

**Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova
Universitatea Tehnică a Moldovei
Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică
Departamentul Microelectronica și Inginerie Biomedicală**

**Admis la susținere
Șef interimar de departament:
conf.univ., dr. Serghei RAILEAN**

”_” _____ 2022

**Rolul inteligenței artificiale în bioprintarea
țesuturilor și organelor
Teză de master**

**Student: _____ Ana-Maria Popușoi
gr. IBM-201M**

**Conducător: _____ Viorel Nacu
prof.univ., dr.hab. med.**

Chișinău – 2022

ADNOTARE

La teza de master cu tema „Rolul inteligenței artificiale în bioprintarea țesuturilor și organelor” a masterandei Popușoi Ana-Maria.

Lucrarea cuprinde 3 capitole, 29 figuri și 19 surse bibliografice.

Scopul lucrării constă în studierea, cercetarea și stabilirea rolului inteligenței artificiale în domeniul bioprintării țesuturilor și organelor.

Domeniul de cercetare îl constituie atât inteligența artificială cât și bioprintarea țesuturilor și organelor.

Originalitatea științifică o reprezintă studiul asupra rezultatului care poate fi obținut în urma îmbinării și interconectării a două domenii absolut diferite, cum sunt inteligența artificială și bioprintarea țesuturilor și organelor.

Teza cuprinde în sine introducere, 3 capitole, concluzii, bibliografie.

Capitolul 1 cercetează ce reprezintă de fapt inteligenței artificiale, cum a apărut aceasta care sunt tipurile acesteia, ce algoritmi utilizează și unde se aplică.

Al doilea capitol conține un studiu despre bioprintarea țesuturilor și organelor, care au fost primele încercări, ce metode de bioprintare există și în ce constau acestea, care sunt tipurile de cerneli biologice și ce tipuri de bioprintere sunt în lume, precum și exemple de țesuturi și organe deja create cu ajutorul acestora.

Capitolul 3 relatează întocmai rolul pe care îl joacă inteligența artificială în bioprintarea organelor și țesuturilor.

În concluzie se remarcă importanța implementării inteligenței artificiale în bioprintarea țesuturilor și organelor, precum și rolul îmbinării acestor două domenii în medicina generală.

ANNOTATION

In the master's thesis on "The role of artificial intelligence in bioprinting of tissues and organs" by student Popușoi Ana-Maria.

The paper includes 3 chapters, 29 figures and 19 bibliographic sources.

The purpose of the work is to study, research and establish the role of artificial intelligence in the field of bioprinting of tissues and organs.

The field of research is both artificial intelligence and bioprinting of tissues and organs.

Scientific originality presents the study of the result that can be obtained by combining and interconnecting two completely different fields, such as artificial intelligence and bioprinting of tissues and organs.

The thesis itself includes an introduction, 3 chapters, conclusions, bibliography.

Chapter 1 examines what artificial intelligence actually is, how it came to be, what its types are, what algorithms it uses, and where it applies.

The second chapter contains a study on the bioprinting of tissues and organs, which were the first attempts, what methods of bioprinting exist and what they consist of, what types of biological inks and what types of bioprinting are in the world, as well as examples of tissues and organs already created with their help.

Chapter 3 describes exactly the role that artificial intelligence plays in the bioprinting of organs and tests.

In conclusion, it is important to implement artificial intelligence in the bioprinting of tissues and organs, as well as the role of combining these two fields in general medicine.

CUPRINS

INTRODUCERE.....	8
1. INTELIGENȚA ARTIFICIALĂ.....	9
1.1. Noțiunea de inteligență artificială.....	9
1.2. Istoria apariției inteligenței artificiale.....	11
1.3. Tipuri de inteligență artificială.....	11
1.4. Algoritmi de învățare a inteligenței artificiale.....	11
1.5. Aplicații ale inteligenței artificiale în diverse domenii.....	12
2. BIOPRINTAREA.....	17
2.1. Ce reprezintă bioprintarea în sine.....	19
2.2. Istoria apariției bioprintării și primele încercări.....	24
2.3. Strategii de bioprintare a țesuturilor.....	26
2.4. Tipuri de cernele biologice.....	32
2.5. Tipuri de bioprintere.....	37
2.6. Țesuturi și organe create cu ajutorul bioprinterelor.....	42
3. PONDEREA INTELIGENȚEI ARTIFICIALE ÎN BIOPRINTAREA ȚESUTURILOR ȘI ORGANELOR.....	48
3.1. Dispersia bazelor de date a experimentelor din domeniul bioprintării.....	48
3.2. Bază de date internațională și inteligentă.....	48
CONCLUZII.....	52
BIBLIOGRAFIE.....	53

INTRODUCERE

În ultimele două decenii știința progresează văzând cu ochii, încât omul abia de mai reușește să se gonească după ea. Gadget-urile devin tot mai inteligente, având și o multitudine de aplicații care au abilitatea de a se auto-învăța.

Medicina de a semenea nu stă pe loc, apar noi metode de tratament, medicamente, se efectuează intervenții chirurgicale revoluționare. În ultimii ani tot mai des se discută despre crearea de organe artificiale prin diverse metode, dar și organele imprimate 3D pe bază de celule vii.

Apare câteva întrebări logice: Ce va fi dacă vom combina două ramuri ale științei care la prima vedere nu au nimic în comun? Poate oare implementarea inteligenței artificiale să simplifice imprimarea organelor 3D? La acestea și multe alte întrebări va fi posibil de răspuns în urma unui studiu minuțios atât a științei despre inteligența artificială cât și despre bioimprimarea țesuturilor și organelor. La baza acestei cercetări se află experimentele anterioare efectuate de către laboratoarele și instituțiile din domeniu. Precum și articolele din diverse surse care conțin ceva informații despre aceste două vaste și interesante domenii ale științei contemporane.

BIBLIOGRAFIE

1. SAS: *Искусственный интеллект: Что это такое и почему это так важно*. SAS Institute Inc. ©2021 [citat 06.09.2021]. Disponibil: https://www.sas.com/ru_ru/insights/articles/analytics/what-is-artificial-intelligence.html.
2. ORACLE: *Что такое искусственный интеллект- (ИИ)?* Oracle, ©2021 [citat 05.09.2021]. Disponibil: <https://www.oracle.com/ru/artificial-intelligence/what-is-ai/>.
3. TADVISER: *Искусственный интеллект (ИИ)*. Tadviser, ©2005-2021 [citat 08.09.2021] Disponibil: [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:%D0%98%D1%81%D0%BA%D1%83%D1%81%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82_\(%D0%98%D0%98,_Artificial_intelligence,_AI\)](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:%D0%98%D1%81%D0%BA%D1%83%D1%81%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82_(%D0%98%D0%98,_Artificial_intelligence,_AI)).
4. ACTUALITATE Parlamentul European: *Ce este inteligența artificială și cum este utilizată?* Parlamentul European, 2021 [citat 10.09.2021] Disponibil: <https://www.europarl.europa.eu/news/ro/headlines/society/20200827STO85804/ce-este-inteligenta-artificiala-si-cum-este-utilizata>
5. Техническое творчество Челябинской области: *Что такое биопечать?* Региональный центр технического творчества, 2017-2021 [citat 10.09.2021] Disponibil: <https://robo74.ru/news/chto-takoe-biopечатat>.
6. Сколково: *Что такое биопечать и в чем ее значение?* Фонд Сколково, ©2021 [citat 13.09.2021] Disponibil: https://old.sk.ru/news/b/press/archive/2013/08/21/chto-takoe-biopечатat-i-v-chem-ee-znachenie_3f00.aspx.
7. ФГБУ Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова МЧС России: *3D Биопечать*. ФГБУ ВЦЭРМ им. А.М. Никифорова МЧС России, ©2006-2021 [citat 10.09.2021] Disponibil: <https://nrcerm.ru/patient-guide/live-healthy/3d-bioprinting/>
8. TOP 3D SHOP: *Биопечать в 2020 году: технологии и принтеры*. Top 3D Shop Inc., 2005 [citat 08.09.2021]. Disponibil: <https://top3dshop.ru/blog/bioprinting-2019-technology-and-printers.html>.
9. ScienceDirect: *Biomimetic multifunctional surfaces inspired from animals*. Elsevier B. V. ©2016 [citat 18.11.2021] Disponibil:

https://www.google.com/search?q=biomimetism&sxsrf=AOaemvLta2ii3IInB5EpEa1Rl6OiD2jt6g:1640272974994&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwik2YiAnfr0AhUvi_0HHfy8BtIQ_AUoAXoECAMQAw&cshid=1640273018921731&biw=1536&bih=664&dpr=1.25#imgrc=eRFB8aMutZ0vUM

10. ZDRAV. EXPERT: *Выращивание органов (биопечать, биопринтинг.* ZDRAV. EXPERT ©2005-2021 [citat 11.09.2021] Disponibil: [https://zdrav.expert/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%92%D1%8B%D1%80%D0%B0%D1%89%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BE%D1%80%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2_\(%D0%91%D0%B8%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B0%D1%82%D1%8C,%D0%B1%D0%B8%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B3\)](https://zdrav.expert/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%92%D1%8B%D1%80%D0%B0%D1%89%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BE%D1%80%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2_(%D0%91%D0%B8%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B0%D1%82%D1%8C,%D0%B1%D0%B8%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B3))
11. BIOPRINTERE: *10 lucruri pe care ar trebui să le știți despre cum funcționează procesele de bioprintare 3D.* [citat 16.09.2021] Disponibil: <http://www.bioprintere.ro/10-lucruri-pe-care-ar-trebuie-sa-le-stiti-despre-cum-functioneaza-bioprintarea-3d/>
12. Mihai Boeru: *O tehnică inovatoare de imprimare 3D a țesuturilor, care permite crearea rețelelor vasculare, a fost dezvoltată de ingineri americani.* 360 MEDICAL ©2008 [citat 21.09.2021] Disponibil: <https://360medical.ro/pharma/cercetare-dezvoltare-pharma/o-tehnica-inovatoare-pentru-tesuturile-printate-3d-care-permite-crearea-retelelor-vasculare-dezvoltata-de-inginerii-americani/2019/05/06/>
13. Direct Industry: *CAD/CAM software DentalCad.* Virtual Expo Group ©2021 [citat 15.10.2021] Disponibil: https://www.google.com/search?q=CAD-CAM&tbm=isch&ved=2ahUKEwig_NvPnvr0AhXZgM4BHXRUAAtYQ2-cCegQIABAA&oq=CAD-CAM&gs_lcp=CgNpbWcQAzIECAAQEzIECAAQEzIECAAQEzIECAAQEzIGCAAQHhATMgYIABAEeEBMyBggAEB4QEzIGCAAQHhATMgYIABAEeEBMyBggAEB4QEzoHCCMQ7wMQJzoECAAQQzoFCAAQgAQ6CwgAEIAEELDEIMBOggIABCABBCxAzoICAAQsQMqgwFQqh1Y7jNg7DZoAXAAeACAAZABiAHJB5IBAzEuOJgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nwAEB&sclient=img&ei=ApbEYADzG9mBur4P9KiJsA0&bih=664&biw=1536#imgrc=dFdKAV3ivfrfTM
14. ABOUTSOFT: *CAD/CAM systems in Dentistry.* [citat 23.10.2021] Disponibil: https://www.google.com/search?q=CAD-CAM&tbm=isch&ved=2ahUKEwig_NvPnvr0AhXZgM4BHXRUAAtYQ2-cCegQIABAA&oq=CAD-CAM

[CAM&gs_lcp=CgNpbWcQAzIECAAQEzIECAAQEzIECAAQEzIECAAQEzIGCAAQHhATMgYIABAEeEBMyBggAEB4QEzIGCAAQHhATMgYIABAEeEBMyBggAEB4QEzoHCCMQ7wMQJzoECAAQQzoFCAAQgAQ6CwgAEIAEELLEDEIMBOggIABCABBCxAzoICAAQsQMQgwFQqh1Y7jNg7DZoAXAAeACAAZABiAHJB5IBAzEuOJgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nwAEB&sclient=img&ei=ApbEYADzG9mBur4P9KiJsA0&bih=664&biw=1536#imgrc=IILTyY8xfScAXM](https://www.google.com/search?q=CAM&gs_lcp=CgNpbWcQAzIECAAQEzIECAAQEzIECAAQEzIECAAQEzIGCAAQHhATMgYIABAEeEBMyBggAEB4QEzIGCAAQHhATMgYIABAEeEBMyBggAEB4QEzoHCCMQ7wMQJzoECAAQQzoFCAAQgAQ6CwgAEIAEELLEDEIMBOggIABCABBCxAzoICAAQsQMQgwFQqh1Y7jNg7DZoAXAAeACAAZABiAHJB5IBAzEuOJgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nwAEB&sclient=img&ei=ApbEYADzG9mBur4P9KiJsA0&bih=664&biw=1536#imgrc=IILTyY8xfScAXM)

15. Jurnal: *Accident sinistru în timpul unui RMN. Motivul pentru care pacientul a decedat.*

Jurnalul ©2021 [citat 15.11.2021] Disponibil:

https://www.google.com/search?q=modelarea+rmn&tbn=isch&ved=2ahUKEwjPoYynr_r0AhUoOewKHYgaCw0Q2-

[cCegQIABAA&oq=modelarea+rmn&gs_lcp=CgNpbWcQAzoHCCMQ7wMQJzoECAAQEzoICAAQBxAeEBM6BggAEB4QEzoKCCMQ7wMQ6gIQJzoECAAQQzoFCAAQgAQ6CAgAEIAEELLEDOgsIABCABBCxAxCDAToECAAQAZoICAAQsQMQgwE6BAgAEB46BAgAEBhQ4QZYmzxgij9oAXAAeAOAA4BiAG_EZIBBjkuMTAuMZgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nsAEKwAEB&sclient=img&ei=gKfEYc_hKKjysAeltaxo&bih=664&biw=1536#imgrc=dsO2LuzWzlTjBM&imgdii=0jCkYQTMdLUHKM](https://www.google.com/search?q=cCegQIABAA&oq=modelarea+rmn&gs_lcp=CgNpbWcQAzoHCCMQ7wMQJzoECAAQEzoICAAQBxAeEBM6BggAEB4QEzoKCCMQ7wMQ6gIQJzoECAAQQzoFCAAQgAQ6CAgAEIAEELLEDOgsIABCABBCxAxCDAToECAAQAZoICAAQsQMQgwE6BAgAEB46BAgAEBhQ4QZYmzxgij9oAXAAeAOAA4BiAG_EZIBBjkuMTAuMZgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nsAEKwAEB&sclient=img&ei=gKfEYc_hKKjysAeltaxo&bih=664&biw=1536#imgrc=dsO2LuzWzlTjBM&imgdii=0jCkYQTMdLUHKM)

16. Materiale pvgazeta: *Tehnologii de tipărire stereolitografie (sla) pe 3dprofy.* Materiale

pvgazeta ©2021 [citat 16.11.2021] Disponibil:

https://www.google.com/search?q=stereolitografie&tbn=isch&ved=2ahUKEwiT9_fftPr0AhUK_BoKHY38AFIQ2-

[cCegQIABAA&oq=stereolitografie&gs_lcp=CgNpbWcQAzIFCAAQgAQyBAgAEBg6BwgjEO8DECC6CggjEO8DEOoCECc6BAGAEAM6CwgAEIAEELLEDEIMBOggIABCABBCxAzoECAAQQzoICAAQsQMQgwE6BAgAEB46BggAEAUQHjoGCAAQChAYUKUFWM89YOFaAaFwAHgCgAG0AYgBgxqSAQUxNC4xOJgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nsAEKwAEB&sclient=img&ei=Nq3EYZOEA4r4a435g5AF&bih=664&biw=1536#imgrc=OfUw7aedfA_TiM](https://www.google.com/search?q=cCegQIABAA&oq=stereolitografie&gs_lcp=CgNpbWcQAzIFCAAQgAQyBAgAEBg6BwgjEO8DECC6CggjEO8DEOoCECc6BAGAEAM6CwgAEIAEELLEDEIMBOggIABCABBCxAzoECAAQQzoICAAQsQMQgwE6BAgAEB46BggAEAUQHjoGCAAQChAYUKUFWM89YOFaAaFwAHgCgAG0AYgBgxqSAQUxNC4xOJgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nsAEKwAEB&sclient=img&ei=Nq3EYZOEA4r4a435g5AF&bih=664&biw=1536#imgrc=OfUw7aedfA_TiM)

17. Marta Milewsca: *Siedlecki szpital z najnowocześniejszym na świecie robotem chirurgicznym.*

Warszawsca izba gospodarcza ©2019 [citat 08.11.2021] Disponibil:

<https://www.google.com/search?q=+aplicatii+ale+inteligenta+artificiala&tbn=isch&ved=2ahUKEwiimPy1uPr0AhXGuKQKHwjgACYQ2->

[cCegQIABAA&oq=+aplicatii+ale+inteligenta+artificiala&gs_lcp=CgNpbWcQAzoHCCMQ7wMQJzoFCAAQgAQ6BggAEAcQHjoECAAQGFDAbljLWdnMmgBcAB4AIABkgGIAaomkgEDOC43mAEOAEBqgELZ3dzLXdpei1pbWfAAQE&sclient=img&ei=D7HEYeLUL](https://www.google.com/search?q=cCegQIABAA&oq=+aplicatii+ale+inteligenta+artificiala&gs_lcp=CgNpbWcQAzoHCCMQ7wMQJzoFCAAQgAQ6BggAEAcQHjoECAAQGFDAbljLWdnMmgBcAB4AIABkgGIAaomkgEDOC43mAEOAEBqgELZ3dzLXdpei1pbWfAAQE&sclient=img&ei=D7HEYeLUL)

[8bxkgXiwIGwAg&bih=664&biw=1536#imgrc=XPIDcNXk_s0lM&imgdii=sLOONndMRyYP7M](https://www.google.com/search?bih=664&biw=1536#imgrc=XPIDcNXk_s0lM&imgdii=sLOONndMRyYP7M)

18. Algoritmi metaeuristici- curs 13: *Rețele neuronale artificiale*. ALGORITHMICS [citat 17.10.2021]

Disponibil:

[https://www.google.com/search?q=retele+neuronale&tbm=isch&ved=2ahUKEwi2r-fXuPr0AhXBDuwKHaU9A6kQ2-cCegQIABAA&oq=retele+neuronale&gs_lcp=CgNpbWcQAzIFCAAQgAQyBQgAEIAEMgUIABCABDIECAAQGDIIECAAQGDIIECAAQGDIIECAAQGDIIECAAQGD0HCMMQ7wMQJzoECAAQAzoICAAQgAQQsQM6BAgAEENQAFj1GGCOHGgAcAB4AIABugKIAZwRkgEHNy42LjluMZgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nwAEB&sclient=img&ei=VrHEYbasLcGdsAel-4zICg&bih=664&biw=1536#imgrc=jXga51myD5LAvM](https://www.google.com/search?q=retele+neuronale&tbm=isch&ved=2ahUKEwi2r-fXuPr0AhXBDuwKHaU9A6kQ2-cCegQIABAA&oq=retele+neuronale&gs_lcp=CgNpbWcQAzIFCAAQgAQyBQgAEIAEMgUIABCABDIECAAQGDIIECAAQGDIIECAAQGDIIECAAQGDIIECAAQGDIIECAAQGD0HCMMQ7wMQJzoECAAQAzoICAAQgAQQsQM6BAgAEENQAFj1GGCOHGgAcAB4AIABugKIAZwRkgEHNy42LjluMZgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nwAEB&sclient=img&ei=VrHEYbasLcGdsAel-4zICg&bih=664&biw=1536#imgrc=jXga51myD5LAvM)

19. Think outside the box: *Urechii umane scoase la imprimanta 3D. V-ați tăiat din greșeală urechea? Nicio problemă, scoateți una la imprimanta 3D și mergeți la un chirurg, să o atașeze în locul celei pierdute. Sună a o operațiune dintr-un film SF, dar este cât se poate de real.* Think outside the box [citat 26.10.2021]

Disponibil:

https://www.google.com/search?q=organ+imprimat+3d&tbm=isch&ved=2ahUKEwj2_IbVufr0AhXD34UKHcPtDhIQ2-cCegQIABAA&oq=organ+imprimat+3d&gs_lcp=CgNpbWcQAzoHCCMMQ7wMQJzoECAAQQzoFCAAQgAQ6BAgAEBg6BAgAEAM6BAgAEB46BAgAEBM6BggAEB4QEzoICAAQCBAeEBNq9g9Y3Utg_VJoAHAAeACAAd8BiAGnD5IBBjcuMTAuMZgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nwAEB&sclient=img&ei=XbLEYbbaGMO_lwTD27uQAQ&bih=664&biw=1536#imgrc=kHCtwBmkHLQ5oM