

Desarrollo de un videojuego para cinta de correr: Tecnología y Mecánicas

Linda García-Rytman^{1,*†}, Héctor Ruiz-Marco^{1,†}, Micaela Yanet Martín^{1,2,†},
Carlos Marín-Lora^{1,2,†} and Miguel Chover^{1,†}

¹*Video Games Research Group (GAMERS) · Institute of New Imaging Technologies (INIT) · Universitat Jaume I (UJI), Castellón, Spain.*

²*Valgrai: Valencian Graduate School and Research Network of Artificial Intelligence, Camí de Vera s/n, 46022, Valencia, Spain*

Resumen

Este documento presenta un análisis detallado de un videojuego diseñado por los autores para ser jugado en una cinta de correr, centrándose en varios aspectos que influyen en su desarrollo técnico y potencial. En este emocionante juego, los usuarios pueden controlar a sus personajes mediante movimientos faciales mientras participan en una variedad de desafíos y carreras. Se explora el diseño conceptual del juego, su tecnología de seguimiento facial, la mecánica de juego y la integración de la actividad física. Además, se abordan los posibles beneficios de esta experiencia de juego. Aunque no se incluye la prueba con usuarios en este análisis, se tratan aspectos clave que contribuyen a la comprensión y mejora del videojuego, así como a las perspectivas de desarrollo futuro.

Palabras clave

Cinta de correr, Running, Exergame, Smartphone, Interacción.

Abstract

This paper presents a detailed analysis of a video game designed by the authors to be played on a treadmill, focusing on various aspects that influence its technical development and potential. In this exciting game, users can control their characters through facial movements while engaging in a variety of challenges and races. The document explores the conceptual design of the game, its facial tracking technology, gameplay mechanics, and the integration of physical activity. Furthermore, potential benefits of this gaming experience are discussed. While user testing is not included in this analysis, key aspects contributing to the understanding and improvement of the video game, as well as future development prospects, are addressed.

Keywords

Threadmill, Running, Exergame, Smartphone, Interaction.

Congreso Español de Videojuegos (CEV 2023)

*Corresponding author.

†These authors contributed equally.

✉ rytman@uji.es (L. García-Rytman); hruiz@uji.es (H. Ruiz-Marco); micmarti@uji.es (M. Y. Martín); cmarin@uji.es (C. Marín-Lora); chover@uji.es (M. Chover)

ORCID [0000-0003-1055-7657](https://orcid.org/0000-0003-1055-7657) (C. Marín-Lora); [0000-0002-0525-7038](https://orcid.org/0000-0002-0525-7038) (M. Chover)



© 2023 Copyright for this paper by its authors. Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org)

1. Introduction

En los últimos tiempos, hemos sido testigos de un notable aumento en la popularidad de los deportes que se practican en interiores o en casa. Esto ha generado una fuerte demanda de productos como bicicletas estáticas, elípticas y cintas de correr, lo que a menudo resulta en dificultades para conseguirlos debido a la falta de disponibilidad en el mercado [1, 2]. Sin embargo, los deportes en interiores plantean un desafío en términos de repetitividad, ya que el entorno estático carece de la diversidad de estímulos cambiantes que se encuentran al aire libre [3]. Mientras algunos individuos pueden tolerar esta rutina, otros buscan diversas formas de entretenimiento para acompañar su actividad física, y aquí es donde los videojuegos han emergido como una solución.

Los Exergames, videojuegos diseñados para incorporar la actividad física como parte esencial de la experiencia de juego [4], han demostrado ser una alternativa atractiva para combatir la monotonía del ejercicio en interiores. Estudios previos han comparado las experiencias de correr en una cinta de correr utilizando simuladores y Exergames [5]. En ese estudio, se evaluaron aspectos relacionados con la inmersión, el flujo, las emociones positivas y las necesidades psicológicas de los usuarios. Los resultados mostraron diferencias significativas a favor de los Exergames en términos de competencia, inmersión y flujo, respaldando la hipótesis de que ofrecen una mejor experiencia de juego [6, 7].

La innovación clave en el Exergame propuesto es su sistema de interacción facial único. Los usuarios controlan la dirección de su personaje mediante movimientos faciales y la velocidad de la cinta se detecta a través de los movimientos verticales de la cabeza, lo que permite controlar al personaje en la pantalla, especialmente diseñado para cintas de correr. Además, aunque el juego comparte similitudes con las carreras de estilo competitivo, como Fall Guys [8], se han diseñado mecánicas de juego específicas adaptadas a la actividad de correr sobre una cinta para mejorar la experiencia global y asegurar una integración perfecta.

La organización del trabajo se divide en las siguientes secciones: En la sección 2 se analiza el estado del arte existente sobre el desarrollo de aplicaciones para correr. En la sección 3 se plantea el diseño conceptual del juego, explicando su interfaz, mecánicas y modos de interacción. La sección 4 contiene detalles de implementación del mismo, haciendo hincapié en el módulo de interacción, la arquitectura del sistema multijugador y el sistema de entrenamiento de personajes no jugadores. En la sección 5 se presentan las limitaciones del sistema. Por último, en la sección 6 se presentan las conclusiones del estudio, las limitaciones encontradas y las direcciones futuras de investigación.

2. Estado del arte

Aunque los efectos positivos de los videojuegos activos en varios segmentos de la población se conocen desde hace algún tiempo [9, 7], los Exergames son juegos que integran la actividad física en la mecánica de un videojuego, proporcionando una experiencia de ejercicio cautivadora e interactiva [5]. A diferencia de los simuladores de carrera o planificadores de rutas, los Exergames utilizan el movimiento físico activo de los jugadores para avanzar en la narrativa del juego y lograr objetivos específicos [10]. Estos juegos promueven la actividad física del

mundo real y ofrecen retroalimentación a través de dispositivos que rastrean y analizan los movimientos del cuerpo [11]. Además, múltiples estudios sugieren que jugar Exergames mejora el bienestar, induce cambios positivos en el estado de ánimo, mantiene los niveles de felicidad y contribuye a una mejor salud física y mental, especialmente en adultos mayores y personas con trastornos neurocognitivos [12, 13, 11, 14, 15].

En el caso de los videojuegos y aplicaciones relacionadas con correr, diversos dispositivos desempeñan roles específicos para mejorar la experiencia general [16]. Plataformas de ejecución, como Smartwatches, Smartphones, ordenadores personales y consolas de juegos, forman la base sobre la cual operan. Los dispositivos de entrada, como teclados, ratones, pantallas táctiles, dispositivos de seguimiento y la interacción por voz, permiten a los usuarios interactuar con el sistema y proporcionar datos para su análisis. Los dispositivos de salida, como monitores, altavoces y proyectores, presentan la información procesada al usuario. Estos dispositivos brindan retroalimentación visual, auditiva y táctil para enriquecer la experiencia de correr. Además, algunos trabajos y aplicaciones incorporan otras fuentes de información para analizar las acciones en la cinta de correr. Por ejemplo, mediante el reconocimiento de actividad basado en visión [17, 18, 19] o proporcionando información a través de sensores vestibles [20] o sensores de proximidad [21], para ofrecer información sobre el comportamiento al caminar [22]. Comprender las características de estos dispositivos permite aprovechar sus capacidades para crear experiencias inmersivas y motivadoras para los usuarios. Esto implica utilizar dispositivos de ejecución, entrada y salida de manera efectiva para mejorar las funcionalidades y la experiencia general del usuario.

En Exergames centrados en correr, se sugiere que los objetivos suelen basarse en los movimientos del jugador. Por ejemplo, en juegos como Ring Fit Adventures(RFA), levantar las rodillas o saltar en el mismo lugar es suficiente para avanzar, sin necesidad de un desplazamiento extenso. Sin embargo, la acción de correr no es natural, y ciertos estudios han probado su adaptación en una cinta de correr [5]. Mientras que algunos estudios apuntaron a desarrollar Exergames para correr en una cinta de correr con métodos de interacción que requerían dispositivos específicos y poco comunes entre el público en general [23, 24], otros estudios han desarrollado sistemas de interacción en diferentes videojuegos utilizando dispositivos más genéricos como rastreadores de actividad o Smartwatches. Por ejemplo, un sistema de interacción basado en gestos para jugar Super Mario World [25].

A nivel de investigación, se están dirigiendo esfuerzos hacia Exergames y simuladores de carrera en cintas de correr, utilizando enfoques como la gamificación, la realidad virtual (VR) y dispositivos de realidad mixta [26, 27, 28, 29]. Estos enfoques tienen como objetivo mejorar la experiencia de correr en cintas de correr, proporcionando beneficios psicológicos y conductuales positivos [28]. Por ejemplo, se ha demostrado que los Exergames ofrecen resultados positivos, como un mayor disfrute del ejercicio y una reducción del comportamiento sedentario. Algunos estudios han explorado las diferencias entre correr en una cinta de correr utilizando un Exergame como RFA en comparación con correr en el suelo, con resultados favorables en términos de la experiencia de correr en cinta [30]. Otros trabajos encontraron que correr en un entorno virtual mejora el estado de ánimo y la atención en los corredores en comparación con ver imágenes neutrales [27]. Un estudio examinó la experiencia de juego y el mareo cibernético en el contexto de un juego de VR en cinta de correr [26]. El trabajo reveló que la VR generaba niveles más altos de fluidez y disfrute, pero también estaba asociada con niveles más altos de mareo cibernético en

comparación con los juegos tradicionales de computadora de escritorio. Además, otros estudios han investigado cómo los entornos naturales pueden proporcionar una experiencia de ejercicio más enriquecedora que los entornos interiores [3]. A pesar de los avances en estos enfoques, todavía existen desafíos tecnológicos y de seguridad que deben abordarse, y la investigación se ha centrado principalmente en poblaciones específicas u objetivos médicos [31]. Por lo tanto, se requiere más investigación para mejorar la experiencia del usuario y abordar problemas como la estabilidad y el mareo [32, 29].

En lo que respecta a los dispositivos de realidad virtual con cintas de correr omnidireccionales, un estudio [26] evaluó el uso de *The Elder Scrolls V: Skyrim* en diferentes condiciones experimentales. Se implementaron tres condiciones: juegos tradicionales de computadora de escritorio, juegos de VR utilizando el casco HTC VIVE y juegos en un entorno de cinta de correr omnidireccional. Los resultados mostraron que los juegos de VR generaban niveles más altos de fluidez y disfrute, pero también inducían un mayor mareo cibernético.

Dado que varios estudios previos han señalado la preocupación por los mareos y las posibles pérdidas de equilibrio al correr en cinta, se enfatiza la importancia de desarrollar una técnica de control del jugador que no solo evite estos problemas, sino que también sea cómoda para fomentar el flujo de juego. En este contexto, se ha explorado la posibilidad de utilizar la interacción facial como una propuesta para el desarrollo de juegos. La interacción facial proporciona una alternativa prometedora, ya que permite a los jugadores controlar el juego utilizando movimientos faciales naturales y sin requerir movimientos físicos intensos que puedan causar desequilibrios o mareos. Este enfoque podría contribuir significativamente a mejorar la experiencia del jugador en Exergames y simuladores de carrera en cintas de correr, al tiempo que aborda los desafíos de seguridad y comodidad asociados con otras formas de interacción.

3. Diseño

Como se mencionó anteriormente, el videojuego presentado en este trabajo combina elementos lúdicos con videojuegos recreativos, con el objetivo de brindar una experiencia agradable y atractiva.

3.1. Diseño conceptual

Este juego, conocido como *Fittoon*, toma inspiración de títulos como *Stumble Guys* [33] y *Fall Guys* [8], combinando la emoción de las carreras de obstáculos con la actividad física, habiendo sido diseñado específicamente para su uso en cintas de correr. Los jugadores se sumergen en un mundo de desafíos y competición, donde la velocidad y la destreza son clave. A diferencia de otros juegos similares, *Fittoon* introduce una dinámica única debido a su enfoque en cintas de correr, lo que transforma por completo las mecánicas del juego. Las carreras se vuelven aún más físicas y llenas de acción, ya que los jugadores deben coordinar su movimiento en la cinta de correr con las acciones de su personaje en pantalla.

En *Fittoon*, los jugadores asumen el control de un corredor en tercera persona y compiten en carreras de obstáculos. El objetivo principal es cruzar la línea de meta antes que los competidores, superando obstáculos ingeniosos y evitando trampas. El juego presenta una jugabilidad multijugador, lo que significa que el usuario compite con otros jugadores reales o con personajes

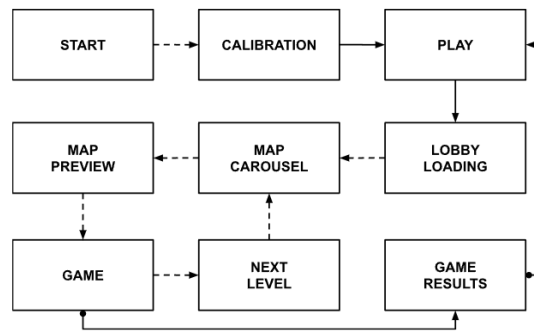


Figure 1: Diagrama de flujo de las escenas

controlados por la inteligencia artificial entrenada (bots) si no hay suficientes jugadores, lo que añade un componente competitivo.

Los controles en Fittoon se han diseñado para ser intuitivos y accesibles. Los jugadores pueden controlar a su corredor en pantalla de manera sencilla, utilizando gestos simples con la cabeza en los entornos 3D y controles táctiles para determinadas pantallas de la interfaz 2D del juego. La jugabilidad se adapta perfectamente a la dinámica de las cintas de correr, lo que permite a los jugadores concentrarse en correr y competir sin complicaciones.

Para dar vida a este emocionante mundo de carreras de obstáculos, se aplicó una metodología de creación de juegos basada en sistemas multiagentes [34]. Con esta metodología, los juegos se componen únicamente de un entorno o espacio compartido y de agentes denominados actores. Donde ambas entidades cuentan con un estado interno que almacena sus propiedades y características. Los agentes observan el estado del entorno de manera continua y perciben y reaccionan a sus condiciones concretas mediante acciones que tienen configuradas mediante scripts. Los cuales se basan en un modelo de especificación de lógicas o mecánicas en videojuegos basado en lógica de predicados y lógica de primer orden que cuenta con un conjunto reducido de acciones y condiciones. Esta elección facilita la especificación del sistema y su reutilización en los diferentes niveles.

3.2. Interfaz

Fittoon presenta una interfaz de usuario intuitiva y sin distracciones, diseñada para sumergir a los jugadores en la acción. Proporciona feedback visual y auditivo para destacar el progreso en la carrera, como efectos visuales al superar obstáculos. Los jugadores recibirán indicaciones visuales y sonoras sobre su progreso en la carrera, como efectos visuales cuando superan obstáculos o recolectan power-ups.

La coordinación fluida entre estas pantallas garantiza que los jugadores puedan acceder a configuraciones, seleccionar niveles, competir en carreras y celebrar sus logros de manera eficiente y emocionante. En la Figura 1, se muestra la disposición de las escenas de la aplicación, donde cada nodo representa una escena y las flechas indican transiciones, algunas automáticas y otras requeridas mediante interacción táctil. Esto facilita la comprensión de la navegación del jugador en el juego.

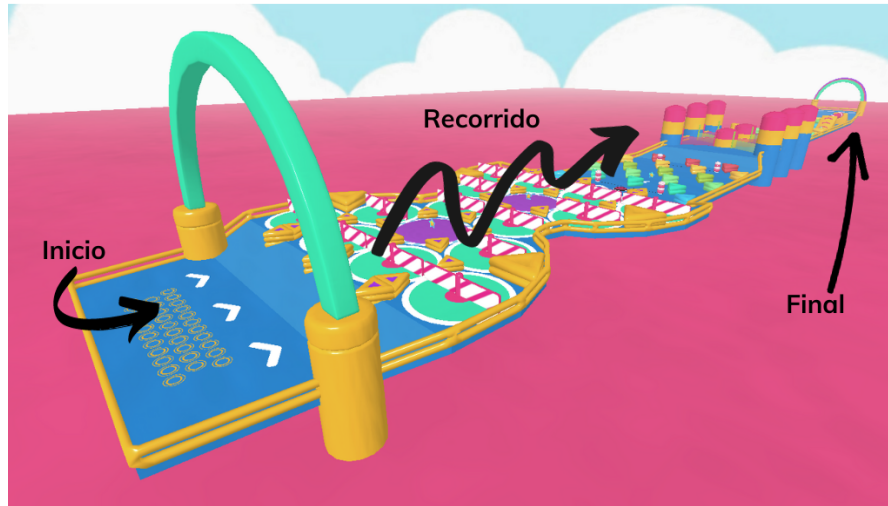


Figure 2: Diseño de nivel

3.3. Mecánicas

En el proceso de diseño conceptual de las mecánicas del juego, hemos considerado cuidadosamente que la acción tenga lugar en una cinta de correr, lo que agrega un elemento físico y una dimensión realista a la experiencia del juego. Esta elección nos permitió explorar mecánicas que hacen un uso inteligente de la velocidad y el movimiento del jugador en la cinta de correr, lo que contribuye a la singularidad del juego. Inspirados en juegos populares como Fall Guys y Stumble Guys, estudiamos sus mecánicas, como carreras en grupo y obstáculos, adaptándolas a nuestra experiencia.

Sin embargo, no nos limitamos a copiar mecánicas existentes. En cambio, evaluamos críticamente cada una de ellas y las adaptamos para que se ajusten a la dinámica específica de nuestro juego en la cinta de correr. Un ejemplo de este proceso es la eliminación de la opción de salto en el juego. Esta decisión se basa en la observación de que, cuando un jugador está corriendo en la cinta, hacer que su personaje salte puede causar una desconexión entre su acción física real y lo que ven en pantalla. Lo mismo ocurre con las caídas o rebotes de los personajes que no se permiten. Estas discrepancias podrían resultar en una experiencia incómoda y desestabilizadora en la cinta de correr.

En cuanto al desarrollo de niveles, hemos diseñado una variedad de obstáculos y desafíos que se ajustan a la temática y mecánicas del juego. Cada nivel se ha creado teniendo en cuenta las capacidades de la cinta de correr, lo que significa que los jugadores podrán ajustar su velocidad y movimientos para superar los obstáculos de manera efectiva (Fig. 2). Los niveles también se han alargado para que tengan una duración aproximada de unos 5 minutos. En la Figura 2 podemos observar un nivel en cámara aérea, consta de un principio en la salida donde esperan los usuarios y bots, el recorrido de obstáculos durante la carrera y una meta final. Las mecánicas principales del juego incluyen:

1. Control del jugador con la cabeza: Los movimientos del usuario controlan la dirección

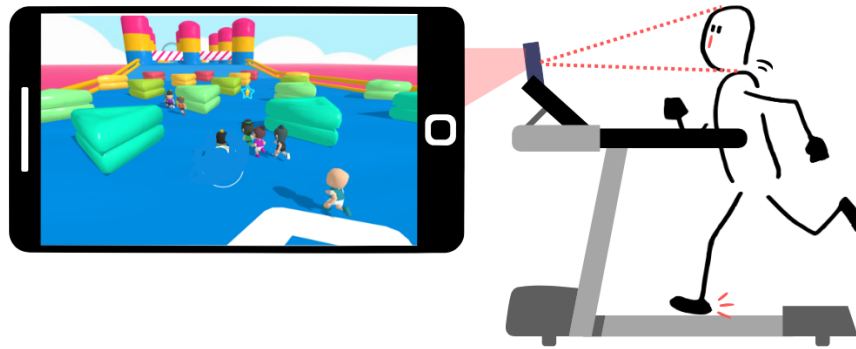


Figure 3: Representación de la interacción del jugador

del personaje en el juego, y la velocidad de carrera en la cinta del usuario se traslada a la velocidad del personaje en pantalla. Este movimiento facilita que el jugador siga corriendo en la cinta sin necesidad de usar un dispositivo que controle al personaje.

2. **Obstáculos Variados:** Se han diseñado diversos obstáculos como aspas giratorias, rampas, paredes móviles, y objetos estáticos como cilindros o trapecios que requieren habilidad para ser esquivados y no producen mareo o desestabilización al jugador.
3. **Potenciadores y Ralentizadores:** Para agregar variedad, se han incorporado potenciadores que benefician al jugador y ralentizadores que aumentan el desafío.

El juego sigue un formato de Battle Royale con 32 jugadores al inicio de cada ronda y tres rondas sucesivas. La eliminación ocurre al finalizar cada ronda, eliminando al 50% de los jugadores que no han superado la prueba. El objetivo final es llegar primero en la última ronda para convertirse en el ganador.

3.4. Interacción

La elección de la interacción sin controles manuales se fundamenta en una serie de trabajos previos realizados por nuestro grupo y en la investigación existente en el campo de la interacción durante la actividad física [30, 5, 18]. Estos estudios abordan la interacción del usuario mientras corre en una cinta de correr y exploran diversas formas de mejorar la experiencia del jugador. Los resultados de estas investigaciones respaldan la idea de que la captura de movimientos faciales, como inclinar o girar la cabeza, puede ser una forma natural y efectiva de interactuar con el juego durante la actividad física en una cinta de correr.

El diseño conceptual de la interacción se enfocó en la idea central de proporcionar a los jugadores una experiencia inmersiva y desafiante mientras corrían en una cinta de correr. La decisión de no utilizar controles manuales se basó en la necesidad de mantener la atención de los jugadores en su actividad física principal: correr. Se consideró que la captura de los movimientos faciales, como inclinar o girar la cabeza, sería la forma más natural de interactuar con el juego durante esta actividad.

Esta interfaz basada en la detección facial utiliza la cámara frontal del dispositivo para capturar los movimientos faciales y la posición de la cabeza del jugador. Estos movimientos se traducen

en comandos de control para el personaje del juego, lo que permite al jugador influir en la velocidad y dirección de su avatar en el juego. Esta elección estratégica tiene como objetivo principal ofrecer una experiencia de juego única y centrada en la actividad física, donde los movimientos faciales se convierten en una extensión natural de la acción física del jugador. En la Figura 3 se puede observar que la interacción mientras el jugador corre en la cinta se traslada a la pantalla de juego, únicamente usando su cabeza para dirigir al personaje y capturar la velocidad.

3.5. Multijugador y bots

Dado que se trata de un juego competitivo de carreras de obstáculos, es imperativo implementar funciones de multijugador online. Esto permite que jugadores de todo el mundo se conecten y compitan en tiempo real, agregando emoción y desafío al enfrentarse entre sí. La naturaleza competitiva del juego cobra vida cuando los jugadores compiten directamente unos contra otros en una experiencia en línea que añade un componente social valioso a la experiencia del juego.

Cuando el modo multijugador online todavía no tiene una base sólida de usuarios, es crucial que las partidas se llenen de jugadores para no desmejorar la experiencia. Esto se consigue mediante la integración de bots, jugadores controlados por la inteligencia artificial del juego. Para lograr entrenar una IA efectiva y auténtica, es esencial invertir tiempo y recursos en su desarrollo mediante el uso de Machine Learning. Los bots deben estar diseñados para comportarse de manera similar a los jugadores humanos, ofreciendo un desafío realista y manteniendo la emoción en las partidas, incluso cuando no hay suficientes jugadores reales disponibles. Esta estrategia permite que los jugadores siempre tengan la oportunidad de disfrutar de partidas competitivas y entretenidas, sin importar la hora o el nivel de actividad del servidor.

4. Implementación

El juego se implementó utilizando el motor de juegos Unity, en su versión 2022.3.2f. Para llevar a cabo los experimentos y pruebas del juego, se utilizaron ordenadores y dispositivos móviles específicos. El juego se desarrolló con un ordenador con un procesador Intel Xeon CPU E5-1660, 32GB RAM y una gráfica NVIDIA Quadro K5000. Además, la versión del juego es compatible con dispositivos móviles, lo que permitió a los usuarios experimentar el juego en sus smartphones. Principalmente ha sido desarrollado en un Redmi Note 8 con Android 11, Octa-core Max2.01GHz y 4GB RAM. En cuanto a la cinta de correr, se utilizó una BH I.RC09 G6180I, que proporcionó una plataforma adecuada para que los usuarios realizaran actividades físicas mientras jugaban al juego.

4.1. Interacción

Más allá de la inmersión y la estabilidad, la interacción desempeña un papel crucial al detectar y aplicar la velocidad del jugador al personaje del juego. Para ello nos hemos valido del uso de AR Session, parte de AR Foundation [35], un conjunto de herramientas de Unity que permite desarrollar aplicaciones de AR que funcionen tanto en dispositivos iOS como en dispositivos Android utilizando ARKit y ARCore respectivamente.

A medida que el usuario corre en la cinta de correr, el sistema AR sigue su rostro y utiliza los datos recopilados, mediante el Game Object que se genera como máscara del usuario, para calcular su velocidad. Los datos se suavizan mediante un low pass filter [36] para una experiencia fluida. Este cálculo se basa en la observación del ritmo de movimiento de la cabeza del jugador o en los cambios en la posición de los puntos de referencia de su cabeza. En la Figura 4 se puede observar el proceso por el cuál a través de la cámara frontal del smartphone, capturamos los giros y posición de la cabeza del usuario para trasladarlos al personaje del juego como su velocidad y la dirección de rotación de su dirección.

La velocidad del personaje se ajusta dinámicamente según la velocidad real del usuario en la cinta de correr, utilizando el desplazamiento en Y del objeto de seguimiento facial. Una vez que se ha detectado y calculado la velocidad del jugador, esta información se comunica al personaje del juego a través de la lógica de programación. La sincronización precisa entre la velocidad del jugador y la del personaje del juego es esencial para asegurar que la experiencia resulte lo más realista posible. Por ejemplo, si el jugador incrementa su velocidad en la cinta, el personaje del juego también acelera en consonancia.

Cuando un jugador está corriendo en la cinta de correr y desea que su personaje en el juego gire en una dirección específica, simplemente gira la cabeza en esa dirección. La rotación en el eje Y se utiliza para controlar la dirección del giro del personaje en la pantalla. A medida que el jugador gira la cabeza hacia la derecha o la izquierda, el personaje del juego responde de manera inmediata, girando en la misma dirección. La velocidad y la amplitud de los giros del personaje en el juego están directamente relacionadas con la velocidad y el ángulo de inclinación de la cabeza del jugador en el mundo real.

4.2. Multijugador online

Al tratarse de un juego competitivo entre jugadores ha sido necesario implementar funcionalidades multijugador y de conectividad. Además el juego cuenta con un entorno con físicas cinemáticas simuladas lo que requiere prestar especial atención a la sincronización.

Para poder conectar a diferentes jugadores y que interactúen en emocionantes carreras competitivas se han utilizado diferentes librerías de Unity que facilitan estas tareas. Netcode for Gameobjects ha sido esencial para la precisa sincronización de los jugadores y los objetos en tiempo real. Esta librería permite además inicializar el juego tanto como servidor o host como

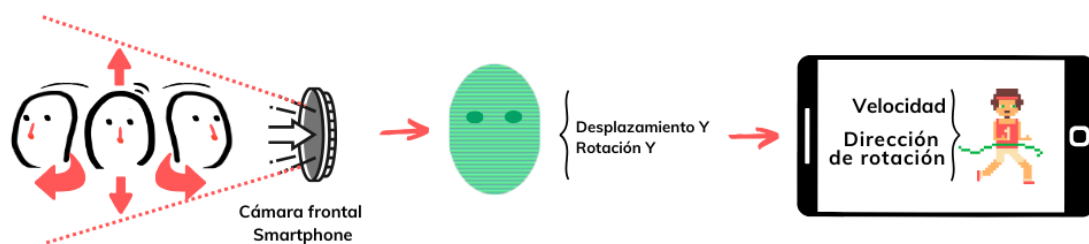


Figure 4: Proceso de captura y aplicación de la velocidad

cliente. Es importante mencionar que Netcode utiliza un Network Manager que se encarga de gestionar la aparición de los jugadores en el mapa de juego en cada cliente que entre en la partida.

A la hora de programar las funciones multijugador ha sido muy importante emplear Remote Procedure Calls (RPC) y Network Variables. Los RPC son funciones especiales que permiten sincronizar el servidor con los clientes en acciones puntualizadas como podría ser actualizar el valor de un marcador o activar un evento simultáneamente entre todos los jugadores. Por un lado están los Server-RPC que solo pueden ser llamados por un cliente y es ejecutado únicamente en el servidor y por otro lado están los Client-RPC que son llamados por el servidor y ejecutados en todos los clientes al mismo tiempo. Las Network Variables son otro método relevante con un objetivo similar pero a diferencia de los RPC, estas variables se encuentran sincronizadas continuamente en red lo que permite la comunicación en tiempo real de todos los jugadores así como la sincronización de datos cruciales como sus posiciones.

Se han empleado también las librerías de Unity Relay y Unity Multiplay en conjunto para proporcionar una infraestructura de red confiable, permitiendo la conexión fluida entre jugadores de todo el mundo y gestionando la latencia para una experiencia sin interrupciones. Además, Multiplay ha facilitado la creación y gestión de lobbys automatizados sin necesidad de utilizar códigos para interconectar a los jugadores en las partidas.

4.3. Machine learning

En el ámbito del Machine Learning, Unity ofrece ML Agents, una poderosa herramienta para entrenar la inteligencia artificial de los bots. Para ello, se crea un entorno virtual gestionado mediante comandos de git, donde se almacenan los cálculos y decisiones de la IA. Se va reiterando y mejorando gradualmente el modelo. Es esencial programar adecuadamente el agente y considerar factores clave antes de construir un modelo efectivo.

El primer factor a considerar es el conjunto de inputs que tiene el agente a su disposición. En nuestro caso estos serían únicamente 2: la velocidad del jugador y su rotación en el eje vertical. Posteriormente se indican los observadores. Estos pueden incluir sensores para mayor precisión cómo sería el caso de los raycasts. En los observadores hay que añadir aquellos elementos que queramos que la IA tenga en cuenta a la hora de tomar sus decisiones. En nuestro caso se han utilizado varias etiquetas que indican si un elemento es considerado pared, suelo, un punto de control o la meta. Estos puntos de control son parte del siguiente factor, las recompensas y las penalizaciones.

Las recompensas y penalizaciones son fundamentales para guiar el aprendizaje de la IA mediante un sistema de puntuación. Para ello, se han colocado puntos de control a lo largo del circuito, recompensando su puntuación cuando son alcanzados y penalizándolos cuando la IA avanza en una dirección incorrecta o colisiona repetidamente con los límites u obstáculos.

Una vez que se establecen todos estos factores, se inicia el proceso de entrenamiento del modelo. Esto implica enseñar a la IA paso a paso, aumentando gradualmente la complejidad. Comenzamos con bots en un circuito lineal sin obstáculos para que aprendan a avanzar hacia la meta. Luego, introducimos obstáculos cada vez más numerosos y desafiantes hasta lograr un modelo satisfactorio. Con un entrenamiento exitoso, la IA debería ser capaz de navegar por cualquier circuito con obstáculos de manera competente. Este proceso de aprendizaje

progresivo asegura que nuestros bots se vuelvan cada vez más inteligentes y eficaces en sus tareas asignadas.

5. Limitaciones

A lo largo del desarrollo del proyecto, enfrentamos diversas limitaciones. En primer lugar, la adaptación de las mecánicas ya conocidas en juegos como el Fall Guys a nuestro juego para funcionar de manera segura en una cinta de correr. Como ya se ha comentado antes, se ha eliminado la opción de salto debido a que podría causar desestabilización en la cinta mientras el jugador corre. Y algunas de las mecánicas que provocan que el personaje se caiga o se tropiece mientras está corriendo, también han sido obviadas.

A nivel técnico, la detección precisa de movimientos faciales y la sincronización exacta entre la velocidad del jugador y la del personaje del juego presentaron desafíos de programación. Por ejemplo, asegurarnos de que el personaje respondiera de manera inmediata y precisa a los gestos faciales del jugador fue un proceso que requirió refinamiento constante. También enfrentamos restricciones de rendimiento al ejecutar AR en dispositivos móviles, lo que nos llevó a optimizar constantemente el juego para garantizar una experiencia fluida.

La implementación del multijugador online ha sido todo un desafío no exento de limitaciones técnicas. El juego no cuenta con su propio servidor sino que los propios jugadores harían de host de las partidas. Esto implica que la transmisión de datos entre dispositivos y los cálculos de física están estrechamente vinculados al dispositivo del host, lo que introduce una dosis de impredecibilidad importante. Por lo tanto una de las principales limitaciones ha sido la sincronización de físicas dinámicas en tiempo real entre múltiples jugadores ya que los cálculos deben ser precisos y consistentes para todos los jugadores. Las diferencias en la latencia de red y las velocidades de conexión pueden causar desajustes en la posición y el movimiento de los objetos, lo que afecta negativamente a la experiencia del jugador. Es por ello que hemos optado por implementar y sincronizar solamente físicas cinemáticas ya que requieren menor uso de ancho de banda y no crea problemas de latencia significativos. Además, hemos enfrentado desafíos relacionados con la escalabilidad, ya que mantener un alto rendimiento y estabilidad cuando numerosos jugadores están interactuando simultáneamente puede ser complicado.

6. Conclusiones y trabajo futuro

Se pueden extraer varias conclusiones relevantes de este análisis en profundidad sobre el desarrollo de un videojuego diseñado para su uso en una cinta de correr, centrándose en la tecnología de seguimiento de la cabeza y las mecánicas de juego adaptadas a esta plataforma.

El enfoque en la interacción facial proporciona una experiencia de juego única y altamente inmersiva. Esto demuestra el potencial de utilizar la tecnología del software de Realidad Aumentada para crear juegos que se adapten a los movimientos naturales del jugador y brinden una experiencia más inmersiva. Como se ha ilustrado en este proyecto, las elecciones de diseño pueden tener un impacto significativo en la vivencia del jugador, lo que subraya la importancia de adaptar las mecánicas de juego a la plataforma elegida. Este enfoque novedoso

en la interacción facial abre nuevas posibilidades para el diseño de experiencias interactivas únicas y emocionantes que aprovechan al máximo la tecnología disponible.

A pesar de no incluir pruebas de usuarios en este análisis, se pueden vislumbrar posibles beneficios con este tipo de experiencias jugables. La combinación de actividad física con entretenimiento interactivo tiene el potencial de mejorar el bienestar físico y mental de los jugadores. Sin embargo, se requiere investigación adicional y pruebas con usuarios para comprender completamente cómo influye en la salud y el disfrute de los jugadores. Estudios futuros pueden evaluar aspectos como el impacto en la motivación para hacer ejercicio, la mejora del estado de ánimo y la satisfacción general del usuario.

Además, se puede trabajar en la expansión del juego, agregando más niveles, obstáculos y modos de juego para mantener a los jugadores comprometidos y entretenidos. También es posible explorar opciones de monetización, como la venta de contenido adicional o la inclusión de anuncios publicitarios en el juego.

En resumen, el proyecto presentado abre nuevas perspectivas para el desarrollo de videojuegos que combinan actividad deportiva y entretenimiento interactivo. A pesar de los desafíos técnicos y conceptuales abordados, se ha trazado un camino prometedor hacia la creación de juegos que fomenten la actividad física y permitan una inmersión parcial o total en mundos virtuales llenos de desafíos y competencia. El uso de la tecnología de seguimiento cefálico y la integración de ejercicio física en la mecánica del juego representan una dirección emocionante para la industria del entretenimiento digital, con el potencial de mejorar la salud y el bienestar de los jugadores.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado en el marco del proyecto de investigación PDC2021-120997-C31 financiado por MCIN/AEI, con ayuda del programa "European Union NextgenerationEU/PRTR", y la subvención CIAICO/2021/037 de la Generalitat Valenciana. También ha contado con el respaldo de valgrAI, la Escuela de Posgrado y Red de Investigación de Inteligencia Artificial, y la Generalitat Valenciana, con cofinanciación de la Unión Europea.

References

- [1] Strava, Strava's year in sport 2021 charts trajectory of ongoing sports boom, <https://blog.strava.com/ea/press/yis2021/>, 2021. [Accessed 26-09-2023].
- [2] Bicycling, Industry Insiders Say the Pandemic-Fueled Bike Shortage Will Likely Continue for the Foreseeable Future, <https://www.bicycling.com/news/a34587945/coronavirus-bike-shortage/>, 2022. [Accessed 26-09-2023].
- [3] D. Araújo, E. Brymer, H. Brito, R. Withagen, K. Davids, The empowering variability of affordances of nature: Why do exercisers feel better after performing the same exercise in natural environments than in indoor environments?, *Psychology of Sport and Exercise* 42 (2019) 138–145.
- [4] Y. Oh, S. Yang, Defining exergames & exergaming, *Proceedings of meaningful play 2010* (2010) 21–23.

- [5] M. Martin, M. Chover, E. Sáez, C. Marín-Lora, Comparison between running on a treadmill in a simulator and in a video game, in: *International Conference on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence*, Springer, 2022, pp. 145–156.
- [6] M. Janssen, J. Scheerder, E. Thibaut, A. Brombacher, S. Vos, Who uses running apps and sports watches? determinants and consumer profiles of event runners' usage of running-related smartphone applications and sports watches, *PloS one* 12 (2017) e0181167.
- [7] Y. Gao, R. Mandryk, The acute cognitive benefits of casual exergame play, in: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2012, pp. 1863–1872.
- [8] Mediatonic, Fall Guys, <https://www.fallguys.com/>, 2020. [Accessed 26-09-2023].
- [9] Y. Liang, P. W. Lau, Effects of active videogames on physical activity and related outcomes among healthy children: A systematic review, *GAMES FOR HEALTH: Research, Development, and Clinical Applications* 3 (2014) 122–144.
- [10] M. N. K. Boulos, S. P. Yang, Mobile physical activity planning and tracking: a brief overview of current options and desiderata for future solutions, *Mhealth* 7 (2021).
- [11] A. Gouaïch, N. Hocine, et al., Mixed reality serious games for post stroke rehabilitation, in: *PervasiveHealth 2011-5th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, 2011, pp. 530–537.
- [12] N. Swinnen, M. Vandenbulcke, D. Vancampfort, Exergames in people with major neurocognitive disorder: a systematic review, *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology* 17 (2022) 376–389.
- [13] H. V. Nguyen, H.-C. Huang, M.-K. Wong, Y.-H. Yang, T.-L. Huang, C.-I. Teng, Moderator roles of optimism and weight control on the impact of playing exergames on happiness: The perspective of social cognitive theory using a randomized controlled trial, *Games for health journal* 7 (2018) 246–252.
- [14] H.-C. Huang, H. V. Nguyen, T. Cheng, M.-K. Wong, H.-Y. Chiu, Y.-H. Yang, C.-I. Teng, A randomized controlled trial on the role of enthusiasm about exergames: Players' perceptions of exercise, *Games for health journal* 8 (2019) 220–226.
- [15] M. T. S. Costa, L. P. Vieira, E. de Oliveira Barbosa, L. M. Oliveira, P. Maillot, C. A. O. Vagheti, M. G. Carta, S. Machado, V. Gatica-Rojas, R. S. Monteiro-Junior, Virtual reality-based exercise with exergames as medicine in different contexts: A short review, *Clinical practice and epidemiology in mental health: CP & EMH* 15 (2019) 15.
- [16] C. Shen, K. Ryall, C. Forlines, A. Esenther, F. D. Vernier, K. Everitt, M. Wu, D. Wigdor, M. R. Morris, M. Hancock, et al., Informing the design of direct-touch tabletops, *IEEE computer graphics and applications* 26 (2006) 36–46.
- [17] M. Vrigkas, C. Nikou, I. A. Kakadiaris, A review of human activity recognition methods, *Frontiers in Robotics and AI* 2 (2015) 28.
- [18] C. Marín-Lora, M. Martin, M. Chover, A face-tracking method for estimating cadence on treadmills, in: *International Conference on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence*, Springer, 2022, pp. 949–954.
- [19] B. Javidi, F. Pla, J. M. Sotoca, X. Shen, P. Latorre-Carmona, M. Martínez-Corral, R. Fernández-Beltrán, G. Krishnan, Fundamentals of automated human gesture recognition using 3d integral imaging: a tutorial, *Advances in Optics and Photonics* 12 (2020) 1237–1299.
- [20] M. Cornacchia, K. Ozcan, Y. Zheng, S. Velipasalar, A survey on activity detection and classification using wearable sensors, *IEEE Sensors Journal* 17 (2016) 386–403.

- [21] H. Ding, L. Shangguan, Z. Yang, J. Han, Z. Zhou, P. Yang, W. Xi, J. Zhao, Femo: A platform for free-weight exercise monitoring with rfids, in: Proceedings of the 13th ACM conference on embedded networked sensor systems, 2015, pp. 141–154.
- [22] M. Lee, C. Youm, B. Noh, H. Park, Gait characteristics based on shoe-type inertial measurement units in healthy young adults during treadmill walking, *Sensors* 20 (2020) 2095.
- [23] V.-M. Nurkkala, J. Kalermo, T. Jarvilehto, Development of exergaming simulator for gym training, exercise testing and rehabilitation, *Journal of Communication and Computer* 11 (2014) 403–411.
- [24] M. Ahn, S. Kwon, B. Park, K. Cho, S. P. Choe, I. Hwang, H. Jang, J. Park, Y. Rhee, J. Song, Running or gaming, in: Proceedings of the international conference on advances in computer entertainment technology, 2009, pp. 345–348.
- [25] T. H. Nascimento, F. A. A. Soares, H. A. Nascimento, R. L. Salvini, M. M. Luna, C. Gonçalves, E. F. Souza, Interaction with platform games using smartwatches and continuous gesture recognition: a case study, in: 2018 IEEE 42nd Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), volume 2, IEEE, 2018, pp. 253–258.
- [26] L.-O. Wehden, F. Reer, R. Janzik, W. Y. Tang, T. Quandt, The slippery path to total presence: How omnidirectional virtual reality treadmills influence the gaming experience, *Media and Communication* 9 (2021) 5–16.
- [27] D. L. Neumann, R. L. Moffitt, Affective and attentional states when running in a virtual reality environment, *Sports* 6 (2018) 71.
- [28] A. Matallaoui, J. Koivisto, J. Hamari, R. Zarnekow, How effective is “exergamification”? a systematic review on the effectiveness of gamification features in exergames (2017).
- [29] H. Cherni, S. Nicolas, N. Metayer, Using virtual reality treadmill as a locomotion technique in a navigation task: Impact on user experience—case of the katwalk, *International Journal of Virtual Reality* 21 (2021) 1–14.
- [30] M. Y. Martin, E. Sáez Soro, C. Marin-Lora, M. Chover, Playing ring fit adventures on the floor or on a treadmill: a comparative study, *CEUR Workshop Proceedings*, 2022.
- [31] A. C. i Martí, J. C. Álvarez-Pitti, J. G. Provinciale, J. F. Lisón, R. B. Rivera, Alternative options for prescribing physical activity among obese children and adolescents: brisk walking supported by an exergaming platform, *Nutricion hospitalaria* 31 (2015) 841–848.
- [32] J. Lohman, L. Turchet, Evaluating cybersickness of walking on an omnidirectional treadmill in virtual reality, *IEEE Transactions on Human-Machine Systems* 52 (2022) 613–623.
- [33] K. Games, Stumble Guys, <https://www.stumbleguys.com/>, 2020. [Accessed 26-09-2023].
- [34] C. Marín-Lora, M. Chover, J. M. Sotoca, L. A. García, A game engine to make games as multi-agent systems, *Advances in Engineering Software* 140 (2020) 102732.
- [35] U. Technologies, AR Foundation | AR Foundation | 6.0.0-pre.3 – 6.0, <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.foundation@6.0/manual/index.html>, 2023. [Accessed 26-09-2023].
- [36] G. Casiez, N. Roussel, D. Vogel, 1€ filter: a simple speed-based low-pass filter for noisy input in interactive systems, in: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2012, pp. 2527–2530.