعدی، داشتن یک سامانه استریو است.

- ۱- دانش‌آموخته دکتری مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
- ۲- استاد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
- ۳- نویسنده مسئول: (Email: hmobli@ut.ac.ir)
- ۴- استادیار، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
- ۴- استاد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

DOI: 10.22067/jam.v7i2.58475

استریو به منظور تخمین پارامترهای رشد محصول (حجم ردیف و ارتفاع آن) در فضای گلخانه استفاده شده، اشاره کرد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که اندازه‌گیری خودکار ویژگی‌های هندسی در مقایسه با روش دستی، سریع‌تر و آسان‌تر است، علاوه بر این امکان کنترل و ثبت روزانه پارامترها نیز با این روش فراهم می‌شود (Cantón *et al.*, 2012). در تحقیقی دیگر از بینایی استریو برای نظارت بر رشد کاهو استفاده گردید. در این تحقیق با استفاده از ویژگی‌های هندسی به دست‌آمده از سنجش بینایی استریو، منحنی رشد محصول استخراج شد (Yeh *et al.*, 2014).

سامانه‌های هدایت خودکار، پتانسیل کاهش تعداد عملیات در مزرعه، افزایش سود و بازدهی و امکان انجام عملیات شبانه را دارا می‌باشند. استفاده از هدایت خودکار باعث کاهش خستگی کاربر و در نتیجه افزایش ایمنی، افزایش دقت موقعیت‌یاب و افزایش بهره‌وری عملیات می‌شود (Benson *et al.*, 2003; Yang and Noguchi, 2012). در این زمینه در تحقیقی سامانه بینایی استریو با هدف تشخیص انسان در محیط کار تراکتور خودکار، به منظور اطمینان از ایمنی محیط پیرامون تراکتور، به کار گرفته شد. در این مطالعه از دو دوربین تمام جهته چند لنزی و جریان نوری برای موقعیت‌یابی و شناسایی انسان استفاده شد. نتایج آزمایش‌های مزرعه‌ای نشان داد که این سامانه قابلیت تشخیص انسان در محدوده چهار تا ۱۱ متر و با خطای کمتر از ۰/۵ متر در طی روز را داراست (Yang and Noguchi, 2012).

جنبه‌های اصلی و ضروری برای هدایت خودکار شامل تشخیص موقعیت و جهت‌گیری ماشین‌های کشاورزی نسبت به ردیف محصول، شناسایی موانع و طراحی مسیر حرکت بین ردیف‌های محصول می‌باشند. بینایی ماشین توانایی اجرای اهداف فوق، به منظور انجام عملیاتی مانند کاشت، سم‌پاشی و برداشت را دارد (Kise *et al.*, 2005; Rovira-Más *et al.*, 2008). به عنوان نمونه در یک مطالعه از سامانه ماشین بینایی در کمباین ذرت استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که سامانه استفاده شده با دقت مطلوب می‌تواند موقعیت ردیف‌های محصول را تشخیص و در سرعت  $1/3 \text{ m s}^{-1}$  هدایت کمباین را با سطح دقتی مشابه با سامانه موقعیت‌یاب جهانی<sup>۳</sup> انجام دهد (Benson *et al.*, 2003).

چالش اصلی در تعیین موقعیت وسیله، تخمین میزان جابه‌جایی آن است. تخمین میزان جابه‌جایی دوربین از ملزومات هر سامانه دیداری متحرک به حساب می‌آید. به‌طور معمول این کار توسط حسگرهای سرعت چرخ، سامانه موقعیت‌یاب جهانی و یا واحدهای اندازه‌گیری اینرسی<sup>۴</sup> صورت می‌گیرد (Kitt *et al.*, 2010). به عنوان

دوربین است. نتیجه حاصل از حسگر بینایی استریو، توده‌ای از نقاط سه‌بعدی است که جزئیات صحنه را متناسب با وضوح تصاویر به دست‌آمده توصیف می‌کنند (Rosell and Sanz, 2012). ماشین بینایی به دلیل تشخیص غیر مخرب اهداف در یک صحنه دارای استفاده گسترده‌ای به عنوان حسگر می‌باشد و بینایی استریو اطلاعات یک صحنه سه‌بعدی را بدون نیاز به تعدد حسگرها گردآوری می‌کند (Kise and Zhang, 2008).

### مسائل اصلی الگوریتم استریو

مسائل اصلی هر الگوریتم استریو عبارت است از: کالیبراسیون، یک‌سوسازی، انتخاب و استخراج اجزای تصویر، تطبیق و یافتن اجزای متناظر در جفت تصویر استریو و بازسازی (Trucco and Verri, 1998; Bradski and Kaehler, 2008).

کالیبراسیون دوربین فرآیند تخمین پارامترهای داخلی و خارجی سامانه تصویربرداری است. به عبارت دیگر هدف از کالیبراسیون دوربین تعیین تمام پارامترهایی است که برای ایجاد ارتباط بین مختصات پیکسلی و مختصات یک نقطه در میدان دید دوربین ضروری می‌باشد. مرحله دوم الگوریتم استریو یک‌سوسازی می‌باشد. پیکربندی کاملاً هم تراز در یک سامانه استریو بسیار مشکل است چراکه تقریباً هیچ‌وقت دو دوربین دقیقاً هم صفحه و صفحات تصویر هم‌ردیف نیستند. در یک‌سوسازی، صفحات تصویر مجدد افکنش<sup>۱</sup> می‌شوند به طوری که آن‌ها دقیقاً در یک صفحه یکسان با ردیف‌های تصویری که به صورت مستقیم و موازی هم‌تراز شده‌اند، قرار گیرند. در مرحله سوم الگوریتم استریو، انتخاب و استخراج اجزا یا عناصر دو تصویر برای انطباق و تعیین اجزای متناظر انجام می‌شود. بر مبنای اجزای انتخاب شده، الگوریتم استریو به دو دسته کلی مبتنی بر ناحیه و مبتنی بر ویژگی تقسیم می‌شوند. قدم بعدی برای دستیابی به مختصات نقاط محیط، انطباق تصاویر راست و چپ می‌باشد. تطبیق یا تناظرابی بین اجزاء تصاویر استریو مهم‌ترین مرحله محاسبه الگوریتم استریو است. تطابق عبارت است از تعیین نقاط متناظر در دو تصویر. نتیجه فرآیند تطابق، نقشه تمایز<sup>۲</sup> قسمت‌هایی از تصویر است که منطبق شده‌اند. در مرحله بازسازی با در اختیار داشتن اجزای متناظر در تصاویر استریو و اطلاعات مربوط به دوربین‌ها، موقعیت سه‌بعدی اجزا به دست می‌آید.

### اهمیت ماشین بینایی و هدایت خودکار

هدایت وسیله نقلیه خودکار و نظارت بر وضعیت رشد محصول دو عملیات مهم و اساسی در کشاورزی دقیق می‌باشند. در زمینه نظارت بر وضعیت رشد محصول می‌توان به تحقیقی که در آن از بینایی

3- GPS

4- Inertial measurement units (IMU)

1- Projection

2- Disparity map

(2008).

در حال حاضر بسیاری از ربات‌های زمین‌های کشاورزی و گلخانه‌ها توسط هدایت بصری کار می‌کنند و پژوهش‌های اخیر بر استفاده از بینایی استریو به منظور مکان‌یابی ربات، تشخیص اهداف در محیط کار ربات و تهیه نقشه، متمرکز شده است (Xia et al., 2009). یکی از پارامترهای اصلی در هدایت خودکار ادوات کشاورزی شناسایی مسیر حرکت بین ردیف‌های محصول می‌باشد. در محیط گلخانه سکوه‌های کشت به نوعی ردیف محصول می‌باشند که با شناسایی و تعیین موقعیت سکوه‌های کشت به‌عنوان اصلی‌ترین مانع در مقابل حرکت، امکان ساخت نقشه محیط گلخانه و کنترل خودکار فراهم می‌شود. با توجه به ساختار سکوه‌های کشت، امکان تعیین موقعیت آن‌ها به کمک استخراج لبه سکوها امکان‌پذیر است. به‌منظور استخراج لبه‌ها می‌توان از ویژگی ناپیوستگی در عمق در ناحیه لبه‌ها استفاده کرد. ناپیوستگی عمق به‌عنوان نقطه‌ای در صفحه تصویر تعریف می‌شود که در عمق میدان<sup>۳</sup> متناظر با آن نقطه یک ناپیوستگی وجود دارد. به‌عبارت‌دیگر زمانی که پرتو نوری مرتبط با یک نقطه در صفحه تصویر در جهان سه‌بعدی با یک شیء برخورد کند ناپیوستگی عمق در این نقطه به‌وجود می‌آید. ناپیوستگی عمق امکان تشخیص شیء از پس‌زمینه و اشیاء دیگر را فراهم می‌کند. از این ویژگی در وظایفی همچون ردیابی، تشخیص، بازیابی تصویر، قطعه‌بندی و طبقه‌بندی استفاده می‌شود. پیچیدگی‌های صحنه سه‌بعدی رصد شده به‌عبارت‌دیگر تعداد اشیائی که در این صحنه سه‌بعدی وجود دارد، متناسب با توزیع ویژگی ناپیوستگی عمق در تصویر می‌باشد (So et al., 2014).

به دلیل محدود بودن پژوهش‌های انجام شده در زمینه مکان‌یابی سکوه‌های کشت، تحقیق پیش‌رو با هدف ارائه روشی برای شناسایی و تعیین موقعیت سکوها به کمک بینایی استریو و در نتیجه آن تهیه نقشه دو بعدی سکوه‌های کشت در محیط گلخانه اجرا شد.

### مواد و روش‌ها

با ترکیب دو تصویر دو بعدی که توسط یک دوربین استریو گرفته می‌شود، ماشین بینایی استریو یک تصویر سه‌بعدی فراهم می‌کند. در این پژوهش به‌منظور ساخت دوربین استریو موازی، از دو وب‌کم، ساخت شرکت مایکروسافت<sup>۴</sup> با رزولوشن ۹۶۰×۵۴۴ که از طریق USB2 به کامپیوتر متصل می‌شوند، استفاده شد (شکل ۱). انتخاب فاصله دو دوربین (خط مبنا<sup>۵</sup>) یک فرآیند سبک و سنگین کردن بین دقت و انطباق می‌باشد به طوری که خط مبنا کوچک باعث تطبیق

مثال به‌منظور تهیه نقشه سه‌بعدی زمین برای کشاورزی دقیق به کمک بینایی استریو، در تحقیقی از یک وسیله نقلیه<sup>۱</sup> و در تحقیق دیگر برای تهیه تصاویر هوایی استریو از بالگرد استفاده شد. در هر دو مطالعه از حسگرهای سامانه موقعیت‌یاب جهانی و ژيروسکوپ به‌منظور تعیین موقعیت و جهت‌گیری وسیله در هر لحظه نسبت به مرجع جهانی استفاده گردید (Rovira-Más et al., 2005; Rovira-Más et al., 2008).

تخمین میزان جابه‌جایی با استفاده از تغییرات تصاویر گرفته شده از دوربین برای ناوبری ربات‌ها مکان‌یابی دیداری<sup>۲</sup> شناخته می‌شود. در دهه‌های اخیر مکان‌یابی دیداری به‌عنوان یک راه حل جدید در حل مسئله موقعیت‌یابی ربات در محیط‌های ناشناخته معرفی شده است (Milella et al., 2009). در مقابل دیگر حسگرها مکان‌یابی دیداری از مزیت‌های بسیاری برخوردار است، از جمله آن می‌توان به‌دقت بالای آن در مقایسه با حسگرهای سرعت چرخ اشاره کرد، همچنین روش‌های تخمین موقعیت مبتنی بر سامانه موقعیت‌یاب جهانی یا واحد اندازه‌گیری اینرسی به‌ترتیب از دقت کم و قیمت بالایی برخوردارند از طرفی نرخ انحراف محلی به‌دست آمده توسط مکان‌یابی دیداری غالباً از نرخ انحراف داده شده توسط واحدهای اندازه‌گیری اینرسی کم‌تر است (Kitt et al., 2010).

### اهمیت تولید نقشه

کشاورزی رباتیک و کشاورزی دقیق نیازمند داشتن اطلاعات خاصی مانند موقعیت وسیله و توصیف تقریبی از محیط اطراف آن می‌باشند، به‌عبارت‌دیگر برای انجام هر عمل خودمختار توسط وسیله نقلیه خودکار نیاز است وسیله، یک نمایش از فضای کاری که عمل خودمختار در آن انجام می‌شود، در اختیار داشته باشد. با استفاده از نقشه‌های دو و سه‌بعدی می‌توان اطلاعاتی مانند شکل و اندازه محصولات، فاصله ردیف‌ها، موقعیت ساختارهای مختلف و وضعیت حرکتی وسیله برای ارسال اطلاعات به واحد کنترل را استخراج کرد. پارامتر اصلی در ایجاد یک نقشه میدانی از زمین‌های کشاورزی انتخاب یک حسگر مناسب برای ایجاد آن می‌باشد. در میان حسگرهای موجود مانند رادار و لیزر، سامانه‌های بینایی دارای توانایی بیشتری برای ایجاد نقشه می‌باشند (Rovira-Más et al., 2008). به‌عنوان نمونه در تحقیقی نقشه برداری سه بعدی از ردیف‌های محصول و مکان‌یابی آن‌ها به‌منظور هدایت تراکتور در مزرعه به کمک بینایی استریو انجام شد. نتایج تحقیق نشان داد که سامانه مورد نظر علاوه بر طراحی دقیق نقشه سه‌بعدی قادر به اندازه‌گیری تغییرات سه‌بعدی ارتفاع و حجم محصول می‌باشد (Kise and Zhang, 2010).

3 - Depth of field

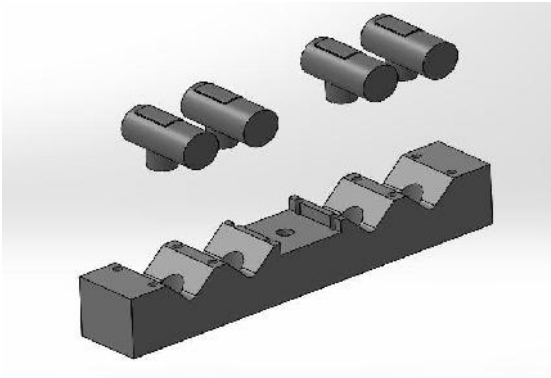
4- Microsoft lifecam studio webcam

5- Base line

1- Gator™ utility vehicle (John Deere, Moline, IL)

2- Visual odometry

مینا، سبب افزایش دقت در تخمین عمق می‌شود.



شکل ۲- قالب ساخته شده برای دوربین استریو

Fig.2. The designed structure for the Stereo camera

تولید مدل ابر نقطه‌ای از الگوریتم مبتنی بر ناحیه و برای تخمین میزان جابه‌جایی دوربین از الگوریتم مبتنی بر ویژگی استفاده شد. در مرحله بعد برای دستیابی به مختصات نقاط محیط، انطباق تصاویر راست و چپ انجام می‌شود. روش‌های مختلفی برای انجام مرحله انطباق پیشنهاد می‌شود. در تحقیق جاری، متناسب با بافت صحنه‌های ثبت شده در تصویر از محیط گلخانه از روش انطباق نیمه عمومی<sup>۴</sup> که در برابر تغییرات نور محیط و لبه‌های اجسام از دقت بالایی برخوردار است، برای اجرای فرآیند انطباق استفاده شد (Hirschmuller, 2005).

حل مسئله تطابق در سامانه تصویربرداری استریوی موازی یک مقدار تمایز  $d$  برای هر نقطه  $p_L(u_L, v_L)$  در تصویر چپ و متناظر آن  $p_R(u_R, v_R)$  در تصویر راست ارائه می‌دهد (شکل ۳). بنابراین با در اختیار داشتن تصویر ناهم‌خوانی (نقشه تمایز) و اطلاعات مربوط به دوربین‌ها و هندسه سامانه تصویربرداری، یعنی وضعیت دوربین‌ها نسبت به هم، به کمک روش مثلث سازی مختصات سه‌بعدی اجزا با استفاده از روابط (۱) تا (۴) به دست می‌آیند (Cyganek and Siebert, 2009):

$$d = u_L - u_R \quad (1)$$

$$Z_c = \frac{bf}{d} \quad (2)$$

$$X_c = u_L \frac{Z_c}{f} = u_L \frac{b}{d} \quad (3)$$

$$Y_c = v \frac{Z_c}{f} = v \frac{b}{d} \quad (4)$$

در روابط (۱) تا (۴)،  $d$  مقدار تمایز،  $b$  خط مینا،  $f$  فاصله کانونی دوربین‌ها،  $(X_c, Y_c, Z_c)$  مختصات نقطه مورد نظر (طول، ارتفاع و عمق) نسبت به دستگاه مختصات متصل به دوربین سمت چپ و

آسان‌تر نقاط متناظر در جفت تصویر استریو و مقادیر بزرگ‌تر خط



شکل ۱- وب‌کم استودیو لایف‌کم مورد استفاده در پژوهش

Fig.1. LifeCam Studio webcam used in the research

بنابراین برای ساخت قاب دوربین استریو به طوری که امکان انتخاب خط میناهای متفاوت وجود داشته باشد، از یک شمش آلومینیومی به ابعاد  $5 \times 7 \times 30$  سانتی‌متر استفاده شد. در طول شمش، متناسب با ابعاد دوربین، شیارهایی به فاصله مشخص طوری ایجاد شدند که امکان انتخاب خط مینا با اندازه‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر فراهم شود (شکل ۲). شیارها می‌باید با فاصله دقیق از هم در طول شمش ایجاد شوند، از طرفی این شیارها باید به گونه‌ای باشند که بعد از قرار گرفتن دوربین‌ها در داخل آن‌ها، تا حد امکان دو دوربین هم صفحه و صفحات تصویر هم ردیف باشند. به همین دلیل بعد از طراحی قاب در نرم‌افزار سالیدورکس<sup>۱</sup>، از دستگاه CNC برای ساخت قاب استفاده شد.

دقت بازیابی سه‌بعدی در فرآیند بینایی استریو تحت تأثیر پارامترهای متعددی است که عمدتاً در طی فرآیند کالیبراسیون تعیین می‌گردند. در این تحقیق از روش ارائه شده توسط ژنگ<sup>۲</sup> برای کالیبراسیون دوربین‌ها استفاده شد. در این روش اغتشاشات ناشی از نقص لنز دوربین برای مدل دوربین در نظر گرفته می‌شود (Zhang, 1999).

در الگوریتم استریو بعد از کالیبراسیون فرآیند یک‌سوسازی بر جفت تصویر استریو اعمال می‌شود. در این تحقیق برای یک‌سوسازی تصاویر از روش ارائه شده توسط بوگت<sup>۳</sup> استفاده شده است. این الگوریتم از پارامترهای انتقال و دوران دو دوربین تنظیم شده برای یک‌سوسازی استفاده می‌کند (Bradski and Kaehler, 2008).

قدم بعدی در فرآیند استریو انتخاب و استخراج اجزا یا عناصر دو تصویر برای تعیین اجزای متناظر می‌باشد. در پژوهش جاری برای

1- Solidworks

2- Zhang

3- Bouguet

4- Semi-global matching

اطلاعات هندسی دوربین که از کالیبراسیون به دست آمده‌اند، استوار است و بنابراین نیازی به بازآرایی حجیم اطلاعات سه‌بعدی محیط نیست.

بعد از تخمین بردار جابه‌جایی و ماتریس دوران فریم به فریم، موقعیت فریم (دوربین) در لحظه جاری نسبت به مبدأ توسط رابطه (۵) تعیین می‌شود (Craig, 2005). در تحقیق جاری، نقطه شروع حرکت دوربین سمت چپ به‌عنوان مبدأ جهانی در نظر گرفته شده است.

$$\begin{aligned} {}^t_0\text{frame} &= {}^{t-1}_0\text{frame} \times {}_{t-1}^t\text{frame} \\ {}_{t-1}^t\text{frame} &= \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & T_{3 \times 1} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}_{4 \times 4} \end{aligned} \quad (5)$$

در رابطه (۵)،  ${}^t_0\text{frame}$ ، موقعیت دوربین در لحظه جاری نسبت به مبدأ جهانی مختصات،  $T$  بردار جابه‌جایی و  $R$  ماتریس دوران فریم در لحظه  $t$  نسبت به فریم در لحظه  $t-1$  می‌باشند که از مکان‌یابی دیداری به دست آمده‌اند.

### تولید نقشه جامع محیط گلخانه

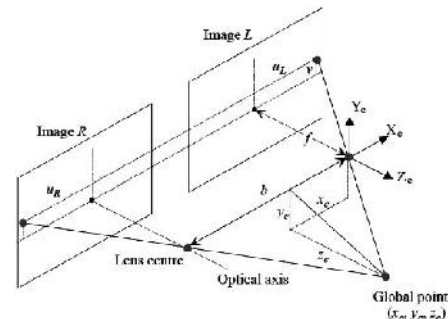
ساخت مدل کامل سه‌بعدی از محیط چندان مفید نمی‌باشد و سبب افزایش بار محاسباتی می‌شود، چراکه برای تهیه نقشه محیط برای اهدافی مانند مسیریابی صرفاً به اطلاعات  $X$  و  $Z$  محیط نیاز می‌باشد. از آنجایی که سکوها کشت در ارتفاع مشخصی از سطح زمین قرار دارند، بنابراین در صورتی که ابر نقطه‌ای محیط بر صفحه  $XZ$  تصویر شود، نقشه‌ای به دست خواهد آمد که در آن نقاطی که با ارتفاع مشخصی بالاتر از سطح زمین قرار دارند، از زمین قابل تفکیک و به‌عنوان مانع قابل شناسایی هستند. بنابراین با شناسایی و تعیین موقعیت سکوها کشت امکان تولید نقشه محیط گلخانه فراهم می‌شود.

### تعیین موقعیت سکوی کشت

سطح بیرونی سکوی کشت در محدوده مشخصی از زمین قرار دارد. این محدوده در شکل ۴ با خطوط مشکی رنگ مشخص شده است. در صورتی که از این سطح برای تعیین موقعیت سکوی استفاده شود، بار محاسباتی به دلیل افزایش تعداد نقاط در مدل ابر نقطه‌ای، افزایش می‌یابد که نتیجه آن افزایش زمان مورد نیاز برای پردازش و همچنین کاهش دقت در تعیین موقعیت گوشه سکوها می‌باشد. با توجه به ساختار سکوها کشت در صورتی که تنها لبه بالایی یا پایینی سکوی (خطوط مشکی رنگ در شکل ۴) استخراج گردد، در این صورت تعداد نقاط در مدل ابر نقطه‌ای کاهش می‌یابد. روش ارائه شده در این تحقیق به منظور استخراج لبه‌ها، استفاده از ویژگی ناپیوستگی در عمق، در ناحیه لبه سکوها می‌باشد.

ناپیوستگی در عمق در مرز بین دو ناحیه با عمق‌های متفاوت در محیط‌های سه‌بعدی اتفاق می‌افتد. این ناپیوستگی مشابه لبه در تصاویر دو بعدی هستند. لبه در تصاویر دو بعدی در مرز بین

$(u, v)$  مختصات پیکسلی افکنش نقطه مورد نظر در صفحات تصویر می‌باشند. با انتقال تصویر ناهم‌خوانی به فضای سه‌بعدی مدل ابر نقطه‌ای (نقشه عمق) محیط قابل ترسیم می‌باشد.



شکل ۳- اصول هندسه تصویربرداری استریو دو دوربینه  
Fig.3. The geometry principle of binocular vision system

بازیابی سه‌بعدی دوربین استریو تا عمق سه متری از دقت قابل قبولی برخوردار است، بنابراین به تخمین موقعیت دوربین استریو در هر لحظه نیاز می‌باشد تا به کمک آن با کنار هم قرار دادن نقشه‌های محلی، نقشه جامعی از محیط اطراف به دست آید. برای تخمین موقعیت دوربین در هر لحظه از مکان‌یابی دیداری استفاده شده است.

### تخمین موقعیت دوربین استریو به کمک مکان‌یابی دیداری

ایده اصلی در روش مکان‌یابی دیداری تخمین میزان حرکت از طریق دنبال کردن ویژگی‌های بصری مشخص در دنباله‌ای از تصاویر است (Milella et al., 2009). در این تحقیق برای مکان‌یابی دیداری از روش ارائه شده در منبع (Kitt et al., 2010) استفاده شد. در این روش به منظور تخمین موقعیت دوربین، از استخراج و انطباق ویژگی‌های متناظر در تصاویر استفاده می‌شود. با توجه به شرایط محیط گلخانه، ویژگی‌های استخراج شده از تصویر، ویژگی‌های مقاوم پرسرعت<sup>۱</sup> می‌باشند. این ویژگی‌ها مستقل از انتقال، چرخش و مقیاس هستند و تا حد امکان نسبت به تغییرات شدت روشنایی تصویر و نویز مقاوم می‌باشند (Bay et al., 2008). مبتنی بر ویژگی‌های متناظر استخراج شده، میزان جابه‌جایی و دوران دوربین بر پایه هندسه سه گانه میان سه تصویر (تانسور سه دوربینه<sup>۲</sup>) تخمین زده می‌شود. در مرحله آخر به کمک فیلتر کالمن نقطه سیگما مکرر<sup>۳</sup> و روش حذف اطلاعات نادرست<sup>۴</sup> تخمین میزان جابه‌جایی و دوران فریم به فریم حتی در محیط‌های پویا به خوبی صورت می‌گیرد. مزیت این روش در این است که تخمین میزان جابه‌جایی و دوران دوربین صرفاً بر پایه

1- Speeded-Up Robust Features (SURF)

2- Trifocal tensor

3- Iterated Sigma Point Kalman Filter

4- RANSAC

پیکسل‌های روشن‌تر اجزایی از محیط را نشان می‌دهند که به دوربین نزدیک‌تر هستند. بنابراین به دلیل شباهت ناپیوستگی عمق در نقشه عمق و لبه‌ها در نقشه تمایز، امکان استخراج لبه‌های سکو از نقشه تمایز وجود دارد (Brand et al., 2014; So et al., 2014).

ناحیه‌های مختلف که همگن و پیوسته هستند، قرار دارد. استخراج لبه در تصاویر دو بعدی بر اساس اطلاعات مقادیر شدت پیکسل‌ها انجام می‌شود. مقادیر شدت در تصویر دو بعدی روشنایی‌هایی هستند که در مقابل عمق در نقشه تمایز قرار دارند، به عبارت دیگر در نقشه تمایز



شکل ۴- نمایی از سکوه‌های کشت در گلخانه مورد پژوهش  
Fig.4. View of the cultivation Platforms in greenhouse

و مختصات نقطه در مختصات جهانی می‌باشند.

برای ارزیابی دقت نتایج حاصل از الگوریتم استفاده شده در تخمین موقعیت، ابتدا مختصات گوشه سکوها توسط دوربین مساحی توتال استیشن الکترونیکی لایکا<sup>۱</sup> با دقت دو میلی‌متر نسبت به مبدأ مختصات جهانی به دست آمد، سپس به منظور محاسبه خطا در تعیین موقعیت گوشه‌ها، فاصله اقلیدسی مختصات گوشه‌های به دست آمده از طریق دوربین مساحی و مختصات به دست آمده از نقشه‌ها محلی محاسبه شد (Civera et al., 2009). الگوریتم طراحی شده با هدف استخراج مختصات گوشه‌ها به شرح ذیل می‌باشد: بعد از انتقال نقاط نقشه محلی به نقشه جهانی، تمام نقاط بر حسب مختصات Z به ترتیب از کوچک‌ترین به بزرگ‌ترین مقدار مرتب شدند. در ادامه اختلاف مقادیر Z نقاط متوالی محاسبه و هرگاه مقدار این اختلاف بیش‌تر از یک مقدار آستانه بود نقطه با مقدار Z کوچک‌تر به عنوان گوشه انتهایی سکو و نقطه با مقدار Z بزرگ‌تر به عنوان گوشه ابتدایی سکوی بعدی انتخاب شد.

در تحقیق جاری برنامه پیکربندی و جمع‌آوری تصاویر و همچنین برنامه تمام الگوریتم‌ها در نرم‌افزار MATLAB 2014b نوشته شد. همچنین برای کالیبراسیون از جعبه ابزار کالیبراسیون دوربین استریو<sup>۲</sup> نرم‌افزار MATLAB 2014b استفاده گردید. این تحقیق در گلخانه‌ای واقع در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در شهر کرج انجام شد. این گلخانه به ابعاد تقریبی ۱۱/۷×۲۳/۰۷ متر و دارای

الگوریتم ارائه شده در این تحقیق با هدف استخراج لبه سکو به شرح ذیل می‌باشد: ابتدا نقشه تمایز جفت تصویر استریو در لحظه t به دست آمد، سپس به کمک آشکارساز لبه کنی، لبه‌های نقشه تمایز استخراج شد، در ادامه نقاط تمایز متناسب با لبه‌های تعیین شده توسط آشکارساز کنی استخراج و به این ترتیب نقشه تمایز متناسب با لبه سکو حاصل گشت. در مرحله بعد با در اختیار داشتن نقشه تمایز مربوط به لبه سکوها، مختصات سه بعدی لبه‌ها با استفاده از روابط (۱) تا (۴) به دست آمدند. متناسب با دقت دوربین استریو، نقاطی از لبه‌ها که در فاصله سه متری دوربین بودند، در بازسازی مدل ابر نقطه‌ای استفاده شدند.

حال که موقعیت دوربین در هر لحظه نسبت به مبدأ مختصات جهانی با استفاده از رابطه (۵) در اختیار است، می‌توان با کنار هم گذاشتن نقشه‌های محلی، نقشه جامعی از محیط پیموده شده به دست آورد. بدین ترتیب که بعد از هر دو متر جابه‌جایی یا چرخش نود درجه‌ای دوربین، مدل ابر نقطه‌ای استخراج و با تصویر نقاط سه بعدی مدل بر صفحه XZ، نقشه‌های محلی به دست می‌آیند. سپس هر نقطه از نقشه محلی به کمک رابطه (۶) به نقطه‌ای در نقشه جهانی انتقال می‌یابد (Craig, 2005).

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}_o = \mathcal{R} \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}_L \quad Y = 0 \quad (6)$$

در رابطه (۶)،  $\mathcal{R}$ ، موقعیت دوربین در لحظه جاری نسبت

به مبدأ جهانی مختصات،  $\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}_L$ ، مختصات نقطه در مدل ابر نقطه‌ای

1- Leica, TC-805

2- Stereo Camera Calibrator Toolbox



هشت سکوی کشت مستطیل شکل می‌باشد.

## نتایج و بحث

انتخاب خط مبنای مناسب یک فرآیند بهینه‌سازی بین دقت و انطباق می‌باشد. در تحقیق حاضر با آزمون و خطا فاصله دو دوربین ۱۰ سانتی‌متر انتخاب شد (شکل ۵). نتایج حاصل از فرآیند

کالیبراسیون در جدول ۱ ارائه شده است. این نتایج پارامترهای داخلی و خارجی دوربین استریو را دربر می‌گیرد. پارامترهای داخلی شامل فاصله کانونی، نقطه اساسی، اعوجاج‌های شعاعی و مماسی و پارامتر خارجی بردار جابه‌جایی و دوران دوربین سمت راست (دوربین ۲) نسبت به دوربین سمت چپ (دوربین ۱) را نشان می‌دهند.



شکل ۵- دوربین استریو توسعه داده شده

Fig.5. Stereo camera setup

### جدول ۱- تخمین پارامترهای داخلی و خارجی دوربین‌ها توسط فرآیند کالیبراسیون

Table 1- Estimation of cameras intrinsic and extrinsic parameters by calibration process

	پارامترهای داخلی	
	Intrinsic parameters	
	دوربین اول Camera 1	دوربین دوم Camera 2
فاصله کانونی (پیکسل) Focal length (pixels)	[718.6295 ± 5.5522, 718.4542 ± 5.3815]	[719.5996 ± 5.5553, 719.7625 ± 5.3905]
نقطه اساسی (پیکسل) Principal point (pixels)	[476.9688 ± 0.7241, 287.3186 ± 0.6804]	[473.3463 ± 0.7391, 288.0447 ± 0.7024]
انحراف محورها Skew	[-1.7592 +/- 0.0538]	[-1.4992 ± 0.0532]
اعوجاج شعاعی Radial distortion	[0.0090 ± 0.0013, -0.0103 ± 0.0025]	[0.0168 ± 0.0013, -0.0329 ± 0.0023]
اعوجاج مماسی Tangential distortion	[0.0021 ± 0.0002, -0.0006 ± 0.0002]	[0.0014 ± 0.0002, -0.0006 ± 0.0002]
میانگین خطای پس‌افکنش Mean reprojection error	0.1219	0.1250
پارامترهای خارجی		
Extrinsic parameters		
بردار جابه‌جایی و دوران دوربین سمت راست (دوربین ۲) نسبت به دوربین سمت چپ (دوربین ۱) Position And Orientation of Camera 2 in relation to Camera 1		
بردار جابه‌جایی (میلی‌متر) Translation vector (mm)	[-99.7794 ± 0.0465	0.8802 ± 0.0400 -0.6277 ± 0.1605]
بردار دوران Rotation vector	[1.0000 ± 0.0003	-0.0010 ± 0.0006 -0.0018 ± 0.0000]
زاویه دوران (درجه) Rotation angle (Degree)	0.1203 +/- 0.0034	

بهتری انجام شده است، لذا صرفاً از لبه‌های پایینی سکو برای تولید نقشه جامع محیط گلخانه استفاده شد. به این ترتیب مجدداً حجم نقاط مدل ابر نقطه‌ای کاهش یافت. مزیت دیگر استفاده از لبه‌های پایینی در این است که در صورت پرورش محصول در محیط گلخانه احتمال پوشیده شدن این لبه‌ها کم‌تر از لبه‌های بالایی است. از طرفی در صورتی که صرفاً قسمت‌هایی از لبه‌های پایینی توسط گیاه پوشیده شود باز هم امکان استفاده از الگوریتم ارائه شده وجود دارد، چراکه در این صورت تنها امکان استخراج قسمت‌هایی از لبه سکو از نقشه تمایز وجود نخواهد داشت. با این وجود اگر میزان پوشش گیاه در محیط به گونه‌ای باشد که امکان تشخیص لبه‌ها در نقشه‌ی تمایز وجود نداشته باشد در این صورت می‌توان از سطح بیرونی سکوها که در محدوده مشخصی از زمین قرار دارند برای تعیین موقعیت سکوها استفاده کرد (شکل ۴). متناسب با دقت دوربین استریو و همان‌طور که در شکل (۶-د) نشان داده شده، در بازسازی مدل ابر نقطه‌ای، نقاطی که در فاصله ۳ متری دوربین قرار دارند، استفاده شده‌اند.

در شکل ۷، به‌عنوان نمونه، مدل سه‌بعدی یکی از راهروهای گلخانه، که شامل لبه‌های بالایی و پایینی سکوه‌های کشت می‌باشد، ارائه شده است. به‌منظور تهیه مدل سه‌بعدی راهروی گلخانه، بعد از هر دو متر جابه‌جایی یا چرخش نود درجه‌ای دوربین، مدل ابر نقطه‌ای استخراج و به کمک موقعیت دوربین در هر لحظه، هر نقطه از مدل ابر نقطه‌ای به نقطه‌ای در مختصات جهانی انتقال یافت. از شکل ۷ نتیجه گرفته می‌شود که الگوریتم ارائه شده توانایی استخراج لبه و تهیه نقشه با دقت مطلوب را دارد.

در شکل ۸ نقشه جامع محیط گلخانه در صفحه XZ نشان داده شده است. مجموع طول لبه سکوه‌های کشت ۱۰۶/۶ متر می‌باشد. از این مجموع، ۱۰۱/۰۴۲ متر یعنی ۹۴/۷۹ درصد از طول کل لبه‌ها، توسط الگوریتم ارائه شده، مورد شناسایی قرار گرفت. قسمت‌های شناسایی نشده از لبه سکوها در شکل ۸ با رنگ آبی مشخص شده‌اند، این قسمت‌ها به دلیل قرار نگرفتن در زاویه دید دوربین استریو شناسایی نشده‌اند.

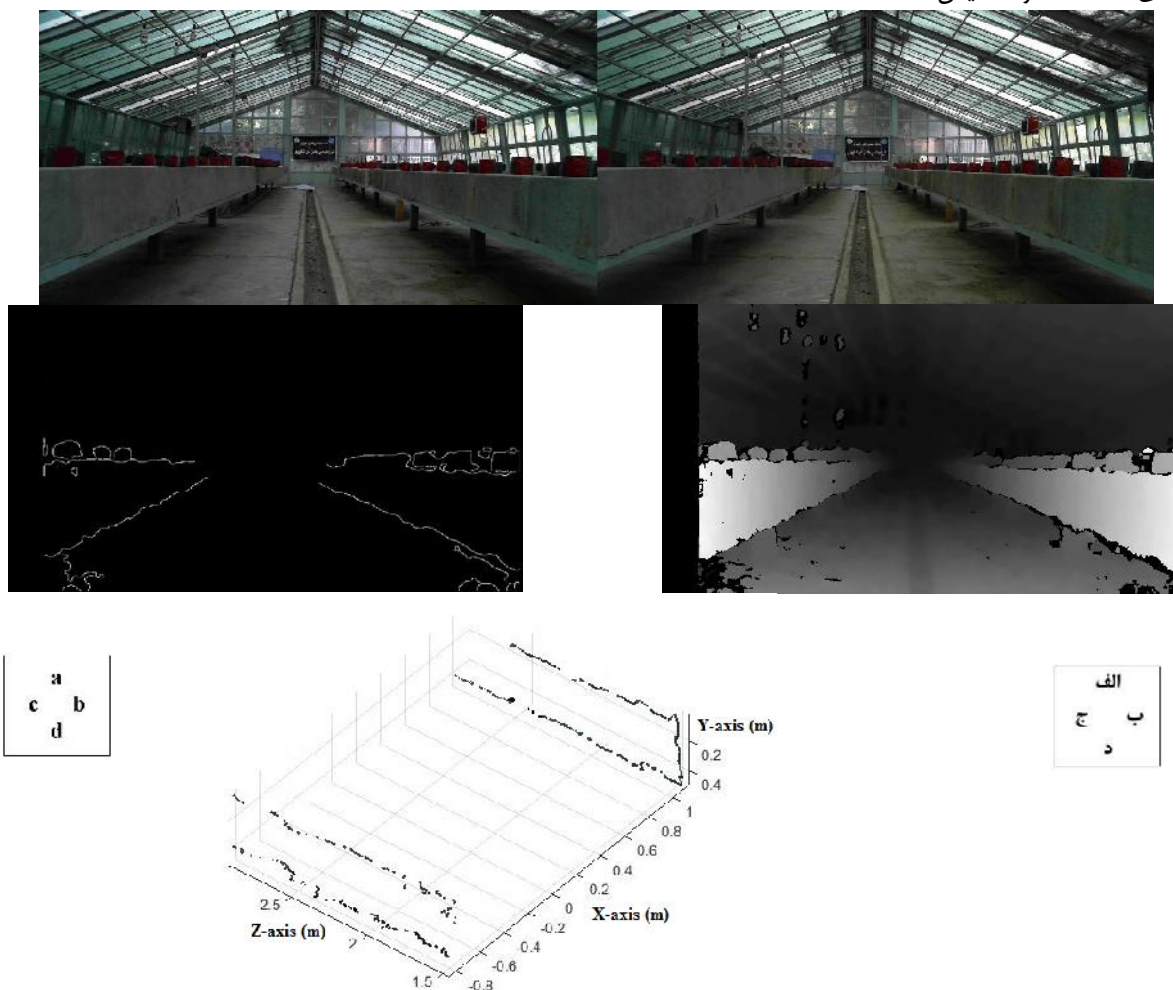
نتایج حاصل از شناسایی و استخراج گوشه سکوه‌های کشت در جداول ۲ و ۳ و شکل ۹ ارائه شده است. با توجه به شکل ۹ از مجموع ۳۲ گوشه سکوه‌های کشت، ۲۴ گوشه در مسیر حرکت دوربین استریو قرار داشتند، به دلیل محدودیت در محیط گلخانه، امکان حرکت دوربین در راهروهای ابتدایی و انتهایی فراهم نبود، به همین دلیل هشت گوشه با شماره برچسب، ۱، ۳، ۵، ۷، ۲۶، ۲۸، ۳۰ و ۳۲ در مسیر حرکت دوربین استریو قرار نگرفته و در نتیجه امکان تخمین موقعیت آن‌ها توسط الگوریتم فراهم نشد. از تعداد ۲۴ گوشه، ۲۰ گوشه، به‌عبارت‌دیگر ۸۳/۳۳ درصد از گوشه سکوه‌های کشت، با میانگین خطای ۰/۰۷۳۰۹ متر، انحراف معیار ۰/۰۴۸۴ متر و میانگین

با توجه به نتایج جدول ۱، مقدار میانگین خطای پس‌افکنش<sup>۱</sup> برای دوربین چپ و راست کم‌تر از یک پیکسل و به‌ترتیب برابر با ۰/۱۲۱۹ و ۰/۱۲۵۰ پیکسل به‌دست آمد، که نشان‌دهنده دقت کافی فرآیند کالیبراسیون در برآورد پارامترهای داخلی دوربین‌ها است (Bradski and Kaehler, 2008). فرآیند طراحی و ساخت قاب دوربین استریو زمانی مطلوب خواهد بود که دوربین‌ها هم صفحه و صفحات تصویر موازی و هم ردیف باشند، از طرفی خط مبنای انتخاب شده برای دوربین استریو ۱۰۰ میلی‌متر می‌باشد، بنابراین انتظار می‌رود که بردار جابه‌جایی در راستای محور X دارای مقدار ۱۰۰ میلی‌متر و در راستای محوره‌های Y و Z صفر و زاویه دوران نیز نزدیک صفر باشد. با توجه به جدول ۱، بردار جابه‌جایی و زاویه دوربین راست نسبت به دوربین چپ به‌ترتیب (۰/۶۳- و ۰/۸۸ و ۰/۹۹/۷۸-) میلی‌متر و ۰/۱۲۰۳ درجه به‌دست آمده است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که فرآیند ساخت قاب دوربین استریو نیز با دقت کافی انجام شده است.

تعداد تصاویر گرفته شده از محیط گلخانه ۳۴۷ جفت تصویر و مسافت طی شده ۶۲/۲۸ متر می‌باشد. شکل (۶-الف) یک نمونه از جفت تصویر گرفته شده از محیط گلخانه را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از اجرای الگوریتم استخراج لبه سکو بر جفت تصویر شکل (۶-الف) در شکل‌ها (۶-ب) الی (۶-د) ارائه شده است. شکل (۶-ب) نقشه تمایز متناظر با جفت تصویر گرفته شده، شکل (۶-ج) نتیجه حاصل از اعمال آشکارساز لبه به نقشه تمایز و شکل (۶-د) مدل ابر نقطه‌ای متناظر با لبه سکوها در جفت تصویر استریو را نشان می‌دهند. در نقشه تمایز رنگ هر پیکسل متناظر با فاصله می‌باشد، با توجه به شکل (۶-ب)، همان‌طور که انتظار می‌رود، از آن‌جایی که سطح بیرونی سکو دارای پیوستگی در عمق می‌باشد، تغییرات معنی‌داری در شدت پیکسل‌ها وجود ندارد، این در حالی است که لبه‌های سکو دارای عدم پیوستگی در عمق می‌باشند که این ناپیوستگی در نقشه تمایز به‌صورت تغییر معنی‌دار در شدت پیکسل‌ها خود را نشان می‌دهد. تغییر معنی‌دار شدت پیکسل‌ها در محل لبه سکو به معنای وجود لبه در تصویر دو بعدی نقشه تمایز است، که این لبه‌ها به کمک آشکارساز کنی استخراج شده است (شکل ۶-ج). از شکل (۶-ج) می‌توان دریافت که لبه‌های پایینی با دقت مطلوب‌تری نسبت به لبه‌های بالایی آشکار شده‌اند. علت عدم استخراج مطلوب لبه‌های بالایی به دلیل نزدیکی این لبه‌ها به گلدان‌ها می‌باشد، در مقابل به دلیل فاصله‌ای که بین لبه پایینی و سطح زمین وجود دارد، این لبه‌های با کیفیت‌تری استخراج شده‌اند. از آن‌جایی که لبه‌های بالایی و پایینی سکو در یک امتداد قرار دارند و آشکارسازی لبه‌های پایینی با کیفیت

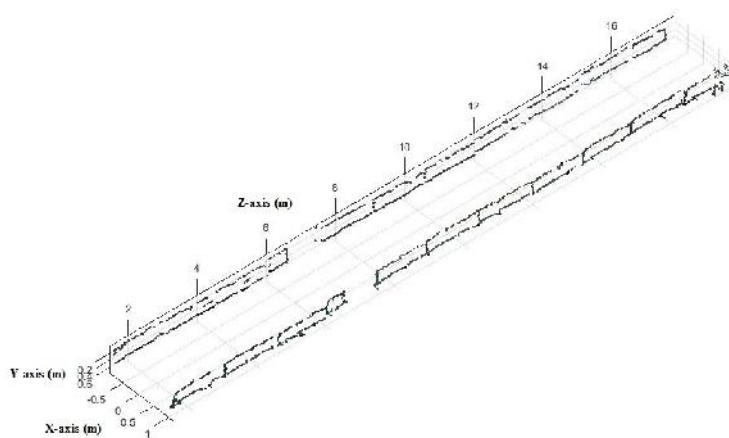


مربع خطای ۰/۰۰۷۶ متر تشخیص داده شدند.



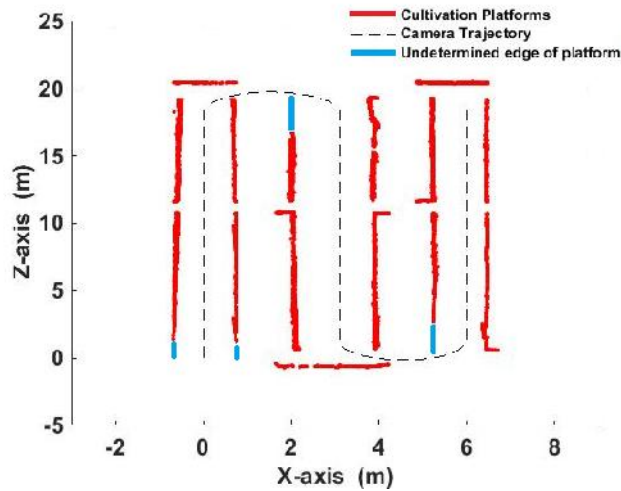
شکل ۶- الف) نمونه‌ای از جفت تصویر گرفته شده از گلخانه توسط دوربین استریو، ب) نقشه تمایز جفت تصویر شکل الف، ج) لبه‌های استخراج شده از نقشه تمایز و د) بازسازی مدل ابر نقطه‌ای مربوط به شکل الف

**Fig.6.** a) Paired images of greenhouse taken by stereo camera, b) Disparity map of fig. a, c) Extracted edges of disparity map and d) Reconstructed point cloud model of fig. a



شکل ۷- بازسازی مدل ابر نقطه‌ای یکی از راهروهای گلخانه

**Fig.7.** Reconstruction point cloud model of a greenhouse corridor



شکل ۸- نقشه محیط گلخانه در صفحه xz

Fig. 8. Greenhouse environment map on xz plan

جدول ۲- نتایج حاصل از تخمین موقعیت گوشه سکوها

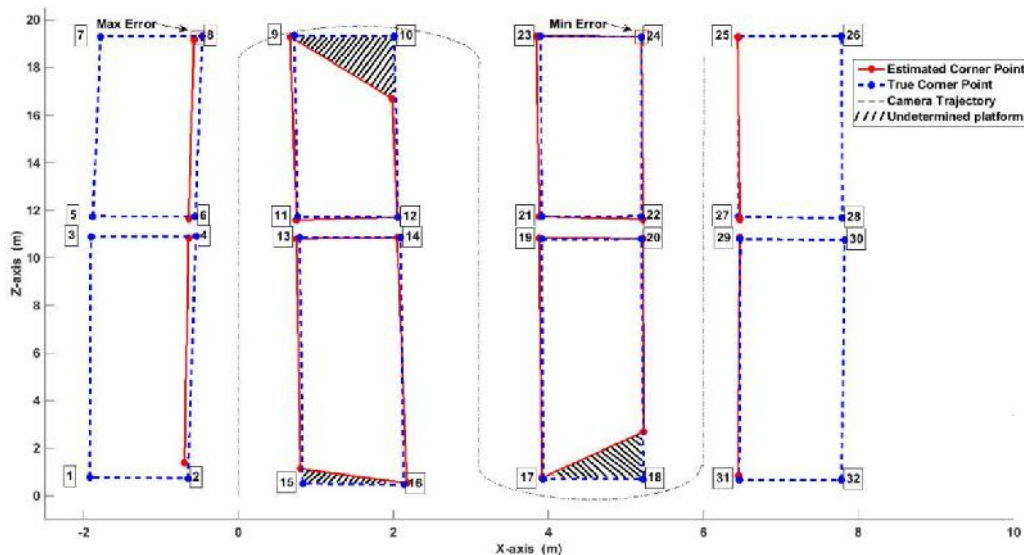
Table 2- Results of corner position estimation

تعداد گوشه سکوها Num of platform's corner	تعداد گوشه‌های شناسایی شده Num of extracted corner	شماره برچسب خطای کمینه Lable num of min error	شماره برچسب خطای بیشینه Lable num of max error
24	20 (83.33%)	24	8

جدول ۳- مقادیر خطا در تخمین موقعیت گوشه سکوها

Table 3- Error values in position estimation of platforms corner

خطای کمینه (m) Min error (m)	خطای بیشینه (m) Max error (m)	میانگین خطا (m) Mean error (m)	انحراف معیار استاندارد (m) Standard deviation(m)	میانگین مربع خطا (m) MSE (m)
0.0001	0.169	0.07309	0.0484	0.00757



شکل ۹- نقشه گوشه سکوی کشت در صفحه xz

Fig.9. Corner of cultivation platforms map on xz plan

شاخص‌های آماری، حاکی از دقت مطلوب الگوریتم در تخمین موقعیت گوشه‌ها است. در شکل ۹، عدم شناسایی گوشه‌ها با برچسب

بعدی نقشه تمایز هستند. استفاده از این ویژگی برای تعیین موقعیت سکوهای کشت باعث کاهش تعداد نقاط در مدل ابر نقطه‌ای شد، که نتیجه آن کاهش زمان مورد نیاز برای پردازش و همچنین افزایش دقت در تعیین موقعیت گوشه‌های سکوها می‌باشد. با در اختیار داشتن نقشه تمایز مربوط به لبه سکوها، مختصات سه‌بعدی لبه‌ها، به دست می‌آید که به این ترتیب امکان ساخت مدل ابر نقطه‌ای و تهیه نقشه محلی محیط فراهم می‌شود. با کنار هم قرار دادن نقشه‌های محلی، نقشه جامعی از محیط حاصل می‌شود.

از نقشه جامع تهیه شده برای گلخانه، نتیجه گرفته شد که الگوریتم معرفی شده در این تحقیق، از مجموع طول لبه سکوها به میزان ۱۰۶/۶ متر، توانایی شناسایی ۱۰۱/۰۴۲ متر یعنی ۹۴/۷۹ درصد از طول کل لبه‌ها را دارد. نتایج حاصل از شناسایی و استخراج گوشه‌ها نشان داد که الگوریتم ارائه شده قادر است ۸۳/۳۳ درصد از گوشه سکوهای کشت را، با میانگین خطای ۰/۰۷۳۰۹ متر و میانگین مربع خطای ۰/۰۰۷۶ متر، تشخیص دهد.

۲، ۱۰، ۱۵ و ۱۸ به دلیل قرار نگرفتن این گوشه‌ها در زاویه دید دوربین می‌باشد، در نتیجه شناسایی نشدن چهار گوشه ذکر شده، قسمتهایی از سکوهای کشت که در شکل ۹ به صورت ناحیه‌های هاشور خورده نشان داده شده‌اند، شناسایی و تشخیص داده نشدند. بیش‌ترین خطا در تعیین موقعیت، بر اساس فاصله اقلیدسی، مربوطه به گوشه سکو با برچسب شماره ۸ و به مقدار ۰/۱۶۹ متر و کم‌ترین مقدار خطا با مقدار ۱ میلی‌متر (۰/۰۰۱ متر) و مربوط به گوشه سکو با برچسب شماره ۲۴ می‌باشد.

## نتیجه‌گیری

با شناسایی و تعیین موقعیت سکوهای کشت به‌عنوان اصلی‌ترین مانع حرکت، امکان ساخت نقشه جامع محیط گلخانه و هدایت خودکار فراهم می‌شود. روش ارائه شده در این تحقیق برای شناسایی و تعیین موقعیت سکوها، بر مبنای استفاده از ویژگی عدم پیوستگی در عمق، در ناحیه لبه سکوها می‌باشد. این ناپیوستگی‌ها مشابه لبه در تصویر دو

## References

1. Bay, H., A. Ess, T. Tuytelaars, and L. Van Gool. 2008. Speeded-up robust features (SURF). *Computer vision and image understanding* 110: 346-359.
2. Benson, E., J. Reid, and Q. Zhang. 2003. Machine vision-based guidance system for an agricultural small-grain harvester. *Transactions of the ASAE* 46: 1255-1264.
3. Bhatti, A. 2011. Global 3D Terrain Maps for Agricultural Applications. Pages 227-242 in Rovira-Más F, ed. *Advances in theory and applications of stereo vision*. InTech. Croatia.
4. Bradski, G., and A. Kaehler. 2008. *Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library*. O'Reilly Media, Inc. Sebastopol, CA.
5. Brand, C., M. J. Schuster, H. Hirschmüller, and M. Suppa. 2014. Stereo-vision based obstacle mapping for indoor/outdoor SLAM. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. Chicago, IL, USA.
6. Cantón, J., J. Donaire, and J. Sánchez-Hermosilla. 2012. Stereovision based software to estimate crop parameters in greenhouses. In *Information Technology, Automation and Precision Farming. International Conference of Agricultural Engineering-CIGR-AgEng: Agriculture and Engineering for a Healthier Life*. Valencia, Spain.
7. Civera, J., O. G. Grasa, A. J. Davison, and J. Montiel. 2009. 1-point RANSAC for EKF-based structure from motion. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. Louis, USA.
8. Craig, J. J. 2005. *Introduction to robotics: mechanics and control*. Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey, USA.
9. Cyganek, B., and J. P. Siebert. 2009. *An Introduction to 3D Computer Vision Techniques and Algorithms*. John Wiley & Sons, Ltd. United Kingdom.
10. Hirschmuller, H. 2005. Accurate and efficient stereo processing by semi-global matching and mutual information. In *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05)*. San Diego, CA, USA.
11. Kise, M., and Q. Zhang. 2008. Development of a stereovision sensing system for 3D crop row structure mapping and tractor guidance. *Biosystems Engineering* 101: 191-198.
12. Kise, M., Q. Zhang, and F. R. Más. 2005. A stereovision-based crop row detection method for tractor-

- automated guidance. *Biosystems Engineering* 90: 357-367.
13. Kitt, B., A. Geiger, and H. Lategahn. 2010. Visual odometry based on stereo image sequences with RANSAC-based outlier rejection scheme. In *Intelligent Vehicles Symposium*. University of California, San Diego, CA, USA.
  14. Milella, A., B. Nardelli, D. Di Paola, and G. Cicirelli. 2009. Robust Feature Detection and Matching for Vehicle Localization in Uncharted Environments. In *Proceedings of the IEEE/RSJ IROS Workshop Planning, Perception and Navigation for Intelligent Vehicles*. Saint Louis, USA.
  15. Peyman, S. H., A. B. Ziaratgahi, and A. Jafari. 2016. Exploring the possibility of using digital image processing technique to detect diseases of rice leaf. *Journal of Agricultural Machinery* 6 (1): 69-79. (In Farsi).
  16. Rosell, J., and R. Sanz. 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.
  17. Rovira-Más, F., Q. Zhang, and J. Reid. 2005. Creation of three-dimensional crop maps based on aerial stereoisimages. *Biosystems Engineering* 90: 251-259.
  18. Rovira-Más, F., Q. Zhang, and J. F. Reid. 2008. Stereo vision three-dimensional terrain maps for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 60: 133-143.
  19. So, G. J., S. H. Kim, and J. Y. Kim. 2014. The Extraction of Depth Discontinuities Using Disparity Map for Human Visual Fatigue. *International Journal of Computer Theory and Engineering* 6: 330-335.
  20. Trucco, E., and A. Verri. 1998. *Introductory techniques for 3-D computer vision*. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
  21. Xia, C., Y. Li, T. S. Chon, and J. M. Lee. 2009. A stereo vision based method for autonomous spray of pesticides to plant leaves. In *Industrial Electronics, ISIE. IEEE International Symposium on*. Seoul Olympic Parktel, Seoul, Korea.
  22. Yang, L., and N. Noguchi. 2012. Human detection for a robot tractor using omni-directional stereo vision. *Computers and Electronics in Agriculture* 89: 116-125.
  23. Yeh, Y. H. F., T. C. Lai, T. Y. Liu, C. C. Liu, W. C. Chung, and T. T. Lin. 2014. An automated growth measurement system for leafy vegetables. *Biosystems Engineering* 117: 43-50.
  24. Zhang, Z. 1999. Flexible camera calibration by viewing a plane from unknown orientations. In *Computer Vision. The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on*. Kerkyra, Greece.

## Creation Greenhouse Environment Map Using Localization of Edge of Cultivation Platforms Based on Stereo Vision

A. Nasiri<sup>1</sup>- H. Mobli<sup>2\*</sup> - S. Hosseinpour<sup>3</sup>- Sh. Rafiee<sup>4</sup>

Received: 28-08-2016

Accepted: 18-12-2016

### Introduction

Stereo vision means the capability of extracting the depth based on analysis of two images taken from different angles of one scene. The result of stereo vision is a collection of three-dimensional points which describes the details of scene proportional to the resolution of the obtained images.

Vehicle automatic steering and crop growth monitoring are two important operations in agricultural precision. The essential aspects of an automated steering are position and orientation of the agricultural equipment in relation to crop row, detection of obstacles and design of path planning between the crop rows. The developed map can provide this information in the real time. Machine vision has the capabilities to perform these tasks in order to execute some operations such as cultivation, spraying and harvesting.

In greenhouse environment, it is possible to develop a map and perform an automatic control by detecting and localizing the cultivation platforms as the main moving obstacle. The current work was performed to meet a method based on the stereo vision for detecting and localizing platforms, and then, providing a two-dimensional map for cultivation platforms in the greenhouse environment.

### Materials and Methods

In this research, two webcams, made by Microsoft Corporation with the resolution of 960×544, are connected to the computer via USB2 in order to produce a stereo parallel camera.

Due to the structure of cultivation platforms, the number of points in the point cloud will be decreased by extracting the only upper and lower edges of the platform. The proposed method in this work aims at extracting the edges based on depth discontinuous features in the region of platform edge.

By getting the disparity image of the platform edges from the rectified stereo images and translating its data to 3D-space, the point cloud model of the environments is constructed. Then by projecting the points to XZ plane and putting local maps together based on the visual odometry, global map of the environment is constructed.

To evaluate the accuracy of the obtained algorithm in estimation of the position of the corners, Euclidian distances of coordinates of the corners achieved by Leica Total Station and coordinates and resulted from local maps, were computed.

### Results and Discussion

Results showed that the lower edges have been detected with better accuracy than the upper ones. Upper edges were not desirably extracted because of being close to the pots. In contrast, due to the distance between lower edge and the ground surface, lower edges were extracted with a higher quality. Since the upper and lower edges of the platform are in the same direction, the lower edges of the platform have been only used for producing an integrated map of the greenhouse environment. The total length of the edge of the cultivation platforms was 106.6 meter, that 94.79% of which, was detected by the proposed algorithm. Some regions of the edge of the platforms were not detected, since they were not located in the view angle of the stereo camera.

1- Ph.D Graduated, Mechanics of Agricultural Machinery Dept., Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran

2 and 4- Professor, Mechanics of Agricultural Machinery Dept., Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran

3- Assistant professor in Mechanics of Agricultural Machinery Dept., Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran

(\*- Corresponding Author Email: hmobli@ut.ac.ir)

By the proposed algorithm, 83.33% of cultivation platforms' corners, were detected with the average error of 0.07309 meter and mean squared error of 0.0076. Non- detected corners are due the fact that they were not located in the camera view angle. The maximum and minimum errors in the localization, according to the Euclidian distance, were 0.169 and 0.0001 meters, respectively.

## Conclusions

Stereo vision is the perception of the depth of 3D with the disparity of the two images. In navigation, stereo vision is used for localizing the obstacles of movement. Cultivation platforms are the main obstacle of movement in greenhouses. Therefore, it is possible to design an integrated map of greenhouse environment and perform automatic control by localization of the cultivation platforms. In this research, the depth discontinuity feature in the locations of the edges, was used for the localization of the cultivation platforms' edges. Using this feature, the size of the points required for establishing the point cloud model and also the associated processing time decreased, resulting improvement in the accuracy of determining coordination of the platforms' corners.

**Keywords:** Cultivation platform, Depth discontinuity, Edge, Obstacle, Stereo vision