

УДК 523.68; 520.34; 520.37; 520.373; 521.31; 521.95
DOI: <https://doi.org/10.17721/BTSNUA.2024.70.63-66>

Павло КОЗАК, канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.
ORCID ID: 0000-0001-8357-8446
e-mail: kpm@knu.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Сергій СТАРИЙ, канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.
ORCID ID: 0009-0005-9501-0301
e-mail: astro59@ukr.net

Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова НАН України, Київ, Україна

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕНЬ МЕТЕОРІВ, НАКОПИЧЕННЯ СПОСТЕРЕЖНИХ ДАНИХ ТА ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Вступ. Сучасні спостереження метеорів мають орієнтуватися на автоматизацію як процесу спостережень, так і на опрацювання спостережних даних. Кінцева мета спостережень метеорів полягає у представленні їхніх фізичних і кінематичних характеристик для наукової спільноти, включаючи фотометричні характеристики, а також елементи їхніх геліоцентричних орбіт.

Методи. Зазвичай метеорні спостереження проводили нецентралізовано та випадково. У сучасному науковому світі цей процес поставлено "на конвеєр". Проте варто зважати на те, яким способом організувати метеорні спостереження та презентацію результатів їхнього опрацювання. Нині є багато методів, що дозволяють із більшою чи меншою ефективністю опрацювати результати спостережень та організувати в бази даних отримані результати.

Результати. В нашому випадку пропонуємо розглянути варіант багатокамерного поєднання для організації кількісних спостережень із метою накопичення даних, а також якісного підходу до розуміння фізики метеора – зокрема і процесу нагрівання космічної частки, її фазових переходів і кінцевого випаровування.

Висновки. Використання автоматизованих систем спостереження метеорів, а в перспективі й автоматизованого опрацювання результатів спостережень, дозволить перевірити ряд гіпотез щодо теорії фізики метеора, що буде важливим кроком до розуміння походження Сонячної системи.

Ключові слова: метеор, базисні спостереження метеорів, відеоспостереження, спостережна апаратура, накопичення та збереження даних, автоматизація процесу спостережень.

Вступ

Сучасні спостереження метеорів у оптичному діапазоні ґрунтуються, в основному, на використанні відеокамер. Ідеться, очевидно, про базисні – двосторонні одночасні – спостереження. Сучасні відеокамери для спостережень метеорів із технічного погляду можна розділити на два типи: аналогові й цифрові. Майбутнє у метеорній спостережній астрономії, і не тільки, очевидно належить цифровим відеокамерам. Однак нині, відходячи в минуле, аналогові відеокамери у метеорній астрономії завоювали певне місце, дякуючи своїм певним характеристикам. Це, насамперед, висока чутливість деяких із них, що є необхідним для метеорних спостережень. По-друге – це широко розвинута у світі електронно-технічна база, яка забезпечує функціонування аналогових камер, зокрема і плати відеозахоплення, ТВ-тунери тощо. Використання аналогових камер, у поєднанні з комп'ютером, нині є настільки спрощеним, що дозволяє любителям метеорної астрономії не лише проводити кваліфіковані спостереження, але й об'єднуватись у спостережні метеорні мережі. У ряді випадків, такі мережі організують за участі професіоналів (Vida et al., 2021).

Нині існують відеоспостережні мережі метеорів. До них належать мережа камер огляду всього неба (*Cameras for All sky Meteor Surveillance*), організована під егідою НАСА (<http://cams.seti.org/FDL/>), а також болідна мережа всього неба (*NASA All-sky Fireball Network*), знову ж таки організована НАСА (<https://fireballs.ndc.nasa.gov/>). Інша широко відома – одна з найбільших у світі – мережа метеорних спостережень, організована вже японськими аматорами – Японська мережа аматорів метеорної астрономії СонотаКо (*SonotaCo Meteor Network Japan*), яка сьогодні має дуже велику базу даних спостережень (http://sonotaco.com/e_index.html). Іспанська болідна мережа (*SPMN: Spanish Meteor Network*) була заснована 1997 р. (<http://www.spmn.uji.es/ENG/presentation.html>) і продовжує існувати досі. Інтенсивно розвивається Європейська метеорна мережа (*EDMOND: The European viDeo MeteOr Network Database*), яка вже накопичила великий банк даних і претендує на створення глобальної світової метеорної мережі (<https://fmpn.uniba.sk/en/microsites/daa/division-of-astronomy-and-astrophysics/research/meteors/edmond/>).

Проте бази даних, що створені та підтримувані такими спостережними мережами, зазвичай, закриті. Один із небагатьох винятків – японська мережа СонотаКо (http://sonotaco.com/e_index.html). А крім того, бази даних являють собою суто таблиці кінематичних параметрів метеорів, тобто їхні траєкторії в земній атмосфері, та елементи геліоцентричних орбіт метеороїдів. Однак для глибокого дослідження метеора як фізичного явища слід використовувати всю доступну інформацію про спостережений метеор. І тут виникає необхідність доступу до оригінального кадру (серії кадрів) із наявним зображенням метеора в його розвитку. Наприклад, для вивчення фізики польоту метеора важливо мати його повну криву блиску, а не лише значення зоряної величини в максимумі, як це загалом дається в каталогах. Крім того, надзвичайно важливими є перші кадри із зображенням метеора – адже саме вони демонструють таку важливу фізичну характеристику явища як висота появи метеора, тобто висота початку його світіння. Іншими словами, для всебічного вивчення такого комплексного явища, як метеор, потрібно мати доступ до оригінальних зображень. А найкраще, що можна зробити щоб цього досягти – організувати власні базисні спостереження. В перспективі такі базисні спостереження незалежними парами відеокамер можуть бути об'єднані у спільну базу даних у межах певного проекту (Голубаєв та ін., 2022).

© Козак Павло, Старий Сергій, 2024

Методи

З класичного погляду базисні спостереження метеорів, тобто одночасні двосторонні спостереження того самого метеора (метеорів) полягають в організації двох спостережних пунктів, які обладнані необхідною спостережною технікою і дозволяють реєструвати незалежно метеорні події. Подальше зведення даних та ідентифікація спільних метеорних явищ завершується їх математичним опрацюванням і каталогізацією. Увесь цей процес можна розділити, умовно, на три (або навіть чотири) складові. По-перше, це технічна організація самого процесу спостережень, який успішно реалізується реєстрацією спільного метеора. По-друге, це накопичення спостережних даних для подальшого спільного опрацювання. По-третє – саме базисне математичне опрацювання, яке на вході приймає відеоролики із зображенням метеора на фоні зоряного неба, а на виході видає усі кінематичні характеристики метеора. Крім того, відносно незалежно (з подальшою прив'язкою до висоти), обчислюють його фотометричні характеристики. Четвертий (умовний етап) – зведення даних для представлення світовій науковій спільноті: у вигляді каталогу, або інтерактивної бази даних.

Для досягнення всіх трьох основних задач можна використовувати різні методи та підходи. Водночас і задача накопичення та збереження даних для подальшого опрацювання, і саме опрацювання є хоча і важливими етапами, та організація самого процесу спостереження – детектування та збереження зображення метеора – є найбільш трудомісткою задачею. В сучасних спостереженнях, очевидно, усі трудомісткі процеси мають бути повністю або частково автоматизовані. Розглянемо послідовно різні методи автоматизації усіх етапів процесу спостереження й оброблення метеора.

Перший і найголовніший елемент сучасних спостережень метеорів – підбір відеокамер. Нині цей вибір уже зроблено як аматорами, так і професіоналами. Якщо не вдаватися в перспективи майбутнього, а саме переходу на цифрові відеокамери, то усі зараз використовують аналогові достатньо чутливі камери японського виробництва Watec. Це, в першу чергу, камери WAT-902H2 Ultimate, WAT-120N, або новіші WAT-910HX. Параметри камер добре описано в інтернеті, зокрема і на сайті виробника (<http://www.watec.co.jp>), тому немає сенсу зупинятися на них. Об'єктиви – інший важливий елемент спостережного ланцюжка. Зазвичай, аматори метеорної астрономії намагаються отримати максимум спостережених метеорів, тому вибирають широкі поля зору, часто 80°–100°. Однак професіоналам цікава, насамперед, точність обчислених параметрів. А отже, просторова роздільна здатність має бути високою, а для цього варто використовувати відносно довгофокусні об'єктиви. Так і вчинили – тобто збільшили кількість відеокамер, але з більшою фокусною відстанню, не дивлячись на збільшення собівартості спостережної установки. Це зробили науковці з мережі камер усього неба (<http://cams.seti.org/FDL/>).

Інший важливий, і фінансово вартісний елемент – організація оцифрування відеоспостережень. Тут є кілька варіантів. Класичний – використання для кожної камери свого ТВ-тюнера (зовнішнього USB або внутрішнього, зазвичай PCI). Така схема, тобто камера-тюнер, загалом працює добре, однак у разі одинарного застосування. Якщо є необхідність одночасно використати 2–3, а то і 4 відеокамери на одному комп'ютері, то така схема не буде оптимальною, і навряд чи взагалі працюватиме в операційній системі Windows. Альтернатива – використання аналогових, або аналого-цифрових відеореєстраторів з охоронних систем, наприклад виробництва Dahua, або Hikvision. Однак головна задача таких відеореєстраторів, не дивлячись на досить високу їхню якість, – видавати зображення реального часу на екран монітора. Для спостережень метеорів головною задачею є якраз алгоритми тригерного захоплення динамічного об'єкта, з подальшим коректним записом цих зображень у файл, який надалі буде опрацьовуватися. Тому оптимальним виглядає нині використання класичних плат відеозахоплення, які можуть бути багатоканальні. Раніше такі плати застосовували лише професіоналами відеомонтажу і вартували вони дуже багато. Але нині, з переходом на цифрові відеокамери, ціна впала на порядки, і такі професійні плати стали доступними для багатьох споживачів.

Щодо запису та подальшого збереження відеоданих, то тут є два базові варіанти. Перший – класичний – накопичення даних на носіях персонального комп'ютера, який використовують для спостережень метеорів із подальшою прямою, або через інтернет, передачею даних на сервер. Другий – передача відеороликів у режимі реального часу на сервер. Кожен із методів має як переваги, так і недоліки.

Автоматизація опрацювання даних – найсуперечливіша задача. В багатьох випадках, коли використовують методи так званого автоматичного опрацювання метеорів, виникають доволі курйозні ситуації. Наприклад, коли метеор (http://sonotaco.com/e_index.html) має висоту більше 300 км. Тут варто зауважити, що автори цієї бази даних розуміють проблематику і тому прямо вказують у поясненнях, що результати автоматичного опрацювання зображень метеорів не аналізувалися. Проблема тут очевидна – для супроводу й аналізу сотень тисяч спостережень людиною-професіоналом – потрібен великий час, і це повністю нівелює автоматизацію процесу. З іншого боку, не зрозуміло, як можна використовувати результати опрацювання, які по суті нічого не відображають.

Результати

В нашому випадку ми намагалися оптимізувати весь науково-технічний спектр задач відповідно до наукових вимог, з одного боку, та фінансових потенційних витрат – з іншого. Загалом прийняли таку схему. Щодо технічного забезпечення, використовували камери в захисному боксі. Окремий комп'ютер був оснащений оперативною системою Windows. Як оцифрувальний пристрій було використано 4-канальну стандартну плату відеозахоплення. Камери Watec були розміщені у водонепроникному боксі з терморегуляцією та можливістю обігріву, нагрівальний елемент потужністю 5 Вт використовував живлення камери 12 В. Об'єктиви камер із відносним отвором $f/1.3$ створювали поле зору 80°. Відеокамера була відрегульована в режимі максимальної чутливості, і для того, щоб унеможливити псування матриці камери денним світлом, а особливо, прямим сонячним світлом, діафрагма об'єктиву камери – так званий "автоайріс" – був під'єднаний не до самої камери, а до зовнішнього джерела живлення 5 В. Це джерело регулювалось фотореле: воно вмикалось під час зменшення освітленості нижче певного порогового рівня, та вимикалось під час збільшення освітленості. Камери були розміщені зовні будівлі і потребували проведення в будинок трьох кабелів завдовжки приблизно 3 м: а) кабель відеосигналу, б) живлення камери 12 В, в) живлення "автоайрісу" об'єктива камери, підключеного до фотореле блока живлення 5В.

Опрацювання відеопотоку здійснювалось програмним забезпеченням HandyAvi ver.4.3B (виробник Anderson's AZscendant Software). Алгоритм роботи програми був такий: за появи на темному тлі світлого рухомого об'єкта програма зберігала відеофрагмент найбільш рухомого об'єкта у вигляді avi-файлу з визначеною кількістю кадрів до нього та після нього, а також jpg-зображення, виконане додаванням усіх кадрів відеозапису. Налаштування програми дозволяли регулювати чутливість, тобто поріг спрацьовування детектора руху, а також записувати відео з використанням різних кодеків стиснення. Для досягнення заздалегідь установленого часу програма PowerOff вимикала комп'ютер. У світлу частину доби він не працював, хоча обігрів камери проводився весь час і керувався термореле, яке знаходилось в боксі разом із камерою. Фотореле було окремим модулем, який регулював роботу "автоайрісу" об'єктиву камери. Для досягнення достатньо темного фону неба він подавав живлення 5 В на шторки "автоайрісу" й діафрагма об'єктива відкривалася, і навпаки, у разі досягнення достатньо світлого фону неба він припиняв подачу живлення і забезпечував, тим самим, закриття шторок об'єктива камери. Зазначимо, що без подачі живлення об'єктив камери є закритим і захищеним від потрапляння світла на матрицю.

Програмне забезпечення TimeMeto слугувало для синхронізації годинника на комп'ютері із часом NTP-сервера з метою встановлення на комп'ютері точного часу. Програмне забезпечення Teamviewer слугувало для забезпечення можливості зв'язку з даним комп'ютером через інтернет, керуванням ним у віддаленому доступі та пересиланням результатів спостереження.

Дискусія і висновки

Запропонована в цій роботі автоматизована система базисних спостережень метеорів не є оптимальною, однак вона працює коректно в режимі мінімальних фінансових витрат. За необхідності, камери спостереження можуть бути доповнені спектральними передоб'єктивними ґратками, що дозволить одночасно реєструвати спектр метеора, а відтак і визначати, частково, його хімічний склад. Загалом зазначимо, що такі автономні (відносно) відеосистеми є прообразом майбутнього, коли багатоканальні мережі спостережень метеорів працюватимуть в абсолютно автономному режимі, який включатиме всі елементи спостереження, накопичення й опрацювання спостережних результатів, з їхньою подальшою каталогізацією.

Внесок авторів: Павло Козак – ідея наукового розроблення, забезпечення та наповнення змістом статті, опис характеристик спостережної апаратури з використанням досвіду попередніх метеорних спостережень та опрацювання спостережних даних; Сергій Старий – опис технічних можливостей плати відеозахоплення, опис віддаленого керування спостереженнями, опис використаних комп'ютерних програм.

Подяки, джерела фінансування. Роботу виконано за підтримки Міністерства освіти і науки України (№ ДР 0124U001304).

Список використаних джерел

Голубаєв, О. В., Горбаньов, Ю. М., Шульга, О. В., Андреев, О. А., Бушуєв, Ф. І., Відьмаченко, А. П., Грудинін, Б. О., Жилиєв, Б. Є., Калюжний, М. П., Козак, П. М., Куліченко, М. О., Малиновський, Є. В., Мозгова, А. О., Савчук, С. Г., Стеклов, О. Ф., Сумарук, Ю. П., & Янків-Вітковська, Л. М. (2022). Створення Української Метеорної Спостережної Мережі: інструменти, методи обробки, спостережні можливості. *Космічна наука і технологія*, 28(4), 39–70. <https://doi.org/10.15407/knit2022.04.039>

Vida, D., Segon, D., Gural, P., Brown, P., McIntyre, M., Dijkema, T.J., Pavletic, L., Kukic, P., Mazur, M., Eschman, P., Roggemans, P., Merlak, A., & Zubovic, D. (2021). The Global Meteor Network – Methodology and first results. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 506, 5046–5074. <https://doi.org/10.1093/mnras/stab2008>

References

Golubaev, A. V., Gorbanev, Yu. M., Shulga, O. V., Andreev, M. A., Bushuev, F. I., Vidmachenko, A. P., Hrudynin, B. O., Zhilyaev, B. E., Kaliuzhnyi, M. P., Kozak, P. M., Kulichenko, M. O., Malynovskyi, Ye. V., Mozgova, A. O., Savchuk, S. G., Steklov, A. F., Sumaruk, Yu. P., & Yankiv-Vitkovska, L. M. (2022) Creation of the Ukrainian meteor observation network: instruments, methods for processing, observatin possibilities. *Space Science and Technology*, 28(4), 39–70 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/knit2022.04.039>

Vida, D., Segon, D., Gural, P., Brown, P., McIntyre, M., Dijkema, T.J., Pavletic, L., Kukic, P., Mazur, M., Eschman, P., Roggemans, P., Merlak, A., & Zubovic, D. (2021). The Global Meteor Network – Methodology and first results. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 506, 5046–5074. <https://doi.org/10.1093/mnras/stab2008>

Отримано редакцією журналу / Received: 02.12.24

Прорецензовано / Revised: 03.12.24

Схвалено до друку / Accepted: 06.12.24

Pavlo KOZAK, PhD (Phys. & Math.), Senior Researcher
ORCID ID: 0000-0001-8357-8446
e-mail: kpm@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Serhiy STARIY, PhD (Phys. & Math.), Senior Researcher
ORCID ID: 0009-0005-9501-0301
e-mail: astro59@ukr.net
V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

AUTOMATION OF METEOR VIDEO OBSERVATION PROCESS, ACCUMULATION OF OBSERVATIONAL DATA, AND OBSERVATION RESULTS PROCESSING

B a c k g r o u n d . *Modern observations of meteors have to be oriented onto both automation of the observational process and processing of the observational data. The final aim of the meteor observation is in presence of their physical and kinematical characteristics for the scientific community, including photometrical characteristics, and also the elements of their heliocentric orbits.*

M e t h o d s . *As a rule, the meteor observations were carrying out not centralized, and randomly. In the modern scientific world this process is put onto pipeline. But we have to note at this how we should organize the meteor observations, and the presentation of their processing. At the present, there are a range of methods allowing processing the observational results with more or less efficiency, and to join results onto databases.*

R e s u l t s . *In our case we propose to consider a case of multi-cameras composition for organization of quantitative observations with the aim of the data accumulation, and also for understanding meteor physics, in part, the processes of heating, its phase transfers, and final vaporization.*

C o n c l u s i o n s . *The use of automatic systems for the meteor observations, and in prospects automatic data processing, will allow to check a range of hypotheses for the meteor physics theory, which could be an important step for understanding of the Solar System origin.*

K e y w o r d s : *meteor, meteor double-station observations, video-observations, observational devices, accumulating and saving the data, automation of observation process.*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The author declares no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.