الگوریتمی جدید بر اساس الگوریتمهای ژنتیکی برای آشکارسازی رنگ و کاربرد آن در یک ربات متحرک

مهدی سعادتمند طرزجان، مهدی ملبوبی، مجتبی حکیمی مقدم، هادی مالک، مهدی پاکروانفر

مرتضی خادمی، محمد رضا اکبرزاده توتونچی

دانشکدهٔ مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

P.O. Box: 91775-1111, Mashhad, Iran
m_saadatmand_tarzjan@hotmail.com

چکیده

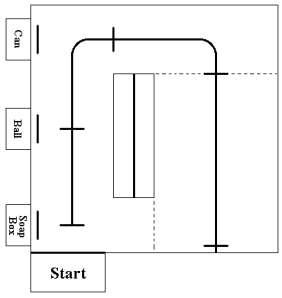
درک رنگ یکی از مهمترین قابلیتهای چشم انسان است. بر همین اساس می‌توان گفت که رنگ اجسام یکی از مهمترین ویژگی‌های آنها است که در بینایی ماشین نیز بسیار مورد توجه است. در این مقاله روشی جدید برای تشخیص رنگ بر اساس الگوریتمهای ژنتیکی ارائه گردیده است. این الگوریتم در مرحلهٔ استخراج ویژگی، بوسیلهٔ الگوریتمهای ژنتیکی فیلتری مناسب برای آشکارسازی و تقویت رنگ مورد نظرمان طراحی می‌کند. سپس در مرحلهٔ بازرسی، فیلتر طراحی شده را بر تصویر تحت بازرسی اعمال کرده و با آستانه‌گیری از آن، نواحی رنگی مورد نظر را استخراج می‌نماید. آستانهٔ مذکور مطابق با شرایط نور محیط انتخاب می‌شود که این امر سبب افزایش قابلیت اطمینان الگوریتم پیشنهادی گردیده است. از الگوریتم پیشنهادی، برای طراحی فیلترهای قرمز، زرد و سیاه استفاده شده، که از آنها در راهبری یک ربات متحرک استفاده کرده‌ایم. این ربات می‌بایست سه جسم متفاوت با رنگهای یادشده را شکار کند و در دروازه‌های خاص خودشان بیاندازد. نتایج تجربی و عملکرد مناسب ربات تحت شرایط مختلف نشان می‌دهد که با وجود تغییرات شدید نورِ محیط، الگوریتم عملکرد مناسبی دارد.

کلمات کلیدی

فیلتر رنگ، الگوریتمهای ژنتیکی، انتخاب آستانه به صورت تکراری، تخفیف گسسته، ربات متحرک

۱) مقدمه

رنگ در زندگی روزمرهٔ ما نقش بسزایی ایفاء می‌کند. از چراغهای راهنمایی و رانندگی گرفته تا بازی‌های رایانه‌ای همه و همه از رنگ به شکل گسترده استفاده می‌کنند. به همین دلیل در بینایی ماشین نیز تشخیص رنگ یکی از مهمترین نیازهاست. رنگ در هدایت رباتهای بینا نیز نقش انکار ناپذیری دارد. دومین دورهٔ مسابقات رباتیک ایران در هفتم و هشتم مهرماه ۱۳۸۰ در دانشگاه تهران برگزار گردید. مسابقات این دوره در دو سطح انجام شد. در سطح دوم هر ربات می‌بایست، طی زمان معینی، خود را به محل قرار گرفتن اجسام در زمین مسابقه می‌رساند و پس از شکار اجسام، آنها را در یکی از سه دروازه‌ای که برای همین منظور در نظر گرفته شده بود، می‌انداخت. شکل۱، زمین مسابقه را نشان می‌دهد. سه جسم در زمین قرار می‌گیرد: توپ ،جعبهٔ صابون و قوطی نوشابه که به ترتیب زرد، قرمز و سیاه رنگ هستند. زمین مسابقه سفید و خط هادی(خط ضخیمی که در شکل۱ با رنگ سیاه مشخص شده است) سیاه است. همهٔ اجسام در سمت راست زمین، درون محوطه‌ای که با خط



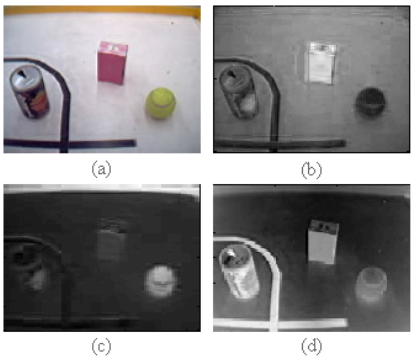
شکل۱: رمین مسابقه

–چین مشخص شده است قرار می‌گیرند و ربات در آغاز مسابقه در محل شروع گذارده می‌شود. برای برداشتن اجسام به الگوریتمی نیاز است تا محل جسم(نسبت به ربات) را در تصویر دریافت شده از دوربین(این دوربین بر روی پیشانی ربات نصب گردیده است)، مشخص کند. به این ترتیب می‌توان بوسیلهٔ کنترلری با فیدبک تصویری، ربات را به سمت جسم هدایت نمود. اولین گام در تولید چنین ابزاری آشکارسازی اجسام یادشده و یا به عبارت دیگر قسمت‌بندی تصویر است. در بیشتر سیستمهای بینایی ماشین، نخستین گام، نمایش داده‌های جمع‌آوری شده تحت قالبهای از پیش تعیین‌شده و استاندارد است تا بتوان از آن در گامهای بعدی سود جست. می‌توان گفت که قسمت‌بندی ضروریترین، مهمترین و نخستین گام در بینایی سطح پایین بشمار می‌رود [1]. برای تشخیص اشیائی چون توپ، جعبهٔ صابون و قوطی نوشابه، قبل از هر کاری به الگوریتمی قابل انعطاف، قابل اطمینان و در عین‌حال سریع نیاز است که این اشیاء را به تفکیک، از زمینه استخراج کند. برای طراحی یک الگوریتم قسمت‌بندی مناسب، باید نخست خصوصیات و مشخصه‌های اشیاء و همچنین محدودیتهای کار را شناخت. در این مسأله مهمترین مشخصهٔ اشیاء رنگ و شکل متفاوت آنهاست. استفاده از روشهای آشکارسازی مبتنی بر شکل اشیاء، بسیار زمانبر هستند. خصوصا که اشیائی چون جعبهٔ صابون و قوطی نوشابه، در حالات مختلف(مثلا افتاده یا به پهلو ایستاده) اشکال متفاوتی دارند که این خود دشواری کار را دوچندان می‌کند. درحالی‌که آشکارسازی رنگ چندان کار پیچیده و مشکلی نیست. تنها نکته‌ای که باید در آشکارسازی رنگ در نظر گرفته شود این است که باید اثر تغییرات نور محیط بر روی تصویر در نظر گرفته شده، بروشی حذف گردد. در ادامهٔ این مقاله در بخش۲، تعریفی جدید از فیلترهای رنگی ارائه شده است. بخش۳، به ارائهٔ یک الگوریتم ژنتیکی پیشنهادی، برای سنتز این فیلترها اختصاص یافته است. در بخش٤، الگوریتمی برای انتخاب آستانه مطابق با شرایط نور محیط در تصویر فیلتر شده معرفی شده است. در بخش۵، پس از طراحی فیلترهای رنگی مورد نیاز ربات، به بررسی تصویر تقسیم‌بندی شده پرداخته و در نهایت با استفاده از روشهای مبتنی بر درک تصویر، اجسام را به تفکیک از تصویر استخراج کرده‌ایم. بخشهای ٦، ۷ و ۸ به ترتیب به نتایج تجربی، جمع‌بندی و مراجع اختصاص یافته‌اند.

۲) فیلترهای رنگی

همانطور که می‌دانید نور مرئی صورتی از انرژی الکترومغناطیسی است. نور دو اثر مهم بر چشم دارد: روشنایی(brightness) که نشان‌دهندهٔ تراکمِ طولِ موجهای مختلف نور است و رنگ که بیانگر ترکیب طیفی آن است. نظریهٔ بینایی سه‌رنگیِ "توماس یانگ" توضیح می‌دهد که نوری که به چشم وارد می‌شود را می‌توان بجای تابع کاملی از طول موجهای مختلف در محدودهٔ قابل رؤیت، تنها با سه عدد مشخص کرد. این نکته، باعث صرفه‌جویی مهمی در بیان رنگ و بازسازی بینایی انسان می‌شود. همتای این نظریه، نظریهٔ مخلوط سه‌رنگی است. این نظریهٔ مهم بیان می‌کند که هر رنگ را می‌توان با ترکیب مناسبی از سه رنگ پایه، بدست آورد. ماکسول این نظریه را در سال ۱۸۵۵ بوسیلهٔ سیستمی که سه رنگ جداگانه را باهم ترکیب می‌کرد، شرح داد[2].

یک تصویر دیجیتالی، در حقیقت ماتریسی از اعداد بین صفر و یک است که در آن رنگ هر نقطهٔ تصویر(pixel)، با سه عدد(که نشان دهندهٔ شدت رنگهای پایهٔ آبی، سبز و قرمز، برای بازسازی آن رنگ است) مشخص می‌شود. با توجه به اینکه رنگها تشکیل فضای برداری می‌دهند، می‌توان بردار یکه‌ای تعریف کرد که حاصل ضرب داخلی آن با یک رنگ خاص ماکزیمم شود. بدیهی است که این بردار یکه باید در راستای آن رنگ باشد. به عبارت دیگر می‌توان گفت که با ترکیب طیفهای سبز، قرمز و آبی یک تصویر با ضرایب مناسب، می‌توان رنگ خاصی را نسبت به دیگر رنگهای موجود در تصویر تقویت کرد. به بیان دیگر در معادلهٔ (۱)، با تعیین مناسب ضرایب (r,g,b) می‌توان از میان رنگهای موجود در صحنه، رنگ خاصی را تقویت کرد. (r,g,b) را فیلتر رنگی(یا به‌طورخلاصه



شکل۲: (a) تصویر رنگی پیش از پردازش و تصاویر حاصل از اعمال فیلترهای (b) قرمز، (c) زرد و (d) سیاه.

فیلتر)، معادلهٔ (۱) را معادلهٔ فیلتر و رنگی که فیلتر برای آشکارسازی آن طراحی گردیده است را رنگ آن فیلتر می‌نامیم(در تمام این مقاله فیلترهای رنگی بردارهای یکه هستند). همچنین به r ، g و b درایه‌های فیلتر رنگ می‌گوییم.

$$F = r \times R + g \times G + b \times B \qquad (۱)$$

به عنوان مثال به شکل۲، توجه کنید. در شکل ۲–a، صحنه‌ای شامل یک توپ و یک دیوارهٔ زرد، یک جعبهٔ صابون قرمز و یک خط و یک قوطی نوشابهٔ سیاه، نشان داده شده است. همانطور که در شکلهای ۲–b، ۲–c و ۲–d می‌توان دید. با اعمال فیلترهای ($r=1,g=-1,b=0.3$)، ($r=0.5,g=0.5,b=-1$) و ($r=-1,g=0.0,b=0$) بر شکل ۲–a، به ترتیب رنگهای قرمز ،زرد و سیاه تقویت و آشکار شده‌اند. هر سیستم مختصات رنگ، دارای دو مؤلفهٔ رنگی و یک مؤلفهٔ درخشش(luminance) است. تغییر نور محیط مستقیما بر روی درخششِ تصویر اثر گذاشته و بر روی دو مؤلفهٔ رنگی اثر بسیار کمتری دارد [16]. معمولا برای کم کردن اثر نور محیط، در تصمیم‌گیریها از مؤلفهٔ درخشش تصویر استفاده نمی‌کنند. در یک تصویر RGB، درخشش یک پیکسل، تقریبا برابر با میانگین سه مولفهٔ رنگی آن است. بر این اساس، برای بیان یک تصویر در دستگاه مختصات RGB، آن را طبق معادلات ذیل به صورت نرمال شده بیان می‌کنند. همانطور که می‌بینید، با این شیوه، در حقیقت، مؤلفهٔ درخشش از مؤلفه‌های رنگی تصویر جدا گردیده است.

$$\left(R_n = \frac{R}{R+G+B} \ , G_n = \frac{G}{R+G+B}, B_n = \frac{B}{R+G+B} \right) \qquad (۲)$$

بدیهی است که $R_n + G_n + B_n = 1$ و بنابراین دستگاه مختصات RGB با یکی از سه مجموعهٔ ذیل نشان داده می‌شود: $R_n G_n B$ یا $R_n B_n G$ یا $G_n B_n R$، که در هر مجموعه دو کمیت بیانگر مؤلفه‌های رنگی و یکی بیانگر مؤلفهٔ درخشش است(برای مطالعهٔ بیشتر در زمینه دستگاههای مختصات رنگ به [2] مراجعه شود). برای اینکه تغییرات نور محیط، بر روی فیلتر رنگی تأثیر چندانی نگذارده، عمل آن را مختل نکند، کافی است از شکل نرمال شدهٔ تصاویر، مطابق با معادلهٔ (۳)، استفاده شود.

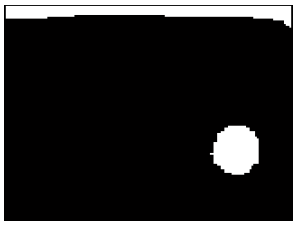
$$F = r \times R_n + g \times G_n + b \times B_n \qquad (۳)$$

۳) طراحی فیلترهای رنگی بوسیلهٔ GA

اکنون این سؤال مطرح است که بهترین فیلتر برای تقویت یک رنگ خاص در یک صحنه چیست؟ و چگونه می‌توان این فیلتر را بدست آورد؟ ما برای پاسخ به این سؤال از الگوریتمهای ژنتیکی استفاده کرده‌ایم. الگوریتم پیشنهادی ما، در دو مرحله اجراء می‌گردد. ابتدا در مرحلهٔ آموزش بوسیلهٔ الگوریتمهای ژنتیکی، یک فیلتر رنگی مناسب برای آشکارسازی رنگ مورد نظرمان طراحی می‌کند. سپس در مرحلهٔ بازرسی با اعمال فیلتر طراحی شده، بر صحنه‌های مختلف، نواحی‌ای که دارای رنگ مورد نظر هستند را آشکار می‌نماید.

الگوریتمهای ژنتیکی خانواده‌ای از مدلهای محاسباتی هستند که از تکامل موجودات(مسأله انتخاب طبیعی در طبیعت) الهام گرفته شده [6] و اولین بار توسط "J. Holland" پیشنهاد شده‌اند [10]. انتخاب طبیعی یک فرایند زیستی است که بر اساس آن در یک جامعهٔ رقابتی، احتمال برنده شدن افراد قویتر بیشتر است. در یک الگوریتم ژنتیکی فرض می‌شود که حل بالقوهٔ یک مسأله(که آن را کروموزوم می‌نامند)، که عضوی از یک جامعه است را می‌توان با تعدادی پارامتر نمایش داد. این پارامترها به عنوان ژنهای کروموزوم مربوطه شناخته می‌شوند. یک تابع هزینه(Evaluation Function)، نیز برای مشخص کردن شایستگی کروموزومها تعریف می‌شود. طبیعتاً این تعریف به اهداف مسأله بهینه‌سازی وابسته خواهد بود. در یک کاربردِ عملیِ الگوریتم ژنتیکی، باید جمعیت اولیه کروموزومها بصورت تصادفی تولید شود. جمعیت اولیه مذکور، نسل اول را تشکیل می‌دهد. از این پس در هر مرحله، الگوریتم با انتخاب تعدادی از کروموزومهای جمعیت فعلی(والدین) و اعمال عملگرهای برش(Crossover) و جهش(Mutation)، کروموزومهای نسل بعد(فرزندان) را بوجود می‌آورد. انتظاری که از این فرایند تکاملی(تغییرات ژنها) داریم این است که کروموزومِ بهتر، تعداد فرزندان بیشتری تولید کند و در نتیجه امکان بقایش در نسلهای بعد بیشتر باشد. این فرایند ادامه می‌یابد تا شرط خاتمهٔ الگوریتم برآورده شود. امروزه از الگوریتم ژنتیکی در کاربردهای مختلفی مانند بهینه‌سازی توابع، شناسایی سیستم‌ها، پردازش تصویر و... استفاده می‌شود. با این که دامنهٔ کاربرد این

الگوریتمها بسیار وسیع است اما اغلب به آنها به چشم «بهینه‌سازهای توابع» نگاه می‌شود [6]. هنگامی که هدف، پیدا کردن جوابی نزدیک به پاسخ بهینه، برای یک تابع چندبعدی با چندین قید باشد، بهینه‌سازهای ژنتیکی بسیار مؤثر و کارا هستند[12]. برای مطالعهٔ بیشتر دربارهٔ الگوریتمهای ژنتیکی به [6]، [13] و [14] مراجعه کنید.



شکل۳: تصویر راهنمای رنگ زرد در شکل ۲–a.

در ادامه معماری الگوریتم ژنتیکی پیشنهادیمان را شرح می‌دهیم. اولین مسآله در معماری یک الگوریتم ژنتیکی، بیان اطلاعات بفرمی است که بتوان بر روی آن اعمال برش و جهش را انجام داد. در الگوریتم ژنتیکی پیشنهادی ما، هر فیلترِ رنگی هم‌ارز با یک کروموزوم است و برعکس. بدیهی است که طبق این تعریف، هر کروموزوم یک بردار یکهٔ واحد است. ژنهای این کروموزومها نیز اعدادی حقیقی، بین منفی یک و یک هستند. دومین گام تعریف تابع شایستگی است. این تابع باید معیاری برای تعیین کیفیت فیلترهایی باشد که کروموزومها معرفی می‌کنند. اما برای انجام این کار باید نخست نواحی‌ای از تصویر مرجع(تصویری که برای آموزش الگوریتم ژنتیکی مورد استفاده قرار میگیرد) که دارای رنگ موردنظر هستند را مشخص کنیم. این کار را بوسیلهٔ یک تصویر راهنما انجام می‌دهیم. در این تصویر، نقاطی که در تصویر مرجع، دارای رنگ مورد نظر هستند، با یک و بقیه با صفر مشخص شده‌اند(این کار را می‌توان بوسیلهٔ نرم‌افزارهای ترسیمی انجام داد. در نرم‌افزار MATLAB نیز، می‌توان از تابع roipoly به همین منظور استفاده کرد). شکل۳، تصویر راهنمایی که برای نشان دادن نواحی زردرنگ در شکل۲–a استفاده شده است را نشان می‌دهد. از اینجا به بعد، در تمام این مقاله تصویر مرجع(برای طراحی فیلتر) را با A و تصویر راهنمای آن را با D_A نشان می‌دهیم. تابع شایستگی، ابتدا فیلتر مشخص شده (توسط کروموزومی که می‌خواهیم میزان شایستگی‌اش محاسبه شود) را طبق معادلهٔ فیلتر، بر تصویر A اعمال کرده با استفاده از فیلتر میانه، اثر نویز را تا حد زیادی کاهش می‌دهد[1](تصویر حاصل را F_A می‌نامیم). سپس F_A را طبق معادلات ذیل نرمال می‌کند.

$$mn = \min_{(i,j)\in F_A}[F_A(i,j)] \quad , \quad mx = \max_{(i,j)\in F_A}[F_A(i,j)] \qquad (٤)$$
$$F_A(i,j) = (F_A(i,j) - mn)/(mx - mn)$$

که $F_A(i,j)$ پیکسل واقع در ردیف i ام و ستون j ام را نشان می‌دهد. سپس در گام اول، میانگین مقادیر تمام پیکسلهای F_A که در تصویر راهنما یک هستند را بدست می‌آورد(نتیجه را با M_f نشان می‌دهیم). این عدد نشان دهندهٔ اثر فیلتر رنگ در آشکارسازی رنگ مورد نظرمان است. در گام دوم، تمام پیکسلهایِ غیرصفرِ تصویرِ راهنما را از F_A حذف می‌کنیم(برابر صفر قرار می‌دهیم). و سپس تصویر حاصل را به بلاکهایی با ابعاد $L\times L$ تقسیم کرده، از هر یک میانگین می‌گیریم. بدیهی است که بزرگترین میانگین معیاری است برای نمایش اثر فیلتر بر رنگهایی از تصویر مرجع که برایمان اهمیت ندارند(حاصل را با M_b نشان می‌دهیم). با توجه به مطالب گفته شده، $M_f - M_b$ میزان شایستگی کروموزوم مورد نظر را نشان خواهد داد. این قانون ارزشیابی، دارای دو ویژگی مهم است: ۱– هرچه فیلتر، رنگ موردنظرمان را بیشتر تقویت کند، ارزش بیشتری به آن تعلق می‌گیرد، ۲– بوسیلهٔ بلاک‌بندی تصویر فیلتر شده و میانگین‌گیری از بلاکها، چنانچه فیلتر رنگهایِ دیگرِ موجود در صحنه را نیز(در مقایسه با رنگ مورد نظرمان) تقویت کرده باشد، متناسب با اندازه پاسخش به آنها و همچنین تعداد پیکسلهایی که دارای این رنگها هستند، جریمه می‌شود. به این ترتیب، می‌توان گفت که اگر اندازهٔ بلاکها خیلی بزرگ باشد از دقت الگوریتم ژنتیکی در طراحی کاسته می‌شود و چنانچه خیلی کوچک باشد به شدت تحت تأثیر نویز قرار می‌گیرد. اندازهٔ بلاکها را می‌توان چنان انتخاب کرد که مساحت آنها تقریبا برابر با مساحت کوچکترین شیء تصویر مرجع باشد.

تکامل بیش از آنکه به حفظ گونه‌هایی بپردازد که تطابق بیشتری با محیط اطرافشان داشته‌اند، به حذف گونه‌هایی پرداخته که کمتر با محیط اطرافشان تطبیق داشته‌اند [9]. به عبارت دیگر حذف عناصر ضعیفتر به مراتب اثر بیشتری از حفظ عناصر قویتر در تکامل دارد. در این الگوریتم ژنتیکی در هر تولید نسل(Generation)، از میان جمعیت موجود تنها دو کروموزوم به عنوان ولی(یا همان والد) انتخاب می‌شوند و بنابراین تنها دو کروموزومِ فرزند تولید می‌گردد. جمعیت جدید با جایگذاری این دو فرزند(به شرط آنکه در جمعیت قبلی کروموزومی مشابه آنها نباشد) بجای بدترین کروموزومهایِ جمعیت قبلی(آنهایی که بدترین درجهٔ شایستگی را دارند) بوجود می‌آید. همانطور که می‌بینید در حقیقت، ما از مدل Genitor که "D. Whitley" در

سال ۱۹۸۸، آن را پیشنهاد کرده است، استفاده کرده‌ایم[8]. در هر تولید نسلِ جدید باید دو ولی از میان جمعیت فعلی انتخاب گردد، یکی از آنها را بروش "مسابقه(Tournament)" [7] و دیگری را به صورت تصادفی انتخاب می‌کنیم. این نحوهٔ انتخاب والدین، در عین حال که بر سرعت همگرایی الگوریتم ژنتیکی می‌افزاید پراکندگی جمعیت در فضای جستجو را نیز حفظ می‌نماید. با تعیین عملگرهای برش و جهش، الگوریتم ژنتیکی مورد نظرمان کامل می‌گردد. با این فرض که بردارهای P^1 و P^2، دو کروموزوم ولی و a عددی تصادفی باشد، عملگر برش را طبق معادلهٔ ذیل تعریف می‌کنیم.

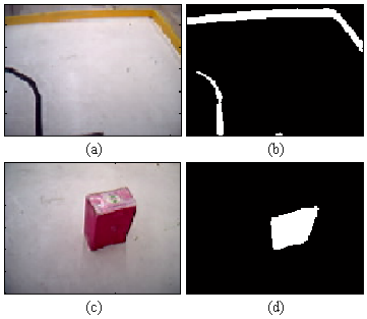
$$C^1 = a \times P^1 + (1-a) \times P^2 \quad (۵)$$

$$C^2 = (1-a) \times P^1 + a \times P^2 \quad (۶)$$

از عملگر جهش برای فرار از ماکزیممهای محلی استفاده می‌شود. قبل از اینکه الگوریتم ژنتیکی شروع بکار کند، عددی به عنوان احتمال جهش در نظر گرفته می‌شود. سپس پس از تولید نسل جدید، عددی تصادفی تولید می‌شود، اگر این عدد از احتمال جهش کوچکتر بود، هر دو فرزند مذکور کاملا به صورت تصادفی از فضای جستجو، انتخاب و در غیر این صورت فرزندان بدون تغییر حفظ می‌گردند. این الگوریتم را GACFID(GA Color Filter Designer) می‌نامیم. رادولف(Rudolph) در سال ۱۹۹٤، ثابت کرد که چنانچه در یک الگوریتم ژنتیکی، در هر تولید نسل جدید، بهترین کروموزومهای نسل قبلی با احتمال بالا به نسل جدید وارد شوند، الگوریتم به سمت بهینه مطلق همگرا می‌شود[15]. با توجه به اینکه درGACFID، همواره بهترین کروموزوم نسل فعلی، در نسل بعدی نیز قرار می‌گیرد، می‌توان گفت که GACFID، اگر به تعداد کافی تکرار شود، می‌تواند بهترین فیلتر ممکن را بیابد. نتایج تجربی(بخش٦) نیز، نشان می‌دهد که الگوریتم ژنتیکی پیشنهادی کارایی بسیار خوبی دارد.

٤) انتخاب آستانه

در بخش قبلی توانستیم برای آشکارسازی اشیاء بوسیلهٔ رنگشان فیلتر رنگ طراحی کنیم. حاصل اعمال این فیلترها، بر تصویر مرجع، یک تصویر سطح خاکستری است که نواحی‌ای از آن روشن‌تر از بقیه است. این نواحی همان نقاطی از تصویرند که دارای رنگ مورد نظر ما هستند. اکنون باید با انتخاب یک آستانهٔ مناسب این نواحی را استخراج کنیم. بدیهی است که مقدار آستانه به شرایط نور محیط وابسته است. برای استخراج مقدار آستانهٔ مناسب، ابتدا بر تصویر تحت بازرسی، فیلتر رنگی‌ای که در مرحلهٔ قبل بدست آوردیم را اعمال می‌کنیم. سپس بوسیلهٔ فیلتر میانه، نویز تصویر را حذف کرده، تصویر حاصل را نرمال می‌کنیم. اکنون می‌توان آستانه را بروش "انتخاب آستانه به صورت تکراری(Iterative thershold selection)" [3] ، انتخاب نمود. در تصویر فیلتر شده، تمام پیکسلهایی که سطح خاکستریشان از مقدار آستانهٔ محاسبه شده بیشتر است، متعلق به شیء مورد نظرمان هستند. انتخاب آستانه با این روش انعطاف‌پذیری زیادی به الگوریتم تقسیم‌بندی تصویر می‌بخشد، اما اشکالاتی نیز وجود دارد که باید برطرف گردد. الگوریتم شرح داده شده، از میان رنگهای موجود در تصویر، رنگی که نسبت به بقیه، بیشتر توسط فیلتر تقویت شده است را آشکار می‌کند. بدیهی است که با توجه به نحوهٔ تولید فیلتر در میان تمام رنگهایی که ممکن است در صحنه موجود باشند، رنگی که فیلتر برای آن طراحی شده است(یا "رنگ فیلتر")، بیش از بقیه تقویت می‌شود. بنابراین اگر در تصویر پیکسلهایی با رنگ فیلتر موجود باشند، حتما آشکار می‌شوند. اما اگر در تصویر هیچ پیکسلی دارای این رنگ نباشد، نتیجهٔ کار کاملا غلط خواهد بود. به عنوان مثال از الگوریتم تقسیم‌بندی برای آشکار سازی رنگ قرمز در تصاویر٤-a و ٤-c استفاده شده است که نتایج به ترتیب در تصاویر ٤-b و ٤-d نشان داده شده‌اند. همانطور که می‌بینید در تصویر ٤-d، تقسیم‌بندی بخوبی انجام شده است در حالی که در تصویر ٤-b لبهٔ زمین و بخشی از خط هادی از تصویر استخراج شده‌اند که هیچ یک قرمز رنگ نیستند. این مشکل را می‌توان با ایجاد



شکل٤: (b) و (d) : آشکارسازی رنگ قرمز در به ترتیب تصاویر نمونهٔ (a) و (c) و نواقص اینکار.

یک شیء مجازی در تصویر، حل نمود. کافی است به انتهای تصویر، چند سطر اضافه کنیم به‌طوری‌که رنگ پیکسلهای این سطرها همان "رنگ فیلتر" باشد و پس از انتخاب آستانه این سطرها را حذف کنیم. مشکل بعدی مربوط به معادلهٔ فیلترها و اثرات تغییرات نور است. طراحی فیلتر برای آشکارسازی رنگهایی چون خاکستری و سیاه تنها با استفاده از دو مؤلفهٔ رنگی دستگاه مختصات رنگ، بخوبی امکان‌پذیر نیست. بعلاوه حتی حذف مؤلفهٔ روشنایی نیز نمی‌تواند اثر تغییرات نور محیط را کاملا از بین ببرد و باید راه حل عملی‌تری یافت. روشی که ما استفاده کرده‌ایم به این شرح است. ابتدا از رنگ مورد نظرمان و سایر رنگهای صحنه تحت شرایط نوری متفاوت نمونه‌برداری کردیم. از کنار هم گذاردن این نمونه‌ها، تصویری مرجع بوجود آمد که بخشی از آن دارای رنگ مورد نظر ما بود. این بخش را در تصویر راهنما مشخص کردیم. سپس از GACFID خواسته شد تا بر اساس تصاویر مرجع و راهنما به جستجو بدنبال بهترین فیلتر ممکن بپردازد. معادلهٔ فیلتر نیز طبق معادلهٔ (۷) تعریف شد که در حقیقت ترکیبی از مؤلفه‌های رنگی و مؤلفهٔ روشنایی است[1].در بخش نتایج تجربی کارکرد الگوریتم تقسیم‌بندی به تفصیل بررسی شده است.

$$F = r \times R + g \times G + b \times B + r_n \times R_n + g_n \times G_n + b_n \times B_n \qquad (۷)$$

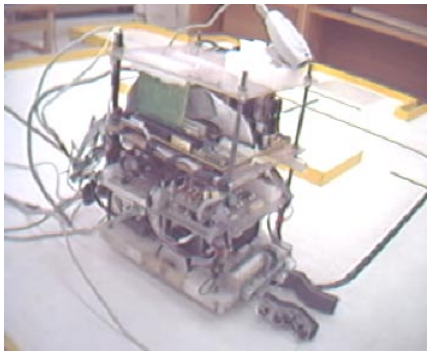
۵) استخراج و شناسایی اشیاء

در مرحلهٔ تقسیم‌بندی تصویر توانستیم رنگهای زرد، قرمز و سیاه را آشکار کنیم. اکنون می‌خواهیم اشیاء را از تصویر دو سطحی حاصل استخراج کنیم. در ادامه به شرح مراحل انجام اینکار می‌پردازیم. فیلتر سیاه علاوه بر قوطی نوشابه خط هادی را هم آشکار می‌کند. همچنین به علت اعوجاجِ لنزِ دوربین، در حاشیهٔ تصویر، ناحیه‌ای تیره بوجود می‌آید که گهگاه توسط این فیلتر آشکار می‌شود. بعلاوه، برچسبِ قرمزِ مایل به نارنجیِ رویِ قوطیِ نوشابه توسط فیلتر قرمز آشکار می‌شود که باید آن را از جعبهٔ صابون(و توپ) تفکیک کرد. همچنین همواره اغتشاشهایی در تقسیم‌بندی تصویر وجود دارد که آنها نیز باید حذف شوند. برای استخراج اشیاء ابتدا تمام تصاویر دو سطحی(که از اعمال فیلترهای گونانگون به تصویر بوجود آمده‌اند) را با هم ترکیب می‌کنیم. سپس بر روی تصویر حاصل عمل "Closing"(یکی از عملگرهای ریخت‌شناسی در پردازش تصویر) انجام می‌دهیم [4]. به این ترتیب تکه‌های مختلف اشیاء، به یکدیگر چسبیده، یکپارچه می‌گردند. از عملگرهای ریخت‌شناسی می‌توان برای جداکردن اشیاء با مساحتهای گوناگون از یکدیگر نیز استفاده کرد[4]. همانطور که می‌دانید خط هادی یک شیء کشیده و باریک است در حالی که بقیهٔ اشیاء متراکم و فشرده هستند. همچنین اشیائی که بر اثر اغتشاش بوجود آمده‌اند در مقایسه با اشیاء حقیقی(توپ، جعبهٔ صابون و قوطی نوشابه) دارای مساحت بسیار کوچکتری هستند. بنابراین با انجام یک عمل "Opening" (یکی دیگر از عملگرهای ریخت‌شناسی در پردازش تصویر) بر روی تصویر ترکیبی، خط و اشیاء مجازی حذف می‌شوند. پس از حذف اشیاء مجازی، باید مشخص کنیم که اشیاء باقی‌مانده چیستند. اینکار را بر اساس پاسخهای فیلترهای رنگی انجام می‌دهیم. اگر همهٔ شیء یا بخشی از آن توسط فیلتر رنگ سیاه آشکار شده باشد آن شیء قوطی نوشابه بوده است. اگر شیء فقط توسط یکی از فیلترهای زرد یا قرمز آشکار شده باشد، آنگاه آن شیء به ترتیب توپ و یا جعبهٔ صابون بوده است. چنانچه بخشهای مختلف شیءای توسط هر سه فیلتر آشکارشده باشد، آنگاه آن شیء، برجی است که از قرار گرفتن جعبهٔ صابون، قوطی نوشابه و توپ بر روی هم ساخته شده(بر اساس تعریف مسابقه، در زمین تنها یک برج قرار می‌گیرد و تشخیص آن از امتیاز اضافی برخوردار است). این روش به الگوریتم "تخفیف گسسته" معروف است[5].

٦) نتایج تجربی

تصویر مرجع و تصاویر راهنمایی که برای تولید فیلترهای رنگی مورد استفاده قرار گرفته‌اند در شکل٦ نشان داده شده‌اند. برای آموزشGACFID، L را برابر ۲۵ در نظر گرفتیم که تقریبا برابر با مینیمم ابعاد اشیاء در تصویر است. شکل۷، منحنی

۱- برای یادآوری به معادلات (۲)،(۳)،(٤) و (٥) مراجعه کنید.



شکل۵: تصویری از ربات

شایستگی بهترین کروموزوم را بـر حسـب تکـرار الگوریتـم GACFID، نشـان می‌دهـد. همـانطور کـه می‌بینیـد الگوریتـم ژنتیکـی پیشـنهادی ظـرف مـــدت کوتاهی(طی کمتر از هشتصد تکرار) بـه پاسـخ بسـیار مناسـبی رسـیده اسـت. عملکرد الگوریتـم شـرح داده شـده را می‌توانیـد در شـکلهای۸، ۹ و ۱۰ ببینیـد. عملکرد مطلوب الگوریتم تحت تغییـرات شـدید نـور و شـرایط محیـط نشـان دهندهٔ مقاوم بودنش در برابر ایـن عوامـل اسـت. لازم بـه ذکـر اسـت کـه ایـن الگوریتم برای تشخیص یک رنگ خاص تنها یکبـار نیـاز بـه آمـوزش(یـا بـه عبارت دیگر طراحی فیلتر رنگی) دارد. پس از مرحلهٔ آموزش، از فیلتر طراحـی شده برای آشکار کردن رنگ مورد نظر اسـتفاده می‌شـود و نیـازی بـه آمـوزش مجدد نیست. نکتهٔ مهمی که باید به آن توجه داشت این است که فیلتر طراحی شده در مرحلهٔ آموزش، رنگ مـورد نظـر مـا را تنها نسبت به سایر رنگهای موجود در تصویر مرجع تقویت می‌کند و نمی‌توان انتظار داشت در تصویری که شامل رنگی، غـیر از رنگهای تصویر مرجع است نیز، عملکرد مطلوبی داشته باشد. به عبارت دیگر، تصویرِ مرجعِ آمـوزش، تعییـن کننـدهٔ مـیزان محدودیت این الگوریتم است. با توجه به مطالب گفته شده، می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم پیشنهادی برای محیطهایی که از قبل دربارهٔ رنگ اشیاء موجود در آن اطلاعات کافی داریم ایده‌ال است و فیلتر طراحی شـده بـرای یـک محیـط خـاص، بـرای محیطی دیگر، تنها زمانی قابل استفاده است که رنگهای موجود در محیط دوم زیر مجموعه‌ای از رنگهای بکار رفتـه در محیـط اول باشد. این الگوریتم در راهبری یک ربات متحرک مورد استفاده قرار گرفتـه اسـت. ایـن ربـات در دومیـن دورهٔ مسـابقات سراسری رباتیک تهران(که در دانشگاه تهران برگذار شد) شرکت نمود و توانست ظرف مـدت چـهار دقیقـه(زیـر نـور بسـیار شدید) یک قوطی نوشابه، یک جعبهٔ صابون و دو توپ را شکارکند. در شکل۵، تصویری از این ربات نشان داده شده است.

۷) جمع‌بندی

در این مقاله تعریفی جدید برای فیلترهای رنگی ارائه شده و از الگوریتمـهای ژنتیکـی بـرای طراحـی آنـها اسـتفاده گردیده است. وظیفهٔ این فیلترها تقویت رنگ خاصی از بین رنگهای موجود در یک صحنه می‌باشد. در مرحلهٔ بازرسی نـیز بـا انتخاب یک مقدار آستانهٔ مناسب برای تصویر فیلتر شده، مطابق با شرایط نور محیـط، توانسـته‌ایم نواحـی‌ای از تصویـر تحـت بازرسی، که دارای رنگ مورد نظرمان هستند را استخراج کنیم. از این الگوریتم در یک ربات متحرک بینا اسـتفاده شـده اسـت. هدفِ بینایی ماشین در این ربات، تشخیص سه جسم متفاوت با رنگهای زرد، قرمـز و سـیاه اسـت. نتـایج تجربـی و عملکـرد مناسبِ ربات در شرایط مختلف، بیانگر کارایی الگوریتم پیشنهادی و دقت آن می‌باشد.

۸) مراجع

[1] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, “Digital Image Processing”, Adison-Wesley, 1992.

[2] A. N. Netraval, B. G. Haskell, “Digital Pictures, Representation and Compression”, 2nd printing, Plenum Press, AT&T Bell Laboratories, June 1989.

[3] J.R. Parker, “Algorithms for Image Processing and Computer Vision”, John Wiley & Sons, 1997.

[4] M. Sonka, V. Hlavac, R. Boyle, “Image Processing Analysis and Machine Vision”, International Thomson Computer Press, 1996.

[5] E. R. Hancock, J. Kittler, “Discrete Relaxation”, Pattern Recognition, 23(7): 711-733, 1990.

[6] D. Whitley, “A Genetic Algorithem Tutorial”, Statistics and Computer, Vol. 4, pp. 65-85, 1994.

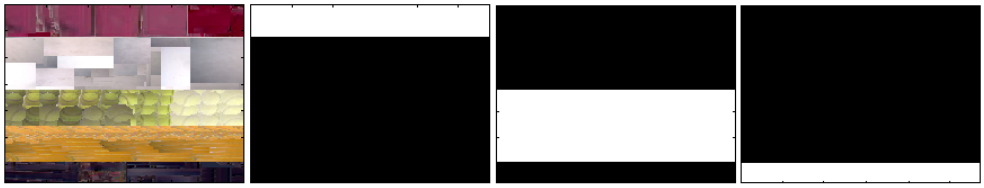
[7] D. E. Goldberg, “A Note on Boltzman Tournament Selection for Genetic Algorithems and Population-oriented Simulated Annealing”, TCGA 90003, Engineering Mechanics, University Alabama.

[8] D. Whitley, “The GENITOR Algorithem and Selective Pressure”, Proc. 3th International Conference on Genetic Algorithems, ed. Morgan-Kaufmann: 116-121, 1989.

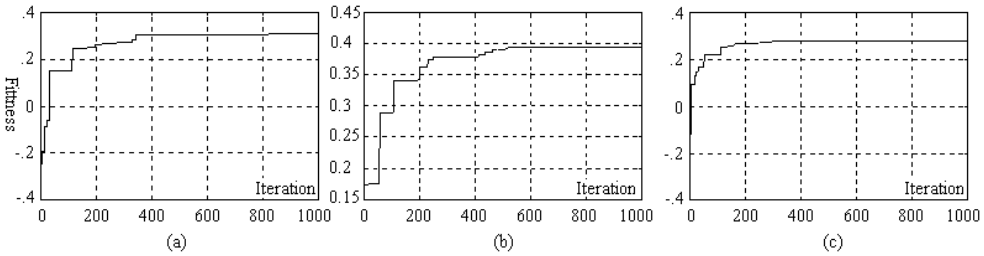
[9] C. Darwin, “The Origin of Species by Means of Natural Selection”, Murray, 1859.

[10] J. Holland, “Adaptation In Natural and Artificial Systems”, University of Michigan Press, 1975.

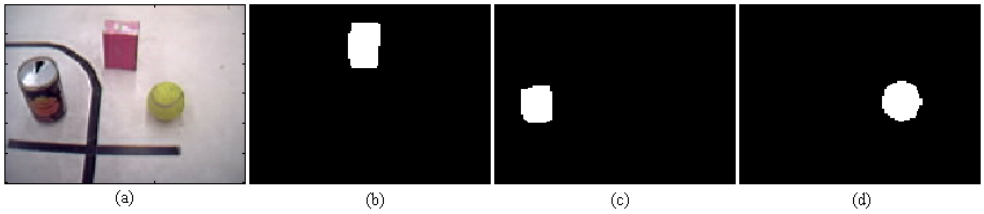
[11] K. Krishna, K. R. Ramarkrishnan, M. A. L. Thathachar, “Vector Quantization using Genetic K-Means Algorithm for Image Compression”, ICICS, Sep. 1997.
[12] Rahmat Samii, “Eletromagnetics Optimization by Genetic Algorithms” , Wiley – RsP, 1999.
[13] D. E. Goldberg, “Genetic and Evolutionary Algorithms in the Real World”, IlliGAL Report No. 99013, March 1999, http://www-illigal.ge.uiuc.edu\ .
[14] M. Mitchell, S. Forrest, “Genetic Algorithms and Artificial Life”, Santa Fe Institute Working Paper 93-11-072, To appear in Artificial Life.
[15] G. Rudolph, “Convergence Properties of Canonical Genetic Algorithms”, IEEE, Trans. on Neural Networks, NN-5: 96-101, 1994.
[16] David Bourgin, “Color Space FAQ”, Sep. 1994, ftp://turing.imag.fr/pub/compression/colorspace-faq .



شکل۶: (a) : تصویر مرجع در آموزش GACFID. (b) : تصویر راهنمای رنگ قرمز. (c) : تصویر راهنمای رنگ زرد، (d) : تصویر راهنمای رنگ سیاه.



شکل۷: شایستگی بهترین کروموزوم برحسب تکرار الگوریتم GACFID. (a) فیلتر قرمز، (b) فیلتر زرد، (c) فیلتر سیاه.



شکل۸: استخراج توپ، قوطی نوشابه و جعبهٔ صابون. (a) تصویر اصلی، (b) جعبهٔ صابون، (c) قوطی نوشابه، (d) توپ.

شکل۹ : استخراج توپ، قوطی نوشابه و جعبهٔ صابون. (a) تصویر اصلی، (b) جعبهٔ صابون، (c) قوطی نوشابه، (d) توپ.

شکل۱۰ : استخراج توپ، قوطی نوشابه و جعبهٔ صابون. (a) تصویر اصلی، (b) جعبهٔ صابون، (c) قوطی نوشابه، (d) توپ.