

УДК 681.518.25:616–77:617.7–76

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯМИ ПАЛЬЦЕВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ*

К. ВОНСЕВИЧ^{1*}, М. Ф. ГЕТЦЕЛЬ^{2**}, Е. МРОЗОВСКИ^{3***}, Я. АВРЕЙЦЕВИЧ^{3****}, М. БЕЗУГЛЫЙ^{1*****}

¹Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»,
Украина, Киев, 03056, пр-т Победы 37

²Университет Сан-Паулу,
Бразилия, Сан-Паулу

³Лодзинский технический университет,
Польша, Лодзь

Аннотация. Поверхностный электромиографический (пЭМГ) сигнал применяется в различных сферах, где существует необходимость измерять активность мышц тела человека, например интерфейс «мозг–компьютер», индустрия игр, медицинская техника и другие практические сферы. Более того, использование пЭМГ сигнала в отрасли изготовления активных протезов является традиционным уже в течение многих лет. Однако, несмотря на тот факт, что вопрос о его использовании в сфере протезирования пальцев остается открытым, обычно пЭМГ сигнал требует многоканальных измерительных устройств или массивного объемного оборудования для точного распознавания движения кистей рук или пальцев. Это снижает возможную портативность и удобство протезов, и в конечном итоге увеличивает их конечную цену. В этой статье предложен метод организации блока управления и измерения для протеза на основе модели искусственной нейронной сети (ИНС) и пЭМГ измерительной системы на основе одноканального микроконтроллера. Предлагаемая модель ИНС учитывает только 4 входных характеристики пЭМГ сигнала во временной области и обеспечивает точность 95,52% для классификации 6 различных типов движений пальца. Таким образом, данная модель представляет собой решение, пригодное для реализации в системе протезов пальцев или кисти.

Ключевые слова: кисть руки; движения пальцев; электромиография; распознавание образов; искусственная нейронная сеть

1. ВВЕДЕНИЕ

В повседневной жизни встречаются различные виды взаимодействий между людьми, а также между людьми и предметами. Почти каждый день люди выполняют много различных задач, таких как питье, умывание, приго-

товление пищи, употребление пищи, одевание, использование компьютера и т.п. Для успешного осуществления большинства ежедневных занятий (ЕДЗ) движения руки (запястья руки) играют важнейшую роль. Более того, в случае высокоточных задач, таких как писание, наличие запястья и пальцев совершенно необходи-

* Эта работа получила финансовую поддержку от Национального научного центра Польши в рамках гранта OPUS 9 No. 2015/17/B/ST8/01700 на период 2016–2018 годов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Chien, T.-W.; Lin, W.-S. "Simulation study of activities of daily living functions using online computerized adaptive testing," *BMC Med. Inform. Decis.*

Mak., Vol. 16, p. 130-140, 2016. DOI: [10.1186/s12911-016-0370-8](https://doi.org/10.1186/s12911-016-0370-8).

2. Gulde, P.; Hermsdörfer, J. "Both hands at work: the effect of aging on upper-limb kinematics in a multi-step activity of daily living," *Exp. Brain Res.*, Vol. 235, No. 5, p. 1337-1348, 2017. DOI: [10.1007/s00221-017-4897-4](https://doi.org/10.1007/s00221-017-4897-4).

3. Resnik, L.; Borgia, M.; Acluche, F. "Timed activity performance in persons with upper limb amputation: A preliminary study," *J. Hand Ther.*, Vol. 30, No. 4, p. 468-476, 2017. DOI: [10.1016/j.jht.2017.03.008](https://doi.org/10.1016/j.jht.2017.03.008).

4. Zuniga, J. M.; Carson, A. M.; Peck, J. M.; Kalina, T.; Srivastava, R. M.; Peck, K. "The development of a low-cost three-dimensional printed shoulder, arm, and hand prostheses for children," *Prosthet. Orthot. Int.*, Vol. 41, No. 2, p. 205-209, 2017. DOI: [10.1177/0309364616640947](https://doi.org/10.1177/0309364616640947).

5. Cordella, F.; Ciancio, A. L.; Sacchetti, R.; Davalli, A.; Cutti, A. G.; Guglielmelli, E.; Zollo, L. "Literature review on needs of upper limb prosthesis users," *Front. Neurosci.*, Vol. 10, p. 1-14, 2016. DOI: [10.3389/fnins.2016.00209](https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00209).

6. Postema, S. G.; Bongers, R. M.; Brouwers, M. A.; Burger, H.; Norling-Hermansson, L. M.; Reneman, M. F.; Dijkstra, P. U.; Van der Sluis, C. K. "Upper limb absence: predictors of work participation and work productivity," *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, Vol. 97, p. 892-899, 2016. DOI: [10.1016/j.apmr.2015.12.022](https://doi.org/10.1016/j.apmr.2015.12.022).

7. Burger, H.; Vidmar, G. "A survey of overuse problems in patients with acquired or congenital upper limb deficiency," *Prosthet. Orthot. Int.*, Vol. 40, p. 497-502, 2016. DOI: [10.1177/0309364615584658](https://doi.org/10.1177/0309364615584658).

8. Widehammar, C.; Pettersson, I.; Janeslutt, G.; Hermansson, L. "The influence of environment: Experiences of users of myoelectric arm prosthesis—a qualitative study," *Prosthet. Orthot. Int.*, Vol. 42, No. 1, p. 28-36, 2018. DOI: [10.1177/0309364617704801](https://doi.org/10.1177/0309364617704801).

9. Arabian, A.; Varotsis, D.; McDonnell, C.; Meeks, E. "Global social acceptance of prosthetic devices," *Proc. of IEEE Glob. Humanit. Technol. Conf.*, 13-16 Oct 2016, Seattle, USA. IEEE, 2016, p. 563-568. DOI: [10.1109/GHTC.2016.7857336](https://doi.org/10.1109/GHTC.2016.7857336).

10. Postema, S. G.; Bongers, R. M.; Reneman, M. F.; Van Der Sluis, C. K. "Functional capacity evaluation in upper limb reduction deficiency and amputation: Development and pilot testing," *J. Occup. Rehabil.*, Vol. 28, No. 1, p. 158-169, 2018. DOI: [10.1007/s10926-017-9703-4](https://doi.org/10.1007/s10926-017-9703-4).

11. Wong, K. V.; Hernandez, A. "A review of additive manufacturing," *ISRN Mechanical Engineering*, Vol. 2012, ID 208760, p. 1-10, 2012. DOI: [10.5402/2012/208760](https://doi.org/10.5402/2012/208760).

12. Kate, J. T.; Smit, G.; Breedveld, P. "3D-printed upper limb prostheses: a review," *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, Vol. 12, No. 3, p. 300-314, 2017. DOI: [10.1080/17483107.2016.1253117](https://doi.org/10.1080/17483107.2016.1253117).

13. Koprnicky, J.; Najman, P.; Safka, J. "3D printed bionic prosthetic hands," *Proc. of 2017 IEEE Int. Workshop on Electronics, Control, Measurement, Signals and*

their Application to Mechatronics, ECMSM, 24-26 May 2017, Donostia-San Sebastian, Spain. IEEE, 2017, p. 1-6. DOI: [10.1109/ECMSM.2017.7945898](https://doi.org/10.1109/ECMSM.2017.7945898).

14. Atzori, M.; Möller, H. "Control capabilities of myoelectric robotic prostheses by hand amputees: a scientific research and market overview," *Front. Syst. Neurosci.*, Vol. 9, p. 1-7, 2015. DOI: [10.3389/fnsys.2015.00162](https://doi.org/10.3389/fnsys.2015.00162).

15. Cowley, B.; Filetti, M.; Lukander, K.; Tornaiainen, J.; Henelius, A.; Ahonen, L.; Barral, O.; Kosunen, I.; Valtonen, T.; Huotilainen, M.; Ravaja, N.; Jacucci, G. "The psychophysiology primer: a guide to methods and a broad review with a focus on human-computer interaction," in: *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, 2016, Vol. 9, No. 3-4, p. 150-307. DOI: [10.1561/11000000065](https://doi.org/10.1561/11000000065).

16. Ma, W.; Zhang, X.; Yin, G. "Design on intelligent perception system for lower limb rehabilitation exoskeleton robot," *Proc. of IEEE 13th Int. Conf. on Ubiquitous Robot and Ambient Intelligence*, 19-22 Aug 2016, Xian, China. IEEE, 2016, p. 587-592. DOI: [10.1109/URAI.2016.7625785](https://doi.org/10.1109/URAI.2016.7625785).

17. Sharma, S.; Farooq, H.; Chahal, N. "Feature extraction and classification of surface EMG signals for robotic hand simulation," *Commun. Appl. Electron.*, Vol. 4, p. 27-31, 2016. DOI: [10.5120/cae2016652042](https://doi.org/10.5120/cae2016652042).

18. Spanias, J. A.; Perreault, E. J.; Hargrove, L. J. "Detection of and compensation for EMG disturbances for powered lower limb prosthesis control," *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, Vol. 24, No. 2, p. 226-234, 2016. DOI: [10.1109/TNSRE.2015.2413393](https://doi.org/10.1109/TNSRE.2015.2413393).

19. Gailey, A.; Artemiadis, P.; Santello, M. "Proof of concept of an online EMG-based decoding of hand postures and individual digit forces for prosthetic hand control," *Front. Neurol.*, Vol. 8, p. 1-15, 2017. DOI: [10.3389/fneur.2017.00007](https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00007).

20. Na, Y.; Kim, S. J.; Jo, S.; Kim, J. "Ranking hand movements for myoelectric pattern recognition considering forearm muscle structure," *Med. Biol. Eng. Comput.*, Vol. 55, No. 8, p. 1507-1518, 2017. DOI: [10.1007/s11517-016-1608-4](https://doi.org/10.1007/s11517-016-1608-4).

21. Ariyanto, M.; Caesarendra, W.; Mustaqim, K. A.; Irfan M.; Pakpahan, J. A.; Setiawan J. D.; Winoto, A. R. "Finger movement pattern recognition method using artificial neural network based on electromyography (EMG) sensor," *Proc. of Int. Conf. on Automation, Cognitive Science, Optics, Micro Electro-Mechanical System, and Information Technology*, ICACOMIT, 29-30 Oct 2015, Bandung, Indonesia. IEEE, 2015, p. 12-17. DOI: [10.1109/ICACOMIT.2015.7440146](https://doi.org/10.1109/ICACOMIT.2015.7440146).

22. Tenore, F. V. G.; Ramos, A.; Fahmy, A.; Acharya, S.; Etienne-Cummings, R.; Thakor N. V. "Decoding of individuated finger movements using surface electromyography," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, Vol. 56, No. 5, p. 1427-1434, 2009. DOI: [10.1109/TBME.2008.2005485](https://doi.org/10.1109/TBME.2008.2005485).

23. Zecca, M.; Micera, S.; Carrozza, M. C.; Dario, P. "Control of multifunctional prosthetic hands by processi-

ng the electromyographic signal,” *Crit. Rev. Biomed. Eng.*, Vol. 30, No. 4-6, p. 459-485, 2002. DOI: [10.1615/CritRevBiomedEng.v30.i456.80](https://doi.org/10.1615/CritRevBiomedEng.v30.i456.80).

24. Micera, S.; Carpaneto, J.; Raspopovic, S. “Control of hand prosthesis using peripheral information,” *IEEE Rev. Biomed. Eng.*, Vol. 3, p. 48-68, 2010. DOI: [10.1109/RBME.2010.2085429](https://doi.org/10.1109/RBME.2010.2085429).

25. Strazzulla, I.; Nowak, M.; Controzzi, M.; Cipriani, C.; Castellini, C. “Online bimanual manipulation using surface electromyography and incremental learning,” *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, Vol. 25, No. 3, p. 227-234, 2017. DOI: [10.1109/TNSRE.2016.2554884](https://doi.org/10.1109/TNSRE.2016.2554884).

26. Tavakoli, M.; Benussi, C.; Lourenco, J. L. “Single channel surface EMG control of advanced prosthetic hands: A simple, low cost and efficient approach,” *Expert Syst. Appl.*, Vol. 79, p. 322-332, 2017. DOI: [10.1016/j.eswa.2017.03.012](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.03.012).

27. Вонсевич, К.П.; Безуглий, М.О.; Гапонюк, А.О. “Інформаційно-вимірювальна система міографу біонічного протезу кінцівки,” *Перспективні технології та прилади*, Т. 10, С. 32-37, 2017.

28. Heiderich, M.; Leonhardt, S.; Krantz, W.; Neubeck, J.; Wiedemann, J. “Method for analysing the feeling of safety at high speed using virtual test drives,” *Proc. of 18 Internationales Stuttgarter Symp.*, Wiesbaden:

Springer Vieweg, 2018, p. 875-886. DOI: [10.1007/978-3-658-21194-3_67](https://doi.org/10.1007/978-3-658-21194-3_67).

29. Horwitz A. “A version of Simpson’s rule for multiple integrals,” *J. Computational Applied Math.*, Vol. 134, No. 1-2, p. 1-11, 2001. DOI: [10.1016/S0377-0427\(00\)00444-1](https://doi.org/10.1016/S0377-0427(00)00444-1).

30. Levenberg, K. “A method for the solution of certain non-linear problems in least squares,” *Q. Appl. Math.*, Vol. 2, No. 2, p. 164-168, 1944. URI: <https://www.jstor.org/stable/43633451>.

31. Marquardt, D. W. “An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters,” *J. Soc. Ind. Appl. Math.*, Vol. 11, No. 2, p. 431-441, 1963. DOI: [10.1137/0111030](https://doi.org/10.1137/0111030).

32. Rumelhart, D. E.; Hinton, G. E.; Williams, R. J. “Learning representations by back-propagating errors,” *Nature*, Vol. 323, p. 533-536, 1986. DOI: [10.1038/323533a0](https://doi.org/10.1038/323533a0).

33. Swets, J. A. “Measuring the accuracy of diagnostic systems,” *Science*, Vol. 240, No. 4857, p. 1285-1293, 1988. DOI: [10.1126/science.3287615](https://doi.org/10.1126/science.3287615).

34. Kim, S.; Kim, J.; Ahn, S.; Kim, Y. “Finger language recognition based on ensemble artificial neural network learning using armband EMG sensors,” *Technology Health Care*, Vol. 26, No. S1, p. 249-258, 2018. DOI: [10.3233/THC-174602](https://doi.org/10.3233/THC-174602).

Поступила в редакцію 30.03.2018

Після доработки 19.12.2018

Прийнята к публікації 26.12.2018