

انسان از نگاه ربات: تشخیص انسان بر پایه اسکن لیزری محیط

چکیده: یکی از چالش‌های کاربرد ربات‌های هوشمند در شرایط واقعی، شناسایی تمایز دادن انسان از اشیاء محیط پیرامون آن است. در این مقاله الگوریتمی جهت تشخیص انسان در محیط با استفاده از دو اسکنر لیزری با سنسورهای ال-آر-اف ارائه و پیاده‌سازی آن بر روی یک ربات سرویس رسان خانگی انجام شده است. در این روش یک حالت انحنادار بر پایه اطلاعات سنسورهای لیزر استخراج و با داده بدست آمده از موقعیت پاها و قفسه سینه ترکیب می‌شود. برای شبیه‌سازی از محیط گرافیکی آر-ویز در میان‌افزار راس استفاده شده است. برای این منظور از محیط آر-ویز برای تشخیص یک انسان با قد نرمال یعنی در بازه ۱۵۰ تا ۱۹۰ سانتی‌متر اجرا می‌گردد. پس از مدت زمان کمتر از یک ثانیه (برابر ۲۵ میلی‌ثانیه که زمان یک دور اسکن سنسور لیزر است)، داده‌های لیزر اسکنر تحت پردازش الگوریتم نوشته شده به صورت بلادرنگ قرار می‌گیرد. شایان ذکر است که سرعت تشخیص این الگوریتم به صورت بلادرنگ می‌باشد. آزمایش برای ۱۶ شخص مختلف و هر یک در ۷ وضعیت متفاوت، جمعاً ۱۱۲ نمونه آزمایشی برای الگوریتم انجام شد، که در بیش از ۹۴٪ از موارد موفق به تشخیص درست گردید که در مقایسه با الگوریتم مشابه، بیش از ۶٪ ارتقاء را نشان می‌دهد.

واژه‌های راهنما: ربات، هوش مصنوعی، سنسور لیزر، بینایی ماشین، تشخیص انسان

بنیامین

جعفری مقدم فرد

کارشناس ارشد، قطب علمی رباتیک، آزمایشگاه تحقیقاتی مکترونیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین

فرزاد چراغ‌پور

سموتی*

استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد پردیس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

مقاله مروری

دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۹

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۳

Benyamin Jafari Moghadam Fard

MSc., Center of
Robotics, Mechatronics
Research Lab, Qazvin
Branch, Islamic Azad
University, Qazvin

Farzad Cheraghpour Samavati*

Assistant Professor,
Department of
Mechanical
Engineering, Pardis
Branch, Islamic Azad
University, Tehran Iran

Human detection based on laser scanning of environment

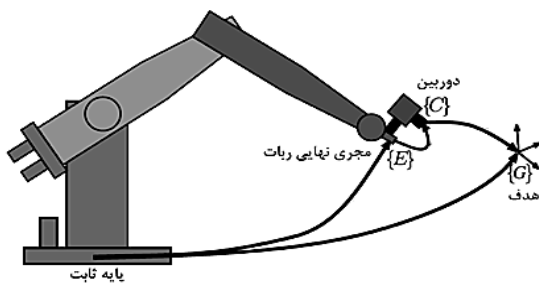
Abstract: Today human or person detection in various environments is important for smart robots and autonomous vehicle in Artificial Intelligence and robotics. In this paper a new method for human detection using two Laser Range Finder (LRF Sensor) that implemented on servicing at home robot explained. This proposed approach is extracting a curve state from laser scanner data and fusion of Legs detection and Torso detection. For visualization, used Rviz (ROS Visualizer) in ROS (Robotic Operating System) middleware. The results have been shown accuracy and efficiency of proposed algorithm.

Keywords: Robot, Artificial Intelligence. Laser Scanner, Machine Vision, Human Detection

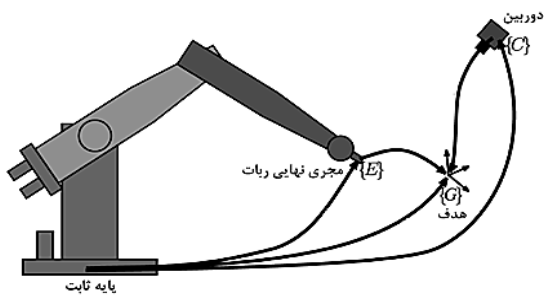
۱- مقدمه

هدف است و فلش‌ها نماینده آرایه‌های وضعیت (شامل موقعیت و جهت‌گیری) این دستگاه‌ها نسبت به یکدیگر و همچنین نسبت به دستگاه اینرسی هستند. گفتنی است در این مقاله، روش ارائه شده از پیکربندی اول بهره‌گیری شده است.

تصویر گرفته شده از هدف توسط دوربین، بصورت تابعی از وضعیت نسبی دستگاه مختصات هدف نسبت به دستگاه مختصات دوربین خواهد بود. ویژگی‌های تصویر همچون مختصات نقاط، و یا پارامترهای استخراج‌شده از تصویر مانند خطوط و منحنی‌ها، همگی تابعی از وضعیت نسبی دستگاه مختصات هدف هستند.



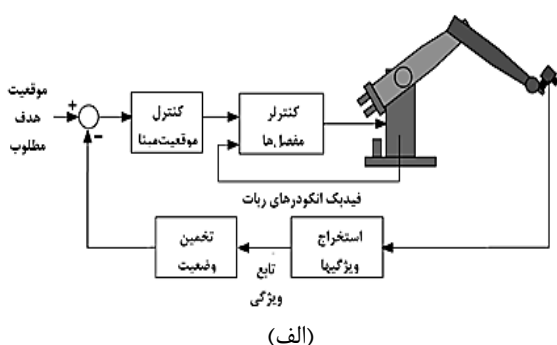
(الف)



(ب)

شکل ۱ انواع پیکربندی سیستم بینایی؛ (الف) دوربین توسط ربات حمل می‌شود؛ (ب) دوربین در محیط کارگذاشته شده است.

بعنوان کاربرد اصلی تعقیب دیداری، مطابق شکل ۲، دو ساختار بنیادین متفاوت برای کنترل تعقیب دید وجود دارد: سیستم تعقیب دید موقعیت‌مبنا، و سیستم تعقیب دید تصویرمبنا.



(الف)

توانایی تشخیص و تمایز اجسام توسط سیستم‌های هوشمند، همچون ربات‌ها و خودروهای خودران، یکی از ویژگی‌های کلیدی این سیستم‌ها و شرط کارکرد موفق آنها در محیط‌های واقعی است. در یک نگاه کلی می‌توان موضوع شناسایی اجسام را بعنوان زیرمجموعه‌ای از دانش بینایی کامپیوتر طبقه‌بندی کرد که خود چالشی میان‌رشته‌ای در هوش مصنوعی و یادگیری ماشین است. با توسعه هرچه بیشتر دستگاه‌های هوشمند و مکترونیک در زندگی روزمره، مهندسان طراح باید با نگاهی میان‌رشته‌ای، از تمامی ابزارهای هوشمند در طراحی محصولات نوین بهره‌گیری کنند و سیستم‌های بینایی نیز از این جمله‌اند. هدف از یک سیستم بینایی ماشین، ایجاد چارچوب‌های لازم برای پیاده‌سازی قابلیت بینایی در یک دستگاه هوشمند است [۱].

در زمینه شناسایی اجسام، کاربردهای متعددی را می‌توان برشمرد که به دو دسته اصلی قابل تقسیم‌بندی هستند: دسته اول کاربردهای کلاسیکی همچون: ناوبری ربات‌های متحرک، انجام بازرسی‌های صنعتی، و عملیات شناسایی هوشمند جغرافیایی، [۲] را شامل می‌شود؛ دسته دوم شامل کاربردهای مدرن‌تری همچون: تعامل انسان و ماشین، [۴]، آنالیز تصاویر پزشکی، و بازیابی تصاویر مثلا در کتابخانه‌های دیجیتال، [۵]، است. از میان کاربردهای عنوان شده، موضوع تعامل انسان و ربات، وقتی ربات دارای پایه متحرک است و باید مسائل مربوط به ناوبری خود را نیز حل کند، یکی از موضوعات چالش‌برانگیز سال‌های اخیر بوده و از دیدگاه‌های گوناگون مورد بررسی قرار گرفته است [۶].

اصولاً سیستم‌های بینایی ماشین در ربات‌ها با هدف تعقیب دیداری بکار گرفته می‌شوند. در این فرآیند، وضعیت مجری نهایی ربات، که شامل موقعیت و جهت‌گیری ابزار ربات است، با بهره‌گیری از ویژگی‌های دیداری استخراج شده از تصویر جسم هدف، کنترل می‌شود.

مطابق شکل ۱، دوربین می‌تواند توسط ربات حمل شود و یا در محیط کارگذاشته شود. در پیکربندی شکل (۱-الف) دوربین بر روی مجری نهایی ربات نصب شده و هدف را مشاهده می‌کند که با عنوان نقطه‌نهایی حلقه بسته یا چشم در دست نامیده می‌شود. در پیکربندی شکل (۱-ب) دوربین در نقطه‌ای از محیط کارگذاشته شده و هدف و ربات را مشاهده می‌کند که با عنوان نقطه‌نهایی حلقه باز نامیده می‌شود. در این شکل، دستگاه مختصات {E} معرف مجری نهایی ربات، دستگاه مختصات {C} معرف دوربین، و دستگاه مختصات {G} معرف جسم

آن راه حل پیدا کرد. از سوی دیگر، یافتن پاسخ در حداقل زمان ممکن و همچنین توجه به هزینه محاسباتی و کاهش حجم پردازشی در الگوریتم تشخیص، از جمله محدودیت‌هایی است که وقتی کاربرد ربات ایجاب می‌کند که بصورت بلادرنگ کار کند، باید بدان توجه ویژه کرد.

در روش پیشنهادی در این مقاله، به منظور کاهش حجم داده و همچنین کم کردن هزینه محاسباتی و حجم پردازش، از دو سنسور لیزری ال-آر-اف، که بر خلاف دوربین دارای داده‌های سبک‌تری می‌باشد، استفاده می‌شود.

الگوریتم‌های مختلفی برای تشخیص و ردیابی انسان با استفاده از دوربین، [۹-۱۰]، و نیز با استفاده از سنسور لیزر اسکنر، [۱۱-۱۲]، با استفاده از سنسورهای سه‌بعدی، [۱۳-۱۴]، استفاده از سنسورهایی بر اساس آر-جی-بی-دی، [۱۵-۱۶]، و استفاده از ترکیب سنسور لیزر و دوربین، [۱۷-۲۰]، ارائه شده است. در روش‌های اشاره شده، تشخیص انسان با استفاده از دو سنسور لیزر یکی برای تشخیص پاها و دیگری برای تشخیص قفسه سینه انسان انجام شده است که از مشکلات آن می‌توان به بلادرنگ نبودن، تشخیص نادرست پاهای جفت شده و تشخیص نادرست پایه‌های میز به‌عنوان پا و یا تشخیص بعضی اجسام به اشتباه به‌عنوان انسان اشاره نمود.

هدف این مقاله تشریح و ترکیب دو الگوریتم برای بدست آوردن الگوی پا و قفسه سینه با فرض انحنای پا و قفسه سینه و روشی برای تشخیص بهتر دو پای جفت شده است.

۳- معرفی الگوریتم ارائه شده

الگوریتم ارائه شده برای پیدا کردن انسان در محیط، به سه مرحله تقسیم می‌شود:

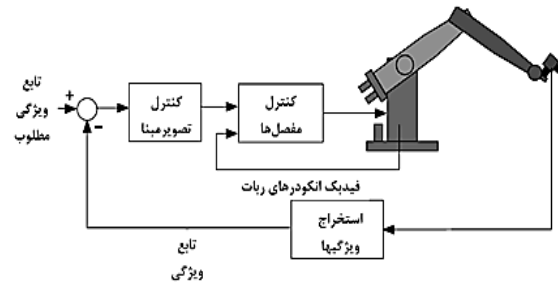
مرحله اول: پیدا کردن پا و یا جفت پاها در محیط و ذخیره کردن موقعیت و تعداد آن‌ها؛

مرحله دوم: پیدا کردن قفسه‌سینه در محیط؛

مرحله سوم: ترکیب کردن پاها و قفسه سینه متناظر جهت تشخیص و ذخیره موقعیت انسان و احتمال قطعیت آن در محیط؛ در ادامه به ارائه توضیحات فنی و جزئیات هریک از این سه مرحله پرداخته شده است.

۳-۱- الگوریتم تشخیص پا

مراحل اجرای الگوریتم تشخیص پا در روندنمای شکل ۳ نشان داده شده است. پس از آغاز الگوریتم، ابتدا سیستم عامل چک



(ب)

شکل ۲ انواع ساختارهای کنترل تعقیب دید؛ (الف) کنترل تعقیب دید موقعیت‌مبنا؛ (ب) کنترل تعقیب دید تصویرمبنا

در سیستم دید موقعیت مبنا، که در شکل ۲-الف نشان داده شده است، از ویژگی‌های دیداری مشاهده شده استفاده می‌شود؛ این مهم با یک دوربین کالیبره شده و یک مدل هندسی شناخته شده از جسم هدف، برای تعیین وضعیت آن نسبت به دوربین انجام می‌شود. سپس ربات به سمت آن وضعیت حرکت می‌کند و فرآیند کنترل در فضای کاری ربات اجرا می‌شود که معمولاً فضای با سه بعد است.

برای تخمین وضعیت الگوریتم‌های خوبی وجود دارد، اما از نظر محاسباتی این الگوریتم‌ها پرهزینه هستند و این هزینه محاسباتی به شدت به دقت کالیبراسیون دوربین و مدل هندسی جسم بستگی دارد.

در سیستم دید تصویرمبنا، که در شکل ۲-ب نشان داده شده است، گام مربوط به تخمین وضعیت حذف می‌شود و مستقیماً از ویژگی‌های تصویر استفاده می‌شود. فرآیند کنترل در مختصات دو بعدی تصویر اجرا می‌شود. وضعیت مطلوب دوربین نسبت به هدف بصورت غیرصریح بوسیله ویژگی‌های تصویر در موقعیت هدف تعریف می‌شود.

در مقایسه، سیستم دیدمبنا دارای چالش کنترلی است چراکه ویژگی‌های تصویر تابعی به شدت غیرخطی از وضعیت دوربین است، [۷].

۲- تشخیص انسان توسط ربات در محیط

در استفاده از ربات در محیط‌هایی که انسان به کار مشغول است، نظیر ربات‌های خدمتکار و ربات‌های صنعتی، تشخیص و پیدا کردن موقعیت انسان در محیط یکی از چالش‌های مهم به‌شمار می‌رود [۸]. در حل این چالش، تشخیص درست اجسامی که به نوعی هندسه‌ای مشابه بدن انسان دارند، مانند پایه میزها یا قفسه‌ها و همچنین تشخیص درست بدن انسان در وضعیت‌های متفاوت، از جمله مسائلی است که می‌بایست برای

خوانش سنسور اسکن لیزری، فاصله یا مترائزی است که یک پرتو لیزر ارسالی از سنسور، پس از برخورد با مانع، بازگشته و مجدداً توسط سنسور دریافت می‌شود. این داده‌ها در قالب یک آرایه برای هر دور عملیات اسکن، ذخیره می‌شود.

با داشتن فاصله خوانده‌شده پرتو لیزر و اندیس متناظر آن پرتو از آرایه و همچنین در اختیار داشتن زاویه میان هر دو پرتو لیزر، در نهایت مختصات قطبی آن نقطه اسکن شده از محیط در صفحه افق، بدست خواهد آمد. برای سنسور بکارگرفته شده، زاویه میان هر دو پرتو لیزر، که به توان تفکیک سنسور لیزر شناخته می‌شود، برابر با 0.25° درجه است.



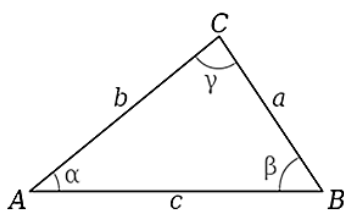
شکل ۴ سنسور اسکن لیزری هوکویو یو-تی-ام [۲۱]

با تبدیل هر یک از عناصر آرایه بدست آمده از سنسور لیزر به مختصات قطبی نقطه اسکن شده، سطری از نقاط روی صفحه افقی تشکیل خواهد شد، که در محیط واقعی نسبت به زمین برابر با ارتفاع نصب سنسور فاصله دارند. روی ربات، سنسور لیزر اسکتر در فاصله ۱۵ سانتی‌متر از سطح زمین نصب شده است؛ حال باید از این داده‌های خام، الگویی خاص جهت تشخیص پا در محیط استخراج شود. برای این کار ابتدا عملیات خوشه‌بندی روی داده‌ها به ترتیب زیر انجام می‌شود.

نخست فاصله میان هر دو نقطه متوالی با رابطه مثلثاتی زیر، با تعاریف پارامترها مطابق شکل ۵، محاسبه می‌شود:

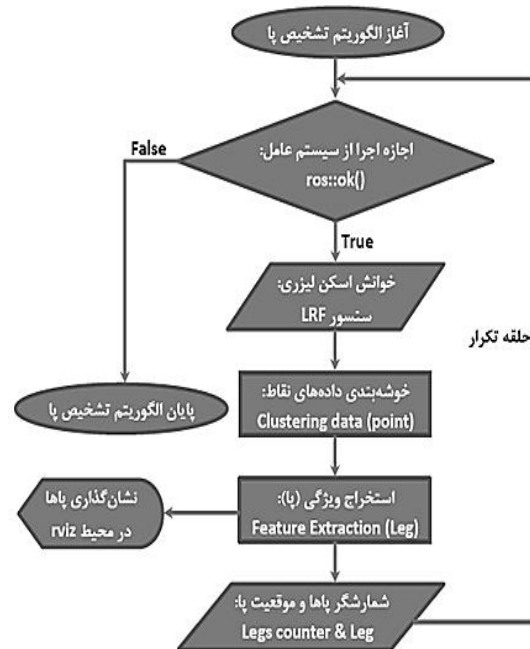
$$c = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab \cos \gamma} \quad (1)$$

که در آن a و b دو فاصله متوالی اندازه‌گیری شده از سنسور لیزر، و γ زاویه میان پرتوها است، مطابق شکل ۵.



شکل ۵ هندسه زوایای مورد استفاده در الگوریتم تشخیص پا

می‌کند که آیا الگوریتم با توجه به سایر زیربرنامه‌های اجرایی ربات وارد اجرا بشود یا خیر. این مرحله همچنین تصمیم خواهد گرفت که الگوریتم در چه زمانی متوقف شود. در گام بعد، سنسور ال-آر-اف فعال می‌شود و به اسکن لیزری محیط پیرامونی ربات می‌پردازد؛ داده‌های بدست آمده خوشه‌بندی می‌شوند تا برای استخراج ویژگی‌های مشترکی که به عنوان تشخیص پای انسان در محیط تعریف شده است، مورد استفاده قرار گیرند؛ در صورت تشخیص پا، الگوریتم برای نشان‌گذاری آن روی تصویر در محیط آر-ویز خروجی می‌دهد؛ همچنین پس از تشخیص هر جفت پا، الگوریتم در قالب یک شمارنده به تعداد شمارش شده پاها یک واحد می‌افزاید و مختصات موقعیت آن را نیز ذخیره می‌کند. این روند در یک حلقه تکرار تا زمانی که سیستم عامل فرمان توقف دهد، اجرا می‌شود.



شکل ۳ روندنمای الگوریتم تشخیص پا

سنسور لیزر اسکتر مورد استفاده در این تحقیق، یک سنسور هوکویو یو-تی-ام، مطابق شکل ۴ است، که مطابق مشخصات سازنده دارای ۱۰ متر برد مفید است؛ این سنسور از نقطه‌نظر محدوده دید، افق را 270° درجه پوشش می‌دهد و از نقطه‌نظر سرعت اسکن، در هر ثانیه ۴۰ بار اسکن، معادل ۲۵ میلی‌ثانیه/اسکن، انجام می‌دهد؛ در بهره‌گیری از اطلاعات ارسال شده توسط سنسور لیزر، از ۴۰۰ پرتو سنسور لیزر در محدوده 150° درجه استفاده شده است [۲۱].

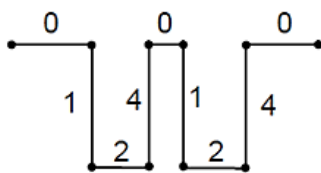
در گام ششم، با استفاده از رابطه (۲)، زاویه γ برای هر یک از خوشه‌ها محاسبه می‌شود:

$$\cos \gamma = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \quad (2)$$

در گام هفتم، الگوریتم می‌بایست از خوشه‌های استخراج شده، پای جفت شده انسان را تشخیص دهد. برای بدست آوردن پاهای جفت شده که در حالت ایده‌آل از دو نیم دایره تشکیل شده، دو روش اعمال می‌شود:

روش اول، خوشه مورد نظر را از وسط به دو خوشه تبدیل کرده و عملیات تشخیص انحنای بر هر دوی آنها انجام می‌شود؛ اگر خروجی هر دو متناسب با شرط‌های مورد نظر بود، آن دو به عنوان یک جفت پا در نظر گرفته می‌شود.

روش دوم، پاهای جفت شده را به رشته‌هایی چون، L (کاهش فواصل) و R (افزایش فواصل) تبدیل می‌کنیم؛ اگر رشته‌ای که از آن خوشه بدست می‌آید، مطابق شکل ۷، برابر با "LRLR" بود، به عنوان یک جفت پا در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۷ حالت پاهای جفت شده به صورت "LRLR"

در نهایت خروجی تشخیص پاها و تشخیص جفت پاها با دو روش ذکر شده بعنوان خروجی LegDetector ذخیره می‌شود.

۳-۲- الگوریتم تشخیص قفسه‌سینه

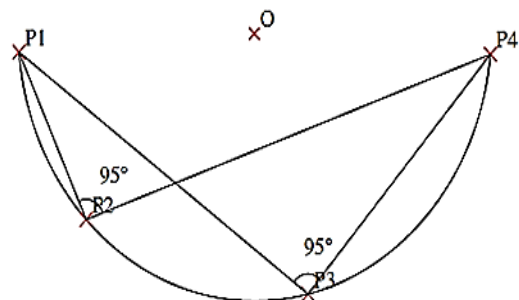
مراحل اجرای الگوریتم تشخیص قفسه‌سینه در روندنمای شکل ۸ نشان داده شده است. مراحل این الگوریتم نیز مشابه مراحل الگوریتم تشخیص پا است، با این تفاوت که در مرحله استخراج ویژگی، از الگوی تعریف شده برای تشخیص قفسه‌سینه انسان استفاده می‌شود. پس از تشخیص هر قفسه‌سینه، الگوریتم در قالب یک شمارنده به تعداد شمارش شده یک واحد می‌افزاید و مختصات موقعیت آن را نیز ذخیره می‌کند. این روند در یک حلقه تکرار تا زمانی که سیستم عامل فرمان توقف دهد، اجرا می‌شود.

شایان ذکر است که در این قسمت الگوی قفسه‌سینه، از روی داده‌های دومین سنسور لیزر، که در فاصله ۱۵۰ سانتیمتری

در گام بعد، زوج فواصل a و b متوالی را، در طول یک بازه کوچک (مثلاً ۲ زوج متوالی) در نظر گرفته و چک می‌شود که آیا می‌توان آنها را بعنوان به یک خوشه به هم پیوسته در نظر گرفت یا خیر. در پایان این گام، از میان داده‌های اندازه‌گیری شده، تعدادی خوشه به هم پیوسته از نقاط در دست خواهد بود.

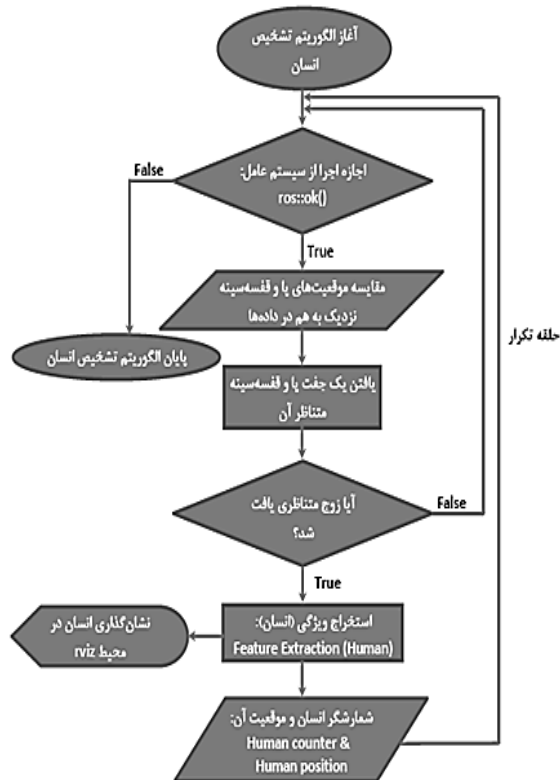
در گام سوم، برای بهبود فرآیند خوشه‌بندی، نقاط اول و آخر هر دو خوشه متوالی در نظر گرفته می‌شود، و فاصله میان آن دو تعیین می‌شود. اگر فاصله در حدفاصل یک آستانه تعیین شده قرار داشت، آن دو خوشه با هم ترکیب شده و تبدیل به یک خوشه واحد می‌شوند. و این روند تا مادامیکه که دیگر تغییری در خوشه‌های بدست آمده اعمال نشود، ادامه می‌یابد.

در گام چهارم، و با در دست داشتن خوشه‌ها، اندازه هر خوشه محاسبه می‌شود. در این گام خوشه‌هایی با ابعاد بزرگ و یا کوچک که نمی‌توانند وجود پا را در محیط توصیف کنند، حذف می‌شوند. در گام پنجم، منحنی‌هایی از خوشه‌ها که شبیه به الگوی پا انسان هستند، تشخیص داده می‌شوند. روند کار به این صورت است که نقاط اول و آخر هر خوشه را ثابت در نظر می‌گیریم و با استفاده از دیگر نقاطی که در خوشه وجود دارد و آن دو نقطه‌ی ابتدایی و انتهایی، مثلث‌هایی موسوم به مثلث تشخیص، مطابق شکل ۶، تشکیل داده می‌شوند. هدف بدست آوردن زاویه γ از شکل ۵ در این مثلث‌ها است. مطابق یک فرآیند سعی و خطا در آزمایش‌های تجربی انجام شده در این تحقیق، برای آنکه مثلث‌های تشخیص بتوانند توصیف کننده الگوی پای انسان باشند، می‌بایست نقطه راس آنها روی محیط یک دایره (نیم دایره) قرار گرفته باشد و یا به عبارتی زاویه راس آنها (زاویه γ در شکل ۵) برابر ۹۵ درجه باشد.



شکل ۶ چگونگی تشکیل مثلث تشخیص، با چهار نقطه $P1$ تا $P4$ در الگوریتم تشخیص پا

در پایان گام پنجم، خوشه‌های استخراج شده با الگوی شبیه به پای انسان، ذخیره می‌شوند؛ سپس نقطه میانی هر خوشه، تعیین می‌گردد.



شکل ۹ روندنمای الگوریتم تشخیص انسان

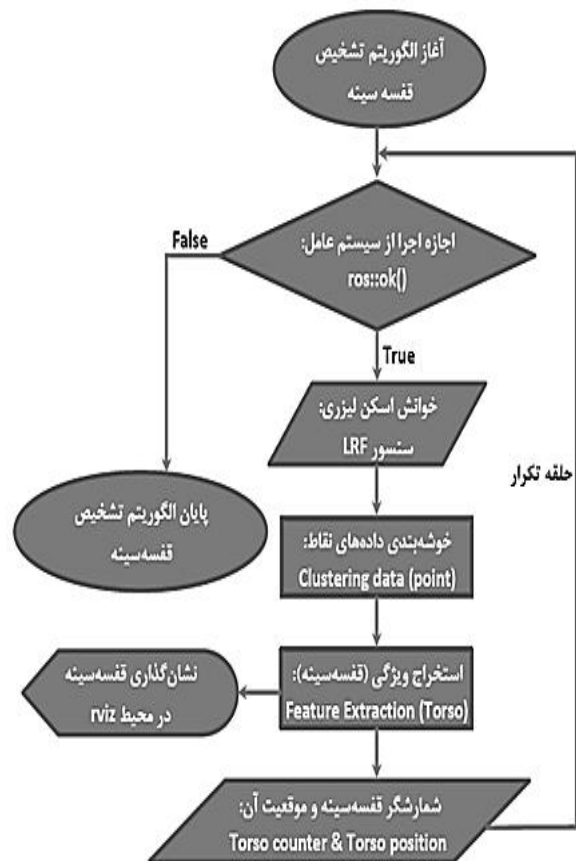
۴- پیاده‌سازی

پیاده‌سازی کار روی ربات خانگی آزمایشگاه ربات‌های سرویس‌رسان مرکز تحقیقات مکترونیک دانشگاه آزاد اسلامی قزوین انجام شده است. مشخصات کلی ربات در مرجع [۲۱] و [۲۲] آمده است. ربات پایه‌متحرک مورد استفاده، مطابق شکل ۱۰، دارای دو سنسور لیزر با مشخصات عنوان شده مطابق با شکل ۴ است، که سنسور پایه در فاصله ۱۵ سانتی‌متری از سطح زمین نصب شده است. همچنین حداکثر سرعت پایه حرکتی ربات ۱/۲ متر بر ثانیه است.

بر روی این ربات دو کامپیوتر صنعتی با مشخصات یکسان وجود دارد که هرکدام از یک پردازنده ۴ هسته‌ای اینتل با فرکانس ۳/۱ گیگاهرتز بهره می‌برند؛ اجرای کد پیاده‌سازی شده تشخیص انسان، با زبان پایتون و در بستر میان‌افزار راس در یکی از کامپیوترهای ذکر شده انجام می‌شود.

ابتدا تست در محیط شبیه‌سازی شده مربوط به یکی از سناریوهای لیگ ربات خانگی در مسابقات روبوکاپ انجام می‌شود؛ برای این منظور از محیط آر-ویز برای تشخیص یک انسان با قد نرمال یعنی در بازه ۱۵۰ تا ۱۹۰ سانتی‌متر اجرا می‌گردد. پس از مدت زمان کمتر از یک ثانیه (برابر ۲۵ میلی ثانیه که زمان یک دور اسکن سنسور لیزر است)، داده‌های لیزر

از سطح زمین و بر روی سینه ربات نصب شده است، بدست آورده می‌شود. در الگوریتم استخراج ویژگی سینه، دیگر با چالش‌هایی مانند دو پای جفت شده در محیط مواجه نخواهیم بود. در این قسمت نیز به تشخیص انحنای خوشه‌ها پرداخته شده است؛ تفاوت اصلی تشخیص قفسه سینه آن است که در آزمایش‌های صورت گرفته، زاویه ۷ برای هر مثلث تشکیل شده ۱۲۰ درجه می‌باشد.

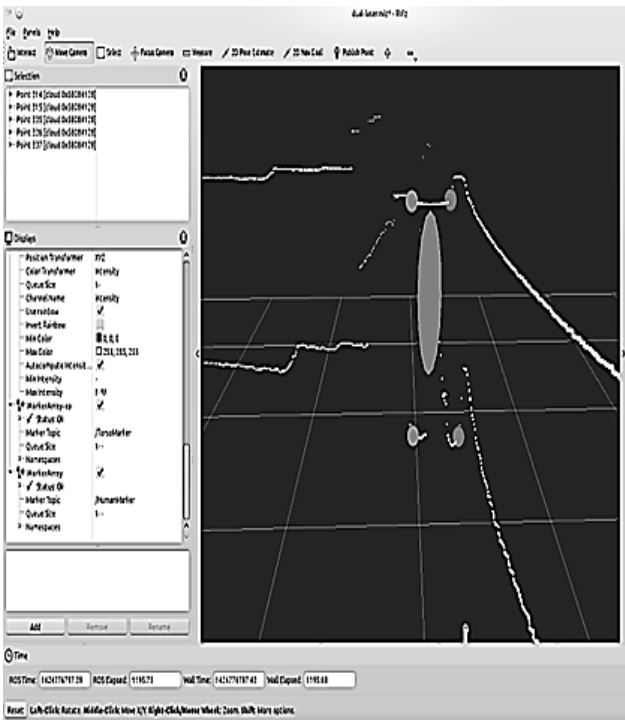


شکل ۸ روندنمای الگوریتم تشخیص قفسه‌سینه

۳-۳- الگوریتم تشخیص انسان

مراحل اجرای الگوریتم تشخیص انسان در روندنمای شکل ۹ نشان داده شده است.

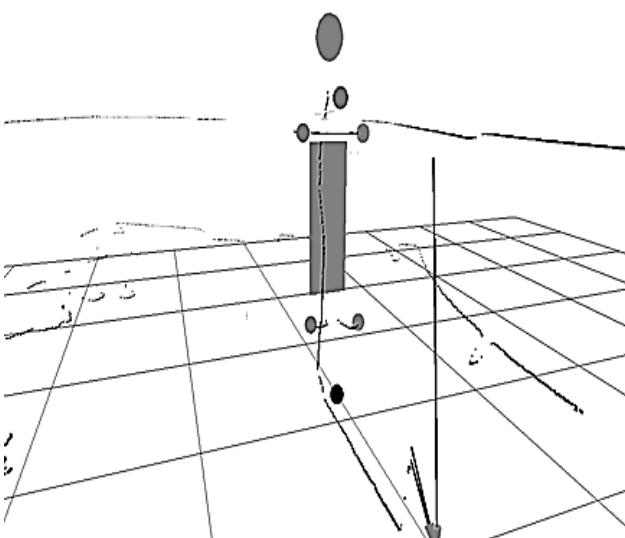
در این بخش با استفاده از خروجی‌های تشخیص پاها و قفسه‌سینه انسان در محیط شناسایی می‌شود؛ روش کار بدین صورت است که نقاطی که به عنوان پا و قفسه سینه بدست آمده‌اند، با هم مقایسه شده و هر دو نقطه‌ای را که نسبت به هم اختلاف مختصات کوچک ΔX , ΔY داشته باشند، بعنوان انسان شمرده می‌شوند. این اختلاف مختصات بعنوان دقت الگوریتم تشخیص در یک فرآیند بهینه‌یابی قابل محاسبه خواهد بود.



شکل ۱۱ محیط گرافیکی نرم افزار استاندارد آر-ویز تحت راس

۵- نتیجه گیری

با تکرار انجام آزمایش برای ۱۶ شخص مختلف و هر یک در ۷ وضعیت متفاوت، جمعاً ۱۱۲ نمونه آزمایشی برای الگوریتم ایجاد شد، که در بیش از ۹۴٪ از موارد موفق به تشخیص درست گردید. این عملکرد در مقایسه با الگوریتم مشابه، مطابق مرجع [۵]، بیش از ۶٪ ارتقا را نشان می دهد.



شکل ۱۲ تشخیص و علامتگذاری انسان در محیط آر-ویز

اسکنر تحت پردازش الگوریتم نوشته شده قرار می گیرد و خروجی آن به صورت شکل ۱۲ و شکل ۱۳ در محیط گرافیکی آر-ویز نشان داده شده اند. در این شکل ها، نقاط ریز معرف داده های بدست آمده از سنسور لیزر هستند و دایره های تو پر معرف نقاط ابتدایی و انتهایی مربوط به پاها و قفسه سینه های تشخیص داده شده در محیط هستند. شایان ذکر است که سرعت تشخیص این الگوریتم به صورت بلادرنگ می باشد.

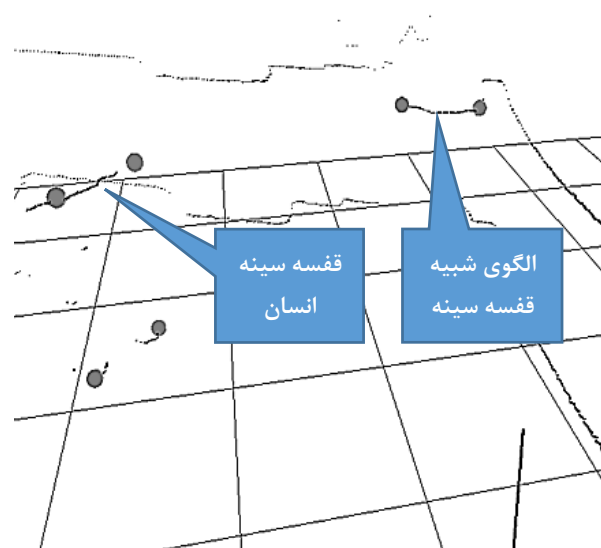


شکل ۱۰ ربات پایه متحرک مورد استفاده در پیاده سازی الگوریتم

همچنین برای بازنمایی خروجی های الگوریتم از ابزار محیط گرافیکی آر-ویز در راس استفاده شده است. مطابق خروجی نشان داده شده در شکل ۱۱ از محیط آر-ویز، نقاط اسکن شده توسط سنسور لیزر و همچنین خروجی الگوریتم تشخیص قفسه سینه و الگوریتم تشخیص پاها، قابل مشاهده اند.

۶- مراجع

- [1] Wang, R., Wu, A., Chen, X., and Wang, J., "A point and distance constraint based 6R robot calibration method through machine vision", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 65, pp. 10195, (2020).
- [2] Cheng, L., Dai, Y., Peng, R., and Nong, X., "Positioning and navigation of mobile robot with asynchronous fusion of binocular vision system and inertial navigation system", *International Journal of Advanced Robotic Systems*, Vol. 14, No. 6, 1729881417745607, (2017).
- [3] Jean Paul, S., "Artificial intelligence: scope, players, markets and geography", *Digital Policy, Regulation and Governance*, (2019).
- [4] Alfarraj, O., and Tolba, A., "A two-level computer vision-based information processing method for improving the performance of human-machine interaction-aided applications" *Complex & Intelligent Systems*, Vol. 7, No. 3, pp. 1265-127, (2021).
- [5] Zenggang, X., Zhiwen, T., Xiaowen, C., Xue-min, Z., Zhang, Kaibin, Z., and Conghuan, Y., "Research on image retrieval algorithm based on combination of color and shape features", *Journal of signal processing systems*, Vol. 93, No. 2, pp. 139-146, (2021).
- [6] Tölgyessy, M., Dekan, M., Duchoň, F., Rodina, J., Hubinský, P., and Chovanec, L., "Foundations of visual linear human-robot interaction via pointing gesture navigation", *International Journal of Social Robotics*, Vol. 9, No. 4, pp. 509-52, (2017).
- [7] Corke, P., "Robotics, Vision and Control", Springer Tracts in Advanced Robotics, Springer Berlin, Heidelberg, Vol. 118, (2017).
- [8] Yan, Z., Duckett, T., and Bellotto, N., "Online learning for 3D LiDAR-based human detection: Experimental analysis of point cloud clustering and classification methods", *Autonomous Robots*, Vol. 44, No. 2, pp. 147-164, (2020).
- [9] Jung, B., and Sukhatme, G. S., "Detecting moving objects using a single camera on a mobile robot in an outdoor environment", in Proc. 8th Conf., *Intell. Auton. Syst.*, pp. 980-98, (2004).
- [10] Sheng, H., Zhang, Y., Chen, J., Xiong, Z., and Zhang, J., "Heterogeneous association graph fusion for target association in multiple object tracking", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 29., No. 11, pp. 3269-3280, (2018).



شکل ۱۳ تشخیص یک انسان در چپ و یک قفسه‌سینه منفرد در راست که به‌عنوان انسان شناخته‌نشده و یک آویزلباس بوده است



شکل ۱۴ تمایز میان تشخیص انسان و آویزلباس با توجه به ترکیب تشخیص قفسه سینه و تشخیص پا

نکته مهم در قابلیت ویژه الگوریتم ارائه شده نسبت به الگوریتم‌های پیشین در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده است. در این شکل‌ها، موردی آورده شده که تشخیص انسان توسط الگوریتم‌های پیشین ناموفق و با الگوریتم ارائه شده موفق انجام می‌گیرد. شکل ۱۳ درحقیقت شمای درک الگوریتم از فضای فیزیکی نشان داده شده در شکل ۱۴ است. در سمت چپ شکل یک جفت پا به همراه یک قفسه سینه بر روی آن تشخیص داده شده است که با ترکیب این دو توسط الگوریتم پیشنهادی، تشخیص انسان به درستی صورت گرفته است. درحالی‌که در سمت راست شکل تنها یک الگو بمانند قفسه سینه تشخیص داده شده، و چون یک جفت پای متناظر برای آن یافت نشده است، الگوریتم آن را به عنوان یک انسان شناسایی نکرده که در واقعیت نیز یک آویز لباس بوده است. این چالش دستاورد ویژه الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد.

- mobile robot using an omnidirectional camera and a laser", *Proceedings 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA 2006*, IEEE, (2006).
- [18] Kazuhiro, F., Tasaki, R., Sakurai, T., and Terashima, K., "Development and experimental verification of a person tracking system of mobile robots using sensor fusion of inertial measurement unit and laser range finder for occlusion avoidance", *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 33, No. 1, pp. 33-4, (2021).
- [19] Bellotto, Nicola, and Huosheng Hu. "Multisensor-based human detection and tracking for mobile service robots", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, Vol. 39, No. 1, pp. 167-181, (2008).
- [20] Yan, Z., Duckett, T., and Bellotto, N., "Online learning for 3D LiDAR-based human detection: Experimental analysis of point cloud clustering and classification methods", *Autonomous Robots*, Vol. 44, No. 2, pp. 147-164, (2020).
- [21] Fathzadeh, R., Abdollahi, F., Nabavi, N., Abazari, F., Zahedi, J., Shahabian, R., Bagheri, H., Ahmadi, R., and Ghiasvand, B., "MRL@ Home 2014 Team Description Paper", https://fei.edu.br/rcs/2014/TeamDescriptionPapers/RoboCup@Home/MRL_AtHome_TDP_2014.pdf, (2014).
- [22] Yousefi Mohgaddam, M., and Cheraghpour Samavati, F., "Experimental object manipulation of assistive robotic arm for pick and place task", *Journal of Computer & Robotics*, Vol. 14, No. 1, pp. 69-84, (2021).
- [11] Jung, E.-J., Lee, J. H., Yi, B.-J., Park, J., Yuta, S., and Noh, S.-T., "Development of a laser-range-finder-based human tracking and control algorithm for a marathoner service robot", *IEEE/ASME transactions on mechatronics*, Vol. 19, No. 6, pp. 1963-197, (2013).
- [12] Wu, Chong., Tao, B., Wu, H., Gong, Z., and Yin, Z., "A UHF RFID-based dynamic object following method for a mobile robot using phase difference information", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 70, pp. 1-1, (2021).
- [13] Urtasun, R., Fleet, D. J., and Fua, P., "3D people tracking with Gaussian process dynamical models", *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'06)*, New York, Vol. 1, IEEE, (2006).
- [14] Limoyo, O., Chan, B., Marić, F., Wagstaff, B., Mahmood, R., and Kelly, J., "Heteroscedastic uncertainty for robust generative latent dynamics", *IEEE Robotics and Automation Letters*, Vol. 5, No. 4, pp. 6654-6661, (2020).
- [15] Choi, W., Pantofaru, C., and Savarese, S., "Detecting and tracking people using an RGB-D camera via multiple detector fusion", *IEEE international conference on computer vision workshops (ICCV workshops)*, IEEE, (2011).
- [16] Zhao, Y., Zhao, M., Jia, C., and Chen, S., "Light-field imaging for distinguishing fake pedestrians using convolutional neural networks", *International Journal of Advanced Robotic Systems*, Vol. 18, No. 1, 172988142098740, (2021).
- [17] Kobilarov, M., Sukhatme, G., Hyams, J., and Batavia, P., "People tracking and following with