



# Sistem de Observare a Orbitelor Terestre Medii si Înalte Bazat pe Stereoviziune (AMHEOS)

**Raport științific, Etapa 3** – „Dezvoltarea unui sistem pentru observarea orbitelor MEO, GEO și HEO, și detecția automată a obiectelor de pe aceste orbite.”.

**Anul:** 2014

**Director proiect:** Conf. Dr. Ing. Radu Dănescu

## **Echipele de cercetare:**

CO-UTCN: Radu Dănescu, Sergiu Nedevschi, Tiberiu Marița, Florin Oniga, Anca Ciurte

P1-BITNET: Octavian Cristea, Paul Dolea, Paul Dascal, Sebastian Cristea

P2-AROAC: Vlad Turcu, Tiberiu Oproiu, Alexandru Pop, Dan Moldovan, Liviu Mircea

## **Cuprins**

1. Introducere – Rezumatul etapei .....	2
2. Realizarea unui sistem optic pentru detectia satelitilor pana la orbite HEO.....	2
3. Dezvoltarea de metode de calibrare automata pentru sisteme stereo de distanta mare .....	9
4. Optimizare algoritmi pentru detecție și măsură obiecte MEO-GEO-HEO .....	11
5. Achiziție de date pentru testarea și optimizarea algoritmilor .....	15
6. Diseminare rezultate preliminare .....	17
8. Cooperare internationala.....	18
9. Dezvoltări ulterioare .....	18
Indicatori de proces și de rezultat .....	19

## 1. Introducere – Rezumatul etapei

Obiectivul principal al etapei III a proiectului AMHEOS, conform planului de realizare al proiectului, a fost dezvoltarea unui sistem pentru observarea orbitelor MEO, GEO și HEO, și detecția automată a obiectelor de pe aceste orbite. În acest scop, au fost aduse în stare operațională sistemele optice achiziționate în etapa 2 (2013), acest lucru implicând un efort semnificativ. Au fost preluate imagini în vederea calibrării și a testării algoritmilor. Au fost dezvoltate mai multe alternative pentru calibrarea automată, și au fost optimizați algoritmi de detecție, pentru acuratețe și pentru reducerea timpului de execuție.

În vederea diseminării rezultatelor proiectului, a fost publicat în acest an 1 articol în jurnal ISI, 2 articole de conferință, și o prezentare orală.

În concluzie, considerăm că obiectivele acestei etape au fost îndeplinite.

## 2. Realizarea unui sistem optic pentru detecția sateliților până la orbite HEO

### 2.1. Realizarea stației de observație Marisel

Pentru locația Marisel, a fost achiziționat un telescop Meade LX850 12” ACF (Advanced Coma-Free). Specificațiile tehnice ale telescopului Meade LX850 sunt prezentate în Tabelul 2.1.

Tabel 2.1. Specificațiile tehnice ale telescopului Meade LX850

Tip constructiv	Reflector Cassegrain-ACF	Controler manual	Tehnologie AutoStar® II
Apertură (mm)	305	Baza de date integrată	145.000 obiecte
Distanța focală (mm)	2440	Precizie orientare (mod precizie ridicată)	1 arc-minut (+/-)
Raport focal	f/8	Corecție periodică a erorilor	Ambele axe
Limita de difracție (inch)	0.38	Corecție permanentă și periodică a erorilor (PPEC)	Da
Magnitudine limită	14.2	Tehnologie StarLock™	Da
Rezoluția	0.380 arc-secunda	Performanțe orientare utilizând StarLock™	< 1 arc-secunda
Straturi optice	Tehnologie UHTC™	Viteza de rotire	RA și DEC: 1x, 2x, 8x, 16x, 64x sidereal și 0.25°/sec, 0.5°/sec, 1°/sec, and 3°/sec
Mecanism focuser	Crayford	Trepied	Model LX850
Focuser electronic	Da	Receptor GPS	Da
Model cautoator	8 x 50 mm	Tehnologie Smart Mount™	Da
Model ocular	HD-60 25 mm	Tehnologie Smart Drive™	Da
Prisma diagonală	Seria 5000™ 2	Alimentare	12Vdc / 5A
Tip montură	Ecuatorială germană	Ceas intern	Da

Clădirea Observatorului Astronomic BITNET este construită pe o structură metalică cu pereții confecționați din panouri sandwich (metal-spuma poliuretanică-metal) și are două încăperi de 3,5m x 3,5m cu înălțimea de 2,30m. Cupola observatorului este montată deasupra uneia din încăperi, astfel ca pardoseala cupolei se află la 3m deasupra solului. Având în vedere că orice telescop trebuie protejat de vibrații, am decis, încă din timpul proiectării clădirii, să instalăm un pilon care să aibă fundație proprie și să nu atingă, nici pilonul, nici fundația, clădirea observatorului. Pentru a putea monta noul telescop (MEADE LX850ACF) pe acest pilon a fost necesară confecționarea unui dispozitiv de adaptare mecanică. Dispozitivul este format din trei părți, așa cum este prezentat în fig. 2.2. Piesa A permite fixarea dispozitivului de pilonul existent, utilizând patru suruburi M12 x 60 și piulitele aferente. Piesa B asigură reglarea verticalității monturii telescopului prin intermediul a trei țije filetate M16, sudate de această piesă echidistant și paralel, astfel încât unghiul dintre punctele de

sudura sa fie de  $120^\circ$ . Piesa C asigura centrarea monturii telescopului si distantarea acestei monturi de piesa de adaptare, astfel incat mobilitatea telescopului sa fie similara cu cea asigurata de trepidul original. Toate partile componente ale dispozitivului de adaptare au fost galvanizate prin zincare.

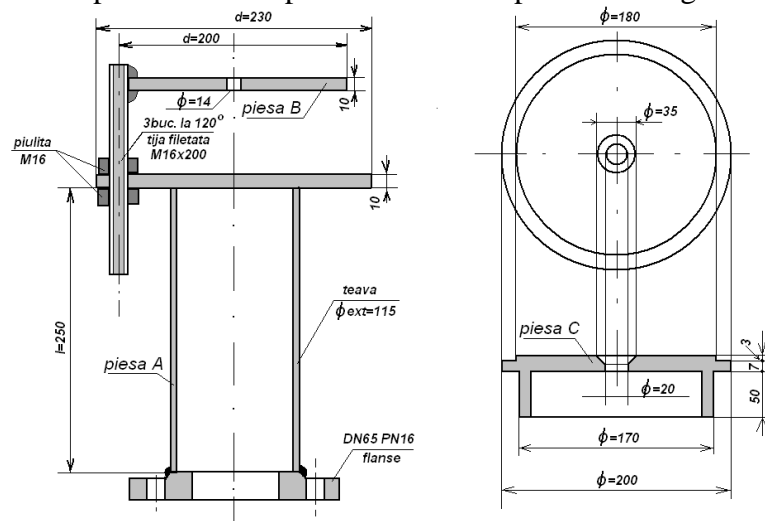


Fig. 2.2. Dispozitivul de fixare a telescopului pe pilon.

Primul telescop pe care l-am instalat in cupola Observatorului BITNET (Celestron 150/750 Advanced VX AVX GoTo) a avut diametrul oglinzii primare de 150mm. Noul telescop (Meade LX850 ACF are diametrul oglinzii primare de 305mm. Ca urmare, masa totala a telescopului, momentul de inertie si cerintele de protejare suplimentara la vibratii, au facut ca pilonul si fundatia acestuia sa devina necorespunzatoare. Din acest motiv, pilonul a fost ranforsat crescand masa si rigiditatea acestuia. In final, s-a reusit obtinerea unui montaj care sa permita observatii neafectate de vibrarii.

Dupa realizarea sistemului de fixare, s-a realizat montajul telescopului (fig. 2.3), efectuandu-se urmatoorii pasi: echilibrare mecanica, alinierea lunetei cautatoare, alinierea mecanica a axei polare, colimarea sistemelor optice, si telescopului utilizand tehnologia AutoStar II™.

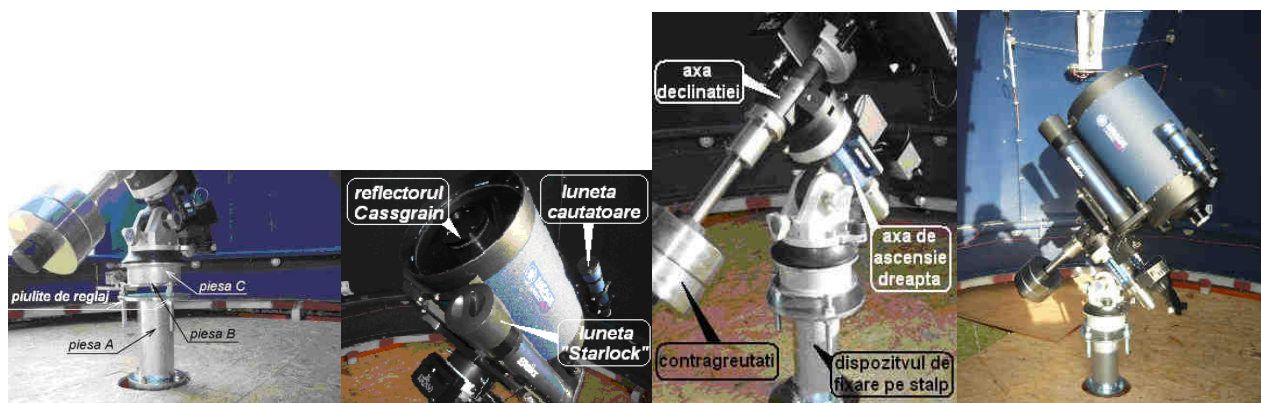


Fig. 2.3. Detalii foto ale telescopului asamblat si principalele sale componente

Dupa finalizarea instalarii si dupa ce testele initiale au fost trecute cu succes, am facut primele experimente de captare sincrona, din locatia Observatorului Astronomic din Marisel si din locatia Observatorului Astronomic din Feleacu, a unor fotograme in care sa se poata identifica sateliti MEO. Atat telescopul din Feleacu cat si cel din Marisel au fost orientate spre aceeasi stea (initial, Vega). La ora, minutul si secunda anterior stabilita, camerele foto CCD instalate pe cele doua telescoape au inceput fiecare cate o secventa de 100 expuneri sincrone cu durata de 5 secunde. Imaginile captate au

fost apoi imperecheate si analizate off-line. In urma acestor analize am constatat ca, in general, sincronizarea declansarilor a fost satisfacatoare, cu doar cateva exceptii.

### *Construirea unei borne geodezice la statia Marisel*

Pentru a materializa un punct de referinta fata de care sa poata fi raportate usor si cu mare precizie oricare din punctele de observare din perimetrul Observatorului Astronomic BITNET, am construit o borna geodezica pe latura de est a perimetrului.

In Europa, sistemul de referinta pentru cadastru si geodezie este sistemul ETRS89 (the European Terrestrial Reference System 1989). Dupa cum se stie, datorita derivei continentelor, intre placa continentală Eurasia si placa nordamericana exista o deplasare relativa medie de aproximativ 2.5cm/an. Astfel, la data adoptarii acestui sistem de referinta (1989), raportate atat la ITRS (International European Terrestrial Reference System) cat si la ETRS89, coordonatele punctelor de referinta ale sistemului erau aceleasi. Actualmente (2014), intre pozitiile punctelor care au aceleasi valori ale coordonatelor raportate la cele doua sisteme de referinta exista diferente de ordinul zecilor de centimetri, atat pe directia meridianului cat si pe directia paralelei. Valorile de altitudine sunt raportate la elipsoidul de referinta GRS80 (Geodetic Reference System-80). Pozitia meridianului zero este stabilita prin calcul, in functie de pozitiile relative ale punctelor de referinta ale sistemului ITRS, utilizand o mediere ponderata. Alte sisteme de coordonate in care am facut masuratorile sunt sistemul de coordonate WGS84 (sistemul de referinta utilizat de satelitul GPS), si sistemul de coordonate STEREO70 (un sistem de coordonate carteziane, utilizat in Romania incepand cu anul 1973).

Cu aparatura un sistem de tip RTK (Real Time Kinematic) **Trimble R4 GNSS system**, s-au efectuat mai multe masuratori, obtinandu-se urmatoarele rezultate pentru pozitia bornei geodezice:

Tabel 2.2. Comparatie intre determinarile facute in data de 11noiembrie si in data de 12 noiembrie, referitoare la pozitia bornei geodezice din Marisel.

STEREO 1970	data	X	Y	Z
	11nov.2014	576864.966N	356261.356E	1130.433m
12 nov.2014	576865.111N	356261.299E	1130.47 m	
	data	Latitudine	Longitudine	Altitudine
WGS84	11nov.2014	46°40'33.60854" N	23°07'09.65346"E	1173.386m
ETRS89	12nov.2014	46°40'33.61319" N	23°07'09.65063"E	1173.422 m

A fost determinata pozitia urmatoarelor puncte de interes pentru proiectul AMHEOS:

- Pozitia bornei geodezice construita in incinta Observatorului Astronomic BITNET
- Pozitia telescopului Meade LX850 cu care este dotat acest observator
- Pozitia bornei geodezice construita in incinta Observatorului Astronomic al Academiei Romane (Feleacu, jud. Cluj)
- Pozitia cupolei secundare a Observatorului Astronomic al Academiei Romane

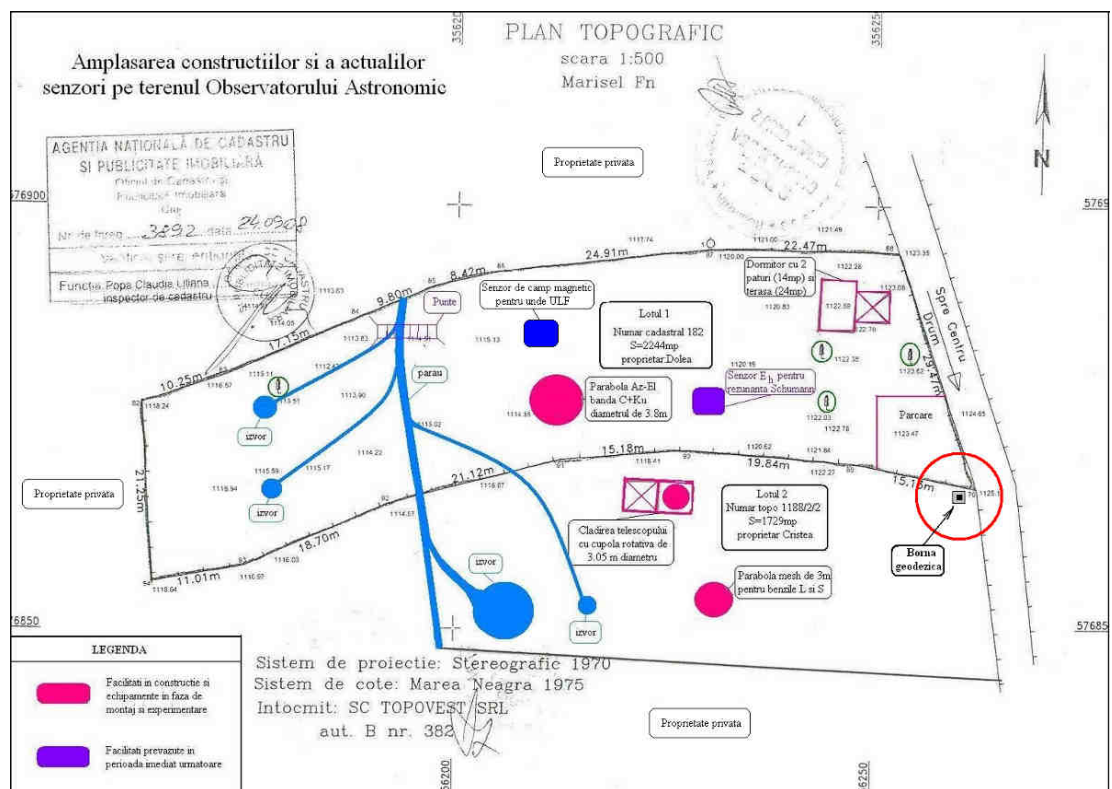


Fig. 2.4. Amplasarea cladirii Observatorului Astronomic BITNET si a bornei geodezice

## 2.2. Realizarea statiei de observatie Feleacu

A fost instalat și testat telescopul achiziționat la sfârșitul etapei a 2-a (2013) a proiectului AMHEOS.

- Caracteristicile principale ale telescopului:
  - Sistem optic: Sistem optic de tip Schmidt-Cassegrain catadioptric Ultra High Transmission Coatings (UHTC)
  - Diametrul oglinzii principale:  $D=305\text{mm}$
  - Distanța focală nominală:  $F=2438\text{mm}$
  - Puterea rezolvantă - limita de difracție (Airy): 0.38 secunde de arc
  - Montura mecanică: ecuatorială de tip furcă, angrenaje melc –roată melcată (diametru 5.75 inch), pentru ambele axe de rotație (RA, DEC), adaptor ecuatorial X-Wedge, tripod (Variable-height giant field tripod).
  - Sistem de control: Autostar II cu 10 procesoare (Distributed Intelligent Network Architecture), Flash memory=3.5M, Baza de date = 145000 obiecte
  - Viteze de urmărire /căutare = 9: de la 1x viteza siderală până la 8° / secundă.
  - Sistem de corecție periodică a erorilor (PEC) pentru ambele axe
  - Sistem Starlock pentru urmărirea și ghidarea fină automată a zonei de cer observată cu precizie mai bună de 1 secundă de arc:
    - Camera wide-field:  $D_w=25\text{mm}$ ,  $F_w=26\text{mm}$ , senzor CMOS ½ inch, câmpul imaginii:  $14.72^\circ \times 11.78^\circ$
    - Camera narrow-field:  $D_n=80\text{mm}$ ,  $F_n=400\text{mm}$ , senzor CMOS ½ inch, câmpul imaginii: 57.2 minute de arc x 45.8 minute de arc.
  - Greutate: telescop=33 kg, tripod =22.6 kg
  - Alimentare: tensiune continuă=12V, curent maxim absorbit=5A

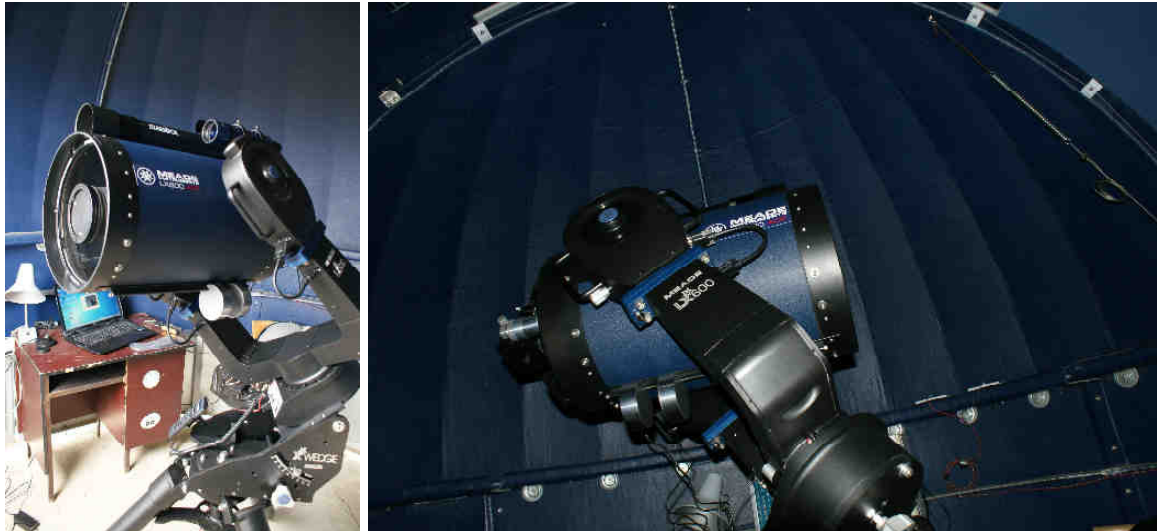


Fig. 2.5. Telescopul Meade LX600 instalat în cupola 2 (ProDome 10', diametrul =3m) al Observatorului Astronomic Cluj – Stația Feleacu.



Fig. 2.6. Observatorului Astronomic Cluj – Stația Feleacu. În plan apropiat este platforma de observații de sateliți, pe care este instalată cupola 2 (ProDome 10', diametrul = 3m).

Au fost obținute serii de observații de test pentru sateliți MEO și GEO cu ajutorul canalului de măsură de la stația Feleacu a Observatorului Astronomic Cluj.

- Telescop: Meade LX600 12" ACF
  - Sistem optic de tip Schmidt-Cassegrain catadioptric (D=300mm, F=2400mm)
  - Montura mecanică ecuatorială de tip furcă
  - Sistem Starlock pentru urmărirea și ghidarea fină automată a zonei de cer observată
- Senzor optic: cameră DSLR Canon EOS 50D
  - Senzor optic CMOS color: 22.3 mm x 14.9 mm
  - 2352 x 1568 pixeli, 9.4 x 9.4 μm/pixel
- Computer de achiziție imagini
- Sistem de sincronizare cu timp GPS cu microcontroller pentru comanda triggerării externe a obturatorului camerei DSLR.

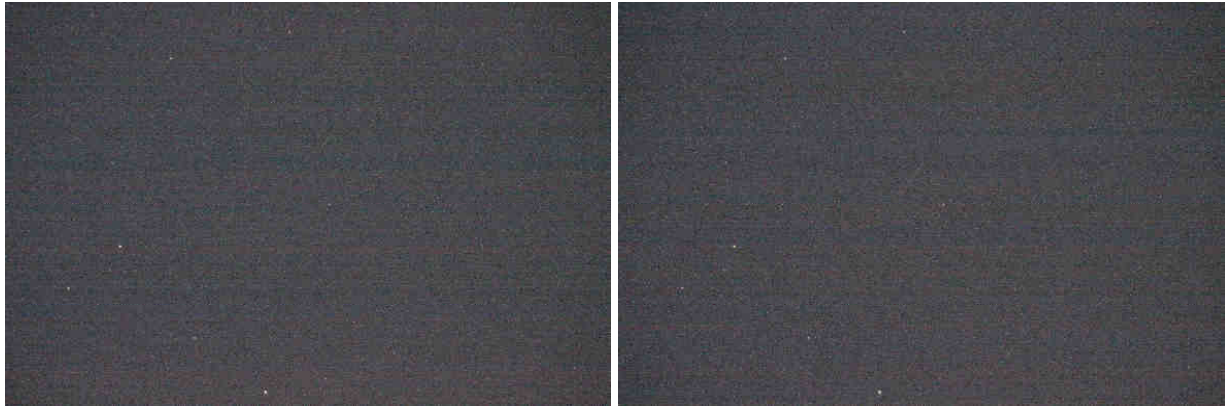


Fig. 2.7. Observații successive obținute în data de 2014.09.01, 18:10:40 UTC (imaginea din stânga), 18:10:48 UTC (imaginea din dreapta), timp de expunere =5 s, pentru platforma de plasare pe orbită (FREGAT R/B #40130U) a sateliților Galileo GSAT 0105 (#40128U) și GSAT 0106 (#40129U).

Observațiile au fost realizate pentru a testa capacitatea sistemului de măsură, de a detecta la puțin timp după lansare o serie de sateliți și obiecte MEO. A fost observată platforma de plasare pe orbită (FREGAT R/B #40130U) cu un diametru de aproximativ 2.5m la o distanță de 21000 km, a sateliților Galileo GSAT 0105 (#40128U) și GSAT 0106 (#40129U), lansați în data de 22 august 2014, 12:27 GMT din Guyana Franceză cu o rachetă Soyuz –ST-B. Sateliții au fost plasați pe o orbită excentrică ( $e=0.23$ ) și înclinare diferită față de orbita nominală.

Pentru investigarea dependenței magnitudine satelit – unghi de fază (unghiul Soare-satelit-observator) pentru sateliți MEO, au fost realizate sesiuni de observații pentru sateliți din categoria MEO Galileo. Există doar 4 sateliți operaționali și 2 neoperaționali pe orbite excentrice. Sateliții Galileo sunt cei mai dificil de observat, datorită faptului că orbita nominală a sateliților Galileo este cea mai îndepărtată, iar dimensiunile sateliților Galileo sunt mai mici decât ale sateliților GNSS similari (GPS, Glonass).

Testele realizate au pus în evidență faptul că performanțele de detecție ale sistemului se încadrează în estimările preliminare, și prin urmare sateliții Galileo (GSAT 0103-PRN19 și GSAT 0104-PRN20) au putut fi detectați. Investigarea dependenței magnitudine satelit – unghi de fază pentru sateliți MEO necesită obținerea de noi observații.



Fig. 2.8. Observații obținute în data de 2014.09.19, 00:01:48 UTC (imaginea din stânga), 00:01:56 UTC (imaginea din dreapta), timp de expunere =5 s, pentru satelitul operațional Galileo GSAT 0103-PRN19 (#38857U), steaua din zona centrală a imaginii este SAO 53834.

### 2.3. Teste privind precizia in domeniul timp a obturatorului aparatului fotografic DSLR Canon EOS 50D

Pentru a putea determina cu precizie atat durata timpului de expunere cat si intarzierea la declansare a obturatorului am pregatit un banc de masura format dintr-un generator programabil de impulsuri, un osciloscop digital cu memorie, un osciloscop analogic cu afisare “real time”, un dispozitiv de comanda a declansarii obturatorului si aparatul fotografic testat. Interconectarea sistemelor este prezentata in Fig. 2.9.

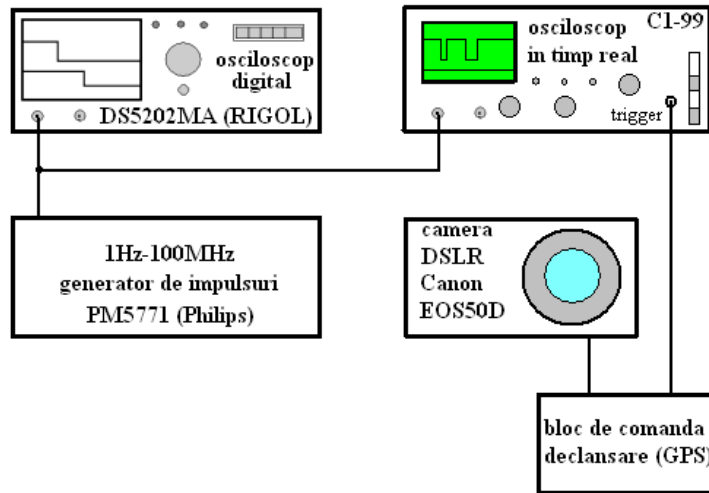


Fig. 2.9. Interconectarea echipamentelor pentru testele de sincronizare

La intrarile Y ale celor doua osciloscopae utilizate a fost aplicat acelasi semnal dreptunghiular, avand factorul de umplere 1/10. Acest semnal a fost furnizat de generatorul de impulsuri PM5771 (Philips). Pentru determinari ale duratei reale a timpului de expunere, perioada semnalului dreptunghiular generat a fost de 100ms iar pentru determinari ale intarzierii la declansare, perioada semnalului dreptunghiular generat a fost de 10ms. Este de subliniat faptul ca, pe toata durata acestor determinari, functia de autofocus a aparatului de fotografiat a fost dezactivata pentru a se evita intarzierile suplimentare cauzate de gestionarea acestei functii.

Osciloscopul digital cu memorie DS5202MA (Rigol) a fost utilizat pentru calibrarea semnalului dreptunghiular si pentru memorarea oscilogramelor. Osciloscopul analogic model C1-99 (care afiseaza semnalele de la intrare in timp real), a fost utilizat ca mira pentru aparatul foto testat. Luminozitatea spotului osciloscopului analogic a fost marita peste valoarea normala, astfel ca ecranul a avut o “remanenta” mai mare.

Declansarea bazei de timp a osciloscopului analogic a fost facuta de același impuls care a declansat obturatorul aparatului de fotografiat. Acest monoimpuls dreptunghiular, cu durata de 500ms si timp de repetitie de 5 secunde a fost generat, la un moment  $t_0$ , de blocul de comanda a declansarii (Fig. 2.9). Acest bloc de comanda a declansarii a fost disciplinat de un receptor GPS.

Camera foto testata a fost amplasata pe un trepied in asa fel incat campul sau vizual sa cuprinda intreg ecranul osciloscopului analogic. Pe fiecare din imaginile captate de aceasta camera se poate vedea o zona in care oscilograma are luminozitate redusa, o zona in care oscilograma are luminozitate mare si o zona in care semnalul nu se vede deloc. Zona in care oscilograma are o



luminozitate redusa corespunde perioadei de timp  $\tau$  in care semnalul a fost afisat de osciloscopul analogic dar obturatorul aparatului foto nu era inca deschis. Zona luminoasa corespunde intervalului de timp  $T$  in care obturatorul aparatului foto era deschis. Zona in care semnalul lipseste este cea baleiata de spotul osciloscopului dupa inchiderea obturatorului aparatului de fotografiat (dupa momentul  $t_0 + \tau + T$ ). Avand in vedere ca perioada semnalelor dreptunghiulare aplicate la intrarile osciloscopelor au fost calibrate in timp (calibrari asigurate de osciloscopul digital), putem determina duratele reale  $T$  ale timpilor de expunere cu o precizie de cel putin 100ms, iar intarzierile  $\tau$  ale deschiderii obturatorului cu o precizie de cel putin 10 ms. Avand in vedere ca timpii de expunere utilizati in cadrul proiectului AMHEOS sunt de ordinul secundelor, testele referitoare la durata reala a timpului de expunere au fost facute pentru expuneri de 1000ms, 2000ms, 3200ms, 4000ms si 5000ms. Pentru fiecare din aceste valori ale timpului de expunere s-au efectuat cate 10 determinari.

In tabelul 3 sunt prezentate valorile setate ale timpilor de expunere si valorile abaterilor absolute constatate, iar in tabelul 4 sunt prezentate valorile tipice de intarziere a inceputului expunerii.

Tabel 2.3. Valori ale abaterilor absolute ale duratei reale a expunerii

Timp de expunere (ms)	1000	2000	3200	4000	5000
Abaterea absoluta (ms)	10-20	10-20	60-70	40-50	30-40

Tabel 2.4. Intarzierea la declansare a celor 2 aparate foto Canon 50D testate

Seria de fabricatie	Valoarea medie	Min	Max	STDEV
S/N 1210504143 (Bitnet)	141 ms	140 ms	143 ms	0.749 ms
S/N 2330803563 (A.O.C)	142 ms	140 ms	146 ms	0.929 ms

Se poate observa faptul ca valorile medii ale intarzierii la declansare, pentru ambele aparate foto testate, sunt comparabile. Deviatia standard (STDEV) de la aceste valori medii are o valoare mai mica de 1ms, indicand o imprastiere mica a rezultatelor. In consecinta, la realizarea de expuneri foto sincronizate, aceste intarzieri vor putea fi compensate, obtinandu-se astfel o acuratete temporala de ordinul a 10ms.

Rezultatele testelor prezentate in sunt foarte importante pentru evaluarea simultaneitatii fotogramelor realizate cu aparatele de fotografiat Canon tip EOS50D utilizate in cadrul proiectului AMHEOS. Activitatea principala din cadrul proiectului este analiza stereoscopica a unor imagini captate de doua camere foto amplasate in zone geografice diferite (Marisel si Feleacu). Avand in vedere ca distanta dintre cele doua puncte de observare are valoarea de aproximativ 36400m, o incertitudine spatiala de ordinul a cativa metri nu este esentiala. In schimb, o incertitudine temporala de ordinul miilor de milisecunde poate avea ca rezultat compromiterea analizei stereoscopice a imaginilor captate. Avand in vedere ca incertitudinile temporale constatate referitoare la durata expunerilor si la momentul de declansare a acestor expuneri au avut valori relativ mici, aceste incertitudini nu au alterat in mod substantial sincronizarea aparatelor de fotografiat. Totusi, in imperecherea secventelor de imagini captate in vederea analizei lor stereoscopice trebuie sa se tina cont de nedeterminarile temporale identificate in timpul testelor mai sus prezentate. In plus, avand in vedere ca distanta dintre cele doua camere fotografice nu permite sincronizarea lor prin metode uzuale, aceasta sincronizare trebuie asigurata prin utilizarea aceluia etalon de timp.

### 3. Dezvoltarea de metode de calibrare automata pentru sisteme stereo de distanta mare

Calibrarea automata a parametrilor extrinseci ai sistemelor de observatie este realizata pe baza stelelor reper aflate in campul vizual. Avand aceste stele, se genereaza un model la scara indicata de

distanța focală a sistemului (calibrată separat, o singură dată pe sistem), și prin rotații și translații se potrivește acest model la scena observată. Mecanismul de potrivire al acestui model a fost implementat în etapa 2, și a fost descris în precedentul raport de activitate.

Provocarea cea mai mare legată de calibrarea automată a fost punerea la punct a unui mecanism funcțional pentru extragerea stelelor reper relevante. Prima variantă aleasă a fost utilizarea catalogului online „USNO Interactive Catalog and Image Search” (<http://www.usno.navy.mil/USNO/astrometry/optical-IR-prod/icas/fchpix>), care oferă posibilitatea căutării într-o zonă de cer specificată, cu limite pentru ascensiunea dreaptă, declinație, magnitudine pe diferite frecvențe ale luminii, dar și posibilitatea de calcul automat a precesiei, pentru a aduce poziția stelelor obținute la cea reală din data efectuării observațiilor. A fost implementat un modul software pentru interogarea automată a acestui site, care a fost integrat în aplicația principală de detecție. Din păcate, acest site a devenit nefuncțional (interfața cu utilizatorul este încă funcțională, dar se produce o eroare când utilizatorul încearcă să ceară date), astfel încât mecanismul de calibrare automată a devenit nefuncțional.

O soluție de căutare online cu mai puține funcționalități, dar care este, la data scrierii acestui raport, încă funcțională, este „Catalog Cone Search” ([http://www.usno.navy.mil/USNO/astrometry/optical-IR-prod/icas/vo\\_nofs](http://www.usno.navy.mil/USNO/astrometry/optical-IR-prod/icas/vo_nofs)). Pentru căutarea în acest catalog, utilizatorul trebuie să specifice coordonatele centrului de observație și deschiderea angulară dorită (un con). Acest catalog nu oferă posibilitatea de a calcula automat precesia, nutația și efectul mișcării proprii a stelelor, lăsând această sarcină deci în seama sistemului nostru.

A fost implementat un sistem pentru interfatarea catalogului online „USNO Catalog Cone Search”, și integrat în aplicația de detecție, cu rezultate bune. Totuși, un catalog online, aflat în proprietatea unei entități cu care nu avem acord de colaborare, poate oricând deveni inaccesibil, așa cum s-a dovedit deja că se poate întâmpla. Din acest motiv, s-a decis și utilizarea unui catalog stocat local, catalogul stelar UCAC4 ([http://www.ap-i.net/skychart/en/news/ucac4\\_catalog](http://www.ap-i.net/skychart/en/news/ucac4_catalog)). Datele din acest catalog sunt aranjate pe zone de declinație de latime 0.2 grade, primul fișier corespunzând regiunii de la polul Sud, pentru un total de 900 de fișiere corespunzător a 900 de zone. Fiecare fișier este un fișier de date binare, având formatul documentat, stelele fiind ordonate după ascensiunea dreaptă a acestora.

Pentru extragerea datelor din catalogul stocat local, se folosește următorul pseudocod:

#### **Intrare:**

RA, DEC : coordonatele centrului plăcii  
Diametru: deschiderea angulară  
Mag\_min, Mag\_max: intervale de magnitudine  
N: numărul maxim de stele de returnat

```
DEC_max = DEC + Diametru/2
DEC_min = DEC - Diametru/2
Factor_scalare = 1 / cos (DEC)
RA_min = RA - Diametru/2 / Factor_scalare
RA_max = RA + Diametru/2 / Factor_scalare
f_min = ( DEC + 90 - Diametru/2 ) / 0.2
f_max = (DEC + 90 + Diametru/2) / 0.2 + 1
lista_stele = []
Pentru fiecare fișier f între f_min și f_max
    Pentru fiecare stea s în f
```

Daca  $s.RA > RA_{min}$  si  $s.RA < RA_{max}$  si  $s.DEC > DEC_{min}$  si  $s.DEC < DEC_{max}$   
 si  $s.Magnitudine > Mag_{min}$  si  $s.Magnitudine < Mag_{max}$   
 si  $s.MiscareProprie < T$   
 Lista\_stele.adauga(s)

Lista\_stele.ordoneaza\_dupa\_magnitudine  
 Returneaza sublista(Lista\_stele, N)

Stelele gasite, in intervalul de coordonate cautat, sunt ordonate in ordinea crescatoare a magnitudinii, tinand cont ca o magnitudine cu valoare mare inseamna o stralucire mai mica. Sunt returnate pentru a fi folosite in calibrare primele cele mai stralucitoare N stele. In procesul de cautare, se elimina stelele cu miscare proprie mare.

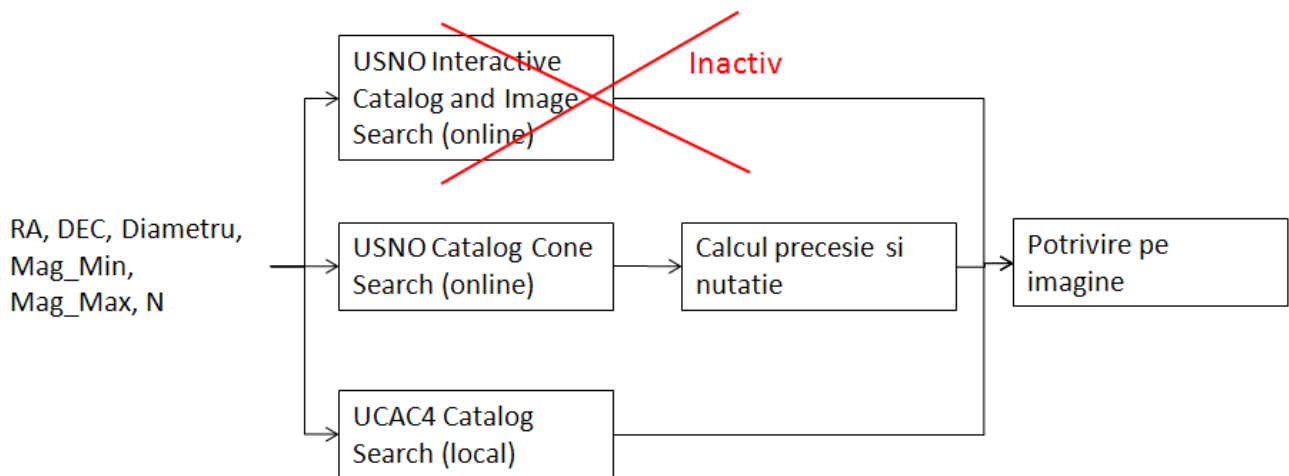


Fig. 3. 1. Variante pentru calibrarea automata.

## 4. Optimizare algoritmi pentru detectie și măsură obiecte MEO-GEO-HEO

### 4.1. Imbunatarirea localizarii satelitului in planul imaginii

Datorita timpului prelungit de expunere, satelitul va descrie in planul imaginii un segment de dreapta. Desi acest lucru este benefic din punct de vedere al detectiei, deoarece ne ofera un model usor de recunoscut, el introduce ambiguitate in procesul de estimare a pozitiei. Pentru localizarea precisa, in vederea determinarii orbitei, a satelitului la momentul de timp cunoscut al declansarii expunerii, este nevoie de a determina capatul segmentului de dreapta.

Dintr-o singura imagine putem determina capatetele segmentului, dar nu putem sti care dintre ele este cel corect, cel care arata pozitia la momentul de timp cunoscut. Pentru identificarea corecta a capatului corect, e nevoie de analiza traiectoriei satelitului in mai multe imagini.

Pentru o secventa de imagini data se vor calcula capetele segmentelor de dreapta din fiecare cadru in parte, si se va face o grupare a satelitului detectati pe baza directiei de mers, cu scopul de a identifica cadrele in care satelitul observati sunt vizibili impreuna cu pozitiiile exacte ale acestora. Din imaginea curenta  $I$  si imaginea precedenta  $I_{prev}$  se determina directia de mers a satelitului, pe baza centrelor de masa detectate.

Dupa determinarea directiei, se construiesc profilul de intensitate  $F$  pornind de la centrul de masa din imaginea curenta, pe directia inversa celei de mers a satelitului (vezi Fig. 4.1 b) cu rosu). Profilul

de intensitate este netezit folosind un filtru Gaussian 1D (vezi 4.1 b) cu verde) pentru a elimina salturile bruste cauzate de zgomotul din imagine.

Punctul de start al satelitelui este apoi determinat ca fiind primul punct (de la stanga la dreapta) care indeplineste conditia de a avea intensitatea sub un prag TH. Pragul TH este ales in mod automat, dupa urmatoarea ecuatie:

$$TH = \min F_G + \frac{1}{3} \text{mean}(\min F_G + \max F_G).$$

Fig. 4.1. ilustreaza un exemplu de imagine in care s-a determinat punctul de start al satelitelui cunoscandu-se centrele de masa din imaginea curenta si cea precedenta, impreuna cu profilul de intensitate al satelitelui care decide pozitia punctului de start.

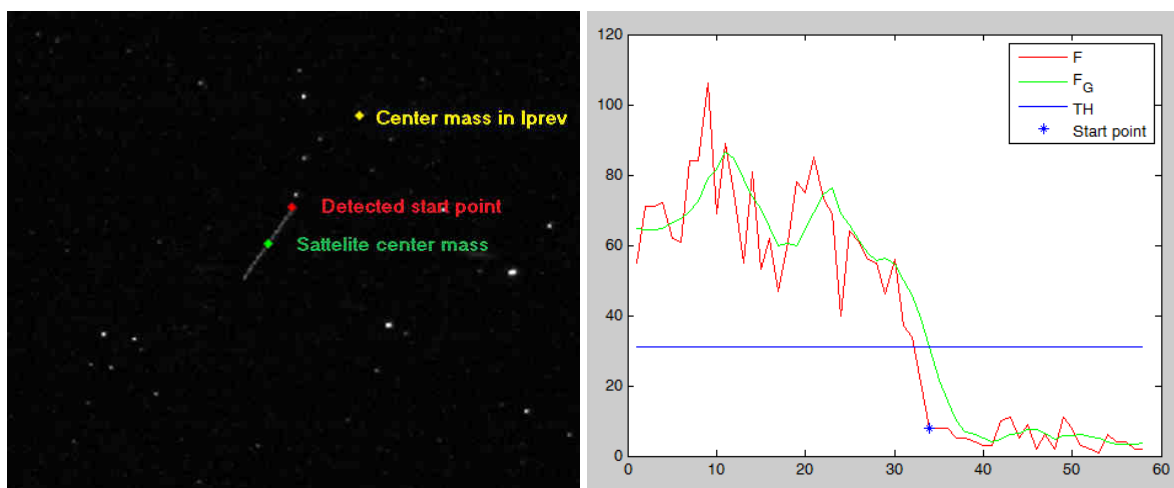


Fig. 4.1. Detectia punctului de start. a) Imaginea curenta  $I$  pe care s-au marcat centrele de masa ale satelitelui din imaginile  $I$  si  $I_{prev}$ , si punctul de start determinat; b) Profilul de intensitate al corespunzator satelitelui pe care s-a marcat punctul de start determinat.

In Fig. 4.2. sunt afisate cu rosu punctele de start detectate intr-o secventa de imagini cu sateliti de orbita medie (MEO).

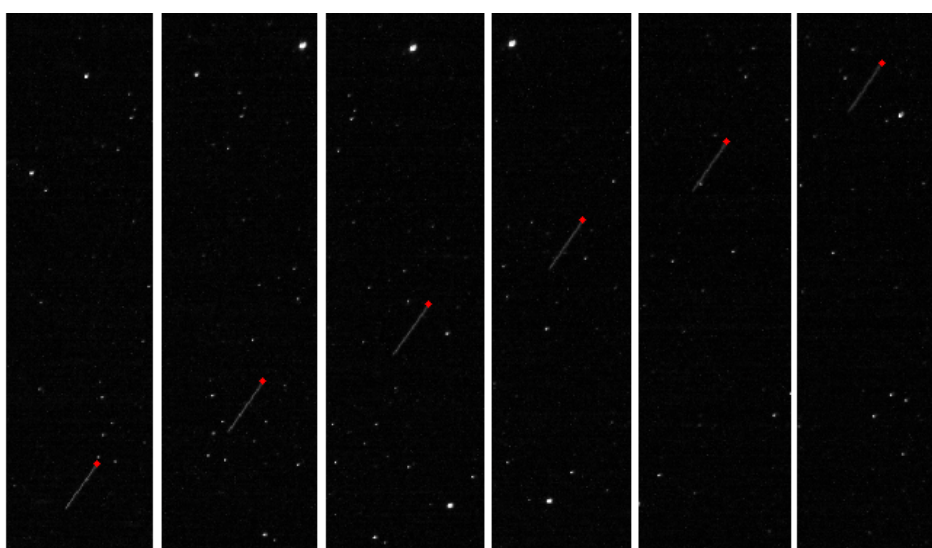


Fig. 4.2. Vizualizarea detectiei punctului de start in mai multe cadre consecutive.

O limitare a metodei propuse este faptul ca in prima imagine unde satelitul isi face aparitia nu poate fi determinat acest punct de start, necunoscandu-se directia de mers. In acest caz particular consideram ca punct de start centrul de masa al satelitului. Rezultate eronate se pot obtine de asemenea in cazul imaginilor cu zgomot de fundal ridicat in care satelitul este detectat doar partial, in consecinta centrul de masa si directia satelitului nu sunt corect determinate, acestea influentand direct calculul punctului de start. Astfel de exemple in care detectia punctului de start a esuat pot fi vizualizate in Fig. 4.3 (primele 3 imagini). Ultima imagine din figura prezinta un alt caz particular cu un satelit rotitor care, datorita vitezei mare de rotatie, in unele cadre apare sub forma a doua puncte luminoase. Din cauza ca nu se gaseste acel salt brusc de intensitate care valideaza punctul de start, acest punct de start ramane in apropierea centrului de masa.

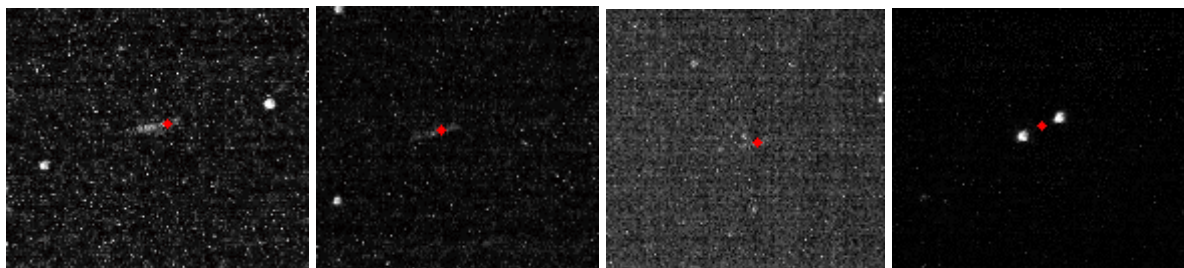


Fig. 4.3. Exemple de sateliti pentru care detectia punctului de start prezinta dificultati. Cu rosu este marcat punctul de start detectat.

Metoda propusa poate fi imbunatatita tratand si cazurile particulare ce pot aparea precum cele mai sus mentionate, precum si prin dezvoltarea unui rationament mai robust decat metoda cu pragul adaptiv de detectia saltului de intensitate, pentru a avea o precizie la nivel de subpixel.

Avand la dispozitie aceste informatii, se vor putea efectua analize ulterioare asupra comportamentului satelitilor precum: un calculul mai precis al distantelor, determinarea orbitei, urmarirea satelitilor rotitori, si altele.

## 4.2. Optimizare pentru viteza de calcul, folosind paralelismul GPU

Una din metodele de detectie a satelitilor, care poate functiona pe o singura imagine, este cea bazata pe punerea in evidenta a modelelor de tip segment de dreapta prin transformata Radon. Aceasta transformata are un timp de executie mare, deoarece are o complexitate ridicata de calcul. Pentru a aduce aceasta abordare in parametrii de timp real, s-a abordat o solutie pentru paralelizarea calculului, folosind resursele placilor grafice moderne (GPU). Metoda a fost descrisa in detaliu in lucrarea publicata in acest an (A. Ciurte, A. Soucup, R. Danescu, "Generic Method for Real-time Satellite Detection Using Optical Acquisition System", International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP 2014), 2014, pp. 179-185). Implementarea aleasa are tipul de acces la memoria globala fuzionat (coalesced), si incearca sa minimizeze coliziunile operatiilor atomic add.

Tabelul 4.1 prezinta timpii de executie, si caracteristicile principale ale mai multor variante de paralelizare explorate. Testele s-au realizat pe o configuratie Intel i7 CPU si GTX 480 GPU. Cele mai bune rezultate sunt obtinute de metoda hibrida, pe mai multe fire de executie si GPU cu un timp total de executie de *3.9s pentru procesarea completa a unei perechi de imagini stereo.*

Tabel 4.1. Comparatie abordari de paralelizare.

<b>Algoritm</b>	<b>Calibrare Initiala / Recalibrare</b>	<b>Detecție pe o singura imagine</b>	<b>Timp Total</b>	<b>Sumarul abordarii</b>
<b>Single Threaded Radon Transform</b>	30s / 1s	25s	51s	Procesul de detectie ruleaza cu versiunea originala de transformare Radon.
<b>Single Threaded + CUDA Radon Transform</b>	30s / 1s	6.5s	14s	Detectia se executa cu varianta CUDA de transformata Radon. Toate celalalte operatii sunt executate pe CPU.
<b>Multithreaded (optimizare cache propusa) CPU</b>	9s / 1s	2s	5s	Se proceseaza fiecare sub-fereastră pe alt fir de executie. Transformata Radon este efectuata pe CPU. Se face optimizarea prin sortarea referintelor pentru o mai buna localitate spatiaala.
<b>Multithreaded GPU (no atomics)</b>	9s / 1s	3.3s	7.6s	Se proceseaza fiecare sub-fereastră pe alt fir de executie. Varianta GPU a abordarii cu optimizarea cache. Pe GPU aceasta abordare este mai putin performanta din cauza acceselor aleator-indirecte in memoria globala.
<b>Multithreaded GPU (with atomics)</b>	<b>9s / 1s</b>	<b>1.45s</b>	<b>3.9s</b>	Se proceseaza fiecare sub-fereastră pe alt fir de executie. Transformata Radon se calculeaza pe GPU cu AtomicAdd.

### 4.3. Dezvoltarea unei interfete pentru vizualizarea grafica a rezultatelor

In cadrul acestei etape s-a dezvoltat o interfara pentru vizualizarea satelitilor, urmand ca pe viitor sa fie afisata si orbita acestora. Interfata preia coordonatele ECEF ale satelitilor detectati, si va crea o imaginie 3D proportionala, afisand de asemenea si informatiile numerice. Un exemplu de vizualizare pentru un satelit detectat este redat in Fig. 4.4.

Aplicatia permite de asemenea navigarea in spatiul redat si vizualizarea satelitului raportat la Pamant din mai multe unghiuri de vedere.



Fig. 4.4. Vizualizarea unui satelit in doua cadre consecutive dupa coordonatele ECEF calculate cu aplicatia de detectie

## 5. Achiziție de date pentru testarea și optimizarea algoritmilor

### 5.1. Observatii pentru optimizarea calibrării

Au fost realizate teste de prelucrare astrometrică clasică folosind observații din două stații pornind de la metoda Zhongolovich pentru determinarea perioadei cvasi-nodale. Metoda de determinare a pozițiilor geocentrice ale unui satelit artificial din observații vizuale sincrone a fost dezvoltată de dl. CS I dr. Tiberiu Oproiu. Adaptarea acestei metode pentru observații CCD / CMOS-DSLR este în faza de testare.

Primele rezultate preliminare pentru satelitul MEO GPS 1996-041A (NAVSTAR 38) obținute pe baza secvențelor de date observaționale sincrone de la stațiile de observații Feleacu și Mărișel sunt sintetizate în continuare.

Coordonatele geografice ale Observatorului Astronomic Cluj - Stația Feleacu:

Latitudine: 46°42' 36.5" Nord; Longitudine: 23°35' 36.7" Est; Altitudine: 743 m.

Coordonatele geografice ale Stației de Observații Mărișel a BITNET CCSS:

Latitudine: 46°40' 34.362" Nord; Longitudine: 23°07' 08.904" Est; Altitudine: 1130 m.

Tabel 5.1. Date observaționale astrometrice obținute:

Feleacu			Mărișel		
Timp (UTC)	RA	DEC	Timp (UTC)	RA	DEC
22h 21m 32.0s	01h05m54.596s	31°06'32.40"	22h 21m 32.0s	01h06m21.900s	31°07'48.62"
22h 21m 37.0s	01h06m03.292s	31°04'33.35"	22h 21m 37.0s	01h06m30.887s	31°05'47.31"
22h 22m 36.0s	01h08m01.167s	30°37'42.39"	22h 22m 36.0s	01h08m28.116s	30°39'01.53"
22h 22m 41.0s	01h08m09.898s	30°35'38.69"	22h 22m 41.0s	01h08m36.880s	30°36'58.80"
22h 23m 48.0s	01h10m21.674s	30°06'08.80"	22h 23m 48.0s	01h10m48.520s	30°06'26.37"
22h 23m 56.0s	01h10m30.564s	30°03'04.35"	22h 23m 56.0s	01h10m57.263s	30°04'21.83"

Tabel 5.2. Rezultate numerice preliminare obținute:

No.	UTC	$r_s$ (km)	$\epsilon_{rs}$ (km)
1	22h 21m 32.0s	26459.865	201.684
2	22h 21m 37.0s	26325.385	357.320

3	22h 22m 36.0s	26632.611	34.717
4	22h 22m 41.0s	26584.406	1.930
5	22h 23m 48.0s	26624.145	31.268
6	22h 23m 56.0s	26719.342	17.092

Orbita teoretică a satelitului a fost calculată pentru un model de orbită circulară cu perturbații. Determinările de dată recentă, ale coordonatelor stațiilor de observații au relevat faptul că există diferențe față de valorile luate în calcul. De asemenea trebuie considerate diferențele între sistemele de referință folosite pentru sistemul GPS (WGS-84) și sistemul ICRF folosit în măsurătorile astronomice și cataloagele stelare folosite în astronomie.

## 5.2. Observatii pentru testarea si optimizarea algoritmilor de detectie automata

Au fost realizate sesiuni de observații sincrone pentru stațiile de observații Feleacu și Mărișel în data de 13/14.10.2014.

Sateliții observați au fost de tip GEO:

- Slot orbital 31.5°E: Astra 5B (#39617U),
- Slot orbital 31.4°E: Astra 2B (#26494U)
- Slot orbital 31°E: Hylas 2 (#38741U),
- Slot orbital 30.8°E Eutelsat 33A (#27948U)
- Slot orbital 30.5°E: Arabsat-5A (#36745U)
- Slot orbital 29°E: XTAR-EUR (#28542U)
- Slot orbital 28.5°E: Eutelsat 28A (#26719U)
- Slot orbital 28.4°E: Astra 2E (#39285U)
- Slot orbital 28.2°E: Astra 2C (#26853U), Astra 2F (#38778U), Astra 2A (#25462U)

Procedura de observare:

- telescoapele au fost poziționate aproximativ pe aceeași regiune de pe cer (steaua centrală SAO 132237 :  $RA_{2000.0} = 5h\ 32m\ 39.28s$ ;  $DEC_{2000.0} = -6^{\circ}\ 52'\ 46.80''$ );
- câmpul imaginii a avut imaginea câmpului stelar fixă - stelele apar ca puncte luminoase (compensarea mișcării de rotație a Pământului – rata de urmărire siderală), iar imaginile sateliților apar ca dare, a căror lungime este proporțională cu timpul de expunere al imaginii.

Canalele de observații sincrone: statiile de observatie Feleacu si Marisel, descrise in capitolul 2.

Exemple de perechi de observații sincrone.

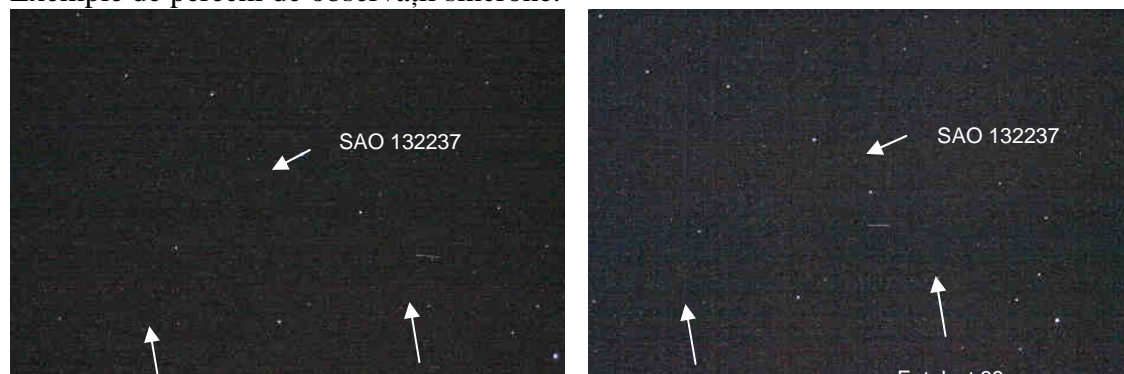


Fig. 5.1.. Perechi de observații sincrone 2014.10.14, UTC 01:56:16, timp de expunere =5 s, imaginea din stânga: Feleacu, imaginea din dreapta: Mărișel. Sateliții GEO observați: Hylas 2 (#38741U), Eutelsat 33A (#27948U). Steaua marcată: SAO 132237.



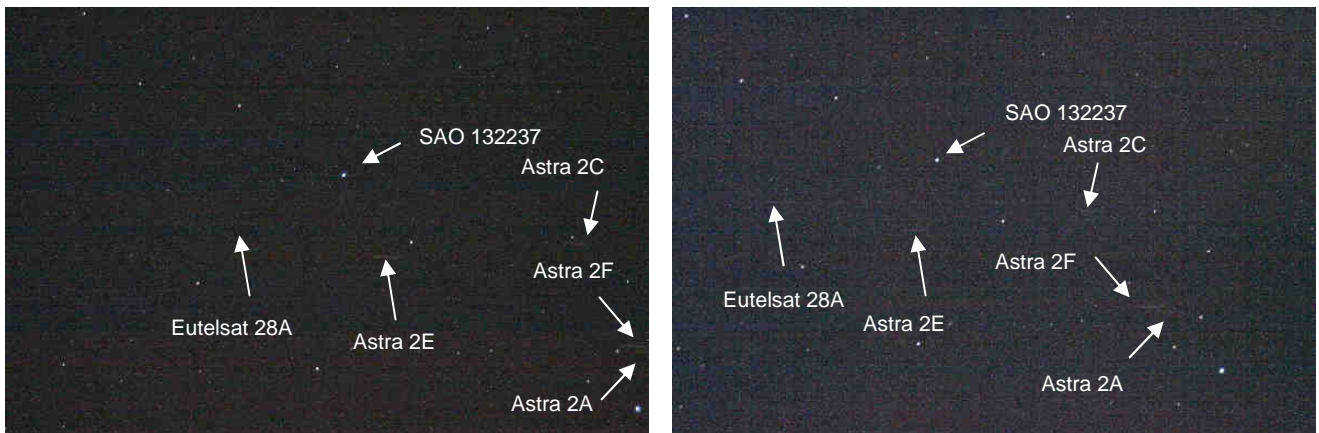


Fig. 5.2. Perechi de observații sincrone 2014.10.14, UTC 02:07:28, timp de expunere =5 s, imaginea din stânga: Feleacu, imaginea din dreapta: Mărișel. Sateliții GEO observați: Eutelsat 28A (#26719U), Astra 2E (#39285U), Astra 2C (#26853U), Astra 2F (#38778U), Astra 2A (#25462U). Steaua marcată: SAO 132237.

Zgomotul imaginilor este semnificativ din cauza proximității Lunii, aproximativ  $26^\circ$  distanța aparentă pe cer de zona observată, și aproape de trecerea la meridian (înaltă maximă pe cer). Luna era la 5 zile de faza de Lună Plină (faza 66% - magnitudine -12: foarte luminoasă). Imaginile obținute la stația Mărișel au fost suplimentar zgomotoase din cauza umidității mari precum și a apropiării unui front de nori, care a și afectat ultimele imagini obținute. Cu toate acestea magnitudinea limită a stelelor detectate pe imagini a fost = 16.

Secvențele achiziționate au fost procesate automat cu algoritmi dezvoltati, și în ciuda zgomotului mare din imagini s-a reușit detectia în 90% din cazuri, și măsurarea distanței față de observator cu eroare de sub 1%. Figura următoare arată două cazuri în care mai mulți sateliți GEO sunt vizibili în aceeași imagine, fiind detectați simultan.

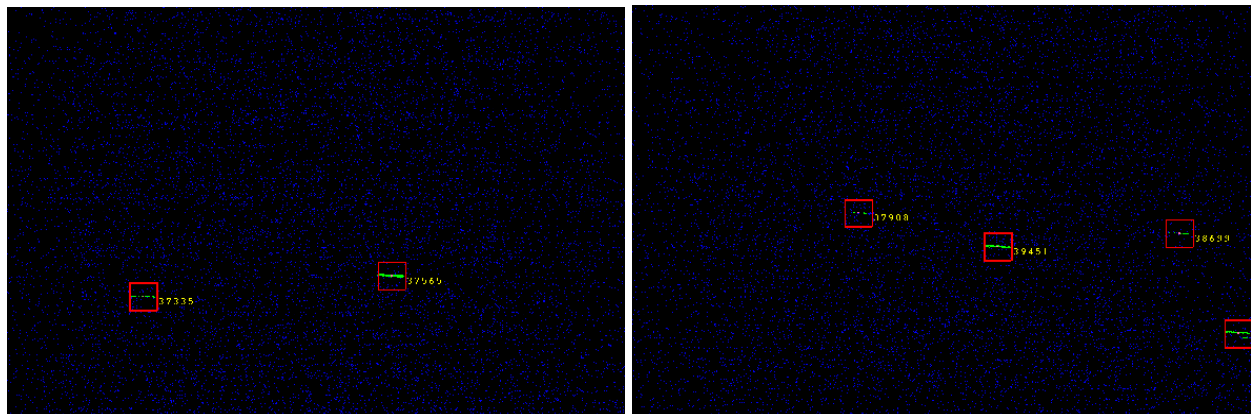


Fig. 5.3. Rezultate detectie simultana a mai multor sateliti, și măsurarea poziției lor 3D prin stereoviziune.

## 6. Diseminare rezultate preliminare

În perioada etapei 1 (Iulie 2012-Decembrie 2012) a fost publicat 1 articol ISI,

R. Danescu, F. Oniga, V. Turcu, O. Cristea, “Long Baseline Stereovision for Automatic Detection and Ranging of Moving Objects in the Night Sky”, *Sensors*, vol. 12, No. 10, October 2012, pp. 12940-12963. [factor de impact 2013, **1.95**]

În perioada **etapei 2** (Ianuarie 2013 – Decembrie 2013), au fost publicate următoarele lucrări:

1) O. Cristea, P. Dolea, V. Turcu, R. Danescu, “Long baseline stereoscopic imager for close to Earth objects range measurements”, Acta Astronautica, vol. 90, No. 1, September 2013, pp. 41–48. [factor de impact 2013, **0.701**]

2) R. Danescu, A. Ciuarte, F. Oniga, O. Cristea, P. Dolea, V. Dascal, V. Turcu, L. Mircea, D. Moldovan, „SURVEILLANCE OF MEDIUM AND HIGH EARTH ORBITS USING LARGE BASELINE STEREOVISION”, “TIM 2013 Physics Conference”, Editors O.M. Bunoiu, N. Avram, A. Popescu, AIP Conference Proceedings, Volume 1634, AIP Publishing LLC 978-0-7354-1273-6, p. 144-150, doi: 10.1063-1.4903029.

In perioada **etapei 3** (Ianuarie 2014 – Decembrie 2014), au fost publicate următoarele lucrări:

1) A. Ciuarte, R. Danescu, „Automatic Detection of MEO Satellite Streaks from Single Long Exposure Astronomic Images”, 9th International Conference on Computer Vision Theory and Applications 2014 (VISAPP 2014), Lisabona, Portugalia, 5-8 Ianuarie 2014, pp. 538-554.

2) R. Danescu, A. Ciuarte, V. Turcu, "A Low Cost Automatic Detection and Ranging System for Space Surveillance in the Medium Earth Orbit Region and Beyond", Sensors, vol. 14, No. 2, February 2014, pp. 2703-2731 (factor de impact 2014, **2.048**).

3) A. Ciuarte, A. Soucup, R. Danescu, “Generic Method for Real-time Satellite Detection Using Optical Acquisition System”, International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP 2014), 2014, pp. 179-185.

4) V. Turcu, L. Mircea, T. Oproiu, D. Moldovan, A. Pop, „AMHEOS project. Reduction methods”, Symposium Challenges in Astronomy, Astrophysics and Space Science, Academia Română, Filiala Cluj-Napoca, Observatorul Astronomic Cluj-Napoca, Universitatea “Babeş-Bolyai” Cluj-Napoca, Facultatea de Matematică și Informatică, Facultatea de Fizică, “Zilele Academice Clujene 2014”, Cluj-Napoca, 29-30.05.2014.

## **8. Cooperare internațională**

Proiectul AMHEOS a fost promovat în cadrul sistemului SST european sub două aspecte:

1. În calitate de consultant al ESA în domeniul activităților SST, BITNET CCSS a recomandat includerea facilității dezvoltate în cadrul proiectului AMHEOS în arhitectura viitorului sistem SST European.
2. În calitate de consultant al ROSA (Agenția Spațială Română), BITNET CCSS a recomandat includerea facilității dezvoltate în cadrul proiectului AMHEOS în propunerea de proiect care va fi înaintată de România Comisiei Europene în 31 ian. 2015 referitoare la contribuția națională la viitorul sistem SST European.

## **9. Dezvoltări ulterioare**

În etapa următoare, toate sistemele și modulele software care acum sunt testate și optimizate separat vor trebui puse împreună, pentru a forma un sistem de detecție și măsură automat optimizat. Activitatea principală din etapa următoare va fi dezvoltarea unui sistem de estimare și propagare iterativă a parametrilor orbitali TLE, coordonatele după care sunt catalogați și urmăriți sateliții.

Procesul de achiziție a datelor, testare și optimizare se va intensifica, pentru a obține la finalul etapei un instrument performant. Se va continua activitatea de publicare de articole, și se va depune o cerere de patent în cursul anului 2015.

## Indicatori de proces și de rezultat

	Denumirea indicatorilor	UM/An
<b>Indicatori de proces</b>	Numarul de proiecte realizate în parteneriat internațional	0
	Mobilitati interne	6
	Mobilitati internationale	2
	Valoarea investitiilor în echipamente pentru proiecte	82383.48
	Numarul de întreprinderi participante	1
	Numarul de IMM participante	1
<b>Indicatori de rezultat</b>	Numarul de articole publicate sau acceptate spre publicare în fluxul stiintific principal internațional	6
	Number of articles published in journals indexed AHCI or ERIH Category A or B (applies to the Humanities only)	-
	Number of chapters published in collective editions, in major foreign languages, at prestigious foreign publishing houses (applies only to Social Sciences and Humanities)	-
	Number of books authored in major foreign languages at prestigious foreign publishing houses (applies only to Social Sciences and Humanities)	-
	Number of books edited in major foreign languages at prestigious foreign publishing houses (applies only to Social Sciences and Humanities)	-
	Factorul de impact relativ cumulat al publicatiilor publicate sau acceptate spre publicare	4.699
	Numarul de citari normalizat la domeniu al publicatiilor	2
	Numarul de cereri de brevete de invenție inregistrate (registered patent application), în urma proiectelor, din care:	0
	- naționale (în România sau în altă țară);	0
	La nivelul unei organizații internaționale (EPO/ PCT/ EAPO/ ARIPO/ etc.)*	0
	Numarul de brevete de invenție acordate (granted patent), în urma proiectelor, din care:	0
	- naționale (în România sau în altă țară);	0
	La nivelul unei organizații internaționale (EPO/ PCT/ EAPO/ ARIPO/ etc.)*	0
	Veniturile rezultate din exploatarea brevetelor și a altor titluri de proprietate intelectuala	0
	Veniturile rezultate în urma exploatarii produselor, serviciilor și tehnologiilor dezvoltate	0
	Ponderea contributiei financiare private la proiecte	8,35 %
	Valoarea contributiei financiare private la proiecte	174407,5 lei