



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

گروه هوش مصنوعی

پایان نامه کارشناسی ارشد

هوشمندسازی سیستم‌های بدنسازی

با استفاده از هوش تقویتی

مهدی مهری

اساتید راهنما:

دکتر علی اکبر پویان

دکتر وحید ابوالقاسمی

استاد مشاور:

مهندس هما منصوری

بهمن ۱۳۹۴

تقدیم بہ پیشگاہ مقدس حضرت صاحب الزمان (عج) ارواحنا

لتراب مقدمہ الفداء

و

مہربانان عزیز تر از جانم

پدر و مادر و سوز و فداکارم

و بہانہ زندگی ام

مشکر و قدردانی

حمد و سپاس خدای را، آن نخستین بی پیشین را و آن آخرین بی پسین را، اورا
سپاس می گوئیم، چنان سپاسی که چون در میان سپاس گزارانش زیستن گیریم،
همواره با ما باشد و ابواب علم ربوبیت خویش را به روی ما بگشاید.
لازم می دانم از راهبانی های بی دریغ استاد فرزانه، جناب آقای دکتر علی اکبر
پویان و جناب آقای دکتر وحید ابوالقاسمی، مشکر و قدردانی نمایم. هر چند این

پاس، جو ابکوی تمام عیار ہدایت ہای بی شائبہ بی دور و نزدیک ایشان نیست.
ہم چنین مشورت ہای خانم مهندس ہما منصور ی، استاد مشاور این رسالہ را ارج
می نمم.

از سایر استادان گرا تقدردان شدہ جناب آقای دکتر حمید حسن پور، جناب آقای
دکتر زاہدی و سرکار خانم دکتر مشایخی، کمال تشکر را دارم.

تعهدنامه

اینجانب مهدی مهروی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته هوش مصنوعی دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه هوشمندسازی سیستم‌های بدنسازی با استفاده از هوش تقویتی، تحت راهنمایی دکتر علی‌اکبر پویان و دکتر وحید ابوالقاسمی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود است و مقالات مستخرج با نام "دانشگاه صنعتی شاهرود" و یا "shahrood university of technology" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه ارائه شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در صورتی که از موجود زنده استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه‌ی اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود است. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نیست.

چکیده

حرکت‌های هماهنگی عصب-عضله از جمله حرکت‌های اساسی در تمرین‌های ورزشی مختلف است. در این حرکت‌ها، گروهی از عضلات با کنترل و نظارت حافظه‌ی حرکتی و با کمک دیگر عضلات می‌توانند حرکت‌ها و مهارت‌های بسیار پیچیده و ظریفی را اجرا کنند. در سیستم‌های ورزشی فعلی تمرین‌ها به صورت یکنواخت است و توجهی به نقاط ضعف و قوت افراد نمی‌شود. این امر سبب می‌شود که ورزشکاران نتوانند تمرین‌های مناسب برای تقویت نقاط ضعف خود را انجام دهند. در این پایان‌نامه به منظور رفع مشکل مطرح‌شده، سیستمی طراحی و پیاده‌سازی شده است که می‌تواند متناسب با توانایی هر ورزشکار، تمرین مناسب را به او پیشنهاد دهد. سیستم پیشنهادی به صورت یک شبکه‌ی بی‌سیم و متشکل از چند گره مجزا است که توسط یک نرم-افزار مبتنی بر الگوریتم یادگیری تقویتی¹ کنترل می‌شود. در این دستگاه از کاربر خواسته می‌شود به فعال شدن هر گره واکنش نشان دهد. مدت زمان فعال بودن هر گره به عنوان پاداش برای سیستم تلقی می‌شود و در ادامه تمرین تمایل بیشتری برای روشن کردن دوباره‌ی آن گره دارد. این عمل باعث می‌شود که عضلات ضعیف کاربر نسبت به سایر عضلات بیشتر تمرین کنند. نتیجه این فرآیند تقویت عضله ضعیف‌تر است.

در این پایان‌نامه از یک ورزشکار خواسته شد تا در طول یک روز ۱۰ مرتبه با دستگاه تولید شده تمرین کند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که استفاده از دستگاه تولید شده باعث افزایش سرعت عکس‌العمل عضلات ضعیف فرد و تناسب سرعت دست و پای ورزشکار شده است.

کلمات کلیدی: سیستم‌های ورزشی هوشمند، تمرین عصب-عضله، یادگیری تقویتی، شبکه حسگر بی‌سیم.

¹ Reinforcement learning

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱- مقدمه
۲	۲-۱- سیستم حرکت‌های هماهنگ عصب-عضله
۵	۳-۱- مزایای سیستم طراحی و پیاده‌سازی شده
۷	۴-۱- معایب سیستم طراحی و پیاده‌سازی شده
۷	۵-۱- کاربردهای سیستم طراحی و پیاده‌سازی شده
۸	۶-۱- نتیجه‌گیری
۹	فصل دوم: مروری بر کارهای پیشین
۱۰	۱-۲- مقدمه
۱۰	۲-۲- یادگیری تقویتی
۱۱	۱-۲-۲- عامل و محیط
۱۲	۲-۲-۲- اهداف و پاداش
۱۳	۳-۲-۲- تابع ارزش
۱۴	۳-۲- تعریف و ویژگی‌های شبکه‌های حسگر
۱۵	۱-۳-۲- سیستم‌های توزیع‌شده
۱۶	۲-۳-۲- سیستم‌های فراگیر
۱۷	۳-۳-۲- شبکه‌های حسگر
۱۸	۴-۳-۲- اهداف بهینه‌سازی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم
۳۶	۴-۲- نتیجه‌گیری

فصل سوم: هوشمندسازی سیستم‌های بدنسازی با استفاده از یادگیری تقویتی ۳۷

۳-۱- مقدمه ۳۸

۳-۲- ساختار سخت‌افزاری ۳۸

۳-۲-۱- گره مرکزی (سرور) ۳۸

۳-۲-۲- گره‌های جانبی ۳۹

۳-۳- اجزای اصلی تشکیل‌دهنده‌ی سیستم طراحی و پیاده‌سازی شده ۴۱

۳-۴- آزمون‌های سخت‌افزاری انجام شده ۴۸

۳-۴-۱- ماژول گیرنده و فرستنده NRF24L01+ ۴۹

۳-۴-۲- ماژول تشخیص حرکت مادون‌قرمز HC-SR501 ۵۰

۳-۵- ساختار نرم‌افزاری ۵۱

۳-۵-۱- برنامه‌ی نوشته شده در سیستم عامل اندروید ۵۴

۳-۵-۲- کدگذاری ۵۴

۳-۶- نتیجه‌گیری ۶۲

فصل چهارم: یافته‌ها و نتایج ۶۳

۴-۱- مقدمه ۶۴

۴-۲- نحوه‌ی دریافت داده از سیستم طراحی و پیاده‌سازی شده ۶۴

۴-۳- تمرین با روش انتخاب تصادفی ۶۸

۴-۴- تمرین با روش انتخاب هوشمند ۷۱

۴-۵- مقایسه‌ی نتایج به دست آمده از روش انتخاب تصادفی و روش انتخاب هوشمند ۷۴

۴-۶- نتیجه‌گیری ۷۷

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای ادامه‌ی کار ۷۹

۵-۱- نتیجه‌گیری ۸۰

۵-۲- پیشنهادها برای ادامه‌ی کار ۸۱

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۳	شکل (۱-۱): نمای کلی سیستم هوشمند تمرینات عصب-عضله ۳
۲۸	شکل (۱-۲): کفش هوشمند [۳۴] ۲۸
۲۹	شکل (۲-۲): کفش هوشمند فوتبال [۳۵] ۲۹
۳۰	شکل (۳-۲): سیستم RUNSCRIBE [۳۶] ۳۰
۳۱	شکل (۴-۲): کفی هوشمند [۳۷] ۳۱
۳۲	شکل (۵-۲): لباس هوشمند [۴۰] ۳۲
۳۳	شکل (۶-۲): مچ‌بند ورزشی [۴۲] ۳۳
۳۴	شکل (۷-۲): محافظ دندان هوشمند [۴۳] ۳۴
۳۵	شکل (۸-۲): سیستم تحلیل داده‌های ورزشی [۴۴] ۳۵
۳۵	شکل (۹-۲): سیستم تحلیل داده‌های فیزیکی کاربر [۴۵] ۳۵
۳۶	شکل (۱۰-۲): سیستم هماهنگ‌کننده‌ی عصب-عضله [۴۶] CARDIOWALL ۳۶
۳۹	شکل (۱-۳): تصویر مدار سیستم مرکزی ۳۹
۴۰	شکل (۲-۳): تصویر مدار سیستم جانبی ۴۰
۴۱	شکل (۳-۳): ماژول بلوتوث HC-05 [۴۷] ۴۱

- شکل (۳-۴): ماژول HMTRP [۴۸] ۴۳
- شکل (۳-۵): آنتن ماژول HMTRP [۴۹] ۴۴
- شکل (۳-۶): میکروکنترلر ATMEGA8 [۴۹] ۴۶
- شکل (۳-۷): ماژول فاصله‌سنج GP2Y0A21YK [۵۰] ۴۷
- شکل (۳-۸): رابطه‌ی ولتاژ خروجی فاصله‌سنج با فاصله‌ی جسم [۵۰] ۴۷
- شکل (۳-۹): ماژول گیرنده و فرستنده NRF24L01 [۵۱] ۵۰
- شکل (۳-۱۰): ماژول تشخیص حرکت مادون‌قرمز HC-SR501 [۵۲] ۵۱
- شکل (۳-۱۱): تصویر نرم‌افزار اندروید مربوط به سیستم طراحی و پیاده‌سازی شده ۵۴
- شکل (۳-۱۲): ساختار پیام‌های تبادل شده ۵۵
- شکل (۳-۱۳): روند ارسال پیام توسط تبلت و دریافت آن توسط گره‌های جانبی ۵۶
- شکل (۳-۱۴): نمونه‌ی دیگری از ارسال پیام توسط تبلت و نمایش تأثیر آن بر سیستم ۵۷
- شکل (۳-۱۵): وضعیت گره اصلی هنگام دریافت پیام از تبلت و ارسال آن به سایر گره‌ها ۵۷
- شکل (۳-۱۶): وضعیت گره جانبی هنگام دریافت پیام از گره اصلی و فعال شدن ۵۸
- شکل (۳-۱۷): عملکرد میکروکنترلر ATMEGA8 موجود در گره جانبی هنگام دریافت پیام ۵۹
- شکل (۳-۱۸): روند ارسال پیام توسط گره جانبی غیرفعال شده و دریافت آن توسط تبلت ۶۰
- شکل (۳-۱۹): روند ارسال پیام توسط گره جانبی غیرفعال شده و دریافت آن توسط تبلت ۶۱
- شکل (۳-۲۰): عملکرد گره جانبی هنگام دریافت فرمان غیرفعال شدن از کاربر و ارسال پیام به گره اصلی ۶۱

- شکل (۳-۲۱): وضعیت گره اصلی هنگام دریافت پیام از تبلت و ارسال آن به سایر گره‌ها..... ۶۲
- شکل (۴-۱): نحوه‌ی قرار گرفتن نودها در اطراف کاربر ۶۵
- شکل (۴-۲): سیگنال دریافتی از کاربر ۶۶
- شکل (۴-۳): گراف مربوط به حرکت‌های ورزشکار ۶۸
- شکل (۴-۴): میانگین سرعت کاربر بر روی هر عضله در هر مرحله با استفاده از الگوریتم انتخاب تصادفی..... ۶۹
- شکل (۴-۵): دفعات روشن شدن گره‌ها در هر مرحله با استفاده از الگوریتم انتخاب تصادفی ۷۱
- شکل (۴-۶): میانگین سرعت کاربر بر روی هر عضله در هر مرحله با استفاده از الگوریتم انتخاب هوشمند ۷۲
- شکل (۴-۷): دفعات روشن شدن گره‌ها در هر مرحله با استفاده از الگوریتم انتخاب هوشمند ۷۴

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۴۲	جدول (۱-۳): ویژگی‌های ماژول بلوتوث HC-05.....
۴۵	جدول (۲-۳): مشخصات کلی میکروکنترلر ATMEGA8 [۴۹].....
۴۸	جدول (۳-۳): مشخصات کلی ماژول فاصله‌سنج SHARP [۵۰].....
۴۹	جدول (۴-۳): مشخصات ماژول گیرنده و فرستنده NRF24L01+ [۵۱].....
۵۱	جدول (۵-۳): مشخصات ماژول تشخیص حرکت مادون قرمز HC-SR501 [۵۲].....
۶۶	جدول (۱-۴): سرعت کاربر بر روی هر عضله (۷۰ حرکت).....
۶۹	جدول (۲-۴): میانگین سرعت کاربر بر روی هر عضله در هر مرحله با استفاده از الگوریتم انتخاب تصادفی.....
۷۳	جدول (۳-۴): میانگین سرعت کاربر بر روی هر عضله در هر مرحله با استفاده از الگوریتم انتخاب هوشمند.....
۷۵	جدول (۴-۴): میانگین کل سرعت هر عضله در دو روش انتخاب تصادفی و انتخاب هوشمند.....
۷۶	جدول (۵-۴): مقایسه نتایج برای دست راست.....
۷۶	جدول (۶-۴): مقایسه نتایج برای دست چپ.....
۷۷	جدول (۷-۴): مقایسه نتایج برای پای راست.....
۷۷	جدول (۸-۴): مقایسه نتایج برای پای چپ.....

فصل اول:

مقدمه

۱-۱- مقدمه

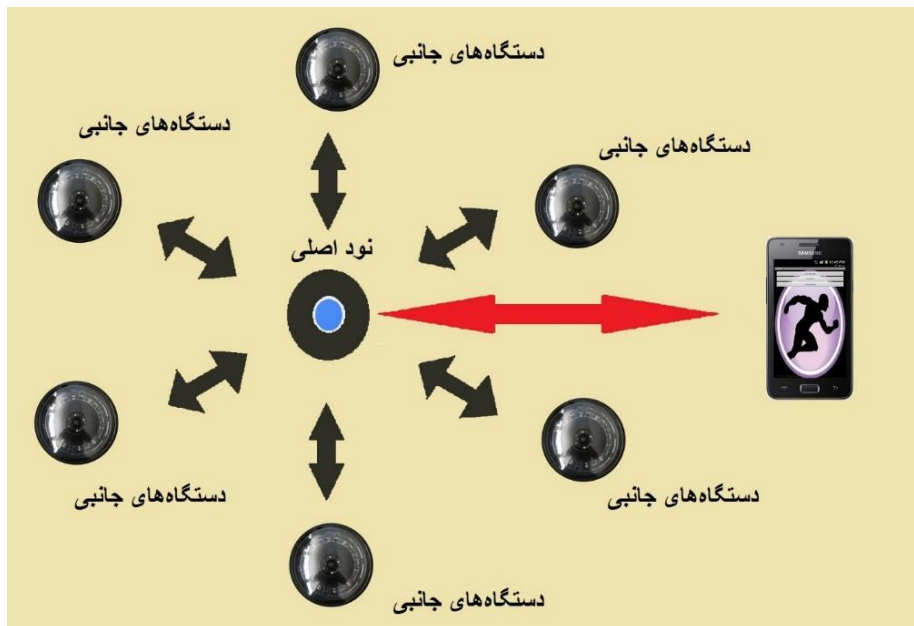
استفاده از الکترونیک نیمه هوشمند در ورزش مدت‌هاست در جهان رایج شده و هرروز ابداع تجهیزات جدید به ورزشکاران کمک می‌کند تا عملکردشان را بهبود ببخشند. امروزه بر همگان ثابت شده است که فناوری نقش مهمی در ورزش ایفا می‌کند که این نقش در بخش‌های مختلف ورزشی مانند داوری و تمرینات قابل مشاهده است. با توجه به اینکه در تمرینات ورزشی تنوع وجود ندارد باعث می‌شود تا تمام عضلات ورزشکار به صورت یکنواخت تقویت نشوند و فقط عضلاتی خاص قوی شوند. این امر موجب عدم تعادل در بدن ورزشکار می‌شود به همین دلیل طراحی و پیاده‌سازی سیستمی که بتواند به هر ورزشکار متناسب با توانایی‌هایش تمرین مناسب را پیشنهاد دهد ضروری به نظر می‌رسد. در این فصل به توضیح کلی موضوع و هدف پایان‌نامه و بیان مزایا و کاربردهای آن پرداخته می‌شود.

۱-۲- سیستم حرکتهای هماهنگ عصب-عضله

حرکتهای هماهنگی عصب-عضله از حرکتهای متداول در تمرین‌های ورزشی است. در این حرکتهای، عضلات با کمک یکدیگر می‌توانند حرکتهای و مهارتهای بسیار پیچیده را با کنترل و نظارت حافظه‌ی حرکتی به اجرا دریاورند [۱]. برای مثال، در ورزش‌هایی مانند کشتی، تکواندو و فوتبال در یک لحظه چند گروه عضلانی با یکدیگر مهارت حرکتی را انجام می‌دهند. یکی از تمرین‌های مفید برای هماهنگی عصب-عضله انجام حرکت-های بلادرنگ است. این حرکتهای به این صورت است که سیستم از کاربر درخواست می‌کند حرکتی را انجام دهد و کاربر نیز به محض دریافت پیام برای انجام آن حرکت اقدام می‌کند. بدین ترتیب سرعت و دقت فرد در انجام حرکتهای عصب-عضله مشخص می‌شود.

در سیستم‌های ورزشی فعلی توجهی به نقاط ضعف و قوت افراد نمی‌شود. این امر سبب می‌شود که ورزشکاران نتوانند تمرین‌های مناسب برای تقویت نقاط ضعف خود را انجام دهند. بنابراین پیشنهاد تمرینات متناسب با توانایی‌های هر ورزشکار یک مسئله مهم به شمار می‌رود.

هدف از این پایان‌نامه، طراحی و پیاده‌سازی سیستمی است که نقاط قوت و ضعف ورزشکاران را به‌صورت هوشمند تشخیص داده و تمرین‌های مناسب با توانایی ورزشکاران را به آن‌ها پیشنهاد دهد. به‌منظور رفع مشکل مطرح‌شده، سیستمی را طراحی و پیاده‌سازی کرده‌ایم که می‌تواند متناسب با توانایی هر ورزشکار، تمرین مناسب را به او پیشنهاد دهد. در این پایان‌نامه سیستم به‌صورت هوشمند نقاط قوت و ضعف افراد را با استفاده از الگوریتم یادگیری تقویتی تشخیص می‌دهد. سپس با استفاده از این اطلاعات، سیستم به‌گونه‌ای عمل می‌کند که در تمرینات بعدی، عضلات ضعیف فرد بیشتر به کار گرفته شوند.



شکل (۱-۱): نمای کلی سیستم هوشمند تمرینات عصب-عضله

با توجه به اینکه سیستم طراحی و پیاده‌سازی شده بر اساس الگوریتم یادگیری تقویتی در شبکه‌ی حسگر بی‌سیم است به توضیح اجمالی در این‌باره پرداخته می‌شود.

یادگیری تقویتی یکی از حوزه‌های یادگیری ماشین است که امروزه یکی از بیشترین موضوعات مطرح در هوش مصنوعی است. ساموئل^۱ از اولین کسانی بود که روی یادگیری ماشین کار می‌کرد. او از سیگنال‌های پاداش که یک مؤلفه‌ی کلیدی در یادگیری تقویتی پیشرفته هستند، استفاده نمی‌کرد. اما ساتن^۲ روی سیگنال-های پاداش کار کرد و بعضی از تکنیک‌ها را گسترش داد [۲].

هدف اصلی از یادگیری، یافتن شیوه‌ای برای عملکرد در حالات مختلف است که این شیوه با در نظر گرفتن معیارهایی مناسب در مقایسه با سایر روش‌ها بهتر عمل می‌کند. هنگامی می‌توان گفت یادگیری اتفاق افتاده است که عاملی بر اساس تجربیاتی که کسب می‌کند، به نحوی دیگر بهتر عمل کند. در این صورت باید نحوی عملکرد عامل در اثر کسب اطلاعات جدید، متفاوت از نحوی عملکرد در زمان‌های قبل از کسب این اطلاعات باشد.

در دهه‌ی ۹۰ یادگیری تقویتی جذابیت زیادی بین محققان کسب کرد. در مقابل رویکرد محبوب یادگیری با ناظر که عامل از طریق مثال‌هایی که توسط ناظر خارجی آماده شده است آموزش می‌بیند، یادگیری تقویتی نیاز دارد که عامل به صورت مستقیم با تعامل با سیستم آموزش ببیند و به پاداش‌ها و جریمه‌های مبتنی بر اثر هر عمل در سیستم پاسخ دهد [۳].

در یادگیری تقویتی، هدف اصلی از یادگیری، رسیدن به هدف بدون آنکه عامل توسط اطلاعات مستقیم بیرونی تغذیه شود. در این روش، تنها مسیر اطلاع‌رسانی به عامل، از طریق یک سیگنال پاداش^۳ یا جریمه^۴ است تنها چیزی که از طریق سیگنال پاداش به عامل فهمانده می‌شود، این است که آیا تصمیم مناسبی گرفته است یا نه؟ در ادامه به توضیح اجمالی شبکه حسگر بی‌سیم پرداخته می‌شود [۴].

¹ Samuel

² Sutton

³ Reward

⁴

یک شبکه‌ی حسگر بی‌سیم عبارت است از تعداد زیادی حسگرهای کوچک با توان پایین در ارسال و دریافت، که می‌تواند ابزاری مؤثر برای گردآوری داده در محیط‌های گوناگون باشد. داده‌ی جمع‌آوری شده توسط هر حسگر، از طریق شبکه با مرکز پردازش ارتباط دارند که این داده‌ها برای تعیین مشخصات محیط یا شناسایی یک رویداد استفاده می‌شوند. فرآیند انتقال پیام باید بر اساس انرژی محدود منابع حسگرها طراحی شود [۵].

بررسی مسائل مطرح در شبکه‌های حسگر با توجه به شرایط منحصر به فرد آنها ضروری به نظر می‌رسد. پیشرفت‌هایی از ادغام تکنولوژی، محاسبه و ارتباطات بی‌سیم و همچنین ترکیب آنها در بسته‌های کوچک است. سیستم‌های کم‌قدرت می‌توانند به صورت یک پارچه در محیط‌های پیچیده‌ی فیزیکی جاسازی شوند.

گره‌های حسگرها، سنجش، پردازش سیگنال و قابلیت‌های ارتباطی را محدود کرده‌اند و معمولاً با باتری کار می‌کنند. شبکه‌های حسگر بی‌سیم برای به انجام رساندن وظایفی است که به سختی با سیستم‌های سنجش متداول و متمرکز قابل اجرا و انجام است [۶].

شبکه‌های حسگر بی‌سیم دارای برنامه‌های کاربردی مفید زیادی هستند و انتظار می‌رود که نقش مهمی را در برنامه‌های مختلف بازی کنند. از جمله مسائل مطرح در این شبکه‌ها، نحوه‌ی چیدمان حسگرها در راستای پوشش بیشتر و کنترل انرژی مصرفی در آنها برای استفاده‌ی بهینه و طولانی‌مدت حسگرها است [۷].

۱-۳- مزایای سیستم طراحی و پیاده‌سازی شده

۱. تشخیص نقاط قوت و ضعف بدن ورزشکاران به صورت هوشمند و بدون نیاز به دخالت انسان:

با توجه به الگوریتم‌های بکار رفته در این سیستم، تشخیص نقاط قوت و ضعف بدن ورزشکاران به صورت هوشمند در نرم‌افزار اندرویدی و بدون نیاز به دخالت انسان صورت می‌گیرد.

۲. امکان تشخیص توانایی ورزشکار و شخصی سازی تمرین‌ها: این سیستم توانایی این را دارد که با تحلیل داده‌های دریافتی از هر ورزشکار، توانایی‌های او را تشخیص داده و بر اساس آن تمرین مناسب را به فرد پیشنهاد دهد.
۳. دقت بالا در تشخیص نقاط قوت و ضعف: با توجه به هوشمندی سیستم و محاسبات دقیق صورت گرفته در الگوریتم یادگیری تقویتی، توانایی تشخیص نقاط قوت و ضعف بسیار بالا است.
۴. سهولت استفاده برای مربیان و ورزشکاران: استفاده از این سیستم به دلیل کاربرپسند بودن نرم‌افزار طراحی شده نیاز به آموزش پیچیده ندارد و به سهولت می‌توان آن را به کار گرفت.
۵. سهولت نصب و به‌کارگیری در محیط‌های مختلف: ساختار سیستم طراحی و پیاده‌سازی شده به‌گونه‌ای است که می‌توان آن را در محیط‌های مختلف نصب و راه‌اندازی کرد. این سیستم را می‌توان بر روی زمین، دیوار، تور، میله و مکان‌های دلخواه نصب کرد.
۶. انعطاف‌پذیری و قابلیت استفاده در تمرین‌های مختلف ورزشی: ساختار سیستم ورزشی طراحی و پیاده‌سازی شده به‌گونه‌ای است که می‌توان آن را در تمرین‌های مختلف ورزشی و پزشکی استفاده نمود.
۷. جذابیت و متنوع بودن برای کاربران: با توجه به نو بودن و ساختار جالب سیستم، استفاده از آن برای کاربران جذابیت و تنوع بالایی دارد.
۸. سهولت در حمل‌ونقل: حجم کم سیستم قابلیت حمل‌ونقل سیستم را آسان نموده است.
۹. برد بالای سیستم: مدل ماژول فرستنده‌ی استفاده‌شده در سیستم به‌گونه‌ای است که می‌تواند اطلاعات را در محیط باز تا مسافت یک کیلومتر ارسال نماید. این امر سبب می‌شود که بتوان گره‌ها را در مسافت‌های طولانی نسبت به هم قرار داد. این مزیت برای ورزش‌هایی مانند فوتبال و دومیدانی که در فضاهای باز انجام می‌شوند مناسب است.

۱-۴- معایب سیستم طراحی و پیاده‌سازی شده

۱. امکان چندین مرحله اکرار چند حرکت: با توجه به هوشمند بودن سیستم و تمرکز آن بر روی عضلات ضعیف، امکان دارد سیستم چند مرحله یک یا دو عضله را تمرین دهد که این امر باعث خستگی فرد می‌شود.
۲. گران بودن سیستم: با توجه به قطعات به کار رفته در سیستم طراحی شده، امکان خرید سیستم برای تمام افراد موجود نمی‌باشد.

۱-۵- کاربردهای سیستم طراحی و پیاده‌سازی شده

این سیستم می‌تواند بر اساس توانایی هر ورزشکار، تمرین مناسب را به او پیشنهاد دهد. بدین ترتیب هر عضله بر اساس میزان توانایی‌اش تمرین مناسب خود را انجام می‌دهد. این سیستم از یک نرم‌افزار برای تلفن‌های همراه اندرویدی استفاده می‌کند که به‌وسیله‌ی آن کاربر می‌تواند نتایج کار خود را همواره در اختیار داشته باشد و مورد ارزیابی قرار دهد. از جمله کاربردهای این سیستم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- ۱- از این سیستم می‌توان برای انجام تمرین‌های ورزشی مختلف استفاده نمود. یکی از موارد بسیار مناسب استفاده از این سیستم، تمرین‌های عصب-عضله و تمرین‌های انفجاری است. این‌گونه تمرین‌ها در بسیاری از ورزش‌ها مانند ورزش‌های رزمی، فوتبال و والیبال وجود دارند.
- ۲- از دیگر کاربردهای این سیستم استفاده از آن برای توان‌بخشی به معلولان جسمی حرکتی است. توان بخشی مجموعه اقدامات هدفمندی است که جهت قادرسازی شخص معلول و به‌منظور دستیابی به سطح نهایی توانایی و عملکرد جسمی و حسی و حفظ این توانایی‌ها انجام می‌شود. به‌وسیله‌ی این

سیستم می‌توان میزان معلولیت فرد را تشخیص داده و با توجه به آن، فرد معلول می‌تواند برخی تمرین‌های توان‌بخشی را انجام دهد.

۳- از این سیستم می‌توان برای استعدادیابی کودکان و نوجوان نیز استفاده نمود. این سیستم می‌تواند میزان تمرکز کودکان و نوجوانان بر روی عضلات مختلف بدنشان را به ما نشان دهد.

۴- یک سرگرمی مهیج مناسب برای سنین مختلف است.

دستگاه‌های خارجی متعددی در زمینه‌ی هماهنگی عصب-عضله ساخته شده است ولی در ایران دستگاهی وجود ندارد. همچنین دستگاه‌های خارجی موجود، هوشمند نیستند. بنابراین در این پایان‌نامه قصد داریم برای اولین بار در ایران به طراحی و پیاده‌سازی دستگاه هماهنگی عصب-عضله‌ی هوشمند بپردازیم. فصل دوم به معرفی اجمالی الگوریتم یادگیری تقویتی و کاربرد هوش مصنوعی در ورزش و روش‌های به‌کارگیری آن می‌پردازد. در فصل سوم نحوه‌ی طراحی و پیاده‌سازی سیستم از لحاظ سخت‌افزاری و نرم‌افزاری بررسی می‌شود. نتایج و توصیف یافته‌ها در فصل چهارم آورده شده است. در فصل پایانی به جمع‌بندی و تعیین جهت‌گیری آینده می‌پردازیم.

۱-۶- نتیجه‌گیری

در این فصل ابتدا به توضیح اجمالی حرکات‌های هماهنگ عصب-عضله پرداختیم. برای رفع مشکل تمرین‌های یکنواخت برای تمام ورزشکاران و عدم توجه به توانایی آن‌ها، سیستمی را طراحی و پیاده‌سازی کرده‌ایم که تمرین‌های متناسب با توانایی ورزشکاران را به آن‌ها پیشنهاد می‌دهد. در ادامه‌ی این فصل به توضیح کلی سیستم طراحی و پیاده‌سازی شده، کاربردها، مزایا و معایب آن پرداختیم.

فصل دوم:

مروری بر کارهای پیشین

۲-۱- مقدمه

با توجه به اینکه اساس سیستم طراحی و پیاده‌سازی شده الگوریتم یادگیری تقویتی در شبکه‌ی حسگر بی‌سیم است، به همین دلیل در این فصل ابتدا به توضیح در مورد الگوریتم یادگیری تقویتی و شبکه‌ی حسگر بی‌سیم پرداخته می‌شود. سپس در ادامه دو بخش کلی مورد بررسی قرار می‌گیرند. در بخش اول، روش‌هایی در مورد یادگیری تقویتی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم و در بخش دوم روش‌هایی در مورد کاربرد هوش مصنوعی در ورزش بحث می‌شود.

۲-۲- یادگیری تقویتی

یادگیری تقویتی، یادگیری انتخاب عمل مناسب در هر وضعیت است تا پاداش در دراز مدت بیشینه شود. در این یادگیری به یادگیرنده گفته نمی‌شود که چه اعمالی را انجام دهد (برخلاف بیشتر روش‌های یادگیری ماشین) بلکه یادگیرنده بایستی خود با سعی و خطا کردن کشف کند که چه عمل‌هایی بیشترین پاداش‌ها را موجب می‌شود [۲،۸]. عمل‌ها نه تنها بر پاداش لحظه‌ای تأثیر می‌گذارند، بلکه وضعیت بعدی و در نتیجه تمام نتایج پاداش‌های بعدی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این دو ویژگی یعنی جستجو بر پایه سعی و خطا و پاداش تأخیری، مهم‌ترین ویژگی‌های یادگیری تقویتی است که آن را از سایر روش‌های یادگیری ماشین متمایز می‌کند.

۲-۲-۱- عامل^۱ و محیط^۲

یادگیری تقویتی را می‌توان به صورت ساده در یک جمله بیان کرد: یادگیری به وسیله تعامل^۳ با محیط به منظور رسیدن به هدفی مشخص. تصمیم‌گیرنده و کسی که یاد می‌گیرد را عامل می‌نامیم. چیزی که عامل با آن تعامل می‌کند (که در واقع هر چیزی خارج از عامل را در برمی‌گیرد)، را محیط می‌نامیم [۲،۹]. این تعامل به صورت تناوبی رخ می‌دهد. بدین ترتیب که عامل تصمیم می‌گیرد و بر مبنای آن عملی^۴ انجام می‌دهد و محیط نیز در پاسخ به این عمل به او پاداشی داده و به حالت^۵ جدیدی می‌رود.

به بیان دقیق‌تر، عامل و محیط به صورت متوالی در طی گام‌های زمان $t = 0, 1, 2, 3, \dots$ با یکدیگر تعامل می‌کنند [۲،۱۰]. در هر گام مثلاً در گام t ، عامل حالت جدیدی از محیط را دریافت می‌کند، که $S_t = S$ که مجموعه حالت‌های ممکن برای محیط است و بر مبنای این حالت عمل خود، $a_t \in A(S_t)$ را انجام می‌دهد که $A(S_t)$ مجموعه عمل‌های ممکن است که عامل می‌تواند در حالت S_t انجام دهد. یک گام بعد یعنی در $t + 1$ ، محیط یک پاداش عددی^۶ $r_{t+1} = R$ بر حسب عمل او در گام قبل به عامل می‌دهد و عامل نیز خود را در حالت جدیدی S_{t+1} می‌یابد.

سیاست یا استراتژی عامل^۷، π ، تابع احتمالی است که احتمال انتخاب شدن هر عمل را در هر حالت و با توجه به گام زمانی می‌دهد. به طور مثال، $\pi_t(s, a) = p$ می‌گوید که اگر عامل در زمان t در حالت S قرار گرفته باشد، با احتمال p عمل a را انتخاب می‌کند. روش‌های یادگیری تقویتی نشان می‌دهند که چگونه یک عامل بر اساس تجربه‌ای که از تعامل با محیط بدست می‌آورد، سیاست خود را تغییر می‌دهد.

¹ Agent

² Environment

³ Interact

⁴ Action

⁵ State

⁶ Numerical Reward

⁷ Agent's Policy/Strategy

هدف عامل اگر بخواهیم به صورت تقریبی بیان کنیم، بیشینه کردن پاداش‌هایی است که در بلند مدت بدست می‌آورد [۱۰،۱].

۲-۲-۲- اهداف و پاداش^۱

در یادگیری تقویتی، هدف عامل در قالب سیگنال پاداشی که از محیط دریافت می‌کند بیان می‌شود. در هر مرحله زمانی، این پاداش به صورت عددی ساده بیان می‌شود. در بیانی ساده، هدف عامل بیشینه کردن مجموع این پاداش‌هاست [۱۲]. لازم به ذکر است که بیشینه کردن پاداش در بلندمدت مدنظر است و این لزوماً به معنای بیشینه کردن پاداش در هر مرحله نیست.

نکته مهمی که باید به آن توجه شود این است که باید پاداش را به گونه‌ای اختصاص دهیم که عامل با بیشینه کردن آن هدف ما را تأمین سازد و نباید به او یاد داد که چگونه هدف را برآورده سازد. برای مثال رباتی می‌خواهد شطرنج‌بازی کردن را یاد بگیرد و به او برای پیروزی یا باخت یا تساوی به ترتیب امتیازهای +۱ و -۱ و صفر را اختصاص داده‌ایم. در این حالت ربات تنها باید در صورت پیروزی پاداش بگیرد و اگر برای زیر اهدافی^۲ مانند از بازی خارج کردن مهره‌های حریف به او امتیاز دهیم، ممکن است ربات راهی را یاد بگیرد که به وسیله آن اکثر مهره‌های حریف را از بازی خارج کند حتی اگر به قیمت واگذار کردن بازی باشد. در واقع سیگنال پاداش، کانال ارتباطی شما با عامل است که به وسیله آن به او می‌گویید به چه هدفی برسد نه اینکه چگونه به هدف برسد [۱۳].

¹ Goals and Rewards

² Subgoals

حال به فرموله کردن مفهوم پاداش می‌پردازیم. اگر ترتیب پاداش‌هایی که عامل بعد از مرحله t ام می‌گیرد به صورت $r_{t+1}, r_{t+2}, r_{t+3}$ باشد، وی بدنبال بیشینه کردن امید ریاضی پاداش کل^۱ خواهد بود که پاداش کل بصورت جمع پاداش‌های هر مرحله طبق فرمول (۱-۱) تعریف می‌شود:

$$R_t = \sum_{k=1}^{T-t} r_{t+k} \quad (1-1)$$

که T آخرین مرحله می‌باشد.

فرمول (۱-۱) برای مسائلی مفید است که فرآیند در مرحله مشخصی پایان پذیرد و به اصطلاح دارای حالت پایانی^۲ باشد. اما مسائل فراوانی وجود دارد که تعامل عامل با محیط تا بی‌نهایت وجود دارد که در این صورت فرمول (۱-۱) با قرار دادن $T = \infty$ و اگر می‌شود. برای حل این مشکل، از نرخ تنزیل^۳ مطابق فرمول (۲-۱) استفاده می‌شود:

$$R_t = r_{t+1} + \gamma r_{t+2} + \gamma^2 r_{t+3} + \dots = \sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+1} \quad (2-1)$$

که نرخ تنزیل، $0 \leq \gamma \leq 1$ ، است.

درواقع نرخ تنزیل، ارزش فعلی پاداش‌های آینده را مشخص می‌کند: ارزش واقعی پاداشی که k مرحله دیرتر دریافت شود γ^{k-1} برابر ارزش اسمی آن است.

۲-۲-۳- تابع ارزش^۴

¹ Return

² Terminating State

³ Discount Factor

⁴ Value Function

تقریباً تمامی الگوریتم‌های یادگیری تقویتی بر پایه تخمین تابع ارزش بنا می‌شود. به‌طور نادقیق می‌توان ارزش حالت را معیاری از خوب بودن آن حالت در نظر گرفت. ارزش حالت را می‌توان این‌گونه توضیح داد که امید ریاضی پاداش کلی است که عامل با شروع از حالت $s_t = s$ و در پیش گرفتن سیاست π بدست می‌آورد [۱۴]. تابع ارزش با توجه به فرمول (۳-۱) تعیین می‌شود:

$$V^\pi(s) = E_\pi\{R_t | s_t = s\} = E_\pi\left\{\sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+1} \mid s_t = s\right\} \quad (3-1)$$

در صورتی که از سیاست π پیروی شود، $E_\pi\{\}$ نشان دهنده امید ریاضی است. V^π تابع ارزش حالت برای سیاست π است.

به‌طور مشابه تابع دیگری به نام $Q^\pi(s, a)$ مطابق فرمول (۴-۱) تعریف می‌شود که بیانگر امید ریاضی پاداش کلی است که عامل با شروع از حالت $s_t = s$ ، انجام عمل $a_t = a$ و سپس در پیش گرفتن سیاست π بدست می‌آورد:

$$Q^\pi(s, a) = E_\pi\{R_t | s_t = s, a_t = a\} = E_\pi\left\{\sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+1} \mid s_t = s, a_t = a\right\} \quad (4-1)$$

ما تابع Q^π را تابع ارزش عمل برای سیاست π می‌نامیم.

۲-۳- تعریف و ویژگی‌های شبکه‌های حسگر

فناوری اطلاعات و رایانه در طی سال‌های اخیر رشدی خارق‌العاده داشته است، به‌گونه‌ای که امروزه شاهد وجود رایانه‌هایی بسیار ارزان و قابل استفاده برای عموم در جهان هستیم. همچنین به موازات این رشد، اخیراً گسترش زیادی در امکان اتصال به شبکه‌ی جهانی به وجود آمده است. نتیجه‌ی این رشد فناوری آن است که امروزه می‌توانیم تعداد زیادی رایانه را به‌راحتی با شبکه‌های پرسرعت به هم متصل کنیم. سیستم ایجاد شده

از این طریق را معمولاً سیستم‌های توزیع‌شده^۱ می‌نامند که در مقابل سیستم‌های متمرکز قبلی قرار می‌گیرد. تننباوم^۲ در کتاب خود [۱۵] شبکه‌های حسگر بی‌سیم را به عنوان گونه‌ای از سیستم‌های توزیع‌شده و به خصوص سیستم‌های فراگیر^۳ طبقه‌بندی می‌نماید. برای ایجاد درکی بهتر از شبکه‌های حسگر بی‌سیم در ابتدا لازم است که به بررسی سیستم‌های توزیع‌شده و سیستم‌های فراگیر پرداخته شود و سپس به شرح کدهای حسگر پرداخته می‌شود.

۲-۳-۱- سیستم‌های توزیع‌شده

تعاریف مختلفی برای سیستم‌های توزیع‌شده وجود دارد. هیچکدام از این تعاریف به تنهایی کافی نیست. در اینجا تعریف زیر را از مرجع [۱۵] عنوان می‌نماییم. هدف از این تعریف مشخص نمودن خصوصیات سیستم‌های توزیعی است.

«یک سیستم توزیعی مجموعه‌ای از رایانه‌های غیر وابسته است که در دید کاربر به صورت یک سیستم یکپارچه‌ی واحد نمایان می‌شود».

این تعریف جنبه‌های مختلف مهمی دارد. اولین جنبه آن است که سیستم توزیع‌شده از تعدادی مؤلفه^۴ (یا رایانه) تشکیل شده است. دومین جنبه بیان می‌کند که کاربران (افراد و یا برنامه‌ها) فکر می‌کنند که با یک

¹ Distributed Systems

² Tanenbaum

³ Pervasive Systems

⁴ Component

سیستم واحد در ارتباطاند. این موضوع به آن معنا است که مؤلفه‌ها باید با هم تعامل داشته باشند. چگونگی پیاده‌سازی این ارتباطات در دل سیستم‌های توزیعی نهفته است.

سیستم توزیع‌شده امکان برقراری ارتباط بین برنامه‌های کاربردی توزیع‌شده را فراهم می‌نماید. این ارتباط می‌تواند بین دو قسمت از یک برنامه‌ی کاربردی یا بین دو برنامه‌ی کاربردی متفاوت باشد. همچنین سیستم توزیع‌شده سعی می‌نماید که تا جای ممکن تفاوت در سخت‌افزارها و سیستم‌عامل‌های مختلف را از دید برنامه‌های کاربردی پنهان کند.

۲-۳-۲- سیستم‌های فراگیر

شبکه‌های حسگر را می‌توان به عنوان شاخه‌ای از سیستم‌های فراگیر در نظر گرفت. سیستم‌های فراگیر نوعی از سیستم‌های توزیع‌شده هستند که برخلاف سیستم‌های توزیع شده معمول، ناپایداری ویژگی غالب آن‌ها است. این سیستم‌ها معمولاً سیار بوده و در دل دیگر وسایل جا می‌گیرند. سیستم‌های فراگیر اغلب کوچک بوده، با باتری کار می‌کنند و سیستم ارتباطی آن‌ها بی‌سیم است. البته ممکن است این ویژگی‌ها همه با هم در تمام سیستم‌های فراگیر مشاهده نشوند. همان‌طور که از نام این سیستم‌ها مشخص است سیستم‌های فراگیر توزیع‌شده معمولاً قسمتی از محیط اطراف ما را تشکیل می‌دهند. مهم‌ترین مشکل این سیستم‌ها کمبود کنترل انسانی برای مدیریت آن‌ها است. در بهترین شرایط تنظیمات اولیه‌ی این سیستم‌ها به‌صورت خودکار انجام می‌شود، و یا حداقل، آن‌ها باید بتوانند محیط اطراف خود را شناسایی نموده و به خوبی در آن قرار گیرند.

در اکثر موارد شبکه‌های حسگر بی‌سیم قسمتی از فناوری برای ساختن سیستم‌های فراگیر را ایجاد می‌کنند. بسیاری از راه‌حلهایی که برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم پیشنهاد می‌شود، ریشه در کاربرد آن‌ها در سیستم‌های فراگیر دارد. از این دیدگاه شبکه‌های حسگر بی‌سیم، چیزی بیش از یک بستر ارتباطی را تشکیل

می‌دهند. شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌توانند به پردازش اطلاعات نیز پردازند، در صورتی که کار شبکه‌های قدیمی تنها برقراری ارتباط است [۱۵].

۲-۳-۳- شبکه‌های حسگر

یک شبکه‌ی حسگر معمولاً از ده‌ها تا صدها و حتی هزاران گره کوچک تشکیل شده است. هرکدام از این گره‌ها با سیستم‌های حسگر تجهیز شده‌اند. اکثر شبکه‌های حسگر از وسایل ارتباطی بی‌سیم استفاده می‌کنند و گره‌ها معمولاً انرژی خود را با باتری تأمین می‌کنند. محدودیت منابع، قابلیت تعامل کم، و توان اندک در گره‌های حسگر موجب می‌شود که در نظر گرفتن کارایی برای طراحی این سیستم‌ها ضروری باشد.

ارتباط سیستم‌های حسگر با سیستم‌های توزیعی را می‌توان با در نظر گرفتن سیستم حسگر به عنوان یک پایگاه داده‌ی توزیع‌شده روشن نمود. این دیدگاه معمول بوده و برای درک این سیستم‌ها ساده است، چراکه در بیشتر مواقع شبکه‌های حسگر به عنوان برنامه‌های اندازه‌گیری و نظارت به کار گرفته می‌شوند. در این موارد کاربر معمولاً قصد استخراج اطلاعات از شبکه را دارد و برای این کار به سادگی، پرسشی مانند بار ترافیک در بزرگراه الف چقدر است؟ را مطرح می‌کند. این پرسش‌ها شبیه پرسش‌های معمولی در پایگاه داده‌های قدیمی هستند. در این موارد، پاسخ معمولاً توسط گره‌های حسگر واقع در اطراف بزرگراه داده می‌شود و دیگر گره‌های حسگر دخالتی در این کار ندارند.

برای دسته‌بندی شبکه‌های حسگر به عنوان یک پایگاه داده‌ی توزیع‌شده، دو حد مرزی را می‌توان متصور شد. در یک حد مرزی می‌توان شرایطی را تصور کرد که در آن گره‌های حسگر با هم همکاری نمی‌کنند و به سادگی داده‌های خود را به یک پایگاه داده مرکزی که در سمت کاربر قرار دارد، می‌فرستند. از طرف دیگر می‌توان در نظر گرفت که پرسش‌ها تنها به گره‌های حسگر مربوطه فرستاده شوند و گره‌های حسگر بتوانند داده-

های موجود را پردازش نموده و پاسخ را محاسبه نمایند. سپس این پاسخ‌ها به سمت کاربر فرستاده شده و در آنجا با هم مجموع می‌شوند.

در حقیقت، هیچکدام از این راه‌حل‌ها کاملاً مناسب نیست. در اولین روش لازم است که گره حسگر، تمام داده‌های اندازه‌گیری شده توسط خودش را به داخل شبکه بفرستد، که این باعث می‌شود منابع و انرژی زیادی در شبکه اتلاف شود. در دومین راه‌حل نیز امکان مجموع کردن پاسخ‌ها در داخل شبکه وجود ندارد. مجموع کردن داده موجب می‌شود که نیاز به انتقال داده‌ی کمتری داشته باشیم و عدم امکان آن جلوی استفاده‌ی بهینه از منابع را می‌گیرد. بنابراین نیاز به پردازش داده درون شبکه به وجود می‌آید. پردازش داده درون شبکه به صورت‌های مختلف می‌تواند انجام گیرد. یکی از راه‌حل‌های آن فرستادن پرسش به تمام گره‌ها به صورت درختی است. سپس نتایج از سمت برگ‌ها تا ریشه جمع‌آوری و در مسیر درخت این داده‌ها با هم مجموع می‌شوند. هرچند این روش ساده به نظر می‌رسد ولی با چالش‌هایی روبرو است.

به عنوان یک روش دیگر برای جایگزین ایجاد درخت در شبکه‌های حسگر، از گره‌های خاصی استفاده می‌شود که نتایج به این گره‌ها ارسال می‌شود و هر پرسشی که مطرح می‌شود به گروهی از این گره‌ها وابسته است و تنها به سمت همان گره‌ها فرستاده می‌شود. به عنوان یک مثال ساده، پرسش‌ها و پاسخ‌های مربوط به دما به گره‌های یک مکان خاص فرستاده می‌شوند، حال آنکه پرسش‌ها و پاسخ‌های مربوط به رطوبت در گره‌های مربوط به مکانی دیگر جمع‌آوری می‌شوند.

۲-۳-۴- اهداف بهینه‌سازی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

کاربردهای مختلفی را می‌توان برای شبکه‌های حسگر در نظر گرفت و البته برای هرکدام از این کاربردها، شبکه‌ی خاصی را باید ایجاد نمود. حال، سؤال اساسی آن است که چگونه می‌توان این شبکه‌ها را بهینه نمود؟ چگونه می‌توان راه‌حل‌های مختلف موجود را با هم مقایسه نمود؟ و در نهایت لازم است که بتوانیم اهداف

بهینه‌سازی را در قالب پارامترهایی عددی بیان نماییم هرچند تعریف یک پاسخ کلی و معیارهایی که برای تمام کاربردها مناسب باشد امکان‌پذیر نیست ولی می‌توان معیارهایی را در نظر گرفت که در اکثر این کاربردها مؤثر واقع شود. در زیر به بررسی این معیارها می‌پردازیم [۱۶].

➤ کیفیت سرویس

شبکه‌های حسگر بی‌سیم، به خصوص، به علت سرویس‌های متفاوتی که ارائه می‌دهند با دیگر شبکه‌های معمولی متفاوت‌اند. البته مانند دیگر شبکه‌ها، در شبکه‌های حسگر بی‌سیم نیز معیارهای کیفیت سرویس وابسته به نوع کاربرد می‌باشند. در زیر بعضی از این معیارها آورده شده است.

الف) احتمال تشخیص/گزارش یک واقعه^۱: احتمال آن که واقعه‌ای، که اتفاق افتاده، تشخیص داده نشود و یا به‌طور دقیق‌تر به کاربری، که به آن واقعه علاقه‌مند است، گزارش نشود. به عنوان مثال گزارش ندادن رخ دادن آتش به مرکز نجات می‌تواند بسیار مشکل‌زا باشد.

ب) خطای دسته‌بندی یک واقعه^۲: هر واقعه علاوه بر تشخیص باید به درستی دسته‌بندی نیز بشود. خطای این دسته‌بندی باید کم باشد.

پ) تأخیر تشخیص واقعه^۳: این تأخیر معیار بین تشخیص یک واقعه و گزارش دادن آن را بیان می‌کند.

ج) گزارش از یاد رفته^۴: در کاربردهایی که نیاز به گزارش دوره‌ای دارند، احتمال ارسال نشدن یک گزارش باید اندک باشد.

¹ Event Detection/Reporting Probability

² Event Classification Error

³ Event Detection Delay

⁴ Missing Reports

د) دقت تخمین^۱: این معیار در کاربردهای تخمین یک تابع (مانند تخمین دما به عنوان تابعی از مکان) به کار می‌رود و نشان دهنده‌ی مقدار میانگین/حداکثر خطای مطلق یا نسبی با توجه به تابع اصلی است. همچنین این معیار در کاربردهای تشخیص لبه نیز می‌تواند استفاده شود.

ه) دقت ردگیری^۲: کاربردهای ردگیری نباید شیء مورد ردیابی را گم کنند و مکان اعلام شده باید به مکان واقعی نزدیک بوده و خطای آن کم باشد [۱۶].

➤ راندمان انرژی مصرفی

بسیاری از بحث‌های اخیر در مجامع علمی مشخص می‌کند که تأمین انرژی یک مبحث چالش‌برانگیز در شبکه‌های حسگر بی‌سیم است و راندمان مصرف انرژی در این شبکه‌ها یک هدف بسیار مهم برای بهینه نمودن شبکه‌های حسگر بی‌سیم محسوب می‌شود. واضح است که در صورت وجود منبعی بی‌نهایت از انرژی اکثر معیارهای کیفیت سرویس معرفی شده در بخش قبلی، تا میزانی دلخواه به راحتی قابل افزایش است. با این حال باید در نظر گرفت که دستیابی به این کیفیت سرویس در ازای هزینه‌ای که برای آن می‌شود همواره منطقی نیست. در اینجا است که مفهوم راندمان انرژی مصرفی مطرح می‌شود. مفهوم راندمان انرژی مصرفی در حقیقت مفهومی است که تمام جنبه‌های سیستم را تحت پوشش خود قرار می‌دهد، بنابراین باید به درستی مورد بررسی قرار گرفته و معیارهایی مناسب برای اندازه‌گیری آن انتخاب شود. در زیر به معرفی چند معیار که نشان دهنده‌ی راندمان انرژی مصرفی هستند پرداخته می‌شود [۱۶].

الف) انرژی دریافت درست یک بیت^۳: این معیار، میزان انرژی لازم برای انتقال یک بیت - از مبدأ تولید اطلاعات به مقصد را نشان می‌دهد. برای اندازه‌گیری این معیار لازم است میانگین انرژی مصرفی در تمام گره-

¹ Approximation Accuracy

² Tracking Accuracy

³ Energy Per Correctly Received Bit

های میانی را در نظر بگیریم. این معیار معمولاً معیاری مناسب در کاربردهایی است که اطلاعات حاصل از مشاهده، به صورت دوره‌ای ایجاد شده و به مقصد ارسال می‌شود.

ب) انرژی لازم برای هر واقعه‌ی گزارش شده:^۱ این معیار، میزان انرژی لازم برای گزارش یک واقعه از مبدأ تولید اطلاعات به مقصد را نشان می‌دهد. برای اندازه‌گیری این معیار نیز لازم است میانگین انرژی مصرفی در تمام گره‌های میانی را در نظر بگیریم. معمولاً این انرژی به صورت نرمال شده در نظر گرفته می‌شود. به این معنا که اطلاعات تکراری که به خاطر چند بار گزارش دادن یک واقعه به وجود آمده‌اند، به عنوان اطلاعات مفید جدید به حساب نمی‌آیند.

ج) موازنه بین انرژی و تأخیر:^۲ بعضی از کاربردها دارای واقعه‌هایی هستند که باید به سرعت گزارش داده شوند. در این موارد می‌توان با استفاده از مصرف انرژی بیشتر به انتقال اطلاعات سرعت بخشید. در هر حال برقراری یک موازنه بین انرژی مصرفی و تأخیر انتقال اطلاعات بسیار مهم است.

پ) مدت زندگی شبکه:^۳ مدت زمانی که شبکه قابل استفاده است و یا به بیان دیگر شبکه قادر است به انجام وظیفه‌ی خود بپردازد. اندازه‌گیری این مدت زمان از لحظه‌ای که میزان انرژی اولیه مقداری خاص است، شروع می‌شود. ولی زمان پایان آن را نمی‌توان به راحتی مشخص نمود.

ج) مقیاس‌پذیری: توانایی نگهداشتن خصوصیات کارایی شبکه، بدون توجه به سایز آن، مقیاس‌پذیری^۴ گفته می‌شود. از آنجا که شبکه‌های حسگر بی‌سیم دارای هزاران گره می‌باشند، آشکار است که مقیاس‌پذیری نیازی ضروری است. مقیاس‌پذیری به علت وجود ساختارهایی که نیازمند وضعیت سراسری شبکه می‌باشند، مانند آدرس‌دهی یا مسیریابی، مورد تهدید است. بنابراین لازم است که انتشار چنین اطلاعاتی محدود شود.

¹ Energy per Reported Event

² Delay/Energy Trade off

³ Network Lifetime

⁴ Scalability

نیاز به مقیاس‌پذیری، تأثیر مستقیم بر طراحی پروتکل و الگوریتم در شبکه‌های حسگر بی‌سیم دارد. از آنجا که افزودن مقیاس‌پذیری موجب پرداخت تاوان در زمینه‌ی کارایی و یا پیچیدگی خصوصاً در شبکه‌های کوچک می‌شود، لذا پروتکل‌ها و الگوریتم‌های شبکه باید میزان مقیاس‌پذیری مناسبی را پیاده‌سازی نمایند، نه این که تا حد ممکن بتوانند گسترش یابند. گاهی راه‌حلهایی با چند گره ممکن است کاربرد بیشتری به نسبت راه‌حلهایی با تعداد گره‌های بسیار زیاد داشته باشند [۱۶].

د) قابلیت اطمینان: شبکه‌های حسگر بی‌سیم باید دارای قابلیت اطمینان بالا باشند. این قابلیت به کیفیت سرویس و تا حدی مقیاس‌پذیری مرتبط است. قابلیت اطمینان به معنای آن است که شبکه نباید به علت آنکه تنها انرژی چند گره تمام شده و کار نمی‌کنند، یا محیط اطرافش تغییر کرده است یا ارتباط رادیویی بین دو گره قطع شده است، مختل شود. در صورت ممکن این اشکالات باید به‌گونه‌ای برطرف شوند. به عنوان مثال با پیدا نمودن یک مسیر دیگر برای ارسال اطلاعات. اندازه‌گیری دقیق قابلیت اطمینان بسیار مشکل بوده و به نوع خطایی که ممکن است در شبکه رخ دهد و موجب خرابی یک گره یا قطع شدن خط ارتباطی بین دو گره شود، وابسته است.

حال به توضیح تعدادی از روش‌هایی که از یادگیری تقویتی در شبکه‌ی حسگر بی‌سیم استفاده می‌کنند پرداخته می‌شود. شبکه‌ی حسگر بی‌سیم به‌گونه‌ای طراحی شده است تا بهره‌وری انرژی و قابلیت انعطاف و سازگاری برای کاربردهای نظامی را افزایش دهد. برای این منظور از طراحی بر اساس یادگیری تقویتی استفاده شده است تا با توجه به ارزش داده‌ها و نحوه‌ی توزیع آن‌ها، یک مسیریابی متعادل را شکل دهد تا بتواند میزان مصرف انرژی را کاهش دهد. در هسته‌ی کنترلی سیستم پیشنهادی، یادگیری تقویتی به کار گرفته شده است تا با استفاده از تعامل محیط و عامل در تصمیم‌گیری‌ها بهتر عمل کرده و در نتیجه انرژی کمتری مصرف کند [۱۷].

الگوریتم Q-routing یک الگوریتم مسیریابی داده‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم بر اساس یادگیری تقویتی است که به‌عنوان پایه و اساس استفاده می‌شود. سپس این الگوریتم بهبود داده‌شده و روی توپولوژی‌های مختلف آزمون شده است. با آزمون روش پیشنهادی در مرجع [۱۸] روی توپولوژی‌های همگن و ناهمگن، نتایج خوبی حاصل شد. سپس روش پیشنهادی بر روی ترکیبی از توپولوژی‌های همگن و ناهمگن آزمون شده و دارای نتایج بهتری نسبت به دو توپولوژی همگن و ناهمگن داشته و در مصرف انرژی شبکه‌های حسگر بی‌سیم صرفه‌جویی می‌شود. در این مقاله از یادگیری تقویتی به‌عنوان عاملی که می‌تواند بسیاری از مشکلات شبکه‌های حسگر بی‌سیم را مرتفع کند، یاد می‌شود.

صرفه‌جویی در مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم یک مسئله مهم و حیاتی است. در شبکه‌های حسگر بی‌سیم در بیشتر موارد فقط تعدادی از گره‌ها به کار گرفته شده و به تبادل اطلاعات می‌پردازند، به همین دلیل بقیه‌ی گره‌ها نیاز به فعال بودن ندارند. از یادگیری تقویتی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌توان استفاده کرد تا گره‌ها در صورت نیاز به صورت خودکار فعال شده و در صورت عدم نیاز به خواب روند [۱۹]. علاوه بر این، با استفاده از یادگیری تقویتی، گره‌ها می‌توانند به‌گونه‌ای باهم تبادل اطلاعات داشته باشند که تداخل پیش نیاید و کمترین میزان انرژی مصرف شود.

علاوه بر صرفه‌جویی در انرژی، از یادگیری تقویتی برای شناسایی و آمادگی در برابر شرایط سخت و ناگهانی استفاده می‌شود. در شبکه‌ی حسگر بی‌سیم ممکن است شرایط ناگهانی پیش آید، بنابراین گره‌ها در هر لحظه باید آمادگی مواجهه با این شرایط را داشته و بتوانند با شرایط منطبق شوند. همچنین ممکن است به هر دلیلی برای گره‌ای مشکلی پیش آید و از شبکه خارج شود. در این شرایط سایر گره‌ها باید به سرعت آن گره را شناسایی کرده و مشکل تبادل اطلاعات را برطرف کنند [۲۰].

از یادگیری تقویتی می‌توان برای مسیریابی بهینه استفاده کرد. به این صورت که گره‌ها برای تبادل اطلاعات نیاز به داشتن اطلاعات کل شبکه‌ی حسگر بی‌سیم ندارند بلکه با بازخوردهایی که از گره‌های همسایه

دریافت می‌کند، تصمیم می‌گیرد که کدام گره را برای تبادل اطلاعات انتخاب کند. در مرجع [۲۱] گره‌ای برای تبادل اطلاعات انتخاب می‌شود که کمترین فاصله با گره مبدأ و انرژی بیشتری داشته باشد. این الگوریتم در ابتدا ممکن است انرژی بیشتری را مصرف کند ولی بعد از اینکه گره‌ها موقعیت یکدیگر را در شبکه یاد گرفتند، این مصرف انرژی کاهش می‌یابد.

در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌توان از پروتکل‌های کنترلی مانند RI-Mac که بر اساس یادگیری تقویتی می‌باشند، استفاده کرد [۲۲]. این طرح بر اساس فعال بودن یا نبودن گره‌ها به‌منظور کمینه کردن میزان مصرف انرژی است. یک گره برای ارسال اطلاعات موقعیت سایر گره‌ها را در نظر گرفته و در صورت مساعد بودن شرایط گره، آن را فعال کرده و تبادل اطلاعات صورت می‌گیرد. هدف در این مقاله بالا بردن میزان بهره‌وری شبکه‌ی حسگر بی‌سیم با کمترین میزان مصرف انرژی و همچنین پیچیدگی محاسباتی متعادل است.

۲-۴- هوش مصنوعی در ورزش

از هوش مصنوعی می‌توان در بسیاری از ورزش‌ها از جمله وزنه‌برداری استفاده نمود. ابتدا اطلاعات مختلف مانند میزان نیروی وارده و همچنین سرعت توسط حسگرهای مختلف از چند وزنه‌بردار توانا کسب می‌شود. سپس این داده‌ها پالایش شده و داده‌هایی که به هر نحوی نویزی باشند حذف می‌شود. در ادامه از داده‌های باقیمانده تعدادی الگو استخراج می‌شود و این الگوها با توجه به ویژگی‌های آن‌ها دسته‌بندی می‌شوند. در نهایت از روش یادگیری با ناظر استفاده شده و هر ورزشکار با توجه به ویژگی‌هایش به یکی از دسته‌ها تخصیص داده شد و مهارت‌هایش را بهبود می‌بخشند [۲۳].

یکی از مشکلاتی که در ورزش فوتبال وجود دارد این است که بازیکن در شرایط و مکان‌های مختلف، کدام قسمت از دروازه را برای گل زدن انتخاب کند. برای این منظور، اطلاعات از چند بازیکن حرفه‌ای کسب شده

و این اطلاعات به‌عنوان ورودی برای شبکه‌ی عصبی به‌کاررفته و دسته‌بندی می‌شوند. با دسته‌بندی این اطلاعات مشخص می‌شود که بازیکن در هر موقعیت مکانی، به کدام ناحیه از دروازه شوت بزند. در مرجع [۲۴] از روش‌های آماری نیز برای دسته‌بندی استفاده شده است ولی نتایج آن با نتایج به‌دست‌آمده از روش شبکه‌ی عصبی قابل‌مقایسه نیست.

برای بهبود عملکرد تیم‌های حرفه‌ای ابتدا اطلاعات لازم از آن‌ها کسب می‌شود. سپس از این اطلاعات به‌عنوان ورودی یک شبکه‌ی پرسپترون استفاده می‌شود. سپس این شبکه‌ی پرسپترون با استفاده از ویژگی‌های ورودی، عمل خروجی را پیش‌بینی می‌کند تا بتواند به بهبود عملکرد تیم‌های ورزشی کمک کند [۲۵]. استفاده از شبکه‌ی پرسپترون باعث شده است که هم سرعت بالا و هم کارایی بهتری نسبت به سایر روش‌ها داشته باشد. در ورزش فوتبال، بازیکن با شروع از نقطه‌ی آغاز، نیاز به حفظ توپ در برابر تیم حریف و دفاع کردن دارد. با توجه به اینکه تیم حریف نیز سیاست‌های خاص خود برای مقابله با تیم حریف را دارد، بازیکن در هر موقعیت باید بهترین نوع دریبل زدن را انتخاب کند. در مرجع [۲۶] از یادگیری تقویتی برای آموزش استفاده شده است. بعد از مشخص شدن موقعیت‌های مختلف و عمل‌های متفاوتی که در هر موقعیت می‌توان انجام داد، الگوریتم یادگیری تقویتی اعمال می‌شود تا بتوان بهترین عمل در هر موقعیت را انجام داد. با استفاده از یادگیری تقویتی بازیکن می‌تواند در مقابل سرسخت‌ترین حریف، دریبل مناسب را انجام دهد.

کنترل علائم حیاتی ورزشکار از جمله ضربان قلب یکی از مسائل مهم در رشته‌های ورزشی مختلف است. در دو دهه‌ی اخیر مشاهده‌ی ضربان قلب در حین انجام حرکت‌های ورزشی بسیار مورد توجه قرار گرفته است و در حال تکامل و پیشرفت است. در مرجع [۲۷] اطلاعات مربوط به ضربان قلب ورزشکار به‌صورت بی‌سیم کسب‌شده و مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس با استفاده از این اطلاعات، تمرین‌های مناسب برای فرد تعیین می‌شود. استفاده از شبکه‌های بی‌سیم برای کسب اطلاعات باعث شده است تا هم دسترسی به اطلاعات راحت‌تر باشد و هم این امکان وجود دارد که چند ورزشکار به‌صورت همزمان مورد ارزیابی قرار گیرند.

با استفاده از الگوریتمی که روی گوشی‌های هوشمند پیاده شده است می‌توان حرکت بعدی فرد را تخمین زد که برای مواردی مانند جلوگیری از زمین خوردن سالمند مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۸]. برای این منظور ابتدا اطلاعات فرد با استفاده از حسگرهای مختلف کسب می‌شود. سپس این اطلاعات پالایش شده و هرگونه اطلاعاتی که به صورت نویز شناخته شود در این قسمت حذف می‌شود. در پایان از شبکه‌ی عصبی برای دسته‌بندی این اطلاعات استفاده می‌شود تا مشخص شود هر اطلاعات مربوط به کدام فعالیت است.

از سیستم خبره می‌توان برای پیش‌بینی مصدومیت‌های احتمالی که ممکن است در حین تمرینات برای ورزشکار به وجود آید، استفاده کرد. برای این منظور از چند فرد خبره استفاده شده است تا تعدادی قانون را برای سیستم خبره تعیین کنند. در نهایت از روش SOM برای دسته‌بندی نوع حرکت‌ها استفاده می‌شود. در این مقاله در رشته‌های ورزشی مختلف مانند پرتاب دیسک و پرتاب وزنه روش پیشنهادی در این مقاله و روش‌های قبلی که زمان بر بوده مورد آزمایش قرار گرفته است که نتایج، نشان از برتری استفاده از سیستم خبره برای پیش‌بینی مصدومیت احتمالی ورزشکار است [۲۹].

از روش‌های فازی می‌توان برای بهبود کیفیت تمرینات ورزشکاران استفاده کرد. برای این منظور یکسری قوانین فازی تعیین شده سپس اطلاعات به دست آمده با استفاده از نرم‌افزارهای موجود برای تحلیل این اطلاعات فازی با استفاده از نمودارهای مختلف، مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد. از تحلیل‌های فازی انجام شده می‌توان استفاده کرد تا با توجه به میزان توانایی ورزشکار تمرینات متناسب با وی برای او تعیین گردد [۳۰].

برای اینکه در ورزش‌هایی مانند تکواندو و شمشیربازی، امتیازدهی به صورت خودکار و بدون دخالت داور صورت گیرد از شبکه‌ی حسگر بی‌سیم می‌توان استفاده کرد. در این سیستم، حسگرها در لباس ورزشکار کار گذاشته شده و بعد از اصابت ضربه، اطلاعاتی مانند میزان نیرو به سیستم مرکزی فرستاده شده و سیستم مرکزی با تعدادی قانون تصمیم می‌گیرد که امتیاز تعلق بگیرد یا خیر [۳۱]. این سیستم ۳ ویژگی دارد که عبارت‌اند از :

۱- کاملاً بی‌سیم است تا برای حرکت‌های ورزشکار محدودیت ایجاد نکند. ۲- بی‌وقفه است تا اگر چند ضربه به‌صورت همزمان وارد شود بتواند ضربه را تشخیص و تحلیل کند. ۳- کوچک و مقاوم است تا در میدان مسابقات در اثر ضربات مختلف دچار مشکل نشوند.

ورزش پرتاب وزنه را می‌توان با استفاده از شبکه‌ی عصبی بهبود داد. برای این منظور حرکت‌های یک ورزشکار حرفه‌ای و غیرحرفه‌ای مورد بررسی قرار گرفته و تفاوت‌های آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. با استفاده از تفاوت‌ها تعدادی ویژگی استخراج شده و به‌صورت داده‌های ورودی برای شبکه عصبی SOM مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شبکه عصبی داده‌ها را دسته‌بندی کرده و با استفاده از آن‌ها می‌توان فن‌های موجود در ورزش پرتاب وزنه را بهبود بخشید [۳۲].

فناوری و استفاده از علوم الکترونیکی در ورزش مدت‌ها است در جهان رایج شده و هر روز ابداع تجهیزات جدید به ورزشکاران کمک می‌کند تا عملکردشان را بهبود ببخشند. امروزه بر همگان ثابت شده است که فن‌آوری نقش مهمی در ورزش ایفا می‌کند. اگر فن‌آوری تا این حد پیشرفت نمی‌کرد، خبری از صحنه‌های آهسته تلویزیونی یا میکروفن‌های بی‌سیم داوران نبود. با این حال، این فقط بخش کوچکی از ماجرا است و فن‌آوری پیشرفت‌های بسیار بیشتری داشته است.

با ورود تکنولوژی فن‌آوری شناسایی از طریق امواج رادیویی^۱ که تیم‌های راگی از آن استفاده می‌کنند، دیگر نیازی به صحنه‌های آهسته تلویزیونی نیست. این فن‌آوری میکرو قادر است موقعیت دقیق بازیکنان و توپ را دو هزار بار در هر ثانیه شناسایی کند [۳۳]. به وسیله این فن‌آوری می‌توان حرکت‌ها، سرعت، دقت و حتی نیروی وارده را محاسبه کرد. همچنین می‌توان موقعیت دقیق توپ را مشخص کرد تا برای داوری و قضاوت نیاز به حدس و گمان نباشد.

1 Radio frequency identification

پیشرفت تکنولوژی در زمینه‌های ورزشی، باعث شده بسیاری از شرکت‌ها و نام‌های تجاری که در زمینه‌های دیگر فعالیت می‌کنند، علاقه‌مند شوند تا در حوزه‌های ورزشی سرمایه‌گذاری کنند. شرکت‌های بزرگ لوازم الکترونیکی همچون اپل، سامسونگ و نوکیا با شرکت‌های معروف ورزشی همکاری می‌کنند تا بتوانند تکنولوژی خود را در زمینه‌های ورزشی گسترش دهند. برای مثال، شرکت اپل^۱ با همکاری نایک^۲ کفش‌های ورزشی Nike+ipod را تولید کرده‌اند که به مصرف‌کنندگان Ipod امکان دریافت اطلاعات در هر زمان و مطلع شدن از کارایی‌شان را می‌دهد (شکل (۱-۲)) [۳۴].



شکل (۱-۲): کفش هوشمند [۳۴]

آدیداس^۳ نیز پس از ۲ سال کار بر روی ساخت کفش هوشمند فوتبال، محصول جدیدی را تولید کرده که قادر به محاسبه سرعت و حرکت بازیکنان است [۳۵]. همان‌طور که در شکل (۲-۲) مشاهده می‌شود، این کفش فوتبال مجهز به تراشه داخلی برای ذخیره و آنالیز بازده فوتبال‌بست است.

¹ Apple
² Nike
³ Adidas

آدیداس در مورد این کفش گفت: "ما می‌توانیم به شما نشان دهیم که در زمین چه کرده‌اید، اطلاعات کلیدی آماری در مورد بازی را به شما ارائه می‌دهیم تا بتوانید بازده خود را با قبل مقایسه کنید. بازیکنان حتی می‌توانند خود را با دوستان، هم تیمی‌های خود یا ستاره‌های دنیا مقایسه کنند."



شکل (۲-۲): کفش هوشمند فوتبال [۳۵]

سیستم کوچکی با نام تجاری **runscribe** تولید شده است که بر روی کفش ورزشکاران قرار می‌گیرد و می‌تواند اطلاعات مفیدی در اختیار ورزشکاران قرار دهد (شکل (۲-۳)). این سیستم تنها ۱۵ گرم وزن و ۳۵ میلی-متر طول دارد و به پشت کفش نصب می‌شود و همچنین شامل حسگر ۹ قطبی و پردازشگر اطلاعات مربوط به حرکت است [۳۶]. با توجه به اینکه حافظه‌ی خاصی به این سیستم متصل می‌شود و دیگر نیاز نیست که ورزشکار با خود گوشی هوشمند حمل کند. این سیستم برای ورزشکارانی که نمی‌خواهند با خود چیزی حمل کنند قابل استفاده است. توسط این سیستم ورزشکاران می‌توانند اطلاعات جدید خود را با اطلاعات قدیمی مقایسه کنند. اطلاعات به دست آمده از تمرین ورزشکاران می‌تواند آمادگی آن‌ها برای مسابقه را افزایش دهد. مربیان نیز می‌توانند تمرین‌هایی را به آن‌ها بیاموزند که نقاط ضعف خود را جبران کنند.



شکل (۳-۲) : سیستم runscribe [۳۶]

کفی‌های هوشمندی طراحی شده‌اند که می‌توانند به ورزشکاران برای انجام تمرین‌هایشان کمک کنند. این کفی‌های هوشمند دارای حسگرهایی هستند که می‌توانند موقعیت، جهت، تعداد مراحل و فاصله را از طریق ارتعاشات به کاربر اطلاع می‌دهند. همچنین کاربر از طریق هشدارهای کفی می‌تواند از درستی راه مطلع شود. این کفی‌ها می‌توانند با استفاده از بلوتوث با تلفن همراه کاربر ارتباط برقرار کرده و اطلاعات خود را انتقال دهند. این کفی در شکل (۴-۲) قابل مشاهده است [۳۷-۳۹].



شکل (۲-۴) : کفی هوشمند [۳۷]

تولید لباس‌های هوشمند به وسیله تکنولوژی یکی از پدیده‌های به روز در دنیای ورزش است. این لباس‌ها دارای حسگرهای بسیار مدرنی هستند که اطلاعات را منتقل می‌کنند، این اطلاعات عبارت‌اند از : اطلاعات مربوط به مکان، اطلاعات فیزیولوژیک فرد مصرف‌کننده، اطلاعات درباره فردی که لباس را به تن دارد. این مطالب به وسیله یک سیستم پردازشگر خارجی مانند یک سیستم دیجیتال به سرور منتقل می‌شوند.

همان‌طور که در شکل (۲-۵) مشاهده می‌شود، محققان دانشگاه کمبریج^۱ موفق به طراحی لباس هوشمندی از جنس حسگرهای فیبر نوری شده‌اند که می‌تواند حرکت‌های ورزشکاران را به صورت سه‌بعدی به نمایش بگذارد تا به شیوه صحیح فعالیت‌های بدنی و همین‌طور چگونگی سرعت و حرکت آن‌ها پی برد [۴۰]. حسگرها با کمک الگوریتم‌های پیچیده ورزشی، کامپیوترها را قادر می‌سازند تا حرکت‌های بدن را که به صورت سه‌بعدی مدل‌سازی شده به نمایش بگذارند. این لباس هوشمند Xelflex نام داشته و به ورزشکاران اجازه می‌دهد تا بدون حضور مربی خود نیز به انجام تمرینات بپردازند و سپس مربی با بررسی گزارش‌ها و حرکت‌های

¹ Cambridge

مدل‌سازی شده با کمک این سیستم به چگونگی انجام حرکت‌های بدنی و همین‌طور اصلاح شیوه‌های ورزشی ورزشکاران بپردازد.



شکل (۲-۵) : لباس هوشمند [۴۰]

محققان کشورمان نیز به‌تازگی با استفاده از نانو ذرات فلزی، لباس‌های هوشمندی را تولید کردند که قادر به دریافت سیگنال‌های حیاتی بدن است و در صورت وجود شرایط غیرعادی اطلاعات دریافتی را به پزشک ارائه می‌دهد [۴۱]. این منسوجات دارای حسگرها و پردازشگرهایی هستند که با استفاده از آن می‌توان سیگنال‌های حیاتی بدن نظیر ضربان و سیگنال‌های قلب و دمای بدن فرد را دریافت کرد. سپس اطلاعات دریافت شده توسط پردازشگر مرکزی آنالیز و در شرایط بروز علائم غیرعادی پیام به پزشک و کاربر به‌صورت همزمان ارسال می‌شود.

محققان همچنین سیستمی تولید کردند که می‌تواند حرکتهای ورزشی و تناسب اندام ورزشکاران را به صورت دیجیتالی کنترل کند. این سیستم که موو^۱ نام گرفته می‌تواند کلیه حرکتهای ورزشی افراد در ورزش‌هایی مانند دوچرخه‌سواری، گلف، بوکس و حتی شنا را کنترل و شناسایی نماید [۴۲]. بررسی‌ها نشان می‌دهند، این سیستم می‌تواند اطلاعات دریافت شده را به مربیان رشته‌های ورزشی انتقال دهد که شامل وزن فرد، فشار خون، ضربان قلب و حجم اکسیژن دریافتی است. این سیستم که در حقیقت یک مچ‌بند ورزشی ساده است که می‌تواند اطلاعات خود را به گوشی تلفن همراه هوشمند و یا کامپیوتر مربیان ورزش ارسال کند. با استفاده از این مچ‌بند مربیان می‌توانند در صورت هرگونه تغییر در آهنگ تنفس و یا ضربان قلب ورزشکار سریع او را مطلع نمایند و به این ترتیب از بروز حوادث ورزشی در آینده اجتناب خواهد شد (شکل (۶-۲)).



شکل (۶-۲) : مچ‌بند ورزشی [۴۲]

برای اولین بار یک محافظ دندان هوشمند که به اینترنت متصل می‌شد جهت تشخیص تکان‌های مغزی ساخته شد که در شکل (۷-۲) نشان داده شده است. آسیب‌های مغزی همیشه آشکار نیستند و به راحتی قابل تشخیص نیستند، به همین منظور برای اولین بار یک محافظ دندان هوشمند برای تشخیص سریع خطرات مغزی ساخته شده است. این محافظ دندان هوشمند که به اینترنت متصل می‌شود به نام فیت‌گارد^۲ به بازار عرضه شده است و قادر به تشخیص شوک‌های قوی، مانند تکان‌های مغزی است [۴۳].

¹ Moov

² FITGuard

فیت‌گارد از طریق بلوتوث به گوشی هوشمند نیز متصل می‌شود و شدت اثرات دریافت شده از مغز کاربر را اندازه‌گیری کرده و با تغییر رنگ نشان می‌دهد. فیت‌گارد به حسگرهای لمسی مجهز شده و روی نوار نازکی که روی آن قرار دارد شدت شوک را از طریق رنگ نشان می‌دهد. مثلاً اگر نور آبی باشد شوک خفیف است و هیچ خطری وجود ندارد اما اگر نور قرمز باشد به معنی ضربه مغزی است و باید شخص را سریع به دکتر رساند و در صورت هوشیار بودن شخص، خود باید به دکتر مراجعه کند.



شکل (۲-۷) : محافظ دندان هوشمند [۴۳]

پی‌یر^۱ یکی دیگر از سیستم‌هایی است که به صورتی هوشمند به تحلیل داده‌های ورزشی می‌پردازد. این سیستم می‌تواند ضربان قلب و کالری را در ورزشکار اندازه‌گیری کند. این سیستم می‌تواند با استفاده از حسگرهای تعبیه شده بر روی آن داده‌ها را جمع‌آوری کند و به نرم‌افزار نصب شده بر روی تلفن همراه فرد ارسال می‌کند. این سیستم اطلاعات کاربر را تحلیل می‌کند و مانند یک مربی به ورزشکار توصیه‌های لازم را می‌کند. این سیستم می‌تواند در صورتی که کاربر دچار مشکل شود یا احتمال بروز مشکل وجود داشته باشد کاربر را مطلع کند (شکل (۲-۸)) [۴۴].

¹ Pear



شکل (۸-۲) : سیستم تحلیل داده‌های ورزشی [۴۴]

Heatstress سیستمی است که بیشتر برای کارهای نظامی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سیستم همان‌طور که در شکل (۹-۲) مشاهده می‌شود، روی سینه فرد قرار می‌گیرد و دارای سه جفت حسگر است که با بلوتوث کار می‌کنند. این سیستم اطلاعات فیزیکی فرد را در هر لحظه می‌تواند گزارش کند تا مورد بررسی قرار گیرند [۴۵].



شکل (۹-۲) : سیستم تحلیل داده‌های فیزیکی کاربر [۴۵]

CardioWall یک سیستم ورزشی است که مجهز به چند چراغ است که بر روی یک سطح مانند دیوار متصل شده‌اند. چراغ‌ها در این سیستم روشن شده و کاربر با حرکت دست یا پا یا یک وسیله‌ی ورزشی آن-

ها را خاموش می‌کند. این سیستم فقط برای تقویت عصب و عضله بوده و هوشمند نیست. همچنین این سیستم قابلیت انعطاف پایینی داشته و نمی‌توان چیدمان چراغ‌ها را به صورت دلخواه و در هر مکانی انجام داد (شکل ۲-۱۰-۱۰).



شکل (۲-۱۰): سیستم هماهنگ‌کننده‌ی عصب-عضله CardioWall [۴۶]

۲-۴- نتیجه‌گیری

در این فصل، تحقیقات انجام گرفته در زمینه به‌کارگیری یادگیری تقویتی در شبکه‌ی حسگر بی‌سیم و همچنین هوش مصنوعی در ورزش را شرح دادیم. در این تحقیقات روش‌های مختلف به‌کارگیری یادگیری تقویتی در کاربردهای مختلف و همچنین هوشمند کردن تجهیزات و رشته‌های ورزشی مختلف پیشنهاد شده است که به توضیح اجمالی آن‌ها پرداختیم. در فصل بعدی، پیاده‌سازی سیستم پیشنهادی برای پیشنهاد بهترین تمرین به هر ورزشکار را توضیح خواهیم داد.

فصل سوم:

هوشمندسازی سیستم‌های بدنسازی با
استفاده از یادگیری تقویتی

۳-۱- مقدمه

در این فصل سیستم پیشنهادی از دو جهت نرم‌افزاری و سخت‌افزاری مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا سخت‌افزار و اجزای تشکیل دهنده‌ی سیستم طراحی و پیاده‌سازی شده و جزئیات ماژول‌ها و قطعات استفاده شده بیان شده است. برای طراحی و پیاده‌سازی این سیستم، حسگرها و قطعات سخت‌افزاری مختلفی آزمون شده است که در ادامه به این قطعات و ویژگی‌های آن‌ها اشاره شده است. در انتهای این فصل بخش نرم‌افزاری و نحوه‌ی کدگذاری گره‌ها و ارتباط اجزای مختلف سیستم با یکدیگر توضیح داده شده است.

۳-۲- ساختار سخت‌افزاری

۳-۲-۱- گره مرکزی (سرور)

سرور نقش واسط را در سیستم اجرا می‌کند که از طریق ماژول بلوتوث HC-05 به تبلت متصل می‌شود و از طریق ماژول hmtrp به صورت بی‌سیم به سایر گره‌ها متصل شده و اطلاعات را بین تبلت و گره‌ها جابجا می‌کند.

با استفاده از بلوتوث نمی‌توانیم به صورت همزمان به چند سیستم متفاوت متصل شویم. به همین دلیل برای متصل شدن به چند سیستم با استفاده از تبلت باید از ماژول‌های WiFi، XBee یا ZigBee استفاده نماییم. به علت قیمت بالای این ماژول‌ها استفاده از آن‌ها مقرون به صرفه نیست. به همین دلیل از یک گره واسط برای ارتباط با چند سیستم به صورت همزمان و به صورت دوطرفه^۱ استفاده کرده‌ایم.

اجزای داخلی سرور همان‌طور که در شکل (۳-۱) مشاهده می‌شود عبارت‌اند از:

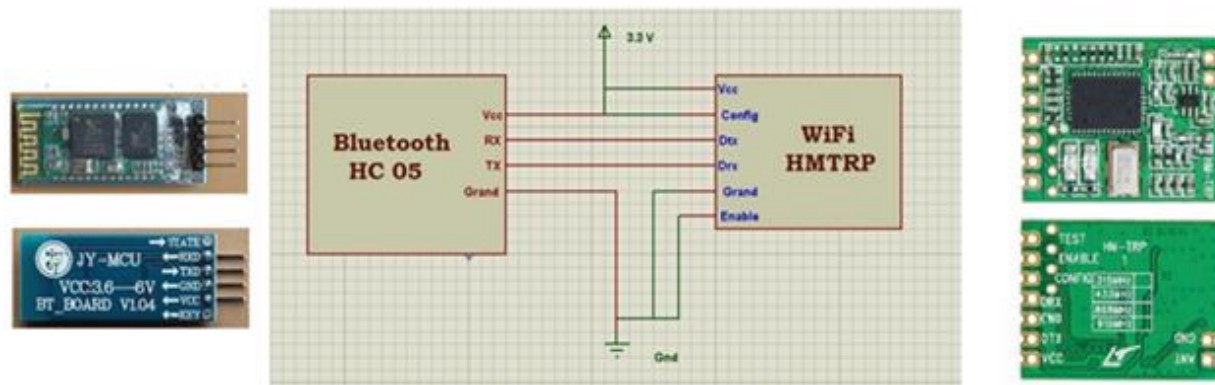
الف) ماژول بلوتوث (HC-05): این ماژول برای ارتباط بین سرور و تبلت مورد استفاده قرار

می‌گیرد.

¹ full-duplex

ب) ماژول بی سیم (hmtrp): از این ماژول برای تبادل اطلاعات با گره‌ها استفاده شده است که با فرکانس 915MHz کار می‌کند و در فضای آزاد تا یک کیلومتر برد دارد.

ج) باتری کتابی ۹ ولت: این باتری به‌عنوان منبع تغذیه مورد استفاده قرار می‌گیرد و قابلیت شارژ مجدد دارد.



شکل (۳-۱): تصویر مدار سیستم مرکزی

۳-۲-۲- گره‌های جانبی

در سیستم طراحی و پیاده‌سازی شده گره‌ها دارای ۳ گروه LED در رنگ‌های سفید، سبز و قرمز هستند که به‌محض روشن شدن هر رنگ، ورزشکار باید گره موردنظر را خاموش کند. البته در تمرین‌های این پایان نامه تنها از یک رنگ استفاده شده است ولی دو رنگ دیگر برای موارد پیش بینی نشده در سیستم تولید شده قرار داده شده است. اطلاعاتی که توسط گره‌ها دریافت می‌شوند شامل فرمان‌هایی است که از سرور به آن گره می‌رسد. این فرمان‌ها به گره موردنظر اعلام می‌کند که باید کدام گروه از LEDها روشن یا خاموش شود. اطلاعات ارسالی گره‌ها نیز شامل اعلام خاموش شدن گره توسط کاربر است.

اجزای داخلی گره‌ها که در شکل (۳-۲) نشان داده شده است عبارت‌اند از:

الف) پردازنده (Atmega8): وظیفه‌ی مدیریت و نظارت بر رویدادهای هر گره را بر عهده

دارد.

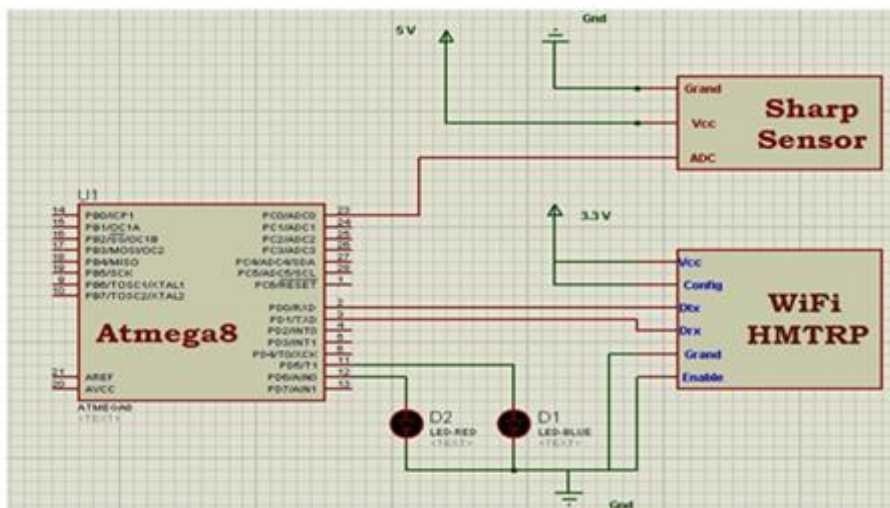
ب) حسگر تشخیص فاصله (Sharp): وظیفه‌ی تشخیص حرکت‌های ورزشکار و اعلام آن به پردازنده را به عهده دارد.

ج) LEDها: برای اعلام فعال شدن گره به ورزشکار استفاده می‌شوند.

د) ماژول وایرلس (hmtrp): این ماژول برای تبادل اطلاعات با سرور مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ه) بوق هشداردهنده: بوق هشداردهنده برای اعلام فعال شدن گره به ورزشکار استفاده می‌شوند.

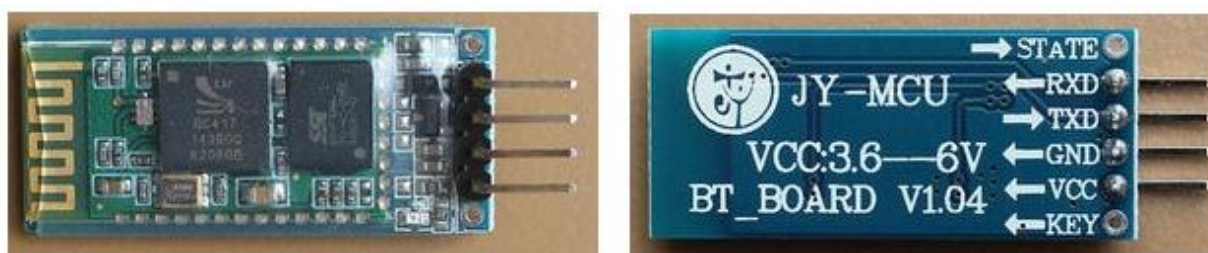
ی) باتری کتابی ۹ ولت: این باتری به‌عنوان منبع تغذیه مورد استفاده قرار می‌گیرد و قابلیت شارژ مجدد را دارد.



شکل (۲-۳): تصویر مدار سیستم جانبی

۳-۳- اجزای اصلی تشکیل دهنده سیستم طراحی و پیاده‌سازی شده

الف) ماژول بلوتوث (HC-05): ماژول بلوتوث HC-05 یک ماژول استاندارد Bluetooth با خروجی زنجیره است. این ماژول برای ارتباط بین میکروکنترلر و موبایل و تبلت و نیز دو میکرو با یکدیگر با سرعت بالا مناسب است (شکل (۳-۳)).



شکل (۳-۳): ماژول بلوتوث HC-05 [۴۷]

وظایف پایه‌های شکل (۳-۴) در ادامه آورده شده است:

- Vcc: پایه تغذیه مثبت مدار است که باید ولتاژ ۳/۳ ولت به آن وصل شود.
- Dtx: اطلاعات دریافتی توسط ماژول از طریق این پایه در دسترس خواهد بود.
- Gnd: این پایه برای تغذیه منفی مدار است که باید به Gnd و یا به عبارت دیگر منفی منبع تغذیه به آن متصل شود.
- Drx: برای ارسال اطلاعات از این پایه استفاده می‌شود.

در جدول (۳-۱) ویژگی‌های ماژول بلوتوث HC-05 آورده شده است.

جدول (۳-۱): ویژگی‌های ماژول بلوتوث HC-05

۲٫۱	حداکثر سرعت (Mbps)	۳٫۳	ولتاژ (V)
-۲۰	محدوده دمای کاری (C°)	۵۰	جریان (mA)
۲۶٫۹	طول (mm)	۲	توان خروجی (dBm)
۱۳	عرض (mm)	GFSK	مدولاسیون
۲٫۲	ارتفاع (mm)	۸۴	حساسیت (dBm)

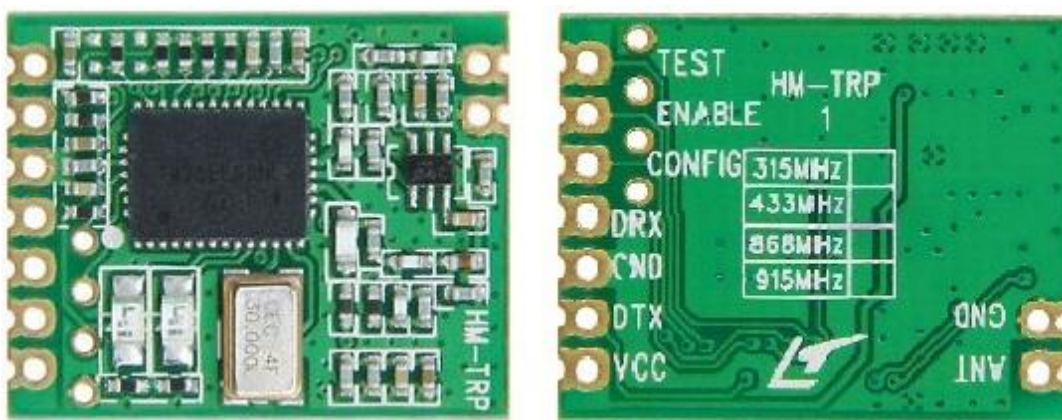
ب) ماژول بی‌سیم (hmtrp): یکی از ماژول‌های فرستنده گیرنده اطلاعات با قابلیت اتصال به کامپیوتر که با کمک آن می‌توان اطلاعات را به صورت بی‌سیم بین دو میکرو یا بین دو کامپیوتر یا میکرو و کامپیوتر انتقال داد ماژول hmtrp است. برد این ماژول در محیط باز تقریباً یک کیلومتر است. نحوه عملکرد این ماژول بدین صورت است که در صورتی که پایه‌های آن به گونه‌ای به منبع تغذیه وصل شده باشد که در حالت ارسال و دریافت اطلاعات باشد، ابتدا ماژول اطلاعاتی که به پایه Dtx آن وصل شده را ارسال می‌کند و بعد از اتمام ارسال به صورت خودکار به حالت گیرنده سوئیچ می‌شود. مدت زمان سوئیچ بین حالت فرستنده و گیرنده ۵۰ میلی‌ثانیه است.

پروتکل ارسال و دریافت اطلاعات به صورت خودکار توسط خود ماژول hmtrp کنترل می‌شود. همچنین این ماژول از حساسیت بالایی در میزان اطلاعات دریافتی و ارسال برخوردار است. مهم‌ترین ویژگی این ماژول تبادل اطلاعات با کامپیوتر و میکرو از طریق پروتکل UART است.

وظیفه پایه‌های ماژول hmtrp به صورت زیر است:

- Vcc: پایه تغذیه مثبت مدار است که ولتاژ ۳٫۳ ولت به آن متصل می‌شود.
- Dtx: اطلاعات دریافتی توسط ماژول از طریق این پایه در دسترس خواهد بود.

- **Gnd**: این پایه برای تغذیه منفی مدار است که باید **Gnd** و یا به عبارت دیگر منفی تغذیه را به آن وصل کنیم.
- **Drx**: در صورتی که بخواهیم اطلاعاتی را ارسال کنیم از این پایه استفاده می‌شود.
- **Config**: این پایه برای تنظیمات داخلی ماژول است، در صورتی که بخواهیم به تنظیمات داخلی ماژول توسط نرم‌افزار دسترسی داشته باشیم باید این پایه را به مثبت **Vcc** وصل کنیم و بعد ماژول را روشن کنیم اما اگر خواسته باشیم ماژول به صورت عادی عمل کند و اطلاعات را ارسال و دریافت کند این پایه باید به زمین وصل شده باشد.
- **Enable**: پایه فعال‌ساز **Enable** است در صورتی که این پایه به زمین وصل شده باشد ماژول روال عادی خود را انجام می‌دهد اما اگر بخواهیم ماژول هیچ اطلاعاتی را ارسال و یا دریافت نکند این پایه باید به **Vcc** وصل شود.



شکل (۳-۴): ماژول hmtrp [۴۸]

با توجه به فرکانس ماژول **hmtrp**، آنتن مناسب آن باید مورد استفاده قرار گیرد که در شکل (۳-۵) مشاهده می‌شود. آنتن باید به قطعه وصل باشد تا کار کند و اطلاعات را ارسال و دریافت کند.



شکل (۳-۵): آنتن ماژول hmtpr [۴۹]

ج) پردازنده (**Atmega8**): میکروکنترلر یک مدار مجتمع یا چیپ الکترونیکی است که دارای CPU, حافظه و تعدادی ورودی خروجی قابل برنامه‌ریزی است (شکل (۳-۶)). میکروکنترلرها در واقع یک میکرو کامپیوتر هستند که برای مصارف خاصی برنامه‌ریزی می‌شوند. میکروکنترلرها در انواع مختلف و برای مصارف مختلفی تولید می‌شوند و توسط کاربر قابل برنامه‌ریزی هستند که طبق برنامه کاربر می‌تواند تعریف کند اگر شرایط خاصی در ورودی اتفاق افتاد، در خروجی اتفاق خاصی بیفتد.

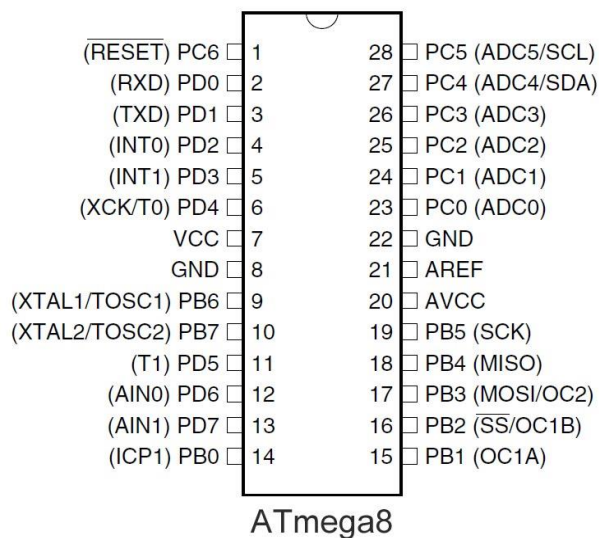
AVR در ابتدا یک خانواده از میکروکنترلرهای ۸ بیتی بود که در سال ۱۹۹۶ بر پایه معماری تغییر یافته هاروارد طراحی و ساخته شد و توسط شرکت Atmel روانه بازارهای جهانی شد. این میکروکنترلر یکی از پر فروش‌ترین میکروکنترلرها در کل جهان به شمار می‌آید و تاکنون در پروژه‌های کثیر علمی، تحقیقاتی و تجاری گوناگونی به کار رفته شده است.

فرآیند توسعه این خانواده از میکروکنترلرها همچنان ادامه دارد. از شناخته شده‌ترین سری‌های AVR می‌توان به سری Attiny, Atmega, AtXmega اشاره کرد. در حال حاضر AVR در سری‌های مختلف و متنوعی با توان‌های پردازشی گوناگون، ظرفیت‌های حافظه‌ای مختلف و سرعت پردازش متفاوت در بازارهای جهانی موجود است. اما چیزی که در حال حاضر در کشورمان به صورت

عمومی و گسترده استفاده می‌شود، سری Atmega از خانواده AVR است که به علت قیمت مناسب و توان پردازش بالا مورد استقبال قرار گرفته است. در این پروژه از میکروکنترلر Atmega8 استفاده کرده‌ایم که مشخصات کلی آن در جدول (۲-۳) آورده شده است [۴۸].

جدول (۲-۳): مشخصات کلی میکروکنترلر Atmega8 [۴۹]

ولتاژ (V)	۲/۷-۵/۵	حافظه برنامه	۸KB
تعداد ورودی خروجی	۲۳	فرکانس اسیلاتور	۱۶MHz
نوع تایمر	۱,۱۶bit-۲,۸bit	سایز E2PROM	۵۱۲
تعداد تایمر	۳	خانواده کنترلر	ATMEGA
تعداد پایه	۲۸	جریان خروجی (mA)	۱
میزان رم (byte)	۱K	کارخانه سازنده	ATMEL
محدوده دمای کاری (C)	-۴۰	فرمت پایه‌ها	PDIP
مدل	ATMEGA8A-PU		



شکل (۳-۶): میکروکنترلر Atmega8 [۴۹]

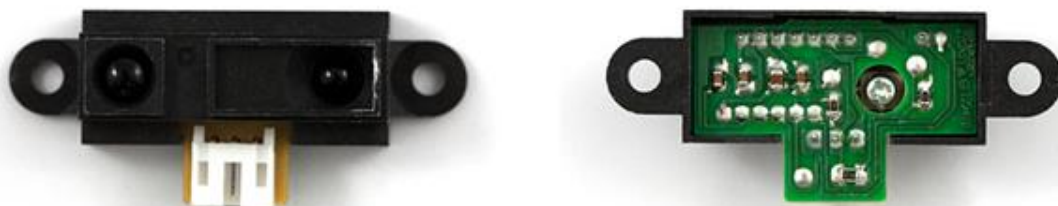
(د) حسگر تشخیص فاصله (Sharp): در این پروژه از فاصله‌سنج GP2Y0A21YK به‌عنوان

حسگر تشخیص مانع استفاده شده است که در شکل (۳-۷) نشان داده شده است. ماژول مسافت شارپ دارای یک حسگر اندازه‌گیری فاصله است که از مجموعه‌ای از آشکارساز حساس به موقعیت و دیود مادون قرمز و مدار پردازشگر سیگنال تشکیل شده است. در این حسگر به دلیل روش triangulation، گوناگونی بازتاب از اشیا، دمای محیط و مدت عملکرد، تشخیص فاصله را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. در شکل (۳-۸) رابطه‌ی ولتاژ خروجی فاصله‌سنج با فاصله‌ی جسم نمایش داده شده است. بنابراین از این حسگر می‌توان به‌عنوان حسگر مجاورتی نیز استفاده کرد.

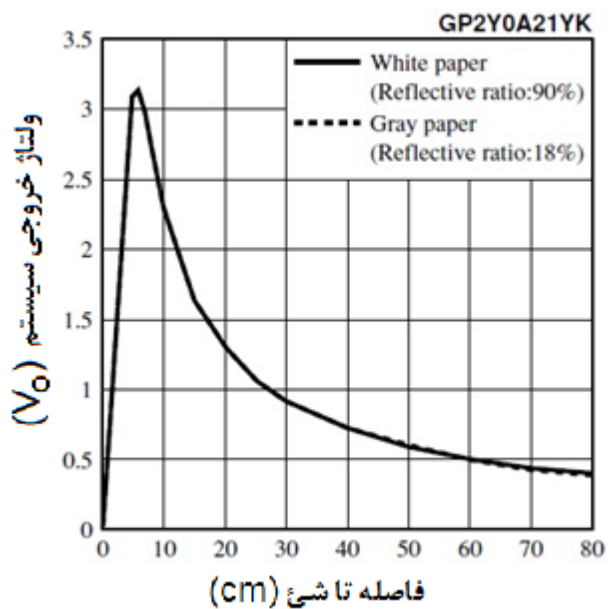
وظیفه پایه‌های این مدار به‌صورت زیر است

- V_0 : هنگامی که جسمی از مقابل حسگر فاصله‌سنج Sharp می‌گذراند ولتاژ خروجی (V_0) حسگر فاصله‌سنج تغییر می‌کند. پایه‌ی ولتاژ خروجی (V_0) فاصله‌سنج به ورودی ADC میکروکنترلر متصل است.
- V_{CC} : پایه تغذیه مثبت مدار است که باید ۵ ولت به آن وصل کنیم.

- **Gnd**: این پایه برای تغذیه منفی مدار است که باید **Gnd** یا به عبارت دیگر منفی تغذیه را به آن وصل کنیم.



شکل (۳-۷): ماژول فاصله‌سنج GP2Y0A21YK [۵۰]



شکل (۳-۸): رابطه‌ی ولتاژ خروجی فاصله‌سنج با فاصله‌ی جسم [۵۰]

خروجی این ماژول ولتاژ بوده و با فاصله رابطه دارد. با استفاده از A/D میکروکنترلر می‌توان ولتاژ را اندازه گرفت و مقدار فاصله را محاسبه کرد. مشخصات کلی ماژول فاصله‌سنج sharp در جدول (۳-۳) نشان داده شده است.

جدول (۳-۳): مشخصات کلی ماژول فاصله‌سنج sharp [۵۰]

۴۴	زمان لازم برای اندازه‌گیری (ms)	۴٫۵-۵٫۵	ولتاژ (V)
۳۷	طول (mm)	۳۳-۵۰	جریان (mA)
۱۸٫۹	عرض (mm)	۱۰	مینیمم رنج اندازه‌گیری (cm)
۱۳٫۵	ارتفاع (mm)	۸۰	ماکزیمم رنج اندازه‌گیری (cm)
۱۲ cm	قطر منطقه تشخیص در ۸۰cm	GP2Y0A21YK	پارت نامبر
آنالوگ	خروجی	۳۹	زمان پاسخ‌گویی (ms)

در ادامه به بررسی نحوه عملکرد سخت‌افزاری قطعه طراحی شده می‌پردازیم.

۳-۴- آزمون‌های سخت‌افزاری انجام شده

برای طراحی و پیاده‌سازی این سیستم، روش‌ها و قطعات مختلفی را آزمون کردیم تا به ساختار سیستم

پیشنهادی رسیدیم. در ادامه به بررسی برخی از این قطعات می‌پردازیم و علت ناکارآمدی آن‌ها برای استفاده در

این سیستم مطرح شده است.

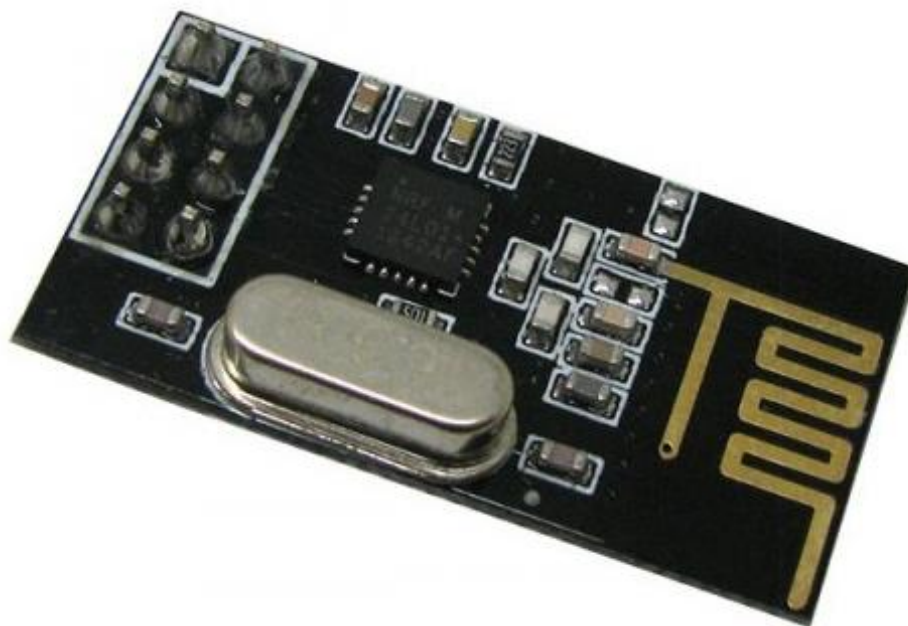
۳-۴-۱- مازول گیرنده و فرستنده NRF24L01+

در ابتدای کار برای ارتباط گره‌های جانبی و گره اصلی از مازول NRF24L01+ استفاده کردیم که در شکل (۳-۹) نشان داده شده است. علت استفاده از این مازول برد مناسب برای استفاده در سیستم، قیمت مناسب و مشخصات سخت‌افزاری این قطعه بود. این مازول برای ارتباط با میکرو از درگاه SPI استفاده می‌کرد. استفاده از این درگاه نیازمند کتابخانه‌ی خاصی بود.

بعد از راه‌اندازی این مازول، در آزمون‌های صورت گرفته، مشاهده شد که امکان ارتباط بیش از ۳ گره با این مازول امکان‌پذیر نیست. همچنین نمی‌توانستیم از این مازول برای ارتباطات طولانی‌مدت استفاده نماییم. پس از آزمون و بررسی‌های متعدد دریافتیم که مشکل مازول NRF24L01+ ایجاد نویز در هنگام تغییر وضعیت بین حالت فرستنده و گیرنده بود. این نویز باعث غیرفعال شدن مازول‌ها و در نتیجه از کار افتادن گره‌ها می‌شود. برای رفع این مشکل از روش‌های متعددی برای رفع نویز استفاده کردیم. علی‌رغم تمام تلاش‌های صورت گرفته موفق به حل مشکل نشدیم. برخی از مشخصات مازول NRF24L01+ در جدول (۳-۴) آورده شده است.

جدول (۳-۴): مشخصات مازول گیرنده و فرستنده NRF24L01+ [۵۱]

۲	حداکثر سرعت (Mbps)	۱٫۹-۳٫۶	ولتاژ (V)
۱۲٫۳	جریان مصرفی در حالت دریافت دیتا (mA)	۱۱٫۳	جریان مصرفی در هنگام ارسال دیتا (mA)
۲۹	طول (mm)	۱۵	عرض (mm)



شکل (۳-۹): ماژول گیرنده و فرستنده NRF24L01 [۵۱]

۳-۴-۲- ماژول تشخیص حرکت مادون قرمز HC-SR501

ماژول حرکت مادون قرمز **HC-SR501** یک ماژول ارزان قیمت و قابل تنظیم برای تشخیص حرکت در محیط است. همچنین اندازه کوچک و طراحی فیزیکی مناسب و سهولت کار با این قطعه از دیگر موارد ارزشمند این بسته است (شکل (۳-۱۰)). در این قطعه از حسگرهای PIR یا Passive Infra-Red برای تشخیص حرکت بر مبنای نور مادون قرمز ناشی از گرمای موجود در محیط کار استفاده شده است. از همین رو استفاده از این حسگرها در سیستم‌های امنیتی برای تشخیص حرکت انسان یا ورودهای غیرمجاز بسیار رایج است.

این ماژول یکی از حسگرهایی بود که در طی مراحل ساخت سیستم قصد داشتیم از آن به عنوان حسگر تشخیص حرکت استفاده کنیم. ولی پس از نصب دریافتیم که راه‌اندازی اولیه و کالیبره شدن این حسگرها چیزی در حدود ۱۰ تا ۶۰ ثانیه به طول می‌انجامد و در طی این مدت برای تنظیم دقیق نباید در شعاع دید آن‌ها حرکتی انجام پذیرد. همچنین پاسخ این ماژول به تشخیص حرکت بسیار ضعیف بود. همچنین در صورت

گذراندن جسم بدون حرارت حسگر آن را تشخیص نمی‌داد. به همین علت این ماژول برای طراحی این سیستم قابل استفاده نبود. برخی از مشخصات ماژول HC-SR501 در جدول (۳-۵) آورده شده است.

جدول (۳-۵): مشخصات ماژول تشخیص حرکت مادون قرمز HC-SR501 [۵۲]

حالت تریگر خروجی	TTL Voltage	ولتاژ (V)	۵-۲۰
زاویه آشکارسازی (درجه)	۱۲۰	محدوده دمای کاری (C°)	-۱۵
رنج آشکارسازی (m)	۷	جریان خاموشی (uA)	۶۵
طول (mm)	۳۲	سطح زمان نگهداری (S)	۳
عرض (mm)	۲۴	سطح بالای خروجی (V)	۳



شکل (۳-۱۰): ماژول تشخیص حرکت مادون قرمز HC-SR501 [۵۲]

۳-۵- ساختار نرم‌افزاری

در سیستم طراحی و پیاده‌سازی شده قصد داریم به صورت هوشمند نقاط ضعف افراد را شناسایی و تقویت کنیم. با توجه به ساختار مسئله بهترین روش برای هوشمندسازی این سیستم استفاده از الگوریتم‌های

یادگیری تقویتی می‌باشد. SARSA^۱ و Q-learning از جمله الگوریتم‌های یادگیری تقویتی می‌باشند. با توجه به ساختار مسئله و کم بودن تعداد داده‌های دریافتی از طرف کاربر و همچنین نیاز به سرعت بالای اجرا، ما برای حل این مسئله از الگوریتم Q-learning استفاده کرده‌ایم.

در این سیستم از ۴ گره برای تمرین فرد استفاده شده است. یک گره برای دست راست، یک گره برای دست چپ، یک گره برای پای راست و یک گره برای پای چپ قرار داده شده است. در این سیستم از کاربر درخواست می‌شود که به محض روشن شدن چراغ هر گره آن را با دست یا پای مربوط به خودش خاموش نماید. هرچه فاصله‌ی بین روشن شدن گره تا خاموش شدن آن کمتر باشد قدرت عکس‌العمل فرد بر روی آن گره بیشتر است.

الگوریتم یادگیری تقویتی بر اساس پاداش‌هایی که از محیط دریافت می‌کند به‌روز می‌شود و سعی می‌کند به سمت بهترین گزینه برود. در این سیستم میزان تأخیر ورزشکار در خاموش کردن هر گره را به‌عنوان پاداش برای الگوریتم Q-Learning در نظر می‌گیریم. به این ترتیب چراغ‌هایی که با تأخیر بیشتری خاموش شده‌اند (کاربر در خاموش کردن آن چراغ‌ها ضعف داشته است) پاداش بیشتری برای الگوریتم Q-Learning دارد و در نتیجه تمایل برای روشن کردن مجدد آن‌ها بیشتر است.

نحوه بروز شدن در الگوریتم Q-Learning مطابق رابطه‌ی (۱-۳) است [۲].

$$Q(s_t, a_t) = Q(s_t, a_t) + \alpha \times \left[R(s_t) + \gamma \max_{a_{t+1}} Q(s_{t+1}, a_{t+1}) - Q(s_t, a_t) \right] \quad (1-3)$$

در این فرمول Q ماتریسی است که در ابتدای برنامه تشکیل می‌شود. تعداد سطرها در این ماتریس برابر حالت‌های موجود است و تعداد ستون‌های این ماتریس برابر تعداد حرکت‌هایی است که در هر حالت می‌توانیم انجام دهیم. مقادیر این ماتریس در ابتدای برنامه صفر است. پس از چند مرحله از اجرای برنامه و دریافت پاداش

^۱ State-Action-Reward-State-Action

از محیط، این مقادیر بروز می‌شوند. S_t نشان‌دهنده‌ی وضعیت‌هایی است که در این مسئله وجود دارد و در هر مرحله نشان‌دهنده چراغی است که در آن مرحله روشن بوده است. مقادیر S_t در این مسئله عددی بین ۱ تا ۴ است. a_t نشان‌دهنده‌ی مجموعه اقداماتی است که در این مرحله می‌توانیم انجام دهیم. در این مسئله این اقدام روشن شدن چراغ‌های دیگر است. با توجه به اینکه امکان روشن کردن یک چراغ در دو مرحله‌ی پشت سر هم وجود ندارد تعداد حالت‌های موجود در این مرحله عددی بین ۱ تا ۴ به‌جز عدد حالت فعلی است. به عبارت دیگر قطر اصلی Q در این برنامه همیشه برابر صفر است. در این فرمول α نرخ یادگیری و مقدار آن بین صفر تا یک است. $R(S_t)$ پاداشی است که سیستم در این مرحله دریافت کرده است. این پاداش برابر مقدار زمانی است که سیستم در این گره روشن بوده است. γ نیز مقدار عامل تنزیل است.

الگوریتم طراحی شده در حین تمرین کردن فرد ورزشکار و بر اساس بازخوردی که از فرد دریافت می‌کند خود را به روز می‌کند. این الگوریتم در شروع کار مانند الگوریتم رندم می‌باشد ولی پس از گذشت چند مرحله آموزش می‌بیند و تمرکز خود را بر روی نقاط ضعف فرد قرار می‌دهد.

در حالتی که بخواهیم فقط بر اساس الگوریتم یادگیری تقویتی چراغ بعدی را انتخاب کنیم پس از گذشت چند مرحله سیستم فقط گره‌هایی که فرد در آن‌ها ضعف داشته را روشن می‌کند و سیستم چراغ‌های دیگر را روشن نمی‌کند. به همین خاطر در این برنامه به احتمال ۵۰ درصد انتخاب چراغ بعدی توسط الگوریتم یادگیری تقویتی انجام می‌شود و به احتمال ۵۰ درصد سیستم چراغ بعدی را به‌صورت تصادفی روشن می‌کند.

تعداد دفعات روشن شدن چراغ‌ها می‌تواند برحسب زمان یا تعداد باشد. تکرار برحسب زمان به این صورت است که کاربر برای یک مدت مشخص فعالیت را انجام می‌دهد (مثلاً برای یک دقیقه) و در این مدت به‌محض خاموش شدن یک چراغ، چراغ بعدی روشن می‌شود. در این حالت برحسب سرعت کاربر، دفعات روشن شدن چراغ‌های متفاوت است.

۳-۵-۱- برنامه‌ی نوشته شده در سیستم عامل اندروید

الگوریتم یادگیری تقویتی برای سیستم طراحی و پیاده‌سازی شده در سیستم عامل اندروید نوشته شده است. این نرم‌افزار وظیفه‌ی کنترل، مدیریت سایر بخش‌ها، تحلیل و پردازش داده‌های دریافتی و ارسال فرمان را بر عهده دارد. این نرم‌افزار را می‌توان بر روی یک سیستم هوشمند مجهز به سیستم عامل اندروید مانند تبلت نصب کرد. برنامه می‌تواند از طریق بلوتوثِ تبلت به سیستم مرکزی متصل شود و داده‌های خود را برای سیستم مرکزی ارسال نماید. در شکل (۳-۱۱) تصویر مربوط به نرم‌افزار اندروید سیستم طراحی و پیاده‌سازی شده نشان داده شده است.



شکل (۳-۱۱): تصویر نرم‌افزار اندروید مربوط به سیستم طراحی و پیاده‌سازی شده

۳-۵-۲- کدگذاری

در این سیستم اجزاء برای تبادل اطلاعات و پیام‌ها از یک بایت داده با فرمت مشخص استفاده می‌کنند. پیام‌ها دارای ۲ بخش هستند. بخش اول که شامل ۴ بیت پرارزش است، رنگ موردنظر را مشخص می‌کند و

بخش دوم که شامل ۴ بیت کم‌ارزش است، شماره‌ی گره موردنظر را مشخص می‌کند. همان‌طور که در شکل (۱۲-۳) مشخص شده است شماره‌ی ۴ برای رنگ قرمز، شماره‌ی ۵ برای رنگ سفید و شماره‌ی ۶ برای رنگ سبز در نظر گرفته شده است.

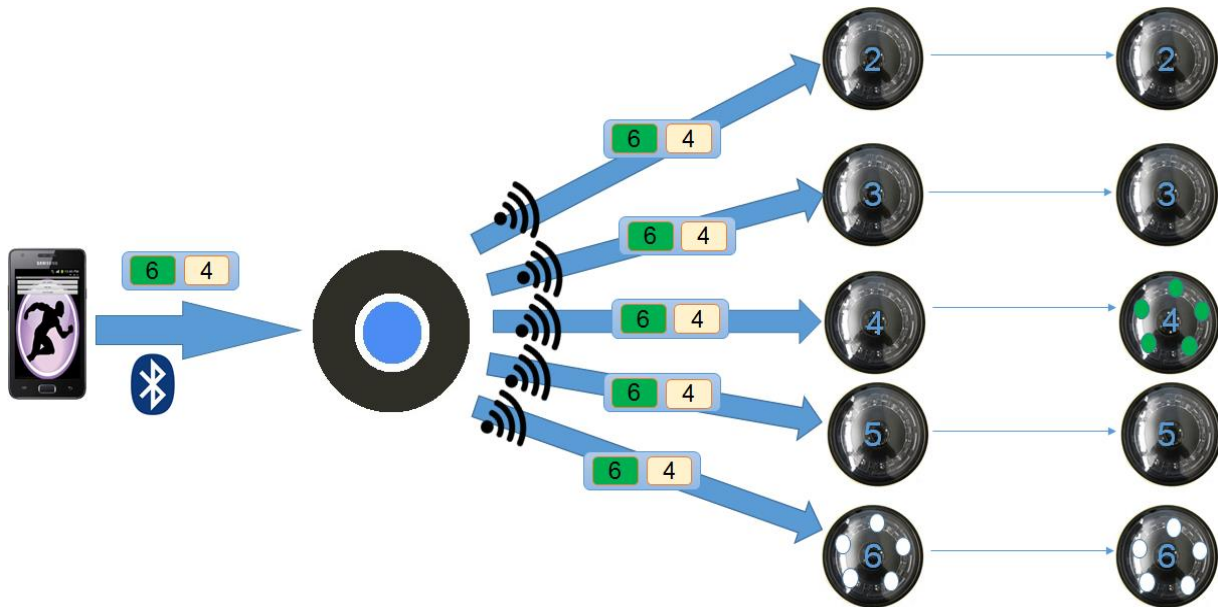
رنگ مورد نظر	نود مورد نظر
4(0100)	1(0001)
5(0101)	2(0010)
6(0110)	3(0011)
	4(0100)
	5(0101)
	6(0110)
	7(0111)
	8(1000)

شکل (۱۲-۳): ساختار پیام‌های تبادلی شده

➤ عملکرد سیستم هنگام ارسال پیام از سمت تبلت

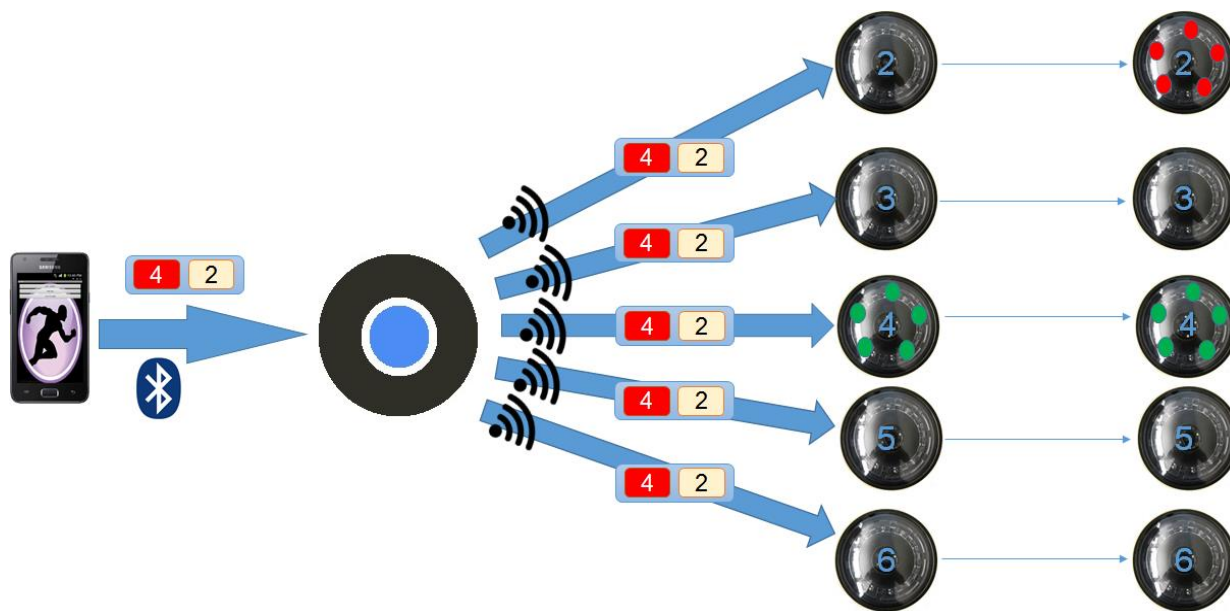
هنگام ارسال پیام از سمت تبلت، ابتدا اطلاعات شامل رنگ و شماره‌ی گره‌ای که قرار است فعال شود توسط تبلت در پیام قرار داده می‌شود. سپس پیام توسط بلوتوث به گره اصلی ارسال می‌شود. ابتدا گره اصلی پیام را به‌وسیله‌ی ماژول بلوتوث HC-05 دریافت می‌کند و پس از آن پیام از طریق ماژول hmtrp از گره اصلی به سمت سایر گره‌ها ارسال می‌شود. هنگامی که پیام به گره جانبی موردنظر می‌رسد، گره جانبی موردنظر فعال می‌رود و رنگ مشخص‌شده در پیام توسط آن گره روشن می‌شود. این پیام توسط سایر گره‌های جانبی دریافت می‌شوند ولی با توجه به اینکه شماره‌ی گره مشخص‌شده در پیام با شماره‌ی آن‌ها برابر نیست این پیام در حالت سایر گره‌ها تأثیری نمی‌گذارد.

شکل (۳-۱۳) روند ارسال پیام از تبلت به سایر اجزای سیستم را نمایش می‌دهد. در این پیام از سیستم خواسته شده است که گره ۴ را فعال کند و رنگ سبز آن را روشن نماید. همان‌طور که مشاهده می‌شود این فرمان در وضعیت فعال و یا غیرفعال بودن سایر گره‌ها تأثیری نمی‌گذارد.



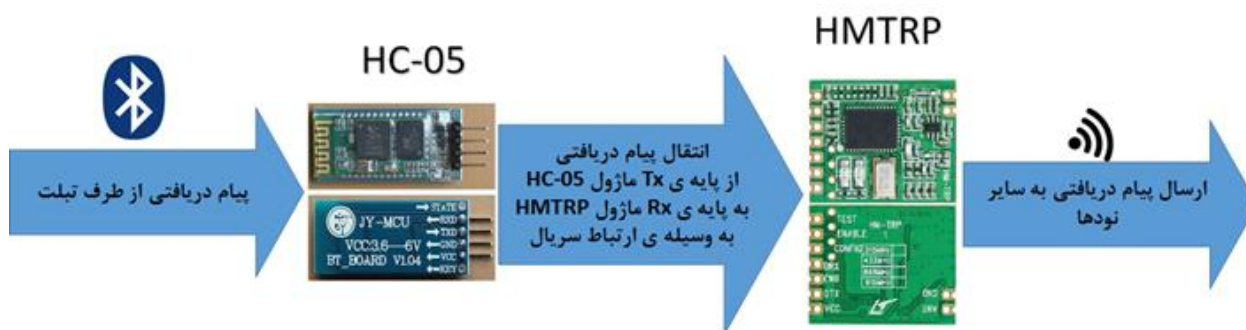
شکل (۳-۱۳): روند ارسال پیام توسط تبلت و دریافت آن توسط گره‌های جانبی

در شکل (۳-۱۴) روند ارسال پیام از تبلت به سایر اجزای سیستم نمایش داده شده است. در این پیام از سیستم خواسته شده است که گره ۲ فعال شده و چراغ قرمز آن روشن شود.



شکل (۳-۱۴): نمونه‌ی دیگری از ارسال پیام توسط تبلت و نمایش تأثیر آن بر سیستم

شکل (۳-۱۵) عملکرد گره اصلی هنگام دریافت پیام از تبلت و ارسال آن پیام به سایر گره‌ها را نشان می‌دهد. در این روند اطلاعات ارسال شده به وسیله‌ی بلوتوث تبلت توسط ماژول بلوتوث HC-05 دریافت می‌شود. سپس ماژول HC-05 اطلاعات را از طریق پایه‌ی tx خود به پایه‌ی rx ماژول hmtrp انتقال می‌دهد. پس از آن ماژول hmtrp اطلاعات را به سایر گره‌ها ارسال می‌کند.



شکل (۳-۱۵): وضعیت گره اصلی هنگام دریافت پیام از تبلت و ارسال آن به سایر گره‌ها

عملکرد گره جانبی را هنگام دریافت پیام از گره اصلی در شکل (۳-۱۶) نشان داده شده است. در این روند اطلاعات ارسال شده توسط گره اصلی توسط ماژول hmtrp موجود در گره جانبی دریافت می‌شود. سپس ماژول hmtrp اطلاعات را از طریق پایه‌ی tx خود به پایه‌ی rx میکروکنترلر Atmega8 انتقال می‌دهد.

هنگامی که میکروکنترلر Atmega8 پیام را دریافت می‌کند در مرحله‌ی اول پیام دریافتی را تجزیه می‌نماید. در صورتی که شماره‌ی گره موجود در پیام با شماره‌ی گره جانبی دریافت‌کننده‌ی پیام همسان باشد، گره جانبی فعال می‌شود. هنگامی که گره‌ای فعال می‌شود در مرحله‌ی اول پیام دریافت شده را در خود ذخیره می‌کند. پس از آن حس‌گر فاصله‌سنج Sharp را فعال می‌کند و در مرحله‌ی آخر چراغ مشخص‌شده در پیام را روشن می‌نماید. در صورتی که شماره‌ی گره موجود در پیام با شماره‌ی گره جانبی دریافت‌کننده‌ی پیام همسان نباشد در گره جانبی هیچ اتفاقی نمی‌افتد. (شکل ۳-۱۷).



شکل (۳-۱۶): وضعیت گره جانبی هنگام دریافت پیام از گره اصلی و فعال شدن



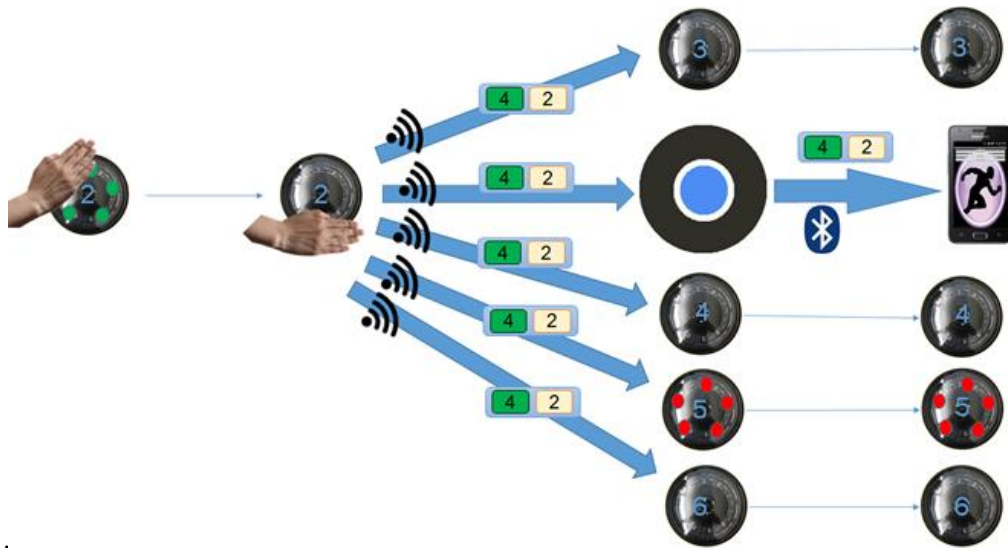
شکل (۳-۱۷): عملکرد میکروکنترلر Atmega8 موجود در گره جانبی هنگام دریافت پیام

➤ عملکرد سیستم هنگام خاموش شدن چراغ‌ها توسط کاربر

هنگامی که یک گره توسط کاربر خاموش می‌شود، گره خاموش شده پیامی را که در هنگام فعال شدن در خود ذخیره کرده بود را از طریق ماژول hmtpr و به صورت بی‌سیم برای سایر گره‌ها ارسال می‌کند. این پیام شامل شماره‌ی گره و رنگ چراغ خاموش شده است. تمام گره‌های موجود در سیستم این پیام را دریافت می‌کنند ولی با توجه به این که شماره‌ی پیام مربوط به گره خاموش شده است، در آن‌ها تغییری ایجاد نمی‌شود. هنگامی که این پیام به گره مرکزی می‌رسد، گره مرکزی پیام را از طریق ماژول بلوتوث HC-05 به تبلت ارسال می‌کند.

شکل (۳-۱۸) روند غیرفعال شدن گره جانبی و ارسال پیام غیرفعال شدن به سایر اجزای سیستم را نمایش می‌دهد. در این پیام گره جانبی غیرفعال شده، شماره‌ی خود و کد رنگی که در هنگام فعال بودن داشته را در قالب یک پیام به سایر اجزای سیستم اطلاع می‌دهد. این پیام پس از آنکه توسط گره اصلی دریافت می‌شود با

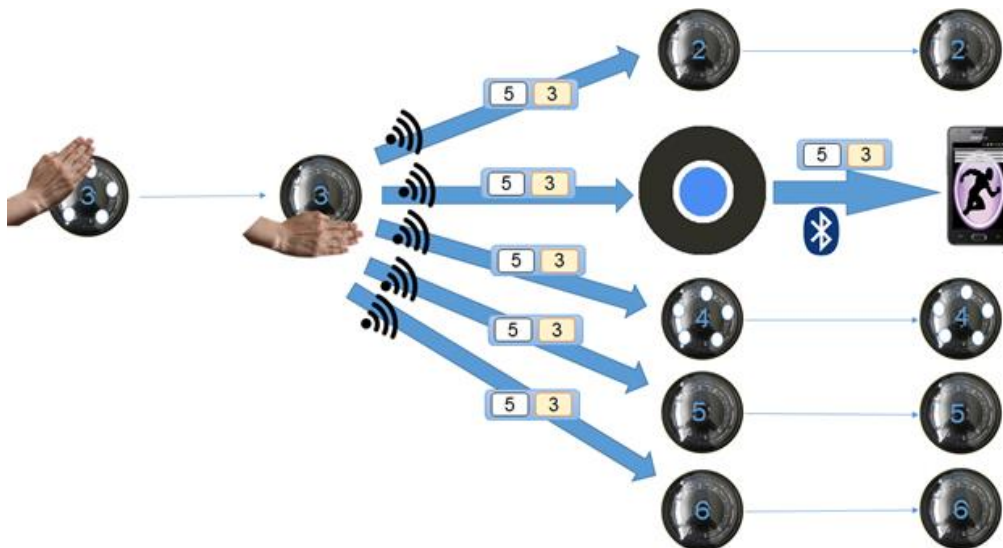
استفاده از ماژول بلوتوث برای تبلت ارسال می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود این فرمان در وضعیت فعال و یا غیرفعال بودن سایر گره‌ها تأثیری نمی‌گذارد. در پیام ارسال‌شده توسط گره غیرفعال شده، کد رنگ سبز (عدد ۴) و شماره‌ی گره خاموش شده (عدد ۲) قرار داده شده است



شکل (۳-۱۸): روند ارسال پیام توسط گره جانبی غیرفعال شده و دریافت آن توسط تبلت

در شکل (۳-۱۹) نیز روند ارسال پیام توسط گره جانبی غیرفعال شده و دریافت آن توسط تبلت نشان

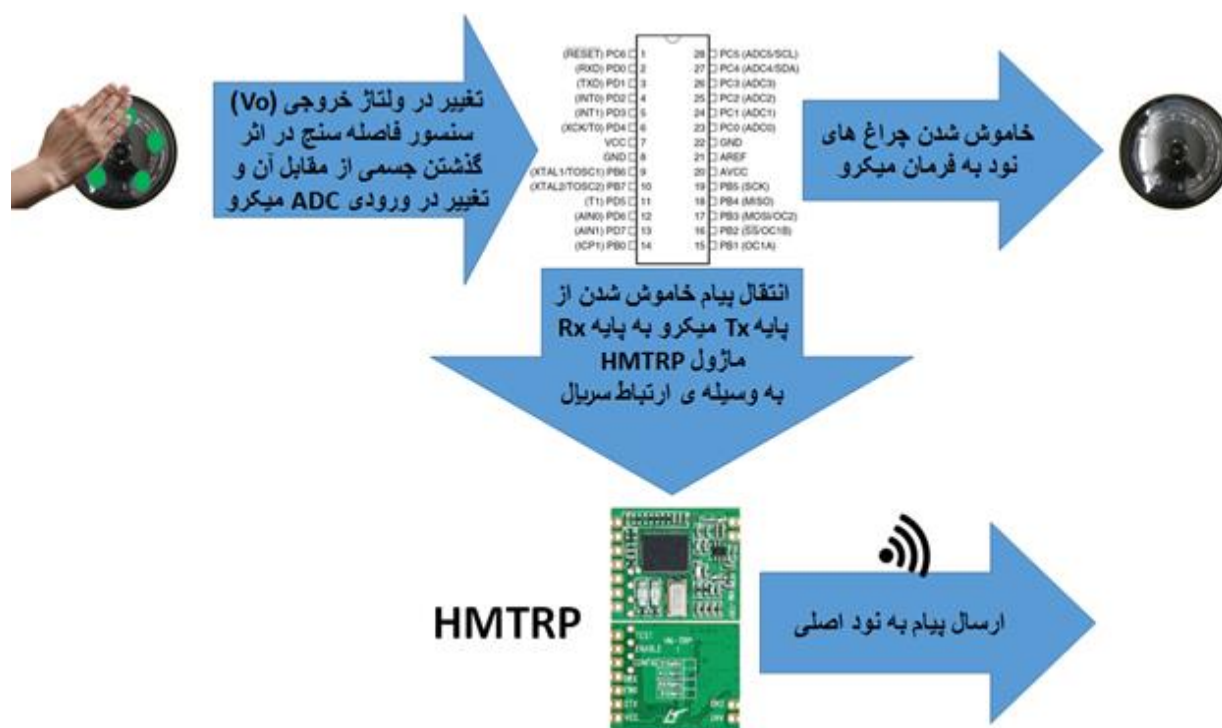
داده شده است. در این شکل گره شماره‌ی ۳ غیرفعال شده و هنگام غیرفعال شدن رنگ آن سفید بوده است.



شکل (۳-۱۹): روند ارسال پیام توسط گره جانبی غیرفعال شده و دریافت آن توسط تبلت

عملکرد گره جانبی هنگام غیرفعال شدن توسط کاربر در شکل (۳-۲۰) نشان داده شده است. هنگامی کاربر دست، پا یا هر جسم جانبی دیگری را از مقابل حسگر فاصله‌سنج Sharp می‌گذراند ولتاژ خروجی (V_o) حسگر فاصله‌سنج تغییر می‌کند. تغییر در ولتاژ خروجی حسگر باعث تغییر در ولتاژ ورودی ADC میکروکنترلر می‌شود. بدین ترتیب کاربر به گره جانبی فرمان می‌دهد که غیرفعال شود.

هنگامی که میکروکنترلر فرمان غیرفعال شدن را از کاربر دریافت می‌کند ابتدا چراغ‌های خود را خاموش می‌کند. پس از آن پیامی را که در مرحله‌ی فعال شدن در خود ذخیره کرده را از طریق پایه‌ی TX خود به پایه‌ی rx ماژول hmtrp ارسال می‌کند. این پیام شامل شماره‌ی گره و رنگ گره هنگام خاموش شدن است. سپس ماژول hmtrp پیام خود را برای گره اصلی ارسال می‌کند. پس از آن میکروکنترلر حسگر شارپ را غیرفعال می‌کند تا انرژی گره در مدت غیرفعال بودن از بین نرود.



شکل (۳-۲۰): عملکرد گره جانبی هنگام دریافت فرمان غیرفعال شدن از کاربر و ارسال پیام به گره اصلی

شکل (۳-۲۱) عملکرد گره اصلی را هنگام دریافت پیام از گره‌های جانبی و ارسال آن پیام به تبلت نشان می‌دهد. در این روند اطلاعات ارسال شده به وسیله‌ی گره جانبی غیرفعال شده توسط ماژول hmtrp گره اصلی دریافت می‌شود. سپس ماژول hmtrp اطلاعات را از طریق پایه‌ی tx خود به پایه‌ی rx ماژول HC-05 انتقال می‌دهد. پس از آن ماژول HC-05 اطلاعات را به بلوتوث تبلت ارسال می‌نماید.



شکل (۳-۲۱): وضعیت گره اصلی هنگام دریافت پیام از تبلت و ارسال آن به سایر گره‌ها

۳-۶- نتیجه‌گیری

در این فصل نحوه‌ی طراحی و تولید سیستم را مورد بررسی قرار دادیم. ابتدا به توضیح سخت‌افزار و اجزای تشکیل‌دهنده‌ی سیستم پرداختیم و در ادامه آزمون‌هایی که برای پیاده‌سازی انجام دادیم را بیان کردیم. در بخش نرم‌افزاری، الگوریتم Q-learning و نحوه‌ی استفاده از آن و همچنین کدگذاری و ارتباط اجزای مختلف سیستم را مورد بررسی قرار دادیم. در فصل بعد سیستم طراحی و پیاده‌سازی شده توسط یک ورزشکار مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج مورد بررسی قرار می‌گیرند.

فصل چهارم: یافته‌ها و نتایج

۴-۱- مقدمه

در این فصل نتایج حاصل از دو روش به کاررفته شده در سیستم ساخته شده را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در روش اول به بررسی انتخاب تصادفی در تمرین‌های عصب-عضله می‌پردازیم که بدون در نظر گرفتن نقاط قوت و ضعف کاربر، از او می‌خواهد تا چراغ‌های روشن تصادفی را خاموش کند. در روش دوم، انتخاب اینکه در هر لحظه کدام چراغ روشن باشد به صورت هوشمند و با توجه به نقاط قوت و ضعف کاربر با استفاده از روش یادگیری تقویتی انجام می‌شود. در انتها نتایج دو روش را با یکدیگر مقایسه می‌کنیم.

البته روش‌های دیگری برای تمرین کردن افراد ورزشکار وجود دارد. برای مثال روش ترتیبی که در آن کاربر یک ترتیب برای روشن شدن چراغ‌ها روشن می‌کند. با توجه به اینکه در روش ترتیبی کاربر از روشن شدن شماره چراغ بعدی اطلاع دارد نمی‌توان از آن برای انجام مقایسه استفاده کرد.

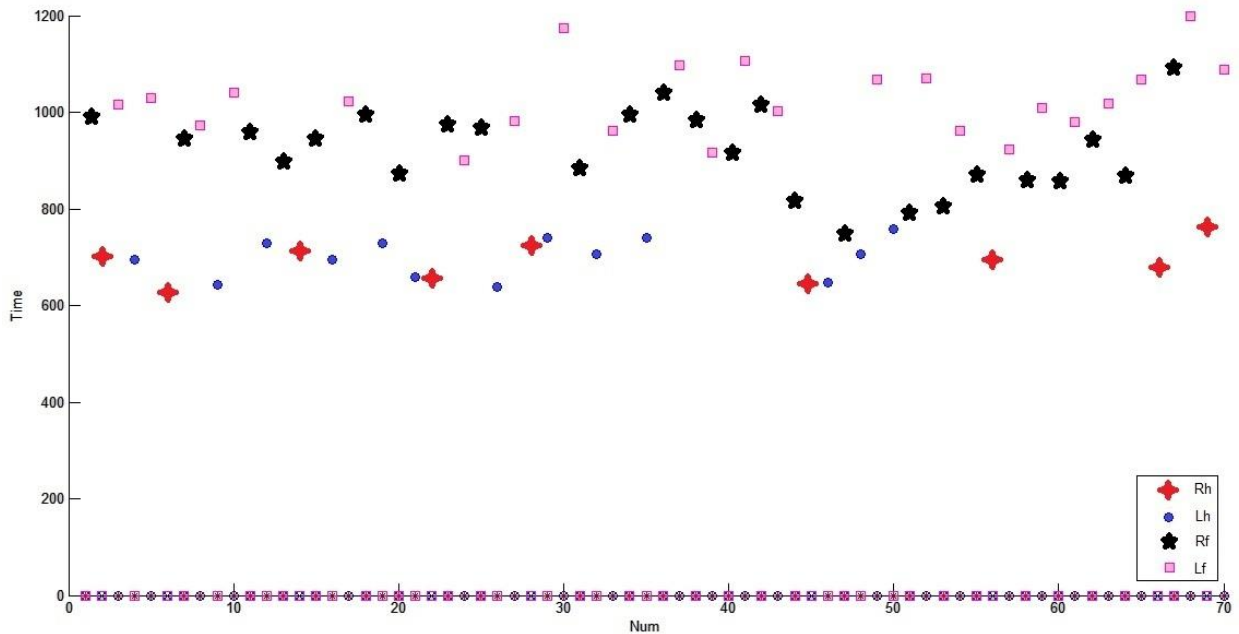
۴-۲- نحوه دریافت داده از سیستم طراحی و پیاده‌سازی شده

با توجه به اینکه این سیستم رفتار ورزشکار را مورد تحلیل و بررسی قرار می‌دهد، برای بررسی نحوه عملکرد الگوریتم‌ها، از یک ورزشکار خواسته شد تا در طول یک روز ۱۰ مرتبه با این سیستم تمرین کند. در این تمرین‌ها کاربر پس از گرم کردن، تمرین‌های خود را با سیستم انجام می‌دهد. با توجه به اینکه هنگام روشن شدن یک چراغ قصد داریم سرعت عمل فرد روی یک عضله را ارزیابی نماییم، در این تمرین در هر مرحله یک چراغ فعال می‌شود و فرد نسبت به آن چراغ واکنش نشان می‌دهد. در این تمرین مطابق شکل (۴-۱) برای هر دست و پای کاربر یک نود قرار داده‌ایم. در انتهای کار، سیستم روند کار ورزشکار را به صورت ۴ سیگنال نمایش می‌دهد. فاصله‌ی نودها از کاربر بستگی وضعیت جسمانی فرد و طول عضلات او دارد. این فاصله باید به اندازه‌ای باشد که کاربر بتواند به راحتی چراغ‌ها را خاموش کند. همچنین این نودها باید به شکلی نصب شوند تا هنگام خاموش کردن یک نود، فرد نود دیگری را خاموش نکند. البته وضعیت قرار گرفتن نود با توجه به نوع تمرین فرد ممکن است تغییر کند. برای مثال ممکن است تمام نودها برای تمرین پا مورد استفاده قرار گیرند.



شکل (۱-۴): نحوه‌ی قرار گرفتن نودها در اطراف کاربر

در این تمرین سعی شده است تا کاربر در هنگام شروع کار با سیستم با شرایط و آمادگی یکسانی برای آزمون سیستم حاضر شود تا از اثر گذاشتن موارد ناخواسته بر نتایج آزمایش جلوگیری شود. با توجه به نفس‌گیر بودن این تمرین، بازدهی کاربر پس از مدتی کاهش می‌یابد. به همین دلیل برای تحلیل سرعت و دقت کاربر داده‌ی مربوط به ۷۰ واکنش اول گرفته شده است. شکل (۲-۴) یک نمونه سیگنال دریافتی از ورزشکار را نمایش می‌دهد. در این شکل سرعت عمل کاربر برحسب میلی‌ثانیه (ms) اندازه گرفته شده است.



شکل (۲-۴): سیگنال دریافتی از کاربر

همان‌طور که در شکل (۲-۴) مشاهده می‌شود، با توجه به نفس‌گیر بودن این تمرین سرعت عمل ورزشکار در حرکت‌های آخر تمرین (مرحله ۵۵ تا آخر)، نسبت به شروع کمتر شده است و این به دلیل خستگی ورزشکار است. در جدول (۱-۴) تعداد دفعاتی که در تمرین بالا گره‌ها روشن شده‌اند و همچنین میانگین سرعت فرد بر روی هر گره آورده شده است.

جدول (۱-۴): سرعت کاربر بر روی هر عضله (۷۰ حرکت)

شماره‌ی چراغ	دست چپ	دست راست	پای چپ	پای راست
میانگین سرعت کاربر بر روی هر عضله (میلی‌ثانیه)	۶۹۹	۶۸۹	۱۰۲۶	۹۲۲
تعداد دفعات روشن شدن چراغ	۱۳	۹	۲۳	۲۵

در این سیستم قدرت ورزشکار بر روی حرکت‌های ترکیبی را می‌توان با گراف نمایش داد. برای مثال که هنگامی که بعد از گره مربوط به دست راست، گره مربوط به دست چپ روشن شده، کاربر با چه سرعتی عکس‌العمل نشان داده است. برای به دست آوردن این گراف میانگین حرکت‌های ترکیبی فرد را محاسبه کرده و

در قالب یک تصویر نمایش داده‌ایم. این گراف شامل ۴ سطر و ۴ ستون است. در این گراف هرچه یک نقطه روشن‌تر باشد نشان می‌دهد که فرد در آن حرکت ضعف بیشتری داشته دارد. در این گراف حالت‌های کاملاً سیاه مربوط به حرکت‌هایی است که اتفاق نیفتاده است. برای مثال در این برنامه امکان روشن شدن دو نود متوالی وجود ندارد به همین علت در شکل (۳-۴) مشاهده می‌شود که قطر اصلی کاملاً سیاه است. روشن شدن متوالی یک چراغ در برخی موارد باعث می‌شود که فرد در یک حرکت دو بار یک چراغ را خاموش کند. این موضوع یک حرکت سریع بر روی یک چراغ ایجاد می‌کند و روند کار الگوریتم یادگیری تقویتی را دچار مشکل می‌سازد. بر اساس این گراف ما می‌توانیم اطلاعات زیادی را در مورد رفتار ورزشکار از جمله سرعت عمل در حرکت‌های ترکیبی چپ به راست، راست به چپ، بالا به پایین را به دست آوریم. با استفاده از این گراف می‌توانیم سرعت حرکات ترکیبی فرد را بالا ببریم.



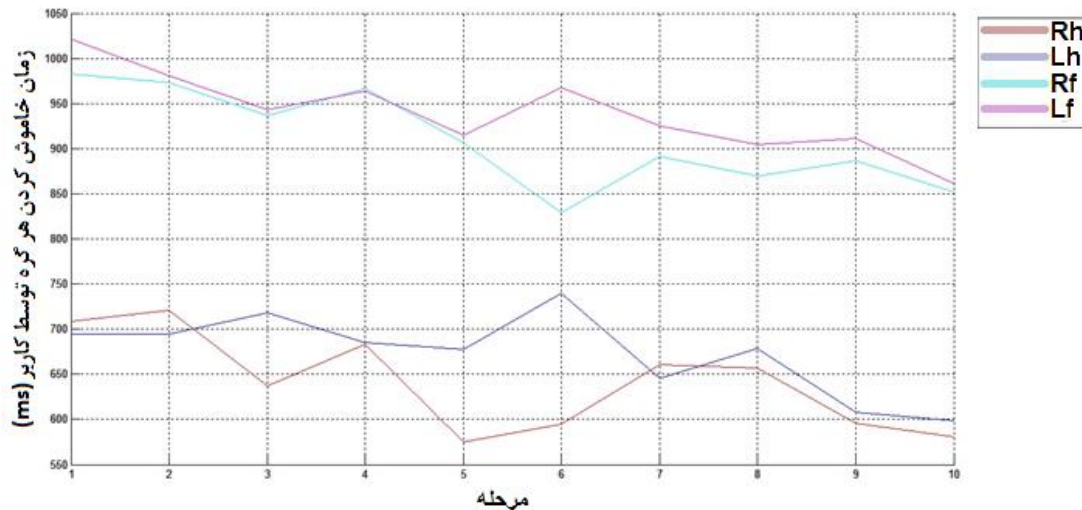
شکل (۴-۳): گراف مربوط به حرکتهای ورزشکار

در ادامه دو روش به کار گرفته شده برای تحلیل نتایج را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۴-۳- تمرین با روش انتخاب تصادفی

در روش انتخاب تصادفی سیستم بدون در نظر گرفتن حالت‌های پیشین و نقاط قوت و ضعف کاربر در هر مرحله یک گره را به صورت تصادفی فعال می‌نماید و از کاربر درخواست می‌کند تا آن گره را با عضله مورد نظر (دست یا پا) خاموش کند. با توجه به این که در هر مرحله قصد داریم یک عضله ی فرد را مورد ارزیابی قرار دهیم، در هر مرحله فقط یک گره فعال می‌شود. این روش مرسوم‌ترین روش انجام حرکتهای عصب و عضله است. تمرین با این روش باعث بالا رفتن سرعت عمل کاربر در انجام حرکتهای ورزشی می‌شود و آمادگی بدنی را بالا می‌برد و باعث افزایش هماهنگی بین عضلات فرد می‌شود.

در این روش از کاربر خواسته شده تا در طول یک روز ۱۰ مرتبه با این سیستم و با الگوریتم انتخاب تصادفی تمرین کند. شکل (۴-۴) نمودار تغییرات میانگین سرعت کاربر بر روی هر عضله در ۱۰ مرحله تمرین را نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با استفاده از این روش سرعت عمل کاربر در هر مرحله بیشتر شده است. همچنین جدول (۲-۴) میانگین سرعت در هر گره و دفعات فعال شدن آن را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۴): میانگین سرعت کاربر بر روی هر عضله در هر مرحله با استفاده از الگوریتم انتخاب تصادفی

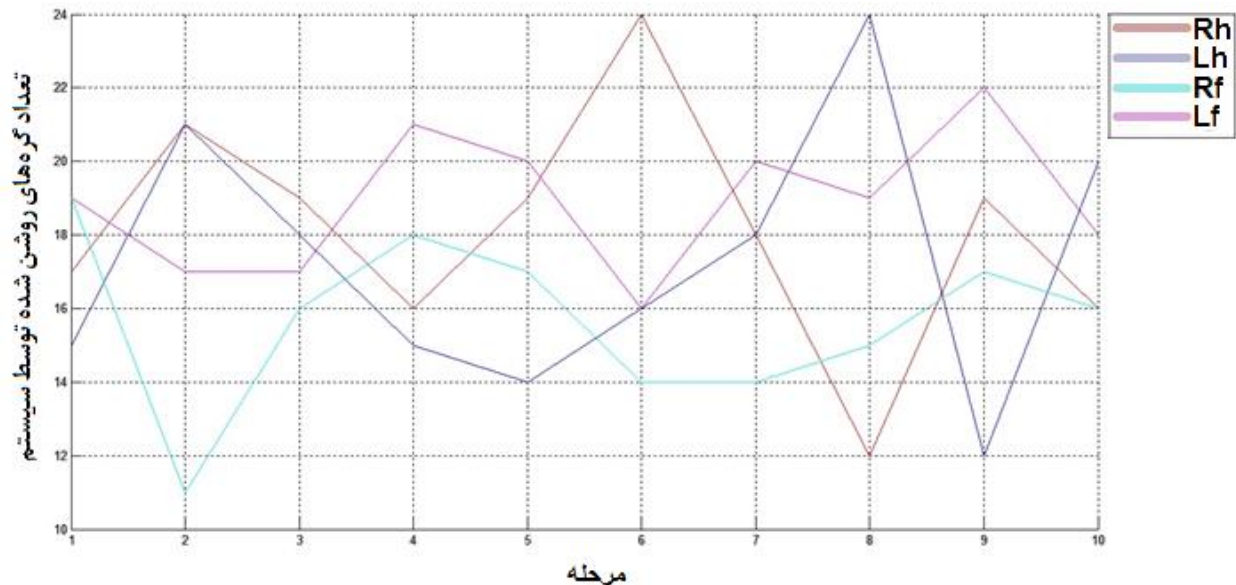
جدول (۲-۴) میانگین سرعت در هر گره و دفعات فعال شدن آن گره را نشان می‌دهد.

جدول (۲-۴): میانگین سرعت کاربر بر روی هر عضله در هر مرحله با استفاده از الگوریتم انتخاب تصادفی

میانگین سرعت کاربر بر روی پای چپ (میلی ثانیه)	دفعات فعال شدن گره مربوط به پای چپ	میانگین سرعت کاربر بر روی پای راست (میلی ثانیه)	دفعات فعال شدن گره مربوط به پای راست	میانگین سرعت کاربر بر روی دست چپ (میلی ثانیه)	دفعات فعال شدن گره مربوط به دست چپ	میانگین سرعت کاربر بر روی دست راست (میلی ثانیه)	دفعات فعال شدن گره مربوط به دست راست
---	------------------------------------	---	--------------------------------------	---	------------------------------------	---	--------------------------------------

۱۰۲۱	۱۹	۹۸۲	۱۹	۶۹۴	۱۵	۷۰۹	۱۷	مرحله‌ی اول
۹۸۱	۱۷	۹۷۳	۱۱	۶۹۵	۲۱	۷۲۰	۲۱	مرحله‌ی دوم
۹۴۳	۱۷	۹۳۶	۱۶	۷۱۷	۱۸	۶۳۷	۱۹	مرحله‌ی سوم
۹۶۳	۲۱	۹۶۶	۱۸	۶۸۵	۱۵	۶۸۳	۱۶	مرحله‌ی چهارم
۹۱۵	۲۰	۹۰۵	۱۷	۶۷۷	۱۴	۵۷۴	۱۹	مرحله‌ی پنجم
۹۶۸	۱۶	۸۲۹	۱۴	۷۳۹	۱۶	۵۹۴	۲۴	مرحله‌ی ششم
۹۲۵	۲۰	۸۹۱	۱۴	۶۴۶	۱۸	۶۶۰	۱۸	مرحله‌ی هفتم
۹۰۴	۱۹	۸۶۹	۱۵	۶۷۸	۲۴	۶۵۷	۱۲	مرحله‌ی هشتم
۹۱۱	۲۲	۸۸۶	۱۷	۶۰۸	۱۲	۵۹۵	۱۹	مرحله‌ی نهم
۸۶۱	۱۸	۸۵۱	۱۶	۵۹۸	۲۰	۵۸۰	۱۶	مرحله‌ی دهم

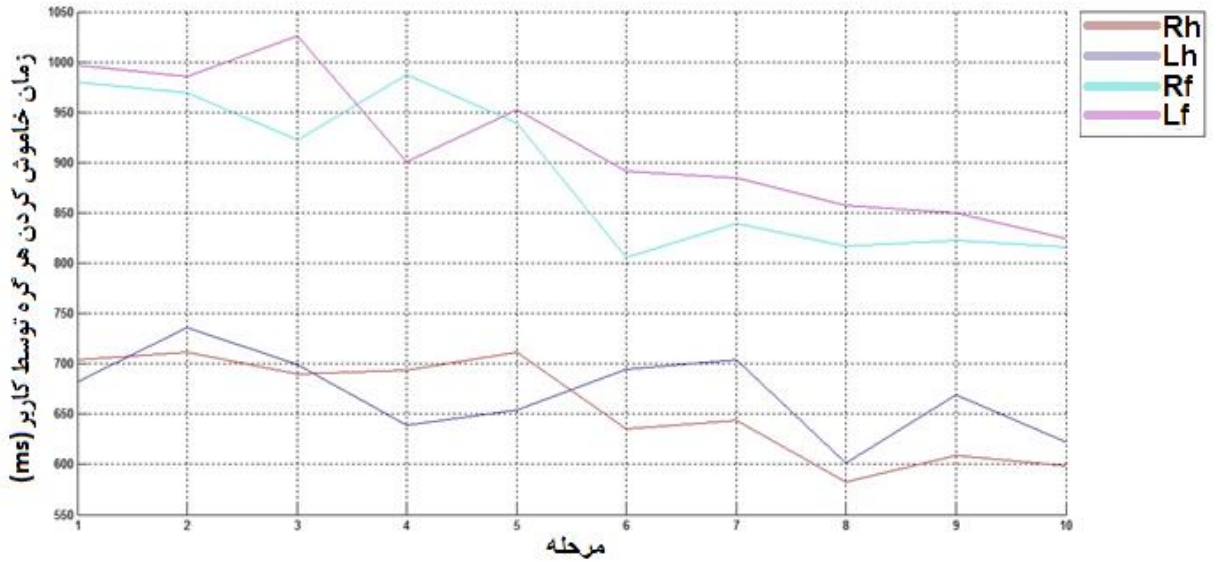
شکل (۴-۵) دفعات روشن شدن هر گره در هر مرحله با استفاده از الگوریتم انتخاب تصادفی را نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در این روش به نقاط ضعف و قوت افراد توجهی نمی‌شود و انتخاب گره بعدی به عملکرد کاربر در حرکت‌های قبلی ارتباطی ندارد. هرچند این روش سرعت عضلات را افزایش می‌دهد ولی به دلیل توجه نکردن به توانایی عضلات در تمرین‌ها، باعث می‌شود که تناسب بین عضلات ضعیف و قوی همچنان باقی بماند.



شکل (۴-۵) : دفعات روشن شدن گره‌ها در هر مرحله با استفاده از الگوریتم انتخاب تصادفی

۴-۴- تمرین با روش انتخاب هوشمند

برای بررسی نحوه‌ی عملکرد سیستم هوشمند تمرین‌های عصب-عضله از یک ورزشکار خواسته شد تا در طول یک روز ۱۰ مرتبه با این سیستم تمرین کند. شکل (۴-۶) نمودار تغییرات میانگین سرعت کاربر بر روی هر عضله در این ۱۰ تمرین را نمایش می‌دهد. همچنین جدول (۴-۳) میانگین سرعت در هر گره و دفعات فعال شدن آن گره را نشان می‌دهد. در مراحل ابتدایی سرعت پاهای کاربر نسبت به سرعت دستان او کمتر است. به همین علت گره‌های مربوط به پای فرد بیشتر فعال شده‌اند و باعث شده که فرد تمرین بیشتری بر روی این عضلات انجام دهد. همان‌طور که در شکل (۴-۶) مشاهده می‌شود، به دلیل تمرین بیشتر فرد بر روی عضلات پا، سرعت عکس‌العمل فرد بر روی پاها در هر مرحله نسبت به مرحله پیش افزایش می‌یابد و شیب افزایش سرعت عکس‌العمل برای پاها نسبت به دست‌ها بیشتر است.

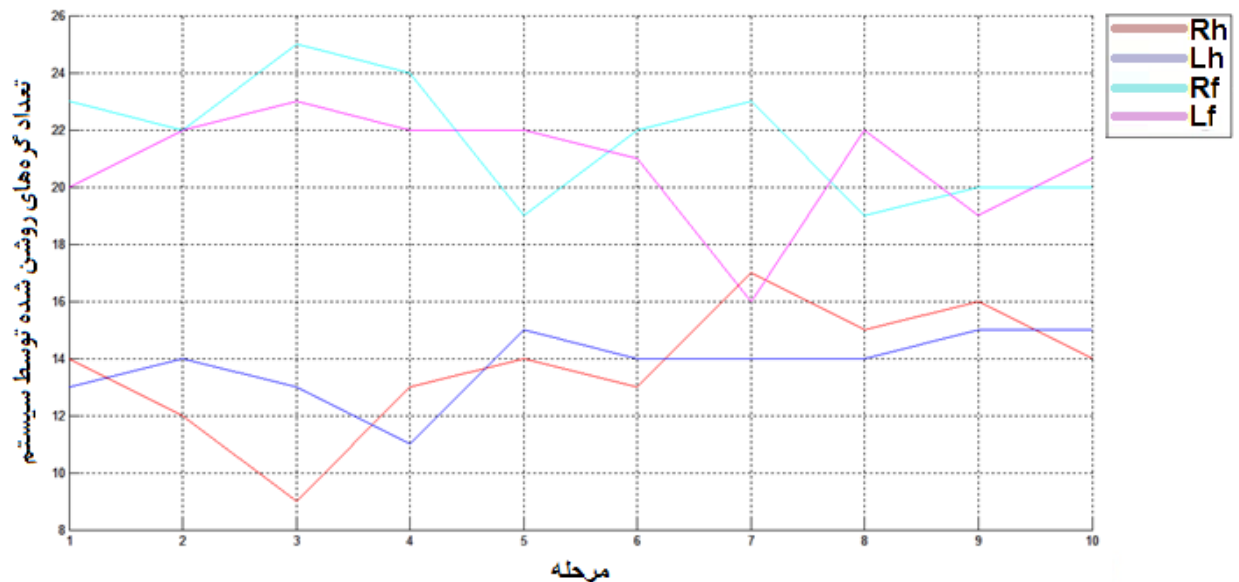


شکل (۴-۶): میانگین سرعت کاربر بر روی هر عضله در هر مرحله با استفاده از الگوریتم انتخاب هوشمند

جدول (۳-۴): میانگین سرعت کاربر بر روی هر عضله در هر مرحله با استفاده از الگوریتم انتخاب هوشمند

میانگین سرعت کاربر بر روی پای چپ (میلی ثانیه)	دفعات فعال شدن گره مربوط به پای چپ	میانگین سرعت کاربر بر روی پای راست (میلی ثانیه)	دفعات فعال شدن گره مربوط به پای راست	میانگین سرعت کاربر بر روی دست چپ (میلی ثانیه)	دفعات فعال شدن گره مربوط به دست چپ	میانگین سرعت کاربر بر روی دست راست (میلی ثانیه)	دفعات فعال شدن گره مربوط به دست راست	
۹۹۶	۲۰	۹۷۹	۲۴	۶۸۲	۱۳	۷۰۴	۱۴	مرحله اول
۹۸۵	۲۲	۹۶۹	۲۲	۷۳۶	۱۴	۷۱۱	۱۲	مرحله دوم
۱۰۲۶	۲۳	۹۲۲	۲۵	۶۹۹	۱۳	۶۸۹	۹	مرحله سوم
۹۰۰	۲۲	۹۸۷	۲۴	۶۳۹	۱۱	۶۹۳	۱۳	مرحله چهارم
۹۵۲	۲۲	۹۳۹	۱۹	۶۵۴	۱۵	۷۱۱	۱۴	مرحله پنجم
۸۹۱	۲۱	۸۰۵	۲۲	۶۹۴	۱۴	۶۳۵	۱۳	مرحله ششم
۸۸۴	۱۶	۸۳۹	۲۳	۷۰۴	۱۴	۶۴۳	۱۷	مرحله هفتم
۸۵۷	۲۲	۸۱۷	۱۹	۶۰۱	۱۴	۵۸۲	۱۵	مرحله هشتم
۸۴۹	۱۹	۸۲۲	۲۰	۶۶۸	۱۵	۶۰۸	۱۶	مرحله نهم
۸۲۴	۲۱	۸۱۶	۲۰	۶۲۲	۱۵	۵۹۸	۱۴	مرحله دهم

در شکل (۷-۴) دفعات روشن شدن هر گره در هر مرحله نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، به دلیل ضعف پاها نسبت به دست‌ها، سیستم گره‌های مربوط به عضلات پا را بیشتر روشن می‌کند تا عضلات پا تقویت شود. در مراحل آخر به دلیل بیشتر شدن سرعت پاهای کاربر، میزان روشن شدن گره‌های مربوط به دست و پا به هم نزدیک‌تر شده است.



شکل (۷-۴) : دفعات روشن شدن گره‌ها در هر مرحله با استفاده از الگوریتم انتخاب هوشمند

۴-۵- مقایسه‌ی نتایج به دست آمده از روش انتخاب تصادفی و روش انتخاب هوشمند

در ادامه نتایج به دست آمده از دو روش مطرح شده را با یکدیگر مقایسه می‌نماییم.

در جدول (۴-۴) میانگین کل سرعت هر عضله در دو روش انتخاب تصادفی و انتخاب هوشمند آورده شده است. در روش انتخاب تصادفی دست‌ها و پاها تقریباً به یک اندازه تمرین می‌کنند، ولی در روش انتخاب هوشمند عضلات ضعیف نسبت به عضلات قوی بیشتر به کار گرفته می‌شوند و در نتیجه بیشتر تقویت می‌شوند. همان‌طور که در جدول (۴-۴) نشان داده شده است، سرعت دست راست در روش انتخاب تصادفی نسبت به روش انتخاب هوشمند اندکی برتری دارد ولی سرعت هر دو پا در روش انتخاب هوشمند نسبت به انتخاب تصادفی بهتر شده است.

جدول (۴-۴): میانگین کل سرعت هر عضله در دو روش انتخاب تصادفی و انتخاب هوشمند

میانگین کل سرعت پای چپ (میلی ثانیه)	میانگین کل سرعت پای راست (میلی ثانیه)	میانگین کل سرعت دست چپ (میلی ثانیه)	میانگین کل سرعت دست راست (میلی ثانیه)	
۹۳۸	۹۱۰	۶۸۷	۶۳۹	روش انتخاب تصادفی
۹۱۹	۸۹۳	۶۷۰	۶۵۴	روش انتخاب هوشمند

در جدول (۴-۵) تا جدول (۴-۸)، میانگین سه مرحله‌ی اول و سه مرحله‌ی آخر در روش انتخاب تصادفی و روش انتخاب هوشمند بر روی عضلات مختلف نشان داده شده است تا نتایج به دست آمده وابسته به حالات فرد در یک مرحله نباشد و قابل اطمینان‌تر باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر دو روش، سرعت عضلات به دلیل تمرینات صورت گرفته بیشتر شده است. در روش انتخاب تصادفی به دلیل اینکه تفاوتی بین عضلات ضعیف و قوی وجود ندارد، با وجود اینکه سرعت عضلات افزایش یافته است ولی باز هم تفاوت بین عضلات دست و پا نسبت به روش انتخاب هوشمند بیشتر است. در روش انتخاب هوشمند چون عضلات ضعیف بیشتر به کار گرفته می‌شوند، سرعت پاها در مراحل انتهایی نسبت به مراحل ابتدایی بیشتر شده است.

همان‌طور که در جدول (۴-۶) آمده است، سرعت دست راست فرد در روش انتخاب تصادفی نسبت به روش انتخاب هوشمند بیشتر شده است. این موضوع به دلیل این می‌باشد که در روش انتخاب تصادفی با وجود آنکه دست راست فرد نسبت به سایر عضلات فرد قوی‌تر بوده است، تقریباً به اندازه

عضلات ضعیف تمرین کرده است. در صورتی که در روش هوشمند دست راست به دلیل سرعت بیشتر، نسبت به سایر عضلات کمتر تمرین می‌کند. این موضوع سبب شده است تا سرعت دست راست در حالت انتخاب تصادفی نسبت به حالت انتخاب هوشمند بیشتر شود.

جدول (۴-۵): مقایسه نتایج برای دست راست

اختلاف سرعت در بین سه مرحله‌ی ابتدایی و سه مرحله‌ی انتهایی (میلی ثانیه)	میانگین سرعت سه مرحله‌ی آخر برای دست راست (میلی ثانیه)	میانگین سرعت سه مرحله‌ی اول برای دست راست (میلی ثانیه)	
۷۷	۶۱۱	۶۸۸	روش انتخاب تصادفی
۱۰۵	۵۹۶	۷۰۱	روش انتخاب هوشمند

جدول (۴-۶): مقایسه نتایج برای دست چپ

اختلاف سرعت در بین سه مرحله‌ی ابتدایی و سه مرحله‌ی انتهایی (میلی ثانیه)	میانگین سرعت سه مرحله‌ی آخر برای دست چپ (میلی ثانیه)	میانگین سرعت سه مرحله‌ی اول برای دست چپ (میلی ثانیه)	
۷۰	۶۲۸	۷۰۲	روش انتخاب تصادفی
۷۵	۶۳۰	۷۰۵	روش انتخاب هوشمند

جدول (۴-۷): مقایسه نتایج برای پای راست

اختلاف سرعت در بین سه مرحله‌ی ابتدایی و سه مرحله‌ی انتهایی (میلی ثانیه)	میانگین سرعت سه مرحله‌ی آخر برای پای راست (میلی ثانیه)	میانگین سرعت سه مرحله‌ی اول برای پای راست (میلی ثانیه)	
۹۴	۸۶۹	۹۶۳	روش انتخاب تصادفی
۱۳۹	۸۱۸	۹۵۷	روش انتخاب هوشمند

جدول (۴-۸): مقایسه نتایج برای پای چپ

اختلاف سرعت در بین سه مرحله‌ی ابتدایی و سه مرحله‌ی انتهایی (میلی ثانیه)	میانگین سرعت سه مرحله‌ی آخر برای پای چپ (میلی ثانیه)	میانگین سرعت سه مرحله‌ی اول برای پای چپ (میلی ثانیه)	
۸۹	۸۹۲	۹۸۱	روش انتخاب تصادفی
۱۵۹	۸۴۳	۱۰۰۲	روش انتخاب هوشمند

۴-۶- نتیجه‌گیری

در این فصل نتایج حاصل از دو روش به کار گرفته شده در سیستم ساخته شده مورد بررسی قرار گرفته است. در روش اول به بررسی انتخاب تصادفی در تمرین‌های عصب-عضله پرداختیم که بدون در نظر گرفتن نقاط قوت و ضعف کاربر، از او می‌خواهد تا چراغ‌های روشن تصادفی را خاموش کند. در روش دوم، انتخاب اینکه در هر لحظه کدام چراغ روشن باشد به صورت هوشمند و با توجه به نقاط قوت و ضعف کاربر با استفاده از روش یادگیری تقویتی انجام شد.

همان‌طور که مشاهده کردیم در هر دو روش، سرعت عضلات به دلیل تمرینات صورت گرفته بیشتر شده است. در روش انتخاب تصادفی به دلیل اینکه تفاوتی بین عضلات ضعیف و قوی وجود ندارد، با وجود اینکه سرعت عضلات افزایش یافته است ولی باز هم تفاوت بین عضلات دست و پا نسبت به روش انتخاب هوشمند بیشتر است. در روش انتخاب هوشمند چون عضلات ضعیف بیشتر به کار گرفته می‌شوند، سرعت پاها در مراحل انتهایی نسبت به مراحل ابتدایی بیشتر شده است.

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که استفاده از روش انتخاب هوشمند باعث افزایش سرعت عکس-

العمل عضلات ضعیف فرد و تناسب سرعت دست و پای ورزشکار شده است.

فصل پنجم:

نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای ادامه- ی کار

۵-۱- نتیجه‌گیری

استفاده از علوم الکترونیکی در ورزش مدت‌هاست در جهان رایج شده و هرروز ابداع تجهیزات جدید به ورزشکاران کمک می‌کند تا عملکردشان را بهبود ببخشند. امروزه بر همگان ثابت شده است که فن‌آوری نقش مهمی در ورزش ایفا می‌کند. این کاربردها را می‌توان در بخش‌های مختلف ورزشی مانند داوری و تمرینات مشاهده نمود.

از جمله حرکت‌های رایج در تمرین‌های ورزشی مختلف، حرکت‌های هماهنگی عصب-عضله است. در این حرکت‌های گروهی از عضلات با کنترل و نظارت حافظه‌ی حرکتی و با کمک یکدیگر می‌توانند حرکت‌ها و مهارت‌های بسیار پیچیده و ظریفی را به اجرا دریاورند. برای مثال، در ورزش‌هایی مانند کشتی، تکواندو و فوتبال در یک لحظه چند گروه عضلانی با یکدیگر مهارت حرکتی را انجام می‌دهند. یکی از تمرین‌های مفید برای هماهنگی عصب-عضله انجام حرکت‌های بلادرنگ است. در این تمرین‌های حرکتی سیستم از کاربر درخواست می‌کند حرکتی را انجام دهد و کاربر نیز به محض دریافت پیام برای انجام آن حرکت اقدام می‌کند. بدین ترتیب سرعت و دقت فرد در انجام حرکت‌های عصب-عضله مشخص می‌شود.

در سیستم‌های ورزشی فعلی تمرین‌ها به صورت یکنواخت است و توجهی به نقاط ضعف و قوت افراد نمی‌شود. این امر سبب می‌شود که ورزشکاران نتوانند تمرین‌های مناسب برای تقویت نقاط ضعف خود را انجام دهند. بدین ترتیب عضلات ضعیف در بدن، ضعیف‌تر شده و باعث ایجاد عدم تعادل در قدرت عضلانی ورزشکاران می‌شود.

در این پایان‌نامه یک سیستم هوشمند نقاط قوت و ضعف افراد را با استفاده از الگوریتم یادگیری تقویتی تشخیص می‌دهد. سپس با استفاده از این اطلاعات، سیستم به گونه‌ای عمل می‌کند که در تمرینات بعدی، عضلات ضعیف فرد بیشتر به کار گرفته شوند. در فصل اول به توضیح یادگیری تقویتی و شبکه‌ی حسگر بی‌سیم پرداختیم. در فصل دوم به بیان روش‌هایی در مورد کاربرد یادگیری تقویتی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم و

همچنین هوش مصنوعی در ورزش پرداختیم. هدف این پایان‌نامه طراحی و پیاده‌سازی سیستمی است که می‌تواند متناسب با توانایی هر ورزشکار، تمرین مناسب را به او پیشنهاد دهد.

سیستم پیشنهادی از چند گره مجزا و دارای فاصله نسبت به هم تشکیل شده است. در این سیستم هر گره مجهز به یک حس‌گر و چراغ است و سیستم از کاربر می‌خواهد تا به محض روشن شدن چراغ هر حس‌گر آن را با حرکت دست یا پا خاموش نماید. سپس اطلاعات فرد ذخیره‌شده و بر اساس این اطلاعات می‌توان قدرت عکس‌العمل فرد بر روی هر عضله را تشخیص داده و نقاط قوت و ضعف او را مشخص کرد.

۵-۲- پیشنهادها برای ادامه‌ی کار

- در برخی از حرکت‌های ورزشی علاوه بر سرعت، پارامترهای دیگری مانند قدرت و میزان پرش نیز اهمیت دارند. در صورتی که بتوانیم سیستمی طراحی و پیاده‌سازی کنیم که بتواند پارامترها دیگر در حرکت‌های ورزشکاران را اندازه‌گیری کند می‌توانیم تحلیل بهتری از رفتار ورزشکاران داشته باشیم. همچنین می‌توان تأثیر پارامترهای مختلف بر یکدیگر را نیز تحلیل کرد. برای مثال می‌توان تأثیر قدرت ضربات ورزشکار بر سرعت ضربات را اندازه‌گیری کرد. همچنین داشتن ضربان قلب، میزان قند خون و غیره نیز می‌تواند در جلوگیری از آسیب‌دیدگی و اندازه‌گیری توانایی ورزشکاران به ما کمک کند.
- در برخی ورزش‌ها اهمیت عملکرد دست‌ها و پاها با یکدیگر تفاوت دارد. برای مثال در فوتبال اهمیت عملکرد پاها از دست‌ها بیشتر است ولی در بوکس اهمیت عملکرد دست‌ها بیشتر است. برای تحلیل رفتار ورزشکاران در رشته‌هایی از این قبیل می‌توانیم برای نودهای مختلف درجه‌ی اهمیت متفاوتی قرار دهیم.

مراجع

- [۱]. عباسی، علی، برنجیان تبریزی، حسین، باقری، کامبیز و قاسمیزاد، علیرضا، "تاثیر تمرینات وایبریشن تمام بدن و دوره‌های بی‌تمرینی بر عملکرد عصبی-عضلانی مردان سالمند"، چاپ بیستم، تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، ۱۳۹۰.
- [2]. Sutton, R.S. and Andrew, G., "**Reinforcement learning: an introduction**", Cambridge: MIT press, Second edition, 2012.
- [3]. Watkins, C.J. and Dayan, P., "**Q-learning**", Machine learning, 8(3), pp.279-292, 1992.
- [4]. Zhang, L., Curless, B. and Seitz, S.M., "**Rapid shape acquisition using color structured light and multi-pass dynamic programming**", In 3D Data Processing Visualization and Transmission, 3(1), pp. 24-36. 2002.
- [5]. Koh, J.M., Sak, M., Tan, H.X., Liang, H., Foliato, F. and Quek, T., "**Sensorem-an efficient mobile platform for Wireless Sensor Network visualization**", In Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing , IEEE Tenth International Conference, pp. 1-2, 2015.
- [6]. Prist, M., Longhi, S., Monteriu, A., Giuggioloni, F. and Freddi, A., "**An integrated simulation environment for wireless sensor networks**", In World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), 2015 IEEE 16th International Symposium, 3(1), pp. 1-3, 2015.
- [7]. Telgerdi, F., Khalilian, A. and Pouyan, A., "**Qualitative reinforcement learning to accelerate finding an optimal policy**", international conference on computer and knowledge engineering, pp. 10-13, 2014.
- [8]. Pouyan, A., Salehi, M, and Jafarinejad, M., "**Fault tolerance and reliability issues of wireless sensor networks based on markov models**", Iranian Conference on Intelligent Systems, pp. 72-87, 2013.
- [9]. Doya, K., Samejima, K., Katagiri, K.I. and Kawato, M., "**Multiple model-based reinforcement learning**", Neural computation, 14(6), pp.1347-1369, 2002.
- [10]. Maia, T.V., "**Reinforcement learning, conditioning, and the brain: Successes and challenges**", Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 9(4), pp.343-364, 2009.
- [11]. Urbanczik, R. and Senn, W., "**Reinforcement learning in populations of spiking neurons**", Nature neuroscience, 12(3), pp.250-252, 2009.
- [12]. Glimcher, P.W., "**Understanding dopamine and reinforcement learning: the dopamine reward prediction error hypothesis**", Proceedings of the National Academy of Sciences, 108(3), pp.15647-15654, 2011.
- [13]. Paletta, L. and Pinz, A., "**Active object recognition by view integration and reinforcement learning**", Robotics and Autonomous Systems, 31(1), pp.71-86, 2000.
- [14]. Ishii, S., Yoshida, W. and Yoshimoto, J., "**Control of exploitation-exploration meta-parameter in reinforcement learning**", Neural networks, 15(4), pp.665-687, 2002.

- [15]. Huang, R., Chu, X., Zhang, J. and Hu, Y.H., “**Energy-efficient monitoring in software defined wireless sensor networks using reinforcement learning: A prototype**”, International Journal of Distributed Sensor Networks, 9(1), pp.252-258, 2015.
- [16]. Patel, M.A.B. and Shah, H.B., “**Reinforcement Learning Framework for Energy Efficient Wireless Sensor Networks**”, 3(2), pp.156-161, 2015.
- [17]. Mihaylov, M., Le Borgne, Y.A., Tuyls, K. and Nowé, A., “**Reinforcement learning for self-organizing wake-up scheduling in wireless sensor networks**”, In Agents and artificial intelligence, 5(1), pp. 382-396, 2013.
- [18]. Yau, K.L.A., Komisarczuk, P. and Teal, P.D., “**Reinforcement learning for context awareness and intelligence in wireless networks: Review, new features and open issues**”, Journal of Network and Computer Applications, 35(1), pp.253-267, 2012.
- [19]. Li, J. and Wei, H., “**Dynamic Coordination of Energy and Hops in WSNs Using Reinforcement Learning Routing Algorithm**”, In First International Conference on Information Sciences, Machinery, Materials and Energy, pp.561-568, 2015.
- [20]. Liu, Z. and Elhanany, I., “**RL-MAC: A QoS-aware reinforcement learning based MAC protocol for wireless sensor networks**”, In Networking, Sensing and Control, 2006. ICNSC'06. Proceedings of the 2006 IEEE International Conference, pp. 768-773, 2006.
- [21]. Novatchkov, H. and Baca, A., “**Artificial intelligence in sports on the example of weight training**”, Journal of sports science & medicine, 12(1), pp.27, 2013.
- [22]. Dezfoulian, M.H., Kaviani, N., Nikanjam, A. and RafeieJokandan, M., “**Training a Simulated Soccer Agent how to Shoot using Artificial Neural Networks**”, In Proceeding of the Iranian Researchers Conference, pp.31-45, 2005.
- [23]. McCabe, A. and Trevathan, J., April. “**Artificial Intelligence in sports prediction**”, In Information Technology: New Generations, 2008. ITNG 2008. Fifth International Conference, pp. 1194-1197, 2008.
- [24]. Carvalho, A. and Oliveira, R., “**Reinforcement learning for the soccer dribbling task**”, In Computational Intelligence and Games, 2011 IEEE Conference, pp. 95-101, 2011.
- [25]. Zulkifli, N.S.A., Harun, F.C. and Azahar, N.S., “**XBee wireless sensor networks for Heart Rate Monitoring in sport training**”, In Biomedical Engineering, International Conference, pp. 441-444. 2012.
- [26]. Su, X., Tong, H. and Ji, P., “**Activity recognition with smartphone sensors**”, Tsinghua Science and Technology, 19(3), pp.235-249, 2014.
- [27]. Bartlett, R., “**Artificial intelligence in sports biomechanics: New dawn or false hope?**”, Journal of sports science & medicine, 5(4), pp.474, 2006.

- [28]. Novatchkov, H. and Baca, A., “**Fuzzy logic in sports: a review and an illustrative case study in the field of strength training**”, International Journal of Computer Applications, 71(6), pp.8-14, 2013.
- [29]. Chi, E.H., Song, J. and Corbin, G., October. Killer App of wearable computing: “**wireless force sensing body protectors for martial arts**”, In Proceedings of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology, pp. 277-285. 2004.
- [30]. Yan, B. and Li, M., “**Shot Put Technique Analysis using ANN AMT Model**” In ISBS-Conference Proceedings Archive, pp.16-21, 2000.
- [31]. Ritter, M., “**Advanced RFID Applications for Sports Events Management: The Case of SPORTident in Latvia.**” Procedia Computer Science, 7(2), pp.78-85, 2015.
- [32]. Zulkifli , N.S.A., “**XBee Wireless Sensor Networks for Heart Rate Monitoring in Sport Training**”, IEEE Biomedical Engineering, 5(2), pp. 441-444, 2012.
- [33]. Tanenbaum, S., “**Distributed Systems: Principles and Paradigms**”, Amesterdam: Pearson Prentice Hall, 1(3), pp. 27-32, 2007.
- [34]. <https://www.apple.com/support/nikeplus/>
- [35]. Pedraz, A., “**adidas**”, http://www.adidas.co.uk/adizero_f50-outlet, Update Date 2015.
- [36]. Clark, T., “**runscribe**”, <http://www.runscribe.com/>, Update Date 2015-01-29.
- [37]. Karim, O., “**digitsole**”, <http://www.digitsole.com/>, Update Date 2015-09-30.
- [38]. Bertagna, P., “**gpssmartsole**”, <http://www.gpssmartsole.com/gps-smart-sole.php>, Update Date 2015-12-06.
- [39]. Whoisguard Protected., “**wareable**”, <http://www.wareable.com/running/smart-shoes-875>, Update Date 2014-01-30.
- [40]. Whoisguard Protected., “**wareable**”, <http://www.wareable.com/smart-clothing/xelflex-smart-fabric-ushers-in-a-connected-clothing-revolution-570>, Update Date 2014-01-30.
- [41]. Rahmanseresht, M., “**ictpress**”, <http://www.ictpress.ir/?lang=fa&muid=130&item=15202>, Update Date 2014-07-01
- [42].WhoisguardProtected“**bestfitnesstrackerreviews**”,<http://www.bestfitnesstrackerreviews.com/moov-wearable-coach-review.html>, Update Date 2014-04-07.
- [43]. Fitguard, “**fitguard**”, <https://www.fitguard.com/>, Update Date 2015-01-28.

- [44]. Rauhala, K., "**pearsports**", <https://pearsports.com/>, Update Date 2015-02-09.
- [45]. Campanile, B., "**heatstress**", <http://www.heatstress.com/en/product/3/zephyr-bioharness.html>, Update Date 2015-02-17.
- [46]. Kasanders, E., "**motionfitness**", <http://www.motionfitness.com/CardioWall-s/484.htm>, Update Date 2010-11-23.
- [47]. Tremblay, M., "**robotshop**", <http://www.robotshop.com>, Update Date 2015-09-30.
- [48]. Yikang, w., "**hoperf**", <http://www.hoperf.com/>, Update Date 2014-09-15.
- [49]. Chugh, P., "**atmelatmel**", www.atmel.com, Update Date 2014-02-28.
- [50]. Privacy, P., "**sharpsma**", www.sharpsma.com, Update Date 2015-01-28.
- [51]. Wilhelm, E., "**instructables**", www.instructables.com, Update Date 2015-02-09.
- [52]. Naghshineh, H., "**roboeq**", <http://www.roboeq.ir/>, Update Date 2014-10-21.

Abstract

Neuron-muscle coordinated movements are the vital movements of different sport trainings. In these movements a group of muscles is able to perform incredibly delicate and complicated actions under the control and observation of the motor memory and with the aid of other muscles. Through the current sport system, trainings are invariable so that the strong and weak points of individuals are not considered. This causes that the athletes are not able to do the appropriate exercises to improve their weak points. In order to solve this problem, a system is designed and implemented in this thesis which suggests the apt exercise according to each athlete's abilities.

The suggested system consists of a wireless network, including several discrete nodes which are controlled by a software based on reinforcement learning algorithm. In this system, the user is asked to react to the activation of each node, such as a node light turning on. The activation time of each node is considered as a reward for a system so that the system has more tendency to reactivate that node in the rest of the training which makes the user's weak muscles exercise more than other muscles which means it shows more reactions. The result of the process is the improvement of weaker muscle.

In this thesis, an athlete is asked to exercise with this device 10 times a day. The results indicate that consuming the manufactured system causes the increase of the reacting rate of an individual's weak muscle and coordination of his arms and legs.

Keywords: smart sport systems, neuron-muscle exercise, reinforcement learning, wireless sensing network



Shahrood University of Technology
Faculty Computer Engineering and Information

Sport Intelligent Assistance Systems Using Reinforcement Intelligence

Mehdi Mehri

Supervisor

Dr. Aliakbar Pouyan

Dr. Vahid Abolghasemi

Homa mansouri

January. 2016