

SISTEM DECIZIONAL MULTI-AGENT BAZAT PE IDENTIFICAREA EMOȚIILOR ÎN VORBIRE PENTRU CONTROLUL SITUAȚIILOR EXCEPȚIONALE ÎN PROCESELE DE PRODUCERE ROBOTIZATE

MULTI-AGENT DECISIONAL SYSTEM BASED ON EMOTION RECOGNITION IN SPEECH FOR CONTROLLING EXCEPTIONAL SITUATIONS IN ROBOTIC PRODUCTION PROCESSES

CZU: 004.896; 65.011.56

<https://doi.org/10.56329/1810-7087.24.2.18>

DRD. OLESEA BOROZAN

[HTTPS://ORCID.ORG/0000-0003-1091-5506](https://orcid.org/0000-0003-1091-5506)

CONF. UNIV. DR. VICTOR ABABII

[HTTPS://ORCID.ORG/0000-0002-0769-8144](https://orcid.org/0000-0002-0769-8144)

CONF. UNIV. DR. VIORICA SUDACEVSCHI

[HTTPS://ORCID.ORG/0000-0003-0125-3491](https://orcid.org/0000-0003-0125-3491)

DRD. SILVIA MUNTEANU

[HTTPS://ORCID.ORG/0000-0003-0749-8457](https://orcid.org/0000-0003-0749-8457)

FACULTATEA CALCULATOARE, INFORMATICĂ ȘI MICROELECTRONICĂ
UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

ABSTRACT

The paper proposes a multi-agent decision-making system designed to manage exceptional situations in robotic production processes by recognizing human emotions in speech. The importance of human-robot collaboration was highlighted, with a focus on automatically detecting human operators' emotions as potential warning signals for technical or safety issues. This approach contributes to improving the safety and efficiency of the production process by enabling agents to quickly adjust system settings according to the emotions expressed by operators in speech, for example, in cases of stress or frustration. The paper details the structural and functional scheme of the system. It presents the mathematical model and shows how deep learning algorithms implemented through hybrid neural networks (CNN and RNN) enable the system to accurately recognize and classify emotional patterns in an audio signal. The technology uses Python libraries such as TensorFlow and Keras to analyze acoustic characteristics such as tone, intensity, rhythm, and timbre of the voice. These parameters are used to identify emotions and initiate proactive or automatic corrective actions in robotic processes. Thus, the multi-agent system provides an excellent level of human-robot interaction, optimizing both productivity and safety in complex and dynamic industrial environments.

Keywords: *decision-making system; multi-agent system; emotions in speech; control system; exceptional situations; robotic processes; neural networks; sound processing; speech recognition; workplace health protection.*

REZUMAT

În lucrare se propune un sistem decizional multi-agent destinat gestiunii situațiilor excepționale în procesele de producție robotizate prin recunoașterea emoțiilor umane din vorbire. S-a evidențiat importanța colaborării dintre om și robot, cu accent pe detectarea automată a emoțiilor operatorilor umani ca semnale posibile de avertizare pentru probleme tehnice sau de securitate. Această abordare contribuie la îmbunătățirea siguranței și eficienței procesului de producție, oferind agenților posibilitatea de a ajusta rapid setările sistemului în funcție de emoțiile exprimate de operatori în vorbire, de exemplu, în cazuri de stres sau frustrare. Lucrarea detaliază schema structurală și funcțională a sistemului. Este prezentat modelul matematic și modul în care algoritmi de învățare profundă, implementați prin rețele neuronale hibride (CNN și RNN), permit sistemului să recunoască și să clasifice în mod precis tiparele emoționale din semnalul audio. Tehnologia utilizează biblioteci Python, precum TensorFlow și Keras, pentru a analiza caracteristici acustice precum tonul, intensitatea, ritmul și timbrul vocii. Acești parametri sunt folosiți pentru a identifica emoțiile și a iniția acțiuni proactive sau corective automate în procesele robotizate. Astfel, sistemul multi-agent oferă un nivel superior de interacțiune om-robot, optimizând atât productivitatea, cât și securitatea în medii industriale complexe și dinamice.

Cuvinte-cheie: *sistem decizional; sistem multi-agent; emoții în vorbire; sistem de control; situații excepționale; procese robotizate; rețele neuronale; procesarea sunetului; recunoașterea vorbirii; protecția sănătății la locul de muncă.*

Introducere

Colaborarea om-robot (Human-Robot Collaboration – HRC) reprezintă o componentă din ce în ce mai importantă pentru automatizările industriale moderne. Această colaborare permite combinarea puterii și preciziei roboților cu abilitățile cognitive și de adaptabilitate ale oamenilor, ceea ce duce la procese de producție mai flexibile și eficiente. Colaborarea om-robot este determinată de modul și gradul de interacțiune dintre aceștia, care poate lua forma unei interacțiuni fizice directe sau separate, teleoperare, bazată pe senzori și comunicație [1, 2].

Avantajele colaborării om-robot sunt evidente. Cele mai importante pot fi, de exemplu, eficiență și productivitate crescută, flexibilitate, adaptabilitate, calitate și precizie îmbunătățită [3]. Totodată, colaborarea om-robot generează și unele

provocări, printre care se numără: **securitatea colaborativă** – care impune ca roboții și coboții să fie programați pentru a detecta prezența umană, aplicând măsuri adecvate de siguranță pentru a preveni accidentele și pentru a opri sau modifica comportamentul în caz de coliziune neprogramată; **integrarea tehnologică** – care impune adaptarea proceselor de producție existente la activități colaborative om-robot; **îmbunătățirea comunicării dintre om și robot** – care necesită implementarea de noi tehnologii bazate pe inteligența artificială pentru recunoașterea gesturilor, a vorbirii și alte metode intuitive [4, 5].

În procesul funcționării sistemelor robotizate pot apărea diverse situații excepționale care pot influența negativ nu doar parametrii calitativi și cantitativi ai procesului, ci și sănătatea operatorului uman, chiar și viața acestuia. Aceste situații

pot varia de la probleme tehnice sau tehnologice manifestate prin defecțiuni ale echipamentelor, erori de software și programare, eșecul sistemelor de securitate, probleme de alimentare cu energie, interferențe în rețeaua de comunicații, până la defecte ale senzorilor și probleme de precizie, care necesită o intervenție operativă pentru a aduce sistemele robotice în regim de siguranță sporită sau chiar pentru a le opri prin aplicarea unui algoritm special [6-10].

Este evident că, în situații excepționale, operatorul uman poate reacționa instantaneu, generând sunete de spaimă sau frică pentru a cere ajutor sau, dacă este instruit, poate pronunța sub influența emoțiilor anumite cuvinte speciale de comandă, care să intervină în funcționalitatea sistemului robotizat [6, 8, 10].

Starea emoțională a unei persoane este reflectată în voce prin diverse trăsături și modulații care afectează tonul, intensitatea, ritmul și timbrul vocii. Aceste caracteristici sunt analizate pentru a identifica emoțiile și au o influență majoră asupra percepției și interpretării cuvintelor. Pot fi menționate câteva aspecte prin care stările emoționale pot fi identificate și interpretate ca fiind comenzi pentru implementarea sistemului de control al situațiilor excepționale în procesele de producție robotizate: emoțiile intense, fie ele negative sau pozitive, pot modifica tonul vocii, indicând emoții precum furia sau entuziasmul, în timp ce o voce joasă și lentă poate sugera tristețe sau oboseală; intensitatea și volumul pot indica furie sau entuziasm, în timp ce emoțiile de tristețe sau frică sunt asociate cu o intensitate mai scăzută și o voce mai slabă; ritmul și viteza vorbirii pot reflecta o stare de tristețe; timbrul și textura vocii pot transmite emoții de furie; pauzele și fluctuațiile pot indica ezitare, nesiguranță sau stres [11-14].

Un caz particular de implementare a sistemului decizional pentru controlul situațiilor

excepționale în procesele de producție robotizate poate fi utilizarea sistemelor multi-agent [23, 24] bazate pe inteligența artificială (IA), capabile să proceseze și să identifice emoțiile din vorbirea operatorilor umani. Acest tip de sistem integrează agenți software care monitorizează constant semnalele acustice și comportamentale, identificând emoții precum stresul sau frustrarea, semnale care pot indica apariția unor probleme în sistem. Această abordare permite detectarea rapidă a situațiilor excepționale și inițierea automată a măsurilor corective și asigurarea unei interacțiuni mai empatică între operatorii umani și roboți. Prin utilizarea algoritmilor avansați de procesare a limbajului natural și recunoașterea emoțiilor, sistemul decizional devine mai adaptabil și capabil să îmbunătățească atât performanța generală, cât și experiența utilizatorilor în medii de producție complexe și dinamice [6-10, 15-17].

Obiectivele cercetării

Obiectivele cercetării sunt proiectarea și evaluarea unui sistem decizional multi-agent, adaptabil și eficient, pentru medii industriale, capabil să reacționeze prompt la situații excepționale, având ca bază tehnologia de identificare a emoțiilor din vorbire, care efectuează analiza semnalelor emoționale și declanșează măsuri proactive și reactive pentru asigurarea continuității procesului de producție și siguranței operatorilor umani.

Metode și tehnologii aplicate

Identificarea emoțiilor în vorbire este un domeniu de cercetare complex și interdisciplinar, aflat la intersecția dintre lingvistică, psihologie și inteligența artificială. Odată cu progresul tehnologiilor de procesare a limbajului natural și al inteligenței artificiale, a devenit posibilă extragerea și interpretarea automată a informațiilor emoționale din discurs. În numeroase aplicații, cum ar fi serviciile pentru clienți, sistemele de

suport emoțional sau diagnosticarea psihologică, capacitatea de a identifica emoțiile poate îmbunătăți semnificativ interacțiunea om-calculator sau om-robot.

Identificarea emoțiilor în vorbire presupune aplicarea unor tehnici avansate de procesare a semnalelor și a algoritmilor de învățare automată pentru identificarea și clasificarea tiparelor emoționale, cum ar fi [15 – 17]:

- *Metode bazate pe caracteristici acustice*, care presupun analiza spectrală, analiza temporală și alte tehnici de procesare a semnalelor pentru a extrage trăsături acustice relevante. Printre acestea se numără: extracția frecvenței fundamentale (F0), care oferă informații despre tonalitatea vocii, fiind un indicator relevant pentru emoții precum furia sau bucuria; analiza spectrală și a formantelor, care sunt utile pentru identificarea variațiilor tonale și de intensitate, elemente esențiale în recunoașterea emoțiilor; analiza ritmului și duratei, relevante pentru clasificarea emoțiilor fundamentale, cum ar fi tristețea sau anxietatea [18].

- *Învățarea automată*, care presupune abordările clasice ale acestui domeniu. Sunt utilizați algoritmi pentru a antrena modele capabile să recunoască tiparele emoționale pe baza caracteristicilor acustice extrase. Cele mai utilizate tehnici includ: SVM (Support Vector Machines), care este popular datorită capacității sale de a clasifica date complexe, fiind utilizat adesea în identificarea emoțiilor din seturi mari de date; K-Nearest Neighbors (k-NN) – o metodă de clasificare simplă, dar eficientă, care clasifică emoțiile pe baza proximității caracteristicilor unui eșantion dat față de eșantioanele deja clasificate; Random Forest, care reprezintă o combinație de mai mulți arbori de decizie și este apreciată pentru acuratețea sa în clasificarea complexă a datelor emoționale [19].

- *Învățarea profundă (Deep Learning)*: o abordare a rețelelor neuronale, bazată pe metodele de învățare profundă, care au devenit esențiale pentru recunoașterea emoțiilor. Prin respectivele metode pot fi obținute caracteristici complexe, ele fiind mai adaptabile în recunoașterea următoarelor subtilități din vorbire: rețelele neuronale convoluționale (CNN), utilizate pentru procesarea datelor spectrale, cum ar fi spectrogramele. CNN-urile sunt eficiente în captarea caracteristicilor spațiale ale datelor și sunt adesea folosite în recunoașterea emoțiilor din vorbire; rețelele neuronale recurente (RNN), și în special rețelele LSTM (Long Short-Term Memory), care sunt potrivite pentru procesarea datelor secvențiale și care au capacitatea de a păstra informații din enunțuri lungi, astfel că sunt utile în analiza emoțiilor care evoluează în timp; rețelele neuronale profunde hibride, care combină CNN cu RNN pentru a profita de avantajele ambelor arhitecturi. CNN identifică caracteristicile locale ale semnalului, iar RNN urmărește dinamica acestora de-a lungul enunțurilor [20, 21].

Studiul de față se concentrează pe aplicarea metodei de învățare profundă, bazată pe rețelele neuronale hibride, care combină CNN și RNN, implementate în limbajul de programare Python, și bibliotecile TensorFlow și Keras.

Rezultate și discuții

Structura sistemului decizional multi-agent bazat pe identificarea emoțiilor în vorbire pentru controlul situațiilor excepționale în procesele de producție robotizate este prezentată în Figura 1. Sistemul decizional reprezintă o arhitectură de calcul complementară, integrată în arhitecturile existente ale sistemului de producție robotizată.

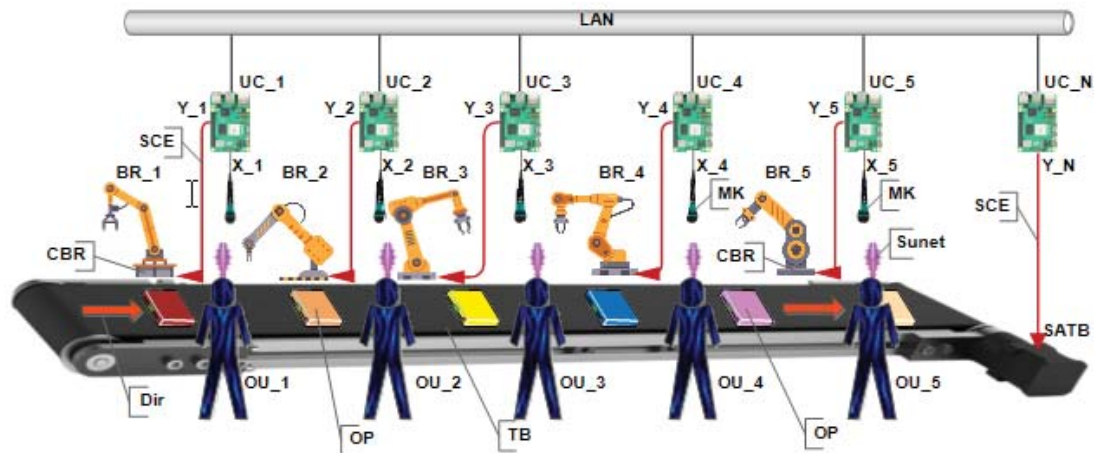


Figura 1. Structura sistemului decizional

Sursa: elaborată de autori în baza cercetării

Structura sistemului decizional multi-agent bazat pe identificarea emoțiilor în vorbire pentru controlul situațiilor excepționale în procesele de producere robotizate include următoarele elemente: $A_{OU} = \{OU_i, \forall i = \overline{1, I}\}$ – mulțimea de agenți Operator Uman OU_i , implicați în procesul de producere robotizat; $A_{BR} = \{BR_j, \forall j = \overline{1, J}\}$ – mulțimea de agenți Braț Robotic BR_j , dotați cu sistem de comandă individual sau colectiv CBR; $A_{UC} = \{UC_n, \forall n = \overline{1, N}\}$ – mulțimea de agenți Unitate de Comandă UC_n , elaborați în baza SBC Raspberry Pi5 [22], dotate cu microfon MK și conectate la rețeaua locală LAN; TB – transportor cu bandă; OP – obiecte procesate de Operatorul Uman OU_i în colaborare cu dispozitivele robotice BR_j ; Dir – direcția de deplasare a obiectelor procesate OP; SCE – semnale de comandă pentru intervenția în procesul de funcționare a sistemului robotizat; SABT – sistem de antrenare a transportorului cu bandă; $X = \{X_i, \forall i = \overline{1, I}\}$ – vectorul de stare a sistemului decizional este generat de semnalele percepute de la mulțimea de microfoane MK; $Y = \{Y_n, \forall n = \overline{1, N}\}$ – vectorul semnalelor de comandă pentru intervenția asupra regimului de funcționare a sistemului robotizat în cazuri

excepționale.

Sistemul multi-agent $A = \bigcup \{A_{OU}, A_{BR}, A_{UC}\}$ este format din mulțimea tuturor agenților implicați în procesul de producere. Dar operația robotizată O_i a procesului de producție este realizată de mulțimea de agenți $O_i = \bigcap \{A_{OU_i}, A_{BR_j}, A_{UC_n}\}, \forall i = \overline{1, I}$.

Diagrama funcțională (Figura 2) a sistemului decizional multi-agent bazat pe identificarea emoțiilor în vorbire pentru controlul situațiilor excepționale în procesele de producere robotizate include următoarele componente: OU – operatorul uman implicat în procesul tehnologic de activitate al sistemului robotizat; STOP – pronunțarea cuvintelor în stare emoțională în cazuri excepționale; MK – microfon pentru perceperea sunetului din mediul înconjurător; FTJ – filtru trece jos care asigură selectarea undelor sonore în banda de frecvențe generată de operatorul uman OU (experimental, s-a constatat că cuvintele selectate pentru identificarea emoțiilor în cazuri excepționale variază în banda de frecvențe 20 Hz- 2500 Hz); ADC – convertor analog-digital; RAM – memorie operativă pentru stocarea sunetului destinat pentru identificarea emoțiilor și a cuvintelor-cheie destinate pen-

tru generarea comenzilor de control cu sistemul de producere robotizat; *PD* – bloc de procesare a datelor prin aplicarea modelelor de rețele neuronale configurate pentru identificarea emoțiilor

și a cuvintelor-cheie; *Decizie* - generarea semnalelor de intervenție asupra procesului de producere robotizat pentru trecerea acestuia în regim de siguranță maximală.

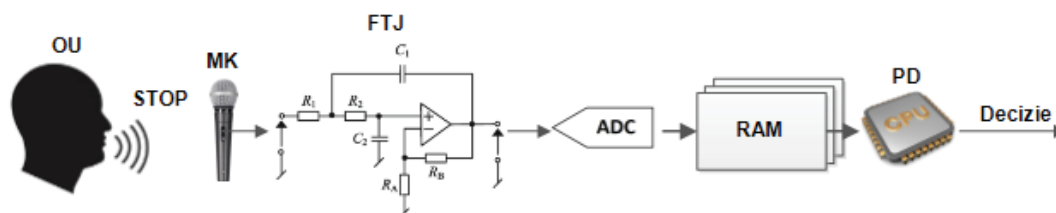


Figura 2. Diagrama funcțională a sistemului decizional

Sursa: elaborată de autori în baza cercetării

Pentru implementarea și testarea funcțională a sistemului multi-agent filtrul trece jos *FTJ*, convertorul analog-digital *ADC*, memoria operativă *RAM* și blocul de procesare a datelor *PD* au fost realizate în baza unei plăci de sunet USB și SBC Raspberry Pi5.

Pentru simplificarea proiectului, în structura sistemului decizional multi-agent pot fi utilizate microfoane cu interfață USB și poate fi implementată funcția de filtrare la nivel software.

Modul de funcționare a sistemului decizional multi-agent

Sistemul decizional multi-agent bazat pe identificarea emoțiilor în vorbire pentru controlul situațiilor excepționale în procesele de producere robotizate reprezintă o arhitectură de calcul distribuit care integrează într-o unitate logică funcțională mulțimea de agenți *A*.

La baza funcționării sistemului multi-agent se află setul de cuvinte decizionale $W^E = \{w_m^E, \forall m = \overline{1, M}\}$, identificate experimental [25], care asigură lansarea procedurii de trecere a sistemului robotizat în stare de siguranță sporită sau stoparea acestuia. Modelul matematic (1) descrie logica funcționării sistemului decizional multi-agent după cum urmează:

$$f_m(Y, t) \Big| \left\{ w^* \in w_m^E, \forall m = \overline{1, M} \right\}, \quad (1)$$

unde: $f_m(Y, t)$ - este funcția logică care determină generarea semnalelor de comandă *Y* pentru acțiunea asupra procesului robotizat, în situații excepționale, în anumite secvențe de timp *t*; $w^* \in w_m^E$ - dacă cuvântul pronunțat de operatorul uman este emoționat și aparține setului de cuvinte decizionale, atunci are loc lansarea procedurii definită de $f_m(Y, t)$.

În sistemul decizional multi-agent verificarea condiției $w^* \in w_m^E$ este rezolvată în baza unei rețele neuronale artificiale, implementată în limbajul de programare Python. Funcția logică $f_m(Y, t)$ este realizată sub formă de generator de comenzi definite în spațiu și timp și distribuite către mulțimea de agenți $A_{UC} = \{UC_n, \forall n = \overline{1, N}\}$ prin rețeaua locală *LAN*.

Concluzii

Dezvoltarea sistemelor decizionale multi-agent bazate pe identificarea emoțiilor din vorbire pentru gestionarea situațiilor excepționale în procesele de producție robotizate deschide noi perspective pentru eficiența și siguranța acestor procese. Aceste sisteme inovative oferă câteva beneficii și avantaje majore, și anume:

- **Îmbunătățirea siguranței și a reacțiilor rapide în cazuri excepționale.** Detectarea emoțiilor umane, cum ar fi stresul sau anxietatea, poate in-

dica situații critice sau de risc în medii de lucru automatizate. Sistemul multi-agent poate reacționa prompt prevenind accidentele și optimizând siguranța printr-un control adecvat al proceselor;

- **Creșterea eficienței operaționale.** Folosind analiza vocală pentru a interpreta starea emoțională a operatorilor, acest sistem poate ajusta automat ritmul de producție, identificând momentele în care operatorii sunt stresați și ajustând parametrii procesului pentru a reduce tensiunea. Astfel, se poate reduce uzura psihologică a operatorilor și îmbunătăți productivitatea;

- **Îmbunătățirea interacțiunii om-mașină.** Prin integrarea recunoașterii emoțiilor în sistemele de control, interacțiunea dintre oameni și mașini devine mai naturală și mai eficientă. Această tehnologie poate facilita răspunsuri adaptate la stările emoționale ale operatorilor, ceea ce duce la o colaborare mai armonioasă și la un mediu de lucru mai sigur;

- **Reziliență și adaptabilitate la situații excepționale.** Sistemul multi-agent poate să recunoască și să anticipeze momentele critice în care este necesară intervenția pentru a preveni disfuncționalități. Astfel, poate contribui semnificativ la reziliența proceselor robotizate și la reducerea pierderilor cauzate de întreruperi neașteptate;

- **Oportunități de cercetare și dezvoltare.** Dezvoltarea unor algoritmi de inteligență artificială care să interpreteze corect emoțiile în vorbire și integrarea acestora în procesele robotizate constituie un domeniu de cercetare în plină dezvoltare. Acest proiect contribuie la extinderea cunoștințelor în domeniul interfețelor emoționale și al sistemelor de control inteligente.

Acest sistem decizional multi-agent nu doar că îmbunătățește eficiența și siguranța proceselor robotizate, dar și deschide calea pentru o utilizare mai extinsă a tehnologiilor bazate pe emoții

în domenii diverse, de la producția industrială la sănătate și servicii publice.

Mențiuni. *Lucrarea de față face parte din tematica de cercetare în cadrul temelor de doctorat și a fost realizată cu suportul tehnic și tehnologic oferit de Laboratorul „Inteligență artificială și sisteme multi-agent” din cadrul Departamentului Informatică și Ingineria Sistemelor.*

REFERINȚE

1. AJODANI, A., ZANCHETTIN, A. M.,IVALDI, S. et al. Progress and prospects of the human–robot collaboration. *Auton Robot*, 2018, 42, 957–975. <https://doi.org/10.1007/s10514-017-9677-2>.
2. MATHESON, E., MINTO, R., ZAMPIERI, E., FACCIO, M., ROSATI, G. Human–Robot Collaboration in Manufacturing Applications: A Review. *Robotics*, 2019, 8(4), 100. <https://doi.org/10.3390/robotics8040100>.
3. VYSOCKY, A., NOVAK, P. Human-Robot Collaboration in Industry. *MM Science Journal*, 9(2), 903-906 (2016). DOI: 10.17973/MMSJ.2016_06_201611.
4. ARENTS, J., ABOLINS, V., JUDVAITIS, J., VISMANIS, O., ORABY, A., & OZOLS, K. Human–robot collaboration trends and safety aspects: A systematic review. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 2021, 10, 48. <https://doi.org/10.3390/jsan10030048>.
5. DRAGAN, A. D., BAUMAN, S., FORLIZZI, J., SRINIVASA, S. S. Effects of robot motion on human-robot collaboration. In: *Proceedings of the tenth annual ACM/IEEE international conference on human-robot interaction*, 02 March, 2015, pp. 51-58, <https://doi.org/10.1145/2696454.2696473>.
6. ABABII, V., SUDACEVSCHI, V., BOROZAN, O., FRATAVCHAN, V. Decision making system based on voice-emotional commands. In: *International Scientific and Practical Internet Conference on "Informatics and Computer Technics Problems", PICT-2022*, 10-13 November, 2022, Chernivtsi, Ukraine , pp. 69-74.

7. BOROZAN, O., TURCAN, A., ABABII, C., LASCO, V., STRUNA, V. Speech Processing System for Emergency Management. In: *Proceedings of the International Scientific Conference on Mathematics & IT: Research and Education, MITRE-2023*, 26-29 June, 2023, Chișinău, Republic of Moldova, pp. 75, ISBN: 978-9975-62-535-7.
8. BOROZAN, O. Safety System for Robotic Processes Based on Voice Emotion Recognition, In: *Proceedings of Workshop on Intelligent Information Systems: WIIS-2023*, October 19-21, 2023, Chișinău, pp. 55-61, ISBN: 978-9975-68-492-7.
9. SUDACEVSCHI, V., MUNTEANU, S., ABABII, V., CARBUNE, V., BOROZAN, O., LUNGU, I. Using of Nature Inspired Computing Models for Mobile Robot Control. In: *Proceeding of the International Conference on Development and Application Systems (DAS-2024)*, 17th Edition, May 23-25, 2024, Suceava – Romania, pp. 25-29. ISBN: 978-8-3503-4928-3, DOI: 10.1109/DAS61944.2024.10541198.
10. BOROZAN, O., ABABII, C., ROȘCA, N., LUNGU, I. The Use of Emotions in Speech to Control Exceptional Situation in Robotic Systems, In: *Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference „Information Technologies and Automation-2023”*, October 19-20, 2023, Odessa, Ukraine, pp. 313-315.
11. LIM, Y., NG, K. W., NAVEEN, P., & HAW, S. C. Emotion recognition by facial expression and voice: review and analysis. *Journal of Informatics and Web Engineering*, 2022, 1(2), 45-54. <https://orcid.org/0000-0003-4516-4634>.
12. ALU, D., ZOLTAN, E., & STOICA, I. C. Voice based emotion recognition with convolutional neural networks for companion robots. *Science and Technology*, 2017, 20(3), 222-240.
13. KOOLAGUDI, S. G., & RAO, K. S. Emotion recognition from speech: a review. *International journal of speech technology*, 2012, 15, 99-117. <https://doi.org/10.1007/s10772-011-9125-1>.
14. JACOB, A. Speech emotion recognition based on minimal voice quality features, *2016 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, Melmaruvathur, India, **2016**, pp. 0886-0890, DOI: 10.1109/ICCSP.2016.7754275.
15. LAEEQ, K., & MEMON, Z. A. Scavenge: An intelligent multi-agent based voice-enabled virtual assistant for LMS. *Interactive Learning Environments*, 2021, 29(6), 954-972. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1614634>.
16. ZARGHAM, N., BONFERT, M., PORZEL, R., DORING, T., & MALAKA, R. Multi-agent voice assistants: An investigation of user experience. In: *Proceedings of the 20th International Conference on Mobile and Ubiquitous multimedia*, 2021, pp. 98-107. <https://doi.org/10.1145/3490632.3490662>.
17. BORDINI, R. H., HÜBNER, J. F., & WOOLDRIDGE, M. *Programming multi-agent systems in AgentSpeak using Jason* (Vol. 15). John Wiley & Sons, 2007, 261p., ISBN: 978-0-470-02900-8.
18. ER, M. B. A novel approach for classification of speech emotions based on deep and acoustic features. *IEEE Access*, 2020, 8, 221640-221653. ISSN: 2169-3536, DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3043201.
19. LIN, Yi-Lin & WEI, Gang. Speech emotion recognition based on HMM and SVM, In: *2005 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Guangzhou, China, 2005, pp. 4898-4901 Vol. 8, DOI: 10.1109/ICMLC.2005.1527805.
20. AOUANI, H., & AYED, Y. B. Speech emotion recognition with deep learning. *Procedia Computer Science*, 2020, 176, 251-260. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.08.027>.
21. KHALIL, R. A., JONES, E., BABAR, M. I., JAN, T., ZAFAR, M. H., & ALHUSSAIN, T. Speech emotion recognition using deep learning techniques: A review. *IEEE access*, 2019, 7, 117327-117345. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2936124.

22. ALDAHOUD, A., FEZARI, M., AL-DAHOUD, A., & AQEL, D. A Systematic Review on Applying Machine Learning and Deep Learning on SBCs. *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, 2024, 21, 272-281. DOI: 10.37394/23209.2024.21.26.
23. MUNTEANU, S., SUDACEVSCHI, V., ABABIL, V., BOROZAN, O., ABABIL, C., LASCO, V. Multi-agent Decision Making System based on Membrane Computing. In: *The 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*. 22-25 September, 2021, Cracow, Poland, Vol. 2. pp. 851-854. ISBN: 978-1-6654-4210-7.
24. ABABIL, V., SUDACEVSCHI, V., TURCAN, A., MELNIC, R., CARBUNE, V., COJUHARI, I. Multi-Objective Decision Making System Based on Spatial-Temporal Logics. In: *Proceedings of the 24th International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS-2023)*, 24-26 May, 2023, Bucharest, Romania, pp. 6-10, DOI: 10.1109/CSCS59211.2023.00010.
25. BOROZAN, O. Evaluarea cuvintelor emoționale pronunțate în situații excepționale. In: *Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor*, Universitatea Tehnică a Moldovei, 27-29 Martie 2024. Chișinău, 2024, Vol. 1, pp. 357-360, ISBN: 978-9975-64-458-7.