

TECNICHE DI PATTERN RECOGNITION PER L'ELABORAZIONE DI DATI PROVENIENTI DA SENSORI INERZIALI (IMU)

Luca Liparulo, Andrea Proietti, Marco Maisto, Massimo Panella

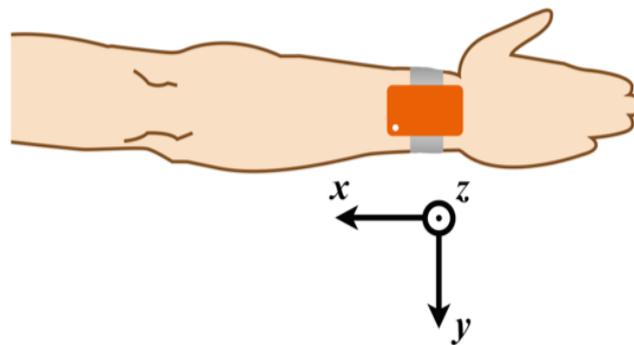
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Elettronica e Telecomunicazioni (DIET),
Università di Roma "La Sapienza", Via Eudossiana 18, 00184 Roma
e-mail: luca.liparulo@uniroma1.it, massimo.panella@uniroma1.it

Parole chiave: *Sensori Inerziali, Pattern Recognition, Classificazione dei Movimenti*

La ricerca è stata svolta nell'ambito delle tecniche di intelligenza computazionale al fine di sperimentare tecniche basate su *pattern recognition*, reti neurali e logica fuzzy [1, 2] applicate all'elaborazione di dati provenienti da sensori inerziali (IMU). In particolare, è stato utilizzato un approccio fuzzy basato su una fase di apprendimento per la stima dei parametri del modello analitico che potrà in futuro essere incorporato in un sistema hardware in tempo reale. Lo stato dell'arte attuale mostra che i danni dovuti alla disabilità possono essere ridotti grazie a una riabilitazione intensiva e ripetitiva. Purtroppo degenza e riabilitazione supervisionata da un medico/fisioterapista sono spesso associate a costi molto elevati; per questo motivo la riabilitazione è limitata soltanto alle fasi acute della malattia. In conseguenza di ciò recentemente si osserva un crescente numero di lavori che vengono pubblicati riguardo all'uso di tele-riabilitazione per persone con disabilità fisiche.

Il sistema di tracciamento del movimento basato su sensori inerziali (*Inertial Measurement Unit - IMU*) è comunemente considerato come il più adatto per la tele-riabilitazione a domicilio, grazie al vantaggio di essere compatto, economico e relativamente facile da usare rispetto ai suoi omologhi sistemi basati sull'elaborazione di immagini [3, 4]. Per esempio, il ben noto algoritmo *fuzzy c-Means* è stato utilizzato per classificare dati provenienti da registrazioni degli arti inferiori [5], mentre un altro approccio che utilizza tecniche di pattern recognition è stato proposto per classificare i segnali EMG per il controllo di protesi multifunzionali [6].

Sulla base di quanto detto, la presente ricerca ha portato allo sviluppo di un classificatore di movimenti basato su logica fuzzy per la riabilitazione di pazienti colpiti da ictus [7]. Il sistema realizzato ha utilizzato dati campionati a 400 Hz provenienti da accelerometro e giroscopio di un sensore IMU, posizionato sul polso dei pazienti come schematizzato in figura.



Posizionamento del sensore IMU sul polso del paziente.

Sono state utilizzate una serie di procedure di *preprocessing* sui dati grezzi, in particolare:

- filtro mediano per rimuovere i picchi rumorosi del segnale;
- inversione dei dati registrati sull'asse Y dell'accelerometro e sugli assi X e Z del giroscopio (in quanto non tutti i pazienti che hanno partecipato alla ricerca avevano la stessa parte del corpo colpita dalla malattia);
- rimozione dell'offset causato dall'accelerazione di gravità e successiva integrazione.

Dopo una fase relativa all'individuazione e all'estrazione di 63 caratteristiche (*feature*) provenienti dai dati grezzi, il numero di dimensioni è stato ridotto grazie all'utilizzo della PCA. Il modello proposto si basa sull'utilizzo di una combinazione di funzioni lineari [1], la cui sovrapposizione determina in maniera fuzzy l'appartenenza di un punto (*pattern*) a una determinata classe; quest'ultima viene rappresentata non più con un'entità geometrica predefinita (politopi regolari o strutture sferico-ellissoidali), ma con una forma poligonale (o iperpoligonale nel caso n-dimensionale) più complessa, individuata esclusivamente sulla base dei suoi vertici. Tale metodologia, rispetto a quelle puramente basate su regole geometriche euclidee, è sicuramente più veloce perché non necessita della risoluzione di sistemi di equazioni lineari. In seguito sono esposti i risultati sperimentali ottenuti.

Il sistema di classificazione è stato addestrato e testato su 14 pazienti (grazie alla collaborazione con l'Università RMIT di Melbourne e il centro di riabilitazione medica del Jiaying Hospital in Cina) e circa 500 ripetizioni di 6 movimenti standard utilizzati normalmente nella riabilitazione. Il sistema si è rivelato capace di identificare con una certa accuratezza i movimenti registrati. Le *membership function* (MF) utilizzate, basate su una forma priva di vincoli geometrici, hanno garantito una buona soluzione al problema della sovrapposizione delle classi, che generalmente è una delle prime cause di malfunzionamento nei problemi di classificazione, specialmente quando i dati provengono da campioni irregolari registrati da pazienti con differenti livelli di funzionalità del corpo. Nel caso dell'ictus, questi ultimi vengono valutati su una scala da 1 a 6 definita da uno standard chiamato "Approccio di Brunnstrom". Utilizzando un numero di feature pari a 7, estratte dalla media della PCA, il classificatore è in grado di raggiungere lo 0% di error rate, analizzando 6 pazienti tutti con lo stesso livello di Brunnstrom, e di raggiungere lo 0.56% di errore considerando tutti e 14 i pazienti che riportavano un livello di Brunnstrom compreso tra 2 e 5.

BIBLIOGRAFIA

- [1] L. Liparulo, A. Proietti, M. Panella, "Fuzzy Membership Functions Based on Point-to-Polygon Distance Evaluation", *Proc. of IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, Hyderabad (India), luglio 2013.
- [2] L. Liparulo, A. Proietti, M. Panella, "A new fuzzy clustering approach using Convex-Hull", sottomesso a *Pattern Recognition*, 2014.
- [3] Z. Zhang, Q. Fang, F. Ferry, "Upper limb motion capturing and classification for unsupervised stroke rehabilitation". *Proc. of IECON2011*, pp.3832–3836, novembre 2011.
- [4] Z. Zhang, Q. Fang, L. Wang, P. Barrett, "Template matching based motion classification for unsupervised post-stroke rehabilitation", *Proc. of ISBB2011*, pp. 199–202, Suzhou (China), novembre 2011.
- [5] M. O'Malley, M. Abel, D. Damiano, C. Vaughan, "Fuzzy clustering of children with cerebral palsy based on temporal-distance gait parameters", *IEEE Trans. on Rehabilitation Engineering*, vol. 5, pp. 300–309, 1997.
- [6] F. Chan, Y.-S. Yang, F. Lam, Y.-T. Zhang, P. Parker, "Fuzzy EMG classification for prosthesis control", *IEEE Trans. on Rehabilitation Engineering*, vol. 8, pp. 305–311, 2000.
- [7] Z. Zhang, L. Liparulo, M. Panella, X. Gu, Q. Fang, "A Fuzzy Kernel Motion Classifier for Autonomous Stroke Rehabilitation", sottomesso a *Expert Systems with Applications*, 2014.