



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

**Raport științific, Etapa 2** – „Dezvoltarea unui sistem de observare pentru orbite înalte si geostaționare”.

**Anul:** 2013

**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. Îmbunătățirea acurateții sistemului optic pentru creșterea distanței de detecție .....	2
3. Dezvoltarea unui sistem pentru achiziția sincronizată a imaginilor stereo din locații îndepărtate ....	8
4. Dezvoltarea de unelte software pentru stereoviziunea de distanță mare .....	12
5. Diseminare rezultate preliminare .....	18
7. Dezvoltări ulterioare .....	19
Bibliografie .....	19
Indicatori de proces și de rezultat .....	20

## 1. Introducere – Rezumatul etapei

Obiectivul principal al etapei II a proiectului AMHEOS, conform planului de realizare al proiectului, a fost realizarea unui sistem de observare a orbitelor superioare celor MEO (Medium Earth Orbit), precum orbitele geostaționare (GEO) sau înalt excentrice (HEO). În acest scop, s-au depus eforturi în trei direcții principale: îmbunătățirea acurateții sistemului optic, pentru a obține o rezoluție angulară mai bună și o sensibilitate superioară, în vederea percepției sateliților aflați la distanță mare, ce vor avea o iluminare scăzută, îmbunătățirea sistemului de sincronizare a camerelor la distanță, pentru a elimina diferențele de timp la declanșarea achiziției, diferențe care cauzează erori de măsură, și dezvoltarea de unelte software, incluzând algoritmi originali, pentru o detecție robustă a sateliților în imaginile achiziționate și o măsurare precisă a poziției acestora folosind stereoviziunea. Un alt obiectiv al etapei a fost diseminarea rezultatelor preliminare.

Pentru crearea unui sistem de stereoviziune cu acuratețe sporită, au fost studiate mai multe posibile sisteme optice de tip telescop, și pe baza unei analize cost-beneficiu a fost selectată soluția optimă, care a fost achiziționată. De asemenea, au fost efectuate experimente cu sisteme optice similare și cu sisteme de reducere a distanței focale, pentru observarea sateliților MEO, GEO și HEO, cu bune rezultate.

Pentru îmbunătățirea sincronizării la distanță a camerelor, s-au experimentat soluții bazate pe receptoare GPS de înaltă performanță. În urma experimentelor, s-a dezvoltat o soluție integrată, hardware, programabilă, capabilă de a sincroniza camerele cu precizie de ordinul microsecundelor.

Pentru detecția și măsurarea prin stereoviziune a distanței sateliților s-a dezvoltat un sistem software nou, ce include două metode de detecție originale, de mare sensibilitate, și este capabil de procesare automată a secvențelor achiziționate. Datorită naturii secvențelor, ce implică modificarea frecvență a zonei observabile a cerului, a fost nevoie să aducem contribuții și la sistemul de autocalibrare, activitate prevăzută doar pentru etapa 3. Sistemul software a fost testat pe secvențe cu sateliți la distanțe de la 19000 la 40 000 km, funcționând conform așteptărilor.

În vederea diseminării rezultatelor proiectului, a fost publicat în acest an 1 articol în jurnal ISI, 1 articol de conferință, un alt articol de conferință este acceptat și urmează a fi publicat la începutul lui 2014, și un alt articol a fost elaborat și este în evaluare la un jurnal ISI.

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

## 2. Îmbunătățirea acurateții sistemului optic pentru creșterea distanței de detecție

### 2.1. Estimarea preciziei observaționale pentru sistemele existente

Sistemele (gemene) existente:

- 2 Telescoape ( $D=150\text{mm}$ ,  $F=750\text{mm}$ ),
- 2 camere DSLR Canon EOS 50D ( $2352 \times 1568$  pixeli) ( $9.4 \mu\text{m} \times 9.4 \mu\text{m}$ )

Pe baza testelor realizate cu aceste sisteme pentru sateliți de tip MEO, HEO / GEO, și a reducerilor astrometrice cu două pachete software diferite (AIP4WIN V2.10 [1], Astrometrica V 4.8.2.405 [2]) am obținut rezultate comparabile pentru precizia de determinare astrometrică.

Precizia de determinare astrometrică pentru AIP4WIN V2.0 folosind 24 de stele de referință a fost de  $0.339''$ , iar pentru Astrometrica V 4.8.2.405, folosind 166 de stele de referință, a fost de  $0.225''$ , în condițiile în care dimensiunile unghiulare ale pixelilor au fost de  $2.5''$ .

Magnitudinea limită a cerului obținută, pentru timpi de expunere de 5 secunde, a fost de 19.9.

### 2.2. Estimarea limitelor parametrilor sistemului ce urmează a fi realizat

Distanța focală minimă (rezoluția și disparitatea pentru cele două stații de observații): Rezoluția minimă pentru sistemul ce urmează a fi realizat este de 1"/ pixel (secundă de arc/ pixel) ceea ce înseamnă o rezoluție de 200m pentru sateliți în zona HEO / GEO și 100m pentru sateliți din zona MEO. Formulele pentru determinarea distanței focale în condițiile în care se cunosc dimensiunile pixelilor sensorului de imagine ( $l_{pixel H} = l_{pixel V} = l_{pixel}$ ) și rezoluția unghiulară ( $\alpha$ ) sunt date mai jos:

$$\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{l_{pixel}}{2 \cdot F}, \quad F \geq \frac{l_{pixel}}{2 \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$$

Pentru un senzor cu dimensiunile pixelilor de 9 $\mu$ m obținem o distanță focală minimă  $F=1856$ mm. Pe de altă parte separația dintre stațiile de observații (baza de triangulație / paralaxă / stereoviziune) determină limitele de disparitate ( $\beta$ ) pentru perechea de imagini. Pentru cazul cel mai favorabil (satelitul este observat la trecerea pe mediatoarea bazei de triangulație), pentru situația concretă a celor două stații (Feleac și Mărișel) ( $d=36.5$  km) obținem:

$$\beta \leq 2 \cdot \arctan\left(\frac{d_{Stereo}}{2 \cdot H_{satelit}}\right), \quad \beta_{GEO/HEO} \leq 188'' , \quad \beta_{MEO} \leq 376''$$

Combinând condițiile anterioare obținem valorile pentru disparitate în pixeli:

$$\begin{aligned} \beta_{GEO/HEO \text{ pixel}} &\leq 188 \text{ pixeli} \\ \beta_{MEO \text{ pixel}} &\leq 376 \text{ pixeli} \end{aligned}$$

Distanța focală maximă trebuie totuși să nu depășească o anumită limită. Această limită este impusă atât de numărul de stele standard astrometrice disponibile în câmp, cât și de vitezele aparente ale sateliților MEO, HEO, GEO. Distanța focală maximă nu trebuie să depășească 4 m.

Apertura (magnitudine limită): Apertura (diametrul) telescopului determină magnitudinea limită pentru obiectele detectate. Creșterea magnitudinii ( $m$ ) înseamnă detecția unor obiecte mai slabe (formula lui Pogson):

$$m = -2.5 \cdot \log E + k$$

Fluxul  $E$  este proporțional cu aria suprafeței captoare de fotoni (oglinza principală a telescopului). Prin urmare o magnitudine limită mare înseamnă un diametru al telescopului mare. Pe de altă parte costul unui telescop crește cu suprafața oglinzii principale. Din punct de vedere al costurilor implicate de un telescop, acestea cresc cu suprafața captoare printr-o funcție de tipul:

$$P = a \cdot S^\gamma + b$$

unde  $P$  este prețul,  $S$  este suprafața oglinzii principale a telescopului,  $a$  și  $b$  sunt factori constanți care depind de producător, iar  $\gamma$  ( poate avea valori cuprinse între 1.1 și 2.5, în funcție de producător. În graficul din Fig. 2. au fost reprezentate prețurile pentru o serie de telescoape cu diametrul de sub 1 metru, în funcție de suprafața oglinzii principale, pentru două firme producătoare. Diferențierea pe grafic a telescoapelor produse de cele trei firme este evidentă (  $D < 50$  cm și  $D > 50$  cm), ceea ce indică termeni și factori diferiți pentru ecuația anterioară ([3], [4], [5]).

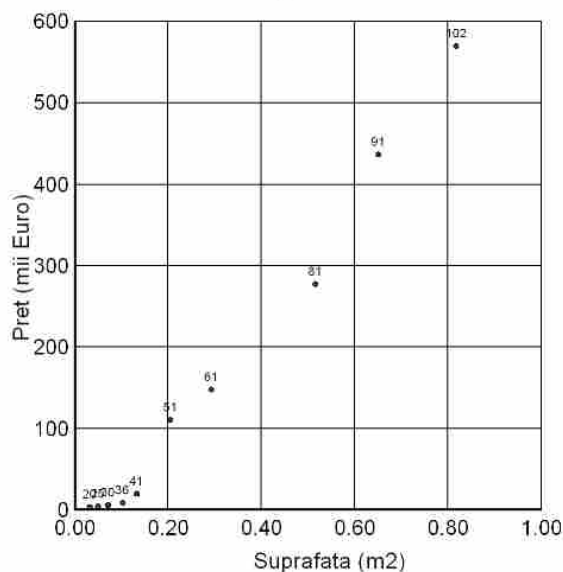


Figura 1. Prețul telescoapelor de sub1m în funcție de suprafața oglinzii principale (sunt date și diametrele oglinzilor în cm) [6]

### 2.3. Estimarea preciziei observaționale pentru un sistem cu parametri similari sistemului optic se urmeaza a fi realizat

Estimarea preciziei pentru un telescop de tip Meade RCX400 12” (D=300mm, F=2400mm) + cameră DSLR Canon EOS 50D la Observatorul Astronomic al Universității „Babeș-Bolyai” Cluj-Napoca: Am realizat o serie de observații de test pentru trecerea relativ “apropiată” (distanța față de Pământ aprox. 7 milioane km) a asteroidului Toutatis (Fig. 2).

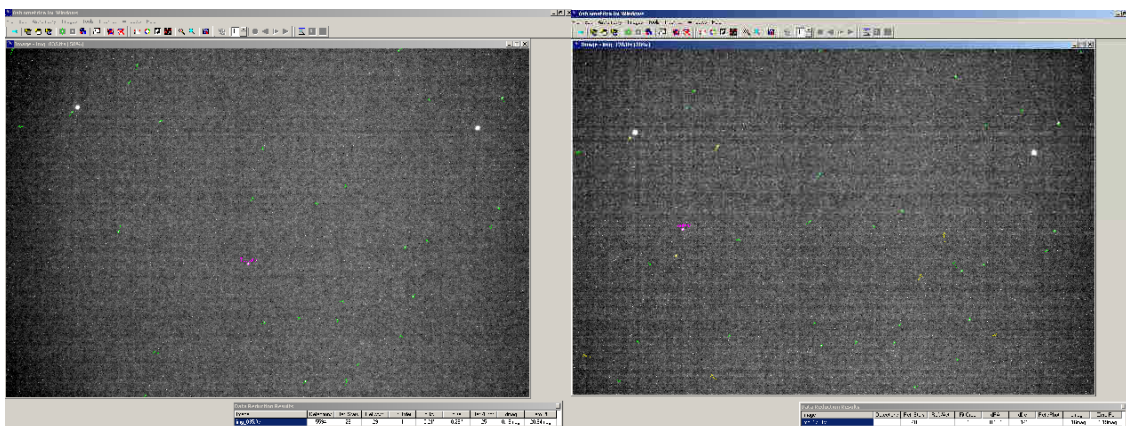


Figura 2. Reduceri astrometrice pentru doua imagini din seria obținută pentru asteroidul Toutatis (data 2012.12.13) la Obs.Astron UBB Cluj-Napoca.

Precizia determinărilor astrometrice, folosind 29, respectiv 32 de stele de referință, a fost de 0.25” , respectiv 0.15”. Magnitudinea limită a cerului (condiții de cer urban) a fost 20.6 mag, respectiv 21.2 mag. Cele două imagini au fost alese pentru începutul secvenței de observații (crepuscul astronomic) și respectiv finalul seriei de observații (condiții de vizibilitate mai bune).

Câmpul acoperit de imagini a fost de 30.9’ x 20.6’, iar rezoluția per pixel a fost de 0.79”/pixel.

În concluzie testele realizate în această configurație indică performanțe care se încadrează în parametrii determinați teoretic.

## 2.4. Variante pentru configurații de sisteme optice (telescoape) cu prețuri.

a.

	Meade LX200 8" ACF	Meade LX200 10" ACF	Meade LX200 12" ACF	Meade LX850 10" ACF	Meade LX850 12" ACF	Meade LX600 10" ACF	Meade LX600 12" ACF
Diametru D (mm)	203	254	305	254	305	254	305
Distanța focală F (mm)	2000	2500	3000	2032	2440	2032	2440
Limita de difracție	0.56"	0.45"	0.38"	0.457"	0.38"	0.457"	0.38"
Câmp imagine (Canon DSLR EOS 50D)	38'X25.33'	30'X20'	25.3'x16.9'	37'X25'	31'x21'	37'X25'	31'x21'
Accesorii	-	-	-	Starlock + Focus	Starlock + Focus	Starlock + Focus	Starlock + Focus
Montură	Furcă	Furcă	Furcă	Germană	Germană	Furcă	Furcă
Preț (Euro)	3499	4799	5999	9999	11999	6240	7440

b.

	Celestron CPC Deluxe 800 HD	Celestron CPC Deluxe 925 HD	Celestron CPC Deluxe 1100 HD	Celestron CGE Pro 925	Celestron CGE Pro 1100	Celestron CGE Pro HD 925	Celestron CGE Pro HD 1100
Diametru D (mm)	203	235	280	235	280	235	280
Distanța focală F (mm)	2032	2350	2800	2350	2800	2350	2800
Limita de difracție	0.57"	0.49"	0.42"	0.49"	0.42"	0.49"	0.42"
Câmp imagine (Canon DSLR EOS 50D)	38'X25.33'	32.3'X21.6'	27.1'x18.1'	32.3'X21.6'	27.1'x18.1'	32.3'X21.6'	27.1'x18.1'
Accesorii	-	-	-	-	-	-	-
Montură	Furcă	Furcă	Furcă	Germană	Germană	Germană	Germană
Preț (RON)	2998	4220	5033	7997	8642	9067	9867

Tabel 1. a. Telescoape Meade Instruments [3], b. Telescoape Celestron [7].

Din analiza comparativă a parametrilor și performanțelor telescoapelor cuprinse în tabelele 1.a și 1.b **am optat pentru o soluție de telescop Meade LX600 12" ACF**. Acesta oferă un sistem optic cu un raport focal  $F/D = 8$ , ceea ce înseamnă un câmp al imaginii mai mare față de un telescop cu aceeași apertură, dar cu raport focal 10 (Meade LX200 12", sau Celestron CGE 1100). Accesoriile pe care le include în preț, precum și compatibilitatea cu elementele de adaptare și accesoriile pe care le avem deja în dotare oferă beneficii suplimentare. Având aceleași performanțe optice ca modelul Meade LX850 12" ACF, telescopul ales are un preț mai mic, **încadrându-se astfel în bugetul limitat al acestei etape.**

**2.5. Investigarea posibilității de folosire a sistemelor optice de tip reductoare de focală (Field Flattener / Focal Reducer) pentru obținerea unui sistem optic cu focală echivalentă mai mică, respectiv câmp mai mare.**

Au fost realizate o serie de teste pentru mai multe sisteme optice de tip reductoare de focală (Field Flattener / Focal Reducer) folosite în combinație cu telescoapele cu distanță focală  $F=240\text{cm}$  (Meade RCX400 12") existente.

S-au utilizat mai multe reductoare de focală cu raport focal nominal  $f/6.3$  precum și un reductor cu raport focal nominal  $f/3.3$ . După cum era de așteptat reductorul  $f/3.3$  oferă câmpul cel mai mare dar și o vignetaie a câmpului importantă. Pentru reductoarele cu raport focal nominal  $f/6.3$  investigate (3 reductoare avute la dispoziție) am obținut distanțe focale echivalente surprinzător de diferite. Diferența față de distanța focală echivalentă nominală de  $1512\text{ mm}$  este mai mare de  $10\%$ . Aceste distanțe focale echivalente depind foarte mult și de poziționarea reductorului față de planul focal al telescopului.

Folosirea unor reductoare focale în tandem cu telescoapele pentru observații în sistem stereoscopic, pentru obținerea unor câmpuri vizuale mai mari, este limitată prin urmare de posibilitatea "selectării" unor reductoare focale cu caracteristici sensibil identice. Această limitare este dată de caracterul "comercial" (cost relativ scăzut) al reductoarelor testate.



Figura 3. Exemple de imagini de test: a) - sistem optic original (telescop  $F=2400\text{mm}$ ); b), c), d) - sisteme optice obținute cu telescopul original ( $F=2400\text{mm}$ ) și cele 3 reductoare de focală cu raport focal nominal  $f/6.3$  testate; e) - sistem optic obținut cu telescopul original ( $F=2400\text{mm}$ ) și reductorul de focală cu raport focal nominal  $f/3.3$  testat (se observă vignetaiea câmpului și distorsiuni radiale ale câmpului).

## 2.6. Teste observaționale realizate cu o pereche de telescoape cu caracteristici optice similare.

Au fost efectuate teste observaționale pentru sateliți HEO, GEO și MEO, cu sisteme de măsură similare sistemelor HEO din cadrul proiectului (telescoape Meade RCX400 12" D=30cm, F= 240cm, camere DSLR Canon EOS 50D) din locațiile fixe: Observatorul Astronomic Cluj-Napoca – Stația Cluj-Napoca-Cireșilor și Observatorul Astronomic Cluj-Napoca - Stația Feleacu (3 exemple de perechi de imagini GEO, HEO, MEO).

Deși baza de paralaxă nu este foarte mare (distanța între cele două stații este de 5 km), se pot remarca disparitățile din perechile de imagini chiar și pentru sateliții GEO și HEO.

Nivelul de poluare luminoasă foarte diferit între cele două stații, poate fi observat ușor în perechile de imagini (Stația Cluj-Napoca-Cireșilor este în interiorul aglomerării urbane). Chiar și în aceste condiții detecția este posibilă, iar magnitudinea limită a stelelor oferă un număr rezonabil de mare de stele ce pot fi folosite în determinarea soluțiilor astrometrice, respectiv calibrarea intrinsecă și extrinsecă a camerelor.

Pentru sateliții de tip GEO am realizat observații de supraveghere a fâșiei centrale a orbitelor GEO pentru sectorul de poziții orbitale cuprins între 60° E și 3° E în nopțile de 04.10.2013; 06.10.2013 și 08.10.2013. Au fost observați toți cei 67 de sateliți posibili de a fi observați în fâșia urmărită, din cei 416 sateliți Geosincroni listați oficial în lista NORAD. Au fost observați în plus un număr de 6 sateliți neidentificați cu orbite geosincrone, precum și un satelit MEO și unul LEO.

În noaptea de 04.10.2013 am obținut observații sincrone din cele două locații pentru un număr de 38 de sateliți Geosincroni.

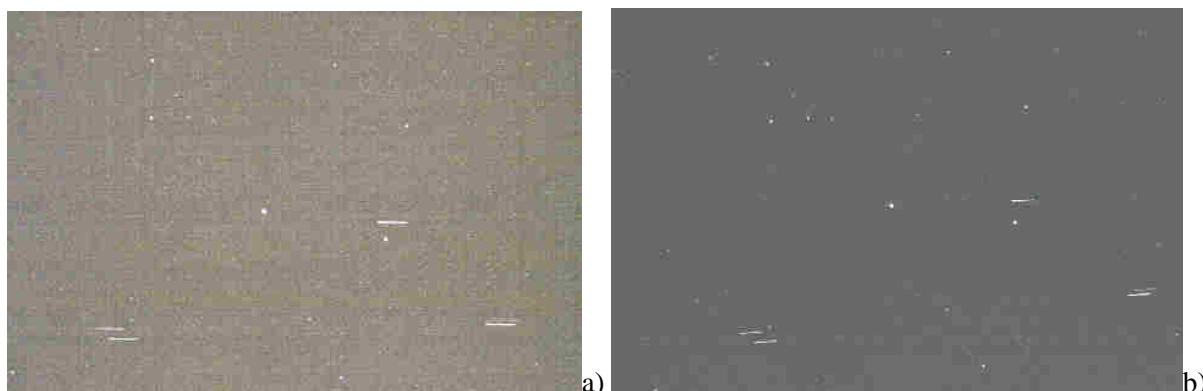


Figura 4. Pereche de imagini cu sateliți GEO obținute în data de 2013.10.04, 21:14:36 UTC (a. Stația Cluj-Napoca-Cireșilor,  $t_{exp.}=6s$ , b. Stația Feleacu,  $t_{exp.}=5s$ ) (Steaua centrală este SAO 128564, sateliții sunt de la stânga la dreapta după cum urmează: Eutelsat-28A, Eutelsat-28B, Astra-2F, Astra-2A, Astra-1N).

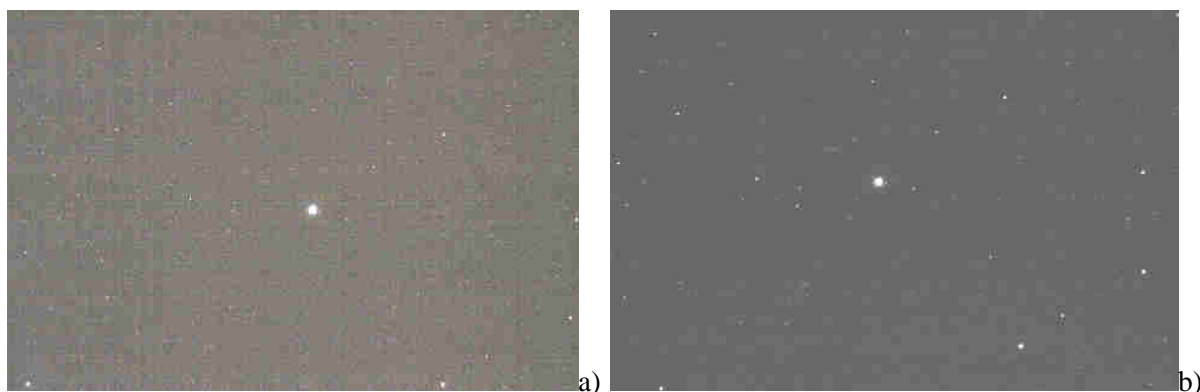


Figura 5. Pereche de imagini cu sateliți HEO obținute în data de 2013.09.05, 20:29:20 UTC,  $t_{exp.}=5s$  (a Stația Cluj-Napoca-Cireșilor b. Stația Feleacu) (Steaua centrală este SAO 17546, satelitul este Molniya 1-90).

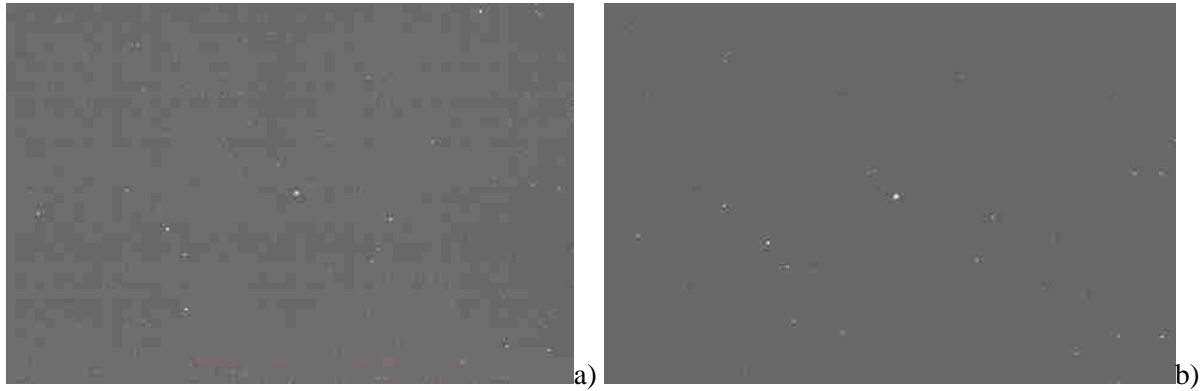


Figura 6. Pereche de imagini cu sateliți MEO obținute în data de 2013.09.05, 19:50:48 UTC,  $t_{exp}=1.3s$  (a. Stația Cluj-Napoca-Cireșilor, b. Stația Feleacu,) (Steaua centrală este SAO 19127, satelitul este Glonass Cosmos 2447).

### 3. Dezvoltarea unui sistem pentru achiziția sincronizată a imaginilor stereo din locații îndepărtate

Evaluările teoretice și rezultatele experimentale obținute în prima etapă a proiectului ne-au determinat să ne concentrăm atenția pe utilizarea unor module de recepție și prelucrare a semnalului GPS dotate cu interfața PCI și cu capacitate de generare a semnalului „puls pe secunda” (PPS). În acest fel am eliminat întârzierile și incertitudinile introduse de sistemul de sincronizare folosit anterior, care implica analiza prin software a datelor GPS și declanșarea expunerii folosind o interfață USB.

Am evaluat decalajul și stabilitatea în timp a semnalelor furnizate de acest gen de echipamente, utilizând două receptoare GPS cu interfață PCI tip FG6039GPS [8] pe care le-am instalat în câte un PC desktop. Pentru determinarea întârzierii relative dintre impulsurile PPS generate de cele două echipamente GPS am utilizat un osciloscop digital cu memorie tip RIGOL DS5202MA. În figura 7.a se poate vedea schema bloc a lanțului de măsură.

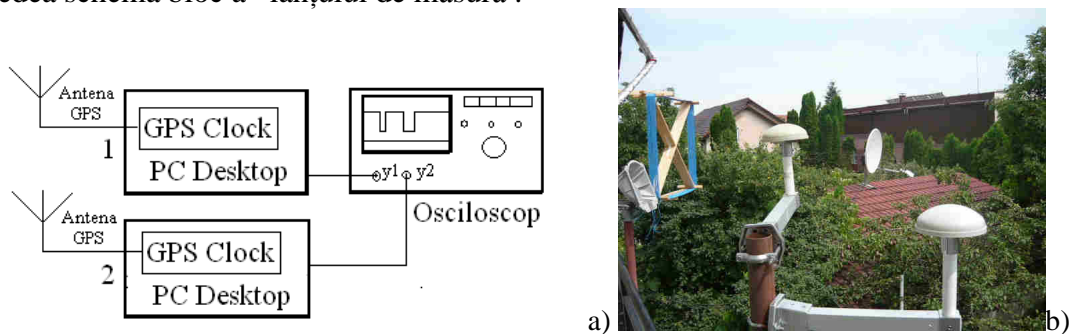


Figura 7. a) Schema bloc a lanțului de măsură utilizat pentru evaluarea decalajului temporal a impulsurilor PPS furnizate de receptoarele GPS; b) Amplasarea antenelor pentru testele inițiale de sincronizare.

Au fost efectuate mai multe serii de determinări, în diverse condiții:

- Cu antenele de recepție a semnalului GPS instalate în așa fel încât să aibă vizibilitate orizont la orizont (întreg cerul);
- Cu antenele de recepție a semnalului GPS instalate în așa fel încât să aibă vizibilitate de aproximativ 50% din bolta cerească;
- În diverse perioade ale zilei, cu un număr mai mare sau cu un număr redus de sateliți GPS vizibili pe cer.

În urma analizării rezultatelor obținute am constatat ca decalajul de timp dintre impulsurile PPS generate de cele două echipamente testate nu a depășit valoarea de  $3\mu s$ . Această performanță este



atinsă doar după 45-60 minute de la punerea în funcțiune a celor două calculatoare. În plus, capacitatea receptoarelor FG6039GPS de a genera impulsuri singulare la momente de timp preprogramate facilitează utilizarea lor în echipamente care trebuie să lucreze sincron.

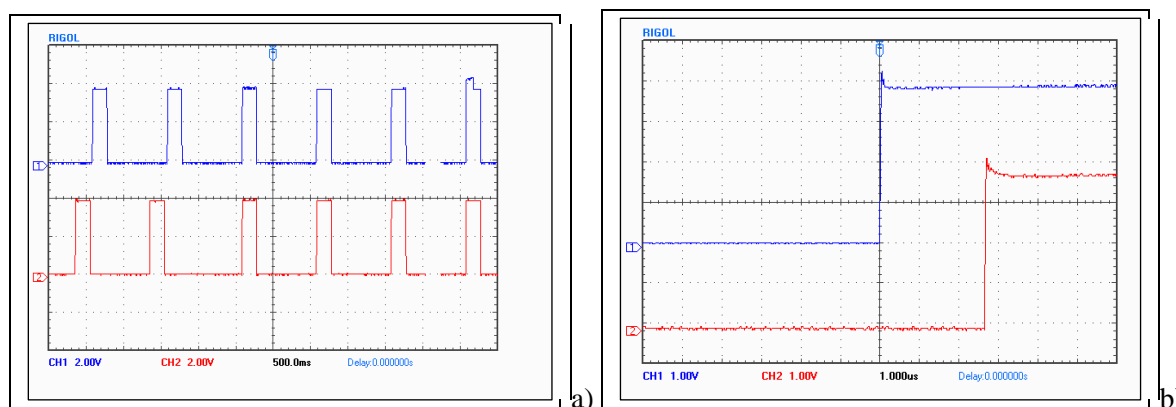


Figura 8. Trenuri de impulsuri PPS generate de cele două echipamente testate: a) Vizualizare cu baza de timp a osciloscopului setată pe 500ms/div, b) Măsurarea decalajului temporal cu baza de timp setată pe 1µs/div. Se observă un decalaj de aproximativ 2,8µs.

Modulul de ceas al acestui receptor GPS furnizează, pe o interfață de tip serial, impulsuri singulare sau repetitive compatibile TTL. Ieșirile TTL pot fi programate flexibil, astfel încât receptorul poate furniza:

- Impulsuri la interval de 1,2,3,4,6,8,12,24 ore;
- Impulsuri la interval de 1,2,3,4,5,6,10,12,15,30 minute;
- Impulsuri la interval de 1,2,3,4,5,6,10,12,15,30;
- Un impuls la data și ora prestabilită.

Lungimea impulsurilor poate fi modificată în pași de 10ms, în intervalul 10ms-2550ms. Semnalul de ieșire poate fi inversat și este furnizat pe trei ieșiri echipotente.

Programarea impulsurilor TTL furnizate prin interfața serială a echipamentului GPS poate fi realizată utilizând interfața software aferentă receptorului FG6039GPS (figura 9).

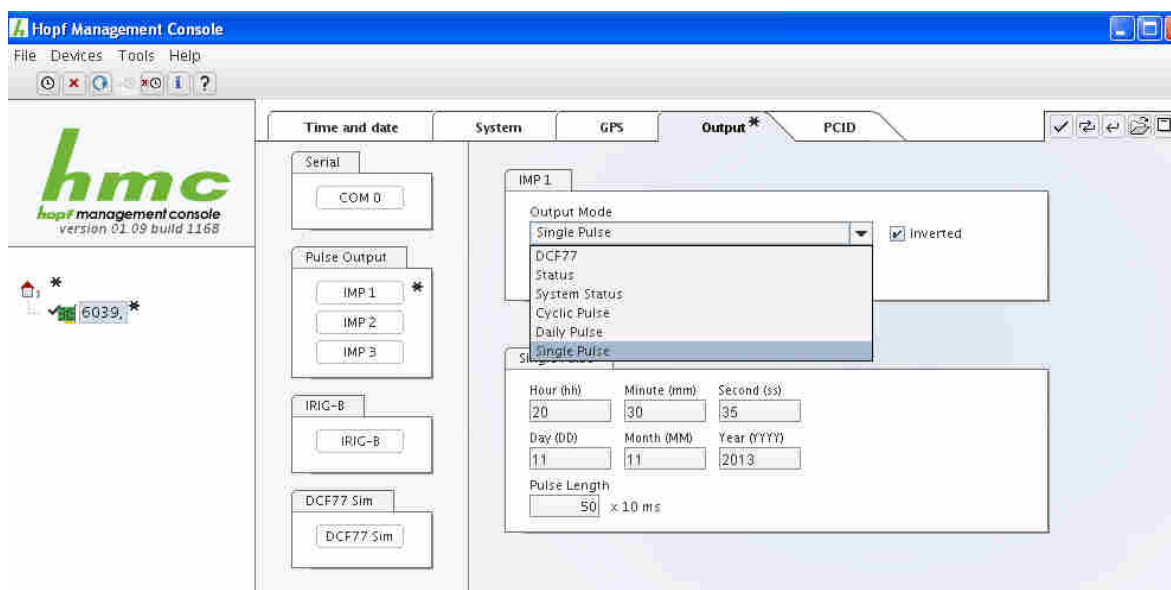


Figura 9. Interfața software utilizată pentru programarea impulsurilor 1,2 și 3.

Performanțe tehnice relevante: [8]

- Precizia pulsului PPS (puls pe secunda):  $\pm 1\mu\text{s}$ ;
- Stabilitatea oscilatorului local :  $\pm 0,1\text{ppm}$  după 30 minute de recepție continua a semnalului GPS;
- Stabilitatea ceasului de back-up:  $\pm 25\text{ppm}$  in intervalul de temperatură de  $+10^{\circ}\text{C} \dots +50^{\circ}\text{C}$ ;
- Receptorul furnizează și impulsuri compatibile cu sistemul de codare utilizat de emițătorul DCF77, impulsuri sincronizate UTC.

Pentru a putea comanda camera DSLR cu ajutorul receptorului GPS mai sus menționat a fost necesara proiectarea și realizarea unei interfețe programabile (bloc de comanda obturator) dedicate. Schema bloc a lanțului de comanda este prezentata in figura 10.

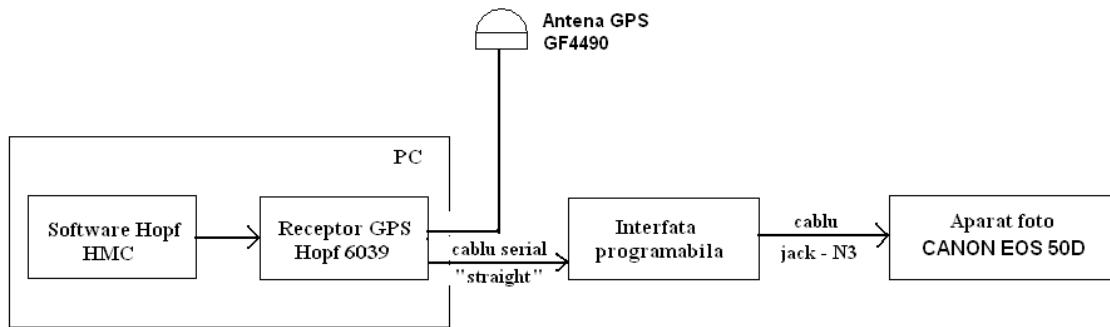


Figura 10. Schema lanțului de comanda a expunerii.

Schema bloc a interfeței programabile utilizate pentru comanda obturatorului este prezentata in figura 11.

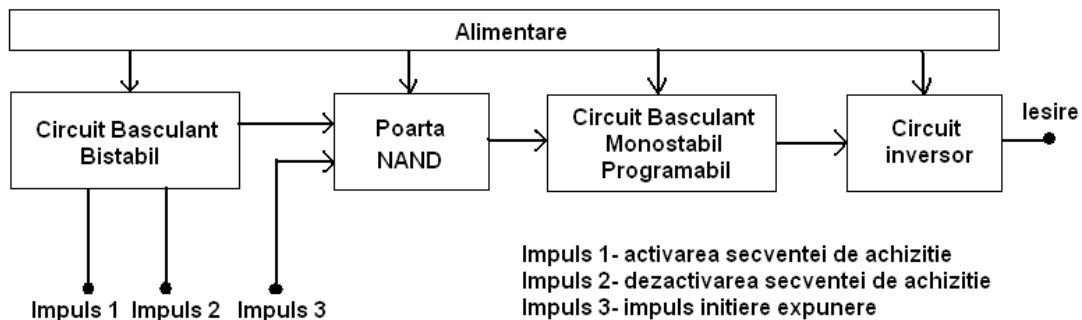


Figura 11. Schema de principiu a blocului de comanda obturator.

Echipamentul utilizat pentru comanda aparatului DSLR, realizat in cadrul proiectului AMHEOS, este prezentat in figura 12.

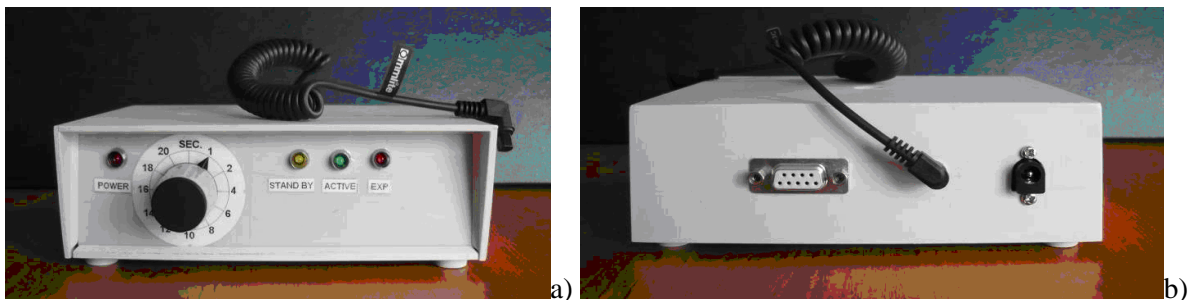


Figura 12. Panoul frontal al blocului de comanda obturator (a), și panoul spate (b).

Pe panoul frontal al echipamentului (figura 12,a) sunt dispuse 4 LED-uri care indică starea in care se afla acest modul:

- LED **POWER** (roșu) aprins indica faptul ca echipamentul este alimentat;
- LED **STAND BY** (galben) aprins, specifica faptul ca echipamentul este in așteptarea unei comenzi de la receptorul GPS;
- LED **ACTIVE** (verde) aprins indica faptul ca ciclul de expunere a fost activat. Pe durata activării ciclului de expunere indicatorul **STAND BY** va fi stins;
- LED **EXP** (roșu) aprins indica faptul ca expunerea este in curs de desfășurare (obturatorul aparatului Canon 50D este deschis);
- Comutator rotativ cu 11 poziții utilizat pentru stabilirea timpului de expunere. Timpii de expunere care pot fi setați cu aceasta interfață au următoarele valori: 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 secunde.

Pe panoul din spate al echipamentului (figura 12,b) sunt dispuși următorii conectori:

- Conector mamă pentru alimentarea echipamentului de la o sursa de tensiune continua (DC IN = 7.5 ... 9 V).
- Conector DB-9 mamă utilizat pentru interfațarea echipamentului cu receptorul GPS. Conectarea este realizata printr-un cablu serial standard DB-9 – DB-9 de tip “straight through”.
- Conector Jack stereo mama (2.5 mm) utilizat pentru interfațarea echipamentului cu aparatul foto Canon EOS 50D. Conectarea este realizata printr-un cablu adaptor special construit pentru acest tip de aparat.

**OBSERVAȚIE:** Pentru funcționarea corectă a echipamentului, durata ciclului expunere+salvare imagine trebuie să fie mai mare decât durata timpului de expunere.

Pentru programarea unei secvențe de expuneri se parcurg următorii pași:

1. Se realizează conexiunile dintre blocul de comanda și calculatorul PC.
2. Se realizează conexiunea dintre blocul de comandă și camera DSLR.
3. Se asigură alimentarea blocului de comanda cu o tensiune de 7,5 ... 9V curent continuu. LED-ul **POWER** (roșu) va confirma existența tensiunii de alimentare iar LED-ul **STAND BY** (galben) va confirma faptul că blocul de comandă se află în așteptare.
4. Se programează data, ora, minutul și secunda la care va începe secvența de expuneri (impulsul 1), prin interfața soft a receptorului GPS FG6039GPS.
5. Se programează data, ora, minutul și secunda la care se va termina secvența de expuneri (impulsul 2), prin interfața soft a receptorului GPS FG6039GPS.
6. Se va programa durata ciclului de expunere: timpul de expunere + timpul necesar salvării imaginii captate (impulsul 3), prin interfața soft a receptorului GPS FG6039GPS.
7. Se stabilește timpul de expunere utilizând comutatorul rotativ de pe panoul frontal al blocului de comanda obturator. Timpii de expunere disponibili sunt: 1s, 2s, 4s, 6s, 8s, 10s, 12s, 14s, 16s, 18s, 20s.

La ora, minutul și secunda prestabilită prin programarea impulsului 1, LED-ul **STAND BY** (galben) se va stinge iar LED-ul **ACTIVE** (verde) se va aprinde. LED-ul **ACTIVE** rămâne aprins până la ora, minutul și secunda la care se va termina secvența de expuneri. LED-ul **EXP** (roșu) aprins indica faptul ca obturatorul aparatului DSLR este deschis.

Am testat simultan funcționarea a două blocuri de comandă, cuplate la două receptoare GPS instalate în două calculatoare PC diferite, în condiții diverse de temperatură și la variații ale tensiunii de alimentare (in limitele a 7,5 ... 9V). Am măsurat fluctuațiile în domeniul timp ale impulsului de comanda deschidere/închidere obturator, utilizând un osciloscop digital cu memorie tip RIGOL DS5202MA. Am setat timpul de expunere la 6 secunde și am constatat următoarele:

1. Diferența în timp dintre fronturile descrescătoare (tranziția H-L) ale impulsurilor de deschidere obturator, furnizate de blocul de comanda obturator, nu depășește valoarea de 11μs, după 45minute de la punerea in funcțiune a calculatoarelor PC și punerea sub tensiune a blocului de comandă obturator.

2. Diferența în timp dintre fronturile crescătoare (tranziția L-H) ale impulsurilor de deschidere obturator, furnizate de blocul de comandă obturator, nu depășește valoarea de 10ms, după 45minute de la punerea în funcțiune a calculatoarelor și punerea sub tensiune a blocului de comandă obturator.

Câteva din oscilogramele aferente acestor teste sunt prezentate în figurile 13 și 14.

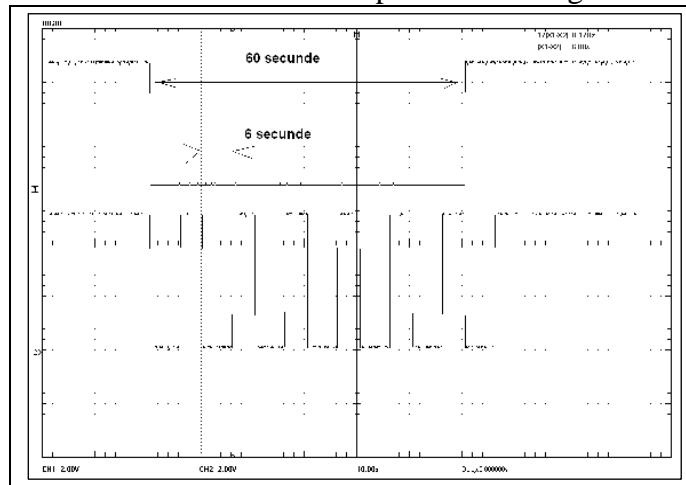


Figura 13. O secvență cu durata de 60 secunde și timp de expunere de 6 secunde.

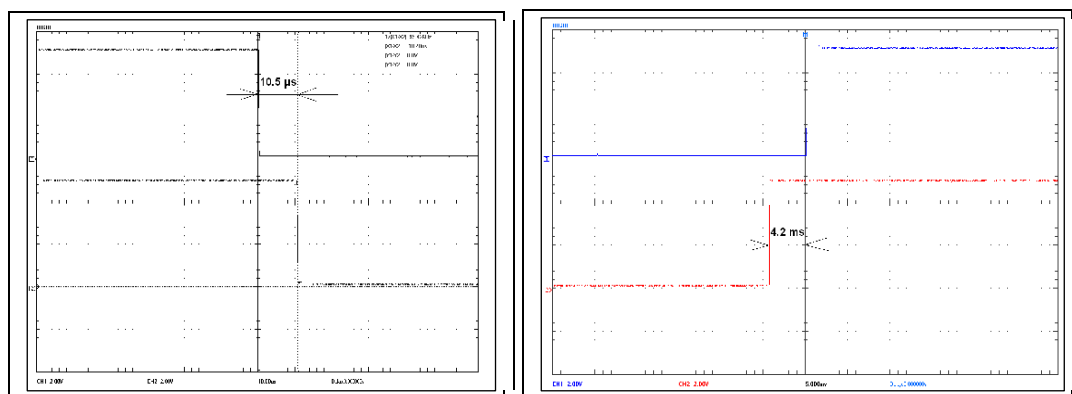


Figura 14. Decalajul dintre fronturile descrescătoare ale impulsului de comandă (a), și dintre fronturile crescătoare (b).

## 4. Dezvoltarea de unelte software pentru stereoviziunea de distanță mare

### 4.1. Unelte preliminare pentru autocalibrarea sistemului

Deși planul de realizare al acestei etape nu include dezvoltarea uneltelor de calibrare, am ajuns la concluzia că o formă preliminară de calibrare automată este necesară, și uneltele existente nu fac față. Metoda folosită anterior pentru autocalibrare se baza pe selecția inițială a stelelor de referință de către utilizator, sistemul fiind ulterior capabil să compenseze deviațiile cauzate de imperfecțiunile sistemului de poziționare a telescopului, atâta timp cât acestea nu erau foarte mari. Din păcate, datorită câmpului vizual redus al telescopului, și a nevoii de re-orientare frecventă a acestuia pentru studierea mai multor regiuni ale cerului, a fost nevoie de dezvoltarea unei metode de calibrare care să detecteze automat poziția unor stele de referință pe imagine, fără presupunerile simplificatoare pe care le-am folosit anterior.

Pentru a ușura munca utilizatorului, noua metodă de calibrare nu mai solicită utilizatorului selecția poziției inițiale a stelelor de referință, ci va determina automat această poziție. Mai mult,

stelele de referință sunt la rândul lor selectate automat, pe baza coordonatelor astronomice ale centrului regiunii observate, specificate de utilizator, și a câmpului vizual al telescopului.

Pentru selecția automată a stelelor de referință, am dezvoltat un modul software ce interoghează catalogul online „U.S. Naval Observatory Interactive Catalog and Image Search” [9], pe baza parametrilor specificați de utilizator, și returnează o listă de coordonate ale stelelor, selectate în așa fel încât să acopere cât mai bine câmpul vizual. Astfel, pe baza coordonatelor centrului regiunii cerului, putem obține o listă de stele de referință în câteva secunde.

Pasul următor este potrivirea acestor stele de referință cu imaginile achiziționate. Factorul de scală fiind fix, calibrat o singură dată pentru fiecare telescop, putem vedea procesul de găsimă a corespondențelor ca un proces de căutare într-un spațiu cu trei parametri, un unghi de rotație  $\alpha$ , și posibilele translații de-a lungul celor două axe de coordonate  $x$  și  $y$ , cuantificate prin deplasamentele  $\delta x$  și  $\delta y$ . Pentru acest lucru, prima dată se generează o ipotetică reprezentare în spațiul imagine pentru stelele de referință, prin calculul deplasamentului angular față de centru al fiecărei stele  $i$ :

$$\gamma_i = (RA_i - \overline{RA}) \cos(\overline{DEC}), \quad \varphi_i = DEC_i - \overline{DEC}, \quad \overline{RA} = \sum_{i=1}^N RA_i, \quad \overline{DEC} = \sum_{i=1}^N DEC_i$$

Apoi, deplasamentul angular poate fi convertit în pixeli folosind distanța focală în pixeli pe post de factor de scalare:

$$x_i = \gamma_i f + \frac{w}{2}, \quad y_i = \varphi_i f + \frac{h}{2}$$

Coordonatele precise pot fi complet diferite de coordonatele reale din imaginile achiziționate, întreg ansamblul de stele putând fi rotit sau traslatat considerabil. Totuși, putem să ne bazăm pe faptul că distanțele dintre stele sunt corecte, întreg ansamblul comportându-se ca un corp bidimensional rigid. Procesul de căutare a corespondențelor devine astfel procesul de găsimă a deplasamentelor pe  $x$  și  $y$ , și a unghiului de rotație, astfel încât suma logaritmilor intensităților pixelilor obținuți prin rotație să devină maximă.

$$(\delta x_{match}, \delta y_{match}, \alpha_{match}) = \arg \max_{\delta x, \delta y, \alpha} M(\delta x, \delta y, \alpha)$$

$$M(\delta x, \delta y, \alpha) = \sum_{i=1}^N \log(I(x'_i(\delta x, \delta y, \alpha), y'_i(\delta x, \delta y, \alpha)))$$

$$\begin{pmatrix} x'_i(\delta x, \delta y, \alpha) \\ y'_i(\delta x, \delta y, \alpha) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i - \bar{x} \\ y_i - \bar{y} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \delta x \\ \delta y \end{pmatrix}$$

Spațiul de căutare pentru cei trei parametri este la început foarte mare, de ordinul sutelor de pixeli pentru translații și întreg cercul trigonometric pentru rotație. În cadrele următoare, rezultatele căutării anterioare sunt folosite pentru a limita spațiul de căutare, presupunând că mișcarea telescopului între două expuneri nu este foarte mare. Totuși, dacă o eroare de potrivire în secvență este detectată în procesul de detecție, procesul de calibrare poate fi reluat pe întreg spațiul parametrilor.

Odată corespondențele găsite, matricea de rotație a sistemului poate fi determinată folosind metoda Gauss-Newton, în modul descris în lucrarea noastră publicată [10].

## 4.2. Metode pentru creșterea acurateții detecției sateliților din imagini

În vederea creșterii acurateții și a ratei de succes a detecției sateliților din imagini, un prim pas esențial în vederea aplicării procesului de triangulație stereo, în această etapă au fost dezvoltate două noi metode originale.

Prima metodă este dedicată detecției sateliților din imagini monoculare, independente, folosind proprietățile de formă ale urmelor acestor obiecte în imaginile achiziționate. Datorită modului în care imaginile sunt preluate, sateliții vor apărea în imagini ca niște segmente de dreaptă, având o

intensitate medie mai ridicată decât cea a fundalului. Mai mult, în funcție de zonele urmărite, se poate ușor determina lungimea sateliților pentru un timp fixat de expunere.

Ideea ce stă la baza metodei de detecție din imagini monoculare este de a exploata trăsătura definitorie de segment de dreapta ce caracterizează apariția sateliților și de a folosi unelte consacrate de detecție a dreptelor din literatura de specialitate a domeniului procesării imaginilor și a recunoașterii formelor.

În acest sens, am propus împărțirea imaginii în sub-imagini de dimensiuni reduse pe care să aplicăm transformata Radon de detecție a liniilor. Transformata Radon este o tehnică de extragere a trăsăturilor (ex. segmente de dreaptă) printr-un procedeu de votare. Imaginea este transpusă într-un spațiu parametric, în care maximele locale vor corespunde potențialilor candidați (sateliți).

Figura 15 ilustrează două exemple de subimagini și rezultatul transformării Radon pentru cele două cazuri când imaginea conține satelit (prima linie) și când nu conține satelit (a doua linie).

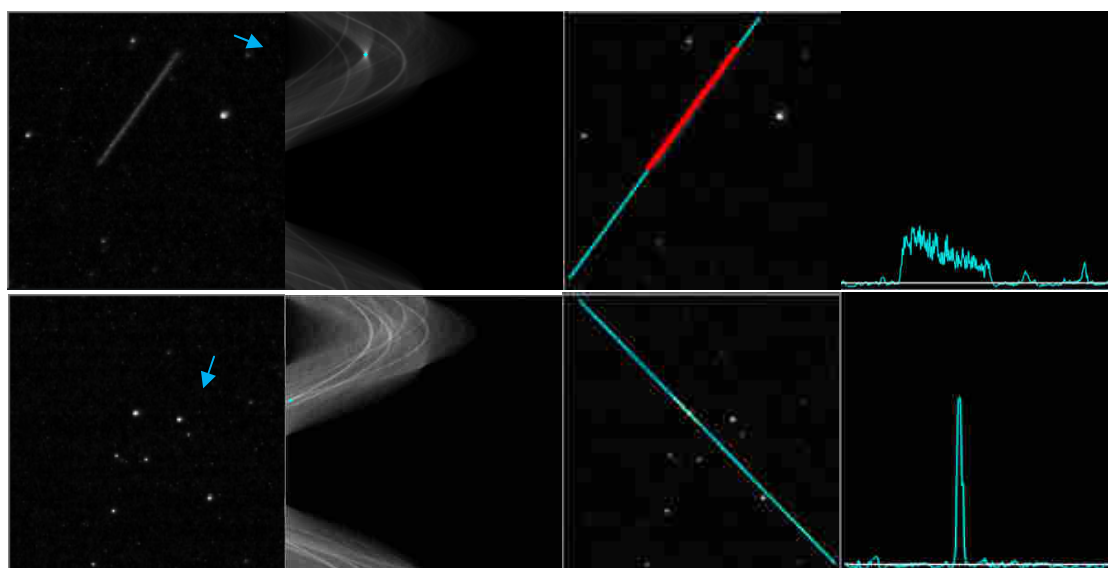


Figura 15. Exemplu de sub-imagini (prima coloana) și spațiul parametric corespunzător (a doua coloană). Reconstrucția liniei cu cele mai multe voturi (coloana 3 în albastru) și proiecțiile intensităților acestor linii vs. valoarea medie a fundalului (coloana 4).

Se extrag primele 3 maxime locale din spațiul parametric cu intensitățile cele mai mari, care se consideră ca posibili candidați. Deși alegerea de a procesa sub-imagini de dimensiuni mici asigură faptul că, dacă există un satelit în sub-imaginea procesată, el va corespunde maximului local cu intensitatea cea mai mare, este necesară totuși procesarea mai multor maxime locale pentru a face posibilă detecția a mai mulți sateliți dintr-o astfel de sub-imagine.

Pentru validarea candidaților, se reconstruiește linia din imagine și se proiectează intensitățile punctelor de pe linie (vezi Figura 15 coloanele 3 și 4). Se consideră satelit acel obiect pentru care există un număr de pixeli consecutivi cu intensități mai mari decât un prag (valoarea medie a fundalului). Numărul de pixeli consecutivi este determinat în funcție de lungimea medie a sateliților, care se cunoaște a priori.

Metoda de detecție pe baza aspectului liniar a determinat o creștere a ratei de succes, mai ales în cazul detecției sateliților de tip MEO. Din păcate, sateliții cu altitudine mai mare nu au toți un aspect liniar în imagine, sau lungimea dărei este prea scurtă, și intensitatea ei este prea mică față de fundal pentru a fi detectată prin această metodă. Din aceste motive, a fost nevoie de dezvoltarea unei metode noi, ce folosește avantajele stereoviziunii încă din faza de detecție.

Ideea principală este că, din moment ce avem deja stele de referință potrivite pe imaginea stângă și dreaptă (Feleac și Mărișel), coordonatele acestor stele definesc o corespondență între cele două imagini, ce poate fi folosită pentru a alinia orice stea din imaginea stângă cu o stea din imaginea

dreaptă. Pe baza acestor puncte se definește o transformare de rotație+translație, care se aplică apoi tuturor pixelilor din imagine. Datorită faptului că stelele nu au paralaxă perceptibilă față de cele două sisteme optice, în urma transformărilor pozițiile tuturor stelelor în cele două imagini sunt identice. În figura de mai jos se observă efectul aplicării acestor transformări pe imaginea stângă pentru a se potrivi cu fundalul imaginii drepte, și pe cea dreaptă pentru a alinia fundalul la imaginea stângă.

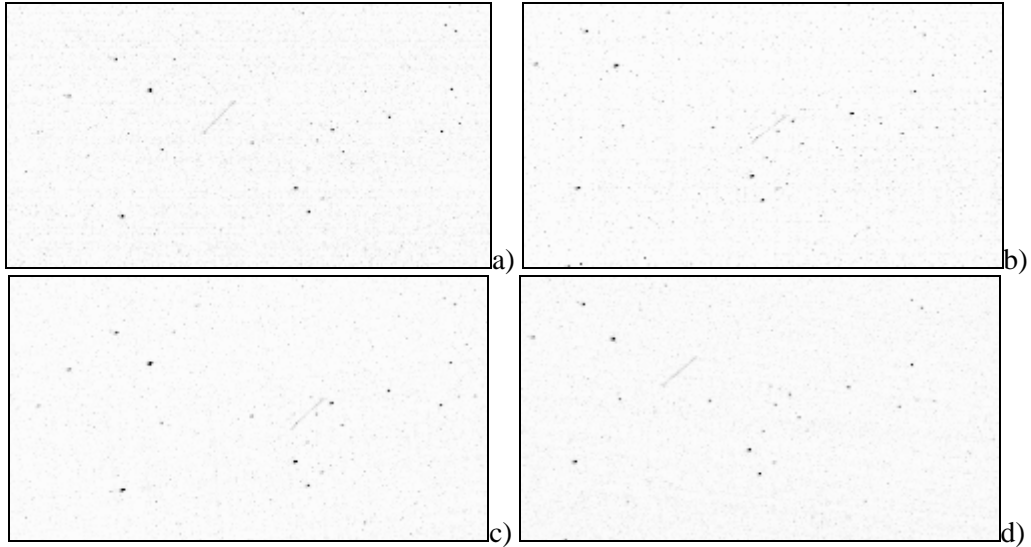


Figura 16. Transformarea prin alinierea fundalului între cele două imagini ale perechii stereo. Imaginile originale stânga (a) și dreapta (b), zona relevantă selectată. Imaginea dreaptă transformată pentru a se potrivi cu fundalul stâng (c), și imaginea stângă transformată pentru a se potrivi cu fundalul drept (d).

Devine evident că urma satelitelui, datorită efectului de paralaxă, nu este poziționată identic în cele două imagini pereche (stânga cu dreapta transformată, sau dreapta cu stânga transformată). Astfel, identificarea pixelilor sateliților înseamnă identificarea diferențelor dintre imaginile corespondente cu fundal aliniat. Acest proces este totuși destul de complex, deoarece trebuie ținută o sensibilitate mare la detecție, plus evitarea fals pozitivelor. Notând cu  $I_F$  imaginea originală de analizat ( $F$  – foreground) și cu  $I_B$  imaginea fundal (imaginea transformată, background), imaginea binară rezultat se obține prin aplicarea următorului algoritm:

$$I_T(x, y) = \eta \max(I_F(x, y), I_B(x, y))$$

$$M_F(x, y) = (I_F(x, y) > T)$$

$$M_B(x, y) = (I_B(x, y) > T)$$

$$M_{FD} = M_B \oplus D$$

$$M_{BD} = M_D \oplus D$$

$$M(x, y) = M_{DF}(x, y) \wedge M_{DB}(x, y)$$

$$I_\Delta(x, y) = I_F(x, y) - I_B(x, y)$$

$$I_R(x, y) = (I_\Delta(x, y) > I_T(x, y)) \wedge (I_\Delta(x, y) > T) \wedge \neg M(x, y)$$

În ecuațiile de mai sus,  $\eta$  este o constantă, 0.4,  $T$  este un prag constant cu valoarea 10, iar  $D$  este un nucleu circular cu raza 4, folosit pentru morfodilatate. Pixelii imaginii binare rezultat sunt apoi etichetați, și aria obiectelor conexe este analizată, eliminându-se obiectele cu arie mai mică de 10 pixeli. Rezultatul final este prezentat în figura 17.

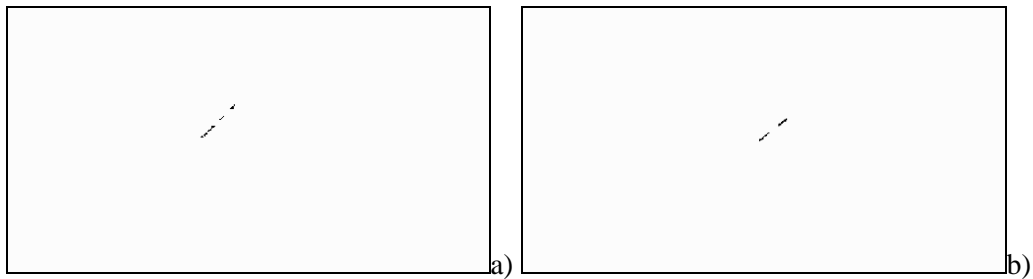


Figura 17. Rezultatul detecției pentru imaginea stângă (a) și pentru imaginea dreaptă (b).

Metoda bazată pe diferențele dintre perechile imaginilor stereo are o sensibilitate considerabilă, detectând obiecte cu altitudine până la 40 000 km, cu un contrast în spațiul imagine și o lungime a dărei extrem de mică. Eventualele fals pozitive, deși puține, sunt eliminate în procesul de găsire a corespondențelor stereo, pe baza distanței acestor corpuri față de linia epipolară.

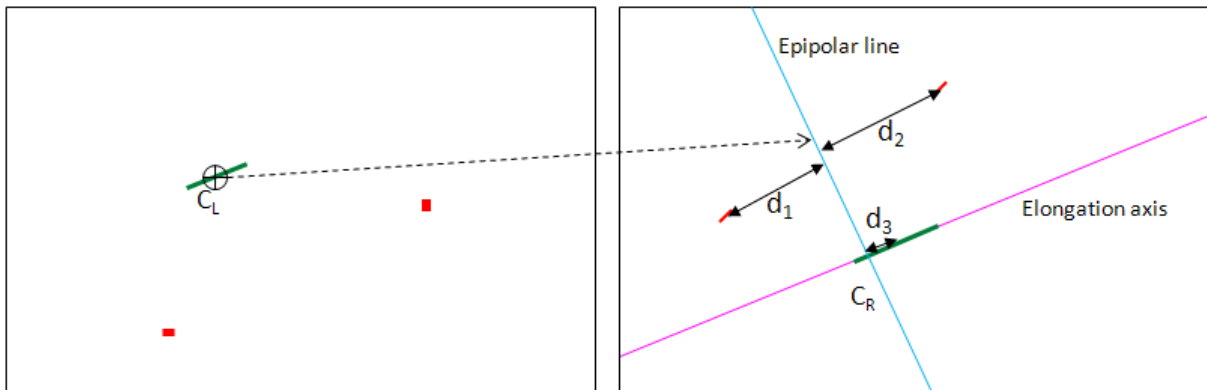


Figura 18. Căutarea corespondențelor stânga-dreapta, și eliminarea fals pozitivelor. Obiectele verzi sunt detecții corecte, iar obiectele roșii sunt fals pozitive.

### 4.3. Rezultate de detecție și măsură obținute cu noile metode dezvoltate

Testarea și validarea noilor metode dezvoltate s-a făcut pe secvențe de imagini preluate pe o durată de timp de aproximativ 3 ore în data de 23.11.2012, teste pe secvențele preluate cu noile sisteme optice fiind în lucru.

Observațiile preluate acoperă patru zone de pe cer, specificate printr-o stea centrală de referință, și conțin șase sateliți (patru MEO și doi Molniya, de tip HEO), a căror apariție și poziție au fost estimate folosind programul astronomic TheSky [11].

Aspectul sateliților din imaginile achiziționate variază foarte mult. În timp ce lungimea dărelor sateliților este în concordanță cu natura lor (MEO vs. HEO), intensitatea pixelilor satelitului pare a fi unică pentru fiecare din cazurile observate. Câteva astfel de exemple sunt prezentate în figura 19, unde intensitatea medie a sateliților variază de la 15 la 65, ceea ce face ca satelitul să fie mai luminos decât fundalul, care are o intensitate medie de 5, însă semnificativ mai puțin strălucitor decât stelele din imagine, care pot ajunge până la valoarea de saturație, 255. Pentru sateliții de pe orbite mai îndepărtate, cum ar fi Molniya, intensitatea scăzută este dublată de asemenea și de o lungime mai scurtă a dărei percepute.



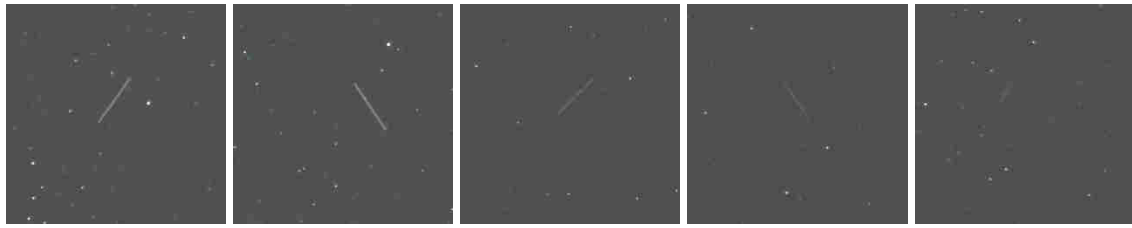


Figura 19. Aspectul sateliților în spațiul imagine. De la stânga la dreapta: GLONASS 733, GLONASS 738, GPS PRN10, GPS PRN8, Molniya 3-41. Intensitatea medie a sateliților: 55, 65, 30, 22, 15. Intensitatea medie a fundalului: 5.

Un nivel de intensitate variabil, și o lungime variabilă de a satelitului pot fi observate de asemenea chiar în cazul aceluiași satelit, în cadre diferite. Explicația pentru acest fenomen este rotirea rapidă a satelitului, care schimbă cantitatea de lumină reflectată, deoarece suprafața acestuia nu are o reflectivitate omogenă. Un astfel de exemplu este ilustrat în figura 20 pentru un satelit de tip Molniya, care poate varia de la o intensitate foarte puternică (valoare 255 - saturare) până la invizibilitate pe durata a doar 3-4 cadre. Acest comportament afectează puternic rata de detecție.

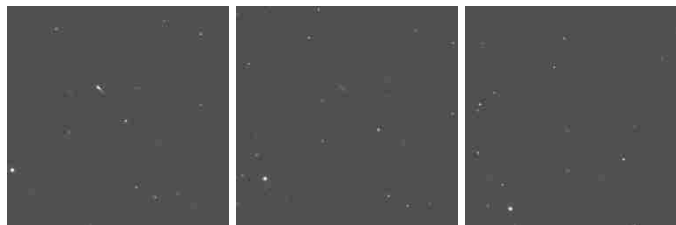


Figura 20. Intensitatea variabilă a satelitului Molniya 1-91 din cauza rotirii rapide a acestuia. De la saturare (stânga) la o intensitate de 36 (mijloc) și apoi 12 (dreapta).

Un rezumat al rezultatelor obținute pentru detecția și calculul coordonatelor sateliților este prezentat în tabelul 2. Măsurătorile prezise în raport cu stația de observare din Feleacu au fost generate folosind aplicația TheSky. Distanțele calculate sunt distanțele dintre vectorul 3D de coordonate a satelitului, în sistemul de coordonate ECEF, calculate prin stereoviziune, și vectorul 3D de coordonate din stația de observare Feleacu, calculat din coordonatele GPS folosind modelul geodezic. Timpul de observare este intervalul de timp dintre prima apariție a satelitului în ambele imagini ale perechii stereo și ultima apariție a acestuia. Timpul mediu între cadre este de 8 secunde, care include timpul de expunere de 4 secunde. Rata de detecție este calculată ca raportul dintre numărul de cadre în care satelitului este corect detectat și numărul total de cadre în care satelitul a fost observat cu ambele telescoape.

Regiune cerească	Nume satelit	Timp de observație (UTC+3)	Distanța medie prezisă (km)	Distanța medie măsurată (km)	Eroare medie (km)	Eroare medie absolută (km)	Rată de detecție (%)
SAO37985	GLONASS 733	0:33:24-0:35:16	19223.60	19131.73	-91.87	91.93	86.66
SAO37985	GLONASS 738	0:35:40-0:37:24	19242.26	19168.26	-74.00	73.99	100
SAO54449	GPS PRN 10	1:21:32-1:23:56	20455.47	20471.77	16.30	41.66	89.47
SAO54449	GPS PRN 8	1:47:48-1:49:40	20860.97	20849.13	-11.84	119.89	100
SAO36361	Molniya 3-41	2:09:16-2:16:04	32054.90	32590.26	-535.36	547.48	90.90
SAO25214	Molniya 1-91	2:37:40-2:50:44	39828.90	39651.32	-177.58	485.15	40.23

Tabel 2. Rezultatele detecției și calculului coordonatelor 3D pentru sateliți observați.

O comparație cadru cu cadru între distanțele prezise și cele măsurate este prezentată în figura 21. Distanța prezisă este linia verde continuă, iar măsurătorile sunt punctele albastre izolate.

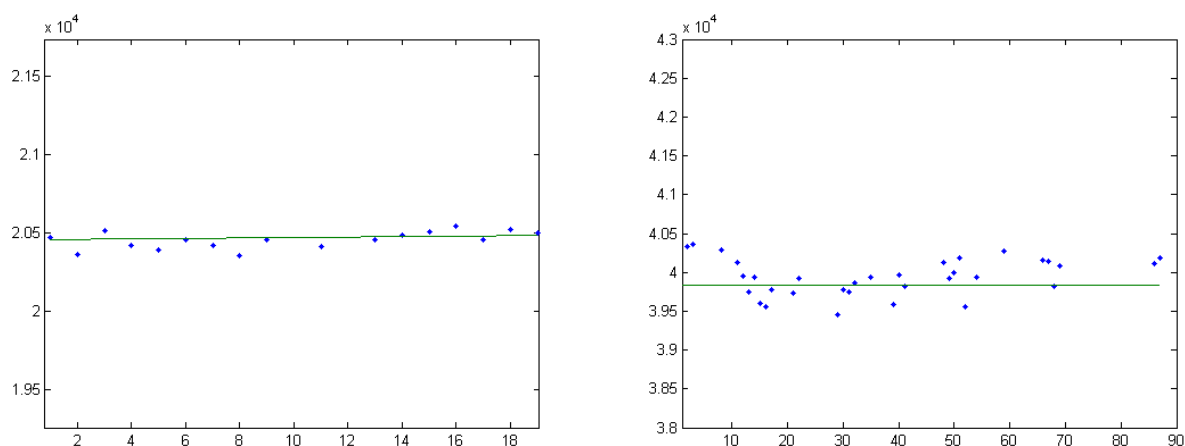


Figura 21. Rezultate determinare distanță cadru cu cadru. Stânga, satelitul GPS PRN 10, în zona SAO54449, dreapta, satelitul Molniya 1-91, în zona SAO25214.

Testele arată o acuratețe variabilă a măsurătorilor. După cum este de așteptat de la un senzor bazat pe stereoviziune, acuratețea este semnificativ mai bună pentru sateliți MEO față de cei de altitudine mare, deoarece acuratețea stereoviziunii descrește cu distanța. Eroarea de măsură corespunde unei erori de poziționare în spațiul imagine de 1-3 pixeli, ceea ce este de așteptat. Există totuși cazuri în care erorile de măsură par sistematice, indicând un deplasament permanent între predicție și măsurătoare, ce poate fi cauzat de predicții neactualizate.

Rata de detecție este mare pentru aproape toți sateliții, și adecvată pentru cazurile în care luminozitatea satelitelui variază constant dinspre puternic vizibil spre invizibil. Nu au existat fals pozitive, și nici măsurători complet greșite.

## 5. 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. Ciurte, 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-13 Physics Conference, Timisoara, Romania, 24-26 Nov, 2013. Program: <http://www.timconference.com/wp-content/uploads/Conference-Schedule.pdf>

3) A. Ciurte, 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. (**acceptat**)

De asemenea, a fost trimis și este în curs de evaluare:

4) R. Danescu, A. Ciurte, V. Turcu, „Low Cost Automatic Detection and Ranging System for Space Surveillance in the MEO Region and Beyond”, **în evaluare la jurnalul ISI Sensors**.

## 7. Dezvoltări ulterioare

În această etapă au fost făcute progrese semnificative spre dezideratul final, realizarea unui sistem de mare acuratețe pentru supravegherea orbitelor medii și înalte. Obiectivele planului de realizare au fost îndeplinite și chiar depășite.

Etapa următoare va avea ca obiectiv principal integrarea soluțiilor într-un sistem automat cu componente hardware și software robuste, optimizate, capabil să funcționeze cu intervenții minime din partea utilizatorului, în timp real. Planul de realizare prevede pentru etapa următoare realizarea unui sistem optic pentru detecția sateliților pana la orbite HEO, dezvoltarea de metode de calibrare automata pentru sisteme stereo de distanta mare (obiectiv parțial îndeplinit, dar unde mai sunt multe aspecte de perfecționat), dezvoltarea unui sistem software pentru detecția și reconstrucția 3D a obiectelor de pe orbite înalte folosind stereoviziunea, activitate în care se vor folosi modulele dezvoltate, vor fi integrate și optimizate, și dezvoltarea unui sistem pentru estimarea și propagarea iterativa a parametrilor orbitali TLE, pe baza măsurătorilor stereo. Pe durata întregii etape se vor efectua activități de achiziție de date de observație, testare și optimizare, și se va mări efortul în vederea diseminării rezultatelor, inclusiv prin patentare.

## Bibliografie

- [1] **Berry, R., Burnell, J.**, 2005, *The Handbook of Astronomical Image Processing. Second Edition* Willmann-Bell, Inc., Richmond, Virginia, USA
- [2] **Raab, H.**, 1993-2013, *Astrometrica*, <http://www.astrometrica.at>
- [3] \* \* \* Meade Instruments Corporation, 2013, <http://www.meade.com>
- [4] \* \* \* ASTROCOM gmbh, 2013, <http://www.astrocom.de/Teleskope+++Zubehoer/Reflektoren/ACF-Teleskope/index.htm>
- [5] \* \* \* RC Optical Systems, 2013, <http://www.rcopticalsystems.com/>
- [6] **Turcu, V.**, 2010, *Contribuții asupra metodelor de achiziție și prelucrare ale semnalelor în astronomie. Teză de doctorat*. Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
- [7] \* \* \* Celestron LLC., 2013, <http://www.celestron.com>
- [8] HOPF Elektronik, 2011, Technical Description PC satellite clock 6039 GPS, <http://www.hopf-time.com>
- [9] \* \* \*, Usno interactive catalog and image search. <http://www.usno.navy.mil/USNO/astrometry/optical-IR-prod/icas/fchpix> (accesat 15 November 2013)
- [10] **Danescu, R.; Oniga, F.; Turcu, V.; Cristea, O.**, Long baseline stereovision for automatic detection and ranging of moving objects in the night sky. *Sensors* 2012, 12, 12940-12963.
- [11] \* \* \*, Bisque theskyx serious astronomer edition. <http://www.bisque.com/sc/pages/TheSkyX-Professional-Edition.aspx> (accesat 18 October 2013).

## 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	5
	Mobilitati internationale	1
	Valoarea investitiilor în echipamente pentru proiecte	38512.93
	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	4
	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	2.651
	Numarul de citari normalizat la domeniu al publicatiilor	0
	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	8,8 %
	Valoarea contributiei financiare private la proiecte	120 000 mii lei