



Identification and modelling of biological structures and processes

Course description sheet

Basic information

Field of study Biomedical Engineering Major All Organisational unit Faculty of Electrical Engineering, Automatics, Computer Science and Biomedical Engineering Study level Second-cycle (engineer) programme Form of study Full-time studies Profile General academic		Didactic cycle 2025/2026 Course code EIBMS.IIi1.01556.25 Lecture languages Polish Mandatoriness Obligatory Block General Modules Course related to scientific research Yes
Course coordinator	Ludwin Molina-Arias	
Lecturer	Ludwin Molina-Arias	
Period Semester 1	Method of verification of the learning outcomes Exam Activities and hours Lectures: 14 Laboratory classes: 14	Number of ECTS credits 2

Goals

C1	Celem zajęć jest zapoznanie słuchaczy z podstawowymi metodami analizy, identyfikacji i modelowania układów biologicznych, które pozwalają na opisywanie oraz przewidywanie ich zachowań.
----	--

Course's learning outcomes

Code	Outcomes in terms of	Learning outcomes prescribed to a field of study	Methods of verification
Knowledge - Student knows and understands:			
W1	Zna zjawiska fizyczne i ich poszerzone modele matematyczne oraz numeryczne w zakresie zastosowań metod mechaniki, analizy sygnałów, bioinformatyki oraz modelowania systemów biologicznych w inżynierii biomedycznej	IBM2A_W01	Activity during classes, Execution of exercises, Execution of laboratory classes, Test, Project, Examination, Report
W2	Zna metody matematyczne służące do rozwiązywania i modelowania zagadnień inżynierskich z zakresu inżynierii biomedycznej z uwzględnieniem opisu macierzowego, różniczkowego, całkowego oraz algorytmicznego	IBM2A_W01	Activity during classes, Execution of exercises, Execution of laboratory classes, Test, Project, Examination, Report
W3	Zna najważniejsze problemy w zakresie modelowania w bioinżynierii w zakresie metod eksperymentalnych, symulacji i obliczeń numerycznych	IBM2A_W01	Activity during classes, Execution of exercises, Execution of laboratory classes, Test, Project, Examination, Report
Skills - Student can:			
U1	Potrafi ocenić przydatność standardowych metod możliwych do zastosowania dla rozwiązania postawionego problemu inżynierskiego z zakresu bioinżynierii, szczególnie w obszarze swojej specjalności. Potrafi również dostrzec ograniczenia tych metod oraz potencjalne możliwości ich modyfikacji i udoskonalenia	IBM2A_U03	Activity during classes, Execution of exercises, Execution of laboratory classes, Test, Project, Examination, Report
U2	Potrafi opracować prosty program lub wykorzystać dostępny program symulacji komputerowej zagadnień z zakresu inżynierii biomedycznej. Potrafi zinterpretować dane uzyskane na drodze symulacji komputerowej	IBM2A_U03	Activity during classes, Execution of exercises, Execution of laboratory classes, Test, Project, Examination, Report
Social competences - Student is ready to:			
K1	Potrafi pozyskiwać informacje z przedmiotowej literatury służące do rozwiązywania złożonych problemów inżynierskich z zakresu inżynierii biomedycznej oraz nauk powiązanych, zarówno w języku polskim jak i obcym. Potrafi wyciągać wnioski z zasobów informacji zgromadzonych z różnych źródeł, konfrontować i porównywać je, wyciągać wnioski oraz formułować krytyczne i uzasadnione opinie	IBM2A_K01, IBM2A_K02, IBM2A_K03, IBM2A_K04	Activity during classes, Execution of exercises, Execution of laboratory classes, Test, Project, Examination, Report

Student workload

Activity form	Average amount of hours* needed to complete each activity form
Lectures	14
Laboratory classes	14
Preparation for classes	15

Realization of independently performed tasks	10
Examination or final test/colloquium	2
Preparation of project, presentation, essay, report	5
Student workload	Hours 60
Workload involving teacher	Hours 28

* hour means 45 minutes

Program content

No.	Program content	Course's learning outcomes	Activities
1.	1. Rola modeli w fizjologii i medycynie. Etapy procesu modelowania. Klasyfikacja modeli. Przykłady modeli układów biologicznych. Ograniczenia modeli. Analiza szeregów czasowych. 2. Opis dynamiki systemów z wykorzystaniem równań różniczkowych zwyczajnych (ODE). Modele liniowe i nieliniowe. Modele pierwszego i drugiego rzędu. Odpowiedzi czasowe i stabilność systemu. Podstawowe metody numerycznego rozwiązywania ODE. 3. Modelowanie stochastyczne. Postawy teorii Prawdopodobieństwa. Algorytmy Markov Chain Monte Carlo (MCMC). 4. Modele oparte na równaniach różniczkowych cząstkowych (PDE). Metody numeryczne rozwiązywania PDE. Interpretacja i analiza wyników symulacji w kontekście fizjologicznym. 5. Reprezentacja systemów w dziedzinie operatorowej. Transmitancja operatorowa i schematy blokowe. Podstawowe pojęcia teorii sterowania. Przykłady mechanizmów regulacji w układach fizjologicznych. 6. Problem odwrotny w analizie systemów biologicznych. Modele parametryczne i nieparametryczne. Podstawy identyfikacji systemów. Wpływ szumu i niepewności danych na proces identyfikacji. Walidacja modelu. 7. Podstawowe metody estymacji parametrów modelu. Metoda najmniejszych kwadratów. Estymacja bayesowska.	W1, W2, W3, U1, U2, K1	Lectures

No.	Program content	Course's learning outcomes	Activities
2.	1. Modelowanie danych – ilościowa charakterystyka szeregów czasowych 2. Modelowanie systemów – równania różniczkowe zwyczajne 3. Modelowanie systemów – modele stochastyczne 4. Modelowanie systemów – równania różniczkowe cząstkowe 5. Modelowanie systemów – transmitancja operatorowa 6. Estymacja parametrów modelu danych metodą najmniejszych kwadratów 7. Bayesowska estymacja parametrów modelu danych metodą MCMC	W1, W2, W3, U1, U2, K1	Laboratory classes

Extended information/Additional elements

Teaching methods and techniques :

Group work, Work with source text, Lecture, Discussion, Visual thinking (mind mapping, concept mapping, sketchnoting), Peer learning, Team Based Learning

Activities	Methods of verification	Credit conditions
Lectures	Test, Examination	
Lab. classes	Activity during classes, Execution of exercises, Execution of laboratory classes, Test, Project, Report	

Rules of participation in given classes, indicating whether student presence at the lecture is obligatory

Lectures: Studenci uczestniczą w zajęciach poznając kolejne treści nauczania zgodnie z sylabusem przedmiotu. Studenci winni na bieżąco zadawać pytania i wyjaśniać wątpliwości. Rejestracja audiowizualna wykładu wymaga zgody prowadzącego.
 Lectures: Studenci uczestniczą w zajęciach poznając kolejne treści nauczania zgodnie z sylabusem przedmiotu. Studenci winni na bieżąco zadawać pytania i wyjaśniać wątpliwości. Rejestracja audiowizualna wykładu wymaga zgody prowadzącego.
 Laboratory classes: Studenci wykonują ćwiczenia laboratoryjne zgodnie z materiałami udostępnionymi przez prowadzącego. Student jest zobowiązany do przygotowania się w przedmiocie wykonywanego ćwiczenia, co może zostać zweryfikowane kolokwium w formie ustnej lub pisemnej. Zaliczenie zajęć odbywa się na podstawie zaprezentowania rozwiązania postawionego problemu. Zaliczenie modułu jest możliwe po zaliczeniu wszystkich zajęć laboratoryjnych.

Literature

Obligatory

1. Cobelli, C. & Carson, E. R. Introduction to Modeling in Physiology and Medicine, 2nd ed., Academic Press (Elsevier), 2019. ISBN 978-0128157565.
2. Carson, E. R. & Cobelli, C. Modelling Methodology for Physiology and Medicine, 2nd ed., Elsevier Science, 2014. ISBN 978-0124115576.
3. Tadeusiewicz, R., Jaworek, J., Kańtoch, E. Wprowadzenie do modelowania systemów biologicznych oraz ich symulacji w środowisku MATLAB. Lublin: Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki, Instytut Informatyki, 2012. ISBN 978-83-62773-31-2.

Optional

1. Keesman, K. J. System Identification: An Introduction, Springer Science & Business Media, 2011. ISBN 978-0857295224.
2. Spong, M. W. Introduction to Modeling and Simulation: A Systems Approach, Wiley, 2023, ISBN 978-1119982883.
3. Dudek-Dyduch, E., Wąs, J., Dutkiewicz, L., Grobler-Dębska, K., & Gudowski, B. Metody numeryczne – wybrane zagadnienia. Kraków: Wydawnictwa AGH, 2011. ISBN 978-83-7464-452-5
4. Marcinkowski, L. Numeryczne rozwiązanie równań różniczkowych (skrypt/wykład, Uniwersytet Warszawski, 2011) – skrypt wykładowy z Uniwersytetu Warszawskiego.

Scientific research and publications

Publications

1. Molina, L., & Iwaniec, M. (2022). Lower limb models used for biomechanical analysis of human walking. MATEC Web of Conferences, 357, 03006. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202235703006>
2. Wawryka, P. S., Molina Arias, L., Frankowski, G., Ciężarek, P., Zyznawska, J., & Duda, J. T. (2026). Intra- and Inter-Individual Spectral Pattern Variability of sEMG in Elbow Flexor Motor Tasks. Sensors, 26(3), 878. <https://doi.org/10.3390/s26030878>
3. Mochon, S., & McMahon, T. A. (1980). Ballistic walking. Journal of Biomechanics, 13(1), 49–57. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(80\)90007-X](https://doi.org/10.1016/0021-9290(80)90007-X)
4. Iwaniec, M., Molina Arias, L., & Iwaniec, J. (2025). Characterization of Human Gait by Means of the Trajectory of the Instantaneous Centers of Rotation of Lower Limb Segments in the Sagittal Plane. IEEE Access, 13, 27438–27448. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3539452>
5. Molina Arias, L., Iwaniec, J., & Iwaniec, M. (2021). Modeling and Analysis of the Power Conditioning Circuit for an Electromagnetic Human Walking-Induced Energy Harvester. Energies, 14(12), 3367. <https://doi.org/10.3390/en14123367>
6. George, K., Kubota, K., & Twizell, E. (2004). A two-dimensional mathematical model of percutaneous drug absorption. BioMedical Engineering OnLine, 3(1), 18. <https://doi.org/10.1186/1475-925X-3-18>
7. Crecil Dias, C., Kamath, S., & Vidyasagar, S. (2020). Blood glucose regulation and control of insulin and glucagon infusion using single model predictive control for type 1 diabetes mellitus. IET Systems Biology, 14(3), 133–146. <https://doi.org/10.1049/iet-syb.2019.0101>
8. Rahmanian, F., Dehghani, M., Karimaghaee, P., Mohammadi, M., & Abolpour, R. (2021). Hardware-in-the-loop control of glucose in diabetic patients based on nonlinear time-varying blood glucose model. Biomedical Signal Processing and Control, 66(April 2020), 102467. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.102467>
9. Westerhof, N., Lankhaar, J.-W., & Westerhof, B. E. (2009). The arterial Windkessel. Medical & Biological Engineering & Computing, 47(2), 131–141. <https://doi.org/10.1007/s11517-008-0359-2>
10. Bates, J. H. T., Irvin, C. G., Farré, R., & Hantos, Z. (2011). Oscillation Mechanics of the Respiratory System. In Comprehensive Physiology (Vol. 1, Issue 3, pp. 1233–1272). Wiley. <https://doi.org/10.1002/cphy.c100058>
11. Linden, N. J., Kramer, B., & Rangamani, P. (2022). Bayesian parameter estimation for dynamical models in systems biology. In PLoS Computational Biology (Vol. 18, Issue 10). <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1010651>
12. Valderrama-Bahamóndez, G. I., & Fröhlich, H. (2019). MCMC Techniques for Parameter Estimation of ODE Based Models in Systems Biology. Frontiers in Applied Mathematics and Statistics, 5. <https://doi.org/10.3389/fams.2019.00055>
13. Green, P. L., & Worden, K. (2015). Bayesian and Markov chain Monte Carlo methods for identifying nonlinear systems in the presence of uncertainty. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 373(2051). <https://doi.org/10.1098/rsta.2014.0405>
14. Tabor, Z. (2003). Simulated aging - A novel method for estimating the risk of fracture of trabecular bone. Bone, 33(2),

229-236. [https://doi.org/10.1016/S8756-3282\(03\)00224-2](https://doi.org/10.1016/S8756-3282(03)00224-2)

15. Van de Vosse, F. N., & Stergiopulos, N. (2011). Pulse Wave Propagation in the Arterial Tree. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 43(1), 467-499. <https://doi.org/10.1146/annurev-fluid-122109-160730>
16. Russo, F. di, Teder-Sälejärvi, W. A., & Hillyard, S. A. (2003). Steady-State VEP and Attentional Visual Processing. In *The Cognitive Electrophysiology of Mind and Brain* (Issue February, pp. 259-274). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-012775421-5/50013-3>

Learning outcomes prescribed to a field of study

Code	Content
IBM2A_K01	potrafi myśleć i działać w sposób kreatywny i przedsiębiorczy
IBM2A_K02	rozumie potrzebę formułowania i przekazywania społeczeństwu — m.in. poprzez środki masowego przekazu — informacji i opinii dotyczących osiągnięć informatyki i innych aspektów działalności inżyniera biomedycznego; podejmuje starania, aby przekazać takie informacje i opinie w sposób powszechnie zrozumiały, przedstawiając różne punkty widzenia
IBM2A_K03	potrafi pracować w grupie interdyscyplinarnej (interdyscyplinarnym zespole)
IBM2A_K04	ma świadomość odpowiedzialności związanej z działalnością inżynierską, wpływu podejmowanych czynności na życie i zdrowie pacjentów i personelu medycznego oraz konieczności przestrzegania zasad etyki zawodowej
IBM2A_U03	potrafi opracować szczegółową dokumentację wyników eksperymentu, zadania projektowego lub badawczego; potrafi przygotować opracowanie zawierające omówienie tych wyników a także potrafi przygotować i przedstawić prezentację na temat realizacji zadania projektowego lub badawczego oraz poprowadzić dyskusję dotyczącą przedstawionej prezentacji
IBM2A_W01	ma rozszerzoną i pogłębioną wiedzę z zakresu matematyki, fizyki, chemii i biologii przydatną do formalnego opisu, modelowania i weryfikacji zjawisk, sygnałów i systemów biologicznych i technicznych