

ПРОГРАМНА АВТОМАТИЗАЦІЯ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА ГЕОСИНХРОННИМИ СУПУТНИКАМИ ЗЕМЛІ

Віктор Кудак, доктор філософії, Василь Періг, дослідник, Іван Найбауер, інженер
ДВНЗ «Ужгородський Національний Університет», навчально-наукова лабораторія
космічних досліджень
e-mail: viktor.kudak@uzhnu.edu.ua

Віталій Герасимов, к.т.н., доцент,
Мукачівський Державний Університет, Україна
e-mail: vitgerv@gmail.com

<https://doi.org/10.23939/istcmtm2025.01.051>

Анотація

Програмна автоматизація спостережень за геосинхронними супутниками Землі є важливим інструментом для ефективного моніторингу космічного простору. Представлена в роботі програма «Plan» створена для автоматизації процесу планування спостережень телескопом Takahashi BRC-250M. Розробка базується на алгоритмах, що враховують видимість супутників, фазу Місяця, перерви між кадрами, а також оптимізацію переміщень телескопа для зменшення часу спостережень. Програма інтегрується з телескопом через протокол TSP/IP та генерує текстові файли планів, які використовуються для наведення. Застосування таких інструментів дозволяє забезпечувати точні та систематичні спостереження, а також сприяє ефективному управлінню ресурсами. Особливістю рішення є підтримка оновлення TLE-даних для визначення координат супутників та врахування індивідуальних параметрів кожного об'єкта. Це надає можливість адаптації до специфічних потреб спостереження за геостационарними супутниками.

Ключові слова: спостереження, автоматизація, штучні супутники Землі, Python

Вступ

Оскільки для вирішення багатьох наукових, військових, навігаційних та інших задач найбільш вигідною є геостационарна орбіта, там перебуває велика частина діючих апаратів. У світлі інтенсивного застосування розвиненими країнами супутників зростає усвідомлення того, що можливості геостационарної орбіти не безмежні, і тому потрібно направляти значні зусилля на підтримку в робочому стані систем контролю космічного простору. Незважаючи на те що координати геостационарних супутників (ГСС) можна визначити методом радіолокації, оптичні спостереження залишаються основним джерелом інформації для моніторингу та каталогізації об'єктів в цій галузі.

Проблема планування спостережень і їх автоматизації завжди є актуальною для обсерваторій, що працюють з великою кількістю спостережень. На даний час відомо декілька існуючих пакетів для планування спостережень, як наприклад `astroplan`[1], але нажаль його досить тяжко застосувати для спостережень геосинхронних супутників.

Авторами була розроблена власна програма «Plan» для автоматизації спостережень за супутниками на геостационарній орбіті для телескопу TakahashiBRC-250M[2] ($F=1268\text{ mm}$, $D=250\text{ mm}$), що розташований в пункті спостережень Деренівка (с.Нижне Солотвино) навчально-наукової лабораторії космічних досліджень ДВНЗ «УжНУ». Середовище розробки Python 3. Доступ до програми на сайті: <https://github.com/vkudak/plan>

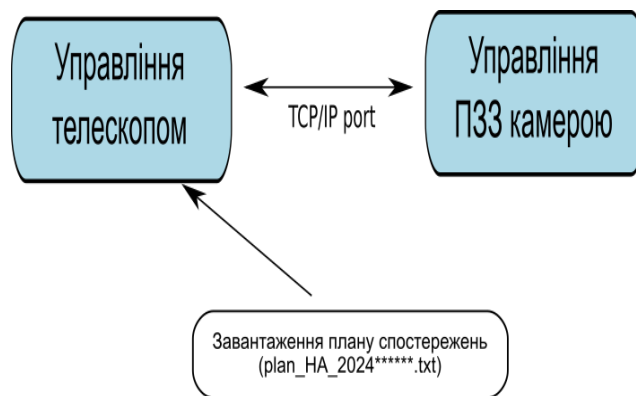


Рис.1 Організація зв'язку між програмою та системою управління телескопом та ПЗЗ камерою

Задача що вирішується скриптом:

Програма “Plan” здійснює генерацію плану спостережень геосинхронних супутників Землі. Програма складається з модуля керування телескопом та модуля керування ПЗЗ камерою (CCD), які організовуються каналом спілкування один з одним через протокол TCP/IP на визначеному порту (Рис.1.). В задачу скрипта входить створення текстового файлу (plan_YYYY-MM-DD.txt) з координатами та часом послідовного наведення телескопу на різні супутники зі списку спостерігача.

Створений файл підвантажується в програму керування телескопом, щоб вона знала, в якому порядку здійснювати наведення на заплановані об'єкти та з якими параметрами експозиції отримувати їх зображення.

Особливості роботи програми полягають у наступному — супутники спостерігаються в специфічний спосіб - робиться 7-10 кадрів об'єкта підряд, або з перервою декілька секунд (назвемо це одним виміром одного об'єкта, коли ми відзняли всі об'єкти то отримали серію спостережень всіх об'єктів), і такі дії повторюються ще 2-3 рази протягом ночі мінімально з 30 хв інтервалом, в такий спосіб отримуємо 2-3 серії вимірів усіх об'єктів. При цьому потрібно врахувати мінімальні переміщення телескопа, що досягається простим сортуванням об'єктів по значенню годинного кута на момент початку спостережень. Спостереження починаємо зі сходу на захід, так як на сході з вечора кращий фазовий кут для спостережень. Потім повертаємось до початку. В ідеалі потрібно враховувати фазовий кут об'єкта, шукати об'єкт з мінімальним фазовим кутом, попадання в тінь, пріоритет об'єкта іт.д. Враховується також час зйомки одного кадру, та час переміщення телескопу між об'єктами (на даний момент просто задається вручну фіксований з запасом). Також враховується потрапляння об'єкта в тінь Землі, в такому разі його не видно і спостерігати його немає змісту. Загальний алгоритм роботи скрипта представлено на рисунку 2.

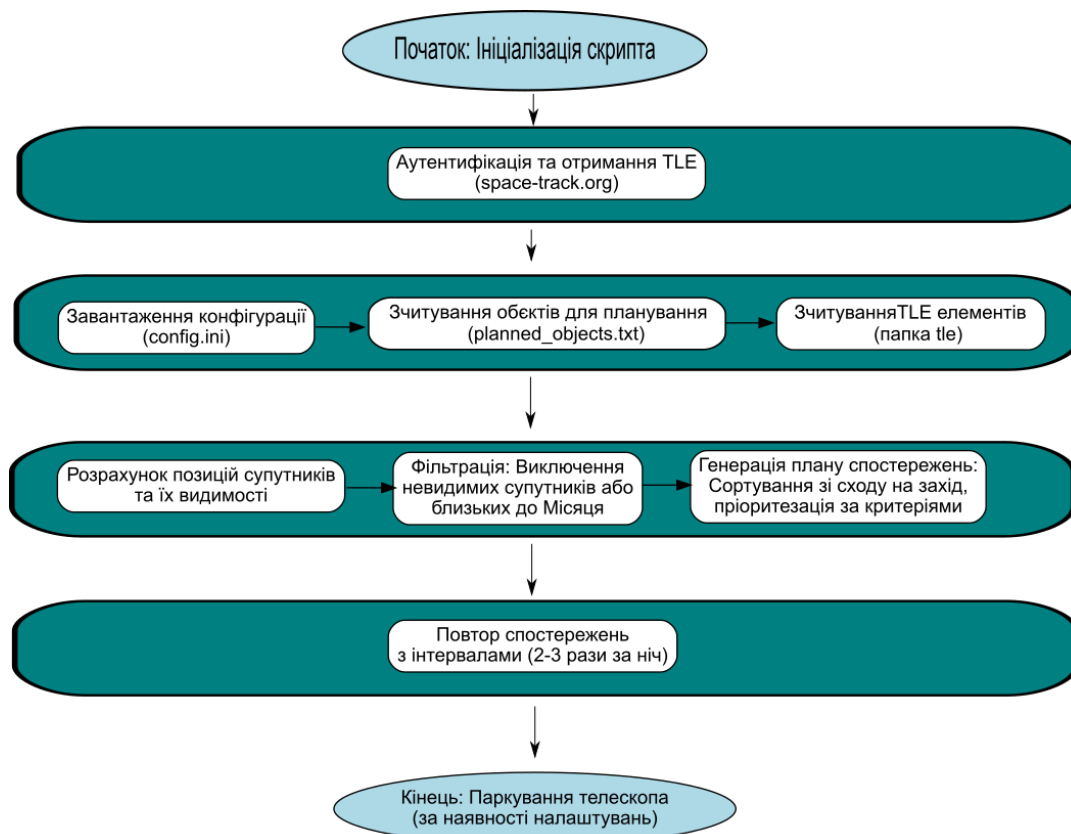


Рис 2. Загальний алгоритм роботи програми.

Планування починається в момент настання сутінок, або з моменту запуску скрипта, якщо момент сутінок уже минув для даної ночі. Для скрипта не задається дата, обрахунки робляться на поточну дату.

Майже всі налаштування винесені для зручності в окремий конфігураційний файл config.ini. В конфігураційному файлі прописані також секції з паркування телескопа, якщо така опція потрібна користувачу то пропонується вказати координати куди слід направити телескоп по завершенню завдання.

Розрахунок плану здійснюється в двох варіантах (plan_type) — пряме сходження і схилання (α , δ) або годинний кут і схилання (t , δ). Зазвичай використовують другий варіант (HA, DEC) для спостережень геосинхронних супутників. Також передбачена можливість супроводження об'єкта монтуванням, якщо об'єкт має власну швидкість відносно поверхні землі більшу ніж задане порогове значення.

Спостереження об'єктів при місячному світлі є досить великою проблемою, тому нами передбачено збереження кутової відстані в градусах від Місяця - dist1 в період коли фаза Місяця менша за 50 % і dist2 (більша віддаль в градусах) коли фаза більше 50 %.

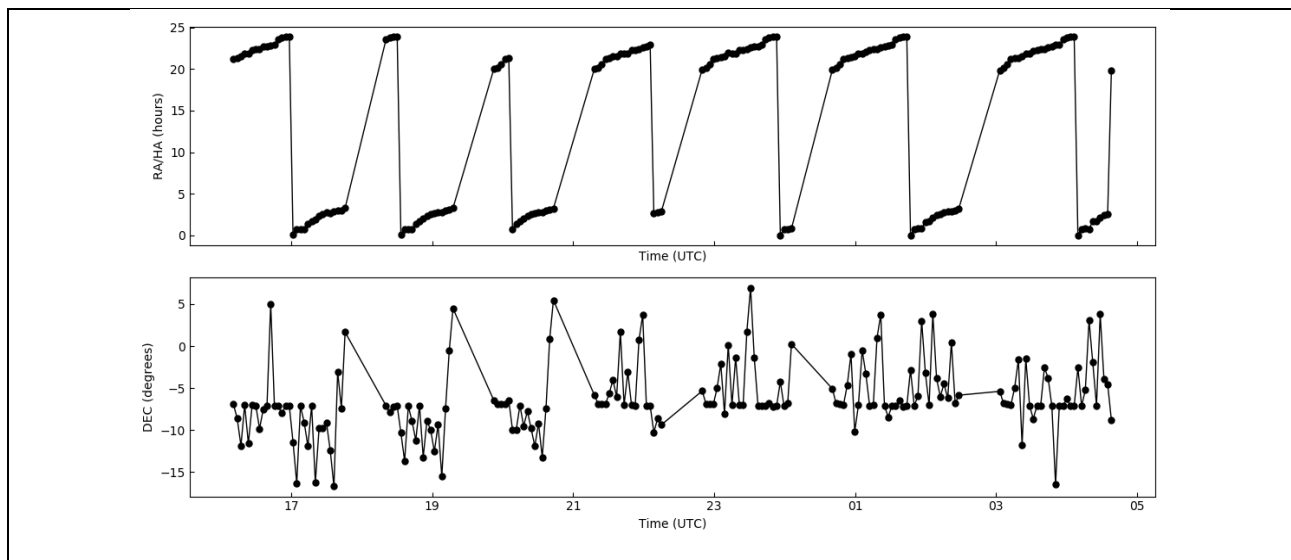


Рис. 3 План спостереження за 18 супутниками телескопом на основі програми Plan

В конфігураційному файлі знаходиться секція автентифікації для отримання TLE елементів з спеціалізованих сайтів (space-track.org, n2yo.com). Для цього використовуються додаткові скрипти які повинні бути запущені до початку планування. Файли з TLE елементами розміщуються в теці "tle", що розташована в тій самій теці, що і скрипт планування. TLE елементи використовуються для розрахунку точного місцеположення об'єкта на час спостережень [3, 4], для цього використовуються додатковий пакети Python – ephemeris[5].

Результат роботи програми – планування спостереження за супутниками, що розміщуються на геостационарній орбіті наведено на рисунку 3.

Висновок

Розроблене програмне забезпечення для планування роботи телескопу дозволяє отримувати план спостережень за штучними супутниками на геостационарній орбіті в залежності від багатьох факторів – пріоритету локалізації супутників на орбіті, їх видимості та врахування фази Місяця під час спостереження. Робота програми базується на загальноприйнятому алгоритмі розрахунку руху тіл за законами небесної механіки та фізики. Вхідні дані завантажують та обробляються у вигляді скриптових файлів з врахуванням TLE-елементів орбіти, які оперативно оновлюються і знаходяться у відкритому доступі.

Список використаної літератури:

- [1] J. N. Pelton, S. Madry & S. Camacho-Lara, *Satellite applications handbook: The complete guide to satellite communications, remote sensing, navigation, and meteorology*, Handbook of satellite applications, 2017.
- [2] H. Li, *Geostationary satellites collocation*. Berlin, Germany: Springer, 2014.
- [3] Z. Zhang, G. Zhang, J. Cao, C. L. W. Chen, X. Ning, & Z. Wang, "Overview on Space-Based Optical Orbit Determination Method Employed for Space Situational Awareness: From Theory to Application", In *Photonics*, MDPI, Vol. 11, No. 7, p. 610-619, 2024.
- [4] B. M. Morris, E. Tollerud, B. Sipöcz, C. Deil, S. Douglas, T. Medina & E. Jeschke, "Astroplan: an open source observation planning package in Python", *The Astronomical Journal*, 155(3), 128, pp. 9-14, 2018. <https://doi.org/10.3847/1538-3881/aaa47e>
- [5] M. Mora, M. Solar, "A survey on the dynamic scheduling problem in astronomical observations", In *IFIP International Conference on Artificial Intelligence in Theory and Practice*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. September, 2010, pp. 111-120.
- [6] J. Patris, "Preparing astronomical observations and observing with OHP facilities", In *EPJ Web of Conferences EDP Sciences*, Vol. 9, p. 215-226, 2010
- [7] M. Solar, P. Michelon, J. Avarias, & M. Garcés, "A scheduling model for astronomy". *Astronomy and Computing*, 15, p. 90-104. 2016.

- [8] V. P. Epishev, V. I. Kudak, I. I. Motrunich, I. F. Najbauer, V. M. Perig, P. P. Sukhov & V. M. Mamarev, "Analysis of the development and capabilities of optical systems, distribution on space vehicles of the strategic designation of the USA and Russia". *Aerospace technology NTZ Vipusk 3 (3)-Kyiv*, 3, p. 5-12, 2019.
- [9] V. P. Epishev, P. P. Sukhov, I. I. Motrunych, V. I. Kashuba, V. I. Kudak, V. M. Perig & I. F. Najbauer, "Complex observations of geosynchronous maneuvering objects by Ukrainian terrestrial means". *Scientific Herald of Uzhhorod University. Series Physics*, 43, p. 54-62, 2018.
- [10] V. P. Epishev, I. I. Motrunych, V. M. Perig, V. I. Kudak, "The opportunities of national ground-based optical space surveillance assets for the control of the geostationary orbit in the interests of the armed forces of Ukraine". *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*, 3(33), p. 61-70, 2018.
- [11] Y. Oromanyuk, O. V. Shulga, L. S. Shakun, N. I. Koshkin, Y. B. Vovchuk, A. I. Bilinsky & Ivaschenko, Y. M. "Monitoring the artificial space objects with Ukrainian network of optical stations", *Odessa, Astronomical Publications*, 34, pp. 85-88, 2021.
- [12] V. Epishev, I. Molotov, V. Kouprianov, V. Perig, I. Najbauer & I. Motrunich, "Observation of space debris and GEO satellites in Derenivka", *40th COSPAR Scientific Assembly, PEDAS-1, Ukraine*, 2014, p. 40.
- [13] D. Vallado, P. Crawford, "SGP4 orbit determination", *AIAA/AAS Astrodynamics Specialist Conference and Exhibit*, 6770, 18-21 August, Honolulu, 2008. <https://doi.org/10.2514/6.2008-6770>.
- [14] B. S. Lee, "NORAD TLE conversion from osculating orbital element", *Journal of Astronomy and Space Sciences*, 19(4), p. 395-402, 2002.
- [15] B. C. Rhodes, *PyEphem: astronomical ephemeris for Python*, Astrophysics Source Code Library, ascl-1112, 2011.