

Progetto 06 – Exergaming per la Riabilitazione Motoria

Cevoli Elisa
Matricola: s330775
2023-2024

1 – Introduzione

Il progetto mira a sviluppare exergame interattivi che combinano esercizio fisico e divertimento per migliorare vari aspetti della salute del paziente, come equilibrio, controllo motorio e forza muscolare. Partendo dalla necessità di rendere la riabilitazione più coinvolgente e motivante, gli obiettivi del progetto includono la progettazione di giochi con specifici target di riabilitazione, l'implementazione di tecnologie per il monitoraggio dei movimenti del paziente e la fornitura di feedback visivi e uditivi per facilitare l'interazione con il gioco. L'architettura del sistema prevede l'utilizzo di una webcam per l'acquisizione delle immagini e di OpenPose, uno strumento basato su reti neurali convoluzionali, per il riconoscimento e la segmentazione dei soggetti umani. OpenPose traccia i giunti chiave del corpo e costruisce uno scheletro del soggetto, consentendo una segmentazione accurata. Il sistema fornisce feedback in tempo reale per aiutare il paziente a eseguire correttamente gli esercizi e monitorare i progressi nella riabilitazione.

2 – Attività di analisi, studio e progettazione

Gli exergame sono giochi interattivi progettati per combinare esercizio fisico e divertimento, con l'obiettivo di migliorare vari aspetti della salute del paziente, come equilibrio, controllo motorio e forza muscolare. Ogni exergame deve avere un obiettivo specifico per mantenere alta la motivazione del paziente e un bersaglio che il soggetto deve seguire per completare l'esercizio.

Per utilizzare un exergame, è necessaria una tecnologia in grado di riconoscere il soggetto e monitorarne i movimenti. Tra i dispositivi comunemente impiegati troviamo fotocamere, Wii Balance, sensori inerziali e camere RGB e RGB-D. È fondamentale che ogni gioco fornisca feedback visivi e/o uditivi, permettendo al soggetto di capire se sta eseguendo correttamente l'esercizio. Questi feedback facilitano l'interazione tra il paziente e il gioco, rendendo l'esperienza più coinvolgente e efficace.

Nel progetto sono stati sviluppati tre exergame principali con obiettivi diversi. Il primo exergame è progettato per migliorare l'equilibrio: il soggetto deve spostare orizzontalmente il proprio centro di massa (CoM) senza muovere i piedi, cercando di allinearlo a un bersaglio che si muove lungo la coordinata orizzontale. Questo esercizio si concentra sull'equilibrio e la stabilità, richiedendo il controllo del bacino tramite caviglia e anca. Il secondo exergame mira a migliorare il controllo motorio: il soggetto deve muovere i piedi per spostare orizzontalmente il proprio CoM, allineandolo a un bersaglio mobile. Questo esercizio richiede movimenti più ampi rispetto al primo e si focalizza sulla deambulazione e sui trasferimenti. Il terzo exergame è finalizzato a rafforzare i muscoli degli arti inferiori: il soggetto deve spostare verticalmente il proprio CoM eseguendo flessioni ed estensioni delle gambe, riallineandolo a un bersaglio che si muove lungo la coordinata verticale. Questo esercizio si concentra sul rafforzamento dei muscoli antigravitazionali per il controllo dell'abbassamento del CoM.

In tutti e tre gli exergame, il bersaglio che il paziente deve raggiungere è indicato da un pallino rosso, mentre il CoM del paziente è rappresentato da un pallino blu. Una webcam del computer viene utilizzata per riconoscere il paziente e monitorare i suoi movimenti. Quando il paziente riesce a raggiungere il bersaglio, il pallino blu che rappresenta il CoM diventa verde ed emette un suono, fornendo così un feedback visivo e uditivo per segnalare il successo.

È stato utilizzato OpenPose, uno strumento avanzato basato su reti neurali convoluzionali (CNN), per il riconoscimento e la segmentazione dei soggetti umani. OpenPose utilizza mappe di probabilità delle posizioni dei giunti (part affinity fields, PAFs) per identificare e tracciare i giunti chiave del corpo, come spalle, gomiti e ginocchia, costruendo uno scheletro del soggetto. Questo processo consente una segmentazione accurata del soggetto dall'immagine. OpenPose funziona efficacemente anche in condizioni di illuminazione meno ideali e può rilevare pose multiple simultaneamente, rendendolo utile in diverse applicazioni come realtà aumentata, sorveglianza e medicina sportiva.

3 – Attività di sviluppo e prototipazione

Il setup sperimentale prevede l'uso di una webcam per l'acquisizione delle immagini. Con Matlab sono state implementate le funzioni per il riconoscimento delle articolazioni (OpenPose) e il calcolo del centro di massa.

La struttura generale di questo progetto è caratterizzata da quattro fasi principali:

1. Definizione degli obiettivi di gioco: l'obiettivo deve essere motivante per il paziente
2. Personalizzazione del gioco: si definiscono i parametri soggetto-specifici, come lo spazio di lavoro (reachable workspace, RW), in base all'esercizio di riabilitazione
3. Exergaming: elaborazione in tempo reale che permette al soggetto di eseguire l'esercizio di riabilitazione per raggiungere l'obiettivo del gioco.
4. Rapporto clinico: raccolta di variabili cliniche che forniscono indicazioni sull'eventuale miglioramento della riabilitazione.

La fase di personalizzazione del gioco del nostro progetto prevede l'utilizzo di una rete neurale pre-addestrata di OpenPose. Dopo aver importato i layer e considerato solo quelli di interesse, è stata stabilita una connessione con una webcam. La risoluzione della webcam di 1280x720 è stata abbassata per permettere maggiore fluidità del gioco real-time, utilizzando una risoluzione di 640x480.

L'acquisizione statica real-time delle immagini avviene tramite la funzione `snapshot` che cattura un frame dalla webcam. L'immagine acquisita, prima sfondo (B) e poi soggetto sullo sfondo (I), è stata invertita utilizzando la funzione `INVERT_IMG` per eliminare l'effetto specchio. In aggiunta per velocizzare il processo di identificazione dei giunti le immagini vengono ridotte a un terzo delle loro dimensioni originali. L'immagine modificata viene poi salvata in un `dlarray`, che è il formato utile per rappresentare e gestire i dati multi-dimensionali adatti per il deep learning in Matlab. La rete predice le heatmap e i PAFs, che sono output dai layer convoluzionali 2D della rete. Le heatmap rappresentano la probabilità della presenza di una parte del corpo e vengono usate per identificare i giunti, mentre i PAFs sono vettori che connettono i giunti in modo coerente seguendo la struttura anatomica corretta. Sono stati poi estratti i dati numerici delle heatmap, rimuovendo il canale di background, e estratti i dati numerici dei PAF. Sono stati impostati alcuni parametri per la rilevazione delle pose del corpo, come il numero minimo di parti da considerare per una posa valida (`MIN_PARTS`) e la soglia di affinità tra due punti chiave (`PAF_THRESH`). La funzione `renderBodyPoses` viene usata per fare il match tra l'immagine originale e le pose rilevate, producendo un output `poses` che rappresenta i giunti identificati e le loro coordinate. Le coordinate (x, y) dei giunti vengono riorganizzate in una matrice 18x2, con i giunti sulle righe e le coordinate sulle colonne. Viene calcolato il centro di massa (centroid) con la funzione `CoM_computation.m` utilizzando `regionprops` per trovare il centroide della regione contenente i giunti, e le coordinate del centroide sono convertite per adattare alla dimensione dell'immagine originale e delle heatmap, restituendo il centroide calcolato.

È necessario definire un RW: in linea generale è stato definito in funzione di un multiplo della distanza tra due giunti. La distanza tra due giunti è stata calcolata implementando la funzione `joint_distance.m` che calcola la distanza tra due punti. Infine, è stato inizializzato casualmente un

bersaglio all'interno dei limiti del RW, con una certa percentuale (tra 0 e 1). Il RW è stato scelto diversamente a seconda dell'esercizio riabilitativo.

La fase di *exergamig* è la fase in cui avviene l'elaborazione in real-time. Durante l'esercizio, il CoM del soggetto viene confrontato con la posizione del target. Quando il CoM si allinea al target entro una soglia predefinita, il target è raggiunto, viene aumentato il punteggio (score) e vengono forniti dei feedback visivi (il CoM diventa verde) e uditivi (suono). Il feedback uditivo è implementato utilizzando la funzione *audioread* per leggere un file audio e *sound* per riprodurre il suono. La velocità con cui il soggetto raggiunge il target è calcolata registrando il tempo di inizio e di fine dell'esercizio (singola ripetizione) e la distanza percorsa dal CoM.

Il loop principale dello script aggiorna continuamente l'immagine acquisita, calcola il CoM, verifica l'allineamento con il target e fornisce feedback. Il loop continua fino a quando il soggetto raggiunge il numero massimo di target, impostato a 10, o il tempo massimo di 3 minuti è scaduto.

La funzione *gameOver.m* fornisce riscontri visivi e sonori alla fine del gioco. Quando il soggetto ha raggiunto il numero massimo di target viene mostrato uno schermo verde con i complimenti, se invece è scaduto il tempo viene mostrato un feedback di incoraggiamento.

3.1 – Esercizio “Improve your balance”

L'obiettivo del primo esercizio riabilitativo è il miglioramento dell'equilibrio. È richiesto al soggetto di spostare orizzontalmente il proprio CoM senza muovere i piedi per allinearsi a un target che si muove lungo la coordinata orizzontale.

La larghezza (width) viene calcolata come 2 volte la distanza tra i polsi, oppure 4 volte la distanza tra le spalle. I limiti inferiore e superiore della RW sono stati calcolati sottraendo e aggiungendo metà della larghezza alla coordinata x del CoM. Il target viene inizializzato casualmente all'interno di questi limiti, con una percentuale di 0.8 della larghezza totale del RW, lungo l'asse x e sulla coordinata y del centroide. In questo modo il target si potrà muovere solo lungo l'asse orizzontale.

Durante l'esercizio, il CoM del soggetto viene confrontato con la posizione del target e quando questi sono allineati la ripetizione è completata e il target viene ri-inizializzato nuovamente in modo casuale. Dato che il RW di questo esercizio è limitata, per evitare che il target venga ri-inizializzato molto vicino al CoM corrente, è stata definita una distanza minima tra target e CoM.

3.2 – Esercizio “Improve your motor control”

L'obiettivo del primo esercizio riabilitativo è il miglioramento del controllo motorio. È richiesto al soggetto di muovere il CoM facendo passi laterali per allinearsi a un target che si muove orizzontalmente.

Lo script segue una struttura simile al primo, ma include la gestione dei movimenti dei piedi e viene definito un intervallo che evita i bordi dell'immagine. Infatti, i limiti della RW sono impostati in modo diverso: il limite inferiore è definito come 1 unità più la larghezza, mentre il limite superiore è dato dalla dimensione orizzontale dell'immagine meno la larghezza. Il target viene quindi inizializzato casualmente all'interno di questi limiti lungo l'asse x e sulla coordinata y del centroide.

Durante l'esercizio, il CoM del soggetto viene confrontato con la posizione del target e quando questi sono allineati la ripetizione è completata e il target viene ri-inizializzato nuovamente in modo casuale.

3.3 – Esercizio “Improve your strength of lower limbs”

L'obiettivo del primo esercizio riabilitativo è il rafforzamento dei muscoli degli arti inferiori. È richiesto al soggetto di fare squat per spostare verticalmente il CoM e allinearsi a un target che si muove lungo la coordinata verticale.

In questo esercizio lo spostamento del target non è più orizzontale ma invece deve avvenire verticalmente, mantenendo i piedi fermi. È definita una soglia (*down_th*) che limita quanto in basso

il target si deve posizionare per fare gli esercizi. Il limite inferiore di RW è il valore della coordinata y del centroide, mentre il limite superiore è dato dalla somma del limite inferiore e della soglia down_th. La variabile target viene poi inizializzata con il valore del centroide nella prima dimensione e con un valore casuale generato nella seconda dimensione all'interno dei limiti definiti da RW.

Durante l'esercizio, il CoM del soggetto viene confrontato con la posizione del target e quando questi sono allineati la ripetizione è completata e il target viene ri-inizializzato nuovamente in modo casuale.

4 – Risultati e conclusioni

Nel primo esercizio riabilitativo, la variabile RW era stata inizialmente definita in funzione della distanza tra i due polsi. Tuttavia, per rendere l'esercizio più inclusivo, è stata introdotta una nuova definizione della RW basata sulla distanza tra le due spalle, che sono sempre state rilevate correttamente. Questa modifica è particolarmente significativa perché consente di proseguire con l'esercizio anche per i pazienti che non hanno uno o entrambi gli arti superiori, garantendo un'esperienza di riabilitazione più accessibile e inclusiva per tutti.

È consigliato impostare bassi i parametri che definiscono la difficoltà del gioco, come la larghezza per gli esercizi 1 e 2 e la soglia per l'esercizio 3, aumentandoli progressivamente durante la terapia riabilitativa per incrementare gradualmente la difficoltà degli esercizi.

Alla fine di ogni esercizio viene compilato un report clinico che contiene alcune variabili cliniche (RW, velocità di raggiungimento di ogni target, tempo totale per completare l'esercizio e numero di target raggiunti), per rappresentare la strategia utilizzata per raggiungere l'obiettivo del gioco. Queste variabili saranno poi analizzate dal clinico, che deciderà se la riabilitazione sta funzionando.

Gli exergame hanno numerosi vantaggi, come l'interattività e la personalizzazione degli esercizi, che aumentano la motivazione del paziente. Tuttavia, il progetto richiede condizioni ambientali ottimali per l'acquisizione delle immagini e l'efficienza degli algoritmi di riconoscimento. I punti di miglioramento suggeriti includono il miglioramento della precisione nel riconoscimento delle articolazioni e l'ottimizzazione delle performance degli script per ridurre il tempo di elaborazione e aumentare la fluidità dell'esperienza di gioco, mantenendo una buona risoluzione della webcam.

5 – Allegati

Cartella compressa contenente i codici sorgenti, frame acquisiti, report clinici e video di esecuzione.

Nota: i video degli esercizi sono stati registrati con una risoluzione piuttosto bassa, poiché l'uso simultaneo dell'applicazione di registrazione dello schermo e dell'esecuzione del programma rallentava notevolmente l'intero processo.