

Neurorobotica: Verso Dispositivi Robotici Intelligenti e Collaborativi

Luca Tagliapietra[†], Gloria Beraldo^{*}, Stefano Tortora^{*}, Stefano Michieletto^{*}, Francesca Stival^{*}, Emanuele Menegatti^{*}

[†]Università degli Studi di Padova - Dipartimento di Ingegneria Industriale

^{*}Università Degli Studi di Padova - Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

[luca.tagliapietra, stefano.michieletto, francesca.stival, emanuele.menegatti]@unipd.it
[stefano.tortora, gloria.beraldo]@phd.unipd.it

Abstract

Gli ultimi decenni hanno visto nascere un nuovo settore di ricerca interdisciplinare: la neurorobotica. L'obiettivo principale è fornire ai dispositivi robotici, siano essi robot, protesi, o esoscheletri, la capacità di percepire ed interpretare le azioni degli esseri umani ai quali fornire assistenza e cooperazione. Tale capacità richiede quindi di sviluppare interfacce che registrino, decodifichino ed interpretino i segnali cinematici e neurofisiologici degli esseri umani. Non solo, tali informazioni devono poi poter essere utilizzate per modificare, in tempo reale, il comportamento dei dispositivi al fine di massimizzare l'efficacia dell'assistenza fornita.

1 Introduzione

Nel corso degli ultimi decenni le comunità scientifica, medica ed industriale hanno manifestato un crescente interesse nel settore riabilitativo ed healthcare. Interesse caratterizzato dalla ricerca ad ampio spettro di soluzioni tecnologiche assistenziali volte a migliorare le condizioni di vita di persone anziane, affette da disabilità motorie, sensoriali e/o cognitive causate da malattie degenerative (es. Parkinson o sclerosi multipla), o da episodi traumatici (es. ictus, amputazioni, lesioni alla colonna vertebrale, ecc) [Cowan *et al.*, 2012]. Particolarmente promettente, in tale direzione, si è rivelato l'utilizzo di dispositivi robotici assistivi e/o riabilitativi in grado di fornire dei servizi alle persone o di colmarne, almeno in parte, le capacità mancanti. Esempi di tale potenzialità possono essere trovati nell'ambito riabilitativo motorio, dove dispositivi robotici indossabili e non hanno conquistato sempre maggior spazio nella pratica clinica o nell'ambito dell'assistenza a persone anziane o affette da disabilità sensoriali o cognitive, dove l'utilizzo di robot per sostituirle nell'esecuzione di alcune attività quotidiane si è dimostrato di grande interesse [Iosa *et al.*, 2016]. Le prime applicazioni pratiche, tuttavia, hanno fatto emergere la necessità di concentrare l'attenzione della ricerca scientifica sullo sviluppo di soluzioni di interfacciamento tra essere umano e dispositivo robotico adeguate a rendere la loro interazione naturale, efficiente, sicura e, soprattutto, tempestiva. La recente nascita di un nuovo campo di ricerca interdisciplinare, la *neurorobotica*, sottolinea la complessità di tale sfida, fortemente legata alla capacità di

decodificare ed interpretare correttamente azioni e intenzioni del soggetto attraverso segnali neurofisiologici e cinematici per poi tradurli in comandi per i dispositivi robotici [Arbib *et al.*, 2008].

Scopo del presente contributo è quello di presentare gli approcci di maggiore interesse, con particolare attenzione all'utilizzo dell'intelligenza artificiale finalizzata all'interfacciamento tra dispositivo robotico ed essere umano.

2 Intelligenza artificiale e neurorobotica

In neurorobotica, l'intelligenza artificiale [Russell e Norvig, 2016] è considerata un elemento chiave. Al fine di sviluppare soluzioni adeguate all'interfacciamento efficiente e tempestivo degli esseri umani, sani o affetti da disabilità e/o patologie, con dispositivi robotici avanzati risulta indispensabile che quest'ultimi siano dotati delle capacità di percezione essenziali ad interpretare azioni, movimenti, ed intenzioni dell'essere umano. Non solo, è necessario che siano in grado di processare efficientemente queste informazioni per modificare di conseguenza il proprio comportamento, massimizzando l'efficacia dell'interazione stessa.

2.1 Percezione attraverso segnali neurofisiologici

Un approccio molto promettente è quello chiamato Brain-Computer Interface (BCI). Basato sull'utilizzo dei segnali encefalografici (EEG), consente di registrare l'attività cerebrale del soggetto, decodificarla, e riconoscere i pattern di attivazione neurale associati alle intenzioni o allo svolgimento di specifiche attività motorie del soggetto. Successivamente, i sistemi basati su BCI, possono implementare la corrispondenza tra tali pattern di attivazione neurale e le azioni da far compiere al dispositivo robotico [Millán *et al.*, 2010]. Possono inoltre essere utilizzati per implementare strategie di controllo condiviso, in cui il soggetto può focalizzare la sua attenzione sul target finale da far raggiungere al robot, demandando all'intelligenza artificiale la gestione dei vincoli dovuti alle caratteristiche ambientali [Beraldo *et al.*, 2018a]. Approcci alternativi utilizzano i segnali elettromiografici (EMG), responsabili dell'attivazione muscolare, registrati attraverso elettrodi superficiali posizionati in corrispondenza dei muscoli di interesse [Pizzolato *et al.*, 2017]. I segnali EMG possono infatti essere utilizzati per il controllo di robot [Tortora *et al.*, 2018], protesi [Stival *et al.*, 2018] e/o esoscheletri [Ceseracciu *et al.*, 2017]. L'utilizzo di tali segnali EMG, tuttavia, non

è sempre possibile in quanto presuppone la presenza di una funzionalità muscolare residua da parte dei soggetti; condizione non sempre verificata, in particolar modo per soggetti affetti da ictus o lesioni alla colonna vertebrale. Al fine di superare tale limite, sono state sviluppate soluzioni combinate di BCI ed EMG finalizzate al controllo di dispositivi robotici esterni.

2.2 Percezione attraverso stime cinematiche

Se EMG e BCI possono essere considerati molto promettenti per la decodifica dei segnali neurofisiologici, spesso necessitano di essere integrati con sensori che forniscano informazioni sulla cinematica di esecuzione dell'attività motoria. La stima della cinematica può essere viene quindi effettuata utilizzando sistemi di motion capture classici o, al fine di contenere i costi, sistemi basati su telecamere RGB-D [Munaro *et al.*, 2016] [Carraro *et al.*, 2018] e sistemi inerziali indossabili [Tagliapietra *et al.*, 2018].

3 Conclusioni

La fusione delle tecnologie presentate risulta quindi particolarmente promettente al fine di rendere i dispositivi robotici capaci di percepire ed interpretare le azioni e le intenzioni degli esseri umani modificando, conseguentemente, il proprio comportamento [Tortora *et al.*, 2019] [Stival *et al.*, 2019]. Affinché questo si verifichi, tuttavia, è fondamentale lo sviluppo di soluzioni software adeguate a connettere all'interno di un unico framework modulare misure, stime, predizioni, controlli e feedback. Buoni esempi di tale integrazione sono rappresentati dalle soluzioni basate sull'utilizzo di middleware robotici [Tagliapietra, 2018] [Beraldo *et al.*, 2018b].

Riferimenti bibliografici

- [Arbib *et al.*, 2008] M. A. Arbib, G. Metta, e P. van der Smagt. Neurorobotics: from vision to action. *Springer handbook of robotics*, pages 1453–1480, 2008.
- [Beraldo *et al.*, 2018a] G. Beraldo, M. Antonello, A. Cimolatto, E. Menegatti, e L. Tonin. Brain-computer interface meets ros: A robotic approach to mentally drive telepresence robots. In *2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 1–6. IEEE, 2018.
- [Beraldo *et al.*, 2018b] G. Beraldo, N. Castaman, R. Bortolotto, E. Pagello, J. del R. Millán, L. Tonin, e E. Menegatti. Ros-health: An open-source framework for neurorobotics. In *2018 IEEE International Conference on Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots (SIMPAN)*, pages 174–179. IEEE, 2018.
- [Carraro *et al.*, 2018] M. Carraro, M. Munaro, e E. Menegatti. Skeleton estimation and tracking by means of depth data fusion from depth camera networks. *Robotics and Autonomous Systems*, 110:151–159, 2018.
- [Ceseracciu *et al.*, 2017] E. Ceseracciu, L. Tagliapietra, J. C. Moreno, G. Asin, A. J. del Ama, S. Pérez, E. Piñuela, Á. Gil, e M. Reggiani. An emg-informed model to evaluate assistance of the biomot compliant ankle actuator. In *Wearable Robotics: Challenges and Trends*, pages 261–265. Springer, 2017.
- [Cowan *et al.*, 2012] R. E. Cowan, B. J. Fregly, M. L. Boninger, L. Chan, M. M. Rodgers, e D. J. Reinkensmeyer. Recent trends in assistive technology for mobility. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 9(1):20, 2012.
- [Iosa *et al.*, 2016] M. Iosa, G. Morone, A. Cherubini, e S. Paolucci. The three laws of neurorobotics: a review on what neurorehabilitation robots should do for patients and clinicians. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 36(1):1–11, 2016.
- [Millán *et al.*, 2010] J. del R. Millán, R. Rupp, G. Müller-Putz, R. Murray-Smith, C. Giugliemma, M. Tangermann, C. Vidaurre, F. Cincotti, A. Kubler, R. Leeb, et al. Combining brain-computer interfaces and assistive technologies: state-of-the-art and challenges. *Frontiers in neuroscience*, 4:161, 2010.
- [Munaro *et al.*, 2016] M. Munaro, F. Basso, e E. Menegatti. Openprack: Open source multi-camera calibration and people tracking for rgb-d camera networks. *Robotics and Autonomous Systems*, 75:525–538, 2016.
- [Pizzolato *et al.*, 2017] S. Pizzolato, L. Tagliapietra, M. Cognolato, M. Reggiani, H. Müller, e M. Atzori. Comparison of six electromyography acquisition setups on hand movement classification tasks. *PLoS one*, 12(10):e0186132, 2017.
- [Russell e Norvig, 2016] S. J. Russell e P. Norvig. *Artificial intelligence: a modern approach*. Malaysia; Pearson Education Limited,, 2016.
- [Stival *et al.*, 2018] F. Stival, S. Michieletto, A. De Agnoi, e E. Pagello. Toward a better robotic hand prosthesis control: Using emg and imu features for a subject independent multi joint regression model. In *2018 7th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics (Biorob)*, pages 185–192. IEEE, 2018.
- [Stival *et al.*, 2019] F. Stival, S. Michieletto, M. Cognolato, E. Pagello, H. Müller, e M. Atzori. A quantitative taxonomy of human hand grasps. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 16(1):28, 2019.
- [Tagliapietra *et al.*, 2018] L. Tagliapietra, L. Modenese, E. Ceseracciu, C. Mazzà, e M. Reggiani. Validation of a model-based inverse kinematics approach based on wearable inertial sensors. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, pages 1–11, 2018.
- [Tagliapietra, 2018] L. Tagliapietra. *A multilevel framework to measure, model, promote, and enhance the symbiotic cooperation between humans and robotic devices*. PhD thesis, University of Padova, 2018.
- [Tortora *et al.*, 2018] S. Tortora, S. Michieletto, e E. Menegatti. Synergy-based gaussian mixture model to anticipate reaching direction identification for robotic applications. In *Proc. of the IAS-15 Workshop on Learning Applications for Intelligent Autonomous Robots (LAIAR-2018)*, 2018.
- [Tortora *et al.*, 2019] S. Tortora, M. Moro, e E. Menegatti. Dual-myo real-time control of a humanoid arm for teleoperation. In *Companion of the 2019 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*. ACM, 2019.