

SISTEM DE CALCUL COLABORATIV PENTRU COMANDA ROBOȚILOR MOBILI

Olesea BOROZAN^{1*}, Constantin ABABII^{1,2}, Victor LAȘCO¹,
Ianuș FORTUNA³, Vasile IONIȚA³

¹Departamentul Informatica și Ingineria Sistemelor, Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

²IAW Internationale Akademie, Germany

³Departamentul Informatica și Ingineria Sistemelor, grupa CR-202, Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Olesea Borozan, e-mail: olesea.borozan@ia.utm.md

Îndrumător/coordonator științific: Victor ABABII, conf.univ.,dr., DIIS, UTM

Rezumat. *Lucrarea de față prezintă rezultatele proiectării și cercetării unui sistem de calcul colaborativ pentru comanda în timp real a roboților mobili. Sistemul de calcul prezintă o mulțime de dispozitive pentru procesarea distribuită a datelor care sunt plasate pe platforme mobile ale roboților mobili. Fiecare robot mobil conține o mulțime de senzori care determină starea mediului de activitate și poziția acestuia în spațiu, și dispozitive MCU pentru procesarea și organizarea schimbului de date dintre roboți. În lucrare a fost elaborată: structura sistemului de calcul colaborativ; schema de ansamblu al robotului mobil; și s-au efectuat testări pentru evaluarea timpului de întârziere a mesajelor în raport cu numărul de roboți mobili în structura sistemului.*

Cuvinte cheie: *robot mobil, calcul colectiv, inteligență de roi, Inteligența Artificială, MQTT, broker, publisher, subscriber.*

Introducere

Astăzi, este imposibil de imaginat activitatea umană fără de implicarea sistemelor robotice de diverse forme. Fie, acesta este un asistent în formă de o aplicație software, care oferă careva servicii de automatizare a proceselor de calcul, sau aceasta este o jucărie pentru un copil, sau este un sistem complex de automatizare a proceselor tehnologice și de producere. Toate exemplele prezintă sisteme robotice la baza cărora se află efectuarea unor operații automate respectându-se unele criterii comportamentale sau de socializare bazate pe modele de Inteligență Artificială (IA).

Caracteristica fundamentală a unui sistem robotic, este autonomia acestuia [1-3], care implică aplicarea unor decizii, sau efectuarea unor operații strict definite de algoritmul de funcționare, așa ca: scanarea mediului de activitate - prin intermediul unui set de senzori; procesarea datelor - prin aplicarea unor modele bazate pe IA; și acțiunea asupra mediului de activitate sau de mobilitate spațială a acestuia.

Un pas important în dezvoltarea sistemelor robotice mobile îl constituie posibilitatea de cooperare și colaborare dintre roboți în procesul efectuării unor sarcini complexe comune [4]. Obiectivele țintă ale procesului de cooperare sunt orientate spre a utiliza colonii de roboți inteligenți unde fiecare dintre acestea dispune de resurse de calcul limitate. Din punct de vedere metodologic, inteligența de roi este un set de soluții euristice inspirate din comportamentele roiurilor de animale și capabile să ofere soluții empirice la multe probleme dificile din punct de vedere computațional, care aparțin mai multor domenii de aplicare. În rezultatul cooperării dintre sistemele robotice și inteligența de roi a apărut o nouă direcție de cercetare numită Swarm Robotics [5]. Domeniul științific Swarm Robotics se ocupă de coordonarea și integrarea unor grupuri mari de roboți simpli care sunt controlați folosind mijloace de calcul locale. Roiul de roboți este format dintr-o mulțime de roboți mici, care sunt autonomi și portabili. Acești roboți sunt independenți, sau pot crea o structură de calcul complexă. Costurile acestei structuri sunt reduse, iar sistemul este mult mai stabil și mai robust întrucât interacțiunea este locală și probabilitatea de eroare pentru roboții individuali este minimizată.

Conceptual, aceste roiuri sunt auto-adaptabile, auto-organizate și descentralizate. Aplicațiile potențiale ale roboticii de roi sunt sarcini care pot fi miniaturizate, necesită resurse limitate, sunt periculoase pentru oameni și roboți, cum ar fi ajutorarea în caz de dezastre, operațiuni de căutare sau aplicații militare.

La rîndul său, inteligența de roi, este inspirată din natură și se bazează pe comportamentul ființelor vii care respectă unele reguli de socializare sau viață și activitate colectivă. Până în prezent, în literatură au fost propuse mai multe modele de inteligență de roi bazate pe diferite sisteme naturale de roi și aplicate cu succes în multe aplicații din viața reală. Exemple de modele de inteligență roi sunt [6-8]: Optimizarea coloniilor de furnici, Optimizarea roiului de particule, Colonia de albine artificiale, Furajarea bacteriilor, Optimizarea roiului de pisici, Sistemul imunitar artificial etc.

În această lucrare se propune dezvoltarea unui sistem multi robot cu activitate colaborativă care să urmărească condiția de valori optime ale spațiului de activitate. Această problemă este cracteristică pentru diverse situații excepționale, căutarea sursei de poluare, căutarea zăcămintelor naturale minerale, etc.

Structura sistemului de calcul colaborativ

Sistemul de calcul colaborativ este format dintr-o mulțime de dispozitive pentru procesarea datelor plasate pe platforme de roboți mobili. Dispozitivele de procesare a datelor formează între ele o rețea comună de comunicare care asigură transferul de date în baza protocolului MQTT [9-11].

MQTT este un protocol de comunicare machine-to-machine (M2M), în special pentru aplicațiile Internet of Things. Este conceput ca un sistem de transport de mesaje, pentru publicarea și accesul la date prin abonare. MQTT este util pentru conexiunile cu locații distribuite în care este necesar un cod minim de program cu un acces de lățime de bandă la nivel superior. Protocolul MQTT este unilizat în rețelele de senzori care comunică cu un broker pentru a distribui datele la mulțimea de abonați. Este un model ideal pentru dispozitivele mobile datorită resurselor solicitate reduse, consumului redus de energie, pachetelor de date minimizate și distribuției eficiente a informațiilor către unul sau mai mulți abonați [9, 21, 22].

Structura sistemului de calcul colaborativ [12, 13, 18, 19, 22] pentru comanda roboților mobili [17, 20] este prezentată în Figura 1, unde: **Sensor** – este mulțimea de senzori care livrează date pentru **Broker** prin funcția **Publish**; **Application** – este mulțimea de abonați care accesează datele de pe **Broker** prin funcția **Subscribe** și le utilizează în conformitate cu algoritmul de funcționare a acestuia; **Actuator** – este mulțimea de abonați care accesează datele de pe **Broker** prin funcția **Subscribe** și le utilizează pentru a genera acțiuni asupra obiectelor sau a mediului de activitate; **MQTT Broker** – este un serviciu pe Cloud care stochează datele de la setul de senzori și le distribuie către abonați. Mesajele transportate de protocolul MQTT au o structură strict definită care include numele abonatului, numele serviciului (senzor) și valoarea calitativă/cantitativă sau starea acestuia.

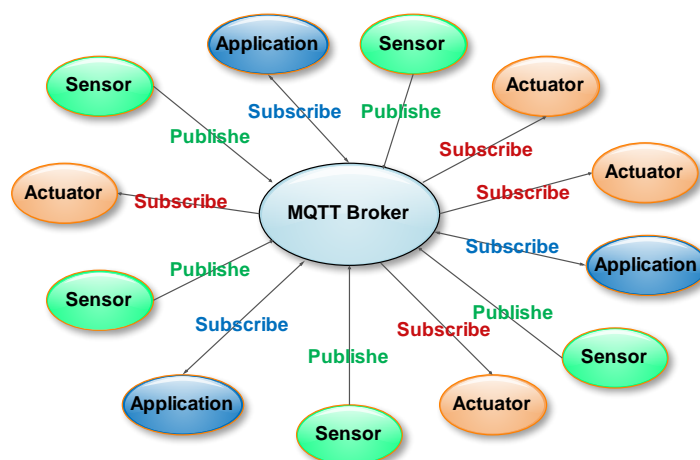


Figura 1. Structura sistemului de calcul colaborativ

Modul de funcționare a sistemului de calcul colaborativ în baza protocolului MQTT.

Un sistem în baza protocolului MQTT implică în procesul de funcționare următoarele dispozitive și servicii: Clientul, Serverul, Abonamentul, Nume subiect, Filtrul de subiecte, Sesiunea.

Clientul – este un produs program sau un dispozitiv care utilizează protocolul MQTT. Un client stabilește întotdeauna o conexiune la rețea prin care apelează serviciile oferite de server. Clientul publică pe Server mesajele de care Clienții pot fi interesați.

Serverul – este un program sau un dispozitiv care acționează ca intermediar între Clienții care publică Mesaje și Clienții care utilizează aceste Mesaje. Un server acceptă conexiuni din rețea de la Clienți și acceptă Mesajele publicate de aceștea.

Abonamentul – este un drept care validează accesul la serviciile oferite de sistem.

Nume subiect – este eticheta atașată unui Mesaj de aplicație care se potrivește cu Abonamentele cunoscute de Server. Serverul trimite o copie a Mesajului fiecărui Client care are un Abonament corespunzător.

Filtru de subiecte – este o expresie conținută într-un Abonament, pentru a indica un interes pentru unul sau mai multe subiecte.

Sesiune – este o interacțiune dintre un Client și un Server. Unele sesiuni durează doar atâta timp cât conexiunea la rețea, altele se pot dura pe mai multe conexiuni consecutive.

Sinteza robotului mobil

Schema de ansamblu al robotului mobil [17, 20] este prezentată în Figura 2, unde:

Ultra Sonic – senzor ultrasonic pentru identificarea distanței pînă la obstacolele amplasate pe direcția vectorului de deplasare a robotului mobil;

ESP32 CAM – camera video pentru transmiterea vederii din direcția de deplasare a robotului. Imaginea video în timp real este difuzată pe un canal separat și este accesată de abonați în browser;

Gas Sensor – senzorul de gaze identifică prezența acestora în mediul de activitate al robotului mobil;

Gyroscope – setul de senzori ale dispozitivului giroscop care indică direcția de deplasare și accelerația acestuia;

ESP8266 – modulul WiFi care prezintă un SOC cu protocolul TCP/IP integrat care asigură conectarea la rețeaua WLAN. Este modulul principal al sistemului care acumulează datele de la senzori și în baza protocolului MQTT le livrează la MQTT Broker;

GPS – dispozitiv pentru poziționarea robotului în sistemul de coordonate absolute Globale;

Microphone – senzor pentru achiziția sunetului din mediul de activitate;

T0/H Sensor – senzor de umiditate și temperatură a aerului;

LCD Display – indicator LCD pentru afișarea stării curente a robotului mobil;

Battery 1 – sursa de alimentare pentru partea electronică a sistemului de control;

Wheel – două roți pentru deplasarea robotului mobil. Viteza de rotație a acestora determină și direcția de deplasare a robotului mobil.

Arduino UNO – dispozitiv MCU realizează algoritmul de comandă cu motoarele de deplasare a robotului mobil și comunicare cu setul de senzori;

Driver DC Motor – driver pentru comanda cu motoarele DC de deplasare a robotului mobil;

DC Motor – două motoare DC pentru antrenarea roților în procesul de deplasare a robotului mobil;

Universal Wheel – roată cu rotire liberă pe planul orizontal.

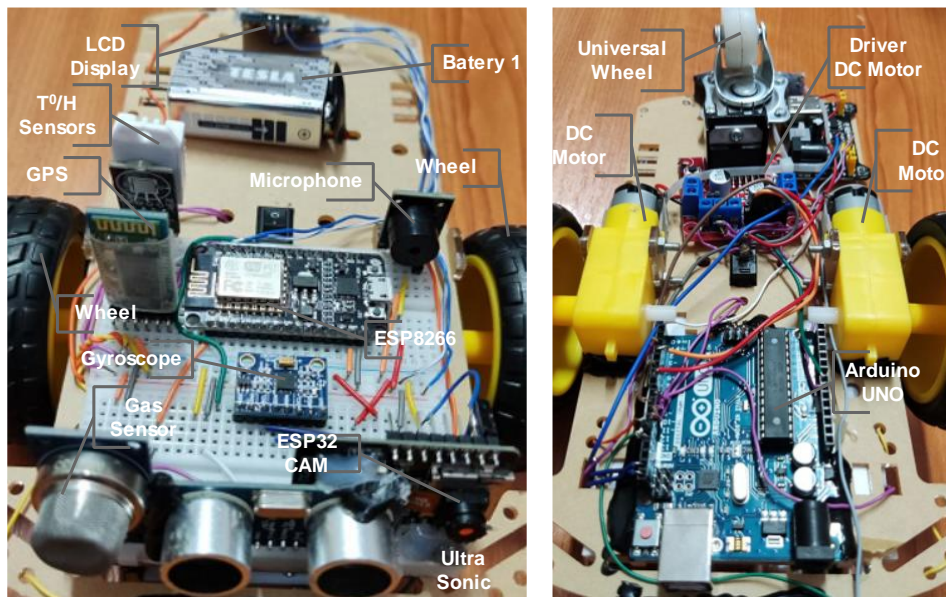


Figura 2. Schema de ansamblu a robotului mobil

Evaluarea timpului de întârziere a mesajului

Arhitectura sistemului de calcul colaborativ pentru comanda roboților mobili prezintă o arhitectură de calcul distribuit [14, 15] care include o mulțime de dispozitive MCU pentru procesarea datelor. Activitatea robotului depinde de starea globală a mediului de activitate și de starea fiecărui robot în parte. Pentru a efectua acțiunile respective este necesar ca robotul în cauză să primească datele de la toți roboții cu care se află în colaborare. Această operație de comunicare durează în timp. Pentru a evalua timpul de întârziere a mesajelor au fost efectuate mai multe teste practice rezultatele cărora sunt prezentate în Figura 3, unde: pe orizontală sunt indicate numărul de dispozitive MCU conectate la rețea; pe verticală este indicat timpul mediu de întârziere (ms).

Explicații pentru Figura 3:

- 1 – 9 MCU conectate în sistem – timpul de întârziere a mesajelor este constant în mediu 130 ms;
- 9 – 35 MCU conectate în sistem – are loc creșterea liniară a timpului de întârziere de la 130 ms la 1700 ms, fenomenul este explicat prin capacitatea de deservire a punctului de acces la rețea;
- 35 – 40 MCU conectate în sistem – timpul de întârziere este constant în mediu 1700 ms.

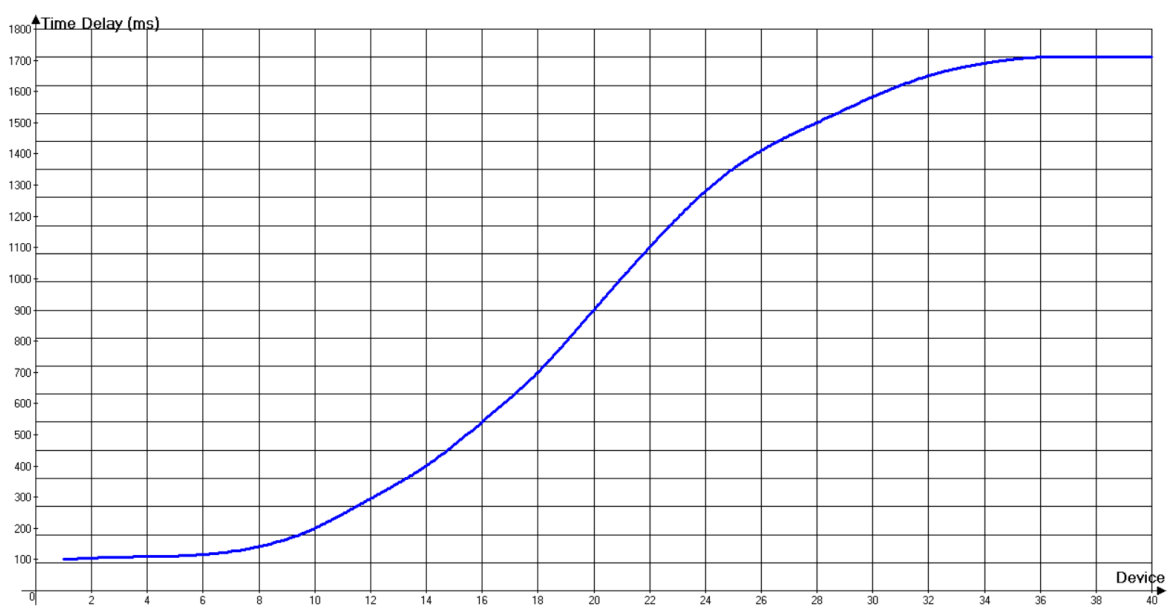


Figura 3. Timpul de întârziere a mesajelor

Concluzii

Roboții mobili colaborativi și-au găsit aplicație practică în toate domeniile științei și tehnicii. Principala problemă care apare în sistemele multi robot este organizarea schimbului de date dintre dispozitivele implicate în procesul de calcul. Cele mai frecvente modele de colaborare ale roboților sunt inspirate din natură care simplifică esențial algoritmul de funcționare și reduce volumul de calcul.

În lucrare de față sunt prezentate rezultatul proiectării și cercetării unui sistem de calcul colaborativ care va permite comanda unei mulțimi de roboți mobili care vor efectua o activitate comună. Este prezentată structura sistemului la niver abstract care include mulțimea de clienți conectați la un server în baza protocolului MQTT. S-a elaborat schema de ansamblu al robotului mobil cu descrierea setului de senzori, elementele de acțiune, și dispozitivele pentru procesarea și organizarea schimbului de date.

Pentru evaluarea timpului de întârziere a mesajelor în procesul transferului de date s-au efectuat măsurări rezultatele cărora sunt prezentate în forma de grafic: Numărul de dispozitive MCU – Timpul de întârziere a mesajelor (*ms*).

Mulțumiri. Proiectarea și cercetarea sistemului de calcul colaborativ pentru comanda roboților mobili au fost realizate cu suportul tehnic și tehnologic oferit de laboratorul ”Inteligența Artificială și Sisteme Multi-Agent” care face parte din cadrul Departamentului Informatica și Ingineria Sistemelor, Universitatea Tehnică a Moldovei.

Referințe:

1. CORELL, N. *Introduction to Autonomuos Robots: Kinematics, Perception, Localization and Planing*. 1st edition, 2016, 226p., ISBN: 978-149377-30-77.
2. HOLLAND, J. *Designing Autonomous Mobile Robots*. ELSEVER, 2004, 335p., ISBN: 0-7506-7683-3.
3. SIEGWART, R., NOURBAKHSI, I., SCARAMUZZA, D. *Introduction to Autonomous Mobile Robots*. Second Edition, MIT Press, 2011, 453p., ISBN: 978-0-262-01535-6.
4. ZOGHBY, N., LOSCRI, V., NATALIZIO, E., CHERFAOUI, V. Robot Cooperation and Swarm Intelligence, *Wireless Sensor and Robot Networks, 2013, HAL*, pp. 163-201, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00917542>.
5. PRASAD, S., RAWOOL, S. Swarm Robotics: Nature Inspired Systems, *I.J. of Engineering Research and General Science, Vol. 4, Issue 5, 2016*, pp. 168-174, ISSN: 2091-2730.
6. RAY, S., BISWAS, S., CHAUDHURI, S.S. Nature-Inspired Swarm Intelligence and Its Applications, *I.J. Modern Education and Computer Science, 2014, 12*, pp. 55-65. DOI: 10.5815/ijmecs.2014.12.08.
7. AHMED, H., GLASGOW, J. *Swarm Intelligence: Concepts, Models and Applications*, Technical Reports 2012-585, 2012, 50p.
8. THAKARE, S.A. Comparison of Swarm Intelligence Techniques, *I.J. of Computer Science and Business Informatics, Vol. 1, No. 1, May 2013*, pp. 1-11, ISSN: 1694-2108.
9. JoramMQ, a distributed MQTT broker for the Internet of Things. White paper and performance evaluation, V.1.2, ScalAgent, 2014, 52p. [online]. [accesat 01.03.2023]. Disponibil: <https://www.oasis-open.org/news/announcements/60-day-public-review-for-mqtt-version-3-1-1-cos01-ends-september-4th>.
10. BOYD, B., GAUCI, J., ROBERTSON, M.P., DUY, N.V., GUPTA, R., GUCER, V., KISLICINS, V. *Building Real-Time Mobile Solutions with MQTT and IBM MessageSight*. IBM, 2014, 250p., ISBN: 07-384-400-51.
11. SHANKAR, S., PALANIVEL, S., VENKATESWARLU, S.C., SAWMAYA, M. MQTT in Internet of Things. *International Research Journal of Engineering and Technology, Vol. 06, Issue 12, 2019*, pp.1-3. E-ISSN: 2395-0056.

12. ПОДУБНЫЙ, М., САФОНОВ, Г., НЕГАРЭ, Е., МОРОШАН И., БОРДИАН Д., АБАБИЙ В. Система коллективного принятия решений для управления мобильными роботами. // *Ежемесячный научный журнал "Евразийский Союз Ученых (ЕСУ)"*, 2016, № 6-2 (27), С. 5-8, ISSN 2411-6467.
13. ABABII, V., SUDACEVSCHI, V., SAFONOV, Gh. Designing a Collective Agent for synthesis of Adaptive Decision-Making Systems. *Sciences of Europe (Prague, Czech Republic), Vol 1, No 17(17), 2017*, pp. 70-75, ISSN 3162-2364.
14. ABABII, V., SUDACEVSCHI, V., BRANISTE, R., TURCAN, A., ABABII, C., MUNTEANU, S., Adaptive computing system for distributed process control. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies. Vol. 22, No 2, September 2020*, pp. 258-264. ISSN 2509-0119.
15. MUNTEANU, S., SUDACEVSCHI, V., ABABII, V., BRANISTE, R., TURCAN, A., LEASHCENCO, V., Cognitive Distributed Computing System for Intelligent Agriculture. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies. Vol. 24, No 2, January 2021*, pp. 334-342. ISSN 2509-0119.
16. MUNTEANU, S., SUDACEVSCHI, V., ABABII, V. Computer Systems Synthesis Inspired from Biologic Cells Structures. *Journal of Engineering Science, June, 2022, Vol. XXIX (2)*, pp. 91-107, ISSN: 2587-3474 / E-ISSN: 2587-3482, DOI: 10.52326/jes.utm.2022.29(2).09.
17. ABABII, V., SUDACEVSCHI, V., BRANISTE, R., NISTIRIUC, A., MUNTEANU, S., BOROZAN, O. Multi-Robot System Based on Swarm Intelligence for Optimal Solution Search. *The International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications, HORA-2020, June 26-28, 2020, Ankara, Turkey*. pp. 269-273, Publisher: IEEE Catalog Number CFP20X32-ART, ISBN: 978-1-7281-9352-6, DOI: [10.1109/HORA49412.2020.9152926](https://doi.org/10.1109/HORA49412.2020.9152926).
18. MUNTEANU, S., SUDACEVSCHI, V., ABABII, V., BOROZAN, O., BORDIAN, D., TURCAN, A. Коалиционная Много-Агентная Система Принятия Решений на базе Мембранных Вычислений. *IV Міжнародна науково-практична конференція "ПРИКЛАДНІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ", 05 - 07 квітня 2021р., АКАДЕМІЯ ТЕХНІЧНИХ НАУК УКРАЇНИ, Івано-Франківськ, Україна*. pp. 43-45, ISBN: 978-617-7926-12-1.
19. MUNTEANU, S., SUDACEVSCHI, V., ABABII, V., BOROZAN, O., LASCO, V. Design of Embedded Collective Computing System based on Membrane Computing Models. *The 11th International Conference „Electronics, Communications and Computing” (IC | ECCO – 2021). 21 - 22 October, 2021. Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova*, pp. 41, ISBN: 978-9975-45-776-7.
20. ABABII, V., SUDACEVSCHI, V., CARBUNE, V., MUNTEANU, S., ALEXEI, V., LASCO, V. A Method of Hardware Implementation of Membrane Computing Architecture for Mobile Robot Control. *The 16th International Conference on Development and Application Systems (DAS-2022), Suceava, Romania, May 26-28, 2022*, pp. 52-56, IEEE Catalog Number: CFP2265Y-USB, ISBN: 978-1-6654-8161-8. DOI: 10.1109/DAS54948.2022.9786079 <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/9106464/proceeding>.
21. MUNTEANU, S., TURCAN, A., ALEXEI, V., SUDACEVSCHI, V., ABABII, V., CARBUNE, V., BORDIAN, D. Multi-Objective Optimal Solution Search based on Genetic Algorithms. *Proceedings of the 12th International Conference on Electronics, Communications and Computing (ECCO-2022), 20-21 October, 2022*, pp.247-252. ISBN: 978-9975-45-898-6, <https://doi.org/10.52326/ic-ecco.2022/CE.07>.
22. TURCAN, A., BOROZAN, O., ABABII, V., SUDAEVSCHI, V., MUNTEANU, S. Decision Making System based on Collaborative Agents. *Proceedings of the 12th International Conference on Electronics, Communications and Computing (ECCO-2022), 20-21 October, 2022*, pp.257-260. ISBN: 978-9975-45-898-6, <https://doi.org/10.52326/ic-ecco.2022/CE.09>.