



(12) **CERERE DE BREVET DE INVENȚIE**

(21) Nr. cerere: **a 2023 00431**

(22) Data de depozit: **07/08/2023**

(41) Data publicării cererii:
30/05/2024 BOPI nr. **5/2024**

(71) Solicitant:
• **UNIVERSITATEA DIN CRAIOVA,**
STR.ALEXANDRU IOAN CUZA NR.13,
CRAIOVA, DJ, RO

(72) Inventatori:
• **BELCIUG SMARANDA,** *STR.ANUL 1848,*
NR.29, CRAIOVA, DJ, RO;
• **ILIESCU DOMINIC GABRIEL,**
STR.PETUNILOR, NR.50, CRAIOVA, DJ,
RO;
• **IVĂNESCU RENATO CONSTANTIN,**
STR.CONSTANTIN ARGETOIANU, NR.18,
BL.A4, SC.1, AP.1, CRAIOVA, DJ, RO;

• **ȘERBĂNESCU MIRCEA SEBASTIAN,**
BD.1 MAI, NR.17, BL.M12, SC.1, AP.13,
CRAIOVA, DJ, RO;
• **NAGY RODICA GABRIELA,**
STR. DECENU, NR.58, BL.E, SC.1, AP.9,
CRAIOVA, DJ, RO;
• **ISTRATE-OFIȚERU ANCA- MARIA,**
ALEEA ROZELOR, NR.13, BL.GA23, SC.A,
AP.23, SLATINA, OT, RO;
• **COMĂNESCU CRISTINA MARIA,**
STR.EROILOR, NR.53, CRAIOVA, DJ, RO;
• **POPA SEBASTIAN DORU,** *STR.*
ARHITECT CONSTANTIN IOTZU, NR.11,
BL.1536, SC.1, AP.12, CRAIOVA, DJ, RO;
• **NASCU ANDREI GABRIEL,**
STR.MIHAIL STRĂJAN, NR.4, BL.A4, SC.A,
AP.15, CRAIOVA, DJ, RO

(54) **SISTEM DE RECUNOAȘTERE A FORMELOR ȘI DETECȚIA ANOMALIILOR ÎN MORFOLOGIA FETALĂ FOLOSIND INTELIGENȚĂ ARTIFICIALĂ**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un sistem de recunoaștere a formelor și de detecție a anomaliilor în morfologia fetală folosind inteligență artificială, destinat să ajute doctorul la ghidarea unei sonde ecografice pentru a obține o bună vizualizare a planurilor biometrice fetale și la verificarea prezenței organelor unui făt, semnalând potențialele anomalii congenitale aferente lor. Sistemul conform invenției cuprinde următoarele module: un modul de preprocesare a datelor în vederea construirii bazei de date de antrenament, un modul de diferențiere a planurilor biometrice folosind etape competitiv/ colaborative ale unui comitet de rețele neuronale, un modul de mixtură Gaussiană și alți algoritmi de învățare statistică, un modul de identificare a organelor și un modul de semnalare a anomaliilor congenitale bazat pe etapele competitiv/colaborative.

Revendicări: 2
Figuri: 2

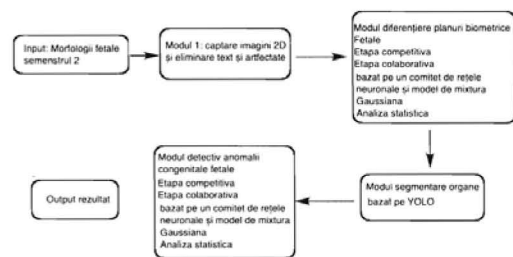


Fig. 1

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. a 2023 oc 431
Data depozit 07-08-2023

RO 138166 A0

21

DESCRIEREA INVENȚIEI

„SISTEM DE RECUNOAȘTERE A FORMELOR ȘI DETECȚIA ANOMALIILOR ÎN MORFOLOGIA FETALĂ FOLOSIND INTELIGENȚĂ ARTIFICIALĂ”

1.1. TITLUL INVENȚIEI

Obiectul invenției constă într-un *Sistem de recunoaștere a formelor și detecția anomaliilor în morfologia fetală folosind inteligență artificială*, dezvoltat în cadrul proiectului *Recunoașterea formelor și detecția anomaliilor în morfologia fetală utilizând Deep learning și învățare statistică* - PARADISE (contract 101PCE/2022, număr proiect PN-III-PCE-2021-0057 acordat de Ministerul Cercetării, Inovării și Digitizării, CNCS-UEFISCDI, în cadrul PNCDI III).

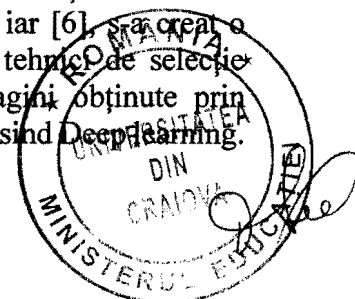
1.2. DOMENIUL DE APLICARE AL INVENȚIEI

Sistemul propune o soluție pentru o scanare automată a morfologiei din trimestrul al doilea de sarcină, care determină automat planurile standard și segmentează structura anatomică, semnalând prezența unor anomalii congenitale, sistem ce se bazează pe o arhitectură de rețele neuronale convolutive (CNN). Interpretarea corectă a unei morfologii fetale prezintă dificultăți atât doctorilor fără experiență, cât și doctorilor cu experiență. Anomaliile congenitale reprezintă cea mai întâlnită cauză de deces fetală, mortalitate infantilă și morbiditate în anii copilăriei. La nivel mondial, în fiecare an, se nasc 7.9 milioane de copii cu anomalii congenitale. Unele dintre acestea pot fi controlate sau tratate, dar totuși 3.2 milioane de copii ajung să rămână cu dizabilități pe viață. Sistemul propus are ca scop analizarea imaginilor dintr-un film ecografic și facilitarea stabilirii unui diagnostic de către medicul ginecolog. Răspunsul sistemului are rol informativ, diagnosticul final fiind pus de doctor.

1.3. STADIUL ACTUAL AL TEHNICII MONDIALE

Morfologia fetală este cel mai important instrument de diagnoză prenatală pentru determinarea anomaliilor congenitale. Ea permite evaluarea structurii și funcționalității organelor. Morfologia fetală nu este o procedură de rutină. Rata de detecție a unor anomalii congenitale pentru un doctor ginecolog cu peste 2000 de examinări este de doar 52% acuratețe, în timp ce rata de detecție pentru un doctor ginecolog cu mai puțin de 2000 de examinări este de 32.5% acuratețe, [1]. Discrepanța pre- și postnatală a anomaliilor congenitale printr-o examinare efectuată manual a fost raportată a fi de 29% la feții născuți vii (7% având un impact asupra îngrijirii pe termen lung) și de 23% în autopsiile fetale, [2]. Un diagnostic prenatal corect îmbunătățește îngrijirea neonatală și pediatrică, precum și rezultatul neurologic și chirurgical. Abordările actuale au limitări, sensibilitatea raportată fiind între 27.5% și 96%, [3]. Lipsa cunoștințelor ecografice necesare, oboseală, lipsa timpului, mișcarea involuntară a fătului, sau diferite caracteristici ale mamei, cum ar fi obezitatea, ar putea face dificilă sau, în unele cazuri, chiar imposibilă obținerea unui diagnostic corect.

În literatură au fost prezentate mai multe încercări de a crea un sistem automat de interpretare a morfologiilor fetale. Namburete et al. a propus o rețea neuronală complet convolutivă pentru a segmenta creierul fetal 3D, [4]. În [5], s-a folosit o rețea neuronală convolutivă pentru evaluarea cardiacă automată folosind ultrasunete 4D, iar [6] s-a creat o segmentare a plămânilor fetali și a creierului folosind Deep learning, tehnică de selecție secvențială a caracteristicilor și mașini cu suport vectorial pentru imagini obținute prin rezonanță magnetică și ultrasunete. În [7], craniul fetal a fost segmentat folosind Deep learning.



Dezavantajele comune ale sistemelor prezentate mai sus sunt: a). folosirea unei singure metode de Inteligență Artificială; b). segmentarea a doar unor părți din făt, nu fătul per ansamblu; (c) folosirea unor imagine scanate 3D/4D și RMN.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în realizarea unui sistem inteligent de decizie ce folosește scanări 2D și îmbină algoritmi de Inteligență Artificială precum rețelele neuronale convolutive (Deep learning) cu învățarea statistică. Spre deosebire de scanările 2D care sunt accesibile în orice spital sau cabinet privat, scanările 3D/4D și RMN necesită pregătire specială, condiții speciale, și este costisitoare.

1.4. SCOPUL INVENȚIEI

Rata de diagnosticare corectă a anomaliilor congenitale prin teste de screening este încă insuficientă. Problemele tehnice rezolvate de sistemului inteligent de decizie PARADISE sunt:

- asigurarea accesului pacienților la îngrijiri medicale de înaltă calitate. Majoritatea femeilor nu-și permit îngrijire prenatală și cu atât mai mult nu își pot permite o morfologie fetală.

- ajutarea doctorilor ginecologi în a stabili un diagnostic corect, aducând tehnologia în fiecare oraș mic, chiar și în țările sărace, astfel încât să crească încrederea în rezultatele examenului morfologic.

- evitarea interpretării greșite din cauza oboselii, presiunii timpului, mișcărilor involuntare ale fătului, contracțiilor, sau a diferitelor caracteristici ale pacientei.

1.5. EXPUNEREA INVENȚIEI

Sistemul inteligent de decizie inventat realizează:

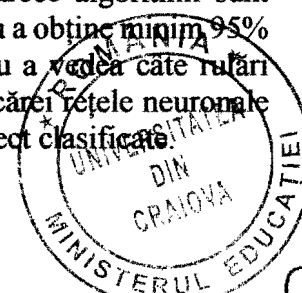
- *ghidarea sondei*: sistemul inteligent ghidează sonda ecografului pentru o mai bună achiziție a planului biometric fetal, cu o acuratețe de peste 90%

- *detecția automată de plan biometric fetal*: planurile fetale sunt detectate și stocate automat, fapt ce asigură că toate structurile anatomice sunt detectate și verificate

- *semnalarea anomaliilor fetale*: sistemul inteligent de decizie semnalează constatări neobișnuite în imagini.

Sistemul cuprinde următoarele module, reprezentate în Figura 1:

1. Modulul de construire a bazei de date: în urma efectuării morfologiei fetale de trimestru doi de sarcină, filmele ultrasonografice sunt salvate, urmând a fi împărțite în imagini consecutive. După un proces de anonimizare ce implică ștergerea elementelor personale din imagini prin preprocesarea lor în vederea identificării textului și altor artefacte cu CV2 [8] și Keras-OCR [9] și redesenarea zonelor șterse folosind culoarea pixelilor alăturați, imaginile sunt împărțite în planuri biometrice, iar organele fătului segmentate și etichetate corespunzător.
2. Modulul de diferențiere între planuri biometrice implică două etape:
 - a. Etapa competitivă: mai multe rețele neuronale convolutive sunt antrenate și validate pe baza de date construită în modulul 1. Deoarece algoritmi sunt stocastici, se efectuează o analiză statistică a puterii, pentru a obține **minim 95%** putere statistică cu eroare de tip I egală cu 0.05, pentru a vedea câte ruli independente sunt necesare. Performanța de decizie a fiecărei rețele neuronale este calculată ca fiind procentul de planuri biometrice corect clasificate.



- b. Se creează o ierarhie a performanțelor rețelelor neuronale folosind modele de mixtură Gaussiană împreună cu o măsură statistică a capacității de diferențiere a planurilor ce ia în considerare acuratețea deciziei fiecărei rețele în faza de testare împreună cu deviația standard corespunzătoare. Diferențele dintre performanțe sunt analizate statistic folosind one-way ANOVA și testele post-hoc Tukey, respectiv testul z pentru compararea proporțiilor. Înainte de a efectua analiza statistică de comparație a performanțelor se efectuează teste de screening a normalității (testele Anderson-Darling și Jarque-Bera) și a egalității varianțelor (testele Levene și Brown-Forsythe).

Rețelele neuronale sunt grupate în clustere folosind modele de mixtură Gaussiană, luând în considerare acuratețea performanței în media și deviația standard corespunzătoare ei. Numărul de clustere este ales ținând cont de varianțele dinăuntru și dintre clustere.

În sistem există două nivele de ierarhizare, cel format de metoda de mixtură Gaussiană, respectiv ierarhia rețelelor neuronale în fiecare cluster.

- c. Etapa colaborativă: din fiecare cluster se va păstra cea mai performantă rețea neuronală căreia i se va asigna o pondere direct proporțională cu performanța ei normalizată cu performanța clusterului din care face parte (o combinație convexă a performanțelor medii), $\gamma_i = \frac{Avg(C_i)}{\sum Avg(C_i)}$. Același calcul este efectuat și pentru normalizarea performanțelor dintre clustere $\delta_{ij} = \frac{Avg(DL_{ij})}{\sum Avg(DL_{ij})}$.

Ponderea fiecărei rețele neuronale o să fie calculată folosind formula $\gamma_i \cdot \delta_{ij}$.

Decizia finală a sistemului referitoare la stabilirea planului biometric va fi luată colaborativ printr-un sistem sinergetic de vot ponderat (figura 2).

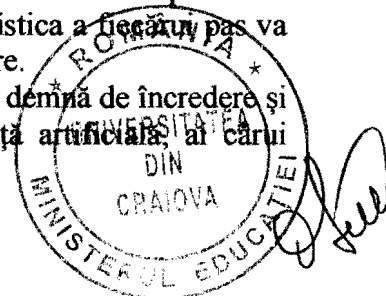
Ilustrarea modului de stabilire a planului biometric e reprezentat în figura 2.

3. Modul de segmentare a organelor: după aplicarea modului de diferențiere a planurilor biometrice, se aplică YOLO pentru a segmenta organele, [10].
4. Modulul de semnalare a anomaliilor congenitale: se aplică același principiu ca la modulul de diferențiere dintre planurile biometrice, doar că în acest modul se diferențiază structurile între două clase normal și anormal.

Odată antrenat, sistemul se aplică pe morfologii fetale noi. Filmele se împart în imagini consecutive, care sunt clasificate de către sistem. Sistemul permite doctorului să aleagă care este probabilitatea dorită pentru identificarea planurilor biometrice, precum și probabilitatea pentru identificarea organelor, respectiv a clasificării lor ca fiind normale sau anormale. Imaginile care îndeplinesc cumulativ condițiile sunt stocate și etichetate conform răspunsului sistemului. Rezultatul este stocat pentru doctor pentru a fi verificat de către doctor ulterior.

În concluzie, avantajul acestui sistem inteligent de decizie dezvoltat contribuie semnificativ la îmbunătățirea fiabilității și detecției prenatale a anomaliilor congenitale care ar putea apărea la examinarea morfologiei fetale. Erorile datorate interpretării umane greșite constituie un motiv de îngrijorare. Doctorii ar putea să nu detecteze anomaliile congenitale și tratamentele posibile nu ar putea fi pregătite din timp și nici aplicate (întreruperea sarcinii, pregătirea echipei de neonatologie, a echipei de chirurgie etc.). Potențialul sistemului este evident, deoarece construiește un sistem inteligent de decizie care poate indica probleme ce pot fi ratate de ochiul neantrenat sau obosit. Invenția noastră are un impact asupra Inteligenței Artificiale aplicate în medicină, nu se limitează doar la un singur algoritm, iar validarea statistică a fiecărui pas va elimina inducerea în eroare a practicii clinice sau a cercetărilor ulterioare.

Folosirea unui singur algoritm de inteligență artificială nu este la fel de demnă de încredere și robustă precum un folosirea unui comitet de algoritmi de inteligență artificială, al cărui



componente au fost alese ierarhic de către alți algoritmi de învățare statistică pe baza evaluării statistice ale performanțelor lor.

Este greu de cuantificat impactul social și economic al sistemului. Un făt nediagnosticat cu anomalii congenitale duce la nașterea unui copil a cărui viață este amenințată, care ar putea avea una sau mai multe dizabilități, iar aceste lucruri afectează rutina zilnică a familiei și finanțele. Nivelul de afectare este greu de apreciat, deoarece depinde de gravitatea bolii și de situația asigurării de sănătate a familiilor. Pe lângă impactul social și economic, trebuie luat în considerare și impactul mental asupra familiei. Deci, invenția noastră creează un mediu ce va contribui semnificativ la sistemul de sănătate, industria medicală, farmaceutică, economică, și nu în ultimul rând, la bunăstarea fiecărui individ.

1.6. REFERINȚE

1. Tegnander, E., Eik-Nes, S.H., The examiner's ultrasound experience has a significant impact on the detection rate of congenital heart defect at the second trimester fetal examination. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 28, 8-14, 2006.
2. Bensemlali, M., et al. Discordances between pre-natal and postnatal diagnoses of congenital heart diseases and impact on care strategies. *J Am Coll Cardiol*, 68, 921-930, 2016.
3. Salomon, L., et al., A score-based method for quality control of fetal images at routine second trimester ultrasound examination. *Prenat Diagn*, 28 (9), 822-827, 2008.
4. Namburete, A. et al., Fully automated alignment of 3D fetal brain ultrasound to a canonical reference space using multi-task learning. *Med Image Anal*. 46, 1-14, 2018.
5. Phillip, M. et al., Convolutional Neural Networks for Automated Fetal Cardiac Assessment using 4D B-Mode Ultrasound. 824-828, 2019. doi: 10.1109/ISBI.2019.8759377.
6. Torrents-Barrena, J. et al. Assessment of radiomics and deep learning for the segmentation of fetal and maternal anatomy in magnetic resonance imaging and ultrasound. *Acad. Radiol.*, S1076-6332(19)30575-6, 2019.
7. Al-Bander, B. et al., Improving fetal head countour detection by object localization with deep learning. Zheng Y et al. (eds.). *Annual Conference on Medical Image Understanding and Analysis*, Springer, 142-150, 2020.
8. <https://pypi.org/project/opencv-python/>
9. <https://keras-ocr.readthedocs.io/en/latest/>
10. <https://docs.ultralytics.com/>



2. REVENDICĂRI

R1. Sistemul inteligent de decizie folosit pentru a automatiza realizarea unei morfologii fetale de trimestrul al doilea bazat pe inteligență artificială compus din modulul (1) de construirea a bazei de date de antrenament prin anonimizarea datelor și eliminarea artefactelor folosind CV2 și Keras-ORC, modulul (2) de diferențierea a planurile biometrice folosind etapele competitiv/colaborative a comitetului de rețele neuronale, modelul de mixtură Gaussiană și ierarhizare lor statistică, modulul (3) de identificare a organelor folosind YOLO, și modulul (4) de semnalarea a anomaliilor congenitale bazat pe etapele competitiv/colaborative.

R2. Sistemul automat de semnalare a anomaliilor fetale ce interacționează cu doctorul, conform revendicării R1, ce este caracterizat prin colectarea datelor din filmele ecografice, analiza acestora, și returnarea detecția planurilor, a organelor fătului, și a deciziei cu privire la potențiala detecție a unei sau mai multor anomalii congenitale.



16

3. FIGURI

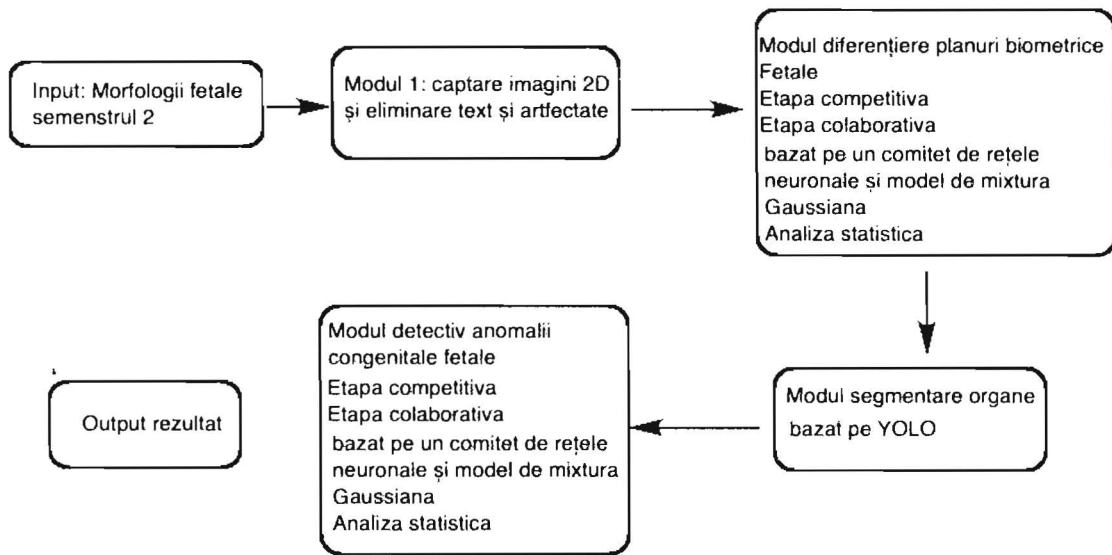


Figura 1. Arhitectura sistemului inteligent de decizie pentru automatizarea morfologiei fetale de semestrul 2

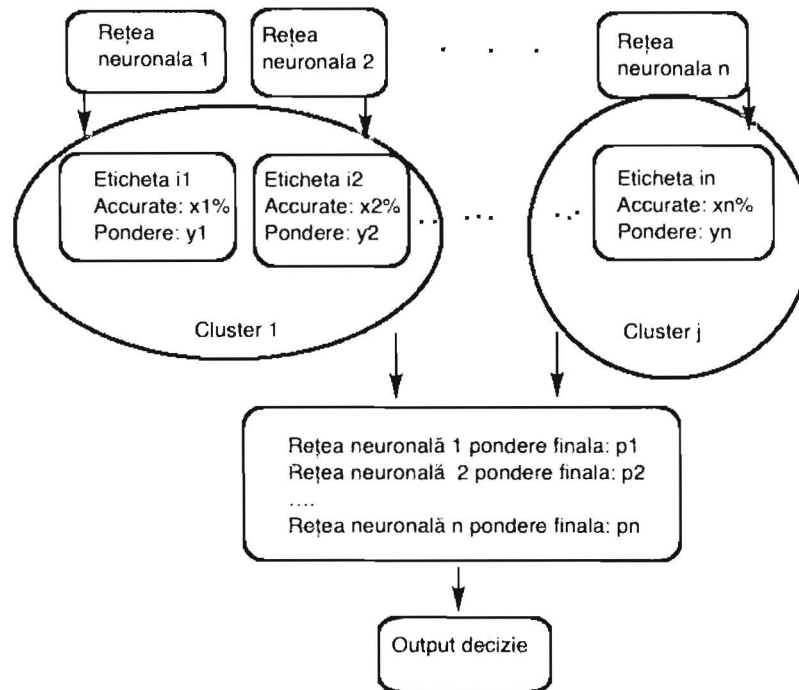


Figura 2. Modul de clasificare competitiv/colaborativ (diferențiere planuri biometrice/ clasificare organ normal/anormal)



[Handwritten signature]