

Extraction of a 3D Map of the Greenhouse Environment and Detection and Segmentation of Pots Using Stereo Vision

ZAHRA KHOSROBEYGI¹, SHAHIN RAFIEE^{2*}, SEYED SAEID MOHTASEBI³, AMIN NASIRI⁴

1. PHD student, Department of Mechanics of biosystem, Faculty of Engineering & Technology, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2. Professor, Department of Mechanics of biosystem, Faculty of Engineering & Technology, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
3. Professor, Department of Mechanics of biosystem, Faculty of Engineering & Technology, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
4. Former Ph.D. student, Department of Mechanics of biosystem, Faculty of Engineering & Technology, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

(Received: Dec. 30, 2018- Revised: May. 15, 2019- Accepted: May. 28, 2019)

ABSTRACT

Creating a map of the greenhouse environment and determine the position of the pots on this map, which are the main obstacles in agricultural environments, especially greenhouses, is an essential step in automating agricultural operations. In this research, using stereovision, the map from the greenhouse environment was extracted and the pots in this map were detected and segmented. To reach this goal, ROS framework, nodes and network connections in this framework, was used. To evaluate the designed algorithm, the error rate is calculated using Euclidean distance between estimated locations and actual locations of pots. The results of this study showed that 100% of the pots were identified and positioned. The evaluation results showed that the mean errors in estimating the position of the pots was 0.056 and Root mean squared error (RMSE) was 0.0006. Also, the maximum error in estimating the position of the pots was 0.137m and the minimum error was 0.005m. The results showed that the designed algorithm has a high accuracy in estimating the position of the pots

Key words: Stereovision, Pot, ROS, Greenhouse

استخراج نقشه سه بعدی از محیط گلخانه و تشخیص و جداسازی گلدان‌ها با استفاده از بینایی استریو

زهرا خسروبیگی^۱، شاهین رفیعی^{۲*}، سید سعید محتسبی^۳، امین نصیری^۴

۱. دانشجوی دکتری، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی فناوری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲. استاد، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی فناوری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳. استاد، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی فناوری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۴. دانشجوی سابق دکتری، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی فناوری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۹ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۲/۲۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۳/۷)

چکیده

تهیه نقشه از محیط گلخانه و تعیین موقعیت گلدان‌ها در این نقشه، که اصلی‌ترین موانع در محیط‌های کشاورزی خصوصاً گلخانه هستند، گامی ضروری در خودکار نمودن اغلب عملیات‌های کشاورزی است. در این تحقیق با استفاده از بینایی استریو به استخراج نقشه از محیط گلخانه و تشخیص و جداسازی گلدان‌ها در این نقشه پرداخته شد. برای برآوردن شدن این هدف از چارچوب راس و گر‌ها و اتصالات شبکه‌ای در این چارچوب استفاده شد. برای ارزیابی الگوریتم طراحی شده، میزان خطای موقعیت تخمین زده شده گلدان‌ها به وسیله الگوریتم با موقعیت واقعی گلدان‌ها، براساس فاصله اقلیدسی محاسبه شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که ۱۰۰ درصد گلدان‌ها شناسایی و تعیین موقعیت شدند. تخمین خطا در تعیین موقعیت گلدان‌ها دارای میانگین ۰/۰۵۶ متر و ریشه میانگین مربع خطای ۰/۰۰۰۶ متر بود. همچنین، بیش‌ترین خطا در تخمین موقعیت گلدان‌ها، ۰/۱۳۷ متر و کم‌ترین مقدار خطا ۰/۰۰۵ متر بود.

واژه‌های کلیدی: بینایی استریو، گلدان، راس، گلخانه

مقدمه

اغلب فعالیت‌های کشاورزی، عملیات‌هایی مخاطره‌انگیز برای انسان و محیط‌زیست هستند که ضرورت انجام آن‌ها بدون دخالت انسان امری غیر قابل اجتناب است. همچنین به علت تقاضای روز افزون استفاده از محصولات کشاورزی، به‌کارگیری کود و سموم شیمیایی روز به روز در حال افزایش است که اثرات نامطلوبی برای انسان و محیط زیست به دنبال دارد. به منظور کاهش اثرات نامطلوب، این‌گونه عملیات‌های کشاورزی باید به صورت دقیق و انتخابی انجام شوند. به عبارتی دیگر، اعمال کشاورزی دقیق راه‌کاری موثر جهت کاهش آسیب‌ها به محیط‌زیست و انسان و در نتیجه افزایش راندمان محصولات کشاورزیست.

اعمال کشاورزی دقیق نیازمند به‌کارگیری نیروی کارگری فراوان است. به همین دلیل، خودکار نمودن عملیات‌های کشاورزی امری ضروریست. امروزه به لطف پیشرفت علم رباتیک و دستاوردهایی که در سایه توسعه فناوری‌های خودکار و هوشمند محقق می‌شوند بیش از پیش ادوات رباتیک به حوزه‌های مختلف

از جمله کشاورزی وارد شده‌اند، با این اوصاف، چرخ مزارع تجاری آینده با نیروی کارگران رباتیکی خواهد چرخید و انجام امور تخصصی همچون شناسایی، سم پاشی و چیدن محصول توسط ربات انجام خواهد شد (Ji et al., 2012).

گام نخست در خودکار نمودن عملیات‌های کشاورزی، هدایت خودکار وسیله نقلیه است. سامانه‌های هدایت خودکار پتانسیل کاهش تعداد عملیات مزرعه، افزایش بازده، به حداقل رساندن فشردگی و در نتیجه افزایش سود و بازدهی را دارا هستند (Nasiri, 2017). شناسایی موانع و طراحی مسیر حرکت یکی از اهداف هدایت خودکار است. با توجه به اینکه در اغلب محیط‌های کشاورزی گیاهان کشت شده و یا گلدان‌های حاوی گیاهان کشت شده به عنوان موانع در نظر گرفته می‌شوند در نتیجه با شناسایی آن‌ها می‌توان عملیات‌هایی مانند هدایت خودکار، سم پاشی، کود پاشی و یا برداشت را به صورت انتخابی انجام داد.

در سال‌های اخیر در زمینه کنترل خودکار ربات‌ها و وسایل نقلیه توجه خاصی به ماشین بینایی شده است. از سال ۱۹۹۰ در

مورد نظر تشخیص داده شده و برداشت می‌شد (Van Henten *et al.*, 2002). در تحقیقی یک ماشین آزمایشگاهی برداشت گل Gerbera با استفاده از بینایی استریو طراحی شد. برای تشخیص گل، تصویربرداری توسط دو دوربین با فیلتر مادون قرمز انجام شد. گل بر روی یک میز گردان در مقابل دوربین قرار می‌گرفت و تصویربرداری در هشت زاویه مختلف انجام می‌شد. مدل سه‌بعدی گل توسط رایانه با بکار گرفتن بینایی استریو تخمین زده می‌شد و محل جدا شدن گل از ساقه مشخص می‌گردید. در نهایت یک ربات محصول را برداشت می‌نمود (Rath & Kawollek, 2009). در سال ۲۰۰۵ در پژوهشی برای هدایت خودکار تراکتور در بین ردیف‌های کشت از بینایی استریو استفاده شد. فرمان‌گیری ماشین‌های کشاورزی در طی محصولات ردیفی کاری کسل کننده برای هدایت کننده است. فرمان‌گیری خودکار نه تنها مشکل قبل را حل می‌کند بلکه باعث می‌شود که آسیب‌رسانی به محصول و ردیف‌ها هم کم‌تر شود. اساسی‌ترین جنبه در هدایت خودکار توانایی شناسایی ردیف‌های محصول است. در پژوهش مذکور یک الگوریتم شناسایی ردیف محصول براساس بینایی استریو طراحی شد. این الگوریتم شامل پردازش تصاویر استریو، ارتقای نقشه و به دست آوردن نقطه هدایت بود. در این روش ابتدا نقشه سه‌بعدی با استفاده از تصاویر استریو بازسازی و در نهایت با استفاده از نقشه، نقطه بهینه برای هدایت تراکتور مشخص شد. این الگوریتم در مزارع سویا با ردیف‌های راست و منحنی شکل در سرعت‌های معمول تست شد و نتایج رضایت بخشی حتی در زمین‌هایی که دارای علف هرز بودند ارائه داد (Kise *et al.*, 2005). در تحقیق دیگر از بینایی استریو برای بررسی رشد کاهو استفاده شد. در این تحقیق با استفاده از ویژگی‌های هندسی به دست آمده با استفاده از بینایی استریو، منحنی رشد گیاه به دست آمد (Yeh *et al.*, 2014). در سال ۲۰۱۴، الگوریتمی برای تشخیص دسته‌های گوجه فرنگی در شرایط مختلف نور محیط براساس بینایی استریو طراحی شد. این الگوریتم شامل سه گام بود: گام اول تعیین نقشه عمق با استفاده از دو تصویر گرفته شده، گام دوم از بین بردن نویز تصاویر و گام سوم تعیین موقعیت تمام گوجه‌ها در دسته مورد نظر. اساس کار به این صورت بود که در ابتدا نقشه عمق دو تصویر با استفاده از اصل مثلث‌بندی به دست آمده و در مرحله دوم دسته گوجه‌ها به دو دسته به هم چسبیده و دارای هم‌پوشانی با توجه به نقشه عمق تصاویر (به عبارتی فاصله گوجه‌ها در راستای عمق) با استفاده از روش اتسو تقسیم و در نهایت با استفاده از لبه‌یابی گوجه‌ها و برازش کردن دایره مشخص برای هر لبه، موقعیت هر گوجه در دسته مورد نظر یافت شد. با استفاده از این الگوریتم ۸۷٪ گوجه‌ها به درستی تشخیص و موقعیت‌یابی شدند (Rong

زمینه ماشین بینایی و رباتیک، نرم‌افزار و سخت افزارهای بسیاری توسعه پیدا کرده‌اند و در این زمینه روش‌های عملی و قابل اعتماد مختلفی در زمینه کشاورزی معرفی شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به سامانه‌های برداشت، سامانه چینش میوه، مکان‌یابی ربات در گلخانه، سم پاشی، بازرسی و درجه‌بندی محصولات کشاورزی و کنترل علف‌های هرز اشاره کرد (Torii, 2000; Brosnan & Sun, 2002; Slaughter *et al.*, 2008). گرچه در دو دهه گذشته بینایی کامپیوتر و تکنیک‌های پردازش تصویر پیشرفت‌های چشم‌گیری داشته‌اند، اما به طور کلی دید سه‌بعدی نسبت به تصاویر معمولی دوبعدی نمایش دقیق‌تری از واقعیت ارائه می‌دهند (Bhatti, 2011).

بشر در حال حاضر در حال ورود به دنیای مجازی است. در دنیای مجازی باید ابزارهایی برای مکان‌یابی اجزای محیط وجود داشته باشد. به این منظور از ردیف‌های سه‌بعدی استفاده می‌شود تا بتوان اطلاعات بصری را با کیفیتی بالا شبیه‌سازی نمود. طول، عرض و ارتفاع اطلاعات کافی برای تعیین ناحیه‌ای از فضای اشغال شده توسط اجسام فراهم کرده و به طور صحیحی موقعیت آن‌ها را مشخص می‌نماید (Nasiri, 2017). بینایی انسان مهم‌ترین حسی است که با استفاده از آن می‌توان موقعیت اشیا را بدست آورد. در نتیجه با الهام گرفتن از بینایی انسان می‌توان با استفاده از دو دوربین که در فاصله ثابتی از یکدیگر قرار گرفته و در ارتفاع یکسانی قرار دارند ناحیه اشغال شده توسط یک شی را تعیین کرد که این اساس روش بینایی استریو است.

بینایی استریو به معنای توانایی استخراج عمق براساس تحلیل دو تصویر گرفته شده از زوایای مختلف یک صحنه است. به عبارتی، سامانه استریو، یک جفت از تصاویر دیجیتالی را که به طور هم‌زمان به وسیله یک دوربین استریو به دست آمده‌اند به یکدیگر ارتباط داده و اشیاء مشابه در هر دو تصویر را شناسایی کرده و تفاوت موقعیت آن‌ها را به صورت پیکسل اندازه‌گیری می‌کند. این تفاوت همراه با سایر پارامترها، سامانه را قادر به بازسازی صحنه واقعی یک تصویر مجازی سه‌بعدی می‌نماید (Mousazadeh & Javan bakht, 2015).

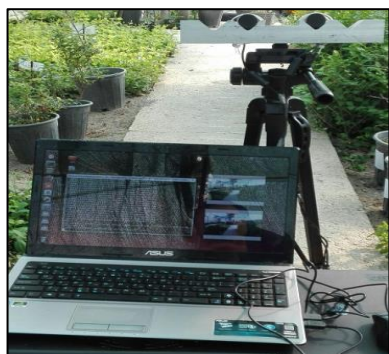
بینایی استریو در زمینه‌های مختلف کشاورزی از جمله هدایت خودکار با شناسایی و موقعیت‌یابی موانع در اطراف اداوت کشاورزی، تهیه نقشه از محیط‌های مختلف کشاورزی، تجزیه و تحلیل هندسه گیاهان، برداشت محصولات، و بررسی ویژگی فیزیکی محصولات کشاورزی مورد استفاده گسترده‌ای قرار گرفته است. در سال ۲۰۰۲ یک ماشین برداشت خیار در گلخانه بر مبنای بینایی استریو طراحی شد. این ماشین دارای دو دوربین بود که در دو طیف مختلف ۸۵۰ و ۹۷۰ نانومتر تصویربرداری می‌نمودند. با توجه به اختلاف بین دو تصویر گرفته شده، محصول

طراحی شده مکان‌یابی تصاویر، تهیه نقشه و تشخیص و جداسازی موانع به طور هم‌زمان نبوده و در سه مرحله مختلف انجام می‌شد. همچنین الگوریتم طراحی شده قابلیت بهینه کردن مکان و نقشه را نداشت در نتیجه خطاهای موجود در نقشه و مکان تصاویر در گام جدید نسبت به گام قبل به صورت جمع شونده افزایش می‌یافت.

مواد و روش‌ها

سیستم تصویربرداری

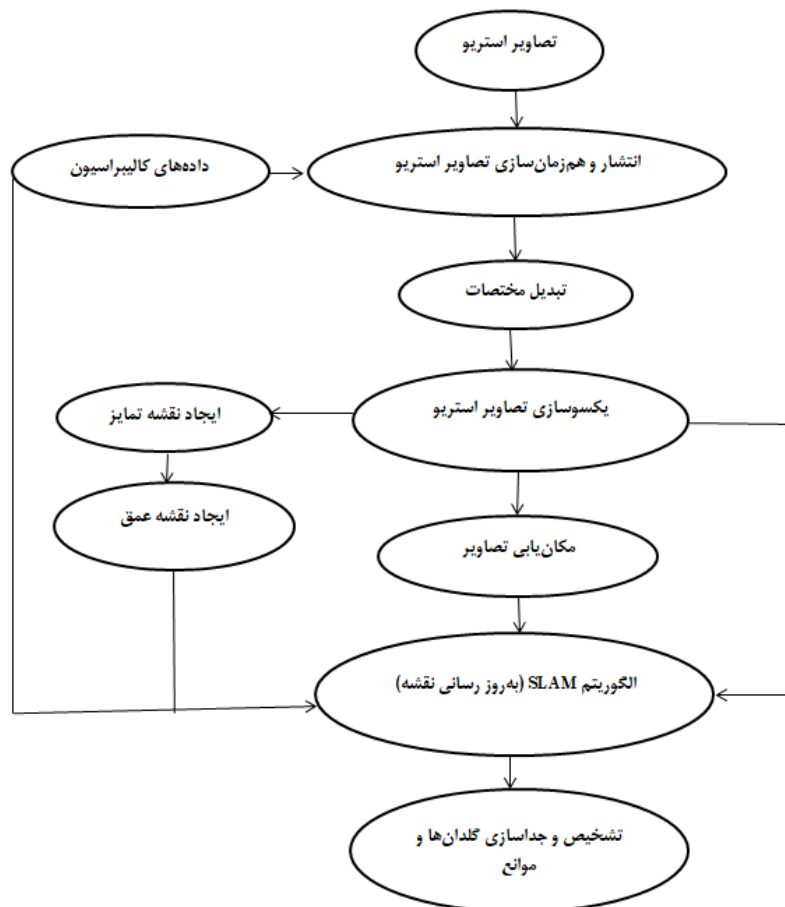
سیستم تصویربرداری مورد استفاده در این پژوهش از قسمت‌های اصلی دوربین استریو، پایه دوربین و کامپیوتر تشکیل شده بود (شکل ۱). دوربین استریو توسعه داده شده به وسیله نصیری و همکاران جهت تصویربرداری استریو از گلخانه مورد استفاده قرار گرفت (Nasiri et al., 2016). مجموعه دوربین استریو شامل دوربین‌ها و قاب دوربین بود. دوربین‌های مورد استفاده در این سیستم شامل دو وب‌کم ساخت شرکت ماکروسافت به ابعاد ۹۶۰×۵۴۴ پیکسل بودند که از طریق USB2 به کامپیوتر متصل می‌شدند. همچنین برای ساخت قاب دوربین استریو به طوری که امکان انتخاب خط‌مبنای متفاوت بین دو دوربین وجود داشته باشد، از یک شمش آلومینیومی به ابعاد ۵×۷×۳۰ سانتی‌متر استفاده شده بود. در طول شمش آلومینیومی متناسب با ابعاد دوربین، شیارهایی به فواصل ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر ایجاد شده بود. انتخاب خط‌مبنای مناسب یک فرآیند بهینه‌سازی بین دقت و انطباق است به همین دلیل با آزمون و خطا فاصله دو دوربین ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. جهت تصویربرداری استریو، دوربین استریو توسعه داده شده بر روی پایه دوربین با ارتفاع تقریبی ۷۵ سانتی‌متر قرار داده شد و دوربین‌ها به کامپیوتر متصل شدند و جهت تهیه تصاویر، سیستم تصویربرداری به داخل محیط مورد نظر انتقال داده شد.



شکل ۱- سیستم تصویربرداری توسعه داده شده

(et al., 2014). در سال ۲۰۱۵، در پژوهشی موقعیت سیب بر روی درخت با استفاده از بینایی استریو تعیین گردید. الگوریتم طراحی شده شامل سه مرحله‌ی تشخیص و جدا کردن میوه از زمینه، برآورد شکل میوه و تعیین موقعیت آن بود. تشخیص میوه با استفاده از ویژگی رنگی میوه سیب انجام شد و با استفاده از روش RRM^۱ شکل میوه تخمین زده شد و در نهایت با استفاده از انطباق دو تصویر موقعیت میوه تعیین شد. با استفاده از این الگوریتم در شرایط مختلف محیط ۸۹/۵٪ میوه‌ها به صورت صحیح شناسایی و موقعیت‌یابی شدند (Yong sheng et al., 2015).

از آنجایی که تشخیص موانع در محیط‌های کشاورزی و گلخانه باعث سهولت در انجام عملیات‌های کشاورزی می‌شود، هدف از این تحقیق، استخراج نقشه از محیط گلخانه و تشخیص و جداسازی موانع (گلدان‌های موجود در گلخانه) است. برای دست‌یابی به این هدف از بینایی استریو و الگوریتم SLAM^۲ استفاده شد. الگوریتم SLAM به حل مسئله مکان‌یابی و ایجاد نقشه هم‌زمان می‌پردازد (Thrun et al., 1998). به عبارتی الگوریتم SLAM به وسیله نقلیه این امکان را می‌دهد که در یک محیط ناشناخته به شناسایی این محیط پرداخته و در عین حال مکان خود را در این محیط پیدا کند (Li et al., 2008). همچنین مسئله مکان‌یابی و ایجاد نقشه هم‌زمان یک فرآیند تخمین بازگشتی بوده که با استفاده از آن می‌توان میزان خطا در نقشه و مکان‌یابی ربات را به حداقل رساند (Auta Cheein et al., 2011). بر همین اساس الگوریتم‌های متنوعی برای حل این مسئله گسترش پیدا کرده است که تنوع این الگوریتم‌ها به علت تنوع در به کارگیری حسگرهای مختلف، تنوع در نوع محیط و نوع نقشه تهیه شده از این محیط‌ها است (Leonard & Durrant-Whyte, 1991; Montemerlo et al., 2002; Eliazar, 2003; Estrada et al., 2005; Eliazar & Parr, 2004). رایج‌ترین الگوریتم SLAM که براساس حسگرهای بینایی سه‌بعدی توسعه پیدا کرده، RTAB-Map است. الگوریتم مذکور یک روش گراف-مبنا بوده که برای اصلاح نقشه و مکان نیاز به تشخیص لوپ‌کلوزر^۳ دارد. به عبارت دیگر در این الگوریتم بعد از تشخیص لوپ‌کلوزر، محدودیت جدید به گراف اضافه شده و در نهایت نقشه تهیه شده با استفاده از یک بهینه‌کننده گراف اصلاح شده و خطاهای موجود در آن را به حداقل می‌رساند (Labbé & Michaud, 2011; Labbé & Michaud, 2013; Labbé & Michaud, 2014). Nasiri et al. (2017) الگوریتمی بر مبنای بینایی استریو برای تشخیص و تعیین موقعیت گلدان‌ها ارائه دادند. در الگوریتم



شکل ۲- طرح کلی الگوریتم تشخیص و جداسازی گلدان‌ها و موانع با استفاده از بینایی استریو

طراحی الگوریتم

در این تحقیق جهت استخراج نقشه از محیط با استفاده از بینایی استریو و تشخیص و جداسازی گلدان‌ها، از چارچوب راس^۱ (ROS) در محیط اوبونتو (Ubuntu 14.04 LTS) استفاده شد. راس شامل کتابخانه‌ها و ابزارهای مختلف از جمله بسته‌ها^۲ و نرم افزارهای متن باز^۳ جهت به کارگیری در زمینه‌های مختلف رباتیک است (Lepez & Rakun, 2016). همچنین راس دارای ساختار شبکه‌ای است که باعث ارتباط بین قسمت‌های مختلف الگوریتم به وسیله گره‌ها^۴ می‌شود. شکل (۲) طرح کلی الگوریتم طراحی شده، گره‌های به کار برده شده و نحوه ارتباط آن‌ها با یکدیگر را نمایش می‌دهد.

کالیبراسیون دوربین

در مرحله اول قبل از اجرای الگوریتم، نیاز است که دوربین استریو کالیبره شود. دقت بازیابی سه‌بعدی در فرآیند بینایی استریو تحت تاثیر پارامترهای متعددی است که در طی فرآیند کالیبراسیون

تعیین می‌شود. در این تحقیق از روش ارائه شده توسط ژنگ^۵ برای کالیبراسیون دوربین‌ها استفاده شد. در این روش اغتشاشات ناشی از لنز دوربین برای مدل دوربین در نظر گرفته می‌شود (Zhang, 1999). برای این منظور از یک صفحه شطرنجی ۶×۷ با ابعاد ۳۳ میلی‌متر برای هر مربع، به عنوان الگوی کالیبراسیون استفاده شد. بعد از انتقال سیستم تصویربرداری به محیط مورد نظر، فرایند کالیبراسیون با تصویربرداری از صفحه شطرنجی در جهت‌ها و فواصل مختلف نسبت به دوربین انجام گرفت.

تصاویر استریو

از یک محیط گلخانه خانگی جهت چیدمان گلدان‌ها و تهیه تصاویر استریو استفاده شد. این محیط دارای سقف شیشه‌ای و با ابعاد تقریبی ۳×۱۰ متر بود. از ۸ عدد گلدان با ابعاد ۲۲×۲۰ سانتی‌متر که حاوی درختچه‌های کاج بودند در این محیط استفاده شد (شکل ۳). قبل از ثبت تصاویر استریو در محیط گلخانه، مسیر حرکت دوربین در این محیط طراحی شد. مسیر

به محور مختصات جهانی تبدیل شود به طوری که محور X به سمت جلو، محور Y به سمت چپ و محور Z به سمت بالا باشد. به همین منظور گره‌ای جهت تبدیل محورهای مختصات تصاویر استفاده می‌شود. این گره با در نظر گرفتن نقطه شروع حرکت دوربین سمت چپ به عنوان مبدأ مختصات جهانی، تبدیل مختصات جهانی تصاویر منتشر شده را انجام می‌دهد.

یکسوسازی تصاویر استریو

جهت تعیین مکان تصاویر و تهیه نقشه از محیط نیاز است که تصاویر استریو یکسوسازی شود. در این تحقیق از روش ارائه شده توسط بوگت^۲ برای یکسوسازی تصاویر استفاده شد. این الگوریتم از پارامترهای انتقال و دوران دو دوربین تنظیم شده برای یکسوسازی استفاده می‌کند (Bradski & Kaeler, 2008).

تعیین مکان تصاویر

تخمین میزان جابجایی دوربین از جمله ملزومات هر سامانه دیداری متحرک به حساب می‌آید و در هر مرحله به دانستن موقعیت نسبی قاب کنونی دوربین نسبت به قاب پیشین یا قاب مرجع ثابت نیاز است. به طور معمول این کار توسط حسگرهای کم دقت سرعت چرخ یا واحدهای اندازه‌گیری اینرسی گران‌قیمت صورت می‌گیرد. در سال‌های اخیر با افزایش توان محاسباتی سامانه‌های دوربین‌دار و همچنین کاهش قیمت آن‌ها، دوربین‌ها مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته‌اند. تعیین جابجایی با استفاده از تغییرات تصاویر گرفته شده از دوربین برای ناوبری، مکان‌یابی دیداری شناخته می‌شود (Nasiri, 2017).

در دهه‌های اخیر مکان‌یابی دیداری به عنوان یک راه‌حل جدید در حل مسئله موقعیت‌یابی در محیط‌های ناشناخته معرفی شده است. در مقابل دیگر حسگرها، مکان‌یابی دیداری از مزیت‌های بسیاری برخوردار است. از جمله می‌توان به دقت بالای آن در مقایسه با حسگرهای سرعت چرخ اشاره کرد، به ویژه در زمین‌های شیب‌دار که اغلب حسگرهای چرخ در تخمین موقعیت چرخ دچار اشتباه می‌شوند حال آنکه مکان‌یابی دیداری بسیار دقیق عمل می‌کند. همچنین روش‌های تخمین موقعیت مبتنی بر سامانه‌های موقعیت‌یاب جهانی یا واحد اندازه‌گیری اینرسی به ترتیب از دقت و قیمت بالایی برخوردارند. از طرفی نرخ انحراف محلی به دست آمده توسط مکان‌یابی دیداری غالباً از نرخ انحراف داده شده توسط واحدهای اندازه‌گیری اینرسی کم‌تر است (Kitt et al., 2010).

در این تحقیق از مکان‌یابی دیداری جهت تعیین میزان دوربین استفاده شد. ایده اصلی در این روش، تخمین میزان

طراحی شده برای استفاده از الگوریتم SLAM نیاز به تشخیص لوپ‌کلوزر دارد. برای تشخیص لوپ‌کلوزر نیاز است که در مسیر حرکت دوربین مسیریهای تکراری در نظر گرفته شود (Labbé & Michaud, 2011). به همین منظور مسیر حرکت دوربین به صورت دایره در نظر گرفته شد تا سیستم تصویربرداری پس از طی مسافتی، دوباره به مکان شروع حرکت خود بازگردد و لوپ‌کلوزر مورد نظر تشخیص داده شود. مرکز گلدان‌ها در مکان‌های مشخص در این محیط که با استفاده از دوربین نقشه‌برداری توتال استیشن مدل لایکا^۱ تعیین مختصات شده بودند، قرار داده شد. در نتیجه با در نظر گرفتن مبدأ حرکت مشخص (مرکز دایره مشخص شده در شکل (۳))، سیستم تصویربرداری حول دایره وسط ایجاد شده در شکل (۳) حرکت داده شد (پایه چپ سیستم تصویربرداری در مرکز دایره قرار داده شده و پایه راست این سیستم با گام‌های حرکت ۸ درجه در جهت عقربه‌های ساعت حرکت داده شد) و تصاویر استریو با ثابت شدن سیستم تصویربرداری در هر گام تهیه شدند. در مجموع تعداد ۴۵ زوج تصویر استریو تهیه شد.

انتشار و هم‌زمان‌سازی تصاویر استریو

جهت استفاده تصاویر به وسیله چارچوب راس نیاز است که تصاویر با فرمت مشخص شده در این چارچوب ارسال شوند. همچنین نیاز است که تصاویر راست و چپ گرفته شده به وسیله دوربین استریو بعد از انتشار هم‌زمان‌سازی شوند. به همین منظور، گره‌ای جهت انتشار و هم‌زمان‌سازی تصاویر استریو در نظر گرفته شد. با استفاده از این گره می‌توان تصاویر استریو را با نرخ مشخصی به صورت هم‌زمان منتشر کرد. در این تحقیق، تصاویر استریو با نرخ ۰/۵ هرتز انتشار و هم‌زمان‌سازی شدند.



شکل ۳- محیط گلخانه خانگی و گلدان‌های چیده شده در آن

تبدیل مختصات

تصاویر استریو منتشر شده دارای مختصات دوربین هستند. مختصات دوربین به صورتی است که محور X به سمت راست، محور Y به سمت پایین و محور Z به سمت جلو است. جهت ایجاد نقشه از محیط نیاز است که محور مختصات تصاویر منتشر شده

پیشنهاد می‌شود. در این تحقیق از الگوریتم تطابق بلوکی^۵ استفاده شد. از ویژگی‌های منحصر به فرد این روش سرعت بالای آن در انطباق تصاویر و استخراج مدل سه‌بعدی است (Bradski & Kaeler, 2008). با در اختیار داشتن نقشه تمایز و اطلاعات مربوط به دوربین‌ها و هندسه سامانه تصویربرداری، مختصات سه‌بعدی اجزاء محیط با استفاده از روش مثلثاتی تعیین می‌شود (Cyganek & Siebert, 2009).

در نهایت با در اختیار داشتن مکان تصویر در هر گام و همچنین نقشه محلی، با استفاده از الگوریتم RTAB-Map دو نوع نقشه سه‌بعدی متراکم^۶ و شبکه اشغال^۷ از محیط گلخانه خانگی استخراج شد. نقشه سه‌بعدی متراکم یک نقشه نقاط ابری^۸ از محیط است که شامل اطلاعات مختصات سه‌بعدی نقاط محیط و سایر ویژگی‌های این نقاط از جمله ویژگی رنگی (RGB) آن‌ها است (Audras et al., 2011). در نقشه‌های شبکه اشغال، محیط توسط یک شبکه گسسته نمایش داده می‌شود که در آن هر سلول (یا پیکسل در تصویر)، توسط یک مانع اشغال شده و یا اینکه خالی بوده و فضای آزاد به حساب می‌آید (Borenstein & Koren, 1990; Elfes, 1991). از مهم‌ترین امتیازات این نوع نقشه استفاده آن در طراحی مسیر و اکتشاف محیط است که اطلاعات احتمالاتی مربوط به سلول‌ها، پیچیدگی طراحی مسیر را کاهش می‌دهد.

به منظور بهینه کردن مکان تصاویر و نقشه محیط، از روش تارو^۹ (TORO) استفاده شد. این روش که براساس الگوریتم اولسان^{۱۰} توسعه پیدا کرده است با به کارگیری یک پارامتر درختی از گره‌ها در گراف به اصلاح مکان و نقشه استخراج شده از محیط می‌پردازد (Grisetti et al., 2007).

تشخیص و جداسازی گلدان‌ها و موانع

در این تحقیق، تشخیص و جداسازی گلدان‌ها و موانع در محیط گلخانه با استفاده از مختصات سه‌بعدی آن‌ها انجام شد. با توجه به اینکه موانع بالاتر از سطح زمین قرار دارند، بنابراین به کمک این قید و با داشتن نقشه محلی محیط در هر گام و با در نظر گرفتن نقاطی با ارتفاع +Z، موانع تشخیص داده و جداسازی شدند.

نتایج و بحث

نتیجه حاصل از دقت فرایند کالیبراسیون در شکل (۴) نمایش

حرکت از طریق دنبال کردن ویژگی‌های بصری مشخص در دنباله‌ای از تصاویر است (Milella et al., 2009). به عبارتی می‌توان بیان کرد که هدف مکان‌یابی دیداری برآورد میزان رابطه دو تصویر متوالی و در نهایت ارتباط این رابطه با مبدأ مختصات مرجع است. مکان‌یابی دیداری با استفاده از بینایی استریو شامل سه مرحله اصلی، استخراج و توصیف ویژگی‌های محیط، انطباق و ردیابی ویژگی‌ها در تصاویر استریو و تخمین میزان حرکت دوربین است. روش‌های متنوعی جهت استخراج و توصیف نقاط ویژگی وجود دارد که در این تحقیق به علت پایین بودن نرخ انتشار تصاویر از روش ویژگی‌های مقاوم پر سرعت (سورف^۱) استفاده شد (Lowe, 2007). همچنین به علت تصویربرداری از محیط گلخانه در شرایط نور طبیعی و تغییرات شرایط روشنایی محیط گلخانه، باید از روشی که نسبت به این تغییرات مقاوم بوده استفاده نمود. به همین علت، جهت تخمین میزان حرکت دوربین از ویژگی‌های مقاوم پر سرعت استفاده شد که مستقل از انتقال، چرخش و مقیاس بوده و تا حد امکان نسبت به تغییرات شدت روشنایی تصاویر در محیط گلخانه و نویز مقاوم هستند.

در این تحقیق جهت انطباق تصاویر استریو از روش تطبیق متقارن^۲ استفاده شد. در این روش از معیار نزدیک‌ترین همسایه^۳ در دو جهت استفاده شد (Langanieri, 2011). برای ردیابی ویژگی‌ها در تصاویر استریو متوالی نیز مشابه تطابق ویژگی‌های متناظر در جفت تصویر استریو از روش تعیین یک حد آستانه (در این تحقیق ۰/۸ انتخاب شد) و نسبت نزدیک‌ترین همسایه استفاده شد. همچنین جهت تخمین میزان حرکت دوربین در هر قاب نسبت به مبدأ حرکت از روش 3D-2D استفاده شد (Longuet-Higgins, 1987; Nister et al., 2004; Zhang, 1998).

به‌روزرسانی نقشه

با استفاده از الگوریتم SLAM نقشه محلی محیط در هر گام به دست آمده و با داشتن مکان تصاویر در هر گام، نقشه محیط به روزرسانی می‌شود. در این تحقیق از الگوریتم RTAB-Map جهت تحقق این عمل استفاده شده است (Labbe & Michaud, 2011; Labbe & Michaud, 2014). تولید نقشه محلی با استفاده از الگوریتم RTAB-Map، با استفاده از انطباق تصاویر راست و چپ، به دست آوردن تصویر ناهم‌خوانی (نقشه تمایز^۴) و در نهایت بازیابی مدل سه‌بعدی انجام می‌شود. روش‌های مختلفی برای انجام مرحله انطباق در این الگوریتم

6. Dense 3D map
7. Occupancy Grid maps
8. Point cloud
9. Tree-based network Optimizer
10. Olson

1. Speeded-Up Robust Features (SURF)
2. Symmetrical matching scheme
3. K-nearest neighbor
4. Disparity map
5. Block matching

برای دوربین چپ و 0.005420 ، 0.038226 و صفر برای دوربین راست است. همچنین اعوجاج مماسی دارای مقادیر 0.008269 و 0.003779 برای دوربین چپ و 0.006065 و 0.00527 برای دوربین راست است.

پارامترهای خارجی که شامل ماتریس دوران تصویر دوربین راست نسبت به تصویر دوربین چپ هستند، در ماتریس یکسوسازی نمایش داده شده است. به عبارتی، ماتریس یکسوسازی میزان دورانهای لازم در راستای محورهای X ، Y و Z برای هم‌صفحه شدن تصاویر چپ و راست هستند (Bradski and Kaeler, 2008).

ماتریس افکنش که دربرگیرنده پارامترهای داخلی و خارجی دوربین است، میزان جابجایی دوربین راست نسبت به دوربین چپ را نمایش می‌دهد (Bradski and Kaeler, 2008). با توجه به اینکه خط‌مبنای دو دوربین در این تحقیق ۱۰ سانتی‌متر است، بردار جابجایی باید برای دوربین راست میزان تقریبی ۱۰ سانتی‌متر در راستای محور X و مقدار صفر در راستای محورهای Y و Z داشته باشد و همچنین برای دوربین چپ مقدار صفر در راستای سه محور مختصات را نشان دهد. بر طبق جدول (۱)، میزان جابجایی برای دوربین چپ در راستای محورهای X ، Y و Z را صفر و برای دوربین راست در راستای محور X مقدار تقریبی $9/75$ و برای محورهای Y و Z مقدار صفر را دربردارد که این نشان دهنده دقت کالیبراسیون است (Camera-Calibration, 2009).

داده شده است. ستون سمت راست شکل (۴) دقت اندازه‌گیری را نمایش می‌دهد. به عبارتی، میزان خطای اپیپولار مهم‌ترین شاخص برای تشخیص یک فرایند کالیبراسیون موفق است. با توجه به شکل (۴)، میزان خطای اپیپولار در سمت راست تصویر نمایش داده شده برابر $0/15$ پیکسل بوده که خطای اپیپولار زیر $0/25$ پیکسل نشان دهنده دقت بالای نتیجه کالیبراسیون است (Camera-Calibration, 2009). همچنین نتایج حاصل از فرآیند کالیبراسیون در جدول (۱) ارائه شده است. این نتایج پارامترهای داخلی و خارجی دوربین استریو را دربرمی‌گیرند. با توجه به جدول (۱)، ماتریس دوربین در برگیرنده پارامترهای داخلی دوربین شامل فاصله کانونی، نقطه اساسی هستند. دوربین‌های استفاده شده در بینایی استریو باید دارای فاصله کانونی و نقطه اساسی یکسانی باشند (Bradski and Kaeler, 2008). با توجه به جدول (۱)، مقادیر فاصله کانونی دوربین‌ها، $(718/9, 723/17)$ برای دوربین چپ و $(715/92, 719/42)$ برای دوربین راست، و همچنین مقادیر نقطه اساسی، $(300/97, 488/74)$ برای دوربین چپ و $(292/28, 490/56)$ برای دوربین راست هستند. با توجه به نزدیکی این مقادیر به یکدیگر، نتیجه می‌شود که دوربین‌های انتخاب شده برای توسعه دوربین استریو مناسب هستند.

ماتریس اعوجاج، اعوجاج‌های شعاعی و مماسی دوربین را در برمی‌گیرد (Bradski and Kaeler, 2008). طبق جدول (۱)، اعوجاج شعاعی دارای مقادیر 0.001096 ، 0.007959 و صفر

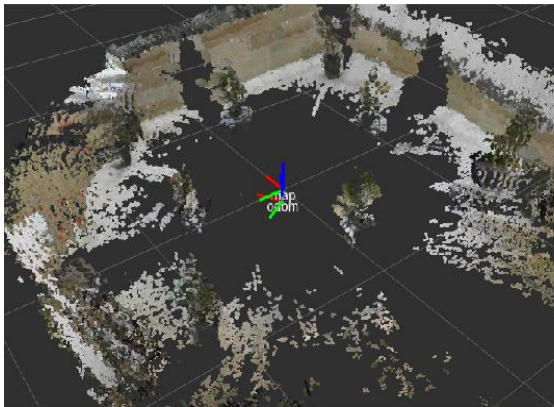


شکل ۴- نتیجه کالیبراسیون دوربین استریو

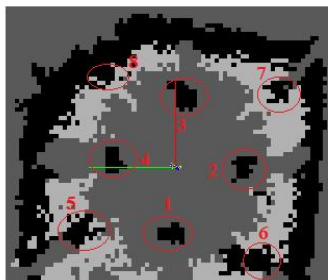
جدول ۱- نتایج کالیبراسیون دوربین استریو

	دوربین راست	دوربین چپ
ماتریس-دوربین Camera_matrix	$[719/429336, 0, 490/562927, 0, 715/922235, 292/287665,$ $0, 0, 1]$	$[723/174020, 0, 488/740816, 0, 718/920051,$ $300/977549, 0, 0, 1]$
ماتریس- اعوجاج Distortion_coefficients	$[0/005420, -0/038226, 0/006065, 0/00527, 0]$	$[0/001096, -0/007959, 0/008296, 0/003779, 0]$
ماتریس-یکسوسازی Rectification_matrix	$[0/999948, -0/009683, -0/003222, 0/009671, 0/999946,$ $-0/003810, 0/003259, 0/003779, 0/999988]$	$[0/999944, -0/010030, 0/003299, 0/010017, 0/999943,$ $0/003811, -0/003337, -0/003778, 0/999987]$
ماتریس-افکنش Projection_matrix	$[723/239376, 0, 491/911057, -70/163608, 0, 723/239376,$ $301/681948, 0, 0, 0, 1, 0]$	$[723/239376, 0, 491/911057, 0, 0, 723/239376,$ $301/681948, 0, 0, 0, 1, 0]$

داده شده گلدان‌ها دارای میانگین خطای ۰/۰۵۶ متر و ریشه میانگین مربع خطای ۰/۰۰۰۶ متر هستند. همچنین بیش‌ترین خطا مربوط به گلدان با برچسب ۶ با مقدار ۰/۱۳۷ متر و کم‌ترین خطا مربوط به گلدان با برچسب ۷ با مقدار ۰/۰۰۵ متر است. در پژوهش انجام شده در سال ۲۰۱۷ با استفاده از بینایی استریو، ۹۲/۱۰ درصد از گلدان‌ها با میانگین خطای ۰/۰۰۷ متر و میانگین مربع خطای ۰/۰۰۶ تشخیص و جداسازی شدند (Nasiri et al., 2017). نتایج به دست آمده نشان می‌دهد استفاده از الگوریتم SLAM باعث کاهش خطا در تشخیص و تخمین موقعیت گلدان‌ها و در نتیجه کاهش خطا در نقشه استخراج شده از محیط می‌شود.



الف

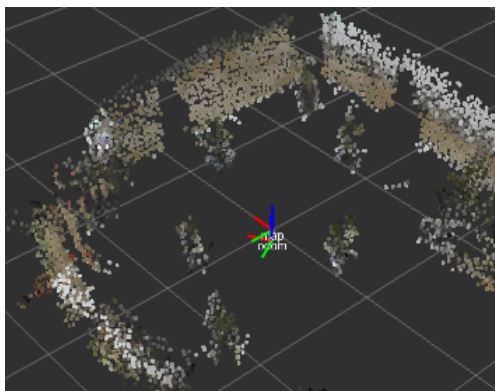


ب

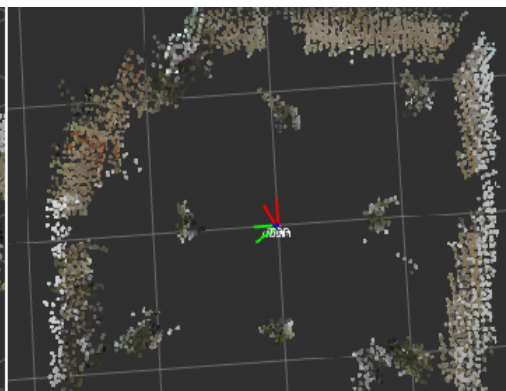
شکل ۵- الف) نقشه سه بعدی و ب) نقشه دوبعدی استخراج شده از محیط گلخانه خانگی

نقشه سه بعدی و دوبعدی استخراج شده از محیط گلخانه خانگی در شکل (۵) نمایش داده شده است. با توجه به شکل (۵ ب)، طبق استاندارد مشخص شده برای نقشه‌های دوبعدی در راس، رنگ خاکستری روشن نشان دهنده مکان‌های شناسایی شده توسط دوربین، رنگ خاکستری تیره مکان‌های ناشناخته و رنگ مشکی موانع را نمایش می‌دهد (Lepez and Rakun, 2016). همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، تمام گلدان‌های موجود تشخیص داده شده و همچنین گلدان‌های تشخیص داده شده با برچسب در شکل (۵ ب) نمایش داده شده است. نتایج حاصل از تشخیص و جداسازی موانع در شکل (۶) نمایش داده شده است. با توجه به شکل (۶) تمام گلدان‌ها و همچنین دیوارهای محیط که بالاتر از سطح زمین قرار دارند جداسازی شده‌اند.

جهت ارزیابی الگوریتم تشخیص و جداسازی موانع، با در اختیار داشتن نقشه نقاط ابری از گلدان‌های جداسازی شده، با استفاده از این نقشه نقاط ابتدایی و انتهایی هر گلدان که در ارتفاع ۲۲ سانتی‌متری قرار دارند، منتشر شد. در انتها نقطه میانگین تمام نقاطی که در بین نقطه ابتدایی و انتهایی هر گلدان قرار دارند محاسبه، و این نقطه به عنوان تک نقطه دوبعدی، مشخص کننده محل استقرار گلدان در نظر گرفته شد. در نهایت، مکان واقعی گلدان‌ها با مکان استخراج شده از الگوریتم تشخیص و جداسازی موانع، با استفاده از محاسبه فاصله اقلیدسی بررسی شدند. نتایج حاصل از این بررسی در جداول (۲) و (۳) ارائه شده است. همچنین مکان واقعی گلدان‌ها و مکان تخمین زده شده آن‌ها به صورت تک نقطه دوبعدی در شکل (۸) مورد مقایسه قرار گرفته است. با توجه به جداول (۲) و (۳)، تمام ۸ گلدان تشخیص داده شده و مکان‌های تشخیص



ب



الف

شکل ۶- تشخیص و جداسازی موانع (گلدان‌ها و دیوار)، الف) نمای بالا و ب) نمای روبرو

جدول ۲- نتایج حاصل از شناسایی مکان گلدان‌ها

تعداد گلدان‌ها	تعداد گلدان‌های شناسایی شده	شماره برچسب خطای کمینه	شماره برچسب خطای بیشینه
۸	۸ (۱۰۰٪)	۷	۶

جدول ۳- مقادیر خطا در تخمین مکان گلدان‌ها

خطای کمینه (m)	خطای بیشینه (m)	میانگین خطا (m)	انحراف معیار استاندارد (m)	RMSE (m)
۰/۰۰۵	۰/۱۳۷	۰/۰۵۶	۰/۰۵۰	۰/۰۰۰۶

آسیب به انسان و محیط‌زیست است. اولین گام در خودکار نمودن عملیات‌های کشاورزی، هدایت خودکار و وسیله نقلیه است. این امر در صورتی میسر می‌شود که وسیله نقلیه قابلیت استخراج نقشه از محیط و تشخیص موانع موجود در محیط را در هر گام حرکت داشته باشد. در تحقیق حاضر به استخراج نقشه از محیط گلخانه خانگی و تشخیص و جداسازی موانع (گلدان‌ها) در این محیط پرداخته شد. به همین منظور از الگوریتم SLAM بر مبنای بینایی استریو استفاده شد. برای تشخیص و جداسازی موانع از مختصات سه بعدی اجزاء محیط استفاده شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که الگوریتم معرفی شده تمامی گلدان‌های موجود در محیط گلخانه خانگی را شناسایی نمود. تخمین خطا در تعیین موقعیت گلدان‌ها براساس فاصله اقلیدسی، دارای میانگین ۰/۰۵۶ متر و ریشه میانگین مربع خطای ۰/۰۰۰۶ متر بود. همچنین، بیش‌ترین خطا در تخمین موقعیت گلدان‌ها، ۰/۱۳۷ متر و کم‌ترین مقدار خطا ۰/۰۰۵ متر بود.

REFERENCES

Audras, C., Comport, A., Meilland, M. & Rives, P. (2011) Real-time dense appearance-based slam for rgb-d sensors. *In: Australasian Conf. on Robotics and Automation*.

Auta Cheein, F. A., Steiner, G., Paina, G. P. & Carelli, R. (2011). Optimized EIF-SLAM algorithm for precision agriculture mapping based on stems detection. *Computers and Electronics in Agriculture*, 78, 195-207.

Bhatti, A. (2011) Advances in theory and applications of stereo vision. Croatia: InTech.

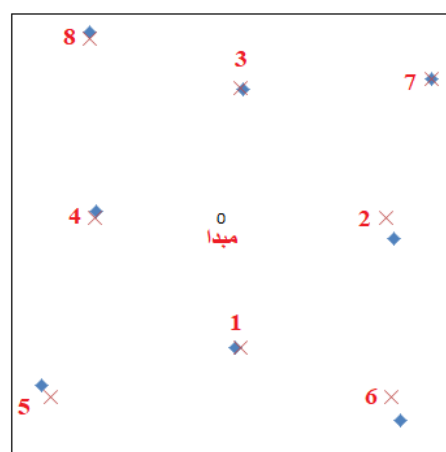
Borenstein, J. & Koren, Y. (1991) The vector field histogram-fast obstacle avoidance for mobile robots. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 7(3), 278-288.

Bradski, G. & Kaehler, A. (2008) Learning OpenCV: *Computer vision with the OpenCV library*. O'Reilly Media, Inc. Sebastopol, CA.

Brosnan, T. & Sun, D.W. (2002) Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision systems—a review. *Computers and electronics in agriculture*, 36, 193-213.

Camera_Calibration. (2009). ROS: camera_calibration_ros software stack, Retrieved

داده های واقعی × داده های اندازه گیری ◆



شکل ۷- نقشه دوبعدی ایجاد شده از مکان گلدان‌ها

نتیجه‌گیری

خودکار نمودن عملیات‌های کشاورزی گامی ضروری در افزایش راندمان محصولات، کاهش نیروی کارگری و همچنین کاهش

December 9, 2018, from http://wiki.ros.org/camera_calibration_ros.

Cyganek, B. & Siebert, J. P. (2009) An Introduction to 3D Computer Vision Techniques and Algorithms. *John Wiley & Sons, Ltd. United Kingdom*.

Elfes, A. (1990) Occupancy grids: Astochastic spatial representation for active robot perception. *In: Proceedings of the Sixth Conference on Uncertainty in AI*, vol. 2929.

Eliazar, A. (2003). DP-SLAM: Fast, robust simultaneous localization and mapping without predetermined landmarks. *International Joint Conference on Artificial Intelligence*.

Eliazar, A. I. & Parr, R. (2004). DP-SLAM 2.0. *Robotics and Automation. Proceedings. ICRA '04. 2004 IEEE International Conference*.

Estrada, C., Neira, J. & Tardos, J. D. (2005). Hierarchical SLAM: Real-Time Accurate Mapping of Large Environments. *Robotics, IEEE Transactionson*, 21 (4), 588-596.

Grisetti, G., Stachniss, C. & Burgard, W. (2007). Improved techniques for grid mapping with rao-blackwellized particle filters. *IEEE Transactions in Robotics*, 23, 34-46.

Ji, W., Zhao, D., Cheng, F., Xu, B., Zhang, Y. & Wang,

- J. (2012) Automatic recognition vision system guided for apple harvesting robot. *Computers & Electrical Engineering*, 38, 1186-1195.
- Kise, M., Zhang, Q. & Más, F. R. (2005). A stereovision-based crop row detection method for tractor-automated guidance. *Biosystems Engineering*, 90, 357-367.
- Kitt, B., Geiger, A. & Lategahn, H. (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.
- Labbé, M. & Michaud, F. (2011). Memory management for real-time appearance-based loop closure detection. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1271-1276.
- Labbé, M. & Michaud, F. (2013). Appearance-Based Loop Closure Detection for Online Large-Scale and Long-Term Operation. *IEEE Transactions on Robotics*, 29 (3), 734-745.
- Labbé, M. & Michaud, F. (2014). Online Global Loop Closure Detection for Large-Scale Multi-Session Graph-Based SLAM. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*.
- Langanieri, R. (2011). OpenCV 2 Computer Vision Application Programming Cookbook.
- Leonard, J. & Durrant-Whyte, H. (1991). Mobile robot localization by tracking geometric beacons. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 7, 376-382.
- Lepej, P. & Rakun, J. (2016). Simultaneous localisation and mapping in a complex field environment. *Biosystems Engineering*, 150, 160-169.
- Li, M. H., Hong, B. R., Cai, Z. S., Piao, S. H., & Huang, Q. C. (2008). Novel indoor mobile robot navigation using monocular vision. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 21, 485-497.
- Longuet-Higgins, H. (1987). A computer algorithm for reconstructing a scene from two projections. Readings in Computer Vision: Issues, Problems, Principles, and Paradigms, MA Fischler and O. Firschein, eds, pp. 61-62.
- Lowe, D. (2007). Distinctive image features from scale-invariant key points. *International journal of computer vision*, 60 (2), 91-110.
- Milella, A., Nardelli, B., Di Paola, D. & Cicirelli, G. (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.
- Montemerlo, M., Thrun, S., Koller, D. & Wegbreit, B. (2002). FastSLAM: a factored solution to the simultaneous localization and mapping problem. In *AAAI National Conference on Artificial Intelligence*.
- Mousazadeh, H. & Javan bakht, S. (2015). *Mechatronics and Intelligent Systems for Off-road Vehicles*. University of Tehran (1th ed.).
- Nasiri, A. (2017). Creation of pathway map in a greenhouse environment using localization of cultivation platform based on stereo machine vision. Ph. D. dissertation, University of Tehran.
- Nasiri, A., Mobli, H., Hosseinpour, S. & Rafiee, SH. (2016). Creation of two-dimensional greenhouse environment map using stereo vision. *J. biosystem engineering*, 47, 689-700. (In Farsi)
- Nister, D., Naroditsky, O. & Bergen, J. (2004). Visual odometry. In: *Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1, 1-652.
- 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.
- Rong X., Huanyu, J. & Yibin, Y. (2014). Recognition of clustered tomatoes based on binocular stereo vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 106, 75-90.
- Slaughter, D., Giles, D. & Downey, D. (2008). Autonomous robotic weed control systems: A review. *Computers and electronics in agriculture*, 61, 63-78.
- Thrun, S., Burgard, W. & Fox, D. (1998). A probabilistic approach to concurrent mapping and localization for mobile robots. *Autonomous Robots*, 3, 18.
- Torii, T. (2000). Research in autonomous agriculture vehicles in Japan. *Computers and electronics in agriculture*, 25, 133-153.
- Van Henten, E. J., Hemming, J., Van Tuijl, B., Kornet, J., Meuleman, J., Bontsema, J. & Van Os, E. (2002). An autonomous robot for harvesting cucumbers in greenhouses. *Autonomous Robots*, 13, 241-258.
- Yeh, Y. H. F., 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, 4350.
- Yongsheng S., Gang, L. & Juan, F. (2015). Location of apples in trees using stereoscopic vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 112, 68-74.
- Zhang, Z. (1998). A flexible new technique for camera calibration. URL <http://citeseer.ist.psu.edu/316762.html>.
- 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*.