سومین کنفرانس ماشین بینایی
و پردازش تصویر ایران
تهران، ۵ و ۶ اسفند ماه ۱۳۸۳
The Third Conference on
Machine Vision, Image Processing
& Applications (MVIP 2005)
Tehran, Iran, Feb. 23-24, 2005

هفتادمین سال تاسیس دانشگاه تهران - ۱۳۸۳

شناسایی و مکان‌یابی اجسام در یک ربات متحرک بینا: راهکاری سریع و کارا

مهدی ملبوبی Mehdi_Malboubi@yahoo.com
مهدی سعادتمند طرزجان saadatmand@eieee.org
مرتضی خادمی khademi@ferdowsi.um.ac.ir
محمد رضا اکبرزاده توتونچی akbarzadeh@kiaeee.org
گروه رباتیک دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده: یک سیستم بینائی ماشین هوشمند، سیستمی است که از حسگر بینائی برای دریافت و تفسیر خودکار تصویری از یک منظره واقعی، به منظور بدست آودن اطلاعات، هدایت ماشین و یا پردازش استفاده می کند. رباتهای بینا زیرمجموعه‌ای از سیستمهای بینایی ماشین هستند که از دوربین بعنوان حسگر بینایی برای شناسایی و تعیین موقعیت اشیاء استفاده می‌کنند. در این مقاله روشی کارا و سریع برای: الف) شناسایی اجسام موجود در سطح دوم مسابقات سراسری رباتیک ایران با استفاده از تابع انطباق رنگ بهینه و آستانه‌گیری خودکار و ب) مکان‌یابی آنها بوسیله نگاشت مسیر به صفحه تصویر، بکمک شبکه‌های عصبی مصنوعی ارایه گردیده است. نتایج عملی بدست آمده از پیاده‌سازی این روشها در یک ربات متحرک بینا نشان از توانایی بالقوه آنها در شناسایی و مکان‌یابی اجسام در کاربردهای بینایی ماشین می‌باشد.

کلمات کلیدی: ربات متحرک و شبکه‌های عصبی.

۱) مقدمه

رباتهای بینا زیر مجموعه‌ای از سیستمهای بینائی ماشین هستند که از سنسور بینائی با پردازشهای مناسب برای تعیین موقعیت و نوع شیء استفاده می کنند. یک سیستم بینائی خودکار، سیستمی است که از حسگر بینائی برای دریافت و تفسیر خودکار تصویری از یک منظره واقعی، به منظور بدست آودن اطلاعات، کنترل ماشین و یا پردازش استفاده می کند. یک سیستم بینائی دقیق، سریع و با کیفیت مناسب می تواند بنحو موثری دقت، سرعت و مهارت رباتها را برای انجام وظایف پیچیده گسترش دهد[۱]. این سیستم ها اطلاعاتی که بدست آوردن آنها از روشهای دیگر مشکل و یا غیر ممکن است را آماده می کنند(مانند رنگ و شکل سه بعدی). از آنجایی که تصاویر، نگاشتی دو بعدی از فضای سه بعدی هستند، این سیستمها اطلاعات یک صحنه را مستقیما بدست نمی آورند، بلکه آنها را توسط یک *نگاشت چند– به– یک* بازیابی میکنند. برای بازیابی اطلاعات، دانشی درباره اشیاء موجود در صحنه و تصویر هندسی آنها لازم است. در حقیقت بینائی ماشین اندازه ها یا خلاصه هایی از خواص هندسی اشیاء فراهم می‌کند. سیستمهای بینایی ماشین همواره با دو سوال اساسی" شیء چیست؟" و "شیء کجاست؟" روبرو هستند[۲].

در ادامه (با توجه به حوزه کاربرد ربات) نخست به بیان سطح دوم، دومین مسابقه سراسری رباتیک ایران پرداخته و پس از آن در بخشهای سوم و چهارم بترتیب به توضیح روشهای بکاررفته برای شناسایی و مکان‌یابی اشیاء موجود در این مسابقه می‌پردازیم. بخشهای پنجم و ششم این مقاله نیز به بیان نتایج تجربی و نتیجه‌گیری اختصاص یافته‌اند.

۲) مسابقات سراسری رباتیک ایران

دومین دورهٔ مسابقات سراسری رباتیک ایران در هفتم و هشتم مهرماه ۱۳۸۰ در دانشگاه تهران برگزار گردید. این مسابقات در دو سطح انجام شد. در سطح دو، هر ربات می‌بایست خود را به محل قرار گرفتن اجسام در زمین مسابقه(شکل(۱)) می‌رساند و پس از شکار اجسام، آنها را در یکی از سه دروازه‌ای که برای همین منظور در نظر گرفته شده بود، می‌انداخت. سه جسم در زمین مسابقه قرار می‌گیرد: توپ تنیس، جعبهٔ صابون و قوطی نوشابه که به ترتیب زرد، قرمز و آبی تیره هستند. زمین سفید رنگ، خط هادی سیاه رنگ و دیواره‌های زمین نیز زرد رنگ است. شکل(۲) این اجسام را نشان می دهد. تصویر نمونه که در نورهای متفاوت گرفته شده است برای آزمایش الگوریتمهای قسمت بندی تصویر است. همهٔ اجسام در سمت راست زمین، درون محوطه‌ای که با خط‌چین مشخص شده است قرار می‌گیرند و ربات در آغاز مسابقه در محل شروع قرار می‌گیرد. ربات می‌بایست ظرف مدت معینی اجسام را شکار کند و هر یک را در دروازهٔ مناسب بیاندازد. در ادامه به توضیح روشهای بکار رفته در شناسایی و تعیین موقعیت این اجسام می‌پردازیم.

۳) شناسایی اشیاء

شناسایی اشیاء در سیستمهای بینایی ماشین بترتیب شامل سه مرحلهٔ اساسی قسمت بندی تصویر، استخراج ویژگیها و تفسیر ودرک تصویر می‌باشد. در این بین قسمت‌بندی تصویر ضروریترین، مهمترین و نخستین گام در بینایی ماشین بشمار می‌رود. یک الگوریتم قسمت‌بندی مناسب الگوریتمی قابل انعطاف، قابل اطمینان و در عین‌حال سریع است که بتواند اشیاء را به تفکیک، از زمینه جدا کند. بدین منظور نخست باید خصوصیات و مشخصه‌های اشیاء و همچنین محدودیتهای کار را شناخت. در مساله مورد نظر ما مهمترین مشخصهٔ اشیاء رنگ و شکل متفاوت آنهاست. استفاده از روشهای آشکارسازی مبتنی بر شکل اشیاء، بسیار زمانبر هستند بخصوص که اشیائی چون جعبهٔ صابون و قوطی نوشابه، در حالات مختلف اشکال متفاوتی دارند که این خود دشواری کار را دوچندان می‌کند. درحالی‌که آشکارسازی رنگ چندان کار پیچیده و مشکلی نیست. همانطور که می‌دانید نور مرئی صورتی از انرژی الکترومغناطیسی است. نور دو اثر مهم بر چشم دارد: روشنایی که نشان‌دهندهٔ تراکمِ طولِ موجهای مختلف نور است و رنگ که بیانگر ترکیب طیفی آن است. مشکل بزرگ بینایی ماشین با تصاویر رنگی گرفته شده بوسیله سنسورهای رنگی مختلف این است که این تصاویر تنها شامل مشخصات طیفی سطوح نیستند، بلکه بطور شدیدی به شدت و خواص طیفی روشنایی وابسته هستند. این مسأله بدست آوردن ویژگیهای رنگی پایدار برای شناسایی اشیاء و اندازه‌گیری رنگ تحت شرایط واقعی را که روشنایی معمولاً تغییر می‌کند مشکل می‌سازد[۳و ۵]. بنابراین در هنگام آشکارسازی رنگ باید اثر تغییرات نور محیط بر روی تصویر در نظر گرفته شود و به نوعی از بین برود. روشهای مختلفی برای قسمت بندی تصاویر رنگی ارائه شده است. بعضی از این روشها عبارتند از: استفاده از هیستوگرامهای مؤلفه‌های مختلف یک تصویر رنگی در فضاهای گوناگون[۴، ۵ و۶]، دسته‌بندی پیکسلهای رنگی[۷]، خوشه‌بندی تصاویر[۸]، تعریف فضاهای رنگی با ویژگیهای خاص که دسته‌بندی پیکسلها در آن مؤثرتر باشد، تحلیل طیفی تصاویر رنگی[۹]. برای تحلیل تصاویر رنگ فضاهای گوناگونی ارائه شده است که هر کدام خواص خود را دارند. بعضی از این فضاها عبارتند از: RGB، HIS و YcbCr که در میان آنها فضایRGB که با توجه به فیزیولوژی درک رنگ در چشم انسان بوجود آمده بسیار معروف است.

یک تصویر دیجیتالی ماتریسی از اعداد بین صفر و یک است که در آن رنگ هر نقطهٔ تصویر با سه عدد(بیانگر شدت رنگهای پایه) 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 حداکثر گردد[۳]. بعبارت 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 ریاضی با تعیین مناسب ضرایب (r,g,b) در معادلهٔ (۱)،

می‌توان تابع انطباق رنگی طراحی کرد که از میان رنگهای موجود در صحنه، رنگ خاصی را تقویت کند. این تابع انطباق رنگ را فیلتر منطبق رنگ می‌نامیم. در یک تصویر RGB برای کم کردن اثر نور محیط بر روی مؤلفهٔ درخشش تصویر از دستگاه مختصات RGB نرمال شده استفاده می‌کنند. بر این اساس داریم:

$$F = r \times R_n + g \times G_n + b \times B_n \quad \text{و} \quad R_n + G_n + B_n = 1 \qquad (۱)$$

ضرایب (r,g,b) مقادیر ثابت مثبت و منفی هستند که با سعی و خطا و یا با استفاده از روشهای بهینه‌سازی مانند الگوریتم ژنتیک بدست می‌آید(بهینه سازی ژنتیکی تابع انطباق رنگ توسط نویسندگان مقاله انجام شده است. علاقه‌مندان می‌توانند به [۳] مراجعه کنند). بر این اساس فیلترهای منطبق رنگ طراحی شده برای آشکارسازی رنگهای قرمز، زرد، سیاه و آبی تیره بترتیب برابر است با: (r=1.0,g=-1.0,b=0.3) برای آشکارسازی جعبه صابون قرمز رنگ، (r=0.5,g=0.5,b=-1.0) برای آشکارسازی توپ تنیس و لبه زرد رنگ زمین مسابقه، (r=-1.0,g=0.0,b=0.0) برای آشکارسازی خط هادی سیاه رنگ و (r=0.0,g=0.0,b=1.0) برای آشکارسازی قوطی نوشابه با رنگ آبی تیره. لازم بذکر است این روش بطور طبیعی به شرایط مشاهده و مشاهدات قبلی چشم وابسته است و دیگر اینکه، اگر چه برای اغلب مردم می‌توان توابع یکسانی تعریف کرد اما تفاوتهایی نیز در افراد مختلف وجود دارد[۱۰].

پس از اعمال فیلترهای منطبق رنگ نوبت به انتخاب آستانه‌ای مناسب برای قسمت‌بندی تصاویر است. آستانه‌گیری از ساده‌ترین روشهای قسمت‌بندی تصویر است. علت آن این است که بسیاری از اشیاء یا نواحی تصویر بوسیلهٔ قابلیت بازتاب پذیری یا جذب نور ثابت از سطوحشان مشخص شده‌اند. این روش بسیار ساده و سریع است. برای انتخاب آستانهٔ صحیح و مقاوم ساختن این روش به تغییرات ایجاد شده در صحنه، الگوریتم باید قادر به انتخاب آستانهٔ مناسب، بطور خودکار باشد. یک روش آستانه‌گیری که از دانشهای قبلی در انتخاب مقدار آستانه بدون دخالت انسان استفاده می‌کند، روش آستانه‌گیری خودکار نامیده می‌شود[۲]. انتخاب این روش به دانش قبلی در مورد اجسام بستگی دارد. اکثر روشهای آشکارسازی آستانه به تحلیل هیستوگرام تصویر وابسته است و از آن برای انتخاب خودکار آستانه استفاده می‌کنند. یکی از روشهای مورد استفاده در انتخاب خودکار آستانه روش مد(Mode Method) است. این روش برای تصاویر شامل چند شیء که دارای مقادیر متوسط سطح خاکستری مختلف هستند نیز استفاده می‌شود. فرض کنید n شیء با توزیع نرمال مقادیر سطح خاکستری با پارامترهای $(\mu_1,\sigma_1),(\mu_2,\sigma_2),...,(\mu_n,\sigma_n)$ و زمینه با توزیع نرمال و پارامترهای (μ_0,σ_0) وجود داشته باشد. اگر مقادیر متوسطها بطور مشخص متفاوت، واریانس‌ها کوچک و هیچ کدام از اشیاء کوچک نباشند، آنگاه هیستوگرام دارای (n+1) قله است. محل گودیهای $T_1 \ldots T_n$ می‌تواند مشخص شود و پیکسلها با مقادیرسطح خاکستری در هر فاصلهٔ $[T_I , T_{I+1}]$ می‌تواند بعنوان اشیاء مربوطه مشخص شوند(شکل (۳)). برای بدست آوردن آستانه‌ها ابتدا دو حداکثر محلی مجاور را بدست آورده و سپس حداقل بین دو حداکثر محلی را بعنوان آستانه انتخاب می‌کنند. لازم بذکر است برای پرهیز از آشکار سازی دو حداکثر محلی متعلق به یک حداکثر جهانی ابتدا باید هیستوگرام نرم گردد. در این مقاله، برای آشکارسازی اجسام از روش مد بر پایهٔ هیستوگرامهای مؤلفه‌های مختلف یک تصویر رنگی استفاده گردید. لازم بذکر است ورودی تمامی فیلترهای منطبق، تصویر نمونه فرض شده است.

- **آشکار سازی قوطی نوشابه**

هیستوگرام خروجی فیلتر منطبق بر رنگ آبی تیره بعد از انجام عملیات نرم سازی در شکل(۴) موجود است. دیده می‌شود که بین دو حداکثر محلی این شکل فاصله زیادی است. با فرض هموار بودن روشنایی صحنه (که فرض معقولی است) تغییر روشنایی صحنه تاثیر زیادی بر آن نداشته و تنها باعث جابجایی قله‌های آن می‌شود. پس اگر بتوانیم یک حد آستانه بطور خودکار بین این دوحداکثر انتخاب کنیم براحتی می‌توانیم قوطی نوشابه را آشکار کنیم. پس از نرم سازی هیستوگرام، حداقل بین دو حداکثر را بطور خودکار و بعنوان

حد آستانه برای آشکار سازی قوطی نوشابه انتخاب میکنیم. پیکسلهایی که سطح روشنایی آنها کمتر از این مقدار آستانه باشد قوطی نوشابه را مشخص می‌کنند. نتیجه قسمت بندی در شکل (۴) موجود است.

- **آشکار سازی توپ تنیس و دیوارهٔ زرد رنگ**

همانگونه که بیان شد دیواره زمین مسابقه همرنگ توپهای تنیس است. پس از آشکار سازی بخش زرد رنگ یک تصویر دو سطحی بدست می‌آید. پس از نرم سازی هیستوگرام تصویر و ملاحظه آن آستانهٔ مناسب برای آشکارسازی رنگ زرد اولین فرورفتگی قبل از آخرین قله است بدین ترتیب میتوانیم قسمت زرد رنگ تصویر را از بقیه تصویر جدا کنیم. شکل (۵) نتیجه فرایند قسمت بندی تصویر را در این حالت نشان می‌دهد.

- **آشکار سازی جعبه صابون**

با توجه به آشکارسازی رنگهای زرد آبی تیره و مشکی اگر بتوانیم زمینه سفید رنگ را نیز حذف کنیم قادر به آشکارسازی جعبه صابون قرمز رنگ نیز خواهیم بود مساله مهم در این روش انتخاب آستانه برای حذف زمینهٔ سفید با توجه به تغییرات نور محیط است. برای رفع این مشکل از یک سطح سفید مبنا استفاده می‌کنیم. باین ترتیب در تصویر میانگین سطوح خاکستری پیکسلهای این سطح را محاسبه کرده(T) و آستانه را چنین بدست می‌آوریم:

$$T_T = T - \alpha \qquad (۲)$$

که α بایاسی است که میزان حساسیت روش را نسبت به تغییرات محلی نور زمینه تعیین می‌کند. هرچه α بزرگتر باشد حساسیت کمتر می‌شود اما در عوض قسمت بیشتری از اشیاء یاد شده از تصویر حذف می‌شوند. بر عکس هرچه α کوچکتر شود بخشهایی از زمینه که از نظر روشنایی بصورت محلی تیره ترند در زمینه باقی می‌مانند. α را باید بر اساس آزمایش و خطا بدست آورد. توجه کنید که معیار تطبیق الگوریتم با شرایط محیط T است. شکل(۶) تصویر قسمت بندی شده را نشان میدهد.

پس از قسمت بندی اشیای موجود نوبت به تشخیص هر کدام از آنها می‌رسد. تشخیص قوطی نوشابه، جعبه صابون و خط هادی ساده است، چون اجسامی با رنگ مشابه آنها وجود ندارد. در این بین خروجی فیلتر منطبق بر رنگ زرد است که می تواند توپ تنیس، لبه زمین و یا توپ و لبه باشد. حسب اینکه در تصویر توپ، لبه ویا توپ و لبه باشد شکلهای موجود در شکل(۷) ظاهر خواهد شد. برای تشخیص توپ از لبه، ابتدا جهت شیء آشکار شده را بدست می‌آوریم. جهت شیء، زاویه قطر بزرگ بیضی محاط بر شیء، با محور x ها است. در راستای این جهت پروجکشن تصویر را با استفاده از تبدیل رادون بدست می‌آوریم. اگر این عمل را، در راستای عمود بر جهت شیء نیز انجام دهیم مختصات مرکز توپ (نه لزوماً مرکز بلکه یکی از نقاط توپ) محل تقاطع ماکزیممهای این دو منحنی در دستگاه مختصات (X',Y') است(البته باید توجه داشت که این خطا با نزدیک شدن ربات به توپ از بین خواهد رفت). حال با انجام یک دوران می‌توان مرکز توپ را درصفحه اصلی تصویر بدست آورد. جزئیات روش بیان شده با مراجعه به شکل(۸) دقیق‌تر مشخص می شود. برای تشخیص توپ، لبه ویا توپ و لبه کافی است به شکل منحنی پروجکشن این تصاویر توجه کرد. میزان مستطیل بودن منحنی پروجکشن تصویر، معیار مناسبی برای جدایی این سه شیء از یکدیگر میباشد. بدین منظور نخست مقادیر حداکثر مقدار منحنی(MAX) و سطح زیر منحنی (AREA) را محاسبه کرده و پس از آن مقادیر زیر را محاسبه میکنیم:

$$P_r = \frac{Area}{Max} \qquad (۳)$$

$$P_r' = \text{دامنه‌ای که منحنی درآن غیر صفر است} \qquad (۴)$$

اگر $P_r' - P_r > T_r$ باشد، یا توپ و یا ترکیب توپ و لبه داریم و در غیر اینصورت فقط لبه داریم. در حقیقت تفاضل $P_r' - P_r > T_r$ میزان مستطیل شکل بودن منحنی پروجکشن را مشخص می‌کند. T_r (آستانهٔ لازم برای تشخیص توپ از لبه) با آزمایش و خطا برای فواصل مختلف بدست می‌آید. پس از قسمت‌بندی تصویر میتوان از مرکز ثقل جسم قسمت‌بندی شده یا محل تقاطع دو قطر مستطیل محاط کنندهٔ جسم، بعنوان نقطهٔ شاخص جسم استفاده کرده و بوسیلهٔ یک کنترل کننده

PD با فیدبک تصویری، ربات را به سمت جسم هدایت می‌کنیم.

۴) موقعیت‌یابی اشیاء با استفاده از شبکهٔ عصبی

اولین گام در یک سیستم رباتیک که از بینایی برای تشخیص و موقعیت‌یابی اشیاء و همچنین هدایت ربات استفاده می‌کند، واسنجی دوربین(Camera Calibration) است. واسنجی هندسی دوربین به معنای فرآیند اندازه‌گیری و سنجش برخی از پارامترهای آن می‌باشد که ارتباط بین مختصات نقاط واقع در صحنه و مختصات تصاویر آن نقاط در صفحهٔ تصویر را مشخص می‌کنند. این فرایند در مواردی به یک مسئله پیچیده بهینهٔ سازی تبدیل می‌شود[۱۳، ۱۴]. بدست آوردن این رابطه که تابع انتقال هندسی دوربین نیز نامیده می‌شود از دو جهت حائز اهمیت است: ۱) تعیین موقعیت اجسامی که در تصویر دیده می‌شوند، ۲) تعیین موقعیت و جهت یک دوربین متحرک نسبت به یک دستگاه مختصات خاص(کاربرد عمده این دسته از اطلاعات در هدایت و کنترل رباتها و وسایل نقلیه است). با استفادهٔ از این رابطه می‌توان مکان دقیق تصویر هر یک از نقاط صحنه را که در میدان دید دوربین هستند تعیین نمود. اما عکس این کار تنها با استفاده از یک دوربین امکان‌پذیر نیست. اگر دو دوربین واسنجی شده در اختیار داشته باشیم که هر دو به یک صحنه مشترک نگاه کنند، با تعیین خط دید هر نقطهٔ دلخواه و مشترک در تصاویر آنها و بدست آوردن نقطهٔ برخورد این دو خط دید، میتوان مکان آن نقطه در دستگاه مختصات جهانی را تعیین کرد[۱۵]. روشهای متفاوتی برای واسنجی دوربین وجود دارد که تفاوت آنها در نحوهٔ برخورد هرروش با تابع انتقال هندسی می‌باشد. این روشها به دو دستهٔ صریح و ضمنی تقسیم می‌شود[۱۵، ۱۶]. در روشهای صریح هدف بدست آوردن مقادیر همه یا برخی از پارامترهای تابع انتقال هندسی، شامل پارامترهای ذاتی و خارجی دوربین است. در بسیاری از کاربردها بدست آوردن پارامترهای دوربین ضرورتی ندارد. در چنین مواقعی از روشهای ضمنی که هدف اصلی آنها بدست آوردن یک رابطه(نگاشت) بین مختصات نقاط صحنه و مختصات دوبعدی تصویر آنها است استفاده می گردد. در این روشها با در دست داشتن مختصات تعدادی از نقاط صحنه و مختصات تصاویر متناظرشان روی صحنه تصویر یک نگاشت تصویری معکوس، از صفحهٔ تصویر، به صحنه واقعی بدست می‌آید. تعداد این نقاط باید به اندازه کافی باشد و بگونه ای انتخاب گردد که در تمام قسمت‌های میدان دید دوربین قرار داشته باشند.

در میان سیستم‌های بینایی ماشین، سیستم‌های با یک دوربین(شکل(۹)) بدلیل سادگی، ارزانی و قابلیت انعطاف بالا در رباتهای متحرک خودکار بسیار مورد علاقه هستند[۱۷]. این سیستم‌ها برای شناخت محیط و موقعیت‌یابی(اشیاء و ربات) از نگاشتی بین صفحهٔ تصویر و صفحهٔ دو بعدی مسیر استفاده می‌کنند. این روش با دو مشکل حساسیت به نویز و پیچیدگی فرایند واسنجی روبروست. این روشها برای بدست آوردن صحیح نگاشت مذکور به مقدار صریح موقعیت(ارتفاع) و زاویهٔ دید دوربین نسبت به صفحهٔ دو بعدی مسیر احتیاج دارند. روابط بازگشتی برای بدست آوردن موقعیت شامل تعدادی زیادی از توابع سینوس و کسینوس زاویهٔ دوربین است، بنابراین این روش بسیار به تغییرات زاویهٔ دید دوربین حساس هستند(بخصوص اگر دوربین متحرک باشد). همچنین در این روش فرایند واسنجی شامل تعیین موقعیت و زاویهٔ دید دوربین نسبت به صفحهٔ دو بعدی مسیر در فضای دوربین می‌باشد که این باعث پیچیدگی فرایند واسنجی می‌شود.

با توجه به در دست نبودن الگوهای خاص واسنجی برای بدست آوردن این مجموعه نقاط لازم به منظور ایجاد این نگاشت از الگوی شکل(۱۰) استفاده شد. این الگو بگونه‌ای طراحی شده، که تمام محدودهٔ دید دوربین را بپوشاند و حاوی تعداد نقاط کافی برای ایجاد نگاشت باشد. خطوط دورتر ضخیم‌تر انتخاب شد بگونه‌ای که براحتی در تصویر دیده شوند. دوربین باید در محل اصلی بگونه‌ای مناسب تنظیم شود. بعد از گرفتن این تصویر، مختصات محل تقاطع خطوط در صفحهٔ تصویر و صفحهٔ دوبعدی مسیر بدست می‌آید. بدین ترتیب مجموعه داده‌های (X_P,Y_p) مختصات نقاط در صفحهٔ تصویر و (X_W,Y_W) مختصات نقاط در صفحهٔ دوبعدی مسیر بدست می آیند. استخراج این نقاط با مقداری نویز همراه است

چرا که نقـاط برخـورد در صـفحهٔ تصـویر بصـورت چشـمی انتخاب شده است. از آنجائی که شبکه‌هـای عصـبی مصـنوعی یک ابزار مناسب برای ایجاد نگاشت ورودی خروجـی هسـتند از شبکه عصبی بدین منظور استفاده شـد. شـبکه‌هـای عصـبی مصنوعی از تعداد زیادی عناصر محاسباتی غیرخطی بنام نـرون تشکیل شده که به موازات یکدیگر کار مـی‌کننـد و طـوری در کنارهم قرار گرفته‌اند کـه یـادآور شـبکه‌هـای عصـبی زیسـتی هستند. این عناصر محاسـباتی از طریـق وزنهـایی تطبیقـی کـه معمولاً برای افزایش کـارایی شـبکه در هنگـام اسـتفادهٔ تغییـر می‌کنند به هم متصل شده اند. شـبکه‌هـای عصـبی عـلاوه بـر قابلیت آموزش و یـادگیری دارای سـرعت محاسـباتی بـالایی بوده، همچنین توانایی تحمـل خطـای بسـیار بـالایی دارنـد و بنابراین از پایداری بیشتری برخوردار هستند. این شبکه‌ها یـک ابزار مناسب برای ایجاد نگاشت ورودی – خروجی به حساب می‌آیند و توانایی ایجاد نگاشت‌های غیرخطی بسیار پیچیـده‌ای را دارند[۱۸، ۱۹].

شبکه‌های عصبی انواع مختلفی دارنـد ماننـد شـبکهٔ عصـبی پرسپترون چند لایه و شبکهٔ عصبی هاپفیلد که هر کـدام دارای کاربرد خاص خود می‌باشد. تفاوت این شبکه‌ها در توپولـوژی شبکه، مشخصات نرون و قاعدهٔ آموزش یا یادگیری مـی‌باشـد. قاعدهٔ آموزش، مجموعه‌ای از وزنهای اولیـه را تعیـین کـرده و مشخص می‌کند که وزنهـا چگونـه بایـد در هنگـام اسـتفاده از شبکه تطبیق داده شود[۱۸، ۱۹]. برای ایجاد نگاشت ورودی – خروجی از یک شـبکهٔ عصـبی پرسـپترون چنـد لایـه اسـتفاده گردید. این شبکه از دو نرون ورودی، یک لایـهٔ مخفـی شـامل پنج نرون با تابع فعالیت تانژانت هیپربولیک، دو نرون خروجی با تابع فعالیت خطی و قانون آموزشی پس انتشار خطا تشـکیل شـده اسـت(شـکل(۱۱)). شـبکه بـا نیمـی از مجموعـه هـای آموزشـی (X_P,Y_p) و (X_W,Y_W) بصـورت کـاملا تصـادفی آموزش می بیند. بعلت خطای زیاد نقاط دور و بدلیل مشهودتر بودن اثرات ناشی از غیر خطـی بـودن دوربـین در ایـن نقـاط، همچنـین بـه منظـور ایجـاد نگاشـتی صـحیح از دو شـبکه بـا ساختاری مشابه استفاده گردید. بـرای آزمـایش شـبکه از کـل داده‌های مجموعه آموزشی استفاده شده است. بـرای ایـن کـار تمام مجموعه داده‌های (X_P,Y_p) به شبکهٔ عصبی آموزش دیـده اعمـال شـد. در هـر حالـت فاصـلهٔ اقلیدسـی بـین مختصـات (X_W,Y_W) بدسـت آمـده از شـبکه عصـبی آمـوزش دیـده و (X_W,Y_W) متناظر با آن در مجموعه داده‌های آموزشی بعنوان خطا در نظر گرفته شده است. نتایج بدست آمده بسیار رضایت بخش می‌باشد. ایـن روش عـلاوه بـر سـادگی و دقـت بسـیار خوب، از مقاومت خوبی در برابر نـویز نیـز برخـوردار اسـت. برای نقاط نزدیک ربات در بدترین شرائط خطـائی حـدود دو میلی متر(شکل(۱۲)) و برای نقاط دور نیز در بـدترین شـرائط خطائی حدود هشت میلی متر(شکل(۱۳)) بدست آمد که ایـن خطا با نزدیک شدن ربات به جسم کاهش خواهد یافـت. ایـن روش با توجه به مزایای بیان شده مـی‌توانـد در موقعیـت‌یـابی اجسام و ربات بسیار کارآمد باشد.

۵) نتایج تجربی

مطالب بیان شده در ربات متحرکی که به منظور شـرکت در مسابقات سراسری رباتیک ایران طراحی و سـاخته شـد مـورد استفاده قرار گرفت. این ربات مجهز به یک دوربین سی‌سی‌دی برای آشکارسازی، جمع آوری و ترابری اجسام به مقصـدهای متفاوت است(شکل(۱۴)).

ربات مذکور یک ربات متحـرک ۳ چـرخ بینـا بـا دو چـرخ محرک مستقل و یـک چـرخ آزاد جدیـد اسـت کـه دارای دو موتور پله‌ای مجهز به انکودر و کنترلرهای خاص، یک بـازوی مجهز به حسگرهای لامسه و حسگرهای فروسرخ خاص برای رهگیری خطوط نشانه میباشد. به منظور هدایت ایـن ربـات از یک ساختار ترکیبی که یک سازمان لایـه‌ای را بـا یـک تجزیـهٔ رفتارگرا از لایهٔ اجراء ترکیب می‌کند، استفاده شده اسـت. ایـن ربات قابلیت حرکت در محیطهای صاف و همـوار را داشـته و می‌تواند با استفاده از سنسورهای موجود بر روی آن محـیط را شناسائی کرده و بنا به شرائط واکنشهای لازم را از خود نشـان دهد. همچنین قابلیت ترابری اجسام خاصی را بوسـیلهٔ بـازوی خویش دارد.

۶) بحث و نتیجه گیری

همانگونه که ملاحظه گردید استفاده از تابع انطباق رنگ برای قسمت بندی تصاویر رنگی علاوه بر سادگی از کارایی خوبی نیز برخوردار است. در چنین مواردی استفاده از تابع انطباق رنگ بهمراه یکی از روشهای آستانه گیری خودکار میتواند بسیار موثر باشد. همچنین در سیستمهای بینایی ماشین با یک دوربین استفاده از نگاشت ورودی–خروجی راه حل بسیار مناسبی برای پرهیز از فرایند پیچیده و زمانگیر واسنجی دوربین است. در این میان ایجاد چنین نگاشتی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی راهکاری ساده و کارا می‌باشد.

۷) مراجع

1- H.Poole, "Fundumentals of Robotics Engineering", VAN Nostrand Reinkol, 1981.

2- R.Jain & R.Kasturi, ...,"Machine Vision", McGrawHill, Inc.1995.

۳- م. سعادتمند، م. ملبوبی و ... " الگوریتمی جدید بر اساس الگوریتمهای ژنتیکی برای آشکار سازی رنگ ... " دهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، ۱۳۸۱.

4- K.B.Eum & J.Lee, "Color Image Segmentation using Possibilistic Approach" Proc.IEEE, International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Vol.2, P:1150-1155, 1996.

5- R.Bujesy & S.W.Lee, "Color Image Segmentation with Detection and Illumination Induced by Inter Reflection" Proc.IEEE, International Conference on Pattern Recognition, Vol.1, P:785-790, June.1990.

6- A.Moghaddamzadeh & N.Bourbakis, "A Ffuzy Technique for Image Segmentation of Color Images" Proc.IEEE, World Congress on Comptational Intelligence, Vol.1, P:83-88, June.1994.

7- M.S.Drew, J.wei & Z.N.Li, "Illumination On-Invariant Color Object Recognition Via Compressed Chromaticy Histograms of Color Channel Normalized Images" Proc.IEEE, International Conference on Computer Vision, P:533-540, Jan.1998.

8- N.KehtaranVaz, J.Monaco, …, "Color Image Segmentation using MultiScale Clustering" Proc.IEEE, Symposium on Image Analysis and Interpretation, P:142-147, 1998.

9- N.Vandenbroucke, L.Macaire, …, "Color Pixels Classification on Hybrid Color Space" Proc.IEEE, International Conference on Image Processing, Vol.1, P:176-180, 1998.

10- A.N.Netravali & B.G.Haskell, "Digital Pictures Repsentation and Compression", Plenum, 1989.

11- R.C.Gonzalez & R.E.Woods, "Digital Image Processing", Addison- Wesely Pub. 1996.

12- M.Sonka, V.Hlavac & R.Boyle, "Image Processing Analysis and Machine Vision", Thomson, 1993.

13- X.W.Tu, …, "CCD Camera Modal and its Physical Characteristic Consideration in Calibration Task for Robotics" IEEE, International Workshop on Robot and Human Communication, 1992.

14- R.Horaud, …, "Linear Camera Calibration" Proc.IEEE, International Conference on Robotics and Automation, May.1992.

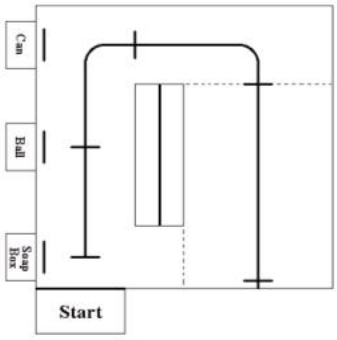
۱۵– علی حسینی، "کالیبراسیون هندسی دوربین‌های حرارتی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ریاضیات کاربردی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۷۸.

16- G.Q.Wei & S.D.Ma, "Implicit and Explicit Camera Calibration:theory and Experiments" IEEE, Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 16, No.5, May.1994.

17- M.XIE & M.H.Shaw, "A Single Camera Vision System for the Guidance of AGV".

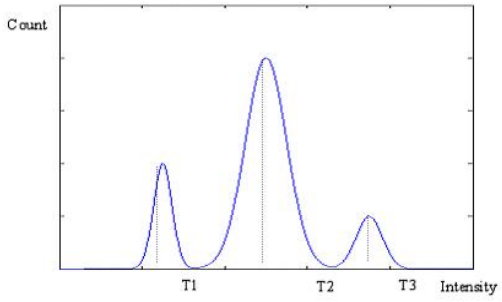
18- S.Haykin, "Neural networks: A comprehensive Foundation" Prentice-Hall, 1999.

۱۹– رضا الفتی صابر، "درآمدی بر محاسبه با شبکه‌های عصبی" مجلهٔ برق شریف، سال اول، شمارهٔ ۱، پاییز ۱۳۷۲

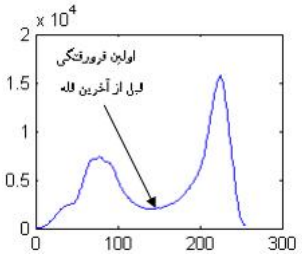


شکل(۱) زمین مسابقه.

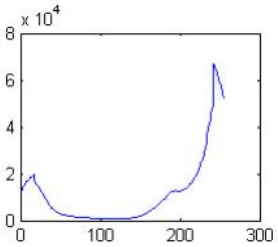
شکل(۲) اجسام موجود در زمین مسابقه و تصویر نمونه.



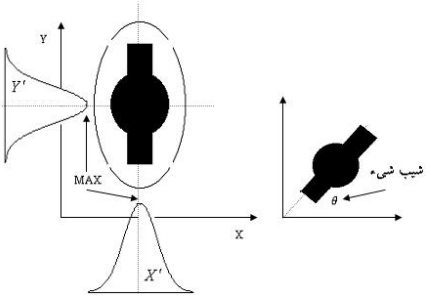
شکل(۳) هیستوگرام تصویر چند شیئ.



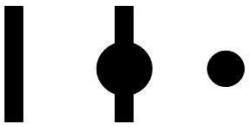
شکل(۵) نمونه‌ای از قسمت بندی رنگ زرد



شکل(۴) هیستوگرام تصویر نمونه و نتیجهٔ قسمت بندی در این حالت.

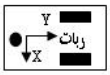


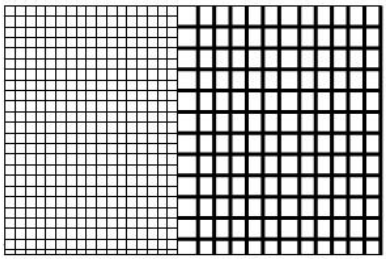
شکل(۸) نحوهٔ تشخیص توپ از لبه.



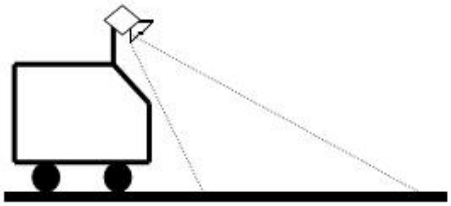
شکل(۷) حالات مختلف آشکار سازی رنگ زرد.

شکل(۶) قسمت بندی رنگ قرمز.

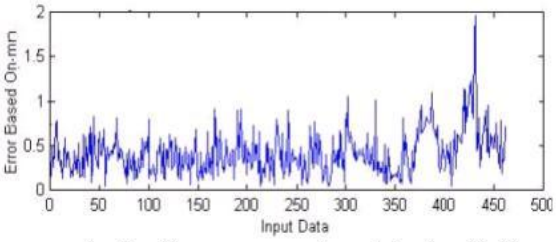




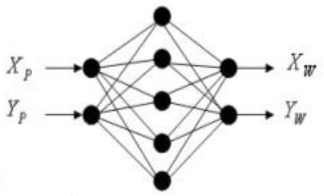
شکل(۱۰) الگوی واسنجی.



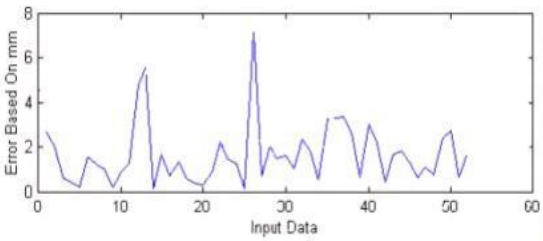
شکل(۹) ربات بینا با یک دوربین.



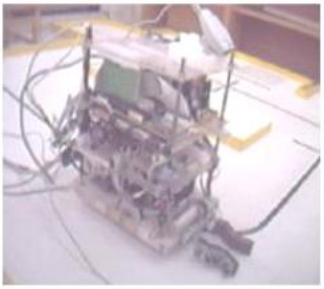
شکل(۱۲) خطای شبکهٔ عصبی آموزش دیده شده در نقاط نزدیک ربات.



شکل(۱۱) ساختار شبکهٔ عصبی مورد استفاده.



شکل(۱۳) خطای شبکهٔ عصبی آموزش دیده شده در نقاط دور از ربات.



شکل(۱۴) ربات طراحی و ساخته شده.