

УДК 523.68; 520.34; 520.37; 520.373; 521.31; 521.95
DOI <https://doi.org/10.17721/BTSNUA.2024.70.??-??>

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

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

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

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

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВІДЕО-СПОСТЕРЕЖЕНЬ МЕТЕОРІВ, НАКОПИЧЕННЯ СПОСТЕРЕЖНИХ ДАНИХ, ТА ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

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

Методи. Як правило метеорні спостереження проводилися не централізовано та випадково. У сучасному науковому світі цей процес поставлений «на конвеєр». Але при цьому слід зважати, яким чином організовувати метеорні спостереження та презентацію результатів їх опрацювання. Наразі існує ряд методів, що дозволяють з більшою чи меншою ефективністю опрацювати результати спостережень, та організувати в бази даних отримані результати.

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

Висновки. Використання автоматичних систем спостереження метеорів, а в перспективі і автоматичного 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, відео-спостереження, спостережна апаратура, накопичення та збереження даних, автоматизація процесу спостережень.

Вступ

Сучасні спостереження метеорів в оптичному діапазоні ґрунтуються, в основному, на використанні відео-камер. При цьому мова йде, очевидно, про базисні – двохсторонні одночасні – спостереження. Сучасні відео-камери для спостережень метеорів з технічної точки зору можна розділити на два типи: аналогові і цифрові. Майбутнє у метеорній спостережній астрономії, і не тільки, очевидно належить цифровим відеокамерам. Однак на сьогодні, відходячі у минуле аналогові відеокамери, у метеорній астрономії завоювали певне місце, дякуючи своїм певним характеристикам. Це, в першу чергу, висока чутливість деяких з них, що є необхідним для метеорних спостережень. По-друге – це широко розвинута у світі електронно-технічна база, яка забезпечує функціонування аналогових камер, в тому числі плати відео-захоплення, ТВ-тюнери та ін. Використання аналогових камер, у поєднанні з комп'ютером, наразі є настільки спрощеним, що дозволяє любителям метеорної астрономії не лише проводити кваліфіковані спостереження, але і об'єднуватись в спостережні метеорні мережі. У ряді випадків, такі мережі організуються за участі професіоналів (Vida et al. 2021).

Так, на сьогодні, існує ряд відео-спостережних мереж метеорів. Це і 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 уже японськими аматорами – Японська мережа аматорів метеорної астрономії СонотаКо (*SonotaCo Network Japan*), яка на сьогодні має дуже велику базу даних спостережень (http://sonotaco.com/e_index.html). Іспанська болідна мережа (*SPMN: Spanish Meteor Network*) була заснована 1997 року (<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 уже накопичила великий банк даних, та претендує на створення глобальної світової метеорної мережі (<https://fmph.uniba.sk/en/microsites/daa/division-of-astronomy-and-astrophysics/research/meteors/edmond/>).

Тим не менш, бази даних створені та підтримувані такими спостережними мережами, як правило, закриті. Один з небагатьох винятків – японська мережа СонотаКо (http://sonotaco.com/e_index.html). А крім того, бази даних являють собою по суті таблиці кінематичних параметрів метеорів, тобто їх 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) з присутнім зображенням метеора в його розвитку. Так, 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 важливим є перші кадри з 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 зо-

бражень. А найкраще що можна зробити щоб цього досягти – організувати власні базисні спостереження. В перспективі такі базисні спостереження незалежними парами відеокамер можуть бути об'єднані в спільну базу даних в рамках певного проекту (Голубаєв та ін., 2022).

Методи

З класичної точки зору базисні спостереження метеорів, тобто одночасні двохсторонні спостереження одного і того ж 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 математичною обробкою та каталогізацією. Увесь цей процес можна розділити, умовно, на три (або навіть чотири) складових. По-перше, це технічна організація самого процесу спостережень, який успішно реалізується реєстрацією спільного метеора. По-друге – це накопичення спостережних даних для подальшої спільної обробки. По-третє – сама базисна математична обробка, яка на вході приймає відеоролики з зображенням метеора на фоні зоряного неба, а на виході видає усі кінематичні характеристики метеора. Крім того, відносно незалежно (з подальшою прив'язкою до висоти), обчислюються його фотометричні характеристики. Четвертий – умовний етап – приведення даних для представлення світовій науковій спільноті: у вигляді каталогу, або інтерактивної бази даних.

Для досягнення усіх трьох основних задач можна використовувати різні методи та підходи. В той час як задача накопичення та збереження даних для подальшої обробки, та сама обробка є хоча і важливими етапами, та організація самого процесу спостереження – детектування та збереження зображення метеора – є найбільш трудомісткою. В сучасних спостереженнях, очевидно, усі трудомісткі процеси мають бути повністю, або частково автоматизовані. Розглянемо послідовно різні методи автоматизації усіх етапів процесу спостереження та обробки метеора.

Перший і найголовніший елемент сучасних спостережень метеорів – підбір відеокамер. Наразі, 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 більш новіші WAT-910HX. Параметри камер гарно описані в мережі Інтернет, зокрема на сайті виробника (<http://www.watec.co.jp>), тому немає сенсу зупинятися на них. Об'єктиви – інший важливий елемент спостережного ланцюжка. Як правило, аматори метеорної астрономії намагаються отримати максимум спостережених метеорів, тому вибирають широкі поля зору, часто 80° – 100° . Однак професіоналам цікава, в першу чергу, точність обчислених параметрів. А отже, просторова роздільна здатність має бути високою, а для цього слід використовувати відносно довгофокусні об'єктиви. Так вчинили – тобто збільшили кількість відеокамер, але з більшою фокусною відстанню, не дивлячись на збільшення собівартості спостережної установки – науковці з мережі камер всього неба (<http://cams.seti.org/FDL/>).

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

Що стосується запису та подальшого збереження відео-даних – то тут є два базових варіанти. Перший – класичний – накопичення даних на носіях персонального комп'ютера, який використовується для спостережень метеорів з подальшою прямою, або через Інтернет, передачею даних на сервер. Другий – передача відео-роликів в режимі реального часу на сервер. Кожен з методів має як свої переваги, так і недоліки.

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

Результати

В нашому випадку ми намагалися оптимізувати увесь науково-технічний спектр задач у відповідності до наукових вимог, з одного боку, та фінансових потенційних витрат – з іншого. Загалом була прийнята наступна схема. Щодо технічного забезпечення, використовувалися камери в захисному боксі. Був окремий комп'ютер оснащений оперативною системою Windows. У якості оцифровуючого пристрою було використано 4-х каналну стандартну плату відео-захоплення. Камери Watec були розміщені у водонепроникному боксі з терморегуляцією та можливістю обігріву, нагрівальний елемент потужністю 5 Вт використовував живлення камери 12В. Об'єктиви камер з відносним отвором 1.3 створювали поле зору 80° . Відеокамера була відрегульована в режим максимальної чутливості, і для того, щоб унеможливити псування матриці камери денним світлом, а особливо, прямим сонячним світлом, діафрагма – вихід

«автоайрісу» – об'єктив камери був під'єднаний не до самої камери, а до зовнішнього джерела живлення 5В. Це джерело регулювалось фотореле: воно вмикалось при зменшенні освітленості нижче певного порогового рівня, та вимикалось при збільшенні освітленості. Камери були розміщені зовні будівлі і потребували проведення в будинок трьох кабелів довжиною приблизно 3 м: а). кабель відеосигналу, б). живлення камери 12В та в). живлення «автоайрісу» об'єктиву камери, підключеного до фотореле блоку живлення 5В.

Обробка відеопотоку здійснювалась програмним забезпеченням HandyAvi ver.4.3B (виробник Anderson's AZcendant Software). Алгоритм роботи програми полягав в наступному: при появі на темному тлі світлого рухомого об'єкту програма зберігала відеофрагмент самого рухомого об'єкту у вигляді avi-файлу з визначеною кількістю кадрів до нього та після нього, а також jpg-зображення, зроблене шляхом додавання всіх кадрів відеозапису. Налаштування програми дозволяла регулювати чутливість, тобто поріг спрацьовування детектора руху, а також записувати відео з використанням різних кодексів стиснення. При досягненні заздалегідь встановленого часу програма PowerOff вимикала комп'ютер. В світлу частину він не працював, хоча обігрів камери проводився весь час і керувався термореле, яке знаходилось в боксі разом з камерою. Фотореле було окремим модулем, який регулював роботу «автоайрісу» об'єктиву камери. При досягненні достатньо темного фону неба він подавав живлення 5В на шторки «автоайрісу» і об'єктив ставав відкритим, і навпаки, при досягненні достатньо світлого фону неба він припиняв подачу живлення і забезпечував, тим самим, закриття шторок об'єктиву камери. Слід відмітити, що без подачі живлення об'єктив камери є закритим і захищеним від потрапляння світла на матрицю.

Програмне забезпечення «tmeteto» слугувало для синхронізації годинника на комп'ютері з часом NTP-серверу з метою встановлення на комп'ютері точного часу. Програмне забезпечення Teamviewer слугувало для забезпечення можливості зв'язку з даним комп'ютером через мережу Інтернет, керуванням ним у віддаленому доступі, та пересиланням результатів спостереження.

Дискусія і висновки

Запропонована в даній роботі автоматизована система базисних спостережень метеорів не є оптимальною, однак вона працює коректно в режимі мінімальних фінансових витрат. При 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 слід відзначити, що такі автономні (відносно) відео-системи є прообразом майбутнього, коли багатокамерні мережі спостережень метеорів будуть працювати в абсолютно автономному режимі, який буде включати усі елементи спостереження, копичення, та обробки спостережних результатів, з їх подальшою каталогізацією.

Внесок авторів. Павло КОЗАК – ідея наукової розробки – забезпечення та наповнення змістом статті – опис характеристик спостережної апаратури з використанням досвіду попередніх метеорних спостережень та обробки спостережних даних; Сергій СТАРИЙ – опис технічних можливостей плати відеозахвату – опис віддаленого керування спостереженнями – опис комп'ютерних програм які були використані.

Джерела фінансування. Роботу виконано за підтримки Міністерства освіти та 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., Жиліаєв Б.Є., Калиужний М.П., Козак П.М., Куліченко М.О., Малиновський Є.В., Мозгова А.М., 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., Kucic 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. <https://doi.org/10.15407/knit2022.04.039>

Vida D., Segon D., Gural P., Brown P., McIntyre M., Dijkema T.J., Pavletic L., Kucic 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: 2.12.2024

Прорецензовано / Revised: 3.12.2024

Схвалено до друку / Accepted: 6.12.2024

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

Serhiy STARIY, Ph.D. (Phys. & Math.), Senior Researcher
ORCID ID: 0009-0005-9501-0301
email: astro59@ukr.net
V.Ye. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine

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

***Introduction.** 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.*

***Methods.** 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.*

***Results.** 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.*

***Conclusions.** The use of automatic systems for the meteor observations, 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.*

Keywords: *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.