



نمایش باورپذیر بازخورد تصویری در سامانه توان بخشی با استفاده از انسداد تصویر در نگاشت ویدیو

یونس سخاوت* و محمدصادق نعمانی

دانشکده چندرسانه‌ای، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

چکیده

کیفیت بازخورد تصویری و نمایش مناسب آن تأثیر به‌سزایی در انجام درست حرکات توان بخشی با استفاده از سامانه‌های توان بخشی حرکتی دارند. یکی از مشکلات اساسی سامانه‌های معمول مبتنی بر واقعیت مجازی آن است که محل وقوع حرکت بر روی زمین و یا تردمیل بوده، در حالی که محل نمایش بازخورد این حرکت در صفحه نمایش روبه‌روی بیمار است. در این مقاله، روشی جدید برای نمایش بازخوردهای حرکت با استفاده از نگاشت ویدیو بر روی صفحه تردمیل ارائه شده که سعی در کم کردن فاصله میان محل وقوع حرکت و محل نمایش بازخورد آن حرکت برای دریافت بهتر بازخورد دارد. در این روش، بازخورد تصویری با استفاده از ویدیوپروژکتور بر روی صفحه تردمیل نمایش داده می‌شود. ویژگی مهم این روش در مقایسه با کارهای قبلی، ارائه روشی برای باورپذیر کردن بازخورد با استفاده از انسداد تصویر است. پس از طراحی و پیاده‌سازی سامانه بازخورد با انسداد تصویر و بدون انسداد تصویر، یک مطالعه کاربری برای ارزیابی سامانه و مقایسه آنها انجام شد. در این مطالعه، از ۲۴ نفر از شرکت‌کنندگان بدون مشکل حرکتی خواسته شد تا تمرین‌های قدم‌زدن و عبور از موانع بر اساس پروتکل طراحی شده انجام دهند. با توجه به اینکه هدف این مقاله تنها ارائه روشی برای بهبود کیفیت نمایش بازخورد حرکتی بوده و نه بررسی تأثیر سامانه ارائه‌شده بر روی بهبود و توان بخشی بیماران، از شرکت‌کنندگان بدون مشکل حرکتی برای ارزیابی این مطالعه استفاده شده است. نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از آن است که اختلاف معنادار آماری میان نرخ خطای سامانه نگاشت ویدیو مبتنی بر انسداد تصویر و سامانه بدون انسداد تصویر در تمرین قدم‌زدن ($p=0.0031$) و عبور از موانع ($p=0.021$) وجود دارد. از لحاظ شهودی بودن بازخورد بر اساس خوداظهاری شرکت‌کنندگان در پژوهش، نتایج حاصل بیان‌گر برتری معنادار آماری ($p=0.011$) سامانه نگاشت ویدیو با انسداد تصویر در مقایسه با سامانه بدون انسداد تصویر است.

واژگان کلیدی: نگاشت ویدیو، بازخورد تصویری، سامانه‌های توان بخشی، انسداد تصویر، واقعیت مجازی

Believable Visual Feedback in Motor Learning Using Occlusion-based Clipping in Video Mapping

Yoones A. Sekhavat* & Mohammad Sadegh Namani

Faculty of Multimedia, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran

Abstract

Gait rehabilitation systems provide patients with guidance and feedback that assist them to better perform the rehabilitation tasks. Real-time feedback can guide users to correct their movements. Research has shown that the quality of feedback is crucial to enhance motor learning in physical rehabilitation. Common feedback systems based on virtual reality present interactive feedback in a monitor in front of a user. However, in this technique, there is a gap between where the feedback is presented and where the actual movement occurs. In particular, there is a discrepancy between where the actual movement occurs (e.g., on a treadmill) and the place of presenting feedback (e.g., a screen in front of the user). As a result, the feedback is not provided in the same location, which requires users perform additional cognitive processing to understand and apply the feedback. This discrepancy is misleading and can consequently result in

* Corresponding author

*نویسنده عهده‌دار مکاتبات

difficulties to adapt the changes in rehabilitation tasks. In addition, the occlusion problem is not well handled in existing feedback systems that results in misleading the users to assume that the obstacle is on the foot. To address this problem, we need to make an illusion of putting a foot on the obstacle. In this paper, we propose a visual feedback system based on video mapping to provide a better understanding of the relationship between body perception and movement kinematics. This system is based on Augmented Reality (AR) in which visual cues in the form of light are projected on the treadmill using video projectors. In this system, occlusion-based clipping is used to enhance the believability of the feedback. We argue that this system contributes to the correct execution of rehabilitation exercises by increasing patients' awareness of gait speed and step length. We designed and implemented two prototypes including the video projection with occlusion-based clipping (OC) and a prototype with no occlusion-based clipping (NOC). A set of experiments were performed to assess and compare the ability of unimpaired participants to detect real-time feedback and make modifications to gait using our feedback system. In particular, we asked 24 unimpaired participants to perform stepping and obstacle avoidance tasks. Since the focus of the paper is the quality of the feedback than the effect of feedback on training in long-term, unimpaired participants were recruited for this study. In the experiments, a motion capture device was used to measure the performance of participants. We demonstrated that our system is effective in terms of steps to adapt changes, obstacles to adapt changes, normalized accumulative deviation, quality of user experience, and intuitiveness of feedback. The results showed that projection-based AR feedback can successfully guide participants through a rehabilitation exercise. In particular, the results of this study showed statistically significant differences between the fault-rate of participants using OC and NOC prototypes in the stepping ($p=0.0031$) and obstacle avoidance (0.021) tasks. In addition, participants rated OC more intuitive than NOC in terms of the quality of feedback. Our feedback system showed a significant improvement in participants' ability to adapt the changes while walking on the treadmill.

Keywords: Video mapping, real-time feedback, motor learning, augmented reality

۱- مقدمه

توان بخشی فیزیکی و شناختی همواره یکی از مهم ترین روش های درمان بیماری های حرکتی با منشأ عصبی بوده است [1-4]. تعامل مناسب میان درمان گر و بیمار در قالب ارائه بازخورد حرکات انجام شده شرطی کلیدی در موفقیت تمرین های توان بخشی است. بازخوردی که می تواند به شکل دیداری (نمایش نحوه صحیح انجام حرکت)، صوتی (گفتن نحوه درست انجام حرکت)، لمسی (تصحیح فیزیکی حرکت در حین انجام آن حرکت) و یا ترکیبی از انواع بازخوردها باشد. فهم ارتباط میان حرکت انجام شده و دریافت مغز نسبت به نحوه انجام این حرکت از طریق بازخوردهای ارائه شده برای اثربخشی آن حرکت لازم و ضروری است [5, 6]. پژوهش های انجام شده در این زمینه حاکی از اثر مثبت بازخوردهای صحیح و مناسب حرکات توان بخشی در نرخ بهبود حرکتی بیماران است [7-9].

از بازخورد تصویری [11, 14] و بازخورد صوتی [12, 13] به صورت گسترده ای برای بهبود تعادل در ایستادن و راه رفتن استفاده شده است. در این روش، حرکات بدن بیمار بر روی حرکات آواتاری در صفحه نمایش نگاشته می شود. از ربات هایی با بازخورد لمسی و صوتی نیز برای بهبود حرکات بدن در راه رفتن استفاده شده [15, 16]. در این روش ربات های پوشیدنی روی بدن بیمار نصب می شوند که به ازای

حرکات صحیح یا اشتباه کاربر بازخورد لمسی (مانند لرزش) ایجاد می کنند. هدف تمامی این سامانه ها ارائه بازخوردی صحیح و مناسب از صحت و کیفیت حرکات انجام شده در جهت بهبود نحوه انجام حرکات های توان بخشی است. مشاهده هم زمان حرکت انجام شده و بازخورد نحوه انجام شدن آن حرکت می تواند بر غنای توان بخشی حرکت بیفزاید [17]. همچنین بررسی این پژوهش ها حاکی از آن است که بازخورد تصویری، کارایی بهتری نسبت به سایر انواع بازخورد در درک اطلاعات فضای حرکت دارد [18]. در [19] بازخورد تصویری از نمای روبه رو، پشتی و جانبی مورد بررسی قرار گرفته و کارایی نمای روبه رو نشان داده شده است. این روش درک بهتری را از نحوه انجام شدن حرکات در ذهن کاربر ایجاد می کند. پژوهش های انجام شده توسط [20] نشان داده است که تمرین تصویرسازی ذهنی و نوروفیدبک می تواند بر تعادل سالمندان مؤثر باشد.

در سامانه های مبتنی بر واقعیت افزوده، اطلاعات گرافیکی مجازی (مانند مدل گرافیکی، عکس و یا متن) بر روی صحنه واقعی نمایش داده می شوند. برای مثال، زمانی که با دوربین واقعیت افزوده به یک ساختمان نگاه می کنیم، اطلاعات تکمیلی در مورد آن ساختمان بر روی قسمت های مختلف تصویر واقعی نشان داده می شود. در روش واقعیت افزوده مبتنی بر نگاشت ویدیو، این اطلاعات مجازی از طریق پروژکتورهای نوری بر روی یک سطح به نحوی تابانده

می‌شود که احساس می‌شود این اشیاء به‌طور واقعی بر روی آن سطح قرار دارند. در سال‌های اخیر استفاده از این روش در سامانه‌های توان‌بخشی جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است. در [19] روشی ارائه شده است که در آن مسیر تجویز شده حرکت دست توسط درمان‌گر با استفاده از این روش بر روی صفحه‌نمایش در جلوی بیمار تابانده می‌شود؛ سپس، با حرکت دست مسیر واقعی حرکت دست در کنار مسیر تجویز شده نمایش داده شده و فرد از میزان صحت حرکت انجام‌شده اطلاع پیدا می‌کند. در [20] با استفاده از دستگاه ثبت حرکات بدن کلیه اجزای بدن به یک اسکلت مجازی که با استفاده از ویدیوپروژکتور در صفحه‌نمایش دیده می‌شود، نگاشته می‌شود. در سامانه AR-Rehab [21]، روشی مبتنی بر واقعیت افزوده ارائه شده است تا محیطی سرگرم‌کننده برای بیماران در حین فرایند توان‌بخشی فراهم کند. در این روش، اشیای قابل لمسی در اختیار بیماران قرار داده می‌شود که مدل‌های مجازی بر روی آن‌ها نشان داده شده و بدین‌ترتیب امکان تعامل با اشیای مجازی و اشیای واقعی به صورت هم‌زمان در توان‌بخشی فراهم می‌شود.

در روش دیگری تحت عنوان آینه مجازی، کاراکتر مجازی بدن شخص بر روی صفحه مقابل شخص همانند آینه‌ای نشان داده می‌شود [19]. با این تفاوت که میزان حرکت عضو تعیین‌شده متفاوت از میزان حرکت واقعی آن عضو است. این تغییر مقیاس می‌تواند به‌خاطر تشویق به اندازه حرکت بیشتر در بیماران با محدودیت‌های حرکتی (مبالغه در اندازه حرکت) و یا جلوگیری از انجام یک حرکت با یک الگوی خاص باشد. این تغییر مقیاس که از آن به‌عنوان تحریف بازخورد نیز نام برده می‌شود، امکاناتی در جهت کنترل جهت و شدت حرکات توان‌بخشی فراهم می‌کند.

ارائه بازخورد تصویری در سامانه‌های توان‌بخشی مبتنی بر واقعیت مجازی که در آن بازخورد تصویری جلوی بیمار در صفحه‌نمایش نمایش داده می‌شود، محدودیت‌هایی دارد که ممکن است، استفاده از این فناوری را در عمل با مشکل مواجه کند. مهم‌ترین مسأله در این میان وجود فاصله میان محل واقعی رخ‌دادن یک حرکت و محل نمایش بازخورد مربوط به آن است. برای مثال، در سامانه‌های واقعیت مجازی (مانند محصول ارائه‌شده به‌وسیله شرکت زبریس^۱) محل وقوع حرکت بر روی تردمیل و محل نمایش بازخورد حرکتی بر روی صفحه‌نمایش روبه‌روی تردمیل است. در این سامانه حرکات بیمار به یک کاراکتر مجازی در

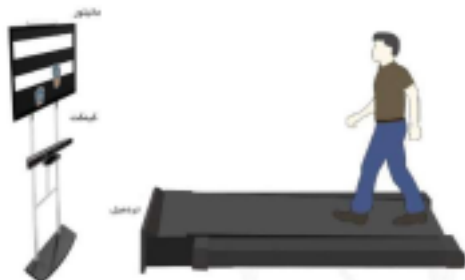
صفحه‌نمایش نگاشت می‌شود، به‌نحوی که هر حرکت کاربر منجر به حرکت عضو متناظر آن کاراکتر می‌شود. وجود این فاصله میان محل وقوع حرکت و محل نمایش بازخورد آن حرکت می‌تواند باعث ایجاد مشکلاتی در درک بازخورد و به‌کارگیری لحظه‌ای آن بازخورد شود.

برای حل مشکل فاصله میان محل واقعی رخ‌دادن حرکت و نمایش بازخورد مربوط به آن در [22] روشی مبتنی بر واقعیت افزوده از نوع نگاشت ویدیو ارائه شده است. نگاشت ویدیو در زمره روش‌های پیاده‌سازی واقعیت افزوده قرار می‌گیرد که در آن نیازی به سربندهای واقعیت افزوده یا تلفن‌های هوشمند برای مشاهده اطلاعات نیست. در این روش، بازخورد حرکت انجام‌شده توسط کاربر بر روی سطح تردمیل و از طریق پروژکتورهای نوری نمایش داده می‌شود. در این حالت، سطح تردمیل به صفحه‌نمایشی برای به تصویر کشیدن بازخورد حرکات تبدیل می‌شود (شکل‌های ۱ و ۲). این در حالی است که در سامانه مبتنی بر واقعیت مجازی، حرکات پاهای کاربر بر روی صفحه‌نمایش و با استفاده از مدل پای مجازی نمایش داده می‌شود (شکل‌های ۳ و ۴).

در NeuroR که سامانه‌ای برای توان‌بخشی بیماران سکته قلبی است، از فناوری واقعیت افزوده استفاده شده است [23]. در این سامانه، یک دست مجازی جایگزین دست معلول می‌شود که بر روی تصویر فردی که جلوی نمایش‌گر است، نمایش داده می‌شود. هدف این سامانه اجرای ذهنی حرکات توسط بیمار بدون درگیر کردن واقعی حرکت است.

پژوهش‌های قبلی انجام‌شده در این زمینه حاکی از موفقیت استفاده از روش نگاشت ویدیو در پیاده‌سازی دستگاه‌های توان‌بخشی حرکتی است [22]؛ با این حال، مشکل مهم روش‌های قبلی عدم توجه به موانع موجود در فاصله میان منبع نور و سطح تردمیل است؛ برای مثال، هنگامی که مانعی مجازی بر روی سطح تردمیل نمایش داده شده و پای فرد بر روی مانع قرار می‌گیرد، تصویر مجازی مانع بر روی پای فرد نمایش داده می‌شود. این مسأله باعث ایجاد حس قرارگرفتن مانع بر روی پا می‌شود؛ درحالی‌که هدف ایجاد توهم قرارگرفتن پای فرد بر روی مانع است. در این مقاله، راه‌کاری برای حل این مشکل مهم با استفاده از انسداد تصویر در جهت ارائه یک سامانه بازخورد مؤثر و بی‌درنگ ارائه شده است. با توجه به اینکه هدف این مقاله بررسی کیفیت بازخورد ارائه‌شده به‌وسیله بازخورد حرکتی واقعیت افزوده مبتنی بر نگاشت ویدیو و نه تأثیر آن در درمان

^۱ <https://www.zebris.de/medizin/produkte-loesungen/>



(شکل-۴): ارائه بازخورد در روش واقعیت مجازی از طریق نمایش بازخوردهای حرکتی بر روی صفحه نمایش گر جلوی بیمار در تمرین عبور از موانع

(Figure-4): Presenting feedback on the treadmill in form of monitor presentation for obstacle avoidance task

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معماری سامانه آرایه شده

سامانه‌ای که در این مقاله برای نمایش بازخورد حرکتی با استفاده از نگاشت ویدئو طراحی شده است، از دستگاه ثبت حرکات بدن برای ره‌گیری پاهای کاربر و محل قرارگرفتن آن بر روی زمین استفاده می‌کند. با توجه به اینکه هدف، استفاده خانگی از این دستگاه توان‌بخشی است، از دستگاه کینکت^۱ (نسخه یک) که باوجود قیمت به‌نسبه پایین (حدود دویست دلار آمریکا) قابلیت‌های خوبی دارد، استفاده شده است. این دستگاه مجهز به دوربین تشخیص عمق است که امکان اندازه‌گیری فاصله اجسام از دوربین و به‌تبع آن امکان ره‌گیری حرکات را فراهم می‌کند. با توجه به اینکه سامانه ساخته‌شده در محیط موتور بازی یونیتی^۲ طراحی و پیاده‌سازی شده، از ماژول مربوط به استفاده از کینکت^۳ در این محیط استفاده شده است. سیگنال‌های دریافتی از این دستگاه ثبت حرکات برای تشخیص موقعیت اعضای بدن و به‌تبع آن تعیین حرکت انجام‌شده توسط کاربر استفاده شده است.

بخش دوم سامانه ارائه‌شده قسمت نمایش اطلاعات است که مبتنی بر نگاشت ویدئو است. در این روش، صفحه ترمیم به‌منزله صفحه‌نمایشی است که در آن اطلاعات مربوط به مکان قدم‌گذاشتن و نیز بازخورد حرکات از طریق پروژکتور ویدیویی بر روی آن صفحه‌نمایش داده می‌شود (شکل ۱ و شکل ۲).

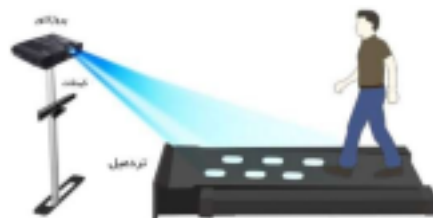
¹ Microsoft Kinect

² Unity

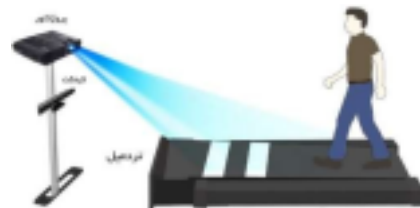
³ Kinect wrapper Unity Package version 1.7

طولانی‌مدت بیماران حرکتی است، از شرکت‌کنندگان بدون مشکل حرکتی برای ارزیابی این مطالعه استفاده شده است. بدین منظور، کارایی شرکت‌کنندگان از لحاظ میزان وفق‌دادن بدن با حرکات تجویز شده در روش آرایه‌شده مبتنی بر نگاشت ویدئو با انسداد تصویر بررسی شده و با سامانه بازخورد بدون انسداد تصویر [22] مقایسه شده است. یافته‌های این مقاله را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

- طراحی و پیاده‌سازی سامانه بازخورد حرکتی با استفاده از واقعیت افزوده مبتنی بر نگاشت ویدئو؛
- ارائه راه‌کاری برای نمایش باورپذیر بازخورد حرکتی در تمرین‌های توان‌بخشی با استفاده از انسداد تصویر؛
- اجرای مطالعه کاربری برای ارزیابی روش آرایه‌شده و مقایسه آن با سامانه بازخورد بدون انسداد تصویر

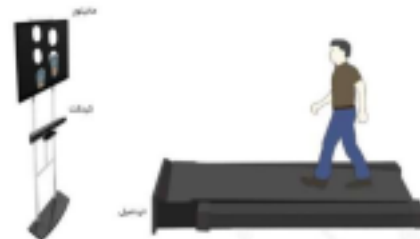


(شکل-۱): ارائه بازخورد در روش نگاشت ویدئو از طریق نمایش بازخوردهای حرکتی بر روی سطح ترمیم در تمرین قدم‌زدن
(Figure-1): Presenting feedback on the treadmill in form of video mapping for the stepping task



(شکل-۲): ارائه بازخورد در روش نگاشت ویدئو از طریق نمایش بازخوردهای حرکتی بر روی سطح ترمیم در تمرین عبور از موانع مجازی

(Figure-2): Presenting feedback on the treadmill in form of video mapping for the obstacle avoidance task



(شکل-۳): ارائه بازخورد در روش واقعیت مجازی از طریق نمایش بازخوردهای حرکتی بر روی صفحه نمایش گر جلوی بیمار در تمرین قدم‌زدن

(Figure-3): Presenting feedback on the treadmill in form of monitor presentation for the stepping task

هنگام قدم برداشتن درواقع بازخوردی از میزان انحراف حرکت واقعی از حرکت تجویز شده به وسیله سامانه است. نمایش جای پاها بر روی سطح ترمیم است.

در تمرین عبور از موانع، از کاربر خواسته می شود تا از برخورد با موانع مجازی دوری کند. این موانع با اندازه های مختلف و در طول فواصل زمانی متفاوت بر روی ترمیم ظاهر شده و کاربر می بایست با تنظیم سرعت حرکت و اندازه گام های خود از برخورد با این موانع مجازی جلوگیری کند. از لحاظ شناختی، توجه مغز به بازخورد دریافتی از سامانه توان بخشی برای تصحیح حرکات انجام شده گامی مهم در بازیابی توانایی حرکتی بیماران است.

۳-۲- پروتکل ثبت

آنچه در نمایش بازخورد حرکتی مهم است، در نظر گرفتن میزان انحراف از حرکت واقعی در کنار جهت انحراف است. بدین منظور روشی برای نمایش انحراف در هر دو تمرین قدم زدن و همچنین عبور از موانع ارائه شده است. در تمرین قدم زدن، خطوط قرمز رنگ نمایش دهنده انحراف از محل قدم گذاری تعیین شده است؛ به نحوی که محل نمایش خطوط نشان دهنده جهت انحراف (برای مثال در شکل ۶-الف انحراف به سمت پایین و راست است) و ضخامت خطوط و همچنین تعداد آنها بیان گر میزان انحراف است (شکل ۶-ب). از سویی دیگر، در تمرین عبور از موانع سطح مانع به دو قسمت تقسیم می شود. به این صورت که قسمتی از پا که با مانع هم پوشانی دارد، به رنگ قرمز در آمده و بقیه آن به صورت سبز رنگ نمایش داده می شود. هرچه قسمت قرمز رنگ بیشتر شود، نشان از میزان انحراف بیشتر و هم پوشانی بیشتر محل قرار گرفتن پا با مانع مجازی است (شکل ۷).

اعتقاد ما بر این است که این روش نمایش بازخورد با جزئیات مربوط به جهت انحراف و میزان انحراف اطلاعات خوبی برای بهبود حرکت بیمار به صورت بی درنگ فراهم می کند که می تواند برای تصحیح حرکات بعدی و در نتیجه افزایش کارایی توان بخشی مفید باشد.

با توجه به این که ثبت حرکات ممکن است با خطاهایی همراه باشد (که به طور معمول ناشی از شرایط محیط مانند نور محل است)، در سامانه محاسبه بازخورد تا حدی در محاسبه اختلاف میان حرکت تعیین شده و حرکت انجام شده چشم پوشی شده است.

فرآیندهای کلی انجام شده در سامانه بازخورد مبتنی بر نگاشت ویدیو در شکل (۵) نمایش داده شده است. در قسمت پیکربندی سامانه، ویژگی های حرکات تجویز شده توسط درمان گر برای سامانه معرفی می شود. این اطلاعات از طریق رابط کاربری وارد سامانه می شود. در تمرین قدم زدن، اطلاعاتی از قبیل میانگین اندازه قدم، اندازه پا، متوسط سرعت و فاصله میان پای چپ و راست از جمله اطلاعاتی است که برای سامانه تعریف می شود. این اطلاعات بر اساس ویژگی های فردی بیمار و همچنین شرایط بیماری و مهارت های حرکتی بیمار تنظیم می شوند. در قسمت مربوط به پردازش حرکت، کلیه محاسبات لازم برای نحوه ارائه بازخورد بر اساس اختلاف میان حرکت تجویز شده و حرکت واقعی انجام شده انجام می شود؛ در نهایت در قسمت مربوط به نمایش اطلاعات، بازخورد ایجاد شده در قالب نگاشت ویدیو به نمایش گذاشته می شود. در این میان، قسمت تنظیم سختی، میزان دشواری حرکات را با استفاده از روش یاقوت [23] تعیین می کند که خارج از بحث این مقاله است.



(شکل ۵): فرآیندهای کلی نمایش بازخورد در سامانه ارائه شده (Figure-5): The overall process in feedback presentation

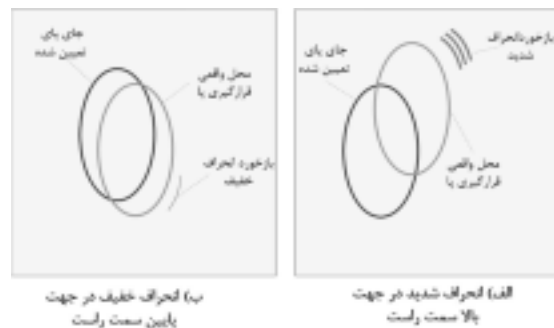
۲-۲- تمرین های حرکتی و بازخورد حرکات

دو نوع تمرین قدم زدن عادی و عبور از موانع که از تمرین های رایج در توان بخشی حرکتی هستند [18] برای بررسی کیفیت سامانه بازخورد پیاده سازی و مورد ارزیابی قرار گرفته اند. در تمرین قدم زدن عادی، محل قرارگیری پاها به عنوان راهنما نمایش داده شده و از کاربران خواسته می شود تا پاهای خود را به طور دقیق بر روی مکان های مشخص شده قرار دهند. این محل های مشخص شده بر اساس حرکت تجویز شده به صورت خودکار ایجاد می شود. از کاربران خواسته می شود تا در هنگام راه رفتن پای خود را بر روی جای پاهای مشخص شده قرار دهند. نمایش هم زمان محل تعیین شده برای قرار گرفتن پا و محل واقعی قرارگیری پا در

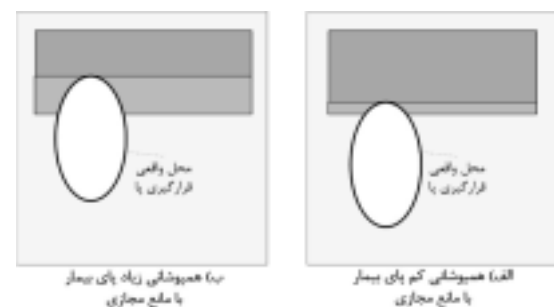
سامانه‌های توان‌بخشی می‌تواند منجر به ایجاد سیگنال‌های نادرست در قالب بازخورد و به تبع آن راهنمایی نادرست بیمار در حین انجام حرکات توان‌بخشی شود.

در حالت نگاشت ویدیوی بدون انسداد تصویر، فارغ از اینکه پای فرد بر روی جا پای مشخص‌شده (در تمرین قدم‌زدن) و یا مانع (در تمرین عبور از موانع) قرار دارد یا نه، نور مربوط به جای پا و یا مانع مجازی بر روی پای فرد که بر روی تردمیل قرار دارد، تابانده می‌شود. این مسأله می‌تواند این توهم را ایجاد کند که جای پا و یا مانع مجازی بر روی پا قرار دارند؛ این درحالی است که هدف ما ایجاد توهم قرارگرفتن پا بر روی مانع و یا جای پا است. برای حل این مسأله، روشی در این مقاله ارائه شده است که بر اساس آن قسمتی از پا که با مانع و یا جای پا هم‌پوشانی دارد بریده شده و بر روی صفحه تردمیل نمایش داده نمی‌شود. به عقیده ما این روش حس بهتری از قرارگرفتن پا بر روی جای پا و یا مانع مجازی ایجاد می‌کند. روش ارائه‌شده بر اساس انسداد تصویر برای تمرین‌های قدم‌گذاری و عبور از موانع در شکل‌های (۸ و ۹) نمایش داده شده است.

بریده‌شدن تصویر بر اثر انسداد جای پا توسط پا نیازمند محاسبه هم‌پوشانی میان محل واقعی قرارگرفتن پا بر روی تردمیل و محل نمایش جای پا است. با توجه به اینکه نمایش جای پا در محیط دوبعدی صورت می‌گیرد، محاسبه این هم‌پوشانی می‌تواند به صورت مسأله هم‌پوشانی دو بیضی مطرح شود که در آن بیضی نخست مربوط به محل نمایش جای پا و بیضی دوم مربوط به نمایش محل واقعی قرارگیری پا بر روی تردمیل است. در این مقاله، برای حل این مسأله از روش ارائه‌شده در [27] که ساده‌شده روش تجمیع مونت‌کارلو (روشی کلاسیک برای محاسبه هم‌پوشانی دو بیضی) است، استفاده شده است [28]. در این روش، هم‌پوشانی میان دو بیضی از طریق شکستن بیضی به بخش‌های کوچک‌تر و محاسبه هم‌پوشانی بین این بخش‌ها انجام می‌شود. از منظر پیاده‌سازی، به جای استفاده از معادلات پیچیده برای محاسبه شکل نهایی جای پا، پس از در نظر گرفتن انسداد توسط پا، جای پای با رنگ سیاه و همان اندازه با در نظر گرفتن انحراف از مکان در نظر گرفته شده پا بر روی تردمیل به تصویر کشیده می‌شود. در این حالت، جای پا به صورت بریده مشاهده می‌شود. نسخه اولیه این سامانه در قیل توسط مؤلفان این مقاله در [28] ارایه شده است. این مقاله نسخه بهبودیافته کار قبلی است که آزمایش‌های تکمیلی دیگری روی آن انجام شده است.



(شکل-۶): نحوه نمایش بازخورد در تمرین قدم زدن
(Figure-6): Presenting stepping task feedback



(شکل-۷): نحوه نمایش بازخورد در تمرین عبور از موانع مجازی
(Figure-7): Presenting obstacle avoidance feedback

۴-۲- نمایش باورپذیر بازخورد با استفاده از انسداد تصویر

یکی از معیارهای ارزیابی سامانه‌های واقعیت افزوده که به باورپذیرترکردن اطلاعات نمایش داده‌شده کمک می‌کند، پیاده‌سازی صحیح تعامل میان اشیای مجازی و محیط واقعی است [26]. در این میان، ارائه تصویری واقع‌گرایانه امری ضروری است که منجر به ایجاد توهم حضور اشیای مجازی در دنیای واقعی می‌شود. یک سامانه واقعیت افزوده از لحاظ بصری، زمانی موفق است که بتواند این توهم را در بینندگان به نحو احسن ایجاد کند.

یکی از روش‌هایی که برای پیاده‌سازی صحیح تعامل میان اشیای مجازی و محیط واقعی استفاده می‌شود، استفاده از مسأله انسداد است. برای مثال، عدم نمایش قسمتی از یک شیء مجازی که در پشت یک شیء واقعی قرار دارد، می‌تواند ایجادکننده این توهم باشد که آن شیء مجازی به طور واقعی دورتر از آن شیء واقعی در محیط قرار گرفته است. گرچه این روش در واقعیت افزوده مبتنی تلفن‌های هوشمند و همچنین سربندهای واقعیت افزوده مورد استفاده قرار گرفته است، بنابر پژوهش‌های ما این مسأله در نگاشت ویدیو مورد توجه قرار نگرفته است. عدم توجه به این نکته در

دودویی، نرخ برخورد ($HitRate$) با موانع معیاری برای میزان انحراف است که به صورت زیر تعریف می شود (n تعداد موانع نمایش داده شده است):

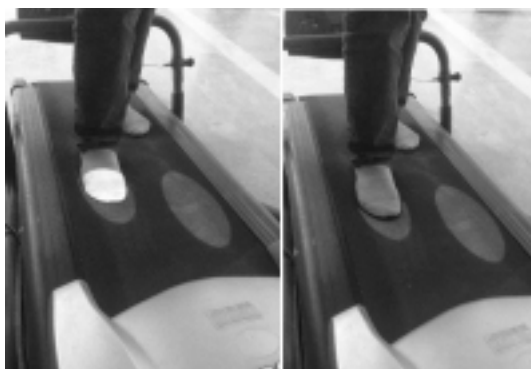
$$HitRate = \sum_n (ObstacleOverlap) / n \quad (3)$$

در محاسبه عددی، مقدار انحراف در تمرین عبور از موانع متوسط طول هم پوشانی با موانع به صورت زیر محاسبه شده است که در آن n تعداد موانع نمایش داده شده است.

$$Avg_Dev = \sum (overlapLength / ObstacleSize) / n \quad (4)$$

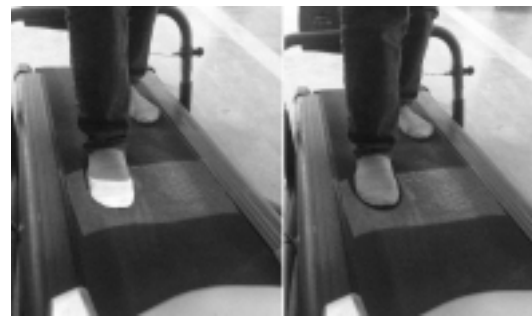
۲-۶- تنظیم اعوجاج تصویر در نگاشت ویدیو

با توجه به اینکه در روش نگاشت ویدیو سطح تردمیل به عنوان صفحه نمایش استفاده می شود، بهترین مکان برای قراردادن ویدیوپروژکتور برای جلوگیری از اعوجاج تصویر بالای سر بیمار و بر روی تردمیل به صورت عمودی است. از سویی دیگر، در این حالت بدن فردی که بر روی تردمیل حرکت می کند، می تواند مانع نمایش تصاویر بر روی سطح تردمیل شود؛ از این رو، در پروژه ما ویدیوپروژکتور روبه روی فرد و بالای دستگاه کینکت قرار داده شده است. در این حالت، با توجه به اینکه تصویر به صورت عمودی بر روی سطح تردمیل تابانده نمی شود، قسمت هایی که در فاصله دورتری از منبع نور ویدیوپروژکتور قرار دارند، به صورت کشیده تر نمایش داده می شوند. برای حل این مسأله، در این مقاله از روش ارائه شده در [14] استفاده شده که در آن از معادله انتقال نگاشت استفاده شده است (جزئیات در [14] قابل مشاهده است).



(شکل ۹): تعامل میان پا و مانع مجازی در حالت بدون انسداد (شکل سمت چپ) و با در نظر گرفتن انسداد تصویر (شکل سمت راست) در تمرین قدم زدن

(Figure-9): The interaction between foot and virtual obstacle with (right picture) and without (left picture) in the stepping task.



(شکل ۸): تعامل میان پا و مانع مجازی در حالت بدون انسداد (شکل سمت چپ) و با در نظر گرفتن انسداد تصویر (شکل سمت راست) در تمرین عبور از موانع

(Figure-8): The interaction between foot and virtual obstacle with (right picture) and without (left picture) in the obstacle avoidance task

۲-۵- روش تحلیل داده ها

ارائه بازخورد صحیح به کاربر در حین انجام حرکات توان بخشی نیازمند محاسبه درست مقدار انحراف پای کاربر از حرکت صحیح تعریف شده برای آن کاربر است. در این مقاله از مقدار انحراف به عنوان شاخصی برای ارزیابی کارایی کاربر در انجام صحیح حرکات توان بخشی استفاده شده است. دو روش برای اندازه گیری میزان انحراف در تمرین قدم زدن مورد توجه قرار گرفته است. در حالت دودویی فقط درست یا غلط بودن حرکت و در حالت عددی، مقدار انحراف مورد توجه بوده است. در حالت دودویی تعداد قدم هایی که به صورت صحیح انجام نشده، به عنوان نرخ خطا ($FaultRate$) به صورت زیر محاسبه می شود:

$$FaultRate = \sum_n ((wrong) / (wrong + right)) \quad (1)$$

در محاسبه عددی مقدار انحراف، برای ساده تر شدن محاسبات در تمرین قدم زدن فرض شده که محل قرارگیری پا با یک بیضی فرضی محاط شده است؛ در این حالت، مقدار انحراف میان بیضی فرضی محل واقعی پا و بیضی جای پای نمایش داده شده فاصله اقلیدسی مرکز این دو بیضی است که انحراف در محور X و محور Y را به صورت هم زمان در نظر می گیرد. میانگین انحراف در n قدم به صورت زیر محاسبه می شود:

$$Avg_Dev = \sum_n (\sqrt{(x_n - x_0)^2 + (y_n - y_0)^2}) / n \quad (2)$$

بایستی توجه داشت که میزان انحراف برای پای چپ و راست به صورت مجزا محاسبه می شود. در تمرین عبور از موانع نیز میزان انحراف از حرکات تعریف شده به صورت دودویی و همچنین عددی محاسبه می شود. در حالت

۷-۲- مشخصات فنی

نمونه اولیه سامانه بازخوردهای حرکتی با استفاده از نگاشت ویدیو در محیط Unity 5.3.4 پیاده‌سازی شده و از Kinect Developer Toolkit 1.8.0 و KinectSDK v.1.8.0 برای اتصال بازی به دستگاه کینکت استفاده شده است. کلیه اسکریپت‌های مربوط به تنظیم درجه سختی بازی و همچنین کنترل کاراکتر بازی با زبان C# پیاده‌سازی شده که از تارنمای آزمایشگاه واقعیت افزوده www.carlab.ir دانشگاه هنر اسلامی تبریز قابل دریافت است. از پروژکتور نوری Hitachi ۹۲۰*۱۰۸۰ برای نمایش تصویر بر روی صفحه ترمیم استفاده شده است. محل قرارگیری پروژکتور نوری در روش نگاشت ویدیو در شکل (۱) نمایش داده شده است. دستگاه ثبت حرکات جلوی کاربر قرار داده می‌شود.

۳- ارزیابی

دو مجموعه آزمایش برای بررسی سامانه‌های ارائه‌شده و همچنین مقایسه آن‌ها ارائه شده است. مجموعه نخست شامل بررسی دقت سامانه در دریافت حرکت کاربر و مطابقت آن با الگوی از پیش تعیین شده است. سامانه ارائه‌شده در سامانه ارائه‌شده، یک رابط کاربری برای تعیین ویژگی‌های حرکت صحیح فراهم شده است. با استفاده از این رابط کاربری، متخصص توانبخشی فاصله بین قدم‌ها، سرعت نمایش جاباها و اندازه جاباها را مشخص می‌کند. در صورت استفاده از سامانه خودکار تنظیم دشواری بازی، فاصله بین قدم‌ها و سرعت نمایش جاباها به صورت هوشمندانه به روز می‌شود تا سطح دشواری تمرینات نسبت به مهارت کاربر تنظیم شود؛ در غیر این صورت، تنظیمات دستی که توسط درمان‌گر یا کاربر تعیین شده است، اعمال می‌شود. با توجه به این‌که سامانه ارائه‌شده در این مقاله از سامانه ثبت حرکات کینکت استفاده می‌کند که شرایط نور محیطی در دقت آن تأثیرگذار است، از این رو لازم است تا شاخصی از میزان خطاهای این سامانه استخراج شده و در هنگام مطابقت با الگوی حرکتی موردتوجه قرار گیرد.

هدف مجموعه دوم از آزمایش‌ها بررسی و مقایسه سامانه نگاشت ویدیو مجهز به ماژول انسداد تصویر (OC) با سامانه بدون انسداد تصویر (NOC) [22] از نقطه نظر کیفیت بازخورد ارائه شده است. بدین منظور، کارایی شرکت‌کنندگان از لحاظ میزان وفق‌دادن بدن با حرکات تجویز شده با استفاده از نگاشت ویدیوی مبتنی بر انسداد تصویر بررسی شده و با

سامانه بدون انسداد تصویر مقایسه شده است. مبنا و معیار وفق‌دادن حرکات بدن با حرکات تجویز شده، میزان کارایی کاربر در حین تغییر حرکات تجویز شده است. این معیار بر اساس حرکات صحیح و اشتباه کاربر در حین تغییر سرعت نمایش جاباها و تغییر اندازه قدم‌های تجویز شده تعیین می‌شود که در ادامه و در بخش طراحی آزمایش‌ها و پروتکل اجرا شرح داده شده است.

۱-۳- شرکت‌کنندگان در پژوهش

با توجه به این‌که هدف از این سلسله‌آزمایش‌ها تنها بررسی کارایی بازخورد ارائه‌شده و نه بررسی اثر آن بر روی توان بخشی است، از ۲۴ نفر از شرکت‌کنندگان بدون مشکل حرکتی برای این مطالعه استفاده شده است. کلیه شرکت‌کنندگان در پژوهش از دانشجویان دانشگاه هنر اسلامی تبریز با میانگین سنی ۲۱/۵ سال انتخاب شدند که پانزده نفر از آن‌ها آقا و نه نفر بقیه خانم بودند. این شرکت‌کنندگان از طریق نصب اطلاعیه در دانشگاه برای انجام آزمایش به صورت داوطلبانه انتخاب شدند.

۲-۳- طراحی آزمایش‌ها و پروتکل اجرا

برای جلوگیری از اثر یادگیری و بررسی سامانه‌ها به صورت مستقل از روش بین گروهی برای تقسیم‌بندی شرکت‌کنندگان استفاده شده است. به این صورت که دوازده نفر از شرکت‌کنندگان از سامانه نگاشت ویدیو با انسداد تصویر (OC) و دوازده نفر بقیه از سامانه بدون انسداد تصویر (NOC) برای انجام کار مشخص تعیین شده استفاده کردند. کارهای خواسته‌شده از دو گروه به‌طور کامل مشابه هم بوده (از لحاظ سرعت حرکت، اندازه مانع و سایر پارامترها) و تنها تفاوت در نوع نمایش بازخورد به کاربر بوده است. در این آزمایش‌ها نوع سامانه به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شده که شامل بازخورد مبتنی بر نگاشت ویدیو با انسداد تصویر (OC) و نگاشت ویدیو بدون انسداد تصویر (NOC) است. نرخ برخورد و نرخ خطا نیز به عنوان متغیرهای وابسته اندازه‌گیری شده‌اند.

با توجه به اینکه هدف بررسی توانایی کاربران در میزان وفق‌دادن بدن با تغییر در حرکات تجویز شده با استفاده از بازخوردهای نمایشی مختلف است، تغییر در سرعت نمایش جای پاها و موانع و همچنین تغییر در اندازه طول قدم به عنوان پارامترهای قابل تغییر در تمرین قدم‌زدن

۳-۳- نتایج

در تمرین قدم‌زدن، آزمایش‌ها برای حالت‌هایی از که در آن اندازه قدم ثابت است (FSS)^۱ و نیز سرعت تردمیل ثابت است (FV)^۲ انجام شد. در تمرین عبور از موانع نیز حالت‌هایی که در آن سرعت ثابت بوده (FV) و نیز حالتی که اندازه مانع ثابت است (FOS)^۳ به‌صورت جداگانه مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند.

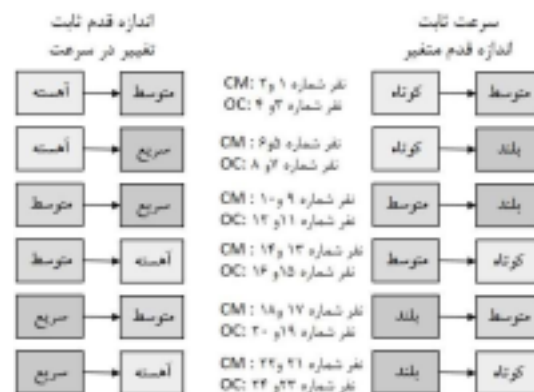
۳-۳-۱- دقت سامانه ارائه‌شده

آگاهی از دقت سامانه ارائه‌شده در ثبت حرکات و همچنین مطابقت با الگوی حرکتی تعیین‌شده قبل از بررسی کارایی بازخورد ارائه‌شده در هر یک از روش‌های نمایش بازخورد ضروری است. به‌منظور ارزیابی دقت سامانه ارائه‌شده در این مقاله، مکان‌های ثابتی با استفاده از نور تابانده‌شده بر روی تردمیل مشخص شده و از کاربران خواسته شد تا با دقت کافی بدون محدودیت زمان پای خود را به‌طور دقیق بر روی مکان مشخص‌شده قرار دهند. اختلاف میان جلوترین نقطه پای تشخیص داده‌شده به‌وسیله دستگاه ثبت حرکت (p₀) و جلوترین نقطه واقعی یا نسبت به کینکت (p₁) به‌عنوان معیار اندازه‌گیری دقت در نظر گرفته شده و مقدار $|p_0 - p_1|/w$ به‌عنوان خطای سامانه اندازه‌گیری شد. به‌طور کلی میانگین خطای ۶/۸۹ درصد در سامانه مشاهده شد که مربوط به دقت و تنظیمات سامانه ثبت حرکات، شرایط نور محیط و سایر عواملی است که به‌صورت کلی اندازه‌گیری شده است. گرچه محیط آزمایش از وجود نورهای اضافی و همچنین اشیایی که ممکن است باعث انعکاس اضافی شوند، زوده شده بود، این خطا با توجه به ابزار استفاده‌شده برای ثبت حرکات (کینکت) که کم‌هزینه بوده و استفاده خانگی دارد، غیرقابل‌اجتناب بوده است. با این حال، استفاده از دستگاه‌های ثبت حرکات پیشرفته‌تر (مانند vicon) می‌تواند این میزان خطا را تا حد زیادی (البته با صرف هزینه بسیار بالاتری نسبت به دستگاه کینکت) کاهش دهد.

همان‌طور که در هیستوگرام موجود در شکل (۱۱) نمایش داده شده است، توزیع به‌نسبه نرمالی در خطاها وجود داشته و از این‌رو امکان انتقال مکان به مقدار ثابت به جلو و یا عقب وجود ندارد. پس از به‌دست‌آوردن این نتایج و به‌منظور کم‌کردن اثر این خطا، حرکاتی با تلورانس بیشینه

استفاده شده است؛ همچنین، تغییر در سرعت نمایش موانع مجازی و تغییر فاصله بین موانع به‌عنوان پارامترهای تمرین عبور از موانع موردتوجه قرار گرفته‌اند. از لحاظ سرعت، سه حالت سریع، متوسط و آهسته و از لحاظ فاصله سه فاصله کوتاه، متوسط و بلند موردتوجه قرار گرفتند. برای جلوگیری از پیچیده‌شدن تعداد حالت‌ها و ترکیب همه آن‌ها، تغییر در سرعت و فاصله به‌صورت مستقل موردبررسی قرار گرفتند. با توجه به وجود دوازده نفر در هر گروه، ترکیب هر یک از حالت‌ها توسط دو نفر به‌صورتی که در شکل (۱۰) نمایش داده شده صورت گرفت. برای تمرین قدم‌زدن، در حالت FSS پارامتر سرعت و در حالت FV، پارامتر اندازه قدم به‌عنوان متغیر موردبررسی قرار گرفتند. از سویی دیگر، برای تمرین عبور از موانع مجازی در حالت FOS، پارامتر سرعت و در حالت FV، پارامتر اندازه مانع به‌عنوان متغیر موردبررسی قرار گرفتند.

از هر فرد خواسته شد تا هر دو کار تعریف‌شده برای تمرین قدم‌زدن و عبور از موانع مجازی را انجام دهد. همچنین از شرکت‌کنندگان خواسته شد تا تمرینات خواسته‌شده را برای سه بار انجام داده و میانگین نتایج آن‌ها در این سه دور موردبررسی قرار گرفت. شرکت‌کنندگان این امکان را داشتند که قبل از شروع تمرین‌ها به مدت دو دقیقه به‌صورت آزاد با سامانه تمرین کنند تا در درک کارهای خواسته‌شده در طول آزمایش ابهامی نداشته باشند. کلیه آزمایش‌ها در محل دانشکده چندرسانه‌ای واقع در دانشگاه هنر اسلامی تبریز انجام شده است؛ همچنین بایستی توجه داشت که به‌منظور ثابت نگاه‌داشتن پارامترهای حرکتی، ماژول تنظیم خودکار سختی در بررسی کارایی سامانه غیرفعال شده است.



(شکل-۱۰): نحوه چینش ۲۴ شرکت‌کننده در پژوهش

در دو حالت FV و FSS

(Figure-10): Setting 24 participants in the fixed velocity (FV) and fixed step size (FSS) modes

¹ Fixed Step Size

² Fixed Velocity

³ Fixed Obstacle Size

قدم‌های کوتاه به اندازه قدم‌های بلند مشاهده شده است (جدول ۲).

(جدول ۱): مقایسه بازخورد مبتنی بر انسداد تصویر (OC) و بدون انسداد تصویر (NOC) در حالت FSS در تمرین قدم‌زدن با استفاده از تحلیل واریانس

(S:Slow, M: Medium, F:Fast)

(Table-1): Comparison between the feedback based on occlusion (OC) and with no occlusion (NOC) in the constant step size (FSS) mode in the stepping task using ANOVA test (S: Slow, M: Medium, F: Fast).

مقایسه نمونه‌ها	نتایج تحلیل واریانس
S → F: NOC (M=50.12) vs. OC(M=32.16)	$p = 0.0004^*$
S → M: NOC (M=41.26) vs. OC(M=33.24)	$p = 0.0284^*$
M → S: NOC (M=43.25) vs. OC(M=33.14)	$p = 0.2433$
M → F: NOC (M=45.21) vs. OC(M=31.27)	$p = 0.0021^*$
F → S: NOC (M=36.24) vs. OC(M=35.12)	$p = 0.1782$
F → M: NOC (M=35.26) vs. OC(M=33.78)	$p = 0.2533$

(جدول ۲): مقایسه بازخورد مبتنی بر انسداد تصویر (OC) و بدون انسداد تصویر (NOC) در حالت FV در تمرین قدم‌زدن با استفاده از تحلیل واریانس

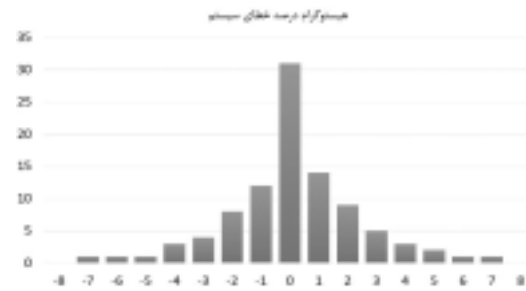
(S:Short, M: Medium, L:Long)

(Table-2): Comparison between the feedback based on occlusion (OC) and without occlusion (NOC) in the fixed velocity mode (FV) in the stepping task using ANOVA test (S: Slow, M: Medium, F: Fast).

مقایسه نمونه‌ها	نتایج تحلیل واریانس
S → L: NOC (M=43.21) vs. OC(M=33.11)	$p = 0.0041^*$
S → M: NOC (M=40.21) vs. OC(M=31.54)	$p = 0.0124^*$
M → S: NOC (M=45.33) vs. OC(M=39.25)	$p = 0.0325^*$
M → L: NOC (M=45.14) vs. OC(M=31.24)	$p = 0.0011^*$
L → S: NOC (M=37.84) vs. OC(M=36.54)	$p = 0.1133$
L → M: NOC (M=42.41) vs. OC(M=38.76)	$p = 0.0001$

نتایج حاصل از آزمون تی بر روی داده‌های تجمعی با در نظر گرفتن توأمان سرعت ثابت و اندازه قدم ثابت حاکی از آن است که اختلاف معنادار آماری میان نرخ خطای سامانه نگاشت ویدیوی مبتنی بر انسداد تصویر (میانگین ۳۴/۷۶ و انحراف معیار ۴/۰۸) و سامانه بدون انسداد تصویر (میانگین ۴۵/۵۴ و انحراف معیار ۳/۱۲) وجود دارد ($p=0.0031$).

۸٪ خطا در مکان قرار گرفتن پا نسبت به نقطه تعیین شده در الگوی حرکتی همچنان به عنوان حرکات صحیح در نظر گرفته شده‌اند. با جایگزینی دستگاه کینکت با نمونه‌های پیشرفته‌تر ثبت حرکات، این میزان خطا می‌تواند به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد.



(شکل ۱۱): هیستوگرام خطاهای رخ داده در سامانه ثبت حرکات (Figure-11): The histogram of faults in the motion capture system

۳-۳-۲- کارایی بازخورد در تمرین قدم‌زدن

معیار نرخ خطا (FaultRate) به عنوان معیاری برای ارزیابی کارایی هریک از سامانه‌های نمایش بازخورد مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به این که اعتبار نتایج بسیاری از آزمون‌های آماری وابسته به برقراری شرط توزیع نرمال مشاهدات است، قبل از بررسی و مقایسه نتایج از لحاظ آماری، ابتدا نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. از سویی دیگر، به توجه به تعداد کم نمونه‌ها (دوازده نفر برای هر گروه) بررسی نرمال بودن توزیع مشاهدات می‌بایست آزموده می‌شد. برای این منظور از آزمون برازش توزیع نرمال^۱ استفاده شد. در این روش، فرض صفر مبتنی بر این که توزیع داده‌ها نرمال است، در سطح خطای ۵٪ بررسی شد. با توجه به مقدار $p > 0.05$ برای هر چهار گروه ($p=0.41428$ برای گروه NOC در قدم ثابت، $p=0.6542$ برای گروه OC در قدم ثابت و $p=0.8154$ برای گروه OC در سرعت ثابت)، دلیلی برای رد فرض صفر وجود نداشته و بنابراین از آزمون تحلیل واریانس^۲ برای هر دو حالت سرعت ثابت و قدم ثابت استفاده شد. نتایج حاکی از آن است که بیشترین نرخ خطا در حالت FSS مربوط به تغییر از سرعت‌های پایین به سرعت‌های بالا بوده، در حالی که برای تغییر از سرعت بالا به سرعت کمتر خطاهای کمتری مشاهده شده است (جدول ۱). در حالت FV نیز بیشترین مقدار خطا در تغییر از

¹ Shapiro-Wilk Test

² ANOVA

M→ L: NOC (M=38.24) vs. OC(M=41.24)	p = 0.6247
L→ S: NOC (M=41.29) vs. OC(M=39.47)	p = 0.2450
L→ M: NOC (M=43.25) vs. OC(M=37.24)	p = 0.0824

مشابه آنچه که در تمرین قدم انجام شد، قبل از بررسی و مقایسه نتایج از لحاظ آماری، ابتدا نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به مقدار $p > 0.05$ برای هر چهار گروه نرمال بودن نمونه‌ها تأیید شد. به صورت کلی، نتایج حاصل از آزمون تی بر روی داده‌های تجمعی با در نظر گرفتن توأمان FV و FOS نشان‌دهنده اختلاف معنادار آماری ($p=0.021$) میان سامانه OC (میانگین ۳۳/۷۴ و انحراف معیار ۳/۰۱) و سامانه NOC (میانگین ۴۲/۱۸ و انحراف معیار ۲/۶۵) است. مشابه تمرین قدم‌زدن، این نتایج نیز نشان‌دهنده برتری کیفیت بازخورد ارائه‌شده در نگاشت ویدیوی مبتنی بر انسداد تصویر نسبت به سامانه بدون انسداد تصویر در تمرین عبور از موانع مجازی است.

علاوه بر اندازه‌گیری کارایی واقعی شرکت‌کنندگان در تمرین‌های توان‌بخشی، از آن‌ها خواسته شد تا در پایان انجام تمرین‌ها نظر خود را در مورد کیفیت بازخورد ارائه‌شده به صورت عددی بین صفر تا ده بیان کنند که از آن به عنوان معیاری برای شهودی بودن بازخورد استفاده شده است. نتایج حاصل از آزمون تی نشان‌دهنده اختلاف معنادار آماری ($p=0.011$) میان روش سامانه نگاشت ویدیو با انسداد تصویر (میانگین ۸/۲۴ و انحراف معیار ۰/۹۸) و سامانه بدون انسداد تصویر (میانگین ۶/۸۹ و انحراف معیار ۱/۶۵) است.

۴- نتیجه‌گیری و کارهای آینده

کیفیت بازخورد ارائه‌شده در سامانه‌های توان‌بخشی برای انجام صحیح حرکت و همچنین تصحیح اشتباهات انجام‌شده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ارائه بازخوردهای تصویری مناسب به‌ویژه برای سامانه‌های توان‌بخشی خانگی که درمان‌گر به صورت مستمر حضور ندارد، ضروری است. در این مقاله، با بررسی سامانه‌های واقعیت مجازی که در آن بازخورد ارائه‌شده بر روی صفحه نمایش‌گر جلوی بیمار نمایش داده می‌شود، یکی از مشکلات موجود وجود فاصله بین محل وقوع واقعی حرکت (که بر روی تردمیل اتفاق می‌افتد) و محل نمایش بازخورد (که بر روی صفحه نمایش‌گر است) عنوان شده است. برای حل این مشکل، روش نمایش بازخورد مبتنی بر واقعیت افزوده با استفاده از نگاشت ویدیو ارائه شده است که در آن بازخورد ایجادشده از حرکت

۳-۳-۳- کارایی بازخورد در تمرین عبور از موانع

در تمرین عبور از موانع مجازی، معیار نرخ برخورد به عنوان معیاری برای ارزیابی کارایی هریک از سامانه‌های نمایش بازخورد مورد مطالعه قرار گرفت. برای تحلیل نتایج این تمرین نیز از آزمون آماری تحلیل واریانس برای هر دو حالت FV و FOS استفاده شد. نتایج حاکی از آن است که بیشترین نرخ خطا در حالت FSS مربوط به تغییر از سرعت‌های پایین به سرعت‌های بالا است؛ درحالی‌که برای تغییر از سرعت زیاد به سرعت کمتر خطاهای کمتری مشاهده شده است (جدول ۳). در حالت سرعت ثابت اختلاف فاحشی میان دو سامانه از لحاظ معیار نرخ برخورد وجود ندارد (جدول ۴). از نظر نویسندگان این مقاله دلیل این عدم اختلاف داشتن زمان کافی برای درک اندازه مانع و تصمیم‌گیری برای حرکت متناسب با آن است.

(جدول ۳): مقایسه بازخورد مبتنی بر انسداد تصویر (OC) و

بدون انسداد تصویر (NOC) در حالت FSS در تمرین عبور از

موانع با استفاده از تحلیل واریانس

(S:Slow, M: Medium, F:Fast)

(Table-3): Comparison between the feedback based on occlusion (OC) and without occlusion (NOC) in the fixed step size (FSS) mode in the obstacle avoidance task using ANOVA test (S: Slow, M: Medium, F: Fast).

نتایج تحلیل واریانس	مقایسه نمونه‌ها
p = 0.0154 *	S→ F: NOC (M=47.25) vs. OC(M=31.14)
p = 0.0354 *	S→ M: NOC (M=46.87) vs. OC(M=32.19)
p = 0.2415	M→ S: NOC (M=41.36) vs. OC(M=39.24)
p = 0.0001 *	M→ F: NOC (M=49.24) vs. OC(M=33.24)
p = 0.3896	F→ S: NOC (M=45.21) vs. OC(M=39.89)
p = 0.0101	F→ M: NOC (M=39.21) vs. OC(M=36.47)

(جدول ۴): مقایسه بازخورد مبتنی بر انسداد تصویر (OC) و

بدون انسداد تصویر (NOC) در حالت FV در تمرین عبور از موانع

با استفاده از تحلیل واریانس

(S:Short, M: Medium, L:Long)

(Table-4): Comparison between the feedback based on occlusion (OC) and without occlusion (NOC) in the fixed velocity (FV) mode in the obstacle avoidance task using ANOVA test (S: Slow, M: Medium, F: Fast).

نتایج تحلیل واریانس	مقایسه نمونه‌ها
p = 0.4778	S→ L: NOC (M=38.21) vs. OC(M=34.28)
p = 0.3633	S→ M: NOC (M=41.24) vs. OC(M=38.42)
p = 0.5114	M→ S: NOC (M=42.75) vs. OC(M=41.67)

تردمیل بر تعادل و کیفیت زندگی بیماران ضایعه نخاعی
ناکامل، *مجله توانبخشی*، دوره ۱۸، شماره ۴، صفحات
۱۳۹۶، ۱۷-۳۱

[2] H. Zamani, M. Dadgoo, I. Ebrahimi Takamjani, E. Hajouj, A. Jamshidi Khomeh, "The Effects of Two Months Body Weight Supported Treadmill Training on Balance and Quality of Life of Patients With Incomplete Spinal Cord Injury", *jrehab*, vol.18, No.4, 328-337, 2018.

[۳] شمسی گوشکی اسما، نظام آبادی پور حسین، سربیدی سعید، کبیر احسان اله. روشی برای بازخورد ربط براساس بهبود تابع شباهت در بازیابی تصویر بر اساس محتوا. *پروازش علائم و داده‌ها*، دوره ۱۱ شماره ۲ صفحات ۴۳-۵۵، ۱۳۹۳.

[3] A. Shamsi gooshki, H. Nezamabadi-pour, S. Saryazdi, E. Kabir, "a relevance feedback approach based on similarity refinement in content based image retrieval", *JSDP*, vol. 11, No.2, pp. 43-55, 2015.

[4] R. Sigrist, G. Rauter, R. Riener, & P. Wolf, "Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor learning: a review" *Psychonomic bulletin & review*, vol. 20. No.1, pp.21-53, 2013.

[5] J. Lee, Y. Kim, & G. J.Kim, "Effects of Visual Feedback on Outof-Body Illusory Tactile Sensation When Interacting with AugmentedVirtual Objects", *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, vol.47, No.1, pp. 101-112, 2017.

[6] E. Kearney, S. Shellikeri, R. Martino, & Y. Yunusova, "Augmented visual feedback-aided interventions for motor rehabilitation in Parkinson's disease: a systematic review", *Disability and rehabilitation*, pp.1-17, 2018.

[7] L. E. Sucar, F. Orihucla-Espina, R.L. Velazquez, D.J. Reinkensmeyer, R. Leder, & J. Hernandez-Franco, "Gesture therapy: An upper limb virtual reality-based motor rehabilitation platform", *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 22, No. 3, pp.634-643, 2014.

[8] L. Y. Liu, S.Sangani, & A. Lamontagne, "A real-time visual feedback protocol to improve symmetry of spatiotemporal factors of gait in stroke survivors: In Virtual Rehabilitation (ICVR)", *2017 International Conference on*, 2017, pp. 1-2.

[9] T. T. James, "Effect of Gaming Assisted Visual Feedback on Functional Standing Balance among Acute Hemiparetic Stroke Patients", "Indian

بیمار بر روی تردمیل و با استفاده از پروژکتور نوری انجام می‌شود. نوآوری عمده این مقاله ایجاد توهم قدم‌گذاشتن پا بر روی مانع مجازی و جای پا با استفاده از انسداد تصویر است. در این روش، قسمتی از تصویر مانع یا جای پا که در زیر پا قرار می‌گیرد، بریده شده و بر روی پا نمایش داده نمی‌شود.

نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام‌شده نشان‌دهنده برتری محسوس روش نگاشت ویدیو با انسداد تصویر در مقایسه با روش بدون انسداد تصویر در کارایی بیماران برای وفق‌دادن حرکات خود نسبت تغییرات ایجادشده در سرعت حرکت، اندازه قدم و اندازه موانع در تمرین‌های مختلف قدم‌زدن و عبور از موانع است. یافته‌های این مقاله تنها نشان‌دهنده افق روشن استفاده از روش بازخورد تصویری واقعیت افزوده مبتنی بر نگاشت ویدیو است. این در حالی است که بررسی کارایی واقعی سامانه ارائه‌شده نیازمند طراحی آزمایش‌هایی با بیماران واقعی در طولانی‌مدت است. برای کارهای آینده، هدف ما بررسی تأثیر استفاده از روش ارائه‌شده بر روی بیماران حرکتی ناشی از ام‌اس است که مراحل اولیه این پژوهش نیز از قبل آغاز شده است.

ملاحظات

سامانه ارائه‌شده در این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی با عنوان "بررسی و توسعه بازی‌های توان‌بخشی حرکتی با استفاده از فناوری واقعیت افزوده" در دانشگاه هنر اسلامی تبریز بوده و حایز رتبه دوم نخستین جشنواره ملی بازی‌های جدی در دانشگاه علم و صنعت ایران شده است.

5- References

۵- مراجع

[۱] حاجی زاده مریم، هاشمی اسکویی علیرضا، قالیچی فرزاد، قابلیت اطمینان پارامترهای سینماتیکی زانو و نیروی عکس‌العمل پا در افراد با آسیب لیگامان متقاطع قدامی در بالا رفتن از پله، *مجله مهندسی پزشکی زیستی*، دوره ۱۱، شماره ۳، صفحات ۳۱-۱۷، ۱۳۹۶.

[1] M. Hajizadeh, A. Hashemi Oskouei, F. Ghalichi, "The Reliability of Knee Kinematics and Ground Reaction Force During Stair Negotiation", *Iranian journal of Biomedical Engineering*, vol.11. No. 3, pp.17-31, 2017.

[۲] زمانی حمید، دادگو مهدی، ابراهیمی تکامجانی اسماعیل، تأثیر دو ماه آموزش راه رفتن همراه با حمایت وزن روی

- [19] H. Zamani, M. Dadgoo, E. Ebrahimi, "Trans-Tibial Amputee Gait Correction through Real-Time Visual Feedback", vol. 1(3), pp. 25-32, 2015.
- [۲۰] [۲۰] مشرف رضوی سیما، سهرابی مهدی، ستوده محمد صابر، تأثیر مداخلات نوروفیدبک و تصویرسازی ذهنی بر تعادل سالمندان، *مجله سالمندی/ایران*، دوره ۱۲، شماره ۳، صفحات ۲۹۹-۲۸۸، ۱۳۹۶.
- [20] S. Moshref-Razavi, M. Sohrabi, M. S. Sotoodeh, "Effect of Neurofeedback Interactions and Mental Imagery on the Elderly's Balance", *sija*, vol.12 (3), pp.288-299, 2017.
- [21] R. Tang, H. Alizadeh, A. Tang, S. Bateman, J.A. Jorge, "Physio@ Home: design explorations to support movement guidance", *In Proceedings of the extended abstracts of the 32nd annual ACM conference on Human factors in computing systems*, 2014, pp. 1651-1656.
- [22] M. W.van Ooijen, M. Roerdink, M. Trekop, T.W. Janssen, & P. J. Beek, "The efficacy of treadmill training with and without projected visual context for improving walking ability and reducing fall incidence and fear of falling in older adults with fall-related hip fracture: a randomized controlled trial", *BMC geriatrics*, vol.16(1), pp. 215, 2014.
- [۲۳] [۲۳] سخاوت یونس، زارعی حسین، تنظیم خودکار سختی بازی‌های توانبخشی با استفاده از روش یادگیری تقویتی چندتناوبی (باقوت)، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، دوره ۴۸، شماره ۱، صفحات ۷۰-۶۲، ۱۳۹۷.
- [23] Y. Sekhavat, H. Zarei, "Dynamic Difficulty Adjustment of Rehabilitation Games using Reinforcement Learning", vol. 48(1), pp.62-70, 2018.
- [24] F. Anderson, T. Grossman, J. Matejka, G. Fitzmaurice, "YouMove: enhancing movement training with an augmented reality mirror", *In Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 311-320, 2013.
- [25] A.Alamri, J. Cha, A. El Saddik, "AR-REHAB: An augmented reality framework for poststroke-patient rehabilitation", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol.59 (10), pp.2554-2563, 2010.
- [26] E. Velloso, A. Bulling, H. Gellersen, "MotionMA: motion modelling and analysis by demonstration", *In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2013, pp. 1309- 1318.
- [27] Y.Tian, Y. Long, D. Xia, H. Yao, J. Zhang, "Handling occlusions in augmented reality Journal of Physiotherapy & Occupational Therapy", vol.11, No.4, 2017.
- [10] L.M. Muratori, E.M. Lamberg, L. Quinn, & S. V. Duff, "Applying principles of motor learning and control to upper extremity rehabilitation", *Journal of Hand Therapy*, vol. 26, No.2, pp.94-103, 2013.
- [11] S. N. Omkar, & D. K. Ganesh, "Stability training and measurement system for sportsperson (P84)", *In the Engineering of Sport 7* , pp. 435-442, 2008.
- [12] M. Y. Lee, C.F.Lin, & K.S. Soon, "Balance control enhancement using sub-sensory stimulation and visual-auditory biofeedback strategies for amputee subjects. Prosthetics and orthotics international", vol. 3, No.4, pp.342-352, 2007.
- [13] E. Ivanova, M. Schrader, K.Lorenz, & M. Minge, "Developing motivational visual feedback for a new telerehabilitation system for motor relearning after stroke", *In Proceedings of the 31st British Computer Society Human Computer Interaction Conference , BCS Learning & Development Ltd*, 2017, pp. 75.
- [14] HK.Wu, H. R. Chen, & C. H.Yu, "Development of posterior walker with adjustable visual cues to improve gait performance for patients with Parkinson's disease", *In IECON 2010-36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, 2010, pp. 1512-1516.
- [15] J. Lieberman, & C. Breazeal, "TIKL: Development of a wearable vibrotactile feedback suit for improved human motor learning", *IEEE Transactions on Robotics*, vol.23 (5), pp.919-926, 2007.
- [16] P. Celnik, K.Stefan, F. Hummel, J. Duque, J. Classen, L.G. Cohen, "Encoding a motor memory in the older adult by action observation", *Neuroimage*, vol. 29(2), pp. 677-684, 2006.
- [17] R. Saegusa, K. Shigematsu, K. Terashima, "Audiovisual feedback for cognitive assistance toward walk training: In Robotics and Biomimetics (ROBIO)", *2014 IEEE International Conference*, pp. 925-930, 2014.
- [18] D. Freides, "Human information processing and sensory modality: Cross-modal functions, information complexity, memory, and deficit", *Psychological bulletin*, vol.81, No. 5, pp.284, 2008.
- [۱۹] [۱۹] زمانی حمید، دادگو مهدی، ابراهیمی تکامجانی اسماعیل، اصلاح الگوی راه رفتن در قطع عضو زیر زانو از طریق بازخورد همزمان بصری، *مجله بیومکانیک ورزشی*، دوره ۱، شماره ۳، صفحات ۳۲-۲۵، ۱۳۹۴.

based on 3D reconstruction method", *Neurocomputing*, vol.156, pp.96-104, 2013.

[28] Y.A.Sekhvat, M.S. Namani, " Projection-based AR: Effective visual feedback in gait rehabilitation", *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, vol.48(6), pp.626-636, 2018.

[29] F. Clemente, S. Dosen, L. Lonini, M. Markovic, D. Farina, C. Cipriani, " Humans can integrate augmented reality feedback in their sensorimotor control of a robotic hand", *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, vol.47(4), pp.583-589, 2016.



یونس سخاوت مدرک دکترا و

پسادکترای خود را در رشته علوم رایانه به ترتیب از دانشگاه‌های مموریال کانادا در سال ۱۳۹۲ و دانشگاه آلبرتای کانادا در سال ۱۳۹۳ اخذ کرده است. ایشان مدرک

کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را نیز در رشته مهندسی رایانه را از دانشگاه امیرکبیر و دانشگاه علم و صنعت دریافت کرده است. در حال حاضر ایشان عضو هیأت علمی دانشگاه هنر اسلامی تبریز هستند. زمینه اصلی پژوهشی ایشان طراحی بازی‌های جدی، هوش مصنوعی بازی‌های رایانه‌ای و هنرهای چندرسانه‌ای است. ایشان مدیر آزمایشگاه واقعیت افزوده شناختی (CARLab) در دانشکده چندرسانه‌ای دانشگاه هنر اسلامی تبریز هستند.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

sekhavat@tabriziau.ac.ir



محمدصادق نعمانی مدرک کارشناسی

خود را در رشته چندرسانه‌ای از دانشگاه هنر اسلامی تبریز و از دانشکده چندرسانه‌ای در سال ۱۳۹۶ دریافت کرده است. زمینه اصلی پژوهشی ایشان

بازی‌های رایانه‌ای جدی برای توانبخشی و همچنین برنامه‌های کاربردی موبایل و وب است. ایشان عضو آزمایشگاه واقعیت‌افزوده شناختی در دانشکده چندرسانه‌ای دانشگاه هنر اسلامی تبریز هستند. ایشان برنده جایزه دوم نخستین جشنواره ملی بازی‌های جدی برای سامانه ارایه‌شده در این مقاله شده‌اند.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

ms.namani@tabriziau.ac.ir