

ИСТОРИЯ, НАСТОЯЩЕ И ПЕРСПЕКТИВИ НА КОСМИЧЕСКИТЕ НАБЛЮДЕНИЯ И ПРОСЛЕДЯВАНЕ (SST) В БЪЛГАРИЯ

Огнян Огнянов¹, Явор Шопов², Петър Гецов³, Пенка Мъглова³,
Алексей Стоев³, Сергей Кузин⁴, Андрей Перцов⁴

¹Институт за високи технологии в индустрията 4.0, София

²Софийски университет „Кл. Охридски“, София

³Институт за космически изследвания и технологии, БАН, София

⁴Физически институт, РАН, Москва

e-mail: ognianov@acceco.com

Ключови думи: Космически наблюдения и проследяване, Познаване на ситуацията в космоса, Наблюдения на космически отпадъци в близкия Космос

Резюме: В доклада е представена историята на оптичните и лазерни наблюдения на Изкуствени спътници на Земята (ИСЗ) в България в периода 1958 - 2002 г. Показани са основните насоки на развитието на тази перспективна област на космическите изследвания в света, и в частност в САЩ, Русия и Европа.

Разгледани са главно европейските насоки на развитието на космическите наблюдения и проследяване (SST). Показани са главните усилия за изграждането на оперативна мрежа за наблюдения на ИСЗ и космическите отпадъци (SD).

Демонстрирани са типове наблюдения: радарно, оптично и лазерно. Също така са дефинирани типа наблюдения на SST и SD:

- Панорамни наблюдения за детектиране на обекти с използването на широкоъгълни светосилни обективи;
- Определяне на прецизни координати с използването на точно насочени телескопи с оптично водене;
- Определяне на точното разстояние до тях с лазерен сигнал;
- Оптично разпознаване (идентификация) на силуета на спътници и отработени елементи от тях.

Дискутирани са изграждането и развитието на наблюдателни мрежи в Европа и привързването на български наблюдатели на SST и SD към тях. Показани са отделните етапи на получаване и съхраняване на данни, каталогизирането на обекти и детайли.

В заключение е показана структурата за изграждането на такава станция за SST и SD в България, както и отделните етапи за това: Първи етап – оптични наблюдения, Втори етап – лазерни наблюдения, Трети етап – радарни наблюдения.

HISTORY, PRESENT AND PERSPEKTIVES OF SPACE SURVEILLANCE AND TRACKING

Ognian Ognyanov¹, Yavor Shopov², Petar Getsov³, Penka Malgova³,
Alexey Stoev³, Sergey Kusun⁴, Andrey Pertcov⁴

¹Institute of High Technology in Industry 4.0, Sofia

²Sofia University "Kl. Ohridski ", Sofia

³Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia

⁴Lebedev Physical Institute, RAN, Moscow

e-mail: ognianov@acceco.com

Keywords: Space Situational Awareness (SSA), Near Earth Objects, Space Surveillance and Tracking (SST), Observations of space debris in nearby Cosmos (SD)

Abstract: *The report presents the history of the optical and laser observations of Artificial Earth Satellites (ESA) in Bulgaria in the period 1958 - 2002. The main directions of the development of this perspective field of space research in the world, and in particular in the US, Russia and Europe.*

In particular, the European Development Guidelines Space Surveillance and Tracking (SST) are considered. The main efforts are being made to build an operational network for SST and Space Debris (SD) observations.

The types of observations have been demonstrated: radar, optical and laser. Also, the type of SST and SD observations is defined:

- Panoramic observations for object detection using wide-angle light-eyed lenses;
- Determination of precise coordinates with the use of accurately directed optical telescopes;
- Determining the exact distance to them with a laser signal;
- Optical identification of the silhouette of satellites and their processed components.

Discussion on development of observation networks in Europe and the participation of Bulgarian SST and SD observers to them were discussed. The individual stages of data acquisition and storage, cataloging of objects and details are shown.

In conclusion, the vision for the construction of such a station for SST and SD in Bulgaria is shown, as well as the different stages for this: First stage - optical observations, Second stage - laser observations, Third stage - radar observations.

Въведение

Бързо растящия брой малки сателити и планове за развитие на големи съзвездия от спътници допълнително увеличават необходимостта от надеждна и навременна информация за космическите обекти.

От 2009 г. насам Европейската космическа агенция (ESA) предприема програма за информираност за ситуацията в космоса (Space Situational Awareness - SSA) с три сегмента Space Weather (SWE), обекти в близост до Земята (NEO) и космическо наблюдение и проследяване (SST). Третия етап на програмата е одобрен от Управителния съвет на ЕКА през декември 2016 г. за период от три години от 2017 г. Общо 19 държави-членки на ЕКА участват в програмата SSA, от които 11 са абонирани за сегмента SST. В него са включени разработването на технологии за откриване, каталогизиране и проследяване на космическите обекти и на техните приложения за прогнозиране на сблъсъци, прогнози за повторно влизане на останки от сателити в атмосферата и откриване на събития с фрагментация, като първи важни стъпки към европейски капацитет в SST.

За да постигне тази цел, ESA се фокусира върху научните изследвания и развитие, подпомагане на националните инициативи и на взаимно допълване с други европейски подходи в SST. Очаква се, че в Европа възниква търсене на по-големи, транс-национални компоненти на SST и необходимост от технологични разработки за да се осигури оперативна съвместимост на системите. Примери за планирани дейности са космически SST сензори, софтуер за обработка, улесняване на механизмите за обмен на данни и общите методи и формати за обработка на данни. С дейностите на програмата SSA експертизата на ESA ще бъде допълнително използвана за подпомагане на научните изследвания, разработването и координирането на свързаните с космоса технологии в многонационална среда и при оценката и развитието на съответните нови технологии.

История на наблюденията на ИСЗ в България

На 4 октомври 1957 година е изстрелян Първият изкуствен спътник на Земята. Започва космическата ера в историята на Човечеството. Следват още стартове на ракети, възниква необходимост от изследване на движението на спътниците, еволюцията на техните орбити, промяната в блясъка им. Нужни са редовни наблюдения на движенията на изкуствените спътници на Земята (ИСЗ), а за реализирането на тази цел са необходими обучени наблюдатели. Така закономерно възниква нуждата от институции, занимаващи се с такава дейност.

Този процес не подминава и България. По инициатива на българския астроном академик Никола Бонев – ръководител на катедра Астрономия при СУ, който тогава е и председател на Българското астронавтическо дружество през периода 1958 - 1959 г. се създават три наблюдателни станции – в София, Стара Загора и Варна. Техните съответни номера са 1101 – София, 1102 – Стара Загора, 1103 – Варна. По-късно, тези станции преминават в Централната лаборатория по висша геодезия (ЦЛВГ) при БАН, чиято наблюдателна база е разположена в Плана планина (1101), Народната астрономическа обсерватория „Ю. Гагарин“ (НАО), Стара Загора с наблюдателна станция разположена в Старозагорските минерални бани, Област

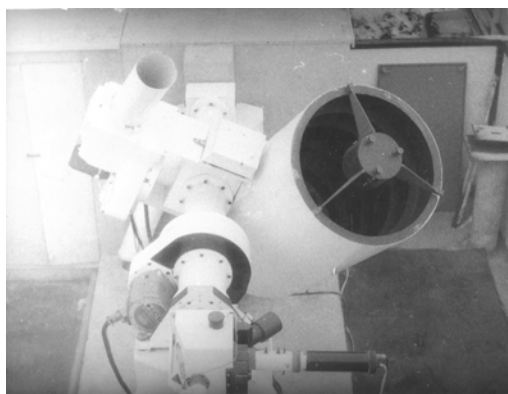
Стара Загора (1102) и Народната астрономическа обсерватория и планетариум „Н. Коперник“ (НАОП), Варна с наблюдателна база в с. Аврен, Област Варна (1103).



Първоначално наблюденията се провеждат по метода на визуалните баражи на ИСЗ с помощта на наблюдателни тръби АТ-1 и ТЗК, като точното време е отчитано с морски хронометри. Впоследствие, са закупени кинофототеодолити на



Фирмата „Аскания“ и специализирани служби за „Точно време“, което позволява да бъдат проведени високоточни наблюдения на ИСЗ с проследяване и на самите спътници. Ефемеридите за наблюдаваните спътници се получават от Астросъвета при АН на СССР, а резултатите от наблюденията се изпращат също там и в Астрономическата обсерватория в Звенигород, Русия. През периода 1979 – 1980 г. от СССР в България са доставени две автоматизирани фотографски камери АФУ – 75 (Автоматическая Фотографическая Камера; D = 210 мм, F = 736 мм) – едната за ЦЛВГ, БАН а другата – за НАО, Стара Загора. Наблюденията на ИСЗ в НАОП, Варна постепенно отпадат от списъка на научните наблюдения, поради невъзможност да се оборудва наблюдателната станция със следващо поколение астрономически уреди за наблюдения на ИСЗ.



За нуждите за космическото приборостроене през 1982 е създадено Научно производствено предприятие (НПП) „Космос“ към Централната лаборатория за космически изследвания (ЦЛКИ) - БАН. През 1984 – 1986 год. в НПП „Космос“, БАН съвместно с ЛИТМО – Ленинград (дн. Санкт Петербург, Русия) е разработен лазерен далекомер УЛИС-630 за наблюдение на изкуствени спътници на Земята. Изработени са три апарата, инсталирани в Централната Лаборатория по Висша геодезия, БАН, Астрономическата обсерватория на Държавния университет на Латвия и Астрономическата обсерватория в Звенигород край Москва. През 1981 г. в Стара Загора е организирана и проведена Международната конференция за оптични наблюдения на ИСЗ в рамките на Международната организация „Интеркосмос“, Секция 6 с участието на повече от 270 учени от 14 страни.

Визуалните, фотографски и лазерни наблюдения на ИСЗ в България продължават до 2002 г., когато постепенно те престават да бъдат извършвани поради липса на финансиране и преминаване на световните наблюдателни центрове за наблюдения на ИСЗ на по-високо технологично ниво.

Състояние на Космически наблюдения и проследяване

В настоящия момент основните наблюдения за каталогизиране на космическите обекти се извършва в САЩ и Русия. Програми за наблюдение имат и в Китай, където напоследък се изгражда голяма наблюдателна мрежа, Япония, Индия, Канада.

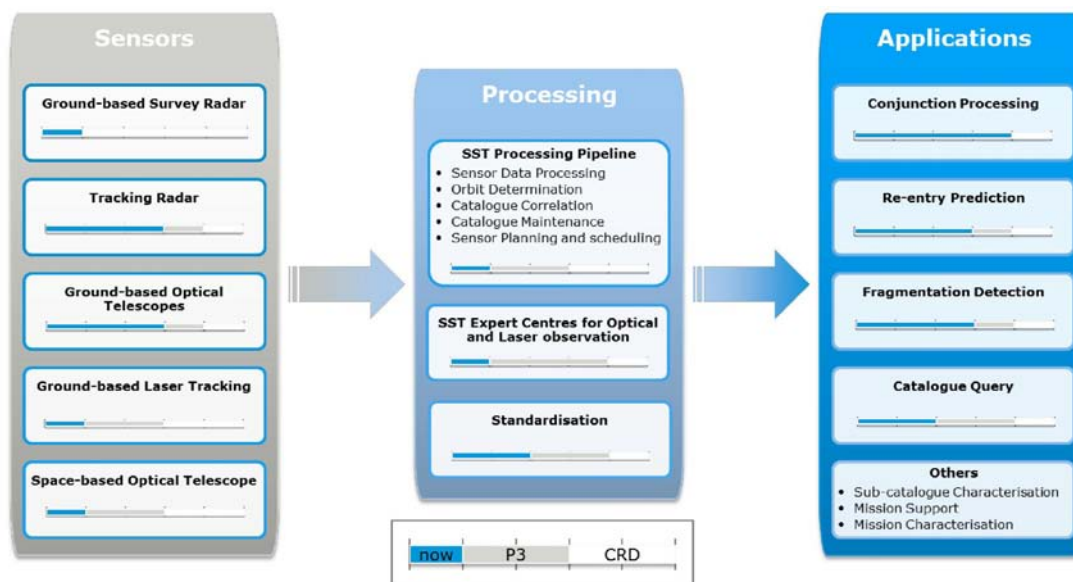
Големите европейски държави имат собствени наблюдателни мрежи, като за по голяма ефективност те постепенно се интегрират под егидата на ESA.

Програмата SSA се управлява чрез програмен офис, които е базиран в базата ESOC на ESA. Тя се изпълнява като незадължителна програма на ESA с финансово участие от 19 държави-членки. През първите два периода бяха утвърдени над 100 договора с индустрията за работа, свързана със SSA. Текущият период е финансиран с 95 млн. Евро за 2017-2019 година. През всичките три периода дейностите по SSA са финансирани на обща стойност около 200 милиона евро. Днес в програмата участват Австрия, Белгия, Чехия, Дания, Финландия, Франция, Германия, Гърция, Италия, Люксембург, Холандия, Норвегия, Полша, Португалия, Румъния, Испания, Швеция, Швейцария и Съединените щати, което позволява на юридическите лица от тези държави да кандидатстват за промишлени дейности по проекта.

SST включва технологии за откриване, каталогизиране и предсказване траекториите на обектите обикалящи около Земята. ESA разработва, демонстрира и утвърждава свързаните със SST технологии приложения. Допълването с други паралелни европейски подходи и научноизследователска и развойна дейност в подкрепа на националните инициативи се гарантира чрез изпълнението на програмата.

Очакваме бързо нарастващата необходимост от данни от SST да подкрепи оценката на ефективността на насоките за изпълнение и да допринесе за решаването на регулаторни въпроси [1]. Малките спътници се изстрелват с нарастваща честота в масови количества. Изведени са на няколко големи комерсиални съзвездия в орбита. SST е необходима за откриване на фрагментации в орбита и за споделяне на каталожна орбитална информация за генерираните фрагменти. Определена е средна стойност на годишната честота от около 3,4 фрагментации за последните 10 години [2]. Имайки предвид и статистическите данни за космически отломки с под-каталожни размери, MASTER модела на ESA изчисли, че повече от 750 000 обекти, по-големи от 1 см са в орбита на Земята [3] с потенциал да повредят или унищожат действащи спътници, създавайки още повече фрагменти.

Днес, разчитането на навременни и точни данни от каталога на SST е реалност в съвременните операции с космически апарати, особено за избягване на сблъсъци и за оценка на събитията за повторно навлизане. ЕКА и всички европейски национални космически агенции и комерсиални оператори зависят от данните от наблюдения от неевропейски (предимно американски) източници.



Фиг. 1. Статус на разработките на SST, планове за период 3 на програмата и изисквания в CRD, по [6]

Използването на външни данни от наблюдения е извън обхвата на програмата SSA на ESA. Оперативна подкрепа за мисиите, базирани на данни от наблюдения се предоставя от

Службата за космически отломки на ESA. ESA като оператор на космически апарати има действащи активности, като тази за осигуряване на услуга за избягване на сблъсъци [4], за предсказване на повторно влизане [5] и за подкрепа на непредвидени и специални фази на мисията на космически апарати, като Стартиране и Ранни орбитални фази (LEOP). За подпомагане на операциите на ESA, беше подписано споразумение за обмен на данни между USSTRATCOM и ESA през 2014 г., позволяващо операциите на ESA да бъдат предупреждавани в случай на идентифициран риск от сблъсък.

План на SST в третия период на програмата

Плановите в програмния период 3 за SST са описани подробно в този раздел. Следваме потока от данни за SST: започвайки от сензорните системи, последвани от мрежови аспекти и на обработката на данни и производните им приложения. Форматите за обмен на данни и стандартите, както и сътрудничеството се разглеждат отделно.

Можем да сравним текущото състояние и планираните постижения в програмата със създадения от SSA на ESA документ за изискванията на клиента (CRD). Фигура 1 показва, че най-добрият прогрес досега може да бъде докладван за приложенията и за някои избрани сензорни технологии, докато за проучвателните радарни не е предвидена пътна карта за периода 3.

1. Дейности на SST сензорите.

Проучена е една нова за Европа сензорна технология, която е космически базиран инструмент за SST цели. Основните проучвания проведени в рамките на Програмата за общи изследвания (GSP) на ESA, дадоха жизнеспособна концепция за фаза А. Космическа платформа на нискоземна, Слънце-синхронна орбита в залез/зора, която сканира цялото GEO ежедневно с пасивен фиксирано-мнтиран телескоп с около 20 см апертура е намерена за достатъчна за постигане на задачите за SST, определени в CRD. Концепцията на мисията е гъвкава за прилагане чрез демонстратор или полезен товар, базиран на мисия за наблюдение на Земята в сътрудничество с националните структури. Освен това този дизайн на сензорите може значително да допринесе за подобряването на статистически познания за подкаталожните малки космически отпадъци в LEO. С подкрепата на програмата за развитие на технологията на ESA, консолидиращият дизайн от GSP проучването е допълнително детайлизиран. Прецизиран дизайн на мисията и инженерния модел на сензора за космически базиран SST компонент е планиран в периода 3.

Наземните телескопи, лазерните системи за измерване и радарните сензори са предмет на изследователска и развойна дейност (например, развитието на лазерните далекомери, използването на двата роботизирани телескопа на ESA или моностатични и бистатични радарни системи, притежавани от ESA). Целта е продължение на подкрепата на разработване на националните сензори, особено за посрещане на международни технологични нужди на всички нива на технологична готовност и за квалифицирани национални сензори.

2. Дейности в областта на сензорните мрежи и обработката на данни от SST и свързаните с тях технологии.

Развитието на технологиите за SST за оптични и лазерни сензори се нуждае от създаване на експертни центрове в областта. Наскоро първата версия на технологията на експертния център бе разгърната и тествана. През периода 3 се провежда финализирането на разработките и обширните тестови операции. Целта е да се използва ефективният обмен на данни с външни сензори за насърчаване на оперативната съвместимост на SST системи и сензорни инсталации. Освен това, подкрепата на Експертния център за квалификация, оценка и калибриране сензори, както и за подобряване на сензорите и разработките, вече е демонстрирана. Тази демонстрация разкрива голям потенциал и в подкрепа на националните дейности

3. Дейности в приложенията за SST

SST поставя фокуса на развитието върху SST сензорите и обработката на данни. Вече разработените приложения за SST за предотвратяване на сблъсъци, предсказване на събития на повторно навлизане, откриване на фрагментация и допитвания до каталозите ще бъдат поддържани, допълнително интегрирани и валидирани, като се използват наличните данни. Поддръжката ще включва и внедряване на нови и ревизирани стандартизирани формати на съобщенията в подкрепа на основните софтуерни дейности на SST.

4. Аспекти на сътрудничеството и стандартизация в SST

Нова посока в развитието на SST в Европа идва с въвеждането на финансирана от ЕС Рамка за подкрепа на SST. В тази сложна и динамична среда работата на SST на ESA ще продължи да подкрепя развитието на европейските способности чрез научноизследователска и

развойна дейност. Тези дейности ще бъдат допълнени от свързаните с това тестове и валидиране, разработване на сензорни технологии, обработка на данни и приложения.

ESA ще продължи да подкрепя и да води дейности, свързани със стандартизацията на SST (например в CCSDS).

Заклучение

Като заключение може да кажем, че целия сегмент на космическо наблюдение на околоземното пространство е в бурно развитие и се развива много динамично. Като се има предвид опита в България от такива наблюдения и участието на страната в ЕКА, е естествено да се очаква възстановяването на наблюденията и в нашата страна. Стъпка в тази посока е създаването на Национален Център за Космическо Наблюдение и Проследяване (ЦКНП) в гр. Стара Загора. В началният етап, поради липса на собствена наблюдателна база е предвидено въз основа на договори със съществуващи 3 малки обсерватории да започнат тестови наблюдателни кампании за изясняване на технологията и организацията на този тип наблюдения. Към тези станции се очаква да се включат и други 2 обсерватории които се очаква да бъдат изградени в близко бъдеще. През този първи етап се предвижда да се провеждат само оптични наблюдения, за детектиране и проследяване на космически обекти, отработване на технологията, подбор на необходимата техника за втория етап и провеждане на експерименти за обмяна на съобщения между обсерваториите и националният център за обработка и каталогизиране. На този етап се планира и провеждане на експеримент по обмяна на съобщения с мрежата на ESA за SST. На вторият етап се предвижда при спечелване на проект за изграждане на научна инфраструктура, в гр. Стара Загора да бъде изградена собствена обсерватория за космически наблюдения. Поради ограничения размер на очакваното финансиране се предвижда да бъде изградена базовата инфраструктура, оптична обсерватория с автоматизирано наблюдение и национален компютърен център за обработка на резултатите. Предвижда се при възможност да се запази сътрудничеството с обсерваториите от първият етап на проекта, което ще позволи в България да се изгради мрежа от наблюдателни станции. Такава постановка ще изведе наблюденията у нас на много високо ниво. На третия етап при спечелване на европейски проект е предвидено инсталиране на лазерен далекомер, което ще даде възможност за пълно определяне координатите на космическите обекти. Тъй като в страната има известна налична инфраструктура и опит в научните среди, на следващи етапи, при наличие на финансиране се предвижда изграждане и на станция за радарно наблюдение.

Литература:

1. ESA Space Debris Office, ESA's Annual Space Environment Report, GEN-DB-LOG-00208-OPS-GR, available via <https://discosweb.esoc.esa.int/web/guest/statistics>, 2017.
2. Braun, V, Lemmens, S, Reihls, B, Krag, H. and Horstmann, A., Analysis of Breakup Events, In: Proceedings of the Seventh European Conference on Space Debris, Darmstadt, Germany, 2017.
3. Flegel, S., Gelhaus, J., Wiedemann, C., Vorsmann, P., Oswald, M., Stabroth, S. and Krag, H. The MASTER-2009 Space Debris Environment Model. In: Proceedings of the Fifth European Conference on Space Debris, Darmstadt, Germany, 2009.
4. Braun, V., Flohrer, T., Krag, H., Merz, K., Lemmens, S., Bastida Virgili, B., Funke, Q., Operational support to collision avoidance activities by ESA's space debris office. CEAS Space Journal, 8(3), 2016.
5. Lemmens, S., Bastida Virgili, B., Braun, V., Flohrer, T., Funke, Q., Krag, H., Mclean, F., and Merz, K., From end-of-life to impact on ground: An overview of ESA's tools and techniques to predicted re-entries from the operational orbit down to the Earth's surface, In: Proceedings of the 6th International Conference on Astrodynamics Tools and Techniques, Darmstadt, Germany, 2016.
6. Flohrer, T. and Krag, H., ESA's SSA Programme: Activities in Space Surveillance and Tracking (2017) in press
7. Масевич, А. Г., Лозинский А. М., Фотографически наблюдения искусственных спутников Земли, «Научные информации Астрономического совета АН СССР», 1970, с. 18.
8. Utzmann, J., Wagner, A., Silha, J., Schildknecht, T., Willemsen, P., Teston, F. and Flohrer, T. A system design for space-based space surveillance. In Proceedings of Small Satellites Systems & Services Symposium, Porto Petro, 2014.
9. Utzmann, J., et al., Optical In-Situ Monitor – A Step Towards European Space-Based Debris Observations, Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference, Maui, Hawaii. 2017.
10. Kirchner, G., Koidl, F., Friederich, F., Buske, I., Vülker, U., and Riede, W. Laser measurements to space debris from Graz SLR station. Advances in Space Research, 51(1), 2013.