

Deep Learning e Virtual Reality per lo Sviluppo di Serious Games Immersivi in Ambito Riabilitativo

Danilo Avola¹, Marco Bernardi¹, Luigi Cinque¹, Gian Luca Foresti², Marco Raoul Marini¹

¹Dipartimento di Informatica, Sapienza Università di Roma, Via Salaria 113, 00198, Roma

²Dipartimento di Matematica, Informatica, e Fisica, Università di Udine, Via delle Scienze 206, 33100, Udine
{avola, bernardi, cinque, marini}@di.uniroma1.it
gianluca.foresti@uniud.it

Abstract

Ictus, interventi chirurgici o malattie degenerative possono compromettere le capacità motorie e l'equilibrio. La riabilitazione a lungo termine è, in molti casi, l'unico modo per recuperare le diverse funzionalità. In questo contributo è presentato un sistema interattivo, a basso costo, per la riabilitazione dell'intero corpo. Questo sistema combina due Natural User Interface (NUI), per la modellazione di mani e corpo e un Head Mounted Display (HMD) per fornire al paziente un ambiente virtuale nel quale eseguire esercizi di riabilitazione, proposti come giochi stimolanti. In aggiunta, è stata utilizzata una Gated Recurrent Unit-Recurrent Neural Network (GRU-RNN) per la valutazione oggettiva del grado di recupero dei pazienti. Gli esperimenti svolti hanno evidenziato la versatilità, l'efficacia e l'innovazione del sistema proposto.

1 Introduzione

Le abilità motorie e il controllo del bilanciamento possono essere compromessi da un'ampia gamma di eventi avversi, inclusi ictus, traumi cranici, malattie degenerative, processi naturali di invecchiamento e altri. A ogni modo, indipendentemente dall'evento specifico, il corpo umano, a qualsiasi età, tende a recuperare quanto più possibile queste abilità perse. In questo contesto, gli esercizi di riabilitazione svolgono un ruolo chiave, in quanto consentono ai pazienti di massimizzare le loro possibilità di recupero. Per essere efficace, il processo di riabilitazione deve seguire tre regole principali. Innanzitutto, gli esercizi di riabilitazione devono essere in grado di mantenere alta la motivazione e la concentrazione del paziente. Inoltre, ogni esercizio deve essere personalizzabile in base alle esigenze del paziente. Infine, le prestazioni dei pazienti devono essere valutate oggettivamente, ovvero misurando i movimenti rispetto a quelli ottimali basati su un modello di riferimento. Inizialmente, i sistemi basati sulla visione per supportare le diverse attività umane, inclusa la riabilitazione, erano piuttosto scomodi e limitati. Negli ultimi due decenni vi è stato un crescente interesse per le NUI. Tali interfacce, insieme ad altri dispositivi avanzati, hanno mostrato una particolare efficacia per le attività di riabilitazione in quanto consentono movimenti del tutto naturali.

In questo contributo presentiamo un sistema di riabilitazione a corpo intero, interattivo e a basso costo basato sull'utilizzo di un ambiente virtuale per la generazione di giochi immersivi 3D. L'obiettivo principale di questo lavoro è proporre una soluzione innovativa e originale che permetta al paziente di avere una maggiore motivazione, un'interazione coinvolgente e anche la possibilità di poter utilizzare esercizi personalizzati alle proprie esigenze, garantendo così i risultati riabilitativi. Il sistema utilizza una camera Time-of-Flight (ToF) per acquisire e modellare i movimenti del corpo, una fotocamera stereo IR per acquisire e modellare i gesti delle mani e un HMD per immergere i pazienti all'interno dell'ambiente virtuale. Inoltre, sono state utilizzate tecniche di deep learning per la valutazione obiettiva del grado di prestazione dei pazienti. Precisamente, in questo sistema, è stata utilizzata una GRU-RNN addestrata con dati ottenuti da soggetti sani. L'efficacia del sistema proposto è stata testata su un gruppo di novantadue pazienti. Sulla base di tre giochi, un gruppo di sette terapisti della riabilitazione hanno confermato i benefici del sistema proposto. Inoltre, specifici confronti con gli attuali sistemi allo stato dell'arte hanno evidenziato la sua versatilità, efficacia e novità.

2 Architettura del Sistema Proposto

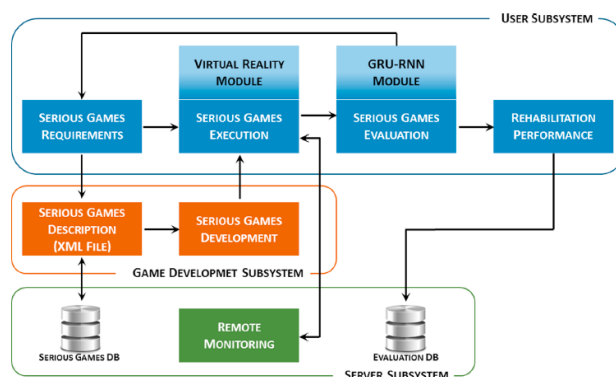


Figura 1: Architettura del sistema proposto.

L'architettura proposta è mostrata in Fig. 1. Questo lavoro eredita ed estende alcune delle principali caratteristiche descritte in lavori precedenti [Avola *et al.*, 2013; Avola *et al.*,

2018; Avola *et al.*, 2019]. In particolare, rispetto al primo lavoro, tutte le funzionalità di base sono state ridisegnate, ampliate e migliorate, inclusi giochi e personalizzazione, modellazione di mani e corpo, immersività nell'ambiente virtuale e raccolta dei dati. Inoltre, è stato sviluppato un algoritmo di deep learning per valutare automaticamente le prestazioni dei pazienti. Rispetto al secondo lavoro, sono stati realizzati diversi miglioramenti significativi quali le modalità interattive in terza persona, la personalizzazione della modellazione del corpo e il rendering dei giochi. Inoltre, sono utilizzate le GRU-RNN, invece delle Long Short-Term Memory Recurrent Neural Network (LSTM-RNN), per accelerare la fase di addestramento. Infine, dall'ultimo lavoro, il sistema proposto eredita l'implementazione di base del modello della mano in relazione allo spazio di riferimento, consentendo così, nella versione attuale, giochi basati sul tocco della mano ed esercizi complessi di riabilitazione gestuale a mano libera. Inoltre, sono supportate funzionalità specifiche di un sistema interpretativo, ossia senza alcuna abilità di programmazione, i terapeuti possono facilmente inserire dati su esercizi e pazienti, permettendo così al sistema di generare il codice sorgente per la creazione di ambienti virtuali personalizzati.

Come mostrato in Fig. 1, il sistema è composto da tre diversi sottosistemi: utente, sviluppo del gioco e server. Il primo sottosistema è costituito da funzioni e interfacce front-end che permettono ai terapeuti di creare esercizi personalizzati e consentono ai pazienti di eseguirli in ambiente virtuale. Inoltre, il sottosistema consente ai terapeuti di progettare azioni e regole di convalida per le esercitazioni di riabilitazione. Il secondo sottosistema gestisce la creazione dell'ambiente virtuale. I giochi sono descritti tramite linguaggio XML e memorizzati in diversi file. In particolare, ogni file contiene informazioni come: dati dell'ambiente virtuale, oggetti inseriti nell'ambiente e relative regole associate. In questa fase, il sottosistema gestisce, allo stesso tempo, due diverse funzionalità: esercizio fisico e impostazione della realtà virtuale. Per quanto riguarda la valutazione dell'esercizio è stato implementato un approccio basato su deep learning, in cui il framework fornisce autonomamente una classificazione delle prestazioni dei pazienti. L'ultimo sottosistema utilizza la rete al fine di condividere e archiviare i dati in remoto fornendo, quando è possibile, un sostegno per la riabilitazione domiciliare tramite la quale i terapeuti possono controllare i progressi dei pazienti anche a distanza. Infine, una caratteristica principale del sistema è rappresentata dalla gestione dell'ambiente virtuale, in cui il punto di vista dell'utente corrisponde a una camera stereoscopica controllata dai movimenti della testa del paziente. In questo contesto è fondamentale osservare che il sistema proposto è il primo a utilizzare tecniche di deep learning per valutare il recupero di un paziente.

Per quanto riguarda l'interazione dell'utente, il paziente è equipaggiato con un HMD combinato con una telecamera stereo IR, ed è posizionato di fronte a una camera ToF. L'interazione avviene totalmente senza contatto. L'input che riceve il sistema è rappresentato dai movimenti del corpo del paziente. Il terapeuta può gestire, in tempo reale, i parametri principali dell'esercizio (ad esempio, velocità di gioco) e, allo stesso tempo, può osservare i progressi dei pazienti.

3 Risultati Sperimentali

Per valutare l'efficacia e l'usabilità del sistema, sono stati eseguiti test con due categorie di utenti: un gruppo di terapeuti e un gruppo di pazienti. Il primo composto da 7 fisioterapisti esperti con conoscenze e competenze informatiche essenziali. Il secondo composto da 92 pazienti con differenti problemi neuro-motori. I risultati ottenuti hanno mostrato che il sistema proposto è robusto, facile da usare e utile per il suo obiettivo. Inoltre, per testare il metodo di valutazione basato sulle GRU-RNN, abbiamo utilizzato il dataset per il riconoscimento di azioni NTU RGB+D [Shahroudy *et al.*, 2016] ottenendo risultati eccellenti paragonati alla letteratura corrente. Questi test, inoltre, hanno permesso di ottenere idee per sviluppi futuri del sistema. Ad esempio, l'estensione dei parametri di personalizzazione, estendendo il sistema al fine d'importare oggetti interattivi e creare ambienti virtuali più complessi. Un'altra possibile estensione è rappresentata dall'utilizzo di approcci non supervisionati, i quali offrono grandi potenzialità in questi scenari applicativi. Per quanto riguarda le applicazioni esistenti attualmente in commercio, il costo dell'hardware e l'usabilità possono promuovere l'introduzione del sistema proposto all'interno delle attuali strutture sanitarie. Secondo i feedback ricevuti dai terapeuti, il sistema può essere considerato innovativo ed estremamente accurato tanto da offrire un nuovo paradigma per i futuri trattamenti riabilitativi. In ottica futura, bisogna considerare che gli HMD saranno più leggeri e facili da indossare, fornendo quindi soluzioni migliori agli attuali limiti hardware. Inoltre, le future workstation ridurranno ulteriormente i tempi di latenza (già ottimi nel sistema proposto) e miglioreranno, nel complesso, le prestazioni per generare modelli ancora più accurati.

Riferimenti bibliografici

- [Avola *et al.*, 2013] Danilo Avola, Matteo Spezialetti, e Giuseppe Placidi. Design of an efficient framework for fast prototyping of customized human-computer interfaces and virtual environments for rehabilitation. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 110(3):490–502, 2013.
- [Avola *et al.*, 2018] Danilo Avola, Luigi Cinque, Gian Luca Foresti, Marco Raoul Marini, e Daniele Pannone. Vrheab: a fully immersive motor rehabilitation system based on recurrent neural network. *Multimedia Tools and Applications*, 77(19):24955–24982, 2018.
- [Avola *et al.*, 2019] Danilo Avola, Marco Bernardi, Luigi Cinque, Gian Luca Foresti, e Cristiano Massaroni. Exploiting recurrent neural networks and leap motion controller for the recognition of sign language and semaphoric hand gestures. *IEEE Transactions on Multimedia*, 21(1):234–245, 2019.
- [Shahroudy *et al.*, 2016] Amir Shahroudy, Jun Liu, Tiansong Ng, e Gang Wang. Ntu rgb+ d: A large scale dataset for 3d human activity analysis. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pages 1010–1019, 2016.