ناوبری ربات‌های کشاورزی

قسمت دوم

الهام عمرانی

۱ بینایی استریوسکوپیک

علم ماشین بینایی در چند دهه اخیر از هر دو جنبه نظری و عملی پیشرفت‌های چشمگیری داشته است. سرعت این پیشرفت به اندازه‌ای بوده است که هم اکنون، به راحتی می‌توان رد پای پردازش تصویر را در بسیاری از علوم و صنایع مشاهده نمود. بعضی از این کاربردها آن چنان به پردازش تصویر وابسته هستند که بدون آن، اساساً قابل استفاده نمی‌باشند.

ماشین بینایی در دو حوزه ی تصویربرداری با دوربین های تک چشمی و دو چشمی قابل بررسی می‌باشد. ماشین بینایی تک چشمی حدود سی سال است که در علوم مختلف مورد استفاده قرار گرفته است در حالیکه فقط در طول ده سال اخیر بوده است که حسگرهای استریو به درجه مطلوبی از شهرت و رواج رسیده اند. علت این تاخیر، پیچیدگی موجود در یافتن یک شی مشابه در هر دو تصویر به طور همزمان می‌باشد. امروزه بینایی استریو نقش مهمی در بینایی کامپیوتر دارد. برای مثال ربات‌ها می توانند با استفاده از بینایی استریو فاصله بین خود و شی موردنظر را تشخیص دهند.

بینایی استریوسکوپیک از مجموعه‌ای از الگوریتم‌ها جهت تطبیق چند تصویر از یک نمای مشخص و واحد و تبدیل آن به یک تصویر ویژه تشکیل شده است. به عبارت دیگر، بینایی استریوسکوپیک فرایندی در ادراک بینایی است که منجر به درک عمق تصاویر می‌شود. اصول حاکم بر بینایی استریو در بینایی کامپیوتر همانند اصول حاکم بر بینایی چشم انسان است. برای ایجاد یک بینایی استریو ما نیاز به دو دوربین و یک عدد کامپیوتر خواهیم داشت که دوربین‌ها جایگزین چشم‌ها و کامپیوتر جایگزین مغز انسان خواهد بود. سرعت در فرایندهای زمان واقعی بینایی استریو عامل بسیار مهمی می‌باشد. دو روش برای افزایش سرعت بینایی استریو وجود دارد که اولی استفاده از سخت‌افزارهای با سرعت بالا و دیگری استفاده از الگوریتم‌های موازی در بینایی تصویر است. بدلیل اینکه ساخت سخت‌افزارهای با سرعت بالا هزینه زیادی دارد، معمولا برای افزایش سرعت بینایی استریو از روش الگوریتم‌های موازی استفاده می شود.

در سیستم‌های بینایی استریو معمولی دو عدد دوربین به صورت افقی در کنار هم قرار می‌گیرند تا از یک صحنه دو تصویر متفاوت بدست آید. با مقایسه‌ی این دو تصویر و محاسبه تصویر اختلاف مکانی ، عمق تصویر بدست می‌آید. برای مقایسه‌ی تصاویر، دو تا تصویر باید در دستگاه استریوسکوپ باهم یکی شوند. برای ایجاد بینایی استریو چهار گام اساسی وجود دارند: تنظیمات محیط اطراف، کالیبره کردن دوربین، یافتن تشابهات و محاسبه عمق.

۱-۱ تنظیمات محیط اطراف:

همانطور که قبلا نیز اشاره شد، برای داشتن بینایی استریو، وجود دو دوربین و یک کامپیوتر ضروری است. دراین راستا متغیرهایی مانند فاصله دو دوربین ازهم و فاصله و زاویه اشیا از دوربین‌ها باید تعریف شوند.

۱-۲ کالیبراسیون دوربین:

بدلیل عدم تشابه عدسی موجود در دوربین‌ها، خط‌های مستقیم در مختصات جهانی ممکن است در دوربین به شکل منحنی دیده شوند.

به همین دلیل عمل کالیبراسیون دوربین‌ها لازم و ضروری به نظر می‌رسد. با انجام عمل کالیبراسیون، خط‌های مستقیم در مختصات جهانی به همان صورت در دوربین‌ها دیده خواهند شد.

روش معمول برای کالیبره کردن دوربین استفاده از تخته شطرنج است. برای انجام این عمل اول باید لبه‌های مشخص (بارز) تشخیص داده شوند و سپس خطوط مستقیم بر روی لبه‌های مربوطه منطبق شوند و از روی خطوط متقاطع گوشه‌های تصویر بدست می‌آید که در نهایت با مطابقت دادن نقاط بدست آمده می توان تصویر سه‌بعدی را معلوم کرد.

برای تولید این تصاویر و تنظیمات دوربین‌ها، باید سه اصل مهم را در نظر بگیرید پیش زمینه، پس زمینه و نقطه صفر. پیش زمینه، المان‌ها و موضوعاتی هستند که بیننده قرار است آن‌ها را جلوتر از موضوعات پس زمینه مشاهده کند. نقطه صفر یا منطقه پیش فرض، محلی است که موضوعات فاصله مناسب و عادی از چشم بیننده دارند.

۱-۳ یافتن تشابهات(تطابق)

یافتن تطابق به معنی یکی کردن (در هم آمیختن) نقاط در دو تصویر اولیه به منظور ایجاد تصویر سه بعدی است.

همانطور که در قبل نیز ذکر شد، برای بدست آوردن اطلاعات عمق یا تصویر اختلاف مکانی، به دو تصویر از یک صحنه احتیاج داریم. دو دوربین استریو را در دو نقطه در صحنه قرار می‌دهیم. فاصله این دو نقطه در سیستم‌های استریوی مختلف، متفاوت است و تحت عنوان خط مبنا شناخته می‌شود.

۱-۴ محاسبه عمق تصویر(مثلث بندی):

موقعیت دوربین‌ها، میزان چرخش و زاویه دید در تعریف فضای سه بعدی اهمیت دارند. پس اگر زاویه دوربین‌ها و فاصله آن‌ها از یکدیگر را تغییر دهید، عمق میدان متفاوتی بدست خواهید آورد و مختصات فضای سه بعدی تغییر خواهد کرد. در حقیقت اختلاف زاویه دید دو دوربین باعث ایجاد مختصات سه بعدی صحنه می‌شود. دانستن اینکه چگونه زاویه‌بندی دوربین‌ها را انجام دهیم به کاربران کمک خواهد کرد تا بتوانند مختصات دوربین‌ها و محل و زاویه چرخش آن‌ها را کالیبره کنند تا عمق صحنه و مختصات فضای سه‌بعدی به‌درستی تولید شود. بنابراین، می‌توان عمق هر نقطه را با توجه به مقدار اختلاف مکانی آن بدست آورد. عمق نقطه متناسب با عکس اختلاف مکانی می‌باشد.

۱-۵ الگوریتم‌های بینایی استریو

الگوریتم‌های بینایی استریو می‌تواند مبتنی بر پیکسل، مبتنی بر

پیکسل، مبتنی بر سطح، و یا مبتنی بر ویژگی باشد که همه‌ی این الگوریتم‌ها برای محاسبه میزان اختلاف‌مکانی بکار می‌روند. الگوریتم‌های مبتنی بر پیکسل، به محاسبه‌ی اختلاف مکانی برای تک تک پیکسل‌های تصویر می‌پردازد و لذا از سرعت اجرا به میزان زیادی می‌کاهند. در الگوریتم‌های مبتنی بر سطح، نقاط ویژه در یک تصویر استخراج می‌شوند و بر اساس یک معیار شباهت، مطابق‌شان در تصویر دیگر جستجو می‌شود. در الگوریتم مبتنی بر ویژگی نیز، نقاط ویژگی در هر دو تصویر استخراج می‌شود و شباهت بین آن‌ها طبق روال خاصی سنجیده می‌شود. چون تعداد کاندیداهای مورد تطابق در این روش کمتر از دو روش قبلی است، این الگوریتم از همه سریع‌تر است.

۱-۶قیود سیستم استریو

در تطابق تصاویر استریو، برای کاهش فضای جستجو و افزایش سرعت می‌توان از قیود موجود در سیستم استریو استفاده کرد، که برخی از آنها در زیر آمده است:

۱-۶-۱ محدودیت خط اپی‌پولار

با یکسو کردن تصاویر دو دوربین می‌توان جستجو در تصویر دوربین اول را از دو بعد به یک بعد کاهش داد و در واقع برای یافتن نقطه‌ی متناظر یک نقطه‌ی ویژه، فقط در خط اپی‌پولار متناظر با آن در تصویر دوربین دوم جستجو انجام می‌شود.

۱-۶-۲ محدودیت عمق:

در دنیای واقعی همواره عمق دارای محدوده‌ی تعیین شده‌ای است و از حدود خاصی تجاوز نمی‌کند. با توجه به محدوده‌ی اختلاف مکانی، جستجو در هر خط اپی‌پولار نیز محدودتر شده و سرعت اجرا کاهش می‌یابد. بنابراین برای این کاهش در فضای جستجو، باید هر دو قید اپی‌پولار و محدوده‌ی اختلاف مکانی با هم اعمال شوند.

۱-۶-۳ محدودیت ترتیب:

برای دو جفت نقطه‌ی متناظر، ترتیب چپ و راست بودن دو نقطه در یک تصویر به همان صورت در تصویر دیگر باید رعایت شود.

۱-۶-۴ حداکثر مشتق سویی اختلاف مکانی:

در سیستم های استریو، مشتق سویی دارای محدوده است که اگر از آن تجاوز کند، سیستم دچار اختلال می‌شود. از این محدودیت‌های مشتق سویی می‌توان برای کاهش فضای جستجو استفاده کرد.

۱-۷اعمال الگوریتم تطابق

پس از اعمال قید متناسب، الگوریتم تطابق مورد نظر باید روی تصویر اعمال شود. این الگوریتم شامل دو مرحله است: استخراج ویژگی و تطابق ویژگی‌ها.

۱-۷-۱ استخراج ویژگی‌ها

این مرحله روی هر دو تصویر چپ و راست (تصویر دوربین اول و دوم) اعمال می‌شود و با استفاده از عملیات پردازش (اعمال فیلترهای بالاگذر یا پایین‌گذر، بخش بندی تصویر)، تصاویر پردازش شده و بسته به نوع تصویر، ویژگی‌ها استخراج می‌شوند.

۱-۷-۱-۱ بخش بندی تصویر

در بینایی کامپیوتر، بخش بندی به فرایند تقسیم‌بندی تصویر دیجیتال به چند ناحیه یا مجموعه‌ای از پیکسل‌ها اطلاق می‌شود که این‌کار بطور معمول در ربات‌های خودران برای تشخیص اشیا و مرزهای (خط‌ها، منحنی‌ها و غیره) موجود در تصویر استفاده می‌شود. درمحیط‌های کشاورزی، تکنیک بخش‌بندی تصویر برای جداسازی اشیا در گروه‌های مختلف(مانند محصول اصلی، پس زمینه، علف هرز، درختان و غیره) به منظور استخراج اطلاعات لازم برای ناوبری در بین ردیف‌ها استفاده می‌شود.

۱-۷-۲ تطابق ویژگی‌ها

این بخش مهم‌ترین قسمت هر الگوریتم استریوست و اکثریت محققان به آن توجه دارند، چرا که افزایش سرعت اجرا و دقت الگوریتم به این مرحله وابسته است. ضمنا این نکته نیز حائز اهمیت است که نقاط مطابق باید از لحاظ مثبت یا منفی بودن یکسان باشند.

برخی کاربردها و پژوهش‌های صورت گرفته در کشاورزی عبارتند از:

۱- طراحی یک ماشین برداشت هندوانه که بر اساس بینایی استریو موقعیت هندوانه را تشخیص می‌دهد.

۲- یک ماشین برداشت خیار در گلخانه را طراحی شده است. این ماشین دارای دو دوربین می‌باشد که در دو طیف متفاوت ۸۵۰ و ۹۷۰ نانومتر تصویربرداری می‌نماید. محققان دریافتند که بازتاب نور از برگ‌ها در هر دو طیف یکسان است ولی در طیف ۸۵۰ نانومتر انعکاس نور از محصول خیار بیشتر است. باتوجه به این اختلاف میان دو تصویر، محصول تشخیص داده می‌شد و در پایان موقعیت محصول توسط یک دستکار با ۷ درجه آزادی برداشت می‌گردد.

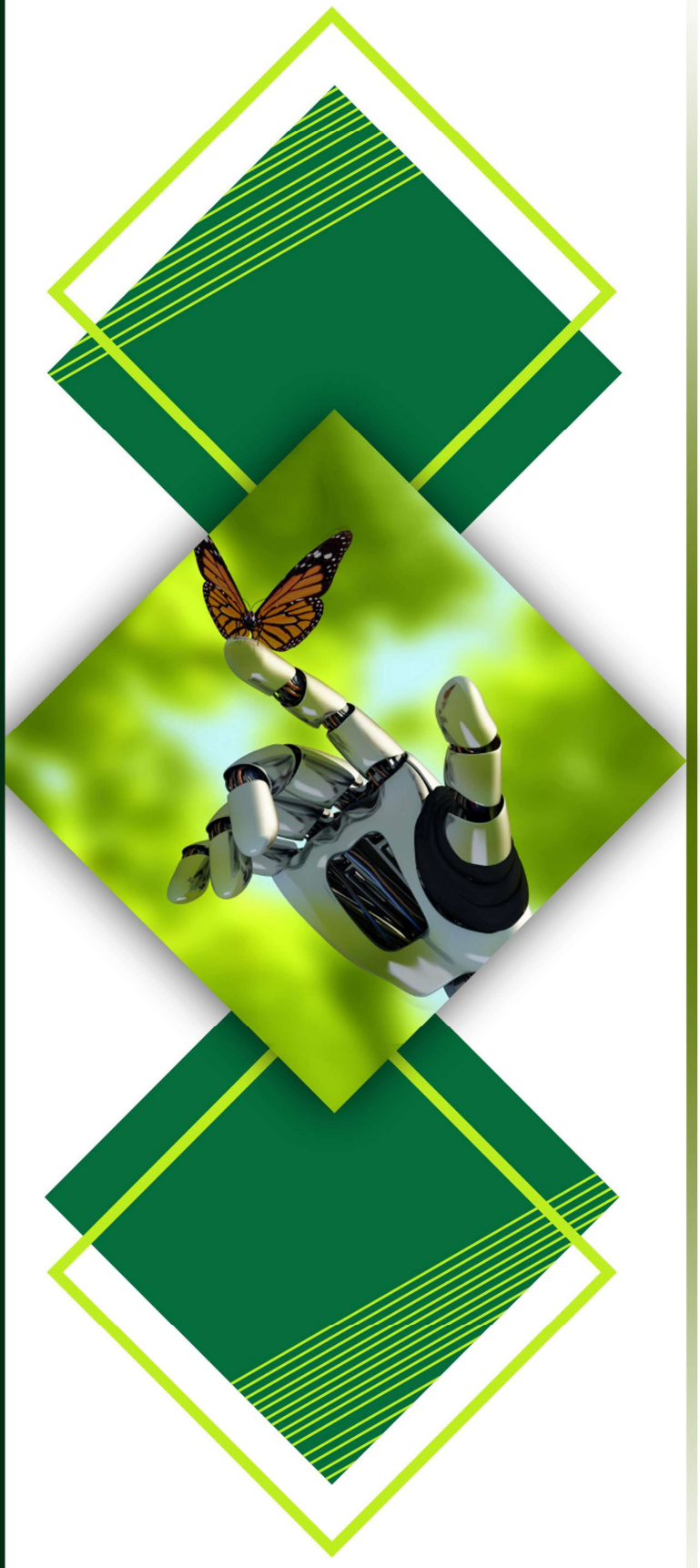
۳- یک ماشین برداشت گیلاس طراحی و ساخته شد. این ماشین برای تشخیص محصول و موقعیت آن از دو اسکنر لیزری،

که یکی از اسکنرها از لیزر مادون قرمز، که بازتاب این شعاع لیزر از شاخ و برگ گیاه و میوه آن یکسان بود، استفاده می‌کرد و دیگری از لیزر قرمز که فقط از میوه گیلاس بازتاب می‌شد، استفاده می‌نمود. به این ترتیب دو تصویر سه بعدی بدست می‌آمد که با توجه به اختلاف آن دو، موقعیت محصول توسط یک دستکار با چهار درجه آزادی برداشت می‌گردید.

۴ یک سیستم بینایی استریو برای برداشت گل‌محمدی که به یک دستکار با چهار درجه آزادی مجهز است طراحی و ساخته شده است. برای هدایت دستگاه نیز از یک سیستم کنترلی که توسط کابل USB به رایانه متصل می‌گردد، استفاده شد. درپایان بهترین فاصله برای فاصله دوربین‌ها۱۰۰ میلیمتر وبرای فاصله گل تا دوربین ۵۰۰ تا ۷۵۰ میلیمتر گزارش شد.

نتیجه‌گیری

امروزه سنسورهای بینایی بدلیل مقرون به صرفه بودن و توانایی انتقال اطلاعات زیاد در واحد زمان بطور وسیعی در ناوبری ربات-های کشاورزی استفاده می‌شوند. در سیستم ناوبری، دو روش بینایی دو بعدی و سه‌بعدی (بینایی استریو) قابل استفاده است که بینایی استریو برای طراحی حداقل به دو دوربین برای تشخیص عمق تصویر نیاز دارد. در سیستم بینایی استریو، چندین عمل پیش پردازش باید انجام شود که شامل موارد زیرند: حذف اعوجاج تصویر، یکسوسازی تصویر، ایجاد نقشه ناجوری، تعیین عمق تصویر با استفاده از نقشه ناجوری. همان‌طور که در متن مقاله هم مشاهده شد، بینایی استریو در بسیاری از زمینه‌ها مثل ربات‌های کشاورزی،کاربرد خود را اثبات کرده است.



الگوریتم‌های موازی	*Parallel algorithms*
اختلاف مکانی	*Disparity*
تنظیمات محیط اطراف	*Set up the environment*
محاسبه عمق	*Depth*
اپی‌پولار	*Epipolar*
بخش‌بندی	*segmentation*
تقسیم‌بندی	*partitioning*