

Controllo della Mano Robotica: Andiamo Verso una Rivoluzione della Protesica

Atzori Manfredo¹, Henning Müller¹, Franco Bassetto²,

¹ Department of Business Information Systems, University of Applied Sciences Western Switzerland (HES-SO Valais)

² Clinica di Chirurgia Plastica, Azienda Ospedaliera Universitaria di Padova, Padova (Italia)

Introduzione

Nonostante i notevoli miglioramenti avvenuti nel corso degli ultimi anni, il controllo naturale di protesi robotiche della mano resta una sfida, che tuttavia potrebbe concludersi in un prossimo futuro.

Esistono oggi protesi della mano molto evolute da un punto di vista meccanico, capaci di riprodurre fino a 24 movimenti diversi (senza includere il movimento del polso). Tuttavia, i sistemi di controllo tramite elettromiografia di superficie (sEMG) permettono di controllare solo pochi di questi movimenti ed in modo poco naturale, nonostante nei pazienti con amputazioni trans-radiali il sistema muscolare flessore-estensore delle dita sia spesso in parte preservato.

I recenti progressi in ambito di bio-robotica sono stati solo parzialmente traslati nella realtà clinica. L'applicazione di tecniche statistiche per riconoscere i segnali sEMG che corrispondono ai diversi movimenti naturali sembra promettente, ma è lontana dalla pratica a causa della eterogeneità degli studi e la mancanza di dati.

In questo lavoro introduciamo i risultati ottenuti dall'analisi del database Ninapro (Non Invasive Adaptive Hand Prosthetics, <http://ninapro.hevs.ch>), che è attualmente il più grande database elettromiografico di movimenti della mano, ed è stato creato allo scopo di aiutare la comunità scientifica nella creazione di protesi intelligenti non invasive.

Materiali e Metodi

Per questo studio sono stati arruolati undici pazienti adulti in esiti di amputazioni di braccio trans-radiali (1999-2012) e 40 soggetti di controllo. Per quanto riguarda i soggetti amputati, tutti i soggetti tranne uno erano in origine destrimani. Il braccio amputato è quello destro in sette casi, il sinistro in tre casi, mentre un soggetto è stato sottoposto ad una amputazione bilaterale. Tutti i soggetti sono stati amputati a causa di una lesione traumatica, tranne uno che è stato amputato a causa di un tumore. Per tutti i soggetti, sono stati annotati età, peso e altezza. Per i soggetti amputati sono state inoltre annotate la percentuale di avambraccio restante, il tempo trascorso dall'amputazione, l'intensità della sensazione dell'arto fantasma (scala soggettiva da 0 a 5) ed il tipo, l'utilizzo di protesi (cosmetica, cinematica, elettromiografica, anni di uso e di utilizzo quotidiano), il punteggio del questionario DASH (disabilità del braccio, spalla e mano)¹. I dati sono stati acquisiti in base alla versione finale del protocollo di acquisizione NinaPro^{2,3}. Durante l'acquisizione, ai soggetti è stato chiesto di imitare i movimenti mostrati sullo schermo di un computer portatile secondo una procedura di imitazione bilaterale⁴. L'esperimento comprende 6 ripetizioni di 49 movimenti scelti dalla letteratura scientifica in ambito di tassonomia di movimenti della mano e robotica⁵⁻⁸. Ogni ripetizione dura 5 secondi ed è seguita da 3 secondi di riposo. L'attività muscolare viene registrata sul braccio amputato a 2kHz con 12 elettrodi attivi a doppio differenziale (Delsys Trigno EMG Wireless). Gli elettrodi sono stati posizionati come descritto di seguito: otto elettrodi sono stati posizionati a distanze uguali intorno all'avambraccio all'altezza

dell'articolazione radio-omerale; due elettrodi sono stati posizionati sui principali punti di attività del muscolo flessore superficiale delle dita e del muscolo estensore superficiale delle dita²; due elettrodi sono stati posizionati sui principali punti di attività del bicipite brachiale e del tricipite brachiale. Le posizioni descritte sono state scelte in modo da combinare i metodi più diffusi nel settore⁹⁻¹³. In due soggetti amputati il numero di elettrodi è stato ridotto a dieci per mancanza di spazio.

L'esperimento è diviso in una parte di allenamento e tre esercizi che includono diversi tipi di movimenti, interrotti da alcuni minuti di riposo al fine di evitare l'affaticamento muscolare del soggetto. Tre soggetti amputati hanno chiesto di interrompere l'esperimento prima della fine a causa di affaticamento.

In ogni soggetto, il segnale sEMG corrispondente ad ogni movimento è stato classificato con tecniche statistiche per il riconoscimento dei segnali (algoritmi di machine learning) utilizzando metodi selezionati dalla letteratura scientifica, ed è stata effettuata una selezione di movimenti indipendenti (definiti come movimenti che possono essere distinti con accuratezza superiore al 90%). I risultati sono stati analizzati statisticamente per rivelare i rapporti con parametri clinici.

Risultati

I risultati delle analisi evidenziano concrete possibilità per quanto riguarda il controllo naturale di protesi robotiche, e introducono nuove domande riguardo alcuni aspetti clinici relativi alla amputazione transradiale.

In primo luogo si nota un'elevata precisione di classificazione per 40 movimenti, superiore in alcuni casi al 60%. Inoltre, è stato possibile selezionare un elevato numero di movimenti altamente indipendenti, indice del fatto che un protesi robotica ad alta funzionalità potrebbe essere controllata in modo naturale in circa 10 movimenti diversi.

In secondo luogo, la precisione di classificazione e il numero di movimenti indipendenti variano in modo significativo (e a volte inaspettato) al variare di molteplici parametri clinici (inclusa ad esempio l'intensità di sensazione di arto fantasma), introducendo nuove domande sulla relazione tra tali parametri e l'amputazione.

In fine, si nota che alcuni soggetti hanno riferito di percepire un incremento delle capacità di controllo durante l'acquisizione. Questo, unito ai risultati relativi al tempo trascorso dall'amputazione, può indicare che le aree di controllo motorio sopravvivano parzialmente alla riorganizzazione corticale (come descritto in letteratura anche per le aree somatosensoriali^{14,15}).

Conclusioni

L'amputazione degli arti superiori è una delle lesioni più gravemente disabilitanti. Le implicazioni cliniche dei risultati descritti in questo lavoro sono notevoli e possono aiutare a migliorare la qualità di vita e la prognosi per questi pazienti.

Attualmente, le protesi mioelettriche consentono a soggetti amputati di eseguire alcuni movimenti. Tuttavia, le possibilità di controllo sono ancora limitate e non naturali. Negli ultimi anni, la letteratura scientifica ha visto notevoli miglioramenti rispetto alla strategia di controllo elettromiografica convenzionale, ma questi risultati sono ancora lontani dal poter essere applicati nella pratica. In questo lavoro abbiamo descritto i risultati ottenuti da quello che è attualmente il più grande database elettromiografico di movimenti della mano, raccogliendo importanti conclusioni in diversi ambiti. I risultati descritti potrebbero portare alla realizzazione di protesi intelligenti ad alta funzionalità in grado di capire e di replicare i movimenti pensati dai soggetti. Inoltre, le relazioni evidenziate tra i risultati ed i parametri clinici relativi alla amputazione potrebbero aiutare a capire più a fondo la natura dell'amputazione stessa ed i suoi effetti sul sistema nervoso dei soggetti. In un prossimo futuro, amputazioni "conservative" e strategie chirurgiche ricostruttive potrebbero essere

finalizzate all'integrazione con mani robotiche ad alta funzionalità (basate su algoritmi di riconoscimento dei segnali elettromiografici), e potrebbero portare a programmi di riabilitazione più veloci e più efficaci. L'integrazione con la protesi cesserebbe quindi di essere il passaggio finale del trattamento, ma diventerebbe il primo passo nel trattamento di un paziente con un'amputazione transradiale di braccio. Verosimilmente, i lembi muscolari evolveranno dall'essere solo un rivestimento di tessuto molle fino a diventare la fonte di segnali altamente specifici e sofisticati per i sensori ("amputazione funzionale"). Tali procedure possono essere efficaci come la re-innervazione muscolare mirata (pur essendo al contempo meno invasive) e potrebbero portare alla riduzione dei costi economici delle protesi e delle necessità di risorse riabilitative da parte dei pazienti.

Bibliografia

1. Hudak PL, Amadio PC, Bombardier C. Development of an upper extremity outcome measure: the DASH (disabilities of the arm, shoulder and hand). *Am J Ind Med.* 1996;29(6):602–608.
2. Atzori M, Gijsberts A, Kuzborskij I, et al. Characterization of a Benchmark Database for Myoelectric Movement Classification. *Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2014.
3. Gijsberts A, Atzori M, Castellini C, Muller H, Caputo B. The Movement Error Rate for Evaluation of Machine Learning Methods for sEMG-based Hand Movement Classification. *IEEE Trans neural Syst Rehabil Eng a Publ IEEE Eng Med Biol Soc.* 2014.
4. Atkins, Diane J; Heard, Denise C Y; Donovan WH. Epidemiologic Overview of Individuals with Upper-Limb Loss and Their Reported Research Priorities. *J Prosthetics Orthot.* 1996;8(1):2–11.
5. Feix T, Pawlik R, Schmiedmayer H-B, Romero J, Kragic D, Kragi D. A comprehensive grasp taxonomy. In: *Robotics, Science and Systems: Workshop on Understanding the Human Hand for Advancing Robotic Manipulation.*; 2009:2–3.
6. Cutkosky MR. On grasp choice, grasp models, and the design of hands for manufacturing tasks. *IEEE Trans Robot Autom.* 1989;5(3):269–279.
7. Kamakura N, Matsuo M, Ishii H, Mitsuboshi F, Miura Y. Patterns of static prehension in normal hands. *Am J Occup Ther Off Publ Am Occup Ther Assoc.* 1980;34(7):437–445.
8. Edwards SJ, Buckland DJ, McCoy-Powlen JD. *Developmental and Functional Hand Grasps.* Slack Incorporated; 2002.
9. Tenore FVG, Ramos A, Fahmy A, Acharya S, Etienne-Cummings R, Thakor N V. Decoding of individuated finger movements using surface electromyography. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2009;56(5):1427–1434. doi:10.1109/TBME.2008.2005485.
10. Fukuda O, Tsuji T, Kaneko M, Otsuka A, Tsuji OFT. A Human-Assisting Manipulator Teleoperated by EMG Signals and Arm Motions. *IEEE Trans Robot Autom.* 2003;19(2):210–222.
11. Li G, Schultz AE, Kuiken TA. Quantifying pattern recognition-based myoelectric control of multifunctional transradial prostheses. In: *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* Vol 18.; 2010:185–192. doi:10.1109/TNSRE.2009.2039619.
12. De Luca CJ. The use of Surface Electromyography in Biomechanics. *J Appl Biomech.* 1997;13(2):135–163.
13. Castellini C, van der Smagt P. Surface {EMG} in advanced hand prosthetics. *Biol Cybern.* 2009;100(1):35–47. doi:10.1007/s00422-008-0278-1.
14. Schady W, Braune S, Watson S, Torebjörk HE, Schmidt R. Responsiveness of the somatosensory system after nerve injury and amputation in the human hand. *Ann Neurol.* 1994;36:68–75. doi:10.1002/ana.410360114.
15. Schwenkreis P, Witscher K, Janssen F, et al. Assessment of reorganization in the sensorimotor cortex after upper limb amputation. *Clin Neurophysiol.* 2001;112(4):627–35. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11275535>.