



## طراحی و پیاده‌سازی کنترلر نروفازی تطبیقی برای بازی‌های حرکتی

کیاوش فتحی<sup>۱</sup>، افروز لقایی<sup>۲</sup>، جواد راستی<sup>۳</sup>، مریم ذکری<sup>۴</sup>

### مقاله پژوهشی

### چکیده

**مقدمه:** در اثر کم‌حرکی ناشی از عدم فعالیت در بازی‌های ویدئویی، مشکلات جسمانی بسیاری در بین طرفداران این بازی‌ها به وجود آمده است. یک راهکار عملی برای مقابله با این معضل، ارایه یک کنترلر بازی به منظور افزایش فعالیت فیزیکی می‌باشد. در پژوهش حاضر، کنترلر نروفازی تطبیقی برای بازی‌های حرکتی معرفی شد.

**مواد و روش‌ها:** کنترلر از چهار پد الاستیک متشکل از مقاومت و کلید فشاری متصل به یک میکروکنترلر و نرم‌افزار کنترلی تشکیل می‌شود. به منظور بهبود تجربه کاربر، از منطق فازی تطبیق‌پذیر برای پردازش داده دریافتی از کنترلر استفاده شده است. در مرحله آموزش، پارامترهای توابع عضویت سیستم فازی تنظیم شده و به کمک بردار گرادین محاسبه شده، پارامترهای سیستم فازی با استفاده از روش پس‌انتشار و بر اساس خطای محاسبه شده به‌روزرسانی می‌گردد.

**یافته‌ها:** در سیستم فازی تام، کاربران با سن و خصوصیات فیزیکی متفاوت، تجربه بازی مناسبی را از یک سیستم از پیش تنظیم شده کسب نمی‌کنند. در طرح این پژوهش، دستور انتقال یافته به کامپیوتر اصلی، در حقیقت خروجی سیستم فازی و یکی از دسته‌های از پیش تعریف شده Press, Ignore یا Hold است که باعث بهبود تجربه‌ی کاربر می‌شود.

**نتیجه‌گیری:** در روش پیشنهادی با جمع‌آوری سیگنال از کاربر برای تنظیم سیستم فازی، کنترلر عملکرد قابل قبولی دارد و رضایت کاربر تأمین می‌گردد؛ چرا که سیستم بر اساس خصوصیات فیزیکی کاربر آموزش داده می‌شود. سپس داده‌های جمع‌آوری شده جهت تغییر پارامترهای سیستم فازی طراحی شده مورد استفاده قرار می‌گیرد تا کنترلر تجربه بازی لذت‌بخشی را برای کاربر فراهم نماید.

**کلید واژه‌ها:** سیستم نروفازی؛ سیستم تطبیقی؛ بازی حرکتی؛ کنترلر بازی

**ارجاع:** فتحی کیاوش، لقایی افروز، راستی جواد، ذکری مریم. طراحی و پیاده‌سازی کنترلر نروفازی تطبیقی برای بازی‌های حرکتی. پژوهش در علوم توانبخشی ۱۳۹۸؛ ۱۵ (۴): ۲۲۷-۲۱۹.

تاریخ چاپ: ۱۳۹۸/۷/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۴/۲۹

همچنین، بازی‌های حرکتی قادر هستند افراد با سنین و علائق متفاوت را برای حفظ سلامت به تحرک وادارند (۴، ۳).

بخش جدایی‌ناپذیر بازی‌های حرکتی، کنترلر به‌کار رفته در آن‌ها است. این کنترلرها شامل طیف وسیعی از صفحات فشاری تا تجهیزات پیشرفته‌تری مانند Kinect و PlayStation Move می‌باشد (۵). تاریخچه‌ای بلند پشت ایده‌های مختلف برای کنترلر بازی‌های حرکتی وجود دارد (۶). در سال ۱۹۸۳، Autodesk دوچرخه‌ای را با نام High Cycle معرفی کرد. کاربر این دستگاه باید با سرعت کافی پدال بزند تا بتواند بر فراز بوم مجازی بازی پرواز کند (۷). در

### مقدمه

بازی‌های ویدئویی بخش زیادی از اوقات فراغت جوانان را به خود اختصاص داده است که باعث عدم تحرک آنان می‌شود (۱). بنابراین، به منظور رفع این مشکل، استفاده از فن‌آوری‌های نوین در توسعه بازی‌های حرکتی (Exergames) برای طیف وسیعی از کاربران، ضروری به نظر می‌رسد. بازی‌های حرکتی به آن دسته از بازی‌های ویدئویی اطلاق می‌شود که شامل فعالیت‌های فیزیکی می‌باشند. این بازی‌ها به سادگی می‌توانند بسیاری از مشکلات ایجاد شده در اثر استفاده طولانی مدت از بازی‌های ویدئویی را برطرف کنند (۲).

- ۱- دانشجو، گروه مهندسی برق (کنترل)، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
  - ۲- دانشجو، گروه مهندسی برق (الکترونیک)، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
  - ۳- استادیار، گروه مهندسی پزشکی، دانشکده فنی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
  - ۴- دانشیار، گروه مهندسی برق (کنترل)، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
- نویسنده مسؤول: جواد راستی؛ استادیار، گروه مهندسی پزشکی، دانشکده فنی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

Email: rasti@eng.ui.ac.ir

گزاره‌ها به واسطه مجموعه‌های فازی بیان می‌شوند و به منظور دستیابی به استدلال تقریبی برخی مفاهیم پایه‌ای معرفی می‌گردند (۱۴، ۱۲).

استنتاج رفع مقدم تعمیم یافته (۱۵) بیان می‌دارد که با داشتن دو گزاره فازی  $x \text{ is } A'$  و  $x \text{ is } A \text{ THEN } y \text{ is } B$ ، گزاره فازی جدید  $y \text{ is } B'$  به این صورت نتیجه می‌شود که هرچه  $A'$  به  $A$  نزدیک‌تر باشد،  $B'$  نیز به  $B$  نزدیک‌تر خواهد بود. با در دست داشتن مجموعه فازی  $A'$  و رابطه  $A \rightarrow B$  در فضای  $U \times V$  که بیان‌کننده گزاره فازی  $x \text{ is } A \text{ THEN } y \text{ is } B$  است، مجموعه فازی  $B'$  به صورت رابطه ۲ نتیجه گرفته می‌شود.

$$\mu_{B'}(y) = \sup_{x \in U} t(\mu_{A'}(x), \mu_{A \rightarrow B}(x, y)) \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن  $t$  نمایانگر  $t$ -norm می‌باشد. در حقیقت، استنتاج فازی، روش رسیدن از یک ورودی داده شده به یک خروجی با استفاده از قوانین فازی است. در روش پیشنهادی، از سیستم استنتاج فازی نوع سوگنو استفاده شد. در این روش، از توابع عضویت سینگلتون (Singleton) برای خروجی سیستم استفاده می‌گردد که یا یک مقدار ثابت و یا یک تابع خطی از ورودی می‌باشند. فرایند نافازی‌سازی به دلیل این که از میانگین وزن‌دار و یا مجموع وزن‌دار تعداد محدودی داده بهره می‌برد، از لحاظ محاسباتی بسیار به‌صرفه است (۱۶). خروجی سیستم را می‌توان با استفاده از رابطه ۳ نمایش داد.

$$\text{Output} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i z_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن  $N$  تعداد قوانین،  $w_i$  قدرت آتش‌زنی قانون و  $z_i$  سطح خروجی قانون است. همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد،  $z_i$  می‌تواند یک مقدار ثابت و یا یک تابع خطی از ورودی باشد (۱۷).

**سیستم استنتاج نروفازی تطبیقی:** یک گام اساسی در طراحی کنترلر، جمع‌آوری داده از کاربر جهت ایجاد یک مجموعه داده به منظور تنظیم پارامترهای سیستم فازی است (۱۸). همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، سیستم طراحی شده توسط کاربران با خصوصیات فیزیکی متفاوتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به همین جهت، ضروری است که سیستم طراحی شده مطابق با نیازهای هر کاربر خود را تغییر دهد. با به کارگیری سیستم نروفازی تطبیقی، امکان تغییر پارامترهای توابع عضویت سیستم فراهم می‌شود (۱۹). تنظیم پارامترهای ذکر شده با محاسبه بردار گرادینان به عنوان معیاری برای تعیین کیفیت مدل کردن ورودی و خروجی سیستم به ازای یک سری پارامتر امکان‌پذیر است.

در مرحله آموزش، با استفاده از مجموعه داده‌های آموزشی برای آموزش مدل حاضر، پارامترهای توابع عضویت تغییر می‌یابند. با کمک بردار گرادینان محاسبه شده، پارامترهای سیستم فازی با استفاده از روش پس‌انتشار (۱۸) و بر اساس خطای محاسبه شده (مجموع اختلافات بین خروجی واقعی و خروجی مطلوب) به‌روزرسانی می‌شوند. در واقع، بردار گرادینان محاسبه شده معیاری را فراهم می‌آورد تا به وسیله آن بتوان تعیین نمود که سیستم به ازای یک مجموعه پارامتر تا چه میزان داده‌های ورودی و خروجی را به خوبی مدل می‌کند. برنامه سیستم مذکور با کمک نرم‌افزار MATLAB (MATLAB R2018a, MathWorks®, Natick, Massachusetts, United States) نوشته شد. همچنین، از ANFIS موجود در جعبه ابزار فازی نرم‌افزار MATLAB به منظور تنظیم پارامترهای سیستم فازی به کار رفته استفاده گردید (۱۹، ۱۸).

سال ۱۹۹۸، Konami بازی Dance Dance Revolution را ارایه نمود. کنترلر به کار رفته در این بازی، فرمان‌های کاربر را از طریق سوئیچ‌های فشاری دریافت می‌کند (۸). مثال‌های بیان شده، نمونه‌های ساده و در عین حال نوآورانه‌ای از کنترلرها در زمان ارائه است. نمونه پیچیده‌تری از این‌گونه کنترلرها، Kinect می‌باشد که در سال ۲۰۱۰ روانه بازار گردید و منجر به پیشرفت بزرگی در زمینه تشخیص حرکت کاربر شد. سیستم Kinect از یک پروژکتور مادون قرمز، یک دوربین و یک ریزتراشه جهت تعیین موقعیت یک جسم در سه بعد بهره می‌برد. در سال‌های اخیر، واقعیت مجازی در توسعه بازی‌های حرکتی و همچنین، تربیت ورزشکاران حرفه‌ای کاربرد بسیار داشته است (۹، ۱۰). تمام مثال‌های ذکر شده به اهمیت توسعه کنترلرهای بازی‌های حرکتی می‌پردازند. نکته اساسی دیگر این است که بازی‌های حرکتی در مکان‌های عمومی مختلف اعم از ایستگاه‌های مترو، پاساژها و... جهت بهبود وضع سلامت جسمانی افراد با سلاقی و سنین متفاوت قابل استفاده می‌باشند (۱۱). همچنین، این بازی‌ها بخش مهمی از بازی‌های درمانی در حیطه توان‌بخشی را تشکیل می‌دهند که به متخصصان و بیماران در دستیابی به اهداف حرکتی ساده تا پیچیده در طی زمان کمک می‌کنند. به منظور استفاده بهینه از دانش حوزه‌ای (Domain knowledge) و یا داده‌های جمع‌آوری شده از یک متخصص، می‌توان یک سیستم فازی پیاده‌سازی کرد. هدف از انجام پژوهش حاضر، طراحی و پیاده‌سازی کنترلر نروفازی تطبیقی برای بازی‌های حرکتی بود.

## مواد و روش‌ها

**سیستم فازی:** مهم‌ترین بخش یک سیستم فازی، پایگاه اطلاعاتی آن می‌باشد که از قوانین فازی تشکیل شده است (۱۲). این قوانین، گزاره‌های اگر-آنگاه فازی می‌باشند که رفتار کلی سیستم فازی را توصیف می‌کنند. سپس از سیستم استنتاج فازی برای نگاشت فضای ورودی  $U \in R^n$  به فضای خروجی  $V \in R$  استفاده می‌شود. ورودی‌های یک سیستم فازی (و گاهی خروجی آن) مجموعه‌های فازی با توابع عضویت مخصوص به خود هستند. به طور خلاصه، می‌توان گفت که سیستم فازی یک نگاشت غیر خطی از پایگاه اطلاعاتی را فراهم می‌سازد. مجموعه فازی  $A$  با تابع عضویت پیوسته به صورت رابطه ۱ نمایش داده می‌شود.

$$A = \int_U \mu_A(x)/x \quad \text{رابطه ۱}$$

علامت انتگرال در واقع مجموعه تمام نقاط  $x \in U$  است که تابع عضویت آن‌ها  $\mu_A(x)$  می‌باشد (۱۲). در حقیقت، وظیفه یک تابع عضویت، نافازی‌سازی یک مفهوم فازی است (۱۳). توابع عضویت با استفاده از دانش حوزه‌ای و یا تجربه یک فرد متخصص تعیین می‌گردد. در روش پیشنهادی، توابع عضویت به گونه‌ای تعریف شده‌اند تا برای طیف وسیعی از کاربران قابل استفاده باشند. در این روش، هنگام تنظیم کنترلر، از داده‌های جمع‌آوری شده از کاربر به منظور تعیین پارامترهایی مناسب برای توابع عضویت استفاده گردید. استدلال در سیستم فازی به معنای به دست آوردن گزاره‌های جدید با استفاده از گزاره‌های پیشین است (۱۴). بر خلاف منطق کلاسیک که یک منطق دو مقداری است، سیستم فازی این امکان را به گزاره‌ها می‌دهد که هر مقداری در بازه [صفر و یک] را اختیار کنند. این امر نقش بسزایی در تسهیل روند استدلال تقریبی دارد.

ورودی‌های سیستم فازی، مجموعه‌های فازی هستند (۱۸). بر اساس مدت زمان فشردن کلید توسط کاربر، از سه تابع عضویت برای پوشش دادن تمامی حالات ممکن استفاده گردید. خروجی کنترلر در اصل همان ورودی سیستم فازی و خروجی این سیستم فازی فرمانی است که به بازی اجرا شده بر روی کامپیوتر اصلی ارسال می‌شود. سیگنال دریافتی از کاربر به وسیله مجموعه‌های فازی به سه دسته تقسیم می‌شود که در ادامه آمده است.

۱- سیگنال‌های بسیار کوتاه (Very short): این حالت زمانی اتفاق می‌افتد که سیستم در معرض نویز قرار گیرد و خروجی در اثر این نویز ناخواسته تغییر کند. به طور طبیعی، بازه زمانی که در آن سطح ولتاژ خروجی کنترلر در اثر نویز و سیگنال‌های ناخواسته از بالا به پایین و سپس از پایین به بالا تغییر می‌کند، بسیار کوتاه است و از این ویژگی می‌توان برای فیلتر کردن تأثیر نویز بر سیگنال خروجی کنترلر استفاده نمود.

۲- سیگنال‌های کوتاه (Short): هنگامی که کاربر پدهای کنترلر را به منظور اعمال فرمان Press برای مدت کوتاهی می‌فشارد، بازه زمانی که در آن سطح ولتاژ خروجی کنترلر از بالا به پایین و سپس از پایین به بالا تغییر می‌کند، طولانی‌تر از حالت قبلی و کوتاه‌تر از حالت بعدی (Hold) خواهد بود.

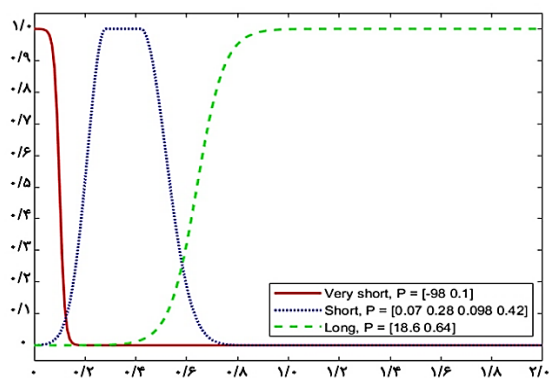
۳- سیگنال‌های بلند (Long): در نهایت، هنگامی که کاربر قصد دارد فرمان Hold را ارسال کند، سطح ولتاژ سیگنال خروجی برای مدت طولانی‌تری پایین می‌ماند.

مهم‌ترین چالش این قسمت از طراحی سیستم فازی، یافتن توابع عضویت مناسب برای سیگنال دریافتی از کنترلر بود. این توابع عضویت تعیین‌کننده کران بالا و پایین هر حالت و همچنین، گذار بین این حالت‌ها می‌باشد. با استفاده از دانش حوزه‌های و اجرای تعدادی نمونه آزمایشی، تصمیم بر آن شد که از تابع سیگموئید برای حالت بسیار کوتاه و بلند و از نوعی از تابع گوسی برای حالت کوتاه استفاده گردد. توابع عضویت سیگموئید و گوسی به صورت روابط ۴ و ۵ تعریف می‌شوند (۱۲).

$$\text{Sigmoid: } f(x; a, c) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-c)}} \quad \text{رابطه ۴}$$

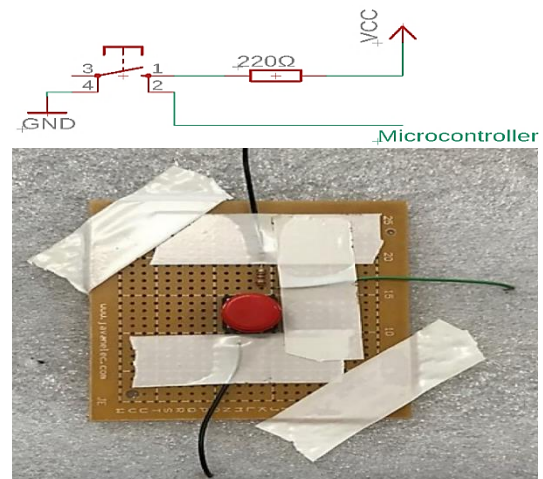
$$\text{Gaussian: } g(x; \sigma, c) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad \text{رابطه ۵}$$

تابع عضویت گوسی از دو مجموعه پارامتر استفاده می‌کند؛ یک مجموعه برای منحنی سمت راست و یکی برای منحنی سمت چپ. توابع عضویت خیلی کوتاه، کوتاه و بلند پیش از تنظیم سیستم، بر حسب زمان در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. توابع عضویت خیلی کوتاه، کوتاه و بلند پیش از تنظیم سیستم

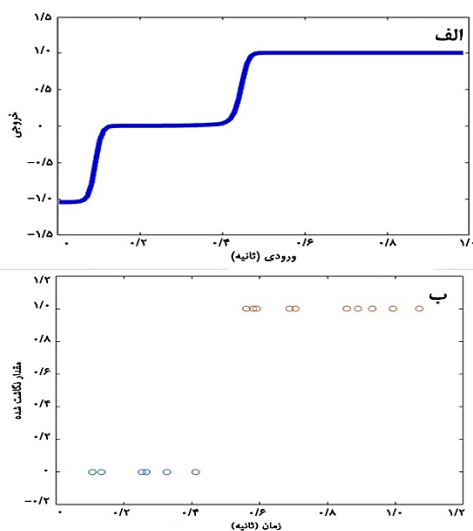
**سخت‌افزار کنترلر:** کنترلر طراحی شده از چهار پد الاستیکی تشکیل شده که به یک میکروکنترلر ATmega32 (Atmel, San Jose, California, U.S.) متصل گردیده است. تجهیزات جانبی دیگر مورد استفاده در سیستم پیاده‌سازی شامل چهار عدد مقاومت ۲۲۰ اهمی و چهار عدد کلید فشاری می‌باشد. هنگامی که کاربر یک پد (کلید فشاری داخل پد) را می‌فشارد، سیگنال ورودی به میکروکنترلر از سطح ولتاژ بالا به سطح ولتاژ پایین تغییر پیدا می‌کند. پس از آن، اگر کاربر کلید را رها کند، عکس این اتفاق می‌افتد؛ یعنی سیگنال ورودی به میکروکنترلر از سطح ولتاژ پایین به سطح ولتاژ بالا تغییر می‌یابد. سپس لبه‌های بالا و پایین رونده ایجاد شده در سیستم فازی پیاده‌سازی شده برای تصمیم‌گیری و پیش‌بینی فرمانی که کاربر قصد ارسال آن به بازی را داشته است، استفاده می‌شود. سخت‌افزار سیستم با استفاده از نرم‌افزارهای Autodesk Altium Designer 2018.1.7., Altium Limited, (San Diego, California, United States) طراحی شده برای یک پد به همراه یکی از پدهای سخت‌افزار نهایی کنترلر (بدون پوشش بالایی) در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. مدار طراحی شده برای یک پد به همراه پیاده‌سازی آن بدون پوشش بالایی

**سیستم فازی پیاده‌سازی شده:** به منظور بهبود تجربه کاربر از کنترلر طراحی شده، از منطق فازی به عنوان یک راهکار تطبیق‌پذیر و مقاوم در امر پردازش داده دریافتی از کنترلر استفاده گردید. در واقع، یک سیستم فازی وظیفه طبقه‌بندی فرامین ارسالی کاربر را بر عهده داشت. از کنترلر می‌توان به عنوان وسیله‌ای جهت شبیه‌سازی فشردن و نگه داشتن کلید در کیبورد (مشابه فشردن کوتاه و بلند در صفحات لمسی) استفاده نمود. وظیفه تبدیل ورودی دریافتی به یک فرمان بر عهده سیستم فازی طراحی و تنظیم شده بود. پارامترهای سیستم فازی ذکر شده با اجرای یک سری تست به گونه‌ای تعیین گردید که تا حد امکان تجربه مناسبی را برای کاربر فراهم سازد، اما با توجه به این که کنترلر پیشنهاد شده توسط کاربران با سنین و ویژگی‌های فیزیکی متفاوتی استفاده می‌شود، در سیستم پیشنهاد شده پارامترها بنا به نیاز کاربر تنظیم می‌شود.

داده‌های موجود برای تنظیم مناسب پارامترهای سیستم فازی طراحی شده استفاده نمود. برای تنظیم این پارامترها، از ANFIS موجود در جعبه ابزار منطق فازی نرم‌افزار MATLAB استفاده گردید. در مرحله تنظیم پارامترها، تنها پارامترهای مربوط به توابع عضویت ورودی تغییر می‌کند و هیچ‌گونه تغییر دیگری در سیستم فازی ایجاد نمی‌شود.



شکل ۳. خروجی سیستم فازی (الف) به همراه مثالی از داده‌های جمع‌آوری شده از کاربر (ب)

در حین انجام این فرایند، یک میزان تحمل خطا همراه با تعداد تکرار این روند باید تعریف شود. تصمیم بر آن شد که میزان تحمل خطا روی ۰/۰۵ تنظیم شود و آموزش سیستم فازی برای ۹ تکرار انجام گیرد. برای به‌روزرسانی پارامترها از روش پس‌انتشار استفاده شد. پس از آموزش سیستم فازی با داده‌های در دست، خطای سیستم در حدود ۰/۰۳ بود که با توجه به محدودیت تعداد داده‌ها در داده‌های آموزشی امر قابل قبولی است.

اقدام بسیار مهم در هنگام تنظیم سیستم، بررسی این نکته است که آیا سیستم دچار بیش‌برازش (۲۱) شده است یا خیر. در واقع، یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو در هنگام آموزش سیستم فازی، بیش‌برازش سیستم با داده‌های موجود می‌باشد. محدود بودن تعداد داده‌ها ممکن است باعث بیش‌برازش مدل شود. با توجه به محدود بودن داده‌های موجود، منطقی است که تعداد تکرار مراحل آموزش سیستم فازی محدود شود. با توجه به این نکته که مجموعه داده در دسترس برای هر کاربر منحصر به فرد است و همچنین، جمع‌آوری تعداد زیادی داده از کاربر سبب بی‌حوصلگی و ناخشنودی کاربر می‌شود، می‌توان ادعا کرد که مقادیر اولیه پارامترهای سیستم فازی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشد. این پارامترها باید به‌گونه‌ای مقداردهی شود که با وجود محدودیت در داده‌های دریافتی از کاربر مورد نظر، الگوریتم مورد استفاده برای تنظیم و اصلاح پارامترهای سیستم به مقدار درستی همگرا گردد (۲۱).

در زمان جمع‌آوری داده‌ها، برخی از نقاط داده را می‌توان برای استفاده در مرحله آزمایش ذخیره کرد. علاوه بر آن، برای گسترش داده‌های آزمایشی،

همان‌گونه که پیش از این مطرح شد، در روش پیشنهادی از مدل فازی سوگنو مرتبه صفر استفاده گردید. قوانین مورد استفاده در این سیستم به صورت زیر تعریف شد:

قانون اول: IF input is very short THEN output is ignore

قانون دوم: IF input is short THEN output is press

قانون سوم: IF input is long THEN output is hold

مدل فازی سوگنو مرتبه صفر به کار رفته، به ازای Ignore عدد ۱-، برای Press عدد صفر و برای Hold عدد ۱ را برمی‌گرداند. وظیفه سیستم استفاده شده، به دست آوردن یک نگاشت غیر خطی بین توابع عضویت و این مقادیر است. سپس از خروجی سیستم فازی برای ارسال دستور مربوط به کامپیوتر استفاده گردید.

مقادیر اولیه پارامترهای توابع عضویت مورد استفاده، توسط تعدادی اجرای آزمایشی حاصل می‌شوند. مهم‌ترین عامل در طراحی سیستم فازی که باید در نظر گرفته شود، تأثیر توابع عضویت ورودی بر تجربه کاربر از کنترلر است. با تنظیم مناسب پارامترهای توابع عضویت ورودی، می‌توان ارتباط مؤثر کاربر با کنترلر و کامپیوتر را تضمین کرد.

نرخ تغییرات توابع عضویت ورودی، تأثیر بسیار زیادی بر تجربه کاربر دارد. به عنوان مثال، پارامترهای توابع عضویت برای یک بزرگسال به دلیل تفاوت در خصوصیات فیزیکی، نرخ تغییرات بسیار کندتری نسبت به پارامترهای تنظیم شده برای یک خردسال دارد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که بهترین روش این است که پارامترهای سیستم را بر اساس کاربر فعلی کنترلر تنظیم نمود. راهکار پیشنهادی برای رفع این مشکل، استفاده از یک سیستم نروفازی تطبیقی است.

## یافته‌ها

همان‌گونه که بیان شد، پارامترهای توابع عضویت نقش بسیار مهمی در تجربه کاربر دارند. راهبردی‌ترین روش برای تنظیم پارامترهای سیستم فازی این بود که داده‌هایی از کاربر گرفته و با استفاده از آن‌ها، این پارامترها تغییر داده شود. به این منظور، ابتدا از کاربر درخواست شد که پدهای مختلف کنترلر را بفشارد و این داده‌ها در یک مجموعه داده ذخیره شد و همراه با این داده‌ها، برچسبی برای تعیین فرمان کاربر استفاده گردید. در این روش، برچسب صفر در مجموعه داده‌ها به عنوان عمل Press تلقی شد. پس از این مرحله، از کاربر درخواست گردید که پدهای مختلف کنترلر را فشار دهد و نگه دارد. برای فرمان Hold، برچسب استفاده شده ۱ بود که در حین ارتباط کاربر با کنترلر، در مجموعه داده‌ها ذخیره شد. با توجه به قوانین ذکر شده در قسمت قبل، خروجی سیستم فازی به همراه مثالی از داده‌های جمع‌آوری شده از کاربر در شکل ۳ نشان داده شده است.

کران بالای داده‌های مربوط به عمل Press و کران پایین داده‌های مربوط به عمل Hold نقش بسزایی در تعیین تأثیرگذاری داده‌های جمع‌آوری شده از کاربر ایفا می‌کنند. در صورتی که این دو کران بسیار به هم نزدیک باشند، بهترین کار، جمع‌آوری داده‌های بیشتر از کاربر می‌باشد. همچنین، مزیت جمع‌آوری داده‌های بیشتر، امکان حذف داده‌های متضاد به منظور بهبود کیفیت مجموعه داده‌ها است (۲۰). پس از جمع‌آوری داده‌ها از کاربر، می‌توان از

به کار بود. هنگامی که کاربر یک کلید را می‌فشارد، سطح ولتاژ سیگنال دریافتی از کنترلر از بالا به پایین تغییر می‌کند.

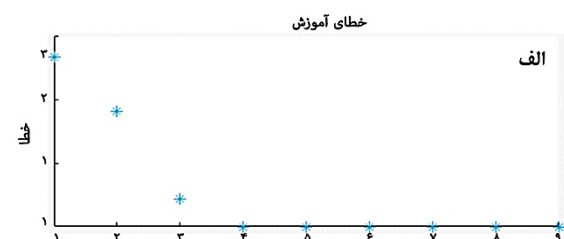
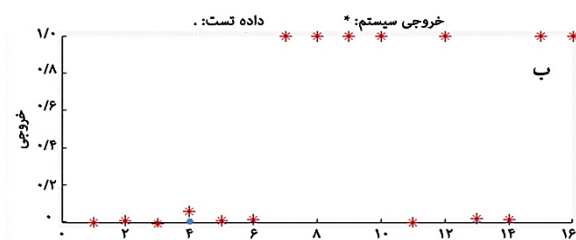
توابع عضویت به کار رفته در سیستم، تعیین‌کننده میزان شباهت فرمان دریافتی از کاربر به یکی از فرامین فشردن و یا نگه داشتن کلید است. فرمان دریافتی از کاربر با کمک لبه بالا رونده و یا لبه پایین رونده و توسط تنظیم یک شمارنده تعیین می‌شود. به محض دریافت لبه پایین رونده از سمت کنترلر، به منظور ذخیره مدت زمانی که کاربر پد را فشرده است، شمارنده‌ای شروع به شمارش می‌کند. تا زمانی که دست کاربر بر روی پد نگه داشته شده باشد، مقدار این شمارنده به سیستم فازی ارسال می‌شود. لازم به ذکر است که این شمارنده در واقع ورودی سیستم فازی می‌باشد و تمامی تصمیمات اخذ شده توسط کنترلر در واقع خروجی سیستم فازی است. با رسیدن به کران پایین عمل Hold، هنگامی که قدرت آتش‌زنی تابع عضویت ورودی منجر به عمل Hold شود، سیستم فازی فرمان این عمل را به بازی ارسال می‌کند. واضح است که فرمان ارسالی با تغییر وضعیت پد فشرده شده، تغییر می‌کند.

هنگامی که کاربر می‌خواهد کلید را بفشارد، حالت دیگری اتفاق می‌افتد. در این حالت، ابتدا یک لبه پایین رونده تشخیص داده می‌شود و پس از مدت زمان کوتاهی، یک لبه بالا رونده تشخیص داده می‌شود. این وضعیت زمانی اتفاق می‌افتد که کاربر برای فرستادن فرمان Press، کلید را بفشارد و رها کند. هنگامی که لبه بالا رونده در سیگنال خروجی کنترلر تشخیص داده شد، مقدار شمارنده به سیستم فازی ارسال و سپس شمارنده دوباره روی مقدار صفر تنظیم می‌گردد. پس از آن، سیستم فازی تعیین می‌کند که آیا فرمان مورد نظر کاربر Press بوده یا نه. زمانی که هیچ کلیدی فشرده یا نگه داشته نشود، ممکن است در اثر نویز، تغییراتی در مقدار دریافتی از کنترلر ایجاد شود، اما با توجه به این موضوع که با استفاده از سیستم فازی، سیستم پیاده‌سازی شده مقاوم خواهد بود (۱۲)، می‌توان تضمین کرد که تأثیر نویز بر خروجی کنترلر عملکرد کلی سیستم را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. شبه کد سیستم پیاده‌سازی شده به شرح زیر است:

```
while controller is operating:
  read data from controller
  check read values from diffrent pins:
  if a falling edge was detected:
    increase counter
    send the value of counter to fuzzy logic system
  check the output of the fuzzy logic system
  if output=1:
    send the corresponding hold command
  if a rising edge was detected:
    send the value of counter to fuzzy logic system
    check the output of the fuzzy logic system
    if output=0:
      send the corresponding press command
    reset counter
  if output=-1:
    do nothing
```

سیستم طراحی شده می‌تواند برای بازی‌های ویدئویی مختلفی که به وسیله چهار فرمان مختلف کنترل می‌شود، استفاده گردد. بازی‌های پلتفرمر (Platformer Games) یک مثال خوب برای بازی‌هایی هستند که به سادگی می‌توانند توسط کنترلر پیشنهادی کنترل شوند. به طور مشابه، بازی‌های Maze Arcade مانند Ms. Pac-Man (شرکت Midway games، آمریکا) را نیز

می‌توان از تعدادی از داده‌های آموزشی نیز استفاده نمود. در نهایت، اشاره به این نکته الزامی است که برای اطمینان از صحت عملکرد کنترلر، جداسازی برخی از داده‌های جمع‌آوری شده از کاربر برای تست نهایی سیستم حایز اهمیت است. نمودار خطای سیستم به همراه نتیجه آزمایش سیستم فازی تنظیم شده در شکل ۴ مشاهده می‌شود. نقاط آبی‌رنگ بیانگر نقاط داده و ستاره‌های قرمز رنگ نشان دهنده خروجی سیستم فازی تنظیم شده است. به وضوح مشاهده می‌شود که تمامی نقاط داده در داده‌های آزمایشی به جزء داده شماره ۴، به درستی توسط سیستم فازی تخمین زده شده بودند و به همین علت است که نقاط آبی رنگ به راحتی در شکل ۴ مشاهده نمی‌شوند. با توجه به این نکته که خطای سیستم در حدود ۰/۰۳ بود، دور از منطقی نیست که خروجی سیستم فازی به منظور تضمین درستی خروجی سیستم گرد شود. در طول مرحله آزمایش، پس از گرد کردن خروجی سیستم فازی، تمامی خروجی‌های سیستم به درستی به دست آمد. با توجه به عملکرد قابل قبول سیستم فازی، می‌توان ادعا کرد که سیستم دچار بیش‌برازش نشده و مرحله آموزش موفقیت‌آمیز بوده است.



شکل ۴. خطای سیستم در هنگام آموزش (الف) به همراه نتیجه آزمایش سیستم فازی تنظیم شده (ب)

### تجمیع سیستم فازی و سخت‌افزار کنترلر

در این بخش، از سیستم فازی آموزش داده شده به منظور مدیریت داده‌های دریافتی از کنترلر استفاده گردید. همان‌گونه که پیش از این اشاره شد، داده‌های خامی که به طور مستقیم از کنترلر به دست می‌آیند، تجربه لذت‌بخشی را برای کاربر فراهم نمی‌کنند و در نتیجه، با استفاده از سیستم فازی در داده‌های دریافتی از کنترلر تغییراتی ایجاد می‌شود. پس از آن، سیستم فازی به وسیله تحلیل ارتباط کاربر با کنترلر، فرمان مناسب را به بازی اجرا شده روی کامپیوتر اصلی می‌فرستد. برنامه پیاده‌سازی شده به این صورت است که کامپیوتر اصلی داده‌ها را از یک میکروکنترلر که به آن متصل شده است، می‌خواند. هرگونه تغییری در مقدار داده دریافتی، توسط سیستم فازی تحلیل می‌شود و فرمان مربوط به بازی اجرا شده فرستاده می‌شود. این فرمان‌ها شامل فشردن کلید، نگه داشتن کلید و حالت آماده



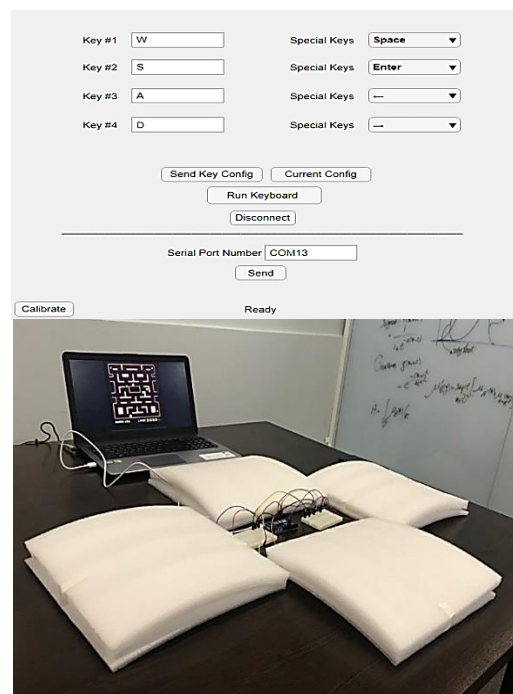
## بحث

در پژوهش حاضر یک سیستم نروفازی تطبیقی تعبیه شده در یک کنترلر مؤثر برای بازی‌های حرکتی طراحی و پیاده‌سازی گردید. روش اتخاذ شده هیچ‌گونه وسایل جانبی اضافی مانند دوربین و یا حسگر از هیچ نوعی نیاز نداشت که این امر باعث کاهش هزینه‌های پیاده‌سازی سیستم می‌شود و یکی از مزایای این طراحی می‌باشد. این کنترلر به دلیل این که تنها به سینگال‌های دریافتی از پدها بستگی داشت و عواملی مانند نور و دمای محیط بر عملکرد آن تأثیری نداشت، قابلیت استفاده در محیط‌های سخت را دارد. علاوه بر این، سیستم نروفازی به کار رفته قادر است با توجه به رفتار کاربر و همچنین، الزامات بازی، بهترین تجربه را برای کاربر فراهم آورد.

هنگامی که کاربر از صفحه کلید استفاده می‌کند، تفکیک بین فشردن و نگه داشتن کلید معادل با فشردن کوتاه و بلند صفحات لمسی بسیار آسان است. در کنترلر بازی‌های حرکتی که توسط کاربران با خصوصیات فیزیکی متفاوت استفاده می‌شود، عمل طبقه‌بندی فرمان‌های کاربر می‌تواند بسیار پیچیده شود. می‌توان ادعا کرد که کاربران متفاوت کنترلر نیازمند نگاهت‌های متفاوتی از سینگال‌های دریافتی از پدها به دستورات ارسالی به بازی اجرا شده بر روی کامپیوتر اصلی هستند. نگاهت گفته شده با استفاده از توابع عضویت مختلف صورت می‌گیرد. در حقیقت، با تغییر پارامترهای مربوط به توابع عضویت، امکان تنظیم کنترلر با توجه به ویژگی‌های فیزیکی کاربر ممکن می‌شود. همچنین، با به کارگیری سیستم نروفازی تطبیقی می‌توان مقادیر اولیه پارامترهای توابع عضویت را با بهره‌مندی از دانش حوزه‌ای موجود تعیین نمود. این دانش حوزه‌ای، تنظیم پارامترهای توابع عضویت را به شدت تسهیل می‌کند. یک موضوع مهم در هنگام طراحی سیستم پیشنهادی که باید مورد توجه بسیاری قرار گیرد، عدم امکان جمع‌آوری داده‌های وسیع به منظور تنظیم سیستم می‌باشد. به همین دلیل، داشتن مقادیر اولیه مناسب برای پارامترهای سیستم امری اساسی بود. بنابراین، می‌توان ادعا کرد که استفاده از یک سیستم فازی تطبیقی به عنوان کنترلر در بازی‌ها اجتناب‌ناپذیر است.

طبقه‌بندی رفتار بازیکن بر اساس محاسبات سخت، منجر به ناخشنودی کاربر می‌شود؛ چرا که کاربر قادر نخواهد بود به صورت کارآمدی با سیستم ارتباط برقرار کند. بنابراین، حتی اگر بازی اجرا شده بر روی سیستم از کیفیت سرگرمی مناسبی برخوردار باشد، به علت عدم استفاده از محاسبات نرم، کاربر از نتیجه به دست آمده رضایت نخواهد داشت. در روش پیشنهادی، مشکل مذکور با جمع‌آوری سینگال از کاربر رفع می‌شود. در واقع، پارامترهای توابع عضویت که در سیستم فازی پیشنهادی به کار گرفته شده‌اند، توسط داده‌های دریافتی از کاربر تنظیم می‌شوند تا کنترلر عملکرد قابل قبولی داشته باشد. از طرف دیگر، طراحی بازی‌های خاص برای یک کنترلر عملی نیست (۲۲)؛ به دلیل این که این کار باعث می‌شود گزینه‌های کاربر محدود شود و همچنین، کنترلر تنها برای بازی‌های خاصی قابل استفاده باشد. این در حالی است که با تحلیل سینگال‌های دریافتی از کنترلر، می‌توان به راحتی آن را برای بازی‌های مختلف تنظیم نمود. با تنظیم کنترلر این امکان فراهم می‌شود که کنترلر به صورت مؤثر و دقیق به دستورات کاربر پاسخ دهد. در سیستم پیشنهادی از کاربر درخواست می‌شود تا پدها را چندین مرتبه بفشارد و یا نگه دارد تا سیستم بر اساس خصوصیات فیزیکی کاربر آموزش داده شود. به عنوان مثال، مدت زمان فشردن پد برای یک کودک بسیار کوتاه‌تر از یک بزرگسال است (۲۳). سپس داده‌های جمع‌آوری شده

می‌توان به وسیله این کنترلر بازی کرد. تنها قدم باقی‌مانده پیش از به کارگیری کنترلر، پیکربندی آن و تعریف یک لیست از کلیدهای خواسته شده برای فرمان‌های متفاوت برای کنترلر است. کنترلر مورد نظر به گونه‌ای طراحی شد که با استفاده از لیست تهیه شده توسط کاربر، برای کنترلر بازی دستورات مختلفی را به آن ارسال می‌کند. به عنوان مثال، برای بازی Ms. Pac-Man تنها چهار کلید جهت‌نما برای بازی کردن لازم است. پس از پیکربندی کنترلر، هنگامی که کاربر یک پد را می‌فشارد یا نگه می‌دارد، دستور مربوط به بازی ارسال می‌شود. در این کنترلر تمامی کلیدهای کیبورد پشتیبانی می‌شوند و با استفاده از رابط کاربری گرافیکی فراهم شده، کاربر به سادگی می‌تواند عمل پیکربندی و تنظیم کنترلر را انجام دهد و به آسانی تعیین کند که هر پد چه دستوری را به بازی ارسال نماید. لیست کلیدهای ویژه شامل کلیدهایی مانند Enter، Space و کلیدهای جهت‌نما می‌باشد که از آن‌ها در سبک‌های مختلف بازی‌ها استفاده بسیاری می‌شود. همچنین، کاربر قادر است تا وضعیت کنترلر را با استفاده از برجسب انتهای رابط کاربری مشاهده کند. به عنوان مثال، زمانی که کنترلر در حالت آماده برای ارسال فرمان‌های کاربر به بازی باشد، کاربر پیام Ready را در رابط گرافیکی مشاهده می‌کند. علاوه بر این، می‌توان کنترلر را با استفاده از کلید Calibrate تنظیم کرد. با فشردن کلید مذکور، فرایند تنظیم کنترلر که پیش از این توضیح داده شد، آغاز می‌گردد. کنترلر از طریق درگاه USB به کامپیوتر اصلی متصل می‌شود و تا زمانی که نرم‌افزار کنترلر در حال اجرا است، درگاه مربوط اشغال خواهد بود. از این‌رو، در نظر گرفتن دو کلید تحت عناوین Run و Disconnect به منظور مدیریت درگاه USB کامپیوتر از اهمیت بسیاری برخوردار است. رابط گرافیکی کنترلر به همراه یک کنترلر با عملکرد کامل و بازی Ms. Pac-Man اجرا شده بر روی کامپیوتر اصلی در شکل ۵ قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۵. رابط گرافیکی کنترلر به همراه یک کنترلر با عملکرد کامل و بازی Ms. Pac-Man اجرا شده بر روی کامپیوتر اصلی

همچنین، از مرکز نوآوری صنایع سرگرمی دانشگاه اصفهان که در جمع‌آوری داده‌ها و به ثمر رسیدن این پروژه نقش مهمی داشتند، سپاسگزاری می‌گردد.

### نقش نویسندگان

کیاوش فتحی، ایده‌پردازی و مطالعه، پیاده‌سازی و عیب‌یابی، نظارت بر روند پیاده‌سازی، فراهم کردن تجهیزات و قطعات مورد نیاز، جمع‌آوری و تحلیل داده‌های سیستم، آموزش سیستم پیاده‌سازی شده، تجمیع نرم‌افزاری و سخت‌افزاری سیستم، تنظیم دست‌نوشته، ارزیابی تخصصی و نگارشی دست‌نوشته از نظر مفاهیم علمی، تأیید دست‌نوشته نهایی جهت ارسال به دفتر مجله، مسؤلیت حفظ یکپارچگی فرایند انجام مطالعه از آغاز تا انتشار و پاسخگویی به نظر داوران، افروز لقابی، ایده‌پردازی و مطالعه، پیاده‌سازی و عیب‌یابی، نظارت بر روند پیاده‌سازی، فراهم کردن تجهیزات و قطعات مورد نیاز، جمع‌آوری و تحلیل داده‌های سیستم، آموزش سیستم پیاده‌سازی شده، تجمیع نرم‌افزاری و سخت‌افزاری سیستم، تنظیم دست‌نوشته، ارزیابی تخصصی و نگارشی دست‌نوشته از نظر مفاهیم علمی، تأیید دست‌نوشته نهایی جهت ارسال به دفتر مجله، مسؤلیت حفظ یکپارچگی فرایند انجام مطالعه از آغاز تا انتشار و پاسخگویی به نظر داوران، جواد راستی، ایده‌پردازی و مطالعه، نظارت بر روند پیاده‌سازی، فراهم کردن تجهیزات و قطعات مورد نیاز، تجمیع نرم‌افزاری و سخت‌افزاری سیستم، تنظیم دست‌نوشته، ارزیابی تخصصی و نگارشی دست‌نوشته از نظر مفاهیم علمی، تأیید دست‌نوشته نهایی جهت ارسال به دفتر مجله، مسؤلیت حفظ یکپارچگی فرایند انجام مطالعه از آغاز تا انتشار و پاسخگویی به نظر داوران را بر عهده داشتند.

### منابع مالی

این پژوهش با هزینه شخصی نویسندگان انجام گردید. بررسی و انتشار تحقیق حاضر در مجله پژوهش در علوم توان‌بخشی، با حمایت مالی پژوهشگاه فضای مجازی مرکز ملی فضای مجازی، حامی پنجمین کنفرانس بین‌المللی «بازی‌های رایانه‌ای؛ فرصت‌ها و چالش‌ها» با نگاه ویژه به بازی‌های درمانی صورت گرفت. این پژوهشگاه در طراحی، تدوین و گزارش این مطالعه نقشی نداشت.

### تعارض منافع

نویسندگان دارای تعارض منافع نمی‌باشند. ایده مقاله در فاز کنونی تنها جنبه پژوهشی دارد.

برای تغییر پارامترهای سیستم فازی طراحی شده مورد استفاده قرار می‌گیرد تا کنترلر تجربه بازی لذت‌بخشی را برای کاربر با کمک دانش حوزه‌های فراهم سازد. یکی از مهم‌ترین کاربردهای این سیستم، توان‌بخشی حرکتی و ذهنی افراد مبتلا به تروما و یا بیماری‌های مزمن است. این افراد به دلیل از دست دادن مهارت‌های حرکتی نیاز به توان‌بخشی طولانی مدت دارند و تطابق بازی با سطح توانمندی آن‌ها، امکان پیشرفت بازی متناسب با پیشرفت فرد و جلوگیری از کسالت او در حین بازی به دلیل طولانی بودن فرایند توان‌بخشی یک اصل مهم در درمان آن‌ها به حساب می‌آید. کنترلر طراحی شده، قابلیت پاسخ به این سه نیاز اساسی را در این حوزه از بازی‌های جدی دارد.

### محدودیت‌ها

سیستم پیاده‌سازی شده از یک میکروکنترلر ATmega32 بهره می‌گیرد و به طور طبیعی محدودیت‌های سخت‌افزار پیاده‌سازی شده ارتباط نزدیکی با محدودیت این میکروکنترلر دارد. به عنوان مثال، سیستم پیاده‌سازی شده می‌تواند تعداد محدودی از پدها را به عنوان ورودی سیستم مدیریت کند.

### پیشنهادها

با توجه به این که قابلیت انتقال تکنولوژی از یک پیاده‌سازی به پیاده‌سازی‌های دیگر با کمک منطق فازی ممکن می‌باشد، نویسندگان به دنبال طراحی و پیاده‌سازی مداری برای استانداردسازی سینگال دریافتی از حسگرهای مختلف با توجه به قواعد مورد استفاده در سیستم فازی هستند تا امکان استفاده از نرم‌افزار طراحی شده برای حسگرهای دیگر ممکن شود.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک کنترلر سخت‌افزاری طراحی شد که به کامپیوتر اصلی متصل می‌شود و برای ارتباط با بازی اجرا شده از طریق پدهای تعبیه شده از کاربر فرمان دریافت می‌کند. کاربر این کنترلر می‌تواند نگه داشتن و فشردن کلید را از طریق پدهای مذکور شبیه‌سازی نماید. کنترلر پیشنهادی می‌تواند برای بازی‌های حرکتی جهت بهبود شرایط جسمانی و سلامت کاربر مورد استفاده قرار گیرد.

### تشکر و قدردانی

مقاله حاضر از میان مقالات ارسال شده به دبیرخانه پنجمین کنفرانس بین‌المللی «بازی‌های رایانه‌ای؛ فرصت‌ها و چالش‌ها» با نگاه ویژه به بازی‌های درمانی (بهمن ماه ۱۳۹۸، اصفهان)، از سوی هیأت تحریریه مجله پژوهش در علوم توان‌بخشی مورد تقدیر قرار گرفت. بدین وسیله نویسندگان از پژوهشگاه فضای مجازی مرکز ملی فضای مجازی به جهت حمایت از انتشار این مقاله قدردانی به عمل می‌آورند.

### References

1. Calvert SL, Staiano AE, Bond BJ. Electronic gaming and the obesity crisis. *New Dir Child Adolesc Dev* 2013; 2013(139): 51-7.
2. Oh Y, Yang S. Defining exergames and exergaming. *Proceedings of the Meaningful Play 2010*; 2010 Oct 21-23; East Lansing, MI, USA.
3. Peng W, Lin JH, Crouse J. Is playing exergames really exercising? A meta-analysis of energy expenditure in active video games. *Cyberpsychol Behav Soc Netw* 2011; 14(11): 681-8.
4. Ameryoun A, Sanaeinasab H, Saffari M, Koenig HG. Impact of game-based health promotion programs on body mass index in overweight/obese children and adolescents: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled Trials. *Child*

- Obes 2018; 14(2): 67-80.
5. Parry I, Carbullido C, Kawada J, Bagley A, Sen S, Greenhalgh D, et al. Keeping up with video game technology: Objective analysis of Xbox Kinect and PlayStation 3 Move for use in burn rehabilitation. *Burns* 2014; 40(5): 852-9.
  6. Levenberg G, Levenberg G, Klitsner D. Interactive video game controller adapter [Patent]. (Publication of US6811491B1). 2004.
  7. Sinclair J, Hingston PF, Masek M. Considerations for the design of exergames. Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques in Australia and Southeast Asia; 2007 Dec 1-4; Perth, Australia. p. 289-95.
  8. Trout J, Zamora K. Using dance dance revolution in physical education. *Teaching Elementary Physical Education* 2005; 16(5): 22-5.
  9. Zhang Z. Microsoft kinect sensor and its effect. *IEEE Multimedia* 2012; 19(2): 4-10.
  10. Microsoft. PrimeSense Supplies 3-D-Sensing Technology to "Project Natal" for Xbox 360. 2010.
  11. Benzing V, Schmidt M. Exergaming for children and adolescents: Strengths, weaknesses, opportunities and threats. *J Clin Med* 2018; 7(11): E422.
  12. Wang LX. A course in fuzzy systems and control. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR; 1997.
  13. Roychowdhury S, Pedrycz W. A survey of defuzzification strategies. *Int J Intell Syst* 2001; 16(6): 679-95.
  14. Zadeh LA. Fuzzy logic. *Computer* 1988; 21(4): 83-93.
  15. Hellendoorn H. The generalized modus ponens considered as a fuzzy relation. *Fuzzy Set Syst* 1992; 46(1): 29-48.
  16. Terano T, Asai K, Sugeno M. Fuzzy Systems Theory and Its Applications. San Diego, CA: Academic Press; 1992.
  17. Mathworks. Mamdani and Sugeno Fuzzy Inference Systems [Online]. [cited 2019 Nov]; Available from: URL: <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/types-of-fuzzy-inference-systems.html>
  18. Ram M. Advanced fuzzy logic approaches in engineering science. Hershey, PA: IGI Global Publisher; 2018.
  19. Mathworks. Neuro-Adaptive Learning and ANFIS [Online]. [cited 2019]; Available from: URL: <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/neuro-adaptive-learning-and-anfis.html>
  20. Hastie T, Tibshirani R, Friedman JH. The elements of statistical learning: Data mining, inference, and prediction. New York, NY: Springer; 2009.
  21. Bishop CM. Pattern recognition and machine learning. New York, NY: Springer; 2016.
  22. Guo R, Quarles J. Converting sedentary games to exergames: A case study with a car racing game. Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES); 2013 Sep 11-13; Poole, UK. p. 1-8.
  23. Maillot P, Perrot A, Hartley A, Do MC. The braking force in walking: age-related differences and improvement in older adults with exergame training. *J Aging Phys Act* 2014; 22(4): 518-26.





## Design and Implementation of Adaptive Neuro-fuzzy Exergame Controller

Kiavash Fathi<sup>1</sup>, Afroz Laghaei<sup>2</sup>, Javad Rasti<sup>3</sup>, Maryam Zekri<sup>4</sup>

### Original Article

#### Abstract

**Introduction:** Due to sedentary postures caused by video games, many health-related issues have occurred among players. One practical solution for dealing with the aforementioned problem is to come up with game controllers which promote physical exercises. In this study, an adaptive neuro-fuzzy exergame controller was introduced.

**Materials and Methods:** During the training stage, the parameters of the fuzzy logic's member functions were fine-tuned. By calculating a gradient vector and by applying backpropagation, the aforementioned parameters were updated using the measured error. The controller was made of four pads, each containing a resistor and a pushbutton, which were connected to a microcontroller. In order to improve the user experience, an adaptive neuro-fuzzy logic system was used to analyze the gathered data from the controller.

**Results:** A pure fuzzy logic system (FLS) cannot provide an acceptable playing experience for players of different ages and physical characteristics. The received signal from the controller was sent to a fine-tuned FLS. The calculated output of the previously trained FLS was one of the defined classes of "ignore", "press", and "hold", which was sent as a command to the main computer.

**Conclusion:** In the proposed method, the FLS was fine-tuned by gathering data from the user, which improved the performance of the controller due to the fact that the controller was trained to best suit the needs of the user. The gathered data was then used to change the parameters of the FLS to provide an acceptable playing experience for the user.

**Keywords:** Neuro-fuzzy logic system; Adaptive system; Exergames; Game controller

**Citation:** Fathi K, Laghaei A, Rasti J, Zekri M. **Design and Implementation of Adaptive Neuro-fuzzy Exergame Controller.** J Res Rehabil Sci 2019; 15(4): 219-27.

Received: 20.07.2019

Accepted: 05.09.2019

Published: 07.10.2019

1- Student, Department of Electrical Engineering (Control), School of Electrical and Computer Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

2- Student, Department of Electrical Engineering (Electronics), School of Electrical and Computer Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

3- Assistant Professor, Department of Biomedical Engineering, School of Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran

4- Associate Professor, Department of Electrical Engineering (Control), School of Electrical and Computer Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

**Corresponding Author:** Javad Rasti, Assistant Professor, Department of Biomedical Engineering, School of Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran; Email: rasti@eng.ui.ac.ir