

Raportul științific și tehnic pentru proiectul ParaSOL

etapa 2 (01/01/2023 - 31/12/2023)

Date de identificare:

Denumire proiect: Detecția obiectelor din Sistemul Solar și a resturilor spațiale folosind metode de calcul paralel / Data-parallel detection of Solar System objects and space debris (acronim ParaSOL)

Număr proiect: PN-III-P2-2.1-PED-2021-3625

Număr contract: 685PED din 21/06/2022

Durata proiect: 21 iunie 2022 – 20 iunie 2024

Denumire etapă: Dezvoltarea arhitecturii pachetului software și validarea proprietăților critice

Durată etapă: 01 ianuarie 2023 - 31 decembrie 2023

Director de proiect

CS II Dr. Marcel Popescu

I. Rezumatul etapei

Activitățile corespunzătoare etapei a doua a proiectului ParaSOL au inclus:

- ✓ Act 2.1 - WP2.5 - Detecția dârelor.
- ✓ Act 2.2 - WP3.2 - Aplicarea softului pentru detecția resturilor activității spațiale ("space debris").
- ✓ Act 2.3 - WP3.3 - Îmbunătățirea ratei de detecție și suprimarea celor mai comune erori de detecție.
- ✓ Act 2.4 - WP3.4 - Trimiterea datelor către baza de date Minor Planet Center și monitorizarea acceptării acestora.
- ✓ Act 2.5 - WP4.1 - Integrarea unei soluții rapide pentru rezolvarea astrometrică a imaginilor
- ✓ Act 2.6 - WP4.2 - Adaptarea algoritmului pentru camere de tip mozaic (camere cu spațiu liber între cipuri).
- ✓ Act 2.7 - WP5.1 - Program de observații de câmp larg folosind telescoapele T025 (AIRA) și 0.35m Orion Sky Quest (UCV)
- ✓ Act 2.8 - WP1.5 - Diseminarea rezultatelor proiectului

Pentru a putea realiza aceste activități au fost puse în funcțiune sistemele de calcul **parasol2** (instalat la Institutul Astronomic al Academiei Române) și **parasol3** (instalat la Universitatea din Craiova). Sistemul de calcul parasol2 include un sistem

RAID de stocare având capacitatea 60 TB (și încă 30TB instalați pentru paritatea sistemului) necesar pentru stocare numărului mare de imagini generat în urma observațiilor efectuate. Pe mașina *parasol1*, pus în funcțiune în etapa anterioară, a fost instalat un sistem de control al versiunilor softurilor dezvoltate de tip **git**. De asemenea pe mașina *parasol1* este rulată interfața grafică a softului nostru, numită **Webrella**. Aceasta este accesibilă online folosind un browser web (testată pe Firefox și Opera). Sitelele *parasol1* și *parasol2* pot fi accesate online.

II. Sumarul rezultatelor etapei și gradul de realizare al obiectivelor.

1. Propus: Pachetul software Umbrella

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.

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

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

2. Propus: Raport preliminar de testare și validare

Realizat:

Raportul preliminar de testare este atașat în Anexa 2.

3. Propus: 25 circulare MPC/MPECs

Realizat:

Am raportat către Minor Planet Center **49 715 observații astrometrice obținute în cadrul acestui proiect**. Deoarece observațiile au fost trimise imediat ce măsurătorile au fost obținute acestea au fost publicate în **78 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 coliziune 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/>

4. Propus: Primul articol științific acceptat spre publicare într-o revistă cu factor de impact mai mare ca 1.5

Realizat:

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>

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: Versiune preliminară a celui de-al doilea articol științific

Realizat:

a) Versiunea preliminară (*Data-parallel methods for fast and deep detection of asteroids on the Umbrella platform*) a celui de-al doilea articol științific este dată în anexa 3. Deoarece am prioritizat publicarea articolului având ca subiect descoperirea lui 2023 DZ₂ articolul care descrie algoritmi folosiți în cadrul acestui proiect urmează să fie publicat în faza următoare.

b) Ca rezultate auxiliare ale acestui proiect am participat în calitate de co-autori la următoarele două articole științifice:

1. *Photometry of the Didymos system across the DART impact apparition*; Moskovitz, Nicholas ; **Berteșteanu, Daniel N.** ; **Popescu, Marcel M.** ; ; acceptat spre publicare în **Planetary Science Journal (Factor de impact 3.4)**

2. *Hubble Asteroid Hunter III. Physical properties of newly found asteroids*; Pablo García-Martín, Sandor Kruk, **Marcel Popescu**, Bruno Merín, Karl R. Stapelfeldt,

Robin W. Evans, Benoit Carry, Ross Thomson; articol în evaluare la referent, trimis către *Astronomy & Astrophysics (Factor de impact 6.5)*,

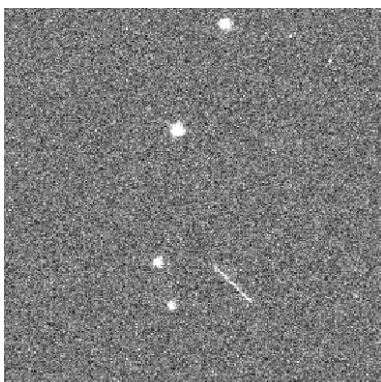
III. Descrierea științifică și tehnică a activităților efectuate

Act 2.1 - WP2.5 - Detecția 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. 1 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.

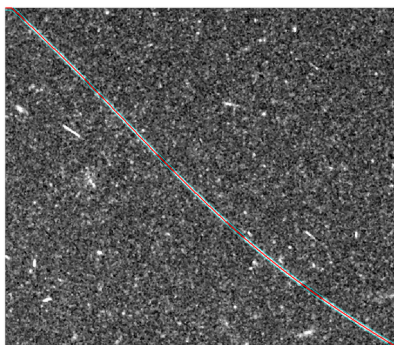


Fig.2 Caracterizarea unei dâre obținute în cadrul programului Hubble Asteroid Hunter.

Act 2.2 - 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-cunoscute. 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. 3. Acest rezultat arată că putem detecta folosind algoritmul STU obiecte care orbitează în jurul Pământului, inclusiv cele catalogate ca "space debris".

Dificultatea întâmpinată pentru obținerea de observații ale obiectelor de tip "space debris" a fost lipsa unui generator de efemeride. În acest sens ne-am autentificat 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). Pentru a face acest lucru vom folosi codul dezvoltat de către Bill Gray disponibil gratuit pe website-ul https://www.projectpluto.com/sat_eph.htm

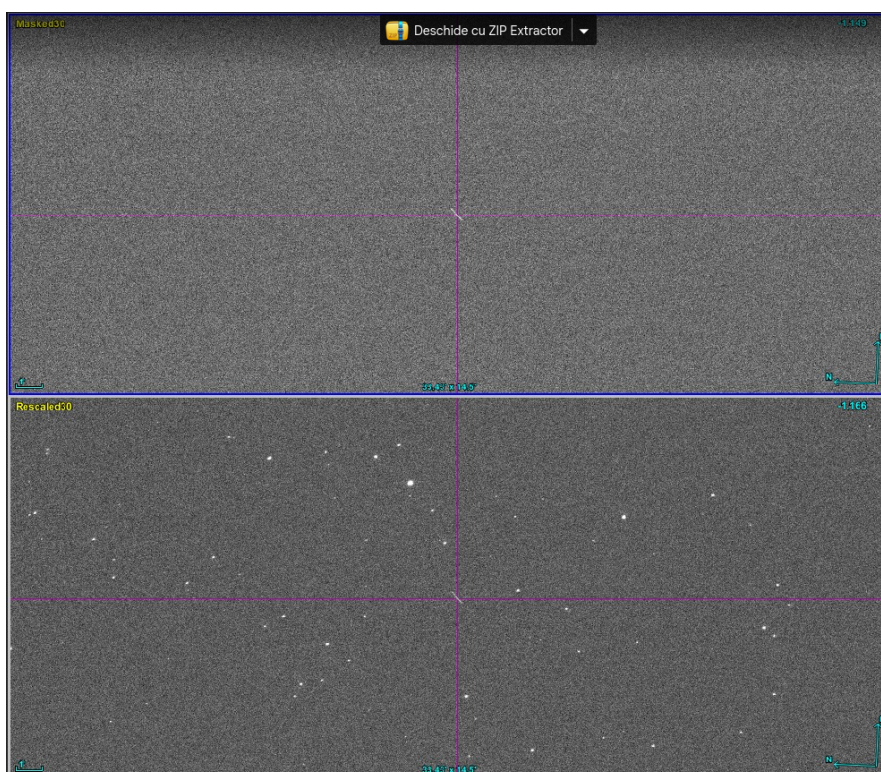


Fig. 3 Detecția satelitului G10 pe imaginile obținute în noaptea de 19 martie 2023 folosind telescopul T025. (Jos) imaginea scalată, (sus) imaginea având stelele mascate.

Act 2.3 - 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 4 reprezintă un exemplu din interfața folosită pentru validarea detecțiilor. Figura 5 prezintă toate sesiunile de observații efectuate.

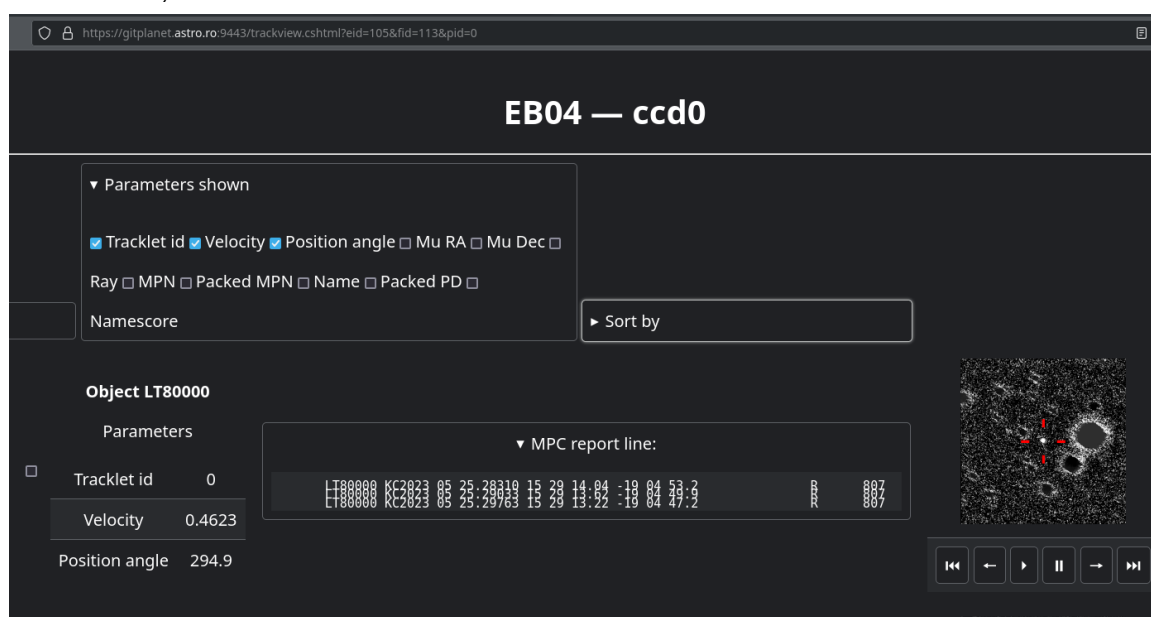


Fig. 4 Interfața de validare a detecțiilor (Webrella)



Fig. 5 Sesiunile de observații efectuate în 2023 și care au fost procesate folosind algoritmul STU, apoi analizate folosind interfața grafică Webrella.

Act 2.4 - WP3.4 - 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 49 915 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 **Act 2.3 – WP3.3**. Aceste rezultate au fost publicate în 78 de circulare **MPECs** - DAILY ORBIT UPDATE (Minor Planet Electronic Circulars) corespunzătoare datelor 2023/02/20, 2023/02/21, 2023/02/23, 2023/02/24, 2023/02/25, 2023/02/29, 2023/03/02, 2023/03/03, 2023/03/04, 2023/03/05, 2023/03/06, 2023/03/08, 2023/03/09, 2023/03/11, 2023/03/13, 2023/03/17, 2023/03/19, 2023/03/21, 2023/03/22, 2023/03/24, 2023/03/28, 2023/04/04, 2023/04/14, 2023/04/27, 2023/05/28, 2023/05/29, 2023/05/30, 2023/05/31, 2023/06/03, 2023/06/04, 2023/06/18, 2023/06/27, 2023/06/29, 2023/06/30, 2023/07/18, 2023/07/26, 2023/08/12, 2023/08/19, 2023/08/20, 2023/08/21, 2023/09/04, 2023/09/06, 2023/09/07, 2023/09/08, 2023/09/09, 2023/09/16, 2023/09/17, 2023/09/23, 2023/09/24, 2023/09/25, 2023/09/26, 2023/09/27, 2023/10/06, 2023/10/07, 2023/10/08, 2023/10/10, 2023/10/11, 2023/10/17, 2023/10/18, 2023/10/21, 2023/10/22, 2023/10/23, 2023/10/26, 2023/10/27, 2023/10/31, 2023/11/02, 2023/11/04, 2023/11/05, 2023/11/08, 2023/11/09, 2023/11/11, 2023/11/14, 2023/11/15, 2023/11/18, 2023/11/19, 2023/11/23, 2023/11/25, 2023/11/28.

Act 2.5 - WP4.1 - 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.

Act 2.6 - WP4.2 - 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:

○

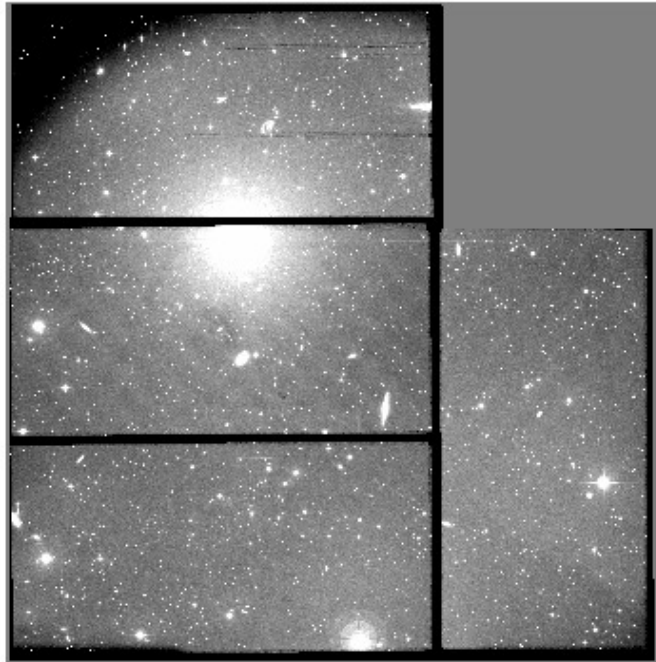


Fig. 6 Cele patru CCD-uri ale camerei mozaic de pe INT.. Datorită rezoluției mici a unui CCD de pe INT și vitezei ridicate de căutare a obiectelor (tipic 15"/min), toate cele 4 CCD-uri de pe INT sunt asamblate într-un singur macrotile.

- 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 macrotile 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 parametri 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

Act 2.7 - WP5.1 - 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.

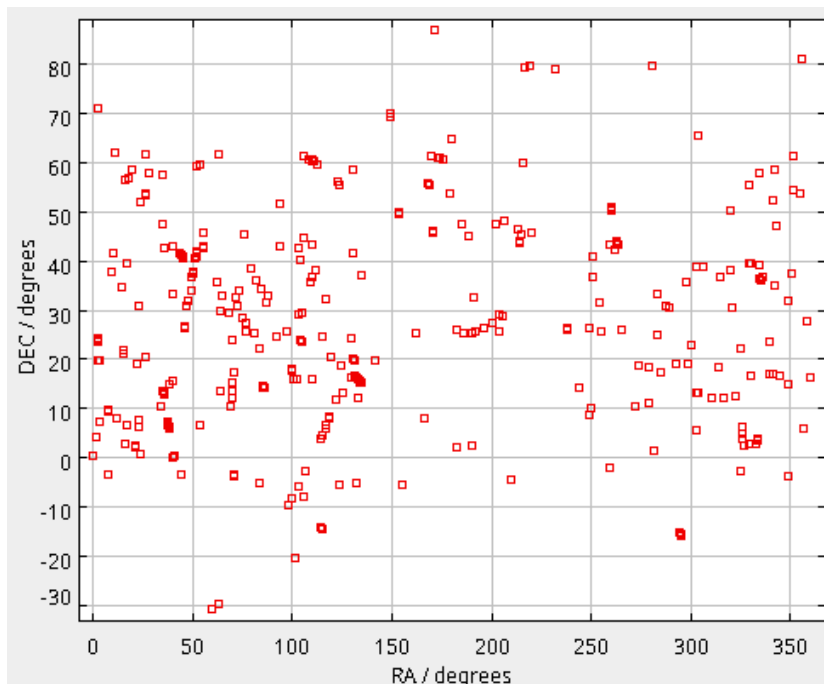


Fig. 7 Suprafața de cer acoperită folosind telescopul T025

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. 7.

b) Deoarece am reușit să obținem nopții 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).

Act 2.8 - WP1.5 - Diseminarea rezultatelor proiectului - etapa 2

Publicarea unui articol într-un jurnal cu factor ISI > 1.5. Prezentarea la o conferință internațională a unui poster/prezentare.

Am **publicat** un articol în Astronomy & Astrophysics (A&A) (factor de impact ISI 6.5), suntem **co-autori pe două articole (unul acceptat** în The Planetary Science Journal - factor de impact 3.4, **unul în evaluare** trimis la Astronomy & Astrophysics (A&A), avem o versiune preliminară a unui articol care descrie algoritmi acestui proiect.

Am ținut **două prezentări orale la două conferințe internaționale**, ACM 2023 și PDC 2023.

Alte activități de diseminare au inclus interviuri în mass media (în particular cele legate de descoperirea asteroidului potențial impactor 2023 DZ2), cursuri susținute pentru elevi și publicul larg (în particular cu ocazia Zilei Asteroidului pe 30 iunie) și menținerea site-ului web.