

УДК 531.7

ПРИЛADOVA СИСТЕМА ДЛЯ ТРИВИМІРНОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЗРАЗКІВ ТА ВИРОБІВ З БУРШТИНУ

Подчаишинський Ю. О., Рижук А. В., Лугових О. О., Чепюк Л. О.
Державний університет “Житомирська політехніка”, Житомир, Україна
E-mail: jup@ztu.edu.ua, traveller2762@gmail.com

Бурштин дорогоцінний камінь, що сформувався приблизно 30-40 мільйонів років з смол дерев та зберігся до наших часів. Його висока вартість обумовлюється обмеженістю родовищ, де його видобувають. Найбільші залежи розташовані на узбережжі Балтійського моря, також України, Румунії, Білорусії, Росії, Мексиці та США [1].

Окрім ювелірної справи бурштин широко застосовується в парфумерії, декорі, промисловості (фарби, лаки) та медицині. Зважаючи на існуючий попит на цю сировину, відмовитись від неї не можливо тому важливо досліджувати, розробляти та удосконалювати існуючі методи обробки, щоб мінімізувати втрати матеріалу при обробці. Тобто забезпечувати попит меншими об'ємами сировини [1, 2].

Тривимірна візуалізація зразків бурштину важлива для технологічної оцінки форми, вкраплень, кольору, об'єму та розрахунку майбутнього виробу з мінімальними витратами матеріалу. Для удосконалення методів обробки пропонується впровадження приладової системи машинного зору та використання сучасних комп'ютерних систем, що в сукупності можуть реконструювати 3D модель досліджуваного зразка бурштину. Такий підхід дозволить більш точно планувати подальші дії що до обробки, що безумовно буде сприяти зменшенню втрати матеріалу під час обробки та підвищить ефективність технологічного процесу.

Для реконструкції об'єкту за допомогою SFM (Structure from motion) алгоритму потрібна секвенція зображень цього об'єкту з різних ракурсів. Даний алгоритм призначений для відновлення розташування та позиціонування камери, що на основі контрольних точок відповідності між зображенням створює розрізнену хмару точок [3, 4].

Ключові етапи реконструкції за допомогою SFM алгоритму:

1. Формування секвенції зображень об'єкту з різних ракурсів;
2. Калібрування камери;
3. Знаходження інваріантних ознак на зображеннях;
4. Зіставлення інваріантних ознак на сусідніх зображеннях;
5. Корегування пучка;
6. Отримання хмари точок досліджуваного об'єкту.

Для реконструкції зразка бурштину була сформована секвенція з 16 зображень, які були зроблені по колу з кроком 15° та 30° по колу за годинниковою стрілкою. Наступним важливим етапом в будь-якій системі технічного зору є калібрування камери. Ключовими параметрами, які отримуються після калібру-

вання є внутрішні та зовнішні параметри камери та різноманітні види спотворень. Для виконання завдань з калібрування була використана спеціальна дощечка з чорно білими квадратами, що утворюють шаховий порядок. Наступним етапом виконується виявлення інваріантних ознак, які є інваріантними до освітлення, обертання та масштабування. Такими елементами можуть виступати: кути, краї, плями, лінії або сегменти. Для кожного цього значення, щоб була можливість порівняти дані точки, формується дескриптор. Для вирішення цієї задачі найкраще всього підходить scale-invariant feature transform (SIFT) [5] метод оскільки він має досить інформативний дескриптор. Як правило, він складається з 16 гістограм, що поділяються на сітку 4x4 і кожен елемент сітки містить 8 орієнтаційних напрямків, що підвищує спроможність саме правильно зіставляти контрольні точки на парі зображень. Від точності знаходження цих точок залежить вся подальша реконструкція досліджуваного об'єкту. Тому на цьому етапі також відбувається фільтрація вже зіставлених контрольних точок.

Для оцінювання якості триангуляції контрольних точок використовується обрахунок репроекційної помилки. Наступним кроком йде уточнення положення та орієнтації камери в просторі загальної системи координат за допомогою методу PnP (Perspective-n-Point). Коли відповідні точки знайдені, також стають відомі їх координати на парі зображень. Знаючи цю інформацію можна знайти вектори променів від центру кожної камери. Точка перетину цих двох променів на сусідніх зображеннях буде тривимірною координатою в реальному світі. Для більш точного знаходження 3D позиції точки, використовується корегування пучка.

На рис. 1 зображені точки у 3D прострі. Самі ці точки є контрольними точками, які були визначені за допомогою методу SIFT. Як можна побачити, не всі ці точки належать саме поверхні досліджуваного зразка, також присутні точки основи, на якій стоїть експонат. Це обумовлено тим що точки на основі мають стійкі градієнтні властивості, що робить її інваріантною та стабільною.

SFM алгоритм показав високу ефективність для задач реконструкції об'єктів природного походження, які мають нерегулярну та складну форму. Метод SFM алгоритму передбачає поетапне визначення просторового положення камери та одночасну реконструкцію тривимірних координат на основі множини двовимірних зображень, які були отримані з різних точок зору. Важливим критерієм для точної реконструкції є якість фотозображень, умови освітлення та точне калібрування камери. Сам SFM алгоритм не дозволяє реконструювати внутрішню структуру зразка, тому в подальших дослідженнях бажано зосередитись на методах томографії. Результатом реконструкції стала хмара точок, яку можна в подальшому відфільтрувати за критеріями віддаленості від центру, оскільки в більшості випадків форма бурштину має форму, яка ближче до круга, та за кольором, оскільки це смола та в більшості випадків має однорідний колір. На основі відфільтрованих точок відбувається побудова полігональної моделі, для оцінювання характеристик об'єму, площі, товщини та зон з різними включеннями. Узагальному контексті технологія SFM

довела свою ефективність як сучасний інструмент реконструкції у комп’ютерному зорі. До переваг можна віднести простоту реалізації, в даному дослідженні використовувалась мова програмування Python та бібліотека OpenCV. Це поєднання технологій дозволяє легко реалізувати SFM алгоритм.

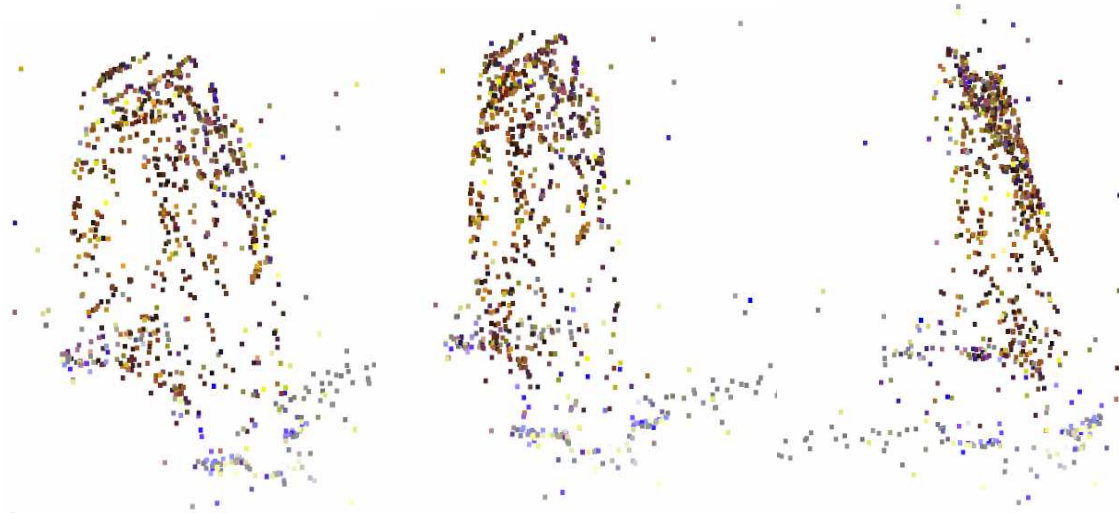


Рис. 1. Хмара точок реконструйована на основі поверхні досліджуваного зразка бурштину

Ключові слова: бурштин, 3D модель, SFM алгоритм (Structure from motion).
Література.

- [1] Бурштин – дорогоцінний камінь. Ambergalbin. Новини. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://ambergalbin.com/burshtyn-dorohotsinnyy-kamin-top-faktiv-vid-hemoloha/> [2]
- Діагностика та експертиза бурштину. Inconsulting. Гемологічна експертиза / Діагностика та експертиза бурштину. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://inconsulting.com.ua/uk/gemologchna-ekspertiza/diagnostyka-ta-ekspertyza-burshtynu.html> (дата звернення: 15.04.2025).
- [3] V. R. Sjoerd, Exploring the use of 3D GIS as an analytical tool in archaeological excavation practice. 2016. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/303824023_Exploring_the_use_of_3D_GIS_as_an_analytical_tool_in_archaeological_excavation_practice (дата звернення: 18.04.2025)..
- [4] Lobo T. Understanding Structure From Motion Algorithms. Medium. 18.11.2023. [Online]. Available: <https://medium.com/@loboateresa/understanding-structure-from-motion-algorithms-fc034875fd0c> (дата звернення: 20.04.2025).
- [5] Y. Podchashynskyi, A. Ryzhuk, O. Luhovykh, L. Chepiuk, “Research of Methods for Determining Key Points for 3D Modeling of Amber Samples”, *Journal of Information Systems Engineering and Management*, vol. 10, no. 16s, pp. 784-801, 2025. DOI: 10.52783/jisem.v10i16s.2665.