

ربات متحرک بینا با استفاده از یک الگوریتم جدید شناسایی رنگ و الگوی هدایت ترکیبی

مهدی سعادت‌مند طرزجان^۱، استادیار، مهدی ملبوبی^۲، کارشناس ارشد، مرتضی خادمی^۳، دانشیار، محمدرضا اکبرزاده توتونچی^۴، استاد

گروه مهندسی برق - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه فردوسی مشهد - مشهد - ایران

akbarzadeh@ieee.org و khademi@um.ac.ir . mehdi_malboubi@yahoo.com . saadatmand@kiaeee.org

چکیده: در این مقاله، یک ربات متحرک بینا با معماری ترکیبی شامل پنج رفتار واکنشی و سه رفتار هدف‌گرا ارائه شده است. کلیه رفتارهای هدف‌گرای ربات به همراه رفتار واکنشی جستجوی تصویری هدف، از اطلاعات سطح بالای حاصل از پردازش تصویر استفاده می‌کنند؛ در حالی که سایر رفتارهای واکنشی بر پایه اطلاعات حاصل از حسگرهای جانبی ربات شامل حسگرهای مادون قرمز و لامسه طراحی شده‌اند. به علاوه، هر سه رفتار هدف‌گرای ربات با استفاده از یک کنترل کننده تناسبی-مشتق‌گیر-تناسبی با پس‌خورد تصویری پیاده‌سازی گردیده است. همچنین، در این مقاله یک الگوریتم جدید با عنوان فیلتر منطبق رنگ برای شناسایی اشیا بر اساس رنگ ارائه شده است. این الگوریتم در مرحله طراحی، از الگوریتم ژنتیکی برای بهینه‌سازی ضرایب فیلتر استفاده می‌کند؛ در حالی که در مرحله بازرسی، از فیلتر بهینه حاصل، برای تشخیص اشیا استفاده می‌شود. نتایج تجربی بیانگر عمل‌کرد قابل قبول فیلترهای منطبق در شناسایی سریع اشیا تحت شرایط نوری متغیر بوده است. کنترل کننده ربات نیز قابلیت اطمینان مناسبی به ربات بخشیده است؛ به طوری که هیچ‌گاه مشاهده نگردید که ربات در حرکت به سوی هدف از پیش تعیین شده، دچار خطا گردد. طی آزمایشات تجربی، ربات بارها توانست همه اشیا موجود در زمین مسابقه را آشکار کرده و در دروازه مربوطه بیاندازد.

واژه‌های کلیدی: ربات متحرک، معماری هدایت ترکیبی، فیلتر منطبق رنگ، تشخیص رنگ، الگوریتم ژنتیکی.

Vision-Based Mobile Robot with a Combinatorial Navigation Paradigm Using a New Color Detection Algorithm

M. Saadatmand Tarzjan, M. Malboubi, M. Khademi and M. R. Akbarzadeh Tootoonchi
Department of Electrical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Abstract: In this paper, a vision-based mobile robot with combinatorial navigation paradigm is presented. It takes advantage of five sensory behaviors (SBs) and three goal-directed behaviors (GDBs). All GDBs and the visual goal seeking behavior (a sensory behavior) use high-level information of the image while the remaining sensory behaviors employ low-level information of IR and touch sensors. Besides, each GDB uses a proportional-differential-proportional (PD-P) controller with a visual feedback. Furthermore, we propose a new color match filter (CMF) algorithm for color detection. In the design phase, it uses a genetic algorithm to optimize the filter coefficients while in the inspection phase, it is employed to detect objects based on the color feature. Experimental results demonstrated accurate and fast detection of objects by using CMFs in different light conditions. Besides, the robot was always successful to hunt objects because of the reliability of the PD-P controller.

Keywords: Mobile robots, Combinatorial navigation paradigm, Color match filter, Color detection, Genetic algorithm.

۱- مقدمه

ربات متحرک، ماشینی هوشمند با قابلیت جابه‌جایی از یک نقطه به نقطه دیگر است که با استفاده از اطلاعات دریافتی از حسگرهای خود، محیط اطراف را شناسایی کرده و از خود در برابر شرایط مختلف واکنش مناسب نشان می‌دهد [۱]. در میان بخش‌های مختلف تشکیل دهنده یک ربات، قسمت هدایت کننده پراهمیت‌ترین بخش می‌باشد. به‌طور کلی، روش‌های متداول در هدایت ربات‌ها را می‌توان به سه دسته الگوهای سلسله مراتبی^۱، رفتارگرا^۲ و ترکیبی^۳ تقسیم نمود. الگوهای سلسله مراتبی قدیمی‌ترین الگوی هدایت ربات‌ها می‌باشند. در یک هدایت کننده سلسله مراتبی، وظیفه لایه‌های پایین‌تر معمولاً جمع‌آوری اطلاعات حسگرها و اجرای فرامین است. در حالی که لایه‌های بالاتر بیشتر در امر تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی دخیل هستند. از آنجا که در این معماری، بر اطلاعات کلی^۴ ربات از محیط تأکید می‌شود، معمولاً الگوهای سلسله مراتبی پیچیده بوده و از حجم محاسباتی زیادی برخوردار هستند.

الگوهای رفتارگرا با الهام از سیستم‌های زیستی پیشنهاد شده‌اند. در الگوهای رفتارگرا برای هر حس خاص، یک عمل متقابل وجود داشته و وظیفه مدیریت و ایجاد هماهنگی بین رفتارهای مختلف، برعهده واحد برنامه‌ریزی است. به‌طور کلی، رفتارها را می‌توان به دو دسته واکنشی (مبتنی بر وقوع رویدادی خاص) و هدف‌گرا^۵ (برای دست‌یابی به هدفی خاص) تقسیم نمود. از آنجا که الگوهای رفتارگرا بر اطلاعات محلی^۶ ربات از محیط تأکید دارند، ربات می‌تواند با ترکیب دو یا چند رفتار پایه، عمل‌کرد پیچیده‌ای از خود نشان دهد.

معماری ترکیبی کارآمدترین شیوه هدایت ربات در محیط‌های غیرساخت‌یافته و پویا است. در این نوع معماری، رفتارهای ربات با استفاده از یک ساختار سلسله مراتبی مدیریت و برنامه‌ریزی می‌شود. در معماری ترکیبی، اطلاعات محلی و کلی به شکلی کارآمد با یکدیگر ترکیب می‌شوند. به این ترتیب که در فرآیند هدایت ربات، معمولاً رفتارها از اطلاعات محلی (سطح پایین) و واحد برنامه‌ریزی و مدیریت از اطلاعات کلی (سطح بالا) استفاده می‌کنند [۳].

۱-۱- برخی روش‌های هدایت ربات‌های متحرک

تاکنون تحقیقات گسترده‌ای بر روی روش‌های هدایت ربات‌های متحرک انجام شده است. به عنوان مثال، در مرجع [۴] با ترکیب منطق فازی و میدان‌های پتانسیل، روشی مقاوم برای تعیین مسیر ربات‌های متحرک به‌منظور پرهیز از موانع ارائه شده است. در مرجع [۵] نیز از شبکه‌های عصبی برای ترکیب مناسب قوانین، در تصمیم‌گیرنده فازی یک ربات استفاده شده است. همچنین، در مرجع [۶] نیز از شبکه‌های عصبی برای تولید رفتارهای واکنشی و رفتارهای

پرهیز از موانع استفاده شده است. در کار دیگری، با ترکیب اطلاعات مبتنی بر رفتار و یک مکانیزم بهینه‌سازی برخط (مبتنی بر ویژگی‌های سیستم ایمنی بدن انسان)، روشی جدید برای هدایت ربات در فضاهای ناشناخته و پیچیده ارائه گردیده است [۷]. در مرجع [۸] نیز یک معماری ترکیبی برای هدایت ربات به‌خدمت گرفته شده است. در این روش، ابتدا با استفاده از اطلاعات کلی، مسیر امنی برای ربات طراحی می‌شود. سپس، گره‌های این مسیر به‌عنوان هدف‌های محلی ربات، توسط رفتارهایی چون پرهیز از مانع و کوتاهترین مسیر دنبال می‌گردد.

در مرجع [۹] از تصاویر پانوراما برای هدایت ربات در مسیری با نقاط شاخص استفاده گردیده است. در مرجع [۱۰] نیز الگوریتمی برای تشخیص علامت‌های چهارگوش (مانند پوستر، درب و قفسه) در تصاویر مربوط به محیط‌های داخلی ارائه شده است. در کار دیگری، بر پایه مدل حرکت انسان، روشی مبتنی بر یک دوربین برای هدایت ربات‌های متحرک ارائه گردیده است [۱۱]. در این مدل، شتاب زاویه‌ای ربات تنها با استفاده از جهت نسبی و فاصله آن تا هدف و موانع محاسبه می‌شود. اخیراً، ترکیب تکاملی رفتارهای ساده، در هدایت ربات‌ها مورد توجه قرار گرفته است [۱۲] و نشان داده شده که رفتارهای ترکیبی قادر به حل مسائل جهان واقعی هستند؛ هرچند که نتایج بسیار به دانش اولیه کاربر درباره مسأله وابسته می‌باشد. در مرجع [۱۳] نیز از برچسب‌های RFID برای نشانه‌گذاری محیط و هدایت ربات استفاده شده است. در نهایت، اخیراً با در نظر گرفتن اثر برهم افتادگی موانع در تصویر، سعی شده رفتار پرهیز از موانع بهبود یابد [۱۴]. نتایج تجربی حاصل از یک ربات متحرک در محیط داخلی، بیانگر بهبود الگوریتم هدایت ربات است.

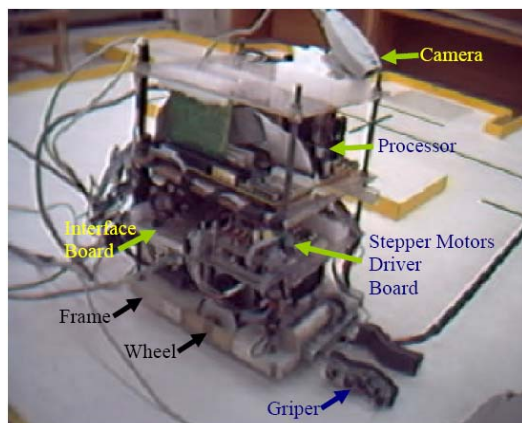
۱-۲- توصیف مساله

ربات ارائه شده در این مقاله، برای شرکت در سطح دو مسابقات سراسری رباتیک ایران طراحی شده است. به این ترتیب که ربات باید طی کمترین زمان ممکن، اشیا قرار گرفته در زمین مسابقه (شکل ۱) شامل توپ زرد، جعبه صابون قرمز و قوطی نوشابه سیاه را شکار کرده و در دروازه مربوطه بیاندازد. همه اجسام در سمت راست زمین، درون محوطه مشخص شده با خط چین، قرار می‌گیرند. زمین مسابقه سفید و خط هادی (خط ضخیم در شکل ۱) سیاه می‌باشد. در آغاز مسابقه، ربات در محل شروع قرار می‌گیرد.

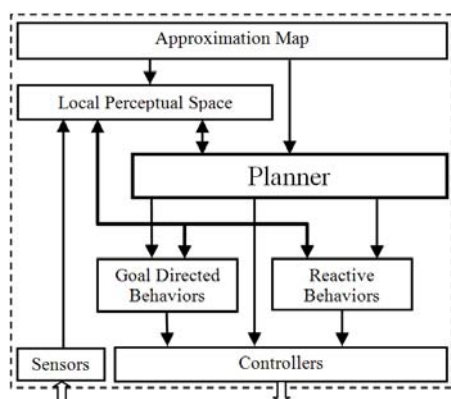
۱-۳- ربات پیشنهادی

در این مقاله یک ربات متحرک بینا برپایه معماری هدایت ترکیبی ارائه شده است. ربات مذکور از سه رفتار هدف‌گرا و پنج رفتار واکنشی برای حل مسأله کلاسیک جمع‌آوری اشیا استفاده می‌کند. در این ربات

هرزگرد در عقب است [۳] و بازوی ربات (در جلو) نیز، از نوع دو انگشتی می‌باشد.



شکل (۲): ربات ارائه شده و بخش‌های مختلف آن



شکل (۳): بخش‌های مختلف هدایت کننده ربات

۲-۲- زیرساخت‌های الکترونیکی

زیرساخت‌های الکترونیکی ربات از واحد پردازش، مدار واسط، حسگرها و مدار محرک موتورها تشکیل شده است. ما از یک پردازنده Pentium II 333 MHz با حافظه 256 MB برای انجام کلیه پردازش‌ها استفاده نموده‌ایم. برای تبادل اطلاعات بین پردازنده با حسگرها و کنترل‌کننده‌ها از یک مدار واسط شامل یک درگاه ورودی-خروجی استفاده شده است. همچنین، برای تنظیم سرعت گردش موتورهای پله‌ای در سیستم رانش ربات نیز از یک مدار شمارنده-زمان‌سنج به عنوان مدار محرک استفاده شده است.

حسگرهای مورد استفاده در این ربات عبارتند از: حسگرهای مادون قرمز (برای تشخیص خط هادی)، حسگرهای لامسه (در بازوی ربات) و دوربین دیجیتال. مطابق شکل (۲)، دوربین بر روی پیشانی ربات نصب گردیده و دامنه دید آن تقریباً ۴۵ سانتیمتر می‌باشد. همچنین، در این ربات از سه حسگر مادون قرمز (در زیر ربات، در راستای عرضی، کمی جلوتر از محور چرخ‌ها) استفاده گردیده است.

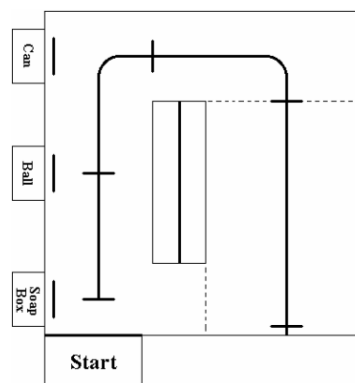
از حسگرهای مادون قرمز برای تشخیص خط هادی، حسگرهای لامسه برای کنترل بازو و دوربین دیجیتال برای شناسایی محیط استفاده شده است. ربات با پردازش تصاویر دریافتی از دوربین با استفاده از روش پیشنهادی فیلتر منطبق رنگ^۷ (CMF)، اشیاء موجود در صحنه پیش روی خود را (براساس ویژگی رنگ) شناسایی می‌کند. به این ترتیب که در مرحله طراحی، ضرایب فیلترهای منطبق رنگ (برای سه رنگ قرمز، زرد و سیاه)، با استفاده از یک الگوریتم ژنتیکی بهینه‌سازی گردیده و در مرحله بازرسی از فیلترهای بهینه حاصل برای شناسایی اشیاء استفاده می‌شود. نتایج تجربی بیانگر عملکرد بسیار رضایت‌بخش ربات در به‌کارگیری رفتارهای مختلف به منظور شکار اشیاء و انتقال آن‌ها به محل‌های از پیش تعیین شده بوده است. همچنین، فیلترهای منطبق رنگ نیز تحت شرایط نوری مختلف، عمل‌کرد موفقیت‌آمیزی داشته‌اند.

۴-۱- ساختار مقاله

در ادامه، در بخش ۲، ساختار ربات به صورت خلاصه معرفی گردیده است. بخش ۳ به بررسی هدایت کننده ربات اختصاص یافته است. بخش ۴ کنترل کننده دیداری ربات را معرفی می‌کند. بخش ۵ به شرح الگوریتم‌های پردازش تصویر مورد استفاده در ربات اختصاص یافته است. در بخش ۶، نتایج تجربی ارائه گردیده و در نهایت، بخش ۷ به نتیجه‌گیری اختصاص یافته است.

۲- ساختار ربات طراحی شده

تصویر شکل (۲) ربات ارائه شده و بخش‌های مختلف آن را نشان می‌دهد که در ادامه شرح داده می‌شوند.



شکل (۱): زمین مسابقه

۱-۲- زیرساخت‌های مکانیکی

زیرساخت‌های مکانیکی ربات ارائه شده عبارت است از شاسی، سیستم رانش و بازو. به دلیل مزایایی چون سبکی و تراشکاری آسان، شاسی ربات از جنس پلاستیک فشرده ساخته شده است. سیستم رانش ربات از نوع رانش تفاضلی با دو چرخ متحرک در جلو و یک چرخ

جدول (۱): عملکرد ILF در وضعیت‌های مختلف. منظور از R_r ، R_c و R_l به ترتیب حسگرهای مادون قرمز راست، وسط و چپ است. V_r و V_l به ترتیب سرعت موتورهای راست و چپ بوده و n_c بیانگر تعداد چهارراه‌های طی شده است.

R_r	R_c	R_l	V_r (cm/s)	V_l (cm/s)	n_c
OFF	ON	OFF	8	8	No change
OFF	OFF	OFF	8	8	No change
ON	ON	OFF	8	8	No change
OFF	ON	ON	8	8	No change
ON	OFF	OFF	0	8	No change
OFF	OFF	ON	8	0	No change
ON	ON	ON	Robot is located on a cross. If n_c is not smaller than N_c , execution of the behavior is stopped.		Increase n_c by one
ON	OFF	ON			

۳- هدایت کننده

در شکل (۳)، بخش‌های مختلف هدایت کننده ترکیبی مورد استفاده در این ربات و نحوه ارتباط بین آنها نشان داده شده است. واحد نگاشت تقریبی^۸ شامل اطلاعات کلی موجود درباره ربات و محیط اطراف آن مانند مشخصات هندسی زمین مسابقه/رات و تعداد اشیاء موجود در زمین می‌باشد. فضای ادراک محلی^۹ اطلاعات محلی جمع‌آوری شده توسط حسگرها و همچنین پیغام‌ها و اطلاعات فرستاده شده از رفتارها را در بانک اطلاعاتی خود نگاه می‌دارد. واحد برنامه‌ریزی^{۱۰} با توجه به اطلاعات موجود در فضای ادراک محلی و واحد نگاشت تقریبی، رفتارهای ربات را فعال یا غیرفعال می‌کند. به‌علاوه، گاهی این واحد، خود مستقیماً کنترل ربات را بر عهده گرفته و آن را هدایت می‌کند. در این حالت، سیستم ترکیبی هدایت ربات به یک سیستم سلسله‌مراتبی، ساده می‌شود. وظیفه واحد کنترل^{۱۱}، صادر نمودن فرامین لازم به موتورهای محرک ربات و بازو است. واحد حسگرها^{۱۲} نیز وظیفه جمع‌آوری اطلاعات حسگرهای مادون قرمز، لامسه و دوربین دیجیتال، و ارسال آنها به فضای ادراک محلی را بر عهده دارد.

برای ربات ارائه شده، پنج رفتار واکنشی و سه رفتار هدف‌گرا در نظر گرفته شده است. رفتارهای واکنشی عبارتند از:

- ره‌گیری حسگری خط هادی^{۱۳} (ILF): وظیفه این رفتار، ره‌گیری خط هادی با استفاده از حسگرهای مادون قرمز است. واحد برنامه‌ریزی پس از آنکه ربات را بر روی خط هادی قرار داد، با مشخص نمودن تعداد تقاطع‌هایی که باید طی شوند (N_c)، این رفتار را فعال می‌کند. ILF با توجه به اطلاعات به‌دست آمده از حسگرهای فرسوخ، سرعت موتورها را مطابق جدول (۱)، به منظور دنبال نمودن خط هادی، تنظیم می‌کند. با رسیدن ربات به تقاطع N_c -ام، ربات متوقف شده و اجرای ILF نیز خاتمه می‌یابد.

- جستجوی حسگری هدف^{۱۴} (IGS): در مقابل هر یک از دروازه‌ها، خطی سیاه، عمود بر راستای حرکت ربات، قرار گرفته است. با فعال شدن این رفتار، ربات شروع به حرکت (با سرعت ثابت) رو به جلو کرده، تا آنجا که هر سه حسگر مادون قرمز در حالت ON (فعال) قرار

گیرند. در این حالت، ربات درست در مقابل دروازه قرار گرفته و اجرا خاتمه می‌یابد.

- گرفتن شی^{۱۵} (OG): بازوی ربات شروع به بسته شدن می‌کند، تا آنجا که حسگرهای لامسه بازو فعال گردند.

- رهاکردن شی^{۱۶} (OD): بازوی ربات شروع به باز شدن می‌کند تا آنجا که حسگرهای لامسه بازو غیرفعال گردند.

- جستجوی تصویری هدف^{۱۷} (VGS)، تنها رفتار واکنشی است که از اطلاعات تصویری استفاده می‌کند. با فعال شدن این رفتار، ربات در تصاویر دریافتی با استفاده از روش فیلتر منطبق رنگ (بخش ۵) به جستجوی اشیاء موجود در زمین می‌پردازد. با یافتن اولین شی، مختصات (X_0) و نوع (t_0) آن در فضای ادراک محلی ذخیره و اجرا خاتمه می‌یابد.

رفتارهای هدف‌گرای ربات همگی بر پایه استفاده از اطلاعات تصویری بنا نهاده شده‌اند. رفتار تعقیب تصویری هدف^{۱۸} (VGF)، مهمترین رفتار هدف‌گرای ربات است. هسته مرکزی VGF را یک کنترل کننده تناسبی-مشق‌گیر-تناسبی^{۱۹} (PD-P) با پسخورد تصویری تشکیل می‌دهد. کنترل کننده مذکور در هر لحظه، با محاسبه خطای زاویه و فاصله ربات تا هدف، به تصحیح سرعت چرخ‌ها می‌پردازد (بخش ۴).

VGF زیربنای دو رفتار هدف‌گرای دیگر را نیز تشکیل می‌دهد:

- دنبال نمودن تصویری خط هادی^{۲۰} (VLF): با فعال شدن این رفتار، خط هادی در تصویر با استفاده از فیلتر منطبق رنگ سیاه، شناسایی شده و مرکز ثقل آن (XL) به عنوان نقطه هدف به VGF معرفی می‌گردد. با خارج شدن خط هادی از محدوده دید ربات، اجرای این رفتار نیز خاتمه می‌یابد.

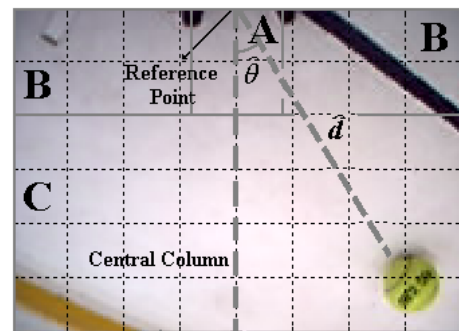
- شکار تصویری هدف^{۲۱} (VGH): با فعال شدن این رفتار، شی هدف در تصویر با استفاده از فیلتر منطبق رنگ مناسب، شناسایی شده و مختصات مرکز ثقل آن، به عنوان نقطه هدف، در اختیار VGF قرار می‌دهد. اگر ربات به هدف برسد و یا نتواند آن را در تصویر مشاهده کند، اجرا خاتمه می‌یابد.

نمودار بلوکی شکل (۴)، معماری واحد برنامه‌ریزی را نشان می‌دهد. در آغاز با فعال شدن رفتار IGS، ربات از نقطه شروع، خود را به ابتدای

۴-۱- اندازه‌گیری خطا

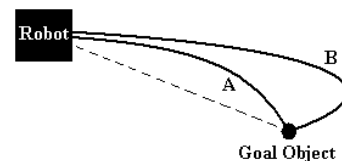
هر دو خطای زاویه و فاصله را می‌توان با پردازش تصویر صحنه پیش روی ربات تخمین زد. مطابق شکل (۶)، با دقت بالایی می‌توان گفت که راستای حرکت ربات منطبق بر ستون مرکزی^{۲۲} تصویر است. بر این اساس، در هر تصویر، پیکسل وسط از ردیف اول که نقطه مرجع نامیده می‌شود، نزدیکترین پیکسل به مرکز ربات می‌باشد. در شکل (۷)، زاویه بین ستون مرکزی و خط واصل نقطه مرجع به نقطه هدف (در تصویر) با $\hat{\theta}$ و فاصله نقطه هدف تا نقطه مرجع با \hat{d} نشان داده شده است. به آسانی می‌توان نشان داد که $\hat{\theta}$ و \hat{d} دارای رابطه‌ای غیر خطی با θ و d هستند:

$$\begin{cases} \hat{\theta} = f(\theta, d) \\ \hat{d} = g(\theta, d) \end{cases} \quad (2)$$



شکل (۶): تصویری از صحنه پیش روی ربات

تعیین دقیق توابع f و g نیازمند استفاده از روش‌های واسنجی دوربین می‌باشد [۱۵]. اما با توجه به نکات ذیل می‌توان (بدون واسنجی)، به طور مستقیم از $\hat{\theta}$ و \hat{d} در تخمین خطا استفاده نمود:



شکل (۷): دو مثال از عملکرد کنترل کننده تصحیح خطای زاویه: (A) سرعت کم، (B) فراجهد ناشی از سرعت زیاد

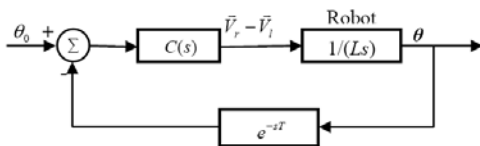
• توابع f و g به ترتیب نسبت به تغییرات θ و d ، توابعی صعودی هستند. بدین معنی که با افزایش/کاهش θ و d ، به ترتیب $\hat{\theta}$ و \hat{d} نیز افزایش/کاهش می‌یابند.

• چنانچه θ و d صفر شوند، $\hat{\theta}$ و \hat{d} نیز صفر خواهند شد. مشاهدات تجربی نشان می‌دهد که کنترل کننده پیشنهادی، در برابر اعوجاجات ناشی از تخمین‌های فوق مقاوم می‌باشد.

۴-۲- تصحیح خطای زاویه

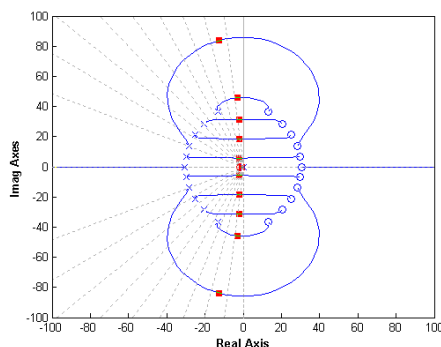
همان‌طور که در دستگاه معادلات (۱) نشان داده شد، اختلاف سرعت بین دو چرخ ربات، متناسب با سرعت زاویه‌ای ربات ($\dot{\theta}$) است. لذا برای تصحیح θ ، باید کنترل کننده‌ای طراحی نمود که در هر لحظه $V_r - V_l$ را به شکل مناسبی تنظیم نماید. نمودار بلوکی سیستم کنترلی در شکل (۸) نشان داده شده است. در این نمودار، بیانگر تأخیر ناشی از زمان محاسباتی لازم برای پردازش یک تصویر و $C(s)$ تابع تبدیل کنترل کننده است. با توجه به اینکه در این حالت، ربات به صورت یک سیستم انتگرال‌گیر عمل می‌کند، از یک کنترل کننده تناسبی-مشتق‌گیر (PD) برای تصحیح خطای زاویه ربات استفاده شده است. لذا داریم:

$$C(s) = k_p + k_d s \quad (3)$$



شکل (۸): نمودار بلوکی سیستم کنترل اختلاف سرعت بین دو چرخ ربات به منظور تصحیح خطای زاویه

برای تنظیم ضرایب کنترل کننده فوق، از محیط Simulink استفاده گردیده است. با توجه به اینکه زمان محاسباتی هر تصویر $T = 0.3^{\text{sec}}$ و فاصله بین دو چرخ $L = 14^{\text{cm}}$ می‌باشد، مطابق شبیه‌سازی‌های انجام شده و مشاهدات تجربی، مقادیر $4/6$ و $2/6$ به ترتیب برای ضرایب k_p و k_d به دست آمد. به منظور بررسی پایداری سیستم با ضرایب فوق، تأخیر غیرخطی موجود در شاخه پسخورد با استفاده از تقریب Padé [۱۶] به صورت خطی تخمین زده شده است. نمودار مکان هندسی ریشه‌های سیستم حلقه بسته در شکل (۹) نشان داده شده است. سیستم حلقه بسته با استفاده از کنترل کننده PD (کنترل کننده زاویه) پایدار بوده و صفر شدن خطای زاویه θ را تضمین می‌کند.



شکل (۹): نمودار مکان هندسی ریشه‌های سیستم حلقه بسته (شکل (۷)). (قطب‌ها با مربع‌های توپر نشان داده شده‌اند).

۳-۴- تصحیح خطای فاصله

مطابق دستگاه معادلات (۱)، مشتق خطای فاصله (d) با سرعت حرکت مرکز ربات (V_{ave}) رابطه مستقیم دارد. بنابراین برای صفر نمودن خطای d، تنها کافی است V_{ave} تصحیح شود. با تعیین مقدار V_{ave} و در دست داشتن $V_r - V_l$ (با استفاده از کنترل کننده زاویه) می‌توان سرعت هر چرخ را به‌طور جداگانه در هر لحظه به‌دست آورد. به‌نظر می‌رسد، کنترل کننده تناسبی یک انتخاب مناسب برای این منظور باشد.

با این که سیستم با استفاده از کنترل کننده زاویه تحت هر شرایطی پایدار است؛ اما عملکرد آن، به مقدار V_{ave} بستگی دارد. مطابق شکل (۷)، چنانچه V_{ave} بیش از حد بزرگ باشد، فراجش در سیستم رخ می‌دهد. با توجه به محدود بودن دامنه دید دوربین، فراجش سبب خارج شدن شی هدف از محدوده دید دوربین می‌گردد. لذا، در تعیین مقدار V_{ave} ، علاوه بر فاصله ربات تا هدف، خطای زاویه نیز باید مد نظر قرار گیرد. برای غلبه بر مشکل فوق، مطابق شکل (۶)، تصاویر دریافتی از دوربین به سه ناحیه مجزا A، B و C تقسیم می‌گردند. چنانچه شی هدف در ناحیه C قرار گیرد، V_{ave} با استفاده از کنترل کننده تناسبی $V_{ave} = 1/7 \times d$ تعیین می‌شود. اگر شی در ناحیه B قرار گرفته باشد، $V_{ave} = 0 \text{ cm/s}$ خواهد بود. در نهایت، در صورتی که شی در ناحیه A قرار گیرد، $V_{ave} = 6 \text{ cm/s}$ و $V_r - V_l = 0 \text{ cm/s}$ خواهد بود. به‌عبارت دیگر، در این حالت کنترل کننده‌های زاویه و فاصله غیر فعال شده و ربات با سرعت ثابت به‌سمت جلو حرکت می‌کند تا شی در درون بازوی ربات قرار گیرد.

۵- پردازش تصویر

در مسأله ارائه شده (بخش ۱-۲)، مناسبترین ویژگی اشیاء، رنگ متفاوت آنهاست. تاکنون الگوریتم‌های مختلفی برای تشخیص رنگ و ناحیه‌بندی تصاویر رنگی ارائه شده است. به عنوان مثال، در [۱۷] به جای مشتقات تصویر، از اطلاعات کنتراست تصویر برای ناحیه‌بندی تصاویر رنگی استفاده شده است. در روش دیگری، پس از حذف نویز تصویر، هیستوگرام سه بعدی رنگ در فضای رنگی LUV محاسبه می‌شود. سپس، از یک روش خوشه‌بندی بر اساس تبدیل حوضچه برای ناحیه‌بندی تصویر استفاده گردیده است [۱۸]. همچنین، همان نویسندگان در کار دیگری، با تعریف یک معیار گرادیان رنگ جدید در همان فضای رنگی برای تبدیل حوضچه، روش جدیدی برای ناحیه‌بندی تصاویر رنگی ارائه داده‌اند [۱۹]. در [۲۰] نیز از گرادیان‌های رنگی با نسبت ثابت برای ناحیه‌بندی تصاویر بافتی استفاده گردیده است. اخیراً، برای تعریف نگاشت لبه در روش شار بردار گرادیان، از گرادیان رنگ در فضای رنگی LUV استفاده شده است

[۲۱]. روش فوق برای ناحیه‌بندی سلول‌های خونی به‌خدمت گرفته شده است.

باید توجه داشت که رنگ در تصویر تنها بیانگر خصوصیات طیفی نور نبوده و به شدت روشنایی آن نیز وابسته است [۲۲]. در نتیجه، استخراج ویژگی‌های رنگی مقاوم در برابر تغییرات روشنایی محیط، امری پیچیده و دشوار است. در این مقاله، برای حل این مسأله، روش جدید فیلتر منطبق رنگ^{۲۳} (CMF) معرفی شده است.

۵-۱- فیلتر منطبق رنگ

تاکنون دستگاه‌های مختصات متعددی برای بیان رنگ ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به RGB، HSV، XYZ، LUV و LAB اشاره نمود [۲۳-۲۶]. در این مقاله از دستگاه مختصات RGB به جهت نزدیکی آن به دستگاه‌های تصویربرداری استفاده شده است. براین اساس، مطابق معادله ذیل برای بردار رنگ $\mathbf{X} = (x_r, x_g, x_b)$ بردار یکه $\mathbf{F} = (f_r, f_g, f_b)$ چنان تعریف می‌شود که همبستگی میان این دو بردار بیشینه گردد:

$$K(\mathbf{F}, \mathbf{X}) = \mathbf{F} \cdot \mathbf{X} = \frac{1}{|\mathbf{X}|} (f_r x_r + f_g x_g + f_b x_b) \quad (۴)$$

که در آن، عملگر $|\cdot|$ اندازه یک بردار یا تعداد عناصر یک مجموعه را بر می‌گرداند. بردار یکه F را فیلتر منطبق رنگ می‌نامیم که f_r ، f_g و f_b ضرایب فیلتر مذکور به ترتیب در باندهای قرمز، سبز و آبی هستند. لذا، ایده اصلی فیلترهای منطبق رنگ بر این اساس استوار است که می‌توان با ترکیب مناسب باندهای سبز، قرمز و آبی در تصویر، رنگ خاصی را نسبت به دیگر رنگ‌های موجود در صحنه تصویربرداری تقویت نمود. به عنوان مثال، در شکل (۱۰-الف) صحنه‌ای شامل یک توپ و دیواره زرد رنگ، یک جعبه صابون قرمز رنگ، و یک خط و قوطی نوشابه سیاه رنگ نشان داده شده است. مطابق شکل‌های (۱۰-ب)، (۱۰-ج) و (۱۰-د)، با اعمال $(r=0.5, g=0.5, b=-1)$ ، $(r=1, g=-1, b=0.3)$ و $(r=-1, g=0, b=0)$ ، به ترتیب رنگ‌های زرد، قرمز و سیاه تقویت و آشکار شده‌اند.

روش پیشنهادی ما برای کاهش اثر تغییرات شدت نور بر عملکرد فیلتر منطبق رنگ بدین شرح است. ابتدا از صحنه مورد نظر، تحت شرایط نوری مختلف تصویربرداری می‌شود. سپس از رنگ‌های موجود در این تصاویر نمونه‌برداری می‌گردد. از کنار هم قرار گرفتن تمام نمونه‌های هم‌رنگ، تصویر مرجعی به‌وجود می‌آید که شامل تمام رنگ‌های موجود در صحنه، تحت شرایط نوری مختلف می‌باشد (شکل ۱۱-الف).

۵-۲- طراحی تکاملی فیلترهای منطبق رنگ

الگوریتم‌های ژنتیکی خانواده‌ای از مدل‌های محاسباتی هستند که از تکامل موجودات (مسأله انتخاب طبیعی در طبیعت) الهام گرفته شده و اولین بار توسط هالند^{۲۴} پیشنهاد گردیده‌اند [۲۷-۲۹].

در الگوریتم ژنتیکی پیشنهادی، هر کروموزوم باید دارای شش ژن (اعدادی حقیقی در بازه $[-1, 1]$) باشد، طوری که هر ژن متناظر با یک ضریب در معادله (۵) است. به منظور سنجش کیفیت هر کروموزوم، نخست مناطقی از تصویر مرجع با رنگ مورد نظر، مشخص می‌شوند (شکل‌های ۱۱-ب تا ۱۱-د). هدف فرآیند تکاملی، بیشینه نمودن اختلاف پاسخ فیلتر در این مناطق نسبت به سایر بخش‌های تصویر مرجع است. فرض کنید تصویر مرجع C به بلاک‌های $L \times L$ تقسیم شده است، به طوری که B_i بیانگر بلاک i -ام و N تعداد کل بلاک‌ها باشد. همانطور که در معادله ذیل نشان داده شده است، بلاک‌های B_i با یکدیگر هیچ نقطه مشترکی نداشته و تمام سطح تصویر مرجع C را می‌پوشانند. C_f و C_b نیز به ترتیب مجموعه پیکسل‌های با رنگ X و فاقد آن در تصویر مرجع C هستند:

$$C_f = \{ (x, y) | C(x, y) = \mathbf{X} \} \quad (6)$$

$$C_b = \{ (x, y) | C(x, y) \neq \mathbf{X} \} \quad (7)$$

با استفاده از بلاک‌های B_i مجموعه C_b به مجموعه‌های $C'_b(i)$ افزایش می‌شود؛ به طوری که:

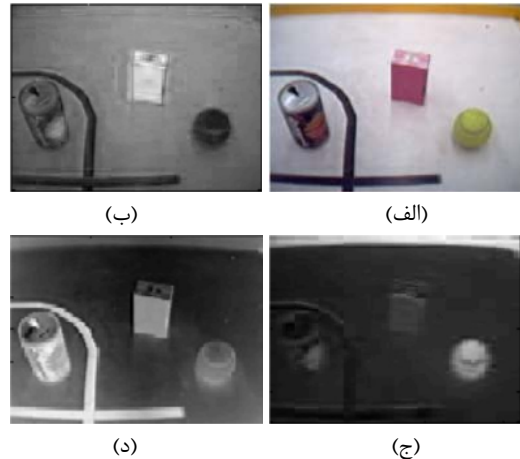
$$C'_b(i) = B_i \cap C_b, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

بر این اساس، تابع هزینه الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای فیلتر F به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$E(\mathbf{F}) = \frac{1}{|C_f|} \sum_{(x,y) \in C_f} K(\mathbf{F}, C(x, y)) - \max_{i=1}^N \left[\frac{1}{|C'_b(i)|} \sum_{(x,y) \in C'_b(i)} K(\mathbf{F}, C(x, y)) \right] \quad (9)$$

در تابع هزینه فوق، اختلاف میانگین پاسخ فیلتر در مناطق با رنگ X از تصویر مرجع C ، نسبت به سایر مناطق محاسبه می‌شود. بدیهی است که هرچه اختلاف فوق بیشتر گردد، فیلتر منطبق توانسته است، به شکل مناسبتری رنگ X را از سایر رنگ‌ها تفکیک کند. تابع هزینه پیشنهادی دارای سه ویژگی مهم است:

- هر فیلتر متناسب با پاسخش به رنگ X در مقایسه با سایر رنگ‌های صحنه، تشویق می‌شود.
- هر فیلتر متناسب با پاسخش به سایر رنگ‌های صحنه (غیر از رنگ X) و تعداد پیکسل‌های آنها جریمه می‌شود.

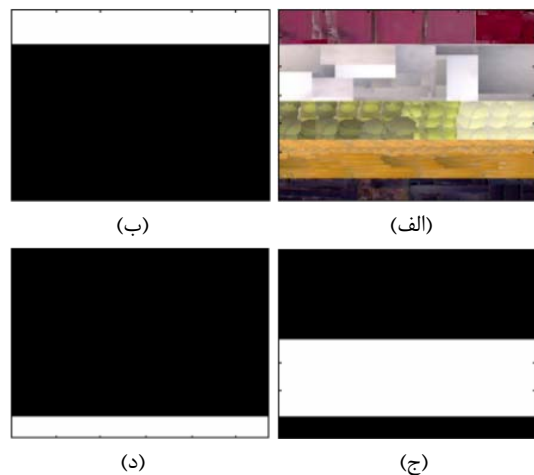


شکل (۱۰): (الف) تصویر رنگی پیش از پردازش و تصاویر حاصل از اعمال فیلترهای (ب) قرمز، (ج) زرد و (د) سیاه

بدیهی است که بخشی از تصویر مرجع شامل نمونه‌های استخراج شده از رنگ مورد نظر ما، تحت شرایط نوری مختلف است. معادله فیلتر منطبق نیز طبق معادله (۵) توسعه می‌یابد. در معادله ذیل، فیلتر منطبق به صورت ترکیبی از مؤلفه‌های رنگی و روشنایی تعریف شده است:

$$\begin{cases} \mathbf{F} = (f_r, f_g, f_b, f_{nr}, f_{ng}, f_{nb}) \\ K(\mathbf{F}, \mathbf{X}) = \frac{1}{|\mathbf{X}|} \left(\frac{f_r x_r + f_g x_g + f_b x_b + f_{nr} x_r + f_{ng} x_g + f_{nb} x_b}{x_r + x_g + x_b} \right) \end{cases} \quad (5)$$

الگوریتم پیشنهادی در دو مرحله اجرا می‌گردد. ابتدا در مرحله طراحی، ضرایب بهینه فیلتر فوق برای آشکارسازی رنگ مورد نظر، با استفاده از الگوریتم ژنتیکی استخراج می‌شود. سپس در مرحله بازرسی، با اعمال فیلتر بهینه حاصل بر تصویر، نواحی با رنگ مورد نظر آشکار می‌گردند.



شکل (۱۱): (الف) تصویر مرجع حاصل از نمونه‌برداری تصاویر مختلف و نواحی (ب) قرمز، (ج) زرد و (د) سیاه مربوط به آن

روش انتخاب آستانه به صورت تکراری^{۲۷} (ITS) [۳۴]، مقدار آستانه مناسب برای استخراج نواحی مطلوب محاسبه می‌شود:

$$\eta = ITS(\hat{I}_f) \quad (۱۳)$$

نتایج تجربی بیانگر عملکرد قابل قبول روش فوق در آشکارسازی اشیا با رنگ X در تصویر بود. اما اگر چنین شی در تصویر نباشد، الگوریتم به اشتباه، نواحی دیگر را آشکار می‌کند. زیرا، روش ITS، آستانه را چنان تنظیم می‌کند که از میان رنگ‌های موجود در تصویر، رنگی که نسبت به بقیه بیشتر تقویت گردیده، استخراج شود. این مشکل را می‌توان با ایجاد یک شی مجازی با رنگ X در تصویر، حل نمود.

همانطور که مشاهده می‌شود، برخلاف مرحله طراحی، مرحله ناحیه‌بندی از حجم محاسباتی کمی برخوردار بوده و در نتیجه، تأخیر محاسباتی سیستم (پارامتر T در شکل ۷) کوچک خواهد بود.

۴-۵- استخراج و شناسایی اشیا

حاصل الگوریتم ناحیه‌بندی برای هر فیلتر، یک تصویر دو سطحی است که در آن پیکسل‌هایی که دارای رنگ مورد نظر هستند با یک و بقیه پیکسل‌ها با صفر مشخص شده‌اند. فیلتر سیاه علاوه بر قوطی نوشابه خط هادی را هم آشکار می‌کند. فیلتر قرمز نیز علاوه بر جعبه صابون، برچسب قرمز رنگ قوطی نوشابه را آشکار می‌کند. برای استخراج اشیا ابتدا تمام تصاویر دو سطحی (حاصل از همه فیلترهای منطبق رنگ) را با هم ترکیب می‌کنیم. سپس بر تصویر حاصل، عملگر ریخت‌شناسی بسته‌شدن^{۲۸} اعمال می‌شود [۱۵]. به این ترتیب تکه‌های مختلف اشیا با هم یکپارچه می‌گردند. خط هادی یک شی کشیده و باریک است؛ در حالی که بقیه اشیا موجود در تصویر متراکم و فشرده هستند. بنابراین با اعمال عملگر ریخت‌شناسی بازشدن^{۲۹} بر روی تصویر ترکیبی، خط و اشیا مجازی ناشی از نویز حذف می‌شوند [۳۵].

برای تشخیص نوع اشیا باقی‌مانده از روش ذیل استفاده می‌کنیم. اگر همه شی یا بخشی از آن توسط فیلتر منطبق رنگ سیاه آشکار شده باشد آن شی قوطی نوشابه بوده است. اگر شی فقط توسط یکی از فیلترهای زرد یا قرمز آشکار شده باشد، آنگاه آن شی به ترتیب توپ و یا جعبه صابون بوده است. چنانچه بخش‌های مختلف یک شی توسط هر سه فیلتر آشکار شده باشد، آنگاه آن شی، برجی است که از قرار گرفتن جعبه صابون، قوطی نوشابه و توپ بر روی هم ساخته می‌شود. بر اساس تعریف مسابقه، در زمین تنها یک برج قرار می‌گیرد و تشخیص آن از امتیاز اضافی برخوردار است.

۶- نتایج تجربی

سه فیلتر منطبق رنگ قرمز، زرد و سیاه مورد استفاده در ریات، توسط الگوریتم تکاملی پیشنهادی طی ۶۰۰ تولید نسل بهینه گردیدند. در شکل (۱۲)، عمل کرد این فیلترها برای سه تصویر نمونه با شرایط نوری مختلف نشان داده شده است.

• با تقسیم تصویر به بلاک‌های B_i ، عملاً پاسخ محلی فیلتر، در ارزشیابی مد نظر قرار می‌گیرد.

در معادله (۹)، چنانچه L خیلی بزرگ باشد، از دقت الگوریتم ژنتیکی در طراحی کاسته می‌شود. در مقابل، اگر L خیلی کوچک انتخاب شود، پاسخ‌های الگوریتم به شدت تحت تأثیر نویز قرار می‌گیرد. یک روش مناسب برای انتخاب ابعاد بلاک‌ها، انتخاب بر اساس مساحت کوچکترین شی موجود در تصویر می‌باشد ($L=25$).

در الگوریتم ژنتیکی پیشنهادی از مدل Genitor [۳۰، ۳۱] برای تولید نسل استفاده شده است. به عبارت دقیقتر، در هر تولید نسل، تنها دو کروموزوم فرزند تولید گردیده و جمعیت جدید با جایگذاری این دو فرزند (به شرط آنکه در جمعیت قبلی کروموزومی مشابه آنها نباشد) به جای بدترین کروموزوم‌های جمعیت قبلی به وجود می‌آید. لذا، در هر تولید نسل، باید دو ولی از میان جمعیت فعلی انتخاب گردد: یکی به روش مسابقه^{۲۵} [۳۲] و دیگری به صورت تصادفی. به این ترتیب، علاوه بر افزایش سرعت همگرایی الگوریتم ژنتیکی، پراکندگی جمعیت نیز حفظ می‌گردد. با این فرض که بردارهای P_1 و P_2 ، دو کروموزوم ولی و a عددی تصادفی باشد، عملگر برش را طبق معادله ذیل تعریف می‌کنیم:

$$C_1 = a \times P_1 + (1-a) \times P_2 \quad (۱۰)$$

$$C_2 = (1-a) \times P_1 + a \times P_2 \quad (۱۱)$$

که در آن، C_1 و C_2 به ترتیب کروموزوم‌های فرزند هستند. برای هر کروموزوم فرزند، عددی تصادفی تولید می‌شود. اگر این عدد از احتمال جهش (که در ابتدای تکامل انتخاب گردیده) کوچکتر بود، فرزند مذکور با کروموزومی که کاملاً به صورت تصادفی تولید شده جایگزین می‌گردد. با توجه به آن که در مدل جنیتور^{۲۶}، همواره بهترین کروموزوم هر نسل به نسل بعدی منتقل می‌شود، می‌توان انتظار داشت که چنانچه الگوریتم ژنتیکی پیشنهادی به تعداد کافی تکرار شود، ضرایب بهینه فیلتر منطبق رنگ به دست آید [۳۳].

۳-۵- ناحیه‌بندی تصویر با فیلترهای منطبق رنگ

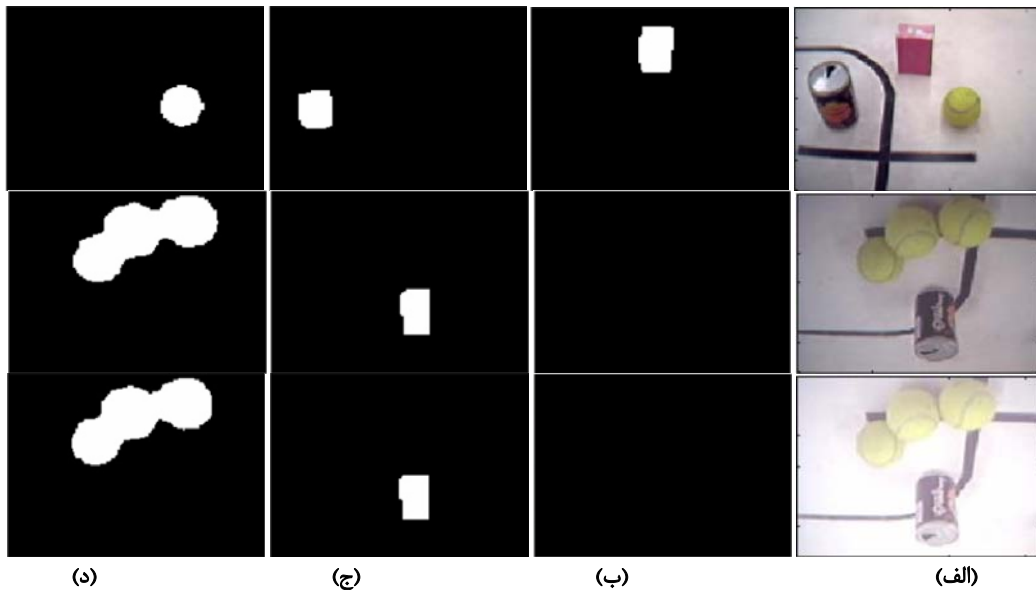
مطابق معادله (۱۲)، با اعمال فیلتر منطبق F (برای رنگ X) بر تصویر رنگی I، یک تصویر سطح خاکستری به دست می‌آید:

$$I_f(x, y) = K(F, I(x, y)) \quad (۱۲)$$

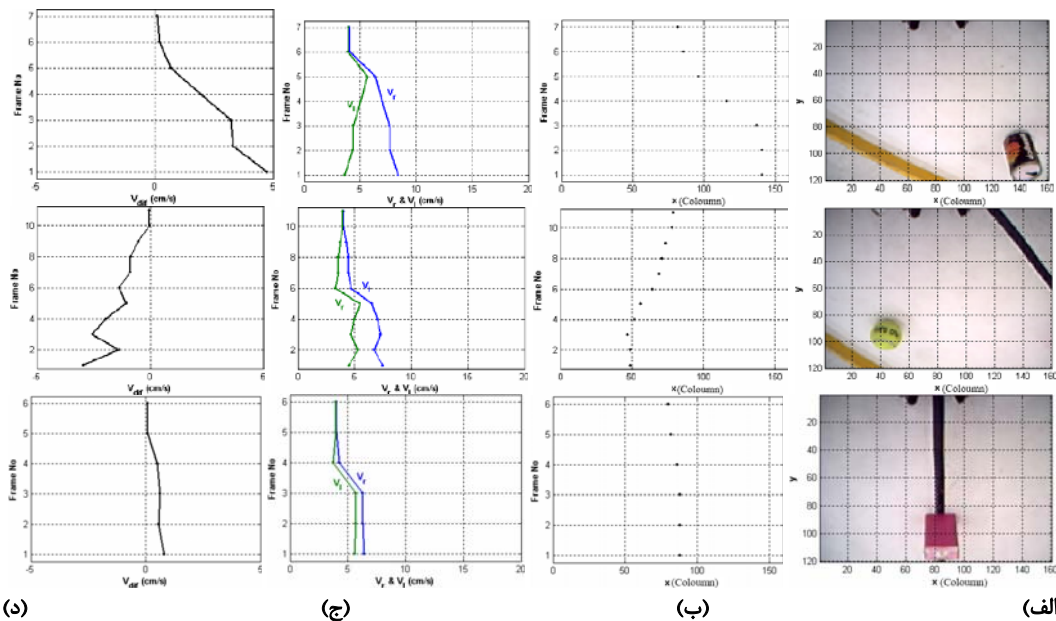
به طوری که در I_f ، نواحی با رنگ X، نسبت به سایر نواحی، دارای سطوح خاکستری بزرگتری باشند. برای استخراج نواحی مطلوب، ابتدا I_f توسط فیلتر میانه نرم شده و مقادیر سطح خاکستری آن در محدوده [0,1] نرمال می‌گردد تا تصویر \hat{I}_f به دست آید. سپس، با استفاده از

یک قوطی نوشابه (در سمت چپ ربات)، یک توپ (در سمت راست ربات) و یک جعبه صابون (در مقابل ربات) نشان داده شده است.

کنترل کننده دیداری نیز از پایداری زیادی برخوردار بود، به طوری که توانست در شرایط مختلف، ربات را به سوی اهداف تعیین شده هدایت کند. در شکل (۱۳) عمل کرد سیستم هدایت و کنترل کننده ربات برای



شکل (۱۲): پاسخ فیلترهای منطبق رنگ به سه تصویر با نور (ردیف بالا) متغیر، (ردیف وسط) یکنواخت، و (ردیف پایین) شدید: (الف) تصویر نمونه، (ب) پاسخ فیلتر قرمز، (ج) پاسخ فیلتر سیاه و (د) پاسخ فیلتر زرد



شکل (۱۳): عمل کرد کنترل کننده دیداری برای (ردیف بالا) یک قوطی نوشابه، (ردیف وسط) یک توپ، و (ردیف پایین) یک جعبه صابون به ترتیب در سمت چپ، سمت راست، و مقابل ربات: (الف) اولین فریمی که شی در آن ظاهر شده، (ب) تغییرات موقعیت شی در تصویر در فریم‌های متوالی بعدی، (ج) تغییرات سرعت چرخ چپ (V_1 با رنگ قرمز) و راست (V_r با رنگ آبی)، و (د) تغییرات اختلاف سرعت دو چرخ ($V_{dif} = V_r - V_l$)

رفتارهای پایه، تصمیم‌گیری‌های پیچیده‌ای چون شکار اشیا موجود در زمین را انجام دهد. در شرایط آزمایشگاهی، ربات بارها به آسانی توانست، تحت شرایط مختلف محیطی، تمام اشیا موجود در زمین را شکار و به دروازه مربوطه منتقل نماید. همچنین، این ربات در دومین

به‌وضوح می‌توان مشاهده نمود که کنترل کننده دیداری به نرمی و با دقت قابل قبولی ربات را به سوی هدف هدایت نموده است؛ به طوری که پس از حداکثر ۱۰ فریم، شی در درون بازوی ربات قرار گرفته است. به‌علاوه، سیستم هدایت ترکیبی ربات، به‌خوبی توانست با به‌کارگیری

- [7] N. Vuković and Z. Miljković, "New hybrid control architecture for intelligent mobile robot navigation in a manufacturing environment," *FME Trans.*, vol. 37, pp. 9–18, 2009.
- [8] R. Huq, G. K. I. Mann, and R. G. Gosine, "Mobile robot navigation using motor schema and fuzzy context dependent behavior modulation," *Applied Soft Computing*, vol. 8, pp. 422–436, 2008.
- [9] F. Labrosse, "Short and long-range visual navigation using warped panoramic images," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 55, pp. 675–684, 2007.
- [10] J. B. Hayet, F. Lerasle, and M. Devy, "A visual landmark framework for mobile robot navigation," *Image and Vision Computing*, vol. 25, pp. 1341–1351, 2007.
- [11] W. H. Huang, B. R. Fajenb, J. R. Finka, and W. H. Warren, "Visual navigation and obstacle avoidance using a steering potential function," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 54, pp. 288–299, 2006.
- [12] J. A. Fernandez-Leon, G. G. Acosta, and M. A. Mayosky, "Behavioral control through evolutionary neurocontrollers for autonomous mobile robot navigation," *Rob. and Autonomous Systems*, vol. 57, no. 4, pp. 411–419, 2009.
- [13] W. Gueaieb and Md. S. Miah, "A modular cost-effective mobile robot navigation system using RFID technology," *J. of Communications*, vol. 4, no. 2, pp. 89–95, 2009.
- [14] W. Chung, S. Kim, M. Choi, J. Choi, H. Kim, C. Moon, and J.-b. Song, "Safe navigation of a mobile robot considering visibility of environment," *IEEE Transactions Indus. Elec.*, vol. 56, no. 10, pp. 3941–3950, 2009.
- [15] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*. Prentice-Hall, 2nd ed., 2003.
- [16] G. H. Golub and C. F. V. Loan, *Matrix Computations*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, pp. 557–558, 1989.
- [17] H.-C. Chen, W.-J. Chien, and S.-J. Wang, "Contrast-based color image segmentation," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 11, no. 7, pp. 641–644, 2004.
- [18] L. Shafarenko, M. Petrou, and J. Kittler, "Histogram-based segmentation in a perceptually uniform color space," *IEEE Transactions Image Proc.*, vol. 7, no. 9, pp. 1354–1358, 1998.
- [19] L. Shafarenko, M. Petrou, and J. Kittler, "Automatic watershed segmentation of randomly textured color images," *IEEE Transactions Image Proc.*, vol. 6, no. 11, pp. 1530–1543, 1997.
- [20] T. Gevers, "Image segmentation and similarity of color-texture objects," *IEEE Transactions Multimedia*, vol. 4, no. 4, pp. 509–516, 2002.
- [21] L. Yang, P. Meer, and D. J. Foran, "Unsupervised segmentation based on robust estimation and color active contour models," *IEEE Transactions Inf.*

دوره مسابقات سراسری رباتیک دانشگاه تهران شرکت نموده، توانست ظرف مدت تنها چهار دقیقه (تحت شرایط نوری بسیار نامناسب) یک قوطی نوشابه، یک جعبه صابون و دو توپ را شکار کند.

۷- نتیجه گیری

در این مقاله، یک ربات متحرک بینا با معماری ترکیبی ارائه شد. در سیستم هدایت این ربات از پنج رفتار واکنشی و سه رفتار هدف‌گرا استفاده گردیده است. برای رفتارهای هدف‌گرا، از یک کنترل کننده تناسبی-مشتق‌گیر-تناسبی با پاسخ‌دهی تصویری، استفاده شده است. در این ربات، برای شناسایی اشیاء براساس ویژگی رنگ، روش جدید فیلتر منطبق رنگ ارائه شده است. به منظور طراحی بهینه این فیلترها نیز الگوریتم‌های ژنتیکی به کار گرفته شده‌اند. نتایج تجربی بیانگر حجم محاسباتی کم و عمل‌کرد قابل قبول فیلترهای منطبق رنگ در شرایط نوری مختلف است. سیستم هدایت ترکیبی ربات نیز توانست با موفقیت وظایف خود را به انجام رساند؛ به طوری که ربات قادر است تحت شرایط محیطی مختلف، تمام اشیاء موجود در زمین مسابقه را شکار و به دروازه‌های مربوطه منتقل کند. در مجموع می‌توان گفت که ربات ارائه شده، یک نمونه موفق از ربات‌هایی است که از معماری ترکیبی و بینایی ماشینی برای هدایت آنها استفاده شده است.

سپاسگزاری

در پایان بر خود لازم می‌دانیم از زحمات اساتید، مسؤولان و کارمندان دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد که همواره یار و مشوق ما بودند تقدیر و تشکر نماییم.

مراجع

- [1] T. Fukuda, R. Michelini, V. Potkonjak, S. Tzafestas, K. Valavanis, and M. Vukobratovic, "How far away is artificial man," *IEEE Rob. and Automation Mag.*, vol. 8, no. 1, pp. 66–73, 2001.
- [2] R. C. Arkin, *Behavior Based Robotics*. MIT Press, 1998.
- [3] G. Dudek and M. Jenkin, *Computational Principles of Mobile Robotics*. Cambridge University Press, 2000.
- [4] L. McFetridge and M. Y. Ibrahim, "A new methodology of mobile robot navigation: the agoraphilic algorithm," *Rob. and Comp.-Integ. Manufac.*, vol. 25, no. 3, pp. 545–551, 2009.
- [5] G. C. Luh and W.-W. Liu, "An immunological approach to mobile robot reactive navigation," *Applied Soft Computing*, vol. 8, pp. 30–45, 2008.
- [6] K. K. Tahboub and M. S. N. Al-Din, "A neuro-fuzzy reasoning system for mobile robot navigation," *Jordan J. Mech. Indust. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 77–88, 2009.

زیرنویس‌ها

-
- 1- hierarchical paradigms
 - 2- behavioral paradigms
 - 3- hybrid paradigms
 - 4- global information
 - 5- goal directed behavior
 - 6- local information
 - 7- color match filter (CMF)
 - 8- approximation map
 - 9- local perceptual space (LPS)
 - 10- planner
 - 11- controllers
 - 12- sensors
 - 13- infrared-based line following behavior (ILF)
 - 14- infrared-based goal seeking behavior (IGS)
 - 15- object grasping behavior (OG)
 - 16- object delivering behavior (OD)
 - 17- visual goal seeking behavior (VGS)
 - 18- visual goal following behavior (VGF)
 - 19- proportional-differential-proportional controller (PD-P)
 - 20- visual line following behavior (VLF)
 - 21- visual goal hunting behavior (VGH)
 - 22- central column
 - 23- color match filter (CMF)
 - 24- holland
 - 25- tournament
 - 26- genitor
 - 27- iterative threshold selection (ITS)
 - 28- closing
 - 29- opening
- Tech. in Biomedicine, vol. 9, no. 3, pp. 475–485, 2005.
- [22] M. S. Drew, J. Wei, and Z. N. Li, "Illumination on-invariant color object recognition via compressed chromatic histograms of color channel normalized images," IEEE Int'l Conf. Computer Vision, pp. 533–540, 1998.
- [23] A. N. Netravali and B. G. Haskell, Digital Pictures, Representation and Compression. Plenum Press, AT&T Bell Laboratories, 2nd printing, 1989.
- [24] R. Bujesy and S. W. Lee, "Color image segmentation with detection and illumination induced by inter reflection," IEEE Int'l. Conf. Pattern Rec., vol. 1, pp. 785–790, 1990.
- [25] K. B. Eum and J. Lee, "Color image segmentation using positivistic approach," IEEE Int'l Conf. Systems, Man and Cybernetics, vol. 2, pp. 1150–1155, 1996.
- [26] A. Moghaddamzadeh and N. Bourbakis, "A fuzzy technique for image segmentation of color images," IEEE World Cong. Comp. Intelligence, vol. 1, pp. 83–88, 1994.
- [27] D. Whitley, "A genetic algorithm tutorial," Statistics and Computer, vol. 4, pp. 65–85, 1994.
- [28] J. Holland, Adaptation in Natural and Artificial Systems. Univ. of Michigan Press, 1975.
- [29] R. Samii, Electromagnetic optimization by genetic algorithms. Wiley-RsP, 1999.
- [30] C. Darwin, The Origin of Species by Means of Natural Selection. Murray, 1859.
- [31] D. Whitley, "The GENITOR Algorithm and Selective Pressure," 3rd Int'l Conf. Genetic Alg., ed. Morgan-Kaufmann: 116–121, 1989.
- [32] D. E. Goldberg, "A note on Boltzman tournament selection for genetic algorithms and population-oriented simulated annealing," Complex Systems, vol. 4, 1990.
- [33] G. Rudolph, "Convergence Properties of Canonical Genetic Algorithms," IEEE Transactions Neural Networks, vol. NN-5, pp. 96–101, 1994.
- [34] J. R. Parker, Algorithms for Image Processing and Computer Vision. John Wiley & Sons, 1997.
- [35] M. Sonka, V. Hlavac, and R. Boyle, Image Processing Analysis and Machine Vision. International Thomson Computer Press, 1996.