یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک
بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

تاثیر خط مبنای سامانه دودیدی روی دقت مدلسازی سه‌بعدی برای کاربرد باغات

ایوب جعفری ملک‌آبادی[1]، مهدی خجسته‌پور[2] و باقر عمادی[3]

[1] دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد؛ jafari.ayoub@mail.um.ac.ir
[2] دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد؛ mkhpour@um.ac.ir
[3] دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد؛ bagher_emadi@yahoo.com

چکیده

در برخی از عملیات کشاورزی مانند سمپاشی مخصوصا در حوزه کشاورزی دقیق، یک مدل سه‌بعدی از محیط یا محصول می‌تواند مفید باشد. یکی از روش‌های ایجاد مدل سه‌بعدی، روش سامانه دودیدی در زمینه بینایی ماشین است. پارامترهای مختلفی روی کیفیت و دقت ایجاد مدل تاثیر می‌گذارند. فاصله بین دو دوربین در دوربین‌های دودیدی معمول ثابت است. اما از آنجایی که این پارامتر بر روی دقت نقشه دیسپریتی تاثیرگذار است محقیقن چندین فاصله را آزمایش می‌کنند و نهایتا فاصله مناسب را انتخاب می‌کنند. در این پژوهش تاثیر خط مبنا در دو سامانه با سه خط مبنای ۵۰، ۲۵ و ۱۲ سانتی‌متر بر روی نتایج الگوریتم‌های آشکارساز و توصیفگر نقاط ویژگی تصاویر درختان بررسی و خط مبنای بهینه انتخاب شد. نتایج نشان داد که بین خط مبنا و سطوح معتبر تصاویر همبستگی وجود دارد. بهترین سامانه، سامانه با خط مبنای ۱۲ سانتی‌متر و بهترین ترکیب، ترکیب SURF با BRISK بود. همچنین ترکیب‌های SURF با FREAK و SURF با SURF مناسب بودند. اگر چه نتایج این پژوهش در زمینه مدلسازی درختان بود اما نتایج آن را می‌توان در عملیات دیگر کشاورزی و همچنین کاربردهای سامانه دودیدی در صنعت و حوزه‌های غیر کشاورزی مانند رباتیک استفاده کرد.

کلمات کلیدی: خط مبنا، دوربین، دودیدی، مدل سه‌بعدی، کشاورزی.

The effect of stereo vision system baseline on the accuracy of a 3D model for orchard applications

Ayoub Jafari Malekabadi[1], Mehdi Khojastehpour[2], Bagher Emadi[3]

1- PhD Student, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad.
2- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad.
3- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad.

ABSTRACT

In some farming practices such as spraying, a 3D model of environment or crops can be useful, especially precision agriculture. To create a 3D model, stereo vision technique was used. Different parameters affect the quality and the accuracy of a creating model. The distance between two cameras is fixed for a typical stereo cameras. Because of the effect of the baseline on the accuracy of a disparity map, researchers have to test many baselines and select the best. In this study, the effect of stereo vision system baseline on the obtained results of the combination of feature detectors and descriptors was evaluated. It was conducted in two systems with three baselines 50, 25 and 12 cm for a tree images and then the optimal baseline was selected. The results showed that there was a good correlation between baseline and valid surface areas. Best system was stereo vision system with baseline 12 cm and the best combination was SURF-BRISK. In addition, SURF-FREAK and SURF- SURF combinations were appropriate afterwards. Although this study focused on a stereo vision system for 3D model of a tree, the results can also be useful to the other applications such as robotic.

Keywords: Baseline, Camera, Stereo vision, 3D model, Agriculture.

۱- مهدی خجسته‌پور، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی،گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم. تلفن: ۰۵۱۳۸۸۰۵۸۳۸، mkhpour@um.ac.ir

۱- مقدمه

نیاز به تولید بیش‌تر محصولات کشاورزی به عنوان منبع اصلی غذای جمعیت رو به رشد جهان موجب شده است که کشاورزی به عنوان محور توسعه و استقلال کشورهای در حال توسعه مورد توجه قرار گیرد (Alimardani et al., 2008). در انتهای قرن ۲۰ توجه به کشاورزی دقیق در صنعت کشاورزی بیشتر شد. کشاورزی دقیق تلاش می کند تا از نهاده‌ها و یا ورودی‌های کشاورزی کمتر (انرژی، آب، کود، بذر، سموم و غیره) در زمان و مکان مناسب‌تر استفاده کند و عملکرد را بهبود ببخشد. فناوری‌های اطلاعاتی جدید مانند اینترنت، سیستم اطلاعات جغرافیایی، سیر تکاملی و پیشرفت الکترونیک، حسگرهای جدید با قابلیت‌ها بیشتر و ظرفیت‌های بالاتر و ... کشاورزی دقیق را برای رسیدن به اهدافش توانمندتر ساخته است (Andersen et al., 2005; Sanz-Cortiella et al., 2011a, 2011b).

بسیاری از عملیات کشاورزی برای کاهش نهاده ها و انجام دقیقشان، به یک مدل سه‌بعدی از محیط یا محصول نیاز دارند. روش‌های مختلفی برای سه‌بعدی سازی وجود دارد (Jafari Malekabadi et al., 2016؛ Rosell and Sanz, 2012). حسگرهای فراصوت (Giles et al., 1987, 1988, 1989a, 1989b; Zaman and Salyani, 2004; Zaman and Schumann, 2005; Solanelles et al., 2006; Jeon et al., 2011)، حسگرهای لیدار (Aschoff et al., 2004; Van der Zande et al., 2006; Rosell et al., 2009a, 2009b) و بینایی ماشین (Andersen et al., 2005; Rovira-Mas et al., 2005; Kise and Zhang, 2006; Jafari Malekabadi et al., 2017, 2018) از جمله این روش‌ها هستند.

محققین سمپاش نرخ متغیر مجهز به حسگر فراصوت برای سمپاشی تاکستان ساختند که پاشش را بر اساس حجم درخت انجام می‌داد. روابط خوب بین حجم پاشش و مشخصات تاج مشاهده شد. صرفه‌جویی برآورد شده در هزینه‌ها نسبت به سمپاش معمولی ۲۱/۹ درصد بود (Gil et al., 2013). در مطالعه‌ای تخمین هوشمند حجم درختان با استفاده از حسگرهای فراصوت بررسی شد. در این تحقیق از سه حسگر فراصوت و شبکه عصبی مصنوعی جهت بهبود خطای تخمین حجم تاج پوشش درختان استفاده شد. مشخصاتی همچون قطر، میانگین عرض و ارتفاع تاج پوشش درخت در سه ارتفاع متناظر با حسگرهای فراصوتی به عنوان ورودی‌های شبکه عصبی و حجم دستی تاج پوشش به عنوان خروجی شبکه عصبی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که مدل شبکه عصبی بهینه برای تخمین دارای ساختار ۱-۷-۱۶-۱۳ و میزان RMSE شبکه عصبی انتخاب شده ۰/۰۳۹۲۷۸ مترمکعب بود (Eskandari and Hosainpour, 2014).

یکی از روش‌های سه بعدی سازی، روش بینایی ماشین است. در این روش از بینایی استریو یا دودیدی استفاده می‌شود. به عنوان مثال، در مطالعه‌ای امکان تشخیص نقاطی از بوته انگور که باید برای هرس قطع گردند، بررسی شد. در این تحقیق از روش بینایی دودیدی استفاده شده بود. پس از تشخیص تنه و شاخه یک ساله که باید هرس می‌شدند، الگوریتم نقاط اتصال شاخه به تنه را برای هرس تشخیص می‌داد. این روش با دقت ۹۷ درصد نقاط مورد نظر را تعیین می‌کرد (Hosseini and Jafari, 2016, 2017). محققین ساخت نقشه دوبعدی گلخانه به منظور مکان‌یابی سکوهای کشت و گلدان‌ها، با استفاده از روش بینایی دودیدی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که روش معرفی شده توانایی شناسایی ۹۴ درصد از کل سکوها را داشت. همچنین ۸۳/۳ درصد از گوشه‌های سکوهای کشت با میانگین خطای ۰/۰۹ متر و موقعیت ۹۲ درصد از گلدان‌ها با میانگین خطای ۰/۰۷ متر توسط این روش تشخیص داده شد (Nasiri et al., 2016, 2017). در مطالعه‌ای دیگر موقعیت سیب در درخت با استفاده از سامانه بینایی دودیدی مطالعه شد. نتایج نشان داد که بیش از ۸۹/۵ درصد میوه‌ها تشخیص داده‌شد و وقتی فاصله اندازه‌گیری بین ۴۰۰ تا ۱۵۰۰ میلی‌متر بود، خطا کمتر از ۲۰ میلی‌متر بود (Yongsheng et al., 2015). در پژوهشی بینایی دودیدی برای اندازه‌گیری خصوصیات سطح برگ داخل تاج پوشش گیاهان چغندرقند استفاده شد. نتایج نشان داد که خصوصیات هندسی گیاهان را می‌توان با انجام یک تصویربرداری دودیدی، همراه با استفاده از ابزارهای پردازش تصویر مناسب، بدست آورد (Müller-Linow et al., 2015).

پژوهشگران روشی را برای تهیه نقشه‌های سه‌بعدی برای استفاده در کشاورزی دقیق با روش بینایی ماشین پیشنهاد کردند. مغز این سامانه یک دوربین دودیدی بود که توده‌ای از نقاط تولید می‌کرد که به مختصات جغرافیایی تبدیل و در یک نقشه جهانی مونتاژ می‌شد. نتایج نشان داد که سامانه دودیدی می‌تواند سطحی از جزئیات و دقت مورد نیاز در تهیه نقشه‌های سه‌بعدی برای کشاورزی دقیق و ساخت ربات را فراهم کند (Rovira-Mas et al., 2005, 2008). در مطالعه‌ای تشخیص خودکار مسیر حرکت تراکتور و جداسازی نوار محصول ردیف شده از سطح مزرعه با استفاده از روش بینایی دودیدی و آموزش بافت انجام شد. اطلاعات شکل برای طبقه‌بندی قوی برای تغییرات بزرگ در شرایط نوری به کار گرفته شد که تا حد زیادی احتمال این که یک شی با تاثیر در سیگنال‌های سامانه بینایی دودیدی منجر به اشتباهات فاحش در تخمین موقعیت هدف شود را کاهش می‌داد. طبقه‌بندی برای داده‌های سامانه هدایت بینایی دودیدی روی تراکتور ارزیابی شد. این سامانه نشان داد که قادر به طبقه‌بندی نوار مواد گیاهی با آموزش ظاهر آن می‌باشد (Blas and Blanke, 2011).

برخی دوربین‌ها وجود دارند که مخصوص عکس‌برداری دودیدی طراحی شده‌اند. در ساخت این دوربین‌ها برای هماهنگ کردن ویژگی‌های دوربین‌های مختلف دقت ویژه‌ای شده است. بعلاوه این دوربین‌ها به طور همزمان تحریک می‌شوند. بنابراین مشکلات عکس‌برداری در آن‌ها به حداقل رسیده است. تنها اشکالی که به این نوع دوربین‌ها وارد است آن است که فاصله دوربین‌ها قابل تنظیم نیست. Boonsuk (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای

نتیجه‌گرفت که بین فاصله دوربین‌ها و مناطق معتبر هدف مورد نظر همبستگی وجود دارد. بنابراین این دوربین‌ها برای عکس‌برداری از جسم هدف در یک فاصله خاص مناسب هستند و در سایر فواصل، محدوده‌ی دیسپریتی تصاویر حاصل غیرمعقول خواهد بود. به علاوه این دوربین‌ها به علت بازار فروش محدود و دقت ویژه‌ای که هنگام ساخت می‌طلبند، نسبت به دوربین‌های معمولی به مراتب گران‌تر هستند. بنابراین ثابت بودن خط مبنا مناسب نیست و برای انجام پژوهش در یک زمینه جدید یک گام مهم توسعه خط مبنای انعطاف‌پذیر و تغییر آن برای پیداکردن خط مبنای بهینه است.

باتوجه بررسی منابع انجام شده، هدف این پژوهش بررسی خط مبنای یک سامانه دودیدی برای سه‌بعدی سازی در زمینه کشاورزی است. به عنوان یکی از کاربردهای مدل سه‌بعدی، تاج پوشش درختان انتخاب شد. بنابراین درختچه مصنوعی گیلاس ساخته شد و سه سامانه با خط مبنای ۵۰، ۲۵ و ۱۲ سانتی‌متر انتخاب و مقدار بهینه برای آن تعیین شد. در این راستا اثر خط مبنا روی ۴ ترکیب از الگوریتم‌های آشکارساز و توصیفگر نقاط ویژگی در فضاهای رنگ RGB و Y مورد بررسی قرار گرفت.

۲- بخش مواد و روش‌ها

۲-۱- ساخت درختچه مصنوعی

درختچه مصنوعی گیلاس با ابعاد ۷۰×۵۰ سانتی‌متر به صورت مخروطی ساخته شد.

۲-۲- سامانه بینایی دودیدی

در این پژوهش دو سامانه با سه خط مبنا مطالعه شد.

در سامانه اول از یک دوربین نیکون مدل COOLPIX P510 استفاده شد. برای نصب دوربین محل‌هایی بر روی یک پایه در فاصله‌های خط مبنای ۵۰ سانتی‌متر و ۲۵ سانتی‌متر مشخص شد. سپس درختچه‌های ساخته شده در اتاق تاریک پردازش تصویر آزمایشگاه بینایی ماشین دانشگاه فردوسی مشهد که با لامپ های LED نورپردازی شده بود قرار داده شد. دوربین در فاصله ۱۰۰ سانتی‌متر از ابتدای درخت (جهت Z) و در ارتفاع ثابت (جهت Y) قرار داده شد و پس از تصویر برداری از سمت راست یکبار به اندازه ۵۰ سانتی‌متر و بار دیگر به اندازه ۲۵ سانتی‌متر در راستای افق (جهت X) جابجا شد و تصویربرداری سمت چپ انجام شد.

در سامانه دوم از دو دوربین کنون مدل A800 استفاده شد. استفاده از دو دوربین به این علت بود که اختلاف تصاویر دریافتی به حداقل برسد و از طرفی کمترین تغییر در زاویه‌بندی و تراز سامانه بوجود آید. دوربین‌ها در فاصله‌ی ۱۲ سانتی‌متری در راستای افق (جهت X) از یکدیگر بر روی یک پایه ثابت شدند. درختچه‌ها در اتاقی که نور طبیعی از ساعت ۱۲ الی ۱۳ را داشت، قرار داده شد. دوربین در فاصله ۱۱۰ سانتی‌متر از ابتدای درخت (جهت Z) و در ارتفاع ثابت (جهت Y) قرار داده شد.

۲-۳- کالیبراسیون[1]دوربین ها، اعوجاج زدایی[2]و راست‌سازی[3]تصاویر

کالیبراسیون دوربین به معنای تخمین پارامترهای داخلی[4]و خارجی[5]مدل دوربین است. حل مسئله کالیبراسیون، استفاده از روابط بین مختصات سه بعدی فضا، دوربین و تصویر جهت استخراج پارامترهای مذکور است. لنز دوربین واقعی معمولا در محل پیکسل های نزدیک لبه محل صفحه تصویر دچار اعوجاج می شود. با بدست آوردن پارامترهای اعوجاج و داخلی دوربین از مرحله کالیبراسیون، می‌توانیم تصاویر را اعوجاج زدایی نماییم. اعوجاج‌زدایی به صورت ریاضی اعوجاج لنز را حذف می‌کند و برای یک تصویر هم کاربرد دارد اما راست‌سازی به صورت ریاضی تصاویر را نسبت به یکدیگر میزان می‌کند. محاسبه‌ی اختلاف مکانی وقتی که دو صفحه تصویر دقیقا هم‌تراز هستند کار ساده‌تری است (Bradski and Kaehler, 2008). با محاسبه پارامترهای خارجی و داخلی دوربین در مرحله کالیبراسیون، راست سازی تصاویر انجام شد.

---

1 Calibration
2 Un-distort
3 Rectification
4 Intrinsic parameters
5 Extrinsic parameters

۲-۴- مولفه های رنگی مورد آزمایش

فضاهای رنگی از نظر رنگ، شدت روشنایی و ترکیب آن‌ها با یکدیگر متفاوت هستند. بنابراین به منظور ارزیابی فضاهای مختلف در مطالعه‌ای دیگر الگوریتم‌های آشکارساز نقاط ویژگی در فضاهای RGB، HSV، YCbCr، NTSC و Lab و کانال‌های G، Y و a بررسی شدند (Jafari Malekabadi et al. 2018, 2017). نتایج نشان داد که الگوریتم‌ها در فضای RGB و Y از نظر تعداد نقاط ویژه تشخیص داده شده پایدارتر عمل کردند. بنابراین در این تحقیق این فضاها انتخاب و الگوریتم‌ها در این فضاها ارزیابی شدند.

۲-۵- الگوریتم‌های آشکارساز و توصیفگر نقاط ویژه

یکی از مراحل مهم در روش بینایی دودیدی تعیین نقاط متناظر در دو تصویر است. برای انجام این کار ابتدا باید نقاط ویژه در هر تصویر شناسایی شوند. سپس این نقاط با معیارهای مناسب تطبیق داده می شوند و اجزای متناظر در دو تصویر مشخص می‌شوند. در این راستا ۴ ترکیب از الگوریتم‌های آشکارساز و توصیفگر نقاط ویژگی شامل Harris با SURF، SURF با SURF، SURF با BRISK و SURF با FREAK مورد بررسی قرار گرفت. توضیحات بیشتر در مورد این الگوریتم‌ها در Jafari Malekabadi و همکاران (۲۰۱۷ و ۲۰۱۸) ارائه شده است.

۲-۶- ارزیابی نتایج

به طور معمول، چندین تنظیم برای پیاده‌سازی یک آشکارساز یا توصیف‌گر وجود دارد. در این تحقیق پارامترهای قابل توجه برای هر الگوریتم آشکارساز مطابق جدول ۱ تنظیم شد.

برای ارزیابی عملکرد هر روش، مقدار معیارهای دقت[1] و فراخوانی[2] اندازه‌گیری شد (Mikolajczyk and Schmid, 2005). معیار فراخوانی نسبت تطابق‌های صحیح به تعداد نقاط متناظر[3] بین دو تصویر است. مقدار فراخوانی بزرگتر عملکرد بهتر روش تشخیص ویژگی و حساسیت روش را نشان می‌دهد. معیار فراخوانی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد. همچنین، معیار دقت نسبت تطابق‌های صحیح به تعداد کل تطابق‌ها (مجموع تطابق‌های صحیح و اشتباه) است. مقدار دقت عددی بین صفر و یک است و اگر مقدار این معیار یک باشد یعنی تمام نقاط انطباق یافته صحیح هستند. معیار دقت با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد. علاوه بر این، معیارهای دقت و فراخوانی با توجه به قدرت تطابق و پیچیدگی داده‌ها (تصویر) تغییر می‌کند بنابراین پارامترهای الگوریتم‌ها در بخش قبل (جدول ۱) ذکر شد.

جدول ۱- پارامترهای انتخاب شده برای آشکارسازها

Table 1- Selected parameters for the detectors.

Detectors	Parameters	Values
SURF	MetricThreshold	8000
Harris	MinQuality	0.25
MatchFeatures	MaxRatio	0.8

$$\mathrm{Recall} = \frac{\mathrm{correct.matches}}{\mathrm{correspondences}} \quad (۱)$$

$$\mathrm{Precision} = \frac{\mathrm{correct.matches}}{\mathrm{total.matches}} \quad (۲)$$

۳- نتایج و بحث

نتایج کارایی الگوریتم‌های آشکارساز و توصیفگر نقاط ویژگی در فضاهای RGB و Y برای خطوط مبنای ۵۰، ۲۵ و ۱۲ سانتی‌متر به ترتیب در جداول ۲، ۳ و ۴ ارائه شده است.

در هر سه سامانه با خطوط مبنای متفاوت، بیشترین تعداد نقاط ویژگی توسط آشکارساز SURF در فضای RGB تشخیص داده شد. این نتیجه

1 Precision
2 Recall
3 Correspondences

شبیه نتایج محققین دیگر (Canclini et al., 2013) بود. اگرچه ترکیب‌های مختلف تعدادی نقاط معتبر را تشخیص داد، اما برخی ترکیب‌ها برای خطوط مبنای ۵۰ و ۲۵ سانتی‌متر نقاطی را تطابق نداده بود. بنابراین مقادیر دقت و فراخوانی برای آن‌ها قابل محاسبه نبود.

تعداد نقاط ویژگی در سامانه‌های با خطوط مبنای ۵۰ و ۲۵ سانتی‌متر نزدیک به هم و تعداد آن‌ها از سامانه‌ی بهینه شده بیشتر بود. اما مقادیر دقت و فراخوانی این دو سامانه کمتر از سامانه بهینه شده بود. علت تشخیص زیاد نقاط ویژگی در سامانه اول می‌تواند کیفیت دوربین و سیستم نورپردازی آن باشد. دوربین سامانه اول دوربین با کیفیت و جزئیات بیشتر ارائه می‌دهد. همچنین این سامانه به روش کنترل شده نورپردازی شد. با توجه به این دو دلیل آشکارسازها نقاط ویژگی بیشتری تشخیص می‌دادند و بعد از آن توصیفگرها نیز به خاطر بیشتر بودن نقاط ویژگی، نقاط بیشتری را توصیف می‌کردند. اما توجه به این نکته مهم است که تنها تعداد نقاط ویژگی برای قضاوت و تحلیل کارایی هر سامانه‌ای کافی نیست و باید تطابق‌های صحیح و معیارهای دقت و فراخوانی نیز در نظر گرفته شود. این دو معیار با یکدیگر باید استفاده و تفسیر شوند.

داشتن تعداد نقاط ویژگی زیاد اما تعداد تطابق صحیح کم مناسب نیست. زیرا یک نقشه عمق صحیح و خوب از تطابق‌های صحیح بدست می‌آید. به همین دلیل است که الگوریتم و روش‌های مختلف تلاش می‌کنند تا تطابق صحیح بیشتری را تشخیص دهند (در حالی که نقاط ویژگی بیشتر هم تشخیص می‌دهند). افزایش تطابق صحیح به پارامترهایی وابسته است که در پاراگراف‌های بعدی که سامانه بهینه شده توضیح داده می‌شود، ذکر خواهند شد. همچنین اگر یک روش یا سامانه درصد زیادی تطابق صحیح داشته باشد (دقت بالا)، این نقاط درصد کمی از تطابق‌های واقعی هستند. از طرف دیگر یک روش ممکن است شامل همه‌ی تطابق‌های ممکن باشد، در چنین حالتی معیار فراخوانی خیلی بالا است اما شاید تنها کسری از تطابق‌ها صحیح باشد.

در سامانه دوم با خط مبنای ۱۲ سانتی‌متر، تعداد نقاط ویژگی نسبت به سامانه اول کمتر ولی مقادیر دقت و فراخوانی بیشتر بود، بطوری که حتی ترکیب S-B مقدار دقت ۱ داشت. علت تشخیص کم تعداد نقاط ویژگی در سامانه بهینه، کیفیت دوربین استفاده شده بود. از طرف دیگر در این پژوهش پارامترهای آشکارسازها برای ارزیابی بهتر، محدود شدند. همانطور که در جدول ۴ مشخص است، مقدار فراخوانی از سامانه اول بیشتر است. مفهوم آن این است که نسبت بین تعداد نقاط معتبر و تطابق‌های صحیح بیشتر است، بنابراین با تغییر پارامترهای آشکارسازها می‌توان نقاط بیشتری تشخیص داد و مشکل تشخیص کم تعداد نقاط ویژگی در سامانه بهینه شده را مرتفع کرد. برای مثال، با تغییر مقدار پارامتر "MetricThreshold" از ۸۰۰۰ به ۱۰۰ برای ترکیب S-B، تعداد تطابق‌های صحیح از ۳ به ۴۴۲ افزایش پیدا کرد و مقدار فراخوانی دو برابر شد، درحالی که هنوز مقدار دقت برابر ۱ بود.

جدول ۲- مقایسه‌ی ترکیب‌های مختلف در فضاهای RGB و Y برای درخت مخروطی تنک. سامانه اول با خط مبنای ۵۰ سانتی‌متر

Table 2- Comparison of different combinations in RGB and Y spaces. First system with baseline 50.

Spaces	Combination	L.P	R.P	L.V.P	R.V.P	M.P	C.M	Recall	Precision
RGB	S-S	902	950	902	950	194	11	0.0122	0.057
	S-B	902	950	844	898	0			
	S-F	902	950	885	939	78	5	0.0056	0.064
	H-S	228	468	228	468	55	1	0.0044	0.018
Y	S-S	646	699	646	699	152	8	0.0124	0.053
	S-B	646	699	605	659	0			
	S-F	646	699	635	690	38	2	0.0031	0.053
	H-S	243	401	243	401	71	0	0	0

Note:
- S-S: SURF with SURF, S-B: SURF with BRISK, S-F: SURF with FREAK, H-S: Harris with SURF.
- L.P and R.P: Left and Right Points, L.V.P and R.V.P: Left and Right Valid Points, M.P: Matched Points, C.M: Correct Match.

جدول ۳- مقایسه‌ی ترکیب‌های مختلف در فضاهای RGB و Y برای درخت مخروطی تنک. سامانه اول با خط مبنای ۲۵ سانتی‌متر

Table 3- Comparison of different combinations in RGB and Y spaces. First system with baseline 25.

Spaces	Combination	L.P	R.P	L.V.P	R.V.P	M.P	C.M	Recall	Precision
RGB	S-S	852	913	852	913	190	13	0.0153	0.068
	S-B	852	913	793	861	0			
	S-F	852	913	836	902	75	9	0.0108	0.120
	H-S	202	432	202	432	49	1	0.0050	0.020
Y	S-S	623	677	623	677	148	10	0.0161	0.068
	S-B	623	677	587	637	0			
	S-F	623	677	605	666	34	7	0.0116	0.206
	H-S	219	369	219	369	65	0	0	0

Note:

- S-S: SURF with SURF, S-B: SURF with BRISK, S-F: SURF with FREAK, H-S: Harris with SURF.
- L.P and R.P: Left and Right Points, L.V.P and R.V.P: Left and Right Valid Points, M.P: Matched Points, C.M: Correct Match.

جدول ۴- مقایسه‌ی ترکیب‌های مختلف در فضاهای RGB و Y برای درخت مخروطی تنک. سامانه بهینه شده با خط مبنای ۱۲ سانتی‌متر

Table 4- Comparison of different combinations in RGB and Y spaces. Second system with baseline 12.

Spaces	Combination	L.P	R.P	L.V.P	R.V.P	M.P	C.M	Recall	Precision
RGB	S-S	130	118	130	118	28	15	0.1271	0.536
	S-B	130	118	129	117	3	3	0.0256	1
	S-F	130	118	130	118	17	12	0.1017	0.706
	H-S	116	46	116	46	4	1	0.0217	0.250
Y	S-S	56	39	56	39	11	6	0.1538	0.545
	S-B	56	39	55	38	1	1	0.0263	1
	S-F	56	39	56	39	9	5	0.1282	0.556
	H-S	117	46	117	46	5	1	0.0217	0.200

Note:
- S-S: SURF with SURF, S-B: SURF with BRISK, S-F: SURF with FREAK, H-S: Harris with SURF.
- L.P and R.P: Left and Right Points, L.V.P and R.V.P: Left and Right Valid Points, M.P: Matched Points, C.M: Correct Match.

مقدار دقت بالا بستگی به تعداد تطابق صحیح دارد. این مقدار در سامانه بهینه شده با توجه به خط مبنای کوچکتر، بیشتر بود. وقتی خط مبنا کوچکتر است، سطوح انسداد کمتر می‌شود. این سطوح (این وضعیت) برای درختان که الگوی تکرار شونده دارند، بحرانی‌تر است. بنابراین کاهش خط مبنا، سطوح انسداد را کاهش می‌دهد و در نتیجه تشابه نقاط ویژگی در دو تصویر را افزایش می‌دهد. پس الگوریتم نقاط بیشتری را بطور صحیح مطابقت می‌دهد. البته توجه به این نکته نیز مهم است که خط مبنا را زیاد نمی‌توان کاهش داد زیرا این پارامتر بر روی دقت استخراج عمق (نقشه عمق) اثر می‌گذارد. تعیین خط مبنا یک توافق یا مصالحه بین دقت عمق و سطوح انسداد است.

بنابراین با توجه به توضیحات فوق بهترین سامانه، سامانه دوم با خط مبنای ۱۲ سانتی‌متر یعنی سامانه بهینه شده بود. محققین در مطالعه‌ای به منظور تهیه نقشه سه‌بعدی محصولات زراعی برای کاربرد در کشاورزی دقیق، خط مبنای بهینه را ۱۰ الی ۱۵ سانتی‌متر تعیین کردند (Rovira-Mas et al., 2010). مقادیر تطابق صحیح و معیارهای دقت و فراخوانی نیز در سامانه دوم قابل قبول بود. با در نظر گرفتن معیارهای دقت و فراخوانی و این واقعیت که تعداد تطابق صحیح را می‌توان با تغییر پارامترهای آشکارسازها افزایش داد، بهترین ترکیب S-B بود. همچنین ترکیب‌های S-S و S-F در فضای RGB عملکرد خوبی داشتند.

۴- نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نیاز عملیات مختلف کشاورزی به داشتن یک مدل سه‌بعدی از محیط یا محصول و همچنین تاثیر فاصله دوربین‌ها در سامانه بینایی ماشین دودیدی، در این پژوهش خط مبنای سامانه دودیدی برای سه‌بعدی سازی در زمینه کشاورزی بررسی و ارزیابی شد. به عنوان یکی از کاربردهای مدل سه‌بعدی، تاج پوشش درختان انتخاب شد. بنابراین درختچه مصنوعی گیلاس ساخته شد و سه سامانه با خط مبنای ۵۰، ۲۵ و ۱۲ سانتی‌متر انتخاب و مقدار بهینه برای آن تعیین شد. در این راستا اثر خط مبنا روی ۴ ترکیب از الگوریتم‌های آشکارساز و توصیفگر نقاط ویژگی شامل Harris با SURF، SURF با SURF، SURF با BRISK و SURF با FREAK در فضاهای رنگ RGB و Y مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج نشان داد که بین خط مبنا و سطوح معتبر تصاویر همبستگی وجود دارد. بهترین سامانه، سامانه با خط مبنای ۱۲ سانتی‌متر و بهترین ترکیب، ترکیب SURF با BRISK بود. همچنین ترکیب‌های SURF با FREAK و SURF با SURF مناسب بودند. اگر چه نتایج این پژوهش در زمینه مدلسازی درختان بود اما نتایج آن را می‌توان در عملیات دیگر کشاورزی و همچنین کاربردهای سامانه دودیدی در صنعت و حوزه‌های غیر کشاورزی استفاده کرد.

۵- تشکر

از معاونت پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد برای حمایت‌های مالی از این طرح (طرح شماره ۳۱۵۰۰) تشکر می‌نماییم.

۶- منابع

Alimardani, R., Fazel, Z., Akram, A., Mahmoudi, A. and Varnamkhasti, M. 2008. Design and development of a three-point hitch dynamometer. Journal of Agricultural Technology, 4(1): 37-52 .

Andersen, H., Reng, L. and Kirk, K. 2005. Geometric plant properties by relaxed stereo vision using simulated annealing. Computers and Electronics in Agriculture. 49, 219–232.

Aschoff, T., Thies, M. and Spiecker, H. 2004. Describing forest stands using terrestrial laser scanning. In: Conference Proceedings ISPRS Conference. ISPRS International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences Vol. XXXV, Part B. Istanbul, Turkey, 12–23 July 2004, pp. 237–241.

Blas, M.R. and Blanke, M. 2011. Stereo vision with texture learning for fault-tolerant automatic baling. Computers and Electronics in Agriculture. 75, 159-168.

Boonsuk, W. 2016. Investigating the effects of stereo camera baseline on the accuracy of 3D projection for industrial robotic applications. International Journal of Research in Engineering and Innovation (IJREI), Vol. 8(2).

Bradski, G. and Kaehler, A. 2008. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library. O'Reilly Media, USA.

Canclini, A., Cesana, M., Redondi, A., Tagliasacchi, M., Ascenso, J., Cilla, R., 2013. Evaluation of low-complexity visual feature detectors and descriptors. In: 18th International Conference on Digital Signal Processing (DSP). 1–3 July. pp. 1–7.

Eskandari, M. and Hosainpour, A. 2014. A Study of Ultrasonic Sensors to Intelligent Estimation of Tree Canopy Volumes. Journal of Agricultural Machinery, 5(1), 25-34. doi:10.22067/jam.v5i1.24956

Gil, E., Llorens, J., Llop ,J., Fàbregas, X., Escolà, A. and Rosell-Polo, J.R. 2013. Variable rate sprayer. Part 2 – Vineyard prototype: Design, implementation, and validation. Computers and Electronics in Agriculture, 95, 136-150.

Giles, D.K., Delwiche, M.J. and Dodd, R.B. 1987. Control of orchard spraying based on electronic sensing of target characteristics. Trans. ASAE 30 (1636), 1624–1630.

Giles, D.K., Delwiche, M.J. and Dodd, R.B. 1988. Electronic measurement of tree canopy volume. Trans. ASAE 31, 264–272.

Giles, D.K., Delwiche, M.J. and Dodd, R.B. 1989a. Method and Apparatus for Target Plant Foliage Sensing and Mapping and Related Materials Application Control. U.S. Patent 4,823,268.

Giles, D.K., Delwiche, M.J. and Dodd, R.B. 1989b. Sprayer control by sensing orchard crop characteristics: orchard architecture and spray liquid savings. Journal of Agricultural Engineering Research. 43, 271–289.

Hosseini, S. and Jafari, A. 2016. Development of a Grapevine Pruning Algorithm for Using in Pruning. Journal Of Agricultural Machinery, 7(2), 323-335. doi:10.22067/jam.v7i2.52617.

Hosseini, S. and jafari, A. 2017. Designing an algorithm for pruning grapevine based on 3D image processing. Iranian Journal of Biosystems Engineering, 48(3), 289-297. doi: 10.22059/ijbse.2017.205096.664772.

Jafari Malekabadi, A., Khojastehpour, M. and Emadi, B. 2016. Comparing measurement methods of the geometric characterization of trees. The 10th National Congress on Biosystems Engineering (Agricultural Machinery) and Mechanization of Iran, 30-31 August, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian).

Jafari Malekabadi, A., Khojastehpour, M. and Emadi, B. 2017. Comparison of feature points detection algorithms in different color spaces in order to create 3D map of trees. Iranian Journal of Biosystems Engineering.Vol: 48, pp. 55-69. (In Persian).

Jafari Malekabadi, A., Khojastehpour, M. and Emadi, B. 2018. A Comparative Evaluation of Combined Feature Detectors and Descriptors in Different Color Spaces for Stereo Image Matching of Tree. Scientia Horticulturae. Vol: 228, pp. 187-195.

Jeon, H.Y., Zhu, H., Derksen, R., Ozkan, E. and Krause ,C. 2011. Evaluation of ultrasonic sensor for variable-rate spray applications. Computers and Electronics in Agriculture 75, 213-221.

Kise, M., Zhang, Q., 2006. Reconstruction of a virtual 3D field scene from groundbased multi-spectral stereo imaging. In: Proceedings of the 2006 ASABE Annual International Meeting, Portland, Oregon. Paper Number 063098.

Müller-Linow, M., Pinto-Espinosa, F., Scharr, H. and Rascher, U. 2015. The leaf angle distribution of natural plant populations: assessing the canopy with a novel software tool. Plant Methods. 11(1), 11.

Nasiri, A., Mobli, H., Hosseinpour, S. and Rafiee, S. 2016. Creation Greenhouse Environment Map Using Localization of Edge of Cultivation Platforms Based on Stereo Vision. Journal of Agricultural Machinery, 7(2), 336-349. doi:10.22067/jam.v7i2.58475.

Nasiri, A., Mobli, H., Hosseinpour, S. and Rafiee, S. 2017. Creation of two-dimensional greenhouse environment map using stereo vision. Iranian Journal of Biosystems Engineering, 47(4), 700-689. doi: 10.22059/ijbse.2017.60263

Rosell, J.R., Llorens, J., Sanz, R., Arno, J., Ribes-Dasi, M., Masip, J., Escolà, A., Camp, F., Solanelles, F., Gràcia, F., Gil, E., Val, L., Planas, S. and Palacin, J. 2009a. Obtaining the three-dimensional structure of tree orchards from remote 2D terrestrial LIDAR scanning. Agricultural and Forest Meteorology. 149, 1505–1515.

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.

Rosell, J.R., Sanz, R., Llorens, J., Arno, J., Escolà, A., Ribes-Dasi, M., Masip, J., Camp, F., Gràcia, F., Solanelles, F., Pallejà, T., Val, L., Planas, S., Gil, E. and Palacin, J. 2009b. A tractor-mounted scanning LIDAR for the non-destructive measurement of vegetative volume and surface area of tree-row plantations: a comparison with conventional destructive measurements. Biosystems Engineering. 102 (2), 128–134.

Rovira-Mas, F., Wang, Q. and Zhang, Q. 2010. Design parameters for adjusting the visual field of binocular stereo cameras. Biosystems Engineering. 105(1), 59-70.

Rovira-Mas, F., Zhang, Q. and Reid, J. 2005. Creation of three-dimensional crop maps based on aerial stereo images. Biosystems Engineering. 90 (3), 251–259.

Rovira-Mas, F., Zhang, Q. and Reid, J. 2008. Stereo vision three-dimensional terrain maps for precision agriculture. Computers and Electronics in Agriculture 60 (2), 133–143.

Sanz-Cortiella, R., Llorens-Calveras, J., Escolà, A., Arnó-Satorra, J., Ribes-Dasi, M., Masip-Vilalta, J., Camp, F., Gràcia-Aguilá, F., Solanelles-Batlle, F., Planas-DeMart, S., Pallejà-Cabré, T., Palacin-Roca, J., Gregorio-Lopez, E., Del-Moral-Martínez, I. and Rosell-Polo, JR. 2011a. Innovative lidar 3D dynamic measurement system to estimate fruit-tree leaf area. Sensors. 11, 5769–5791.

Sanz-Cortiella, R., Llorens-Calveras, J., Rosell-Polo, JR., Gregorio-Lopez, E. and Palacin-Roca, J. 2011b. Characterisation of the LMS200 laser beam under the influence of blockage surfaces. Influence on 3D scanning of tree orchards. Sensors. 11(3):2751–2772. doi: 10.3390/s110302751.

Solanelles, F., Escolà, A., Planas, S., Rosell, J.R., Camp, F. and Gracia, F. 2006. An electronic control system for pesticide application proportional to the canopy width of tree crops. Biosystems Engineering 95 (4), 473–481.

Van der Zande, D., Hoet, W., Jonckheere, I., Aardt, J. and Coppin, P. 2006. Influence of measurement set-up of ground-based LIDAR for derivation of tree structure. Agricultural and Forest Meteorology. 141, 147–160.

Yongsheng, S., Gang, L. and Juan, F. 2015. Location of apples in trees using stereoscopic vision. Computers and Electronics in Agriculture. 112, 68-74.

Zaman, Q.U. and Salyani, M., 2004. Effects of foliage density and ground speed on ultrasonic measurement of citrus tree volume. Applied Engineering in Agriculture 20 (2), 173–178.

Zaman, Q.U. and Schumann, A.W. 2005. Performance of an ultrasonic tree volume measurement system in commercial citrus groves. Precision Agriculture 6 (5), 467–480.