



نمایش باورپذیر بازخورد تصویری در سامانه توانبخشی 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 بسزایی در انجام درست حرکات توانبخشی با استفاده از سامانه‌های توانبخشی حرکتی دارد. یکی از مشکلات اساسی سامانه‌های معمول مبتنی بر واقعیت مجازی آن است که محل وقوع حرکت بر روی زمین و یا ترمیل بوده، در حالی که محل نمایش بازخورد این حرکت در صفحه نمایش روبه روی بیمار است. در این مقاله، روشی جدید برای نمایش بازخورد های حرکت با استفاده از نگاشت ویدیو بر روی صفحه ترمیل 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 ویدیو پروژکتور بر روی صفحه ترمیل نمایش داده می‌شود. ویژگی مهم این روش در مقایسه با کارهای قبلی، ارایه 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 تمرين‌های قدم‌زن و عبور از موانع بر اساس پروتکل طراحی شده انجام دهند. با توجه به اینکه هدف این مقاله تنها ارایه روشی برای بهبود کیفیت نمایش بازخورد حرکتی بوده و نه بررسی تأثیر سامانه ارایه شده بر روی بهبود و توانبخشی 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 تمرين قدم‌زن ($p=0.0031$) و عبور از موانع ($p=0.021$) وجود دارد. از لحاظ شهودی بودن بازخورد بر اساس خودا ظهاری 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 توانبخشی، 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

• تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۲۶ • تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۸ • تاریخ انتشار: ۱۵/۰۹/۱۳۹۹ • نوع مطالعه: پژوهشی

سال ۱۳۹۹ شماره ۳ پیاپی ۴۵



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

حرکات صحیح یا اشتباه کاربر بازخورد لمسی (مانند لرزش) ایجاد می‌کنند. هدف تمامی این سامانه‌ها ارائه بازخوردی صحیح و مناسب از صحت و کیفیت حرکات انجام‌شده در جهت بهبود نحوه انجام حرکت‌های توانبخشی است. مشاهده هم‌زمان حرکت انجام‌شده و بازخورد نحوه انجام‌شدن آن حرکت می‌تواند بر غایی توانبخشی حرکت بیفزاید [17]. همچنین بررسی این پژوهش‌ها 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 روبرو، پشتی و جانبی مورد بررسی قرار گرفته و کارایی نمای روبرو نشان داده شده است. این روش درک بهتری را از نحوه انجام‌شدن حرکات در ذهن کاربر ایجاد می‌کند. پژوهش‌های انجام‌شده توسط [20] نشان داده است که تمرین تصویرسازی ذهنی و نوروفیدبک می‌تواند بر تعادل سالم‌مندان مؤثر باشد.

در سامانه‌های مبتنی بر واقعیت افزوده، اطلاعات گرافیکی مجازی (مانند مدل گرافیکی، عکس و یا متن) بر روی صحنه واقعی نمایش داده می‌شوند. برای مثال، زمانی که با دوربین واقعیت افزوده به یک ساختمان نگاه می‌کنیم، اطلاعات تکمیلی در مورد آن ساختمان بروی قسمت‌های مختلف تصویر واقعی نشان داده می‌شود. در روش واقعیت افزوده مبتنی بر نگاشت ویدیو، این اطلاعات مجازی از طریق پروژکتورهای نوری بر روی یک سطح به‌نحوی تابانده

۱- مقدمه

توانبخشی فیزیکی و شناختی همواره یکی از مهم‌ترین روش‌های درمان بیماری‌های حرکتی با منشاً عصبی بوده است [1-4]. تعامل مناسب میان درمان‌گر و بیمار در قالب ارائه بازخورد حرکات انجام‌شده شرطی کلیدی در موفقیت تمرین‌های توانبخشی است. بازخوردی که می‌تواند به‌شکل 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 انجام‌شده و دریافت مغز نسبت به نحوه انجام این حرکت از طریق بازخوردهای ارائه‌شده برای اثربخشی آن حرکت لازم و ضروری است [5]. پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه حاکی از اثر مثبت بازخوردهای صحیح و مناسب حرکات توانبخشی در نرخ بهبود حرکتی بیماران است [6-9].

از بازخورد تصویری [14], [11] و بازخورد صوتی [12, 13] بهصورت گستردگی برای بهبود تعادل در ایستادن و راه‌رفتن استفاده شده است. در این روش، حرکات بدن بیمار بر روی حرکات آواتاری در صفحه نمایش نگاشته می‌شود. از ربات‌هایی با بازخورد لمسی و صوتی نیز برای بهبود حرکات بدن در راه‌رفتن استفاده شده [15, 16]. در این روش ربات‌های پوشیدنی روی بدن بیمار نصب می‌شوند که به‌ازای



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 به کارگیری 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 زمرة روش‌های پیاده‌سازی واقعیت افزوده قرار می‌گیرد که در آن نیازی به سربنده‌های واقعیت افزوده و یا تلفن‌های هوشمند برای مشاهده اطلاعات نیست. در این روش، بازخورد حرکت انجام‌شده توسط کاربر بر روی سطح ترمیم و از طریق پروژکتورهای نوری نمایش داده می‌شود. در این حالت، سطح ترمیم به صفحه‌نمایش برای به تصویر کشیدن بازخورد حرکات تبدیل می‌شود (شکل‌های ۱ و ۲). این در حالی است که در سامانه مبتنی بر واقعیت مجازی، حرکات پاها کاربر بر روی صفحه‌نمایش و با استفاده از مدل پای مجازی نمایش داده می‌شود (شکل‌های ۳ و ۴).

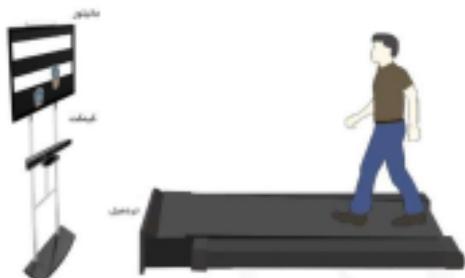
در NeuroR که سامانه‌ای برای توانبخشی بیماران سکته قلبی است، از فناوری واقعیت افزوده استفاده شده است [23]. در این سامانه، یک دست مجازی جایگزین دست معلول می‌شود که بر روی تصویر فردی که جلوی نمایش گر است، نمایش داده می‌شود. هدف این سامانه اجرای ذهنی حرکات توسط بیمار بدون درگیر کردن واقعی حرکت است. پژوهش‌های 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 ترمیم است؛ برای مثال، هنگامی که مانع مجازی بر روی سطح ترمیم نمایش داده شده و پای فرد بر روی مانع قرار می‌گیرد، تصویر مجازی مانع بر روی پای فرد نمایش داده می‌شود. این مسئله باعث ایجاد حس قرارگرفتن مانع بر روی پا می‌شود؛ درحالی که هدف ایجاد توهمند 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 ارائه شده بهوسیله بازخورد حرکتی واقعیت افزوده مبتنی بر نگاشت ویدیو و نه تأثیر آن در درمان

می‌شود که احساس می‌شود این اشیا به طور 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 صحبت 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 ارایه 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 بدین ترتیب 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 تعیین شده متفاوت از میزان حرکت واقعی آن عضو است. این تغییر مقیاس می‌تواند به خاطر تشویق بهاندازه حرکت بیشتر در بیماران با محدودیت‌های حرکتی (بالغه در اندازه حرکت) و یا جلوگیری از انجام یک حرکت با یک الگوی خاص باشد. این تغییر مقیاس که از آن به عنوان 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 داده می‌شود، محدودیت‌هایی دارد که ممکن است، استفاده از این فناوری را در عمل با مشکل مواجه کند. مهم‌ترین مسئله 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 ارائه شده بهوسیله شرکت زیریس^۱) محل وقوع حرکت بر روی ترمیم و محل نمایش بازخورد ارائه شده بهوسیله شرکت زیریس است. در این سامانه حرکات بیمار به یک کاراکتر مجازی در

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



(شکل-۴): ارائه بازخورد درروش 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

طولانی مدت بیماران حرکتی است، از شرکت کنندگان بدون مشکل حرکتی برای ارزیابی این مطالعه استفاده شده است. بدین منظور، کارایی شرکت کنندگان از لحاظ میزان وفق دادن بدن با حرکات تجویز شده در روش ارایه شده مبتنی بر نگاشت ویدیو با انسداد تصویر بررسی شده و با سامانه بازخورد بدون انسداد تصویر [22] مقایسه شده است.

یافته های این مقاله را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- طراحی و پیاده سازی سامانه بازخورد حرکتی با استفاده از واقعیت افروزه مبتنی بر نگاشت ویدیو؛
- ارائه راه کاری برای نمایش باور پذیر بازخورد حرکتی در تمرین های توانبخشی با استفاده از انسداد تصویر؛
- اجرای مطالعه کاربری برای ارزیابی روش ارایه شده و مقایسه آن با سامانه بازخورد بدون انسداد تصویر

۲- مواد و روش ها

۲-۱- معماری سامانه ارایه شده

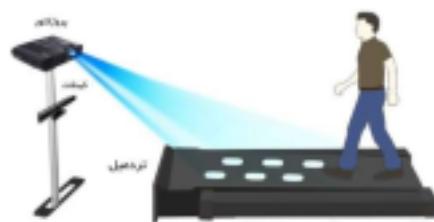
سامانه های که در این مقاله برای نمایش بازخورد حرکتی با استفاده از نگاشت ویدیو طراحی شده است، از دستگاه ثبت حرکات بدن برای ره گیری پاهای کاربر و محل قرار گرفتن آن بر روی زمین استفاده می کند. با توجه به اینکه هدف، استفاده خانگی از این دستگاه توان بخشی است، از دستگاه کینکت^۱ (نسخه یک) که با وجود قیمت به نسبه پایین (حدود دویست دلار آمریکا) قابلیت های خوبی دارد، استفاده شده است. این دستگاه مجهز به دوربین تشخیص عمق است که امکان اندازه گیری فاصله اجسام از دوربین و به تبع آن امكان ره گیری حرکات را فراهم می کند. با توجه به اینکه سامانه ساخته شده در محیط موتور بازی یونیتی^۲ طراحی و پیاده سازی شده، از مارژول مربوط به استفاده از کینکت^۳ در این محیط استفاده شده است. سیگنال های دریافتی از دستگاه ثبت حرکات برای تشخیص موقعیت اعضای بدن و دستگاه انجام شده توسط کاربر استفاده شده به تبع آن تعیین حرکت انجام شده توسط کاربر استفاده شده است.

بخش دوم سامانه ارائه شده قسمت نمایش اطلاعات است که مبتنی بر نگاشت ویدیو است. در این روش، صفحه تردمیل به منزله صفحه نمایشی است که در آن اطلاعات مربوط به مکان قدم گذاشتن و نیز بازخورد حرکات از طریق پروژکتور ویدیویی بر روی آن صفحه نمایش داده می شود (شکل ۱ و شکل ۲).

¹ Microsoft Kinect

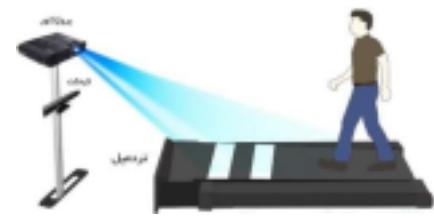
² Unity

³ Kinect wrapper Unity Package version 1.7



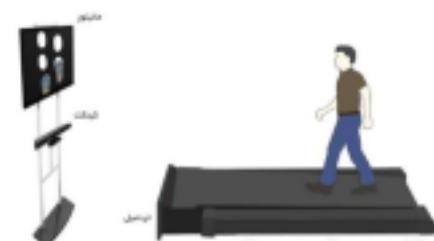
(شکل-۱): ارائه بازخورد درروش نگاشت ویدیو از طریق نمایش بازخوردهای حرکتی بر روی سطح تردمیل در تمرین قدم زدن

(Figure-1): Presenting feedback on the treadmill in form of video mapping for the stepping task



(شکل-۲): ارائه بازخورد درروش نگاشت ویدیو از طریق نمایش بازخوردهای حرکتی بر روی سطح تردمیل 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 درروش واقعیت مجازی از طریق نمایش بازخوردهای حرکتی بر روی صفحه نمایش گر جلوی بیمار در تمرین قدم زدن

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

هنگام قدمبرداشتن درواقع بازخورده از میزان انحراف حرکت واقعی از حرکت تجویزشده بهوسیله سامانه است. نمایش جای پاها بر روی سطح تردیل است. در تمرین عبور از موانع، از کاربر خواسته می‌شود تا از برخورد با موانع مجازی دوری کند. این موانع با اندازه‌های مختلف و در طول فواصل زمانی متفاوت بر روی تردیل ظاهر شده و کاربر می‌بایست با تنظیم سرعت حرکت و اندازه گام‌های خود از برخورد با این موانع مجازی جلوگیری کند. از لحاظ شناختی، توجه مغز به بازخورد دریافتی از سامانه توانبخشی برای تصحیح حرکات انجامشده گامی مهم در بازیابی توانایی حرکتی بیماران است.

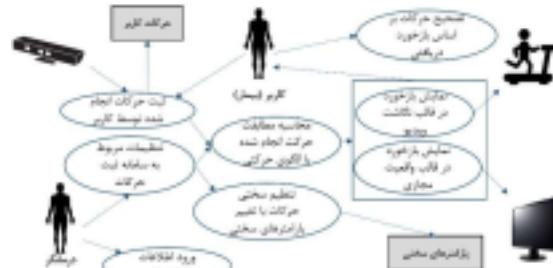
۲-۳- پروتکل ثبت

آنچه در نمایش بازخورد حرکتی مهم است، درنظرگرفتن میزان انحراف از حرکت واقعی در کنار جهت انحراف است. بدینمنظور روشی برای نمایش انحراف در هر دو تمرین قدمزدن و همچنین عبور از موانع ارائه شده است. در تمرین قدمزدن، خطوط قرمزرنگ نمایش‌دهنده انحراف از محل قدم‌گذاری تعیین شده است؛ بهنحوی که محل نمایش خطوط نشان‌دهنده جهت انحراف (برای مثال در شکل ۶-الف انحراف به سمت پایین و راست است) و ضخامت خطوط و همچنین تعداد آن‌ها بیان‌گر میزان انحراف است (شکل ۶-ب). از سویی دیگر، در تمرین عبور از موانع سطح مانع به دو قسمت تقسیم می‌شود. به این صورت که قسمتی از پا که با مانع همپوشانی دارد، بهرنگ قرمز در آمد و بقیه آن بهصورت سبزرنگ نمایش داده می‌شود. هرچه قسمت قرمزرنگ بیشتر شود، نشان از میزان انحراف بیشتر و همپوشانی بیشتر محل قرارگرفتن 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 بهصورت بی‌درنگ فراهم می‌کند که می‌تواند برای تصحیح حرکات بعدی و درنتیجه افزایش کارایی توانبخشی 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 انجامشده چشم‌پوشی شده است.

فرآیندهای کلی انجامشده در سامانه بازخورد مبتنی بر نگاشت ویدیو در شکل (۵) نمایش داده شده است. در قسمت پیکربندی سامانه، ویژگی‌های حرکات تجویزشده توسط درمان‌گر برای سامانه معرفی می‌شود. در تمرین قدمزدن، طریق رابط کاربری وارد سامانه می‌شود. در تمرین قدمزدن، 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 می‌شود. این اطلاعات بر اساس ویژگی‌های فردی بیمار و همچنین شرایط بیماری و مهارت‌های حرکتی بیمار تنظیم می‌شوند. در قسمت مربوط به پردازش حرکت، کلیه محاسبات لازم برای نحوه ارائه بازخورد بر اساس اختلاف میان حرکت تجویزشده و حرکت واقعی انجامشده انجام می‌شود؛ درنهایت در قسمت مربوط به نمایش اطلاعات، بازخورد ایجادشده در قالب نگاشت ویدیو به نمایش گذاشته می‌شود. در این میان، قسمت تنظیم سختی، میزان دشواری حرکات را با استفاده از روش یاقوت [23] تعیین می‌کند 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

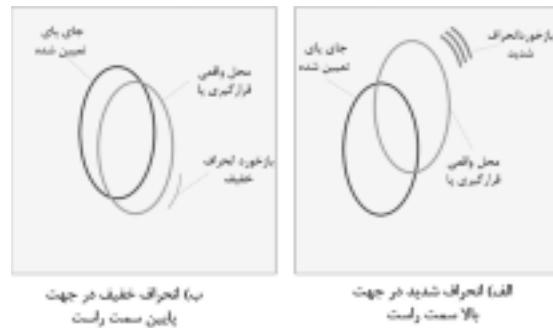
۲-۲- تمرین‌های حرکتی و بازخورد حرکات

دو نوع تمرین قدمزدن عادی و عبور از موانع که از تمرین‌های رایج در توانبخشی حرکتی هستند [18] برای بررسی کیفیت سامانه بازخورد پیاده‌سازی و مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. در تمرین قدمزدن عادی، محل قرارگیری پاها به عنوان راهنمای نمایش داده شده و از کاربران خواسته می‌شود تا پاهای خود را به‌طور دقیق بر روی مکان‌های مشخص شده قرار دهند. این محل‌های مشخص شده بر اساس حرکت تجویزشده بهصورت خودکار ایجاد می‌شود. از کاربران خواسته می‌شود تا در هنگام راه‌رفتن پای خود را بر روی جای پاهای مشخص شده قرار دهند. نمایش هم‌زمان محل تعیین شده برای قرارگرفتن پا و محل واقعی قرارگیری پا در

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

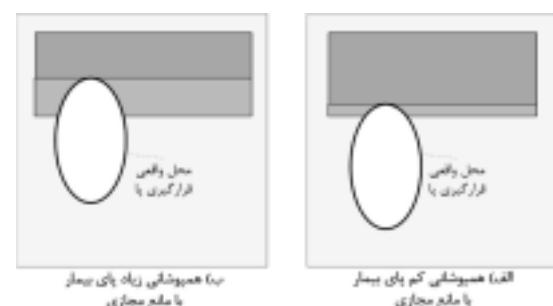
در حالت نگاشت ویدیوی بدون انسداد تصویر، فارغ از اینکه پای فرد بر روی جای پای مشخص شده (در تمرين قدمزدن) و یا مانع (در تمرين عبور از موانع) قرار دارد یا نه، نور مربوط به جای پا و یا مانع مجازی بر روی پای فرد که بر روی تردمیل قرار دارد، تابانده می‌شود. این مسئله می‌تواند این توهمند را ایجاد کند که جای پا و یا مانع مجازی بر روی پا قرار دارند؛ این درحالی است که هدف ما ایجاد توهمند قرارگرفتن پا بر روی مانع و یا جای پا است. برای حل این مسئله، 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 ارائه شده بر اساس انسداد تصویر برای تمرين‌های قدمگذاری و عبور از موانع در شکل‌های (۸) و (۹) نمایش داده شده است.

بریده شدن تصویر برای 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 دو بعدی صورت می‌گیرد، محاسبه این همپوشانی می‌تواند به صورت مسئله 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 مسئله از روش ارائه شده در [27] که ساده شده روش تجمعی 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، بهجای استفاده از معادلات پیچیده برای محاسبه شکل نهایی جای پا، پس از درنظرگرفتن انسداد توسط پا، جای پایی با رنگ سیاه و همان اندازه با درنظرگرفتن 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 قبل 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 تمرين قدم زدن

(Figure-6): Presenting stepping task feedback



(شکل-۷): نحوه نمایش بازخورد در تمرين عبور از موانع مجازی

(Figure-7): Presenting obstacle avoidance feedback

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

یکی از معیارهای ارزیابی سامانه‌های واقعیت افزوده که به باورپذیرتر کردن اطلاعات نمایش داده شده 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 توهمند حضور اشیای مجازی در دنیای واقعی می‌شود. یک سامانه واقعیت افزوده از لحاظ بصری، زمانی موفق است که بتواند این توهمند 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 مسئله انسداد است. برای مثال، عدم نمایش قسمتی از یک شیء مجازی که در پشت یک شیء واقعی قرار دارد، می‌تواند ایجاد کننده این توهمند باشد که آن شیء مجازی به‌طور واقعی دورتر از آن شیء واقعی در محیط قرار گرفته است. گرچه این روش در واقعیت افزوده مبتنی تلفن‌های هوشمند و همچنین سریندهای واقعیت افزوده مورد استفاده قرار گرفته است، بنابر پژوهش‌های ما این مسئله در نگاشت ویدیو موردن توجه قرار نگرفته است. عدم توجه به این نکته در

دودوبی، نرخ برخورد (*HitRate*) با موانع معیاری برای میزان انحراف است که به صورت زیر تعریف می‌شود (n تعداد موانع):

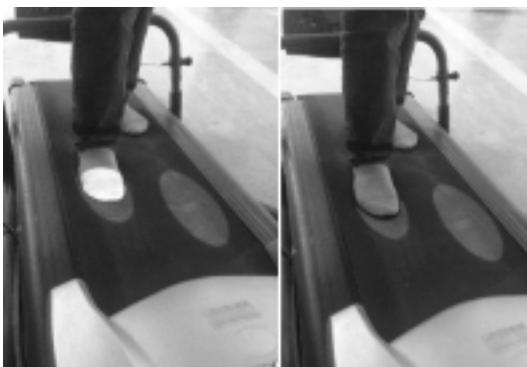
$$HitRate = \sum_n (ObstacleOverlap) / n \quad (3)$$

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

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

۶-۲- تنظیم اعوجاج تصویر در نگاشت ویدیو

با توجه به اینکه در روش نگاشت ویدیو سطح ترمیل به عنوان صفحه نمایش استفاده می‌شود، بهترین مکان برای قرار دادن ویدیو پروژکتور برای جلوگیری از اعوجاج تصویر بالای سر بیمار و بر روی ترمیل به صورت عمودی است. از سویی دیگر، در این حالت بدن فردی که بر روی ترمیل حرکت می‌کند، می‌تواند مانع نمایش تصاویر بر روی سطح ترمیل شود؛ از این‌رو، در پروژه ما ویدیو پروژکتور روبروی فرد و بالای دستگاه کینکت قرار داده شده است. در این حالت، با توجه به اینکه تصویر به صورت عمودی بر روی سطح ترمیل تابانده نمی‌شود، قسمت‌هایی که در فاصله دورتری از منبع نور ویدیو پروژکتور قرار دارند، به صورت کشیده‌تر نمایش داده می‌شوند. برای حل این مسئله، 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 درنظر گرفتن انسداد تصمیر (شکل سمت راست) در تمرین قدمزن

(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 درنظر گرفتن انسداد تصمیر (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

۶-۳- روش تحلیل داده‌ها

ارائه بازخورد صحیح به کاربر در حین انجام حرکات توانبخشی 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 توانبخشی استفاده شده است. دو روش برای اندازه‌گیری میزان انحراف در تمرین قدمزن موردنظر قرار گرفته است. در حالت دودوبی فقط درست یا غلط‌بودن حرکت و در حالت عددی، مقدار انحراف مورد توجه بوده است. در حالت دودوبی تعداد قدم‌هایی که به صورت صحیح انجام نشده، به عنوان نرخ خطأ (*FaultRate*) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

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

در محاسبه عددی مقدار انحراف، برای ساده‌تر شدن محاسبات در تمرین قدمزن فرض شده آنکه محل قرارگیری پا با یک بیضی فرضی محاط شده است؛ در این حالت، مقدار انحراف میان بیضی محل واقعی پای و بیضی جای نمایش داده شده فاصله اقلیدسی مرکز این دو بیضی است که انحراف در محور X و محور Y را به صورت هم‌زمان در نظر می‌گیرد. میانگین انحراف در n قدم به صورت زیر محاسبه می‌شود:

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

با استناد به توجه داشت که میزان انحراف برای پای چپ و راست به صورت جدا محسوب می‌شود. در تمرین عبور از موانع نیز میزان انحراف از حرکات تعریف شده به صورت دودوبی و همچنین عددی محاسبه می‌شود. در حالت



۲-۷- مشخصات فنی

نمونه اولیه سامانه بازخوردهای حرکتی با استفاده از نگاشت Kinect ویدیو در محیط Unity 5.3.4 پیاده‌سازی شده و از KinectSDK v.1.8.0 و Developer Toolkit 1.8.0 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 افروزه www.carlab.ir دانشگاه هنر اسلامی تبریز قابل دریافت است. از پروژکتور 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 شود.

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 ارایه‌شده در سامانه ارایه‌شده، یک رابط کاربری برای تعیین ویژگی‌های حرکت صحیح فراهم شده است. با استفاده از این رابط کاربری، متخصص توانبخشی فاصله بین قدم‌ها، سرعت نمایش جاپاها و اندازه جاپاها را مشخص می‌کند. درصورت استفاده از سامانه خودکار تنظیم دشواری بازی، فاصله بین قدم‌ها و سرعت نمایش جاپاها بهصورت هوشمندانه بهروز 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 این که سامانه ارائه‌شده در این مقاله از سامانه ثبت حرکات کینکت استفاده می‌کند که شرایط نور محیطی در دقت آن تأثیرگذار است، از این‌رو لازم است تا شخصی از میزان خطاهای این سامانه استخراج شده و در هنگام مطابقت با الگوی حرکتی مورد توجه قرار گیرد.

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

سامانه بدون انسداد تصویر مقایسه شده است. مینا و معیار وفق دادن 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 جاپاها 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- شرکت کنندگان در پژوهش

با توجه به این که هدف از این سلسله آزمایش‌ها تنها بررسی کارایی بازخورد ارائه شده و نه بررسی اثر آن بر روی توانبخشی است، از ۲۴ نفر از شرکت کنندگان بدون مشکل حرکتی برای این مطالعه استفاده شده است. کلیه شرکت کنندگان 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 شرکت کنندگان از طریق نصب اطلاعیه در دانشگاه برای انجام آزمایش بهصورت داوطلبانه انتخاب شدند.

۲-۳- طراحی آزمایش‌ها و پروتکل اجرا

برای جلوگیری از اثر یادگیری و بررسی سامانه‌ها بهصورت مستقل از روش بین گروهی برای تقسیم‌بندی شرکت کنندگان استفاده شده است. به این صورت که دوازده نفر از شرکت کنندگان 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 خواسته شده 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 خطای نیز به عنوان متغیرهای وابسته اندازه‌گیری شده‌اند.

با توجه به اینکه هدف بررسی توانایی کاربران در میزان وفق دادن 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

۳-۳-۳- نتایج
 در تمرین قدمزدن، آزمایش‌ها برای حالت‌هایی از که در آن اندازه قدم ثابت است (FSS¹) و نیز سرعت ترمیم ثابت است (FV²) انجام شد. در تمرین عبور از مانع نیز حالت‌هایی که در آن سرعت ثابت بوده (FV) و نیز حالتی که اندازه مانع ثابت است (FOS³) به صورت جداگانه مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند.

۳-۳-۱- دقت سامانه ارائه شده
 آگاهی از دقت سامانه ارائه شده در ثبت حرکات و همچنین مطابقت با الگوی حرکتی تعیین شده قبل از بررسی کارایی بازخورد ارائه شده در هر یک از روش‌های نمایش بازخورد ضروری است. به منظور ارزیابی دقت سامانه ارائه شده در این مقاله، مکان‌های ثابتی با استفاده از نور تابانده شده بر روی ترمیم مشخص شده و از کاربران خواسته شد تا با دقت کافی بدون محدودیت زمان پای خود را به طور دقیق بر روی مکان مشخص شده قرار دهند. اختلاف میان جلوترین نقطه پای تشخیص داده شده به وسیله دستگاه ثبت حرکت (p_0) و جلوترین نقطه واقعی پا نسبت به کینکت (p_1) به عنوان معیار اندازه‌گیری دقت در نظر گرفته شده و مقدار $|p_0-p_1|/w$ به عنوان خطای سامانه اندازه‌گیری شد. به طور کلی میانگین خطای $6/89$ درصد در سامانه مشاهده شد که مربوط به دقت و تنظیمات سامانه ثبت حرکات، شرایط نور محیط و سایر عواملی است که به صورت کلی اندازه‌گیری شده است. گرچه محیط آزمایش از وجود نورهای اضافی و همچنین اشیایی که ممکن است باعث انعکاس اضافی شوند، زدوده شده بود، این خطای 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 به نسبه نرمالی در خطاهای وجود داشته و ازین‌رو امکان انتقال مکان به مقدار ثابت به جلو و با عقب وجود ندارد. پس از به دست‌آوردن این نتایج و به منظور کم کردن اثر این خطای حرکاتی با تولرانس بیشینه

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

از هر فرد خواسته شد تا هر دو کار تعریف شده برای تمرین قدمزدن و عبور از مانع مجازی را انجام دهد. همچنین از شرکت‌کنندگان خواسته شد تا تمرینات خواسته شده را برای سه بار انجام داده و میانگین نتایج آن‌ها در این سه دور موربد بررسی قرار گرفت. شرکت‌کنندگان این امکان را داشتند که قبل از شروع تمرین‌ها به مدت دو دقیقه به صورت آزاد با سامانه تمرین کنند تا در درک کارهای خواسته شده در طول آزمایش ابهامی نداشته باشند. کلیه آزمایش‌ها در محل دانشکده چندرسانه‌ای واقع در دانشگاه هنر اسلامی تبریز انجام شده است؛ همچنین با استناد به توجه داشت که به منظور ثابت نگاه داشتن پارامترهای حرکتی، مازول 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

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 قدم زدن 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 قدم زدن با استفاده از تحلیل واریانس

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

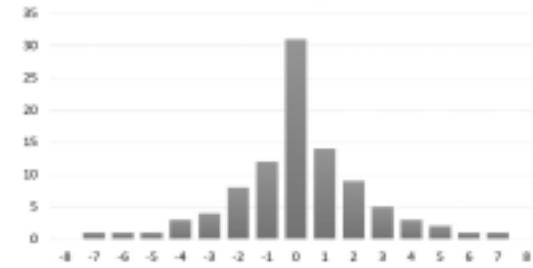
(Table-2): Comparison between the feedback based on occlusion (OC) and without occlusion (NOC) in the fixed velocity mode (FV) in the stepping task using ANOVA test (S: Slow, M: Medium, F: Fast).

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 درنظر گرفتن توانمند سرعت ثابت و اندازه قدم ثابت حاکی از آن است که اختلاف معنادار آماری میان نرخ خطای سامانه نکاشت ویدیوی مبتنی بر انسداد تصویر (میانگین ۳۴/۷۶ و انحراف معیار ۴۰/۸) 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.

نمودار گزارش خطای سامانه



(شکل-۱۱): هیستوگرام خطاهای رخداده در سامانه ثبت حرکات

(Figure-11): The histogram of faults in the motion capture system

۳-۳-۲- کارایی بازخورد در تمرین قدم زدن

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 لحظه 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 می‌باشد 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 $p=0.6542$ برای گروه NOC در قدم ثابت، $p=0.41428$ برای گروه NOC در سرعت ثابت، $p=0.2588$ 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 خطای در حالت FSS مربوط به تغییر از سرعت‌های پایین به سرعت‌های بالا بوده، درحالی که برای تغییر از سرعت بالا به سرعت کمتر خطاهای کمتری مشاهده شده است (جدول ۱). در حالت FV نیز بیشترین مقدار خطای 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 داده ها موردن بررسی قرار گرفت. با توجه به مقدار $0.05 > p$ برای هر چهار گروه نرمال بودن نمونه ها تأیید شد. به صورت کلی، نتایج حاصل از آزمون تی بر روی داده های تجمعی با در نظر گرفتن توأم ان FV و FOS نشان دهنده اختلاف معنادار آماری ($p = 0.021$) میان سامانه OC (میانگین $33/74$) و انحراف معیار $(3/0.1)$ و سامانه NOC (میانگین $42/18$) و انحراف معیار $(2/0.1)$ است. مشابه تمرین قدم زدن، این نتایج نیز نشان دهنده برتری کیفیت بازخورد ارائه شده در نگاشت ویدیوی مبتنی بر انسداد تصویر نسبت به سامانه بدون انسداد تصویر در تمرین عبور از موانع مجازی است.

علاوه بر اندازه گیری کارایی واقعی شرکت کنندگان در تمرین های توان بخشی، از آن ها خواسته شد تا در پایان انجام تمرین ها نظر خود را در مورد کیفیت بازخورد ارائه شده 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 نشان دهنده اختلاف معنادار آماری ($p = 0.011$) میان روش سامانه نگاشت ویدیو با انسداد تصویر (میانگین $8/24$ و انحراف معیار $0/0.98$) و سامانه بدون انسداد تصویر (میانگین $6/89$ و انحراف معیار $1/65$) است.

۴- نتیجه گیری و کارهای آینده

کیفیت بازخورد ارائه شده در سامانه های توان بخشی برای انجام صحیح حرکت و همچنین تصحیح اشتباهات انجام شده از اهمیت ویژه ای برخوردار است. ارائه بازخورد های تصوری مناسب به ویژه برای سامانه های توان بخشی خانگی که درمان گر به صورت مستمر حضور ندارد، ضروری است. در این مقاله، با بررسی سامانه های واقعیت مجازی که در آن بازخورد ارائه شده بر روی صفحه نمایش گر جلوی بیمار نمایش داده می شود، یکی از مشکلات موجود وجود فاصله بین محل وقوع واقعی حرکت (که بر روی ترمیم اتفاق می افتد) و محل نمایش بازخورد (که بر روی صفحه نمایش گر 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 ایجاد شده از حرکت

در تمرین عبور از موانع مجازی، معیار نرخ برخورد به عنوان معیاری برای ارزیابی کارایی هریک از سامانه های 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 خطأ در حالت FSS مربوط به تغییر از سرعت های پایین به سرعت های بالا است؛ در حالی که برای تعییر از سرعت زیاد به سرعت کمتر خطاهای کمتر مشاهده شده است (جدول ۳). در حالت سرعت ثابت وجود ندارد (جدول ۴). از نظر نویسندها این مقاله دلیل این عدم اختلاف داشتن زمان کافی برای درک اندازه مانع و تصمیم گیری 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).

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

(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).

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

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 Khorneh , “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.
- [3] شمسی گوشکی اسماء، نظام آبادی پور حسین، سریزدی سعید، کبیر احسان الله. روشی برای بازخورد ربط براساس بهبود تابع شباهت در بازیابی تصویر بر اساس محتوا. پژوهش علائم و نادهنه، 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 ترمیل و با استفاده از پروژکتور نوری انجام می‌شود. نوآوری عمدۀ این مقاله ایجاد توهّم قدم‌گذاشتن پا بر روی 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 وقیدادن حرکات خود نسبت تغییرات ایجاد‌شده در سرعت حرکت، اندازه قدم و اندازه موانع در تمرين‌های مختلف قدم‌زن و عبور از موانع است. یافته‌های این مقاله تنها نشان‌دهنده افق روش 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 امراض است که مراحل اولیه این پژوهش نیز از قبل آغاز شده است.

ملاحظات

سامانه ارایه‌شده 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 حائز رتبه دوم نوختگین جشنواره ملی بازی‌های جدی در دانشگاه علم و صنعت ایران شده است.

5- مراجع

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

- [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.

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

فصلنامه
پژوهش و راهنمایی

- [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] [امشرف 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.]
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [۲۴] [سخاوت یونس، زارعی حسین. تنظیم خودکار سختی بازی‌های توانبخشی با استفاده از روش یادگیری تقویتی چندتباری (یاقوت)، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، دوره ۴۸، شماره ۱، صفحات ۷۰-۶۲، ۱۳۹۷.]
- [25] Y. Sekhavat, H. Zarei, "Dynamic Difficulty Adjustment of Rehabilitation Games using Reinforcement Learning", vol. 48(1), pp.62-70, 2018.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] E. Veloso, 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.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] S. N. Omkar, & D. K. Ganesh, "Stability training and measurement system for sportsperson (P84)", In the Engineering of Sport 7 , pp. 435-442, 2008.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] H.K.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.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] 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.
- [38] 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.
- [۳۹] [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.Sekhavat, 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 بهترتب از دانشگاه‌های مموریال کانادا در سال ۱۳۹۲ و دانشگاه آلبرتا 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 واقعیت افزوده شناختی در دانشکده چندرسانه‌ای دانشگاه هنر اسلامی تبریز هستند. ایشان برنده جایزه دوم نخستین جشنواره ملی بازی‌های جدی برای سامانه ارایه شده در این مقاله شده‌اند.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:
ms.namani@tabriziau.ac.ir

