

Memoriu științific

„Mega-constelațiile de sateliți: riscuri operaționale și impactul asupra observațiilor astronomice de la sol”

Prezentul memoriu sintetizează cele trei contribuții originale aduse prin activitatea doctorală, cu impact direct în activități specifice Space Situational Awareness (SSA) și Space Surveillance and Tracking (SST).

Contribuția 1 – Model de detecție automată a obiectelor din spațiu

a) Contextul și motivația

Monitorizarea în timp real a obiectelor LEO necesită soluții deep learning capabile să proceseze volume mari de imagini astronomice cu latență minimă. Algoritmul YOLO (You Only Look Once) s-a impus în testele efectuate pentru detecția în timp real datorită capacității sale de a analiza o imagine completă într-o singură trecere, generând rapid casete de delimitare și scoruri de încredere în jurul obiectelor detectate.

b) Arhitectura și inovațiile tehnice

Modelul dezvoltat utilizează arhitectura YOLO12, lansată la începutul anului 2025, care introduce un mecanism de atenție centrat pe zone (*Area Attention*) ce înlocuiește abordările convoluționale clasice, menținând în același timp viteza de inferență în timp real.

c) Setul de date original

O contribuție distinctă o reprezintă construirea unui dataset propriu, elaborat specific pentru detecția obiectelor LEO în imagini de tip all-sky:

- 8.596 imagini originale achiziționate cu camera all-sky
- 13.162 imagini după aplicarea tehnicilor de augmentare a datelor

Setul acoperă diverse condiții de observație (iluminare, turbulență atmosferică, magnitudini diferite ale obiectelor) și asigură robustețea modelului în condiții operaționale reale

Contribuția 2 – Noua componentă SSA/SST all-sky integrată

Rețeaua MOROI (*Meteorites Orbits Reconstruction by Optical Imaging*) este operată de Institutul Astronomic al Academiei Române (AIRA) și cuprinde în prezent 11 sisteme de camere all-sky desfășurate pe teritoriul României, cu planuri de extindere la 20 de stații.

Contribuția originală constă în extinderea funcționalității rețelei MOROI dincolo de scopul inițial (detecția meteorilor și meteoriților) prin:

- **integrarea modului SSA:** adaptarea sistemului de achiziție și procesare a imaginilor pentru detecția și urmărirea sateliților artificiali și a deșeurilor spațiale din LEO
- **sistem automat de sortare a cadrelor:** un pipeline de clasificare automată care separă imaginile în funcție de scopul lor: cadre cu relevanță științifică (meteori, bolizi, calibrare fotometrică) versus cadre cu relevanță pentru SST (sateliți, deșeurile orbitale)

Contribuția 3 – Analize de reintrare în atmosferă a obiectelor din spațiu

a) Contextul și motivația

Reintrarea necontrolată a obiectelor LEO reprezintă un risc tot mai mare odată cu creșterea numărului de deșeurile orbitale. Evaluarea riscului de supraviețuire a fragmentelor până la sol este obligatorie în cadrul reglementărilor internaționale.

b) Aplicații software utilizate

Contribuția originală implică utilizarea comparativă a trei instrumente specializate, recunoscute la nivel mondial:

- **DAS** (*Debris Assessment Software*) – dezvoltat de NASA, evaluează conformitatea cu standardele de limitare a deșeurilor și estimează probabilitatea de supraviețuire a fragmentelor
- **DRAMA** (*Debris Risk Assessment and Mitigation Analysis*) dezvoltate de ESA, destinat pentru analiza completă a riscului orbital, incluzând module pentru evaluarea coliziunilor, reintrarea atmosferică și dispersia fragmentelor la sol
- **DEBRISK**, dezvoltat de CNES este un instrument dedicat calculului riscului de impact la sol al fragmentelor supraviețuitoare, bazat pe analiza ablației termice a materialelor în timpul reintrării

c) Metodologia și rezultatele originale

Abordarea originală constă în aplicarea comparativă și sistematică a celor trei instrumente pe scenarii comune de reintrare, permițând validarea încrucișată a rezultatelor și identificarea incertitudinilor specifice fiecărui model.

d) Contribuțiile concrete includ:

- **simulări pentru reintrări controlate:** evaluarea coridorului de dispersie a fragmentelor, a energiei cinetice la impact și a probabilității de vătămare pentru populația de la sol
- **simulări pentru reintrări necontrolate:** propagarea incertitudinilor temporale și spațiale a punctului de reintrare, cu cuantificarea zonelor de risc la sol
- **analiza comparativă DAS/DRAMA/DEBRISK:** identificarea discrepanțelor dintre modele și furnizarea de recomandări pentru alegerea instrumentului optim în funcție de tipul misiunii și faza de proiectare

e) Relevanța și impactul

Această contribuție furnizează date și metodologii aplicabile direct în procesul de certificare a sateliților și a etapelor de deorbitare conform cerințelor ESA CLeaN Space, contribuind la elaborarea unor proceduri standardizate pentru operatorii de sateliți din România și la consolidarea capacităților naționale în domeniul SSA.

Cele trei contribuții formează un sistem coerent și complementar: detecția automată a obiectelor din spațiu (C1), supravegherea lor continuă prin infrastructura națională (C2) și analiza consecințelor reintrării în atmosferă (C3), acoperind astfel întregul ciclu de viață al unui obiect spațial din perspectiva SSA.

Lista contribuțiilor proprii

Rezultatele prezentate în teza de doctorat au fost publicate ca prim autor în trei articole științifice în reviste indexate *Web of Science* și diseminate în cadrul a șase conferințe internaționale și șase conferințe naționale. Revista *Astronomy and Computing* (Elsevier) Online ISSN: 2213-1345 / Print ISSN: 2213-1337 este indexată în *Web of Science Core Collection* (SCIE), având un factor de impact IF2024 = 1.8 și un scor de influență AIS2024 = 0.776, ceea ce o plasează în quartila Q2 a domeniilor *Astronomy and Astrophysics*, respectiv *Computer Science Applications* (conform Journal Citation Reports 2024, ediția iunie 2025, date UEFISCDI). Revista *Romanian Astronomical Journal* (Institutul Astronomic al Academiei Române) Online ISSN: 2285-3758/ Print ISSN: 1220-5168 este indexată în *Web of Science Core Collection* (ESCI), în categoria *Astronomy and Astrophysics*, având scor de influență AIS2024 = 0.053 și Journal Citation Indicator JCI2024 = 0.08 (quartila Q4), conform Journal Citation Reports 2024 (ediția iunie 2025, date prelucrate de UEFISCDI).

I. Lucrări publicate în reviste cotate ISI

1. C. Omat, M. Birlan, D.A. Nedelcu, S. Anghel (2026). Deep learning approach for automated detection of space objects in astronomical imaging. *Astronomy and Computing*, volumul 55, aprilie 2026. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ascom.2026.101081>
2. C. Omat, M. Birlan, D.A. Nedelcu, V. Turcu, F. Deleflie, U.E. Botezatu (2025). Re-entry Survivability Analysis of ERS-2 satellite. *Romanian Astronomical Journal*, volumul 35 (1-2), pag 119-134, DOI: <https://doi.org/10.59277/roaj.2025.1-2.07>
3. C. Omat, M. Trelia, M. Birlan, D.A. Nedelcu (2024). Analysis of the re-entry phase of Starlink-1353 satellite. *Romanian Astronomical Journal*, volumul 34, pag 75-91, DOI: <https://doi.org/10.59277/RoAJ.2024.1-2.05>
4. M. Birlan, T. Hromakina, A. Barucci, M. Fulchignoni, A. Sonka, C. Omat, F. Colas, I. Belskaya, S. Fornasier, E. Dotto, S. Anghel, Neorocks Team (2022). Lightcurves and Astrometry Results of Neorocks Asteroid Color Survey. *Romanian Astronomical Journal*, volumul 32, no. 2, pag 127-139

II. Lucrări prezentate la conferințe

a. Conferințe internaționale

1. **C. Omat**, M. Birlan, D.A. Nedelcu, S. Anghel (2026). Repurposing all-sky camera systems for satellites and debris detection through deep learning. Prezentare orală la *5th International Conference on Space Situational Awareness (ICSSA)*, Tres Cantos - Madrid, Spania, 7-9 aprilie 2026. Manuscris disponibil în proceedings-ul conferinței.
2. **C. Omat**, M. Birlan, D.A. Nedelcu (2025). An automatically approach of space objects detection. Prezentare poster la *9th European Conference on Space Debris*, Bonn, Germania, 1-4 aprilie 2025. Manuscris disponibil în ESA Proceedings Database: <https://conference.sdo.esoc.esa.int/proceedings/sdc9/paper/264/SDC9-paper264.pdf>
3. **C. Omat**, M. Birlan, D.A. Nedelcu (2025). Real-time Sky Object Detection and Classification using YOLO Algorithm. Prezentare orală la *64th Israel Annual Conference on Aerospace Sciences (IACAS 2025)*, Haifa, Israel, 20 martie 2025. Manuscris disponibil în proceedings-ul conferinței <https://www.proceedings.com/79524.html> ISBN: 9798331316129.
4. M.Birlan, A. Sonka, S. Anghel, A. Barucci, **C. Omat**, S Fornasier, (2025)... Near-Earth Asteroids colors in two European projects: NEOROCKS and NEOPOPS. La *8th International Conference in Astronomy, Astrophysics, Space and Planetary Sciences*, Cluj-Napoca, 2-4 iulie 2025.
5. **C. Omat**, M. Birlan, F. Deleflie, V. Turcu (2024). Analyse de la réentrée du satellite ERS-2. Prezentare orală la *3ème Édition du Symposium de la Recherche Scientifique Francophone en Europe Centrale et Orientale*, Cluj-Napoca, 16-17 decembrie 2024. Manuscris disponibil în proceedings-ul conferinței <https://aos.ro/wpcontent/SRSF/Tome2-Art.6.pdf> ISSN ONLINE 3119-8767.
6. **C. Omat**, M. Birlan, D. A. Nedelcu (2024). The atmospheric re-entry of Starlink-1353 satellite. Prezentare orală la *6th International Workshop on Key Topics in Orbit Propagation Applied to Space Situational Awareness (KePASSA)*, Université d'Artois, Arras, Franța, 12-14 iunie 2024. Manuscris disponibil printat în volumul de proceedings al conferinței.

b. Conferințe naționale

1. **C. Omat**, M. Birlan, D.A. Nedelcu, S. Anghel (2026). Detecția automată a obiectelor din spațiu prin tehnici deep learning. Prezentare orală la *Conferința Cercetării Științifice în domeniul Matematicii dedicată împlinirii a 160 de ani de la înființarea Academiei Române*, Institutul de Matematică "Simion Stoilow", Academia Română, București, 30-31 martie 2026.

2. **C. Omat**, M. Birlan, D.A. Nedelcu (2025). Real-Time Space Object Detection Using YOLOv12: Enhancing MOROI All-Sky Camera Network Capabilities for Automated SST Operations. Prezentare orală la *Doctoral Dialogues in Physics 2025*, Facultatea de Fizică, Universitatea din București, 10-11 octombrie 2025.
3. **C. Omat**, M. Birlan, D.A. Nedelcu (2025). Deep learning approach in space objects detection. Prezentare orală la *Bucharest University Faculty of Physics 2025 Meeting*, Facultatea de Fizică, Universitatea din București, 23 mai 2025, Editura Granada, ISSN 1843-6838.
4. **C. Omat**, M. Birlan, V. Turcu (2024). Re-entry survivability analysis of ERS-2 satellite. Prezentare orală la *Bucharest University Faculty of Physics 2024 Meeting*, Facultatea de Fizică, Universitatea din București, 24 mai 2024, Editura Granada, ISSN 1843-6838.
5. **C. Omat**, M. Birlan, V. Turcu (2024). The re-entry survivability analysis of ERS-2 satellite. Prezentare orală la conferința *Modern Techniques in Observational Astronomy*, Sustainable Development Center "Țara Hațegului-Retezat", Academia Română, comuna General Berthelot, județul Hunedoara, 1-5 iulie 2024. Publicat în manuscrisul: M. Birlan, D.A. Nedelcu, O. Badescu, V. Turcu, *Romanian Astronomical Journal*, vol. 34 (1-2), 2024, pag 93-97.
6. **C. Omat**, M. Birlan (2023). Satellite mega constellations: operational risks and impact on astronomic ground-based observation. Prezentare orală la *Bucharest University Faculty of Physics 2023 Meeting*, Facultatea de Fizică, Universitatea din București, 26 mai 2023, Editura Granada, ISSN 1843-6838.

