

Raport științific final (2022 - 2024)

Competiția:	Proiect experimental demonstrativ - PED2021
Nr. contract:	685PED din 21/06/2022
Cod proiect:	PN-III-P2-2.1-PED-2021-3625
Domeniul de cercetare:	Spațiu
Titlul :	Detecția obiectelor din Sistemul Solar și a resturilor spațiale folosind metode de calcul paralel
Acronim:	ParaSOL
Data începere proiect:	21/06/2022
Data finalizare proiect:	20/06/2024
Durata (luni):	24
Buget total:	598.795,00
Sursa 1 Bugetul de stat	598.795,00
Sursa 2 Alte surse atrase (cofinanțare):	0
Pagina web proiect:	https://planet.astro.ro/ParaSOL/
Instituția coordonatoare:	Institutul Astronomic al Academiei Române
Director de proiect:	Dr. Marcel M. Popescu
Partener 1 proiect (P1):	Universitatea din Craiova

1. Gradul de realizare al obiectivelor

«Prezentarea generală a obiectivelor proiectului, cu punerea în evidență a rezultatelor și gradul de realizare a obiectivelor. Prezentarea trebuie să includă explicații care să justifice diferențele (dacă există) dintre activitățile preconizate și cele realizate.»

Obiectivul acestui proiect a fost (conform propunerii de proiect) «să oferim un pachet software (numit Umbrella) pentru detecției obiectelor din Sistemul Solar și a resturilor activității spațiale, folosind metode de calcul paralel. La sfârșitul proiectului acesta va fi la nivelul de maturitate tehnologică 4 (funcționalitatea critică validată). Obiectivul este împărțit în următoarele părți: a) implementarea algoritmilor pentru urmărirea sintetică și detecția dârelor; b) validarea proprietăților critice ale modulelor softului Umbrella; c) dezvoltarea unei platforme care să integreze toate componentele; d) implementarea și testarea algoritmilor pentru diferite arhitecturi de calcul; e) evaluarea performanțelor într-un mediu relevant (condiții de program larg de observații astronomice)».

Pachetul software Umbrella conține următoarele programe: 1) modulul de pre-procesare a imaginilor Image Processing Pipeline IPP; 2) modul care implementează urmărirea digitală Synthethic Tracking on Umbrella (STU); 3) interfața web de prezentare a rezultatelor (numită Webrella). Modulul STU folosește framework-ul

OpenCL (Open Computing Language) pentru a implementa calculul paralel pe procesorul grafic, realizând astfel căutarea obiectelor necunoscute într-un interval de timp de ordinul secundelor. STU este capabil să detecteze atât surse punctiforme cât și dâre. Pentru a putea conecta cele două module a fost dezvoltată platforma Basic Host care integrează IPP-ul și STU-ul.

Pentru a putea rula tot acest set de programe a fost configurat sistemul de calcul parasol, accesibil prin protocolul *ssh* la adresa parasol.astro.ro). Codurile sursă și documentarea acestora sunt disponibile pe un server de control al versiunilor, de tip *git*, accesibil (necesită autentificare) la adresa

<https://gitplanet.astro.ro/>. Afișarea și validarea de către operatorul uman a rezultatelor este facilitată prin intermediul interfeței Webrella accesibilă la adresa: <https://gitplanet.astro.ro:9443/>.

Componentele pachetului software au fost testate sub sistemele de operare Ubuntu, ArchLinux și Windows. În acest scop au fost asamblate patru servere, două la Institutul Astronomic al Academiei Române și două la Universitatea din Craiova.

Sistemul în ansamblu și toate aceste componente îndeplinesc criteriile nivelului de maturitate tehnologică Technology Readiness Levels (TRL) 4. Acest fapt este prezentat în Secțiunea 2 a acestui raport. Validarea proprietăților critice ale algoritmilor s-a făcut folosind multiple seturi de observații provenind de la diferite telescoape cu diferite aperturi, de la 20 cm până la 2.54 m. În acest sens a fost construită o bază de date conținând 371 060 imagini.

Evaluarea performanțelor s-a făcut în condiții de program larg de observații astronomice. Programele largi de observație au inclus 1) 33 de nopți (în 19 dintre acestea toată noaptea a fost alocată pentru observațiile acestui program) de observație cu telescopul având apertura de 2.54 m Isaac Newton Telescope; 2) 13 nopți de observații folosind telescopul de câmp larg ($2^\circ \times 2^\circ$) cu apertura de 1.6 m KASI/Chile.

Rezultatele remarcabile sunt:

a) Realizarea procesării de urmărire digitală (synthetic tracking - ST) în același timp cu efectuarea observațiilor (în timp real). Raportarea datelor pe INT și KASI obținute în programele de observații efectuate la sfârșit de an 2023 și 2024 în mai puțin de 24h de la realizarea observației (până la următoarea sesiune de observații). Exemple:

Folosim placa grafică AMD Radeon RX 6800 XT:

✓ *Telescop INT:* camera WFC 4 x 9 Mpx, 0.33arcsec/pix, strategie observații 12 imagin x 1 min expunere pe câmp, căutarea obiectelor cu viteză aparentă mai mică de 10 arcsec/min

• Timp total achiziție: 18 min (incluzând timpul de citire)

• Timp de rulare la granularitate maximă: 26 s per CCD, din care 2 s timp de ST.

✓ *Telescopul Javalambre South T80S*: camera 1 x 80 Mpx, 0.55 arcsec/pix, strategie observații 20 imagini x 1.5 min expunere, căutarea obiectelor cu viteză aparentă mai mică de 15 arcsec /min

- Timp de achiziție: 30 min

- Timp de rulare la granularitate maximă: 7 min per CCD, din care 2 s timp de ST.

b. Validarea și evaluarea pachetului software în condiții relevante, în cadrul unor programe largi de observații realizate cu telescoapele 1.52 m TCS, 1.6 m KASI, 2.54 m INT.

➤ Au fost raportate 71069 măsurători astrometrice trimise către baza de date Minor Planet Center (nodul central pentru toate măsurătorile obiectelor din Sistemul Solar).

➤ Au fost descoperiți cinci asteroizi apropiați orbitei terestre (de tip NEAs), dintre care un asteroid de tip Virtual Impactor. Aceste descoperiri demonstrează funcționalitatea sistemului în condiții de program larg, continuu (survey) de observații.

➤ Între acestea, notabile sunt descoperirile asteroizilor 2024 CW2 (procesat în timp real și trimis împreună cu alți 2 NEAs în mai puțin de 24h și 2023 DZ2:

<https://www.minorplanetcenter.net/mpec/K23/K23F12.html>

Acesta fost un impactor virtual pentru 2026, cu probabilitatea de coliziune maximă de 2.3%; de asemenea, la apropierea de anul trecut a trecut la 0.5 distanțe lunare de Pământ. Campania IAWN dedicată acestui asteroid a testat capabilități de caracterizare în timp scurt. Această descoperire a fost preluată de către mass media și a fost anunțată pe numeroase canale. Comunicatul nostru de presă a fost:

<https://planet.astro.ro/ParaSOL/index.php/category/press-releases/>

Acest rezultat este prezentat în articolul: *Discovery and physical characterization as the first response to a potential asteroid collision: The case of 2023 DZ₂*; Autori: Popescu, Marcel M.; Văduvescu, O.; de León, J.; de la Fuente Marcos, C.; de la Fuente Marcos, R.; Stănescu, M. O.; Alarcon, M. R.; Serra Ricart, M.; Licandro, J.; Berteșteanu, D.; Predatu, M.; Curelaru, L.; Barwell, F.; Jhass, K.; Boldea, C.; Aznar Macías, A.; Hudin, L.; Dumitru, B. A. *Astronomy & Astrophysics (Factor de impact 6.5)*, Volume 676, id.A126, 14 pp., August 2023

<https://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2023/08/aa46751-23.pdf> .

c. Algoritmii și metodele dezvoltate în cadrul proiectului au fost folosite și pentru procesarea altor tipuri de observații și arhive de date. Acestea includ, caracterizarea fotometrică a cometei interstelare 2I / Borisov, procesarea dârelor (trails) observate în arhiva telescopului Hubble și procesarea datelor fotometrice realizate cu telescopul TCS pentru asteroidul 65803 Didymos în cadrul misiunii spațiale NASA / DART.

În concluzie, obiectivul acestui proiect a fost realizat în totalitate. Activitățile efectuate corespund tuturor activităților preconizate în propunerea de proiect.

2. Nivelul de maturitate tehnologică

«Prezentarea și argumentarea nivelului de maturitate tehnologică (TRL) la finalul proiectului.»

Sistemul în ansamblu și toate aceste componente îndeplinesc criteriile nivelului de maturitate tehnologică Technology Readiness Levels (TRL) 4.

Nivelul de maturitate tehnologică TRL 4 corespunde validării în condiții de laborator a pachetului de date Umbrella și a componentelor sale (IPP, STU, Webrella). Pentru a face acest lucru am realizat o serie de programe largi de observații folosind telescoapele cu apertură între 25 cm și 2.54m și câmp de observație per imagine între 7 x 7 arcmin² până la 2° x 2° respectiv 0.25m T025-BD4SB/IAAR, 0.8 m T80S – Javalambre South/Chile, 1.52 m TCS/IAC, 1.6 m KASI – Chile și 2.54 m INT/ ORM. În figura 1 este prezentată comparația între măsurătorile efectuate cu Umbrella/STU și coordonatele precise. Dispersia este mai mare pe INT din cauza problemelor mecanice ale telescopului (urmărire siderală imprecisă).

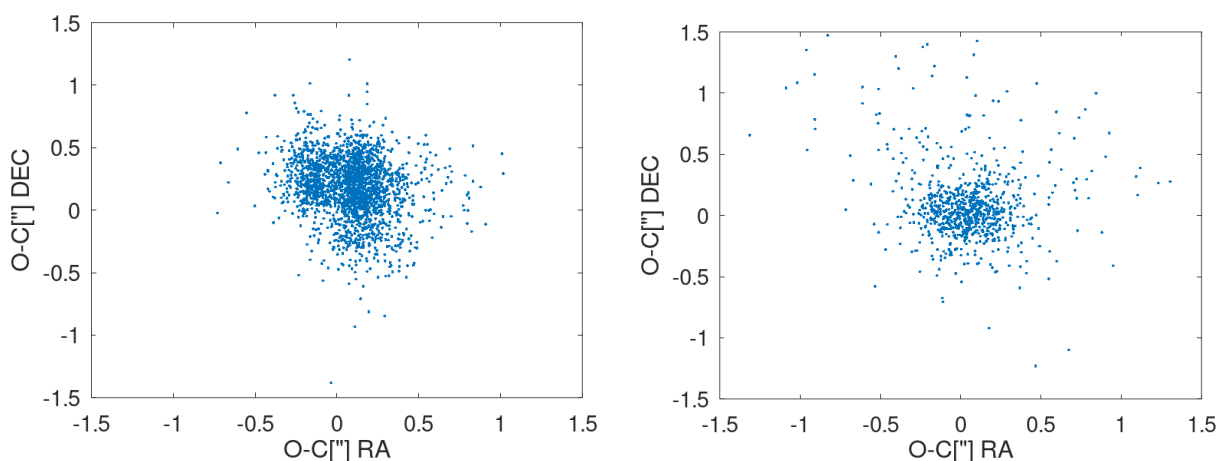


Fig. 1 Diferența dintre coordonatele măsurate de STU și coordonatele calculate din efemeridă (O – C) pentru obiectele cunoscute observate cu KASI (stânga) și INT (dreapta).

O altă componentă a validării pachetului de programe a fost detecția asteroizilor apropiați orbitei terestre necunoscuți la momentul observației. Menționăm aici ca exemple relevante (prin prisma faptului că sunt obiecte apropiate orbitei terestre și care la momentul descoperirii au avut viteze aparente de până la 10 arcsec/min) următoarele descoperiri:

- ◆ 2023 DZ2 (MPEC 2023-F12)
- ◆ 2023 XC8 (MPEC 2023-X212)
- ◆ 2023 XN11 (MPEC 2023-X270)
- ◆ 2024 CW2 (MPEC 2024-C133)

Documentația asociată pachetului de programe include: 1) Descrierea generală a metodelor IPP și a algoritmului STU este prezentată în secțiunea 2 din articolul

publicat în Astronomy & Astrophysics, Popescu et al. 2023. În acest caz softul a fost utilizat în mediu operațional, în condiții de program larg de observații (all -sky survey).
<https://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2023/08/aa46751-23.pdf>

2) Pe website-ul proiectului, în secțiunea Rezultate, se regăsesc toate documentele asociate prezentărilor la conferințe și seminarilor ținute de-a lungul proiectului.

3) Specificațiile tehnice sunt disponibile pe website-ul proiectului.

4) Proiectul include o documentație de tip html – wiki disponibilă intern pe serverul git al proiectului.

5) Software-ul dezvoltat include documentația funcțiilor și tipurilor de date interne, inclusiv a setărilor de configurare și metodelor folosite, într-un format XML ce poate fi exportat ca HTML sau PDF folosind software-ul de procesare a documentației Doxygen.

În concluzie, capabilitățile acestui pachet de programe au fost clar descrise și demonstrate în diferite aplicații (sesiuni de observații pentru detectarea obiectelor noi, sau puțin cunoscute din apropierea Pământului), conform propunerii de proiect. 2) Sistemul funcționează ca un ansamblu în mediu real. 3) Sistemul a fost clar și riguros modelat și testat demonstrând satisfacerea cerințelor enunțate în propunerea de proiect. 4) Softul poate fi integrat pentru a procesa datele provenite de la programele largi de observații sau poate fi particularizat pentru aplicații specifice detecției de asteroizi din apropierea Pământului.

3. Rezultatele obținute

«Gradul de atingere a rezultatelor estimate (prezentarea produsului/tehnologiei sau a serviciului rezultat al proiectului).»

1. Propus: Pachetul software Umbrella calificat ca nivel de maturitate tehnologică 4.

Realizat:

a). Pachetul software este disponibil folosind serverul de control al versiunilor (**git**) instalat pe sistemul de calcul *parasol1* (necesită autentificare):

<https://gitplanet.astro.ro/umbrella/>

Componentele pachetului software au fost testate sub sistemele de operare Ubuntu, ArchLinux și Windows. Anexa 1 descrie modalitatea de download și instalare a pachetului software.

b). Toate pipeline-urile rulează pe sistemul *parasol1* și pot fi accesate prin autentificare de către orice utilizator care folosește acest sistem. Modulele IPP și STU rulează pe sistemul de calcul *parasol2* și pot fi utilizate pe orice sistem de calcul ce folosește un sistem de operare Linux sau Windows și care permite framework-ul OpenCL.

c). Pentru vizualizarea și validarea rezultatelor rulării softului a fost realizată **interfața web Webrella**. Aceasta este accesibilă:

<https://gitplanet.astro.ro:9443/>

d). Toate modulele îndeplinesc criteriile de maturitate tehnologică de nivel 4.

2. Propus: Document cu specificațiile tehnice ale acestui soft;

Realizat:

- Documentul cu specificațiile tehnice este disponibil pe website-ul proiectului.
https://planet.astro.ro/ParaSOL/wp-content/uploads/2022/12/SpecificatiiTehnice_Website.pdf
- Proiectul are atașat un sistem complet de documentație de tip wiki, disponibil pe serverul de git (necesită autentificare):
<https://gitplanet.astro.ro/parasol/parasol-issue-tracker/-/wikis/home>
- Manualul complet se regăsește pe serverul de git la adresa:

3. Propus: Raport de testare și validare

Realizat:

- Rapoartele de testare și validare sunt accesibile pe website-ul proiectului.
- Document cu rezultatele testării automate pe telescopul TCS, rezultatele testării manuale pe datele de la telescopul INT, rezultatele optimizării paramaterilor pe telescopul de 1.6 m KASI.
 - Set de fișiere de tip .csv conținând rezultatele testării automate în cadrul programului larg de observații realizat cu INT și KASI.

4. Propus: 30 circulare MPC/MPECs

Realizat:

Am raportat către Minor Planet Center **71 069 observații astrometrice obținute în cadrul acestui proiect**. Deoarece observațiile au fost trimise imediat ce măsurătorile au fost obținute acestea au fost publicate în **112 circulare MPECs** - DAILY ORBIT UPDATE (Minor Planet Electronic Circulars).

Între acestea, notabilă este descoperirea lui 2023 DZ2:

<https://www.minorplanetcenter.net/mpec/K23/K23F12.html>

Acesta fost un impactor virtual pentru 2026, cu probabilitatea de coleziune maximă de 2.3%; de asemenea și a trecut la 0.5 distanțe lunare. Această descoperire a fost preluată de către mass media și a fost anunțată pe numeroase canale. Comunicatul nostru de presă a fost:

<https://planet.astro.ro/ParaSOL/index.php/category/press-releases/>

Alte descoperiri de NEAs sunt:

- 2023 XC8 (MPEC 2023-X212)
- 2023 XN11 (MPEC 2023-X270)
- 2024 CW2 (MPEC 2024-C133)

5. Propus: Două articole științifice publicate (sau acceptate) în jurnale cu factor ISI mai mare ca 1.5

Realizat:

1. Articol publicat: *Discovery and physical characterization as the first response to a potential asteroid collision: The case of 2023 DZ₂*;

Autori: **Popescu, Marcel M.**; **Văduvescu, O.**; de León, J.; de la Fuente Marcos, C.; de la Fuente Marcos, R.; **Stănescu, M. O.**; Alarcon, M. R.; Serra Ricart, M.; Licandro, J.; **Berteșteanu, D.**; **Predatu, M.**; **Curelaru, L.**; Barwell, F.; Jhass, K.; Boldea, C.; Aznar Macías, A.; Hudin, L.; Dumitru, B. A.

Astronomy & Astrophysics (Factor de impact 6.5), Volume 676, id.A126, 14 pp., August 2023

<https://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2023/08/aa46751-23.pdf>

2. Articol publicat: *Pre-perihelion monitoring of interstellar comet 2I/Borisov*;

Autori: Prodan, George P.; **Popescu, Marcel**; Licandro, Javier; Akhlaghi, Mohammad; de León, Julia; Tatsumi, Eri; Pastrav, Bogdan Adrian; Hibbert, Jacob M.; **Văduvescu, Ovidiu**; Simion, Nicolae Gabriel; Pallé, Enric; Narita, Norio; Fukui, Akihiko; Murgas, Felipe

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (Factor de impact 6.5), Volume 529, Issue 4, pp.3521-3535, Aprilie 2024

<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2024MNRAS.529.3521P/abstract>

3. Articol publicat: *Hubble Asteroid Hunter. III. Physical properties of newly found asteroids*; García-Martín, Pablo; Kruk, Sandor; **Popescu, Marcel**; Merín, Bruno; Stapelfeldt, Karl R.; Evans, Robin W.; Carry, Benoit; Thomson, Ross;

Astronomy & Astrophysics (Factor de impact 6.5), Volume 683, id.A122, 10 pp., Martie 2024

<https://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2024/03/aa46771-23.pdf>

4. Articol publicat: *Photometry of the Didymos System across the DART Impact Apparition*; Moskovitz, Nicholas; Berteșteanu, Daniel N.; ... **Popescu, Marcel M.**; ...; ***The Planetary Science Journal (Factor de impact 3.4)***, Volume 5, Issue 2, id.35, 28 pp.; Februarie 2024

<https://iopscience.iop.org/article/10.3847/PSJ/ad0e74/pdf>

5. Articol în pregătire [estimat să fie trimis spre publicare în august 2024]: *Data-parallel methods for fast and deep detection of asteroids on the Umbrella platform*; Mălin Octavian Stănescu, Marcel M. Popescu, Ovidiu Văduvescu, Lucian Curelaru, Daniel Berteșteanu, Marian Predatu

5. Propus: Două postere sau prezentări la conferințele internaționale

Realizat:

1. (Prezentare) *Real-time synthetic tracking for near-Earth asteroids detection* (M. Stănescu et al.); 8th IAA Planetary Defense Conference, 2023, Viena, Austria

2. (Prezentare) *Blink and You Miss It: Real-Time Synthetic Tracking for Near-Earth Object Surveys* [#2361] (Stănescu M. O. et al.) Asteroids, Comets, Meteors (ACM) 2023, Flagstaff, SUA

6. Propus: Site web al proiectului

Realizat: <https://planet.astro.ro/ParaSOL/>

Descrierea științifică și tehnică a activităților efectuate

WP2.1: Proiectarea unei interfețe software (protocol) pentru conectarea tuturor modulelor softului Umbrella. Această activitate a presupus dezvoltarea unui protocol și a unei interfețe care să permită conectarea tuturor modulelor softului Umbrella, reproiectarea (pornind de la prototipul existent) și integrarea modulului de urmărire sintetic (synthetic tracking unit - STU) în această interfață.

Pentru a simplifica procesul de punere în funcțiune s-a dovedit necesar și s-a implementat un program pentru actualizare automată a tuturor componentelor implementate. Pentru a-l putea folosi este nevoie de un access token. După configurare se pot descărca componentele Umbrella direct pe sistem, fără a mai fi nevoie de accesarea browser-ului pe GitLab.

- *umbrella-update upstream add gitbrella https://gitplanet.astro.ro/*
- *umbrella-update upstream fetch*

Pipeline-urile din Umbrella v4 (versiunea curentă) sunt distribuite în biblioteci sub forma unor componente. Acestea necesită o aplicație gazdă care să le asambleze într-un pipeline și să le ruleze. O astfel de gazdă este Basic Host. Rularea tuturor componentelor suitei de programe Umbrella se face prin folosirea programului Basic Host.

Pentru Linux, Basic Host se apelează cu subcomanda/argumentele *subcmd* prin:

- *\$ mono --debug <cale>/BasicHost.exe subcmd*

Pe calculatoarele unde alias-ul este configurat (calculatorul parasol), comanda se poate prescurta la

- *\$ ubh subcmd*

Sub Windows, comanda este

- *> C:\<cale>\BasicHost.exe subcmd*

WP2.2: Integrarea tuturor modulelor software în interfața comună (Responsabil Institutul Astronomic).

Această activitate a presupus reproiectarea și rescrierea interfeței web cu utilizatorii (Webrella) pentru a putea fi compatibile cu interfața comună. S-a proiectat noua versiune de Webrella conform specificațiilor pentru acest modul propuse în cadrul proiectului curent. S-au creat *mock-up*-uri pentru paginile vizibile utilizatorilor. S-au implementat stratul de autentificare și autorizare a comenzilor și stratul de persistență a datelor. A fost testată funcționalitatea acestor nivele folosind date ce simulează porțiunile încă nefinalizate din Webrella. Într-un final s-au testat o parte din elementele MVC, restul urmând a fi finalizate. De asemenea, urmează a fi integrat în setul de programe *host*-ul necesar pentru compatibilitatea cu ultima versiune a protocolului definit în cadrul WP2.1

WP2.3: Realizare unui cadru de testare și monitorizare automat ("Test harness")

Această activitate a presupus realizarea unui cadru de testare și monitorizare ("test harness") automat. În felul acesta se realizează monitorizarea parametrilor cheie ai algoritmului, validarea proprietăților critice și se cuantifică rezultatele modificărilor algoritmilor de calcul.

Pentru a putea rula în mod sistematic suita de programe Umbrella au fost achiziționate și configurat sistemele de calcul *parasol1* și *parasol2*. Acestea folosesc sistemele de operare Ubuntu și ArchLinux. Calculatoarele parasol3 și parasol 4 se află la Universitatea din Craiova și au folosit pentru testarea pachetului de programe pe sistemul de operare Windows.

Pentru a automatiza activitatea de testare a fost realizată arhiva de imagini conținând atât date obținute recent cât și date obținute anterior. Datele sunt structurate pentru a permite o testare cât mai automatizată. Următoarele seturi de imagini sunt disponibile în arhiva noastră, stocată pe sistemele de calcul *parasol1* și *parasol2* : 073_T025_QHY294M; 309_VLTVST_OMEGACAM; 807_KASI; 950_GTC_OSIRIS; 950_JKT; 954_STELLA_WIFSIP; 954_TTT; M30_C11_ATIK383L; XXX_TBT; 304_Warsaw_OGLE; 493_CAHA_MARCOT; 807_SARA_Andor; 950_INT_WFC; 950_WHT_PFHQHY; 954_TCS_MuSCAT2; L32_SAOKASI; XXX_Chakana_FLI; Z58_TBT Denumirea fiecărui folder este dată în formatul <Cod MPC observator>_<Telescop>_<Instrument>. Această arhivă totalizează în momentul de față 16 TB.

Testarea automată se realizează folosind două scripturi python:

- Primul script parcurge structura arborescentă (Telescop → Noapte de observație → Obiect) din arhiva corespunzătoare fiecărui telescop și rulează STU folosind un fișier de configurare predefinit. În cazul în care apar erori, fișierul de rezultate nu este generat. Tipurile de erori întâlnite sunt cauzate de calitatea imaginilor (erori de urmărire, schimbări de vreme, calibrare automată necorespunzătoare) sau de limitările impuse în fișierul de configurare (viteza aparentă maximă detectată). Acest script menține structura arborescentă pentru raportarea rezultatelor
- Cel de-al doilea script parcurge rezultatele și pentru fiecare obiect identificat calculează efemerida folosind serverul NASA JPL/Horizons pentru momentul de timp raportat la fiecare observație. Apoi, raportează diferența dintre pozițiile detectate de programul nostru și cele rezultate din efemeridă. Validarea se face pe baza acestor diferențe (numite O-C): a) obiectul a fost identificat dacă $O-C \rightarrow 0$ (în realitate sunt comparabile cu dimensiunea pixelului exprimată în secunde de arc); sau b) deviația standard $\sigma_{O-C} \rightarrow 0$ și O-C-urile sunt comparabile cu incertitudinea orbitală dată de efemeridă.

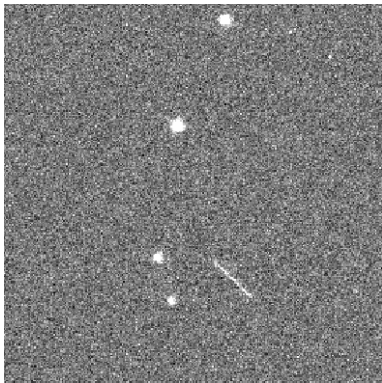
WP2.4: Implementarea proceselor critice așa încât să ruleze pe procesorul grafic. (Responsabil Institutul Astronomic). Implementarea proceselor critice așa încât să ruleze pe procesorul grafic (GPU), filtrarea de anomalii (pixeli defecti, raze cosmice),

operația de sortare și mediană. În momentul de față partea de căutare a detectiilor rulează pe procesorul grafic. Partea de pre-procesare de imagini rulează de asemenea pe procesorul grafic, cu excepția identificării stelelor fixe.

WP2.5 - Detectia dârelor Implementarea funcției de detecție a dârelor (trails). Testele preliminare arată că transformata Hough poate fi o soluție.

Pentru detecția dârelor (*trails*) au fost implementate trei metode:

a) Am detectat dârele dintr-un set de imagine folosind algoritmul STU ai cărui parametrii au fost ajustați corespunzător acestui tip de detecție. Testele efectuate arată că dâre având lungimea de ordinul zecilor de pixeli pot fi detectate în acest fel. Un astfel de exemplu este dat în imaginea de mai jos (observație obținută cu telescopul T025). Timpul de rulare pe toate cele 35 de imagini de 1 secunda a fost de aproape 3 min din care 2 min 32 partea de GPU.



0250000	KC2023	03	19.72184	07	27	04.60	+37	27	32.7	00.0	R	073
0250000	KC2023	03	19.72211	07	27	54.70	+37	38	02.7	00.0	R	073
0250000	KC2023	03	19.72239	07	28	44.96	+37	48	31.0	00.0	R	073

Fig. 2 Dâră detectată folosind algoritmul STU.

b) Am implementat algoritmul care aplică transformata Hough asupra imaginii stivuite din synthetic tracking. Acesta este în curs de caracterizare a performanțelor.

c) Am îmbunătățit algoritmul care face caracterizarea unei dâre date într-o imagine de observație (identifică punctul de început și final, centrul dârei, coordonatele relative și absolute, obține curba de lumină). Această contribuție a fost inclusă în articol trimis spre publicare *Hubble Asteroid Hunter III. Physical properties of newly found asteroids*; Pablo García-Martín, Sandor Kruk, **Marcel Popescu**, et al.

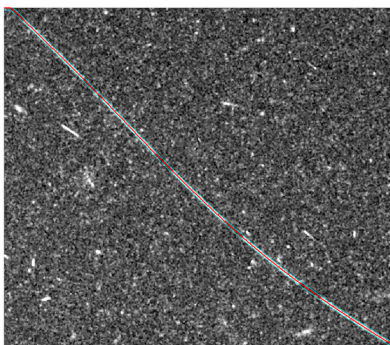


Fig. 3 Caracterizarea unei dâre obținute în cadrul programului *Hubble Asteroid Hunter*.

WP3.1: - Validarea algoritmilor utilizând imagini de la camerele monolit (responsabil Universitatea din Craiova).

Această activitate a fost împărțită în trei părți.

a) Validarea algoritmilor folosind cele 120 000 de imagini obținute cu telescopul de 1.5m Carlos Sánchez cu scopul caracterizării asteroizilor apropiați orbitei terestre.

Din cei 395 de asteroizi apropiați orbitei terestre (near-Earth asteroids - NEAs) pentru care s-au obținut imagini folosind telescopul Carlos Sánchez, 262 au fost detectați automat cu setările standard. Diagrama observat minus calculat (O-C) pentru cele 786 de poziții (pentru fiecare obiect sunt raportate trei poziții) este prezentată mai jos (Fig. 4).

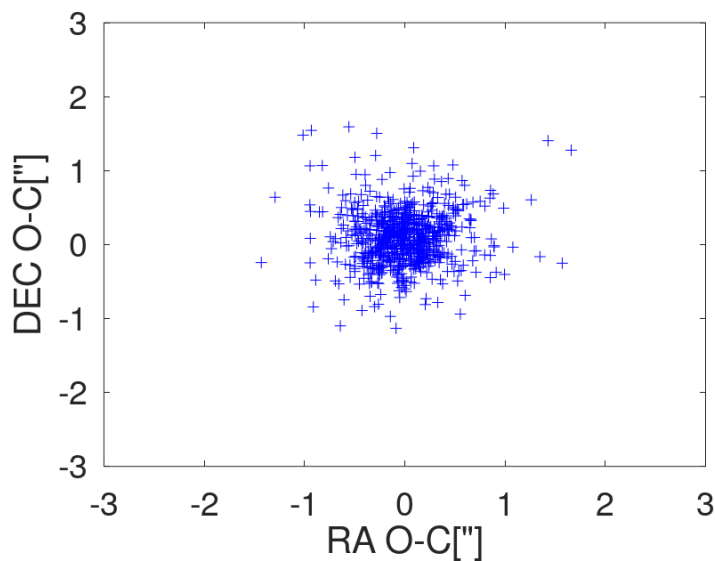


Fig. 4 Diagram O-C pentru cele 786 de poziții raportate de STU pentru datele TCS – MuSCAT2.

b) Generarea de cazuri de test adiționale folosind telescopul 0.35m Orion Sky Quest disponibil la UCV și, în măsura în care vom avea acces, alte telescoape.

Folosind acest telescop am realizat observații în nopțile 26 și 27 august 2022. Au fost observate următoarele asteroizii având următoarele numere: 1309, 2100, 3893, 4368, 4709. Datele au fost procesate folosind IPP. Pozițiile au fost măsurate inițial cu softul comercial Tycho și urmează a fi comparate cu datele obținute folosind STU.

c) Generarea de cazuri de test adiționale folosind telescopul T025 disponibil la Institutul astronomic al Academiei Române. S-au obținut date de observație în următoarele nopți (58 de nopți de observație): 20220828, 20220907, 20220908, 20220914, 20220928, 20220929, 20220930, 20221015, 20221016, 20221017, 20221018, 20221019, 20221020, 20221021, 20221028, 20221029, 20221031, 20221101, 20221102, 20221103, 20230208, 20230209, 20230214, 20230215, 20230216, 20230217, 20230307, 20230308, 20230313, 20230314, 20230319, 20230323, 20230324, 20230629, 20230630, 20230910, 20230911, 20230912, 20230913, 20231019, 20231021, 20231022, 20231030, 20240130, 20240131,

20240201, 20240206, 20240207, 20240208, 20240322, 20240323, 20240329, 20240330, 20240409, 20240410, 20240411, 20240412, 20240413,.

WP3.2 - Aplicarea softului pentru detecția resturilor activității spațiale ("space debris")

Studiul posibilității folosirii softului pentru detecția resturilor activității spațiale ("space debris"), având ca date de intrare observațiile realizate cu telescoapele din dotare.

Primul pas pentru detecția resturilor activității spațiale este testarea algoritmului pe un set de obiecte bine-cunoscut. În acest sens am realizat observații pentru patru sateliți (G10, G25, G27, R135) folosind telescopul T025 și am folosit date obținute anterior cu acest telescop pentru alți doi sateliți (E12 și G08).

Detecția acestora s-a reușit folosind algoritmul STU setat pentru modul dâre. Un astfel de exemplu este prezentat în Fig. 5 Acest rezultat arată că putem detecta folosind algoritmul STU obiecte care orbitează în jurul Pământului, inclusiv cele catalogate ca "space debris".

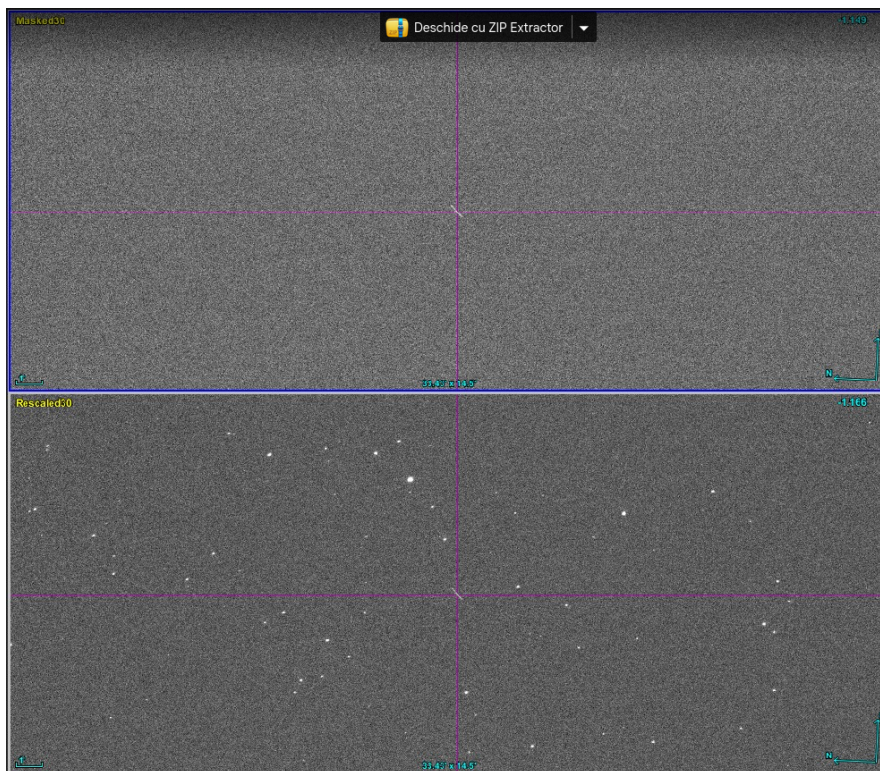


Fig. 5 Detecția satelitului G10 pe imaginile obținute în noaptea de 19 martie 2023 folosind telescopul T025. (Jos) imaginea scalată, (sus) imaginea având stelele mascate.

Dificultatea întâmpinată pentru obținerea de observații ale obiectelor de tip "space debris" a fost lipsa unui generator de efemeride. În acest sens ne-am autenticat pentru a putea folosi baza de date internațională Space - Track (<https://www.space-track.org/>) care cataloghează toate obiectele cunoscute din această categorie. Efemeridele sunt generate pornind de la formatul TLE (two line elements). În

cadru proiectului am implementat un cod python pentru calculul efemeridelor deșeurilor spațiale. Folosind acest cod am observat rămășițe de rachete.

WP3.3 - Îmbunătățirea ratei de detecție și suprimarea celor mai comune erori de detecție

Determinarea celor mai comune erori de detecție de tip "fals pozitiv" și "fals negativ". Optimizarea algoritmilor pe baza rezultatelor testelor existente.

S-a realizat o testare detaliată aplicând pachetul software pentru datele obținute cu următoarele telescoape: **1)** T80-South Telescope (telescop brazilian) aparținând observatorului Cerro Tololo Inter-American Observatory, Chile; **2)** KASI (telescop corean) KMTNet 1.6-meter Telescope (KASI) din Chile; **3)** Telescopio Carlos Sánchez (TCS), Observatorios de Canarias (Spania); **4)** 2.54m Isaac Newton Telescope (INT), La Palma, Insulele Canare, Spania, **5)** 0.6m SARA – South, **6)** 0.25m T025.

Următoarele activități au fost realizate. Rezultatele sunt prezentate în raportul de testare (Anexa 2):

- Testarea automată pentru detecția / non-detecția unui singur obiect în câmpul de 7.4×7.4 arcmin² al telescopului TCS. Au fost testate cu succes 210 câmpuri.
- Testare manuală și analiza fiecărui obiect în parte folosind datele obținute de la telescopul INT.
- Compararea rezultatelor obținute de algoritmul STU cu cele obținute de softul comercial Tycho Tracker pentru telescoapele menționate mai sus.
- Optimizarea parametrilor algoritmului folosind un câmp observat pe telescopul KASI. Pentru aceasta au fost variați parametrii algoritmului în intervalele de interes.
- Utilizarea softului pentru detecția asteroizilor în diferite sesiuni de observații cu telescoapele menționate mai sus. Figura 6 reprezintă un exemplu din interfața folosită pentru validarea detecțiilor. Figura 7 prezintă toate sesiunile de observații efectuate.

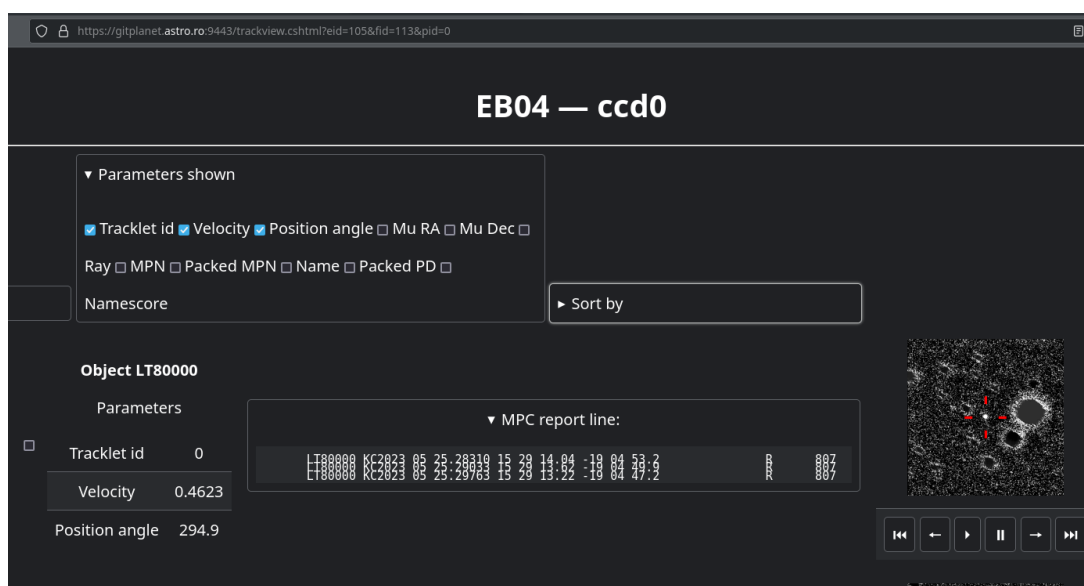


Fig. 6 Interfața de validare a detecțiilor (Webrella)



Fig. 7 Sesiunile de observații efectuate în 2023 și care au fost procesate folosind algoritmul STU, apoi analizate folosind interfața grafică Webrella.

WP 3.4 - Trimiterea datelor către baza de date Minor Planet Center și monitorizarea acceptării acestora

Acceptarea măsurătorilor astrometrice de către Minor Planet Center este o validare critică pentru algoritmul nostru. Activitatea constă în trimiterea datelor (prin e-mail) și monitorizarea web-siteul Minor Planet Center.

Un număr de 70 169 observații astrometrice au fost trimise către baza de date Minor Planet Center. Observațiile au fost realizate în cadrul acestui proiect folosind telescoapele menționate în secțiunea **WP3.3**.

WP 4.1 - Integrarea unei soluții rapide pentru rezolvarea astrometrică a imaginilor

Studiul privind folosirea pachetului Astrometry.net: integrarea acestuia în modulul nostru de IPP (modulul de procesare imagini - "Image Processing Package") și re-proiecția sistemului de coordonate de tip WCS (world coordinate system) în proiecție gnomonică.

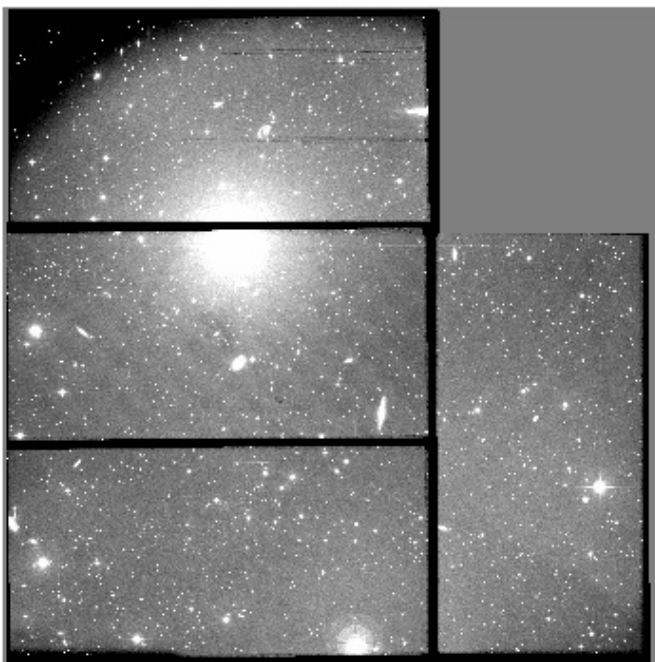
Pentru a rezolva acest task am instalat pachetul software *astrometry.net* pe sistemul de calcul parasol1. Am integrat utilizarea lui în scripturile de pre-procesare a imaginilor. Conversia între convențiile SIP (folosită de *astrometry.net*) și TPV (folosită de pachetul Astromatic) se face folosind librăria python *sip_to_pv.py*.

Această soluție a fost folosită cu succes pentru observațiile realizate cu telescoapele 1.6m KASI și T80S.

WP 4.2 - Adaptarea algoritmului pentru camere de tip mozaic (camere cu spațiu liber între cipuri)

Implementarea unui algoritm care să trateze excepția cauzată de spațiul liber dintre cipurile camerelor mozaic.

Informații tehnice de implementare și metoda de lucru:



○
Fig. 8 Cele patru CCD-uri ale camerei mozaic WFC de pe INT. Datorită rezoluției mici a unui CCD de pe INT și vitezei ridicate de căutare a obiectelor (tipic 15"/min), toate cele 4 CCD-uri de pe INT sunt asamblate într-un singur macrotile.

- STU alege o proiecție de lucru (coordonatele ecuatoriale ale punctului de referință). Aceasta este cea a primei imagini citite de STU.
- STU calculează acoperirea cu macrotile
 - O subcomponentă a STU denumită MacroTileManager proiectează colțurile tuturor imaginilor în proiecția de lucru
 - Se găsesc cele mai îndepărtate colțuri, apoi se merge cu un pas configurabil, prin dimensiunea unui macrotile și a zonei de suprapunere
 - Se elimină macrotiles unde acoperirea este <10%
- STU procesează fiecare macrotile
 - Se alocă bufferele în memoria plăcii grafice (spre deosebire de varianta care lucrează fiecare CCD individual unde fișierele intermediare trebuiau salvate pe disc)
 - Fiecare imagine este reproiectată în cubul de date folosind o metodă de sampling nearest neighbor în proiecția de lucru, folosind omografiile calculate din WCS-ul imaginilor
 - Se calculează imaginea mediană, aplicând un algoritm Heapsort implementat branchless pe GPU
 - Procesarea continuă similar cu operațiunile anterioare (detectarea stelelor, mascare)
 - Pe lângă modul de rulare normal, se folosește și o detecție pe 2/3 din imaginile exterioare, pentru a detecta obiectele în regiunile dintre senzorii individuali (pentru a prinde obiectele ce sar dintr-un senzor în altul)
 - Se aplică un algoritm similar cu cel folosit actual, dar buclele de execuție și parametrii de detecție sunt configurați pentru a detecta la același nivel de luminozitate, dar numai în treimile exterioare.
 - Procesarea continuă similar cu operațiunile anterioare (detectarea stelelor, mascare)
- STU aplică operațiuni de post-procesare
 - Deduplicarea candidaților

WP4.3 - Împachetarea serviciului de calcul pentru distribuție. Conectarea nodurilor de calcul la nivel central și distribuirea operațiilor

Conectarea nodurilor de calcul la nivel central și distribuirea operațiilor : 1) Exportul datelor interne într-un format portabil; 2) Dezvoltarea unui serviciu de management al nodurilor și un serviciu de calcul pentru noduri; 3) Împachetarea serviciului de calcul pentru distribuție; 4) Dezvoltarea codurilor de lansare a calculelor și comunicarea între noduri.

În cadrul proiectului ParaSOL am implementat funcționalitate pentru a rula pipeline-urile de procesare a datelor astronomice prin rețea, astfel încât suita de software dezvoltată în cadrul proiectului să poată fi folosită în sisteme de calcul tip cluster. Script-ul din figura de mai sus rulează pe un calculator de control (1), pentru a apela prin rețea programele de configurare și rulare al un pipeline de procesare pe un calculator worker (2) folosind datele dintr-un nod de stocare aflat pe un alt calculator (3). Un astfel exemplu de rulare distribuită a fost realizat pentru un set de

date de 6.4GB de pe telescopul T80S aflat în arhiva de date de pe calculatorul parasol2 a fost transferat automat pe calculatorul parasol, folosind o legătură de mare viteză (10Gbps) configurată între cele două calculatoare din cadrul nodului de calcul de la AIRA, într-un spațiu temporar dedicat și procesat folosind STU, toate aceste operații având loc printr-o comandă dată de calculatorul Portal2, care a funcționat ca nod de control pentru acest cluster în cadrul acestui test.

```
echo "Preparing for remote run"
ssh $REMOTE rm -r $TARGET
ssh $REMOTE mkdir $TARGET
ssh $REMOTE mkdir $TARGET/in
echo "Copying configuration file"
ssh $REMOTE cp $CONFIGTEMPLATE $TARGET/config.txt
echo "Copying data"
time ssh $REMOTE scp "$STORAGE$DATAPATH" $TARGET/in/
echo "Starting pipeline"
time ssh $REMOTE mono $PIPERUNNER run -c $TARGET/config.txt -w $TARGET/work -o $TARGET/out/ $TARGET/in/
echo "Done"
```

```
PIPERUNNER="/mnt/data-ssd/AstroTools/umbrella//v22/basichost-v0.6.1/BasicHost.exe"
REMOTE="parasol.astro.ro"
TARGET="/mnt/ramdisk/stu-test-retea/"
CONFIGTEMPLATE="/home/malin/config-T80S-auto.txt"
STORAGE="parasol2:/"
DATAPATH="/mnt/data-raid/photom/807_T80S/3_proc/ipp_science/20230523/EU03/*.fits"
```

Fig. 9 Scriptul (sus) folosit pentru a rula STU în rețea și fișierul de configurare (jos) necesar.

STU este distribuit în condiții normale folosind updater-ul dezvoltat în cadrul acestui proiect, disponibil atât pentru Windows cât și pentru Linux, având inclusiv pachete asamblate pentru distribuțiile Debian și ArchLinux. De asemenea, pentru distribuția rapidă și eficientă pe sistemele de calcul ParaSOL a mai multor variante de software (lucru necesar pentru a avea reproductibilitate a rezultatelor în timp precum și pentru a permite experimente cu versiuni preliminare în timp ce procesarea de rutină folosește versiuni stabile și testate), am dezvoltat un sistem de instalare, numit bundletool, urmărind convențiile de instalare a software-ului astronomic folosite în cadrul acestui proiect.

În schimb, în cazul sistemelor de tip cluster aflate într-un mediu de producție, pentru a asigura un mediu controlat de execuție pentru toate sistemele de procesare a datelor, suplimentar metodei obișnuite, este necesară distribuția unui pachet ce conține toate dependențele necesare cu o versiune bine controlată. În acest sens am dezvoltat o imagine pentru containere de tip systemd-nspawn, folosind la bază o distribuție ArchLinux. Ca atare, această imagine este ușor transferabilă, atât prin copiere directă cu rsync, cât și ca arhivă tarball. Folosind această infrastructură, software-ul dezvoltat în cadrul acestui proiect va putea fi folosit cu ușurință în producție pe scară largă odată ce maturitatea necesară este atinsă.

WP 5.1 - Program de observații de câmp larg folosind telescoapele T025 (AIRA) și 0.35m Orion Sky Quest (UCV)

Validarea pachetului software folosind un program larg de observații realizat cu telescopul T025 al IAAR și cu telescopul 0.35m Orion Sky Quest (UCV). Ținta a fost să se acopere cu observații un câmp cu dimensiunea 10 x 10 grade, în apropierea eclipticii.

Pentru a ne atinge ținta propusă de 10 x 10 grade² am realizat observații cu următoarele telescoape (<cod MPC>_<denumire telescope>_<denumire instrument>): 073_T025_QHY294M, 807_KASI, 807_SARA_Andor, 807_T80S, 950_INT_WFC, 954_TCS_MuSCAT2, M30_C11_ATIK383L. Telescoapele de apertură mică (25 cm) 073_T025_QHY294M și M30_C11_ATIK383L au fost utilizate pentru a genera date specifice de test.

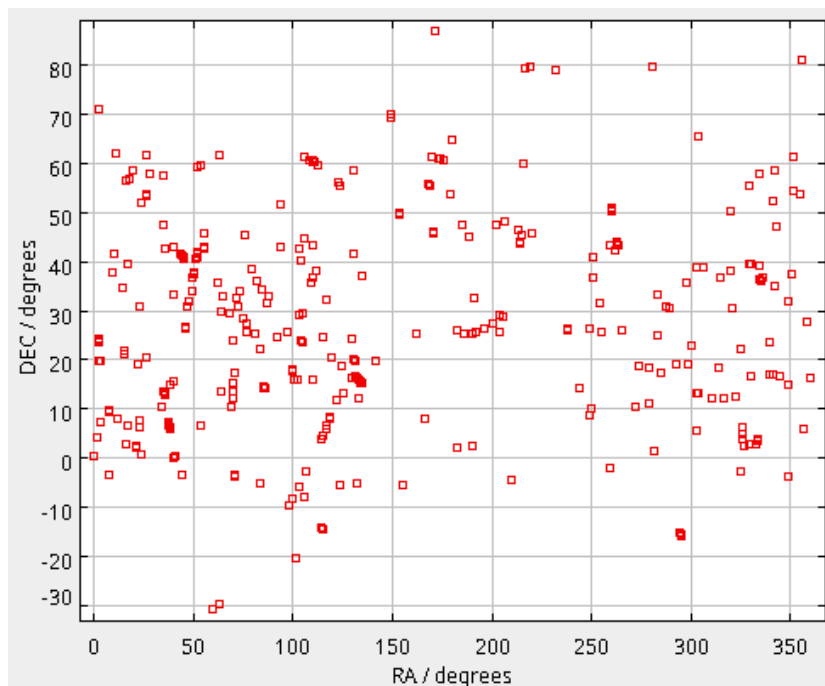


Fig. 10 Suprafața de cer acoperită folosind telescopul T025

a) Telescopul 073_T025_QHY294M a fost folosit în mod constant pentru observații, atunci când vremea a permis: baza de date conține 88 nopți de observație (43 de nopți de la începerea proiectului ParaSOL), 67 189 imagini (32 686 de la începerea proiectului), acoperind o suprafață de cer de **266.2 grade²** (129.4 de la începerea proiectului). Distribuția pe cer a câmpurilor observate este afișată în Fig. 10.

b) Deoarece am reușit să obținem nopți de observații cu telescoapele de apertură mare 807_KASI, 807_SARA_Andor, 807_T80S, 950_INT_WFC am folosit timpul de lucru pentru procesarea acestor date. Pentru KASI am realizat 5 nopți de observații acoperind o suprafață de cer de **320 grade²** (80 de câmpuri unice).

WP5.2 Validarea folosind camerele mozaic de pe telescoapele mari

Validarea softului în cadrul unor programe largi de observații s-a făcut folosind telescoapele de 2.54m INT și 1.6 m KASI. Cantitatea de date generată de aceste telescoape a fost suficientă pentru validarea propusă. Respectiv, au fost făcute observații în următoarele nopți:

1) 2.54 m INT: 20230227, 20230228, 20230301, 20230302, 20230303, 20230410, 20230411, 20231018, 20231029, 20231030, 20231031, 20231101, 20231102, 20240318, 20240319, 20240507, 20240508, 20240509, 20240528, 20240529, 20240530, 20240531. În total au fost observate 535 de câmpuri unice, o suprafață de cer acoperită de 133 grade^2 . Camera mozaic este prezentată în Fig. 6.

2) 1.6 m KASI: 20230216, 20230217, 20230218, 20231022, 20231023, 20231205, 20231207, 20231208, 20231210, 20240111, 20240210. În total au fost observate 133 de câmpuri unice care acoperă o suprafață de cer de 532 grade^2 . Camera mozaic include 4 x 8 CCD-uri acoperind o suprafață de cer de 4 grade^2 .

Datorită faptului că am obținut timp de observație pe aceste două telescoape (pe bază de competiție pentru timp de telescop) și cantitatea de date ne-a permis să testăm o multitudine de cazuri în mediu operațional (program larg de observații), nu am mai folosit imagini din arhive pentru alte telescoape.

Un exemplu de diferențe între pozițiile observate/ măsurate și cele calculate pentru obiecte cunoscute folosind efemerida acestora este prezentat în Fig. 1 din acest raport.

WP5.3 - Identificarea secțiunilor de cod costisitoare din punct de vedere al timpului de procesare și optimizarea acestora

Realizarea unei serii de teste extinse pentru a determina secțiunile din cod unde softul funcționează lent și cu performanțe reduse. Implementarea codului pentru optimizarea acestora. Cunoașterea impactului modificărilor prin rularea unui set extins de teste. Figura de mai jos prezintă performanțele rulării pachetului Umbrella pe diferite tipuri de imagini.

Our typical runs on, with an AMD Radeon RX 6800 XT:

- WFC on INT: $4 \times 9 \text{ Mpx}$, $0.33'' \text{ px}^{-1}$, $12 \times 1 \text{ min}$ cadence $10'' \text{ min}^{-1}$ search cone
- Acquisition time: 12 min
- Runtime at full granularity: 26 s per CCD, with 2 s for actual ST scan
- T80S: $1 \times 80 \text{ Mpx}$, $0.55'' \text{ px}^{-1}$, $20 \times \sim 1.5 \text{ min}$ cadence, $15'' \text{ min}^{-1}$ search cone
- Acquisition time: 30 min
- Runtime: 7 min per CCD, with 2.5 min for actual ST scan

Fig. 11 Performanțele algoritmului STU

4. Impactul rezultatelor obținute

«Impactul rezultatelor obținute, cu sublinierea celui mai semnificativ rezultat obținut.»

Cel mai reprezentativ rezultat al acestui proiect este implementarea algoritmului de urmărire digitală (synthetic tracking) - STU care rulează într-un timp mai mic decât timpul necesar observațiilor. Acest lucru permite căutarea de asteroizi, comete și deșeuri spațiale în același timp cu observațiile prin telescop. Această capacitate este unică și a fost demonstrată folosind un program larg de observații efectuat cu telescoapele INT și KASI.

Între asteroizii descoperiți folosind STU este, notabil 2023 DZ2:

<https://www.minorplanetcenter.net/mpec/K23/K23F12.html>

Acesta fost un impactor virtual pentru 2026, cu probabilitatea de coleziune maximă de 2.3%; de asemenea și a trecut la 0.5 distanțe lunare. Această descoperire a fost preluată de către mass media și a fost anunțată pe numeroase canale. Comunicatul nostru de presă a fost: <https://planet.astro.ro/ParaSOL/index.php/category/press-releases/>

Acest rezultat este prezentat în articolul: Discovery and physical characterization as the first response to a potential asteroid collision: The case of 2023 DZ₂; Autori: Popescu, Marcel M.; Văduvescu, O.; de León, J.; de la Fuente Marcos, C.; de la Fuente Marcos, R.; Stănescu, M. O.; Alarcon, M. R.; Serra Ricart, M.; Licandro, J.; Berteșteanu, D.; Predatu, M.; Curelaru, L.; Barwell, F.; Jhass, K.; Boldea, C.; Aznar Macías, A.; Hudin, L.; Dumitru, B. A. Astronomy & Astrophysics (Factor de impact 6.5), Volume 676, id.A126, 14 pp., August 2023

<https://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2023/08/aa46751-23.pdf> .

5. Exploatarea și diseminarea proiectului

«Detalii privind exploatarea și diseminarea rezultatelor proiectului.»

Rezultatele au fost prezentate în patru articole științifice cu factor mare de impact (două articole publicate în Astronomy & Astrophysics, unul în Monthly Notices of Royal Astronomical Society și unul în The Planetary Science Journal), la două conferințe internaționale sub formă de prezentări (Planetary Defense Conference 2023, Asteroid Comets Meteors 2023) și la două seminarii (ținute la Institutul Astronomic al Academiei Române și Institutul de Astrofizică din Canare /Spania).

Lista articolelor publicate este prezentată în secțiunea 3 – rezultate. Toate articolele științifice, abstractele trimise la conferințe și prezentările se găsesc pe website-ul proiectului.

6. Prezentarea livrabilelor

«Prezentare livrabilelor/indicatorilor obținuți la finalul proiectului comparativ cu cei propuși.»

Nr. crt.	Livrabile/indicatori planificați	Nr.	Livrabile/indicatori realizați	Nr.
1.	Pachetul software Umbrella calificat ca nivel de maturitate tehnologică 4	1	Pachetul software Umbrella calificat ca nivel de maturitate tehnologică 4	1
2.	Document cu specificațiile tehnice ale acestui soft;	1	Document cu specificațiile tehnice ale acestui soft;	1
3.	Articole științifice publicate (sau acceptate) în jurnale cu factor ISI mai mare ca 1.5	2	Articole științifice publicate (sau acceptate) în jurnale cu factor ISI mai mare ca 1.5	4
4.	Postere/prezentări la conferințele internaționale	2	Postere/prezentări la conferințele internaționale	2
5.	Circulare MPC/MPECs	30	Circulare MPC/MPECs	112
6.	Site web al proiectului	1	Site web al proiectului	1

Prezentare pentru diseminarea rezultatelor:

«Pe lângă cele menționate mai sus, raportul final trebuie să conțină și o prezentare succintă (2-3 paragrafe) a rezultatelor obținute în cadrul proiectului, rezultate ce urmează a fi diseminate de Autoritatea Contractantă în materiale de promovare a rezultatelor obținute în cadrul programelor de finanțare. Menționăm că acest text trebuie să fie pe înțelesul publicului. Prezentarea trebuie să fie însoțită de 2-4 poze reprezentative pentru proiect (format JPG). Acestea trebuie să se regăsească și pe pagina web a proiectului.»

Monitorizarea spațiului din apropierea planetei noastre este primul pas pentru a ne cunoaște vecinătatea cosmică. Asteroizii și cometele apropiați orbitei terestre au modelat evoluția vieții pe Pământ și reprezintă un risc la scara de timp geologică. Pe de altă parte, acești planetozi mici reprezintă pot reprezenta țintele cele mai ușor de atins de către misiunile spațiale. În acest context am dezvoltat o serie de algoritmi performanți pentru a identifica sursele cu mișcare aparentă (obiecte din Sistemul Solar) în imaginile obținute cu ajutorul oricărui telescop. Pachetul de programe asociat acestora, numit Umbrella, folosește metode de procesare a imaginilor bazate pe calcul paralel și merge cu detecția la limita zgomotului pentru a detecta până și cele mai slab strălucitoare surse.

Acest proiect dedicat dezvoltării pachetului de softwares Umbrella, "Detectia obiectelor din Sistemul Solar și a resturilor spațiale folosind metode de calcul paralel" (acronim ParaSOL), a fost finanțat în cadrul competiției Proiecte Experimental Demonstrative 2021 de către Unitatea Executivă pentru Finanțarea Învățământului Superior, a Cercetării, Dezvoltării și Inovării (UEFISCDI). Activitățile s-au desfășurat în perioada 21 iunie 2022 - 22 iunie 2024 într-un parteneriat între Institutul Astronomic al Academiei Române și Universitatea din Craiova. Ideile incipiente proiectului au pornit de la discuțiile din cadrul Astroclubului București.

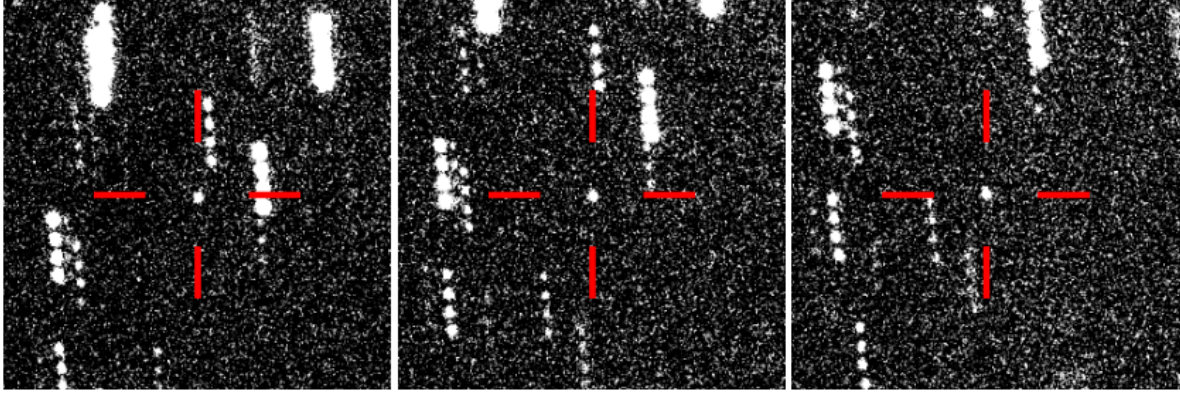
Rezultatul remarcabil al acestui proiect este programul de urmărire digitală (synthetic tracking) care reușește să detecteze obiectele (surse punctiforme, dăre sau surse extinse -- comete) într-un timp mai scurt decât cel necesar realizării observații pe camere cu dimensiuni de 80 Mega Pixeli. Algoritmul reușește să scaneze toate direcțiile posibile de mișcare și toate vitezele aparente (într-un interval configurabil de până la sute de arcsecunde pe minut) folosind tehnici de calcul paralel implementate pe procesorul grafic. Pachetul soft a fost validat folosind observații realizate cu telescoape având apertura între 0.25 m și 2.54 m. Notabilă este descoperirea asteroidului 2023 DZ2. Acesta fost un impactor virtual, cu probabilitatea de coliziune maximă de 2.3% (estimată pe baza primelor date de observație) și la apropierea din 2023 a trecut a trecut la mai puțin de 0.5 distanțe lunare față de Pământ (putând fi observat chiar și cu cele mai mici telescoape). Adevărata putere a algoritmului a fost demonstrată prin procesarea simultan cu observațiile a datelor de pe telescopul cu apertura de 1.6m KASI/Chile care este echipat cu o cameră având un câmp de 2 grade x 2 grade și 360 megapixeli. Au fost descoperiți asteroizi care la momentul detecției aveau rata de mișcare de 10 arcsec/min (de exemplu 2023 XC8 și 2023 XP14).

Platforma software Umbrella realizată în cadrul proiectului ParaSOL reprezintă o unealtă foarte puternică pentru a descoperi surse slab strălucitoare (asteroizi, comete, obiecte interstelare), pentru a le determina astrometria într-un mod precis și pentru a înlătura incertitudinea orbitală a acelor având puține observații (inclusiv obiecte catalogate ca virtual impactori). Mai mult, Umbrella este programul necesar pentru a realiza monitorizarea resturilor spațiale (problemă critică pentru industria spațială) cu ajutorul telescoapelor mici, comerciale. Modulul de urmărire digitală (SYNTRACK) este unul dintre puținele existente și are capabilități unice în termen de viteză de calcul, eficiența identificărilor și posibilitatea de a procesa imagini de camere mozaic.

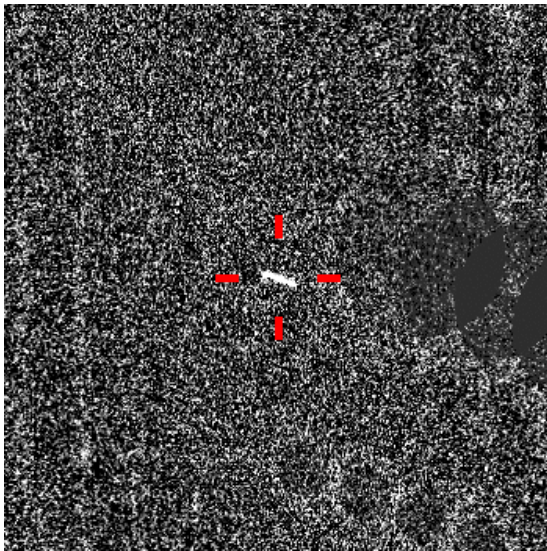
Data: 19 iunie 2024

Director de proiect

Popescu M. Marcel



Asteroidul 2023 DZ2. Imaginile primei detecții obținute cu ajutorul modulului de detecție digitală STU.



Asteroidul apropiat orbitei terestre 2023 XC8 descoperit de către STU pe observațiile realizate de telescopul 1.6m KASI / Chile



Membrii echipei proiectului ParaSOL (Marcel, Mălin, Marian, Ovidiu, Daniel și Luci – în spatele camerei).