

УДК 004

Д.Радін, магістр гр. КІ-24М,

Центральноукраїнський національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ АПАРАТНО-ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ОТРИМАННЯ ФОТОЗОБРАЖЕННЯ, ЙОГО СТИЛІЗАЦІЇ ТА ВІДТВОРЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРИСТРОЮ ІОТ ПЛОТТЕРУ

У статті розроблено програмне забезпечення, яке призначено системи отримання фотозображення, його стилізації та відтворення за допомогою пристрою ІоТ плоттеру. Метою роботи є отримання та відтворення попередньо стилізованого фотографічного зображення з використанням можливостей ІоТ на плотері. Об'єкт дослідження є процес стилізації растрового зображення, перетворення його у векторну графіку й відтворення пристроєм. Предмет дослідження є методи, програмні засоби й алгоритми отримання, стилізації та векторизації зображення. Методи дослідження базуються на методах системного аналізу, методи цифрової обробки зображень та алгоритми машинного навчання. Результат роботи – програмна реалізація отримання та відтворення попередньо стилізованого фотографічного зображення з використанням можливостей ІоТ на плотері. У процесі проектування програмної моделі проведено аналіз сучасних апаратних рішень та програмних засобів для керування плоттером.

ІоТ плоттер

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток інформаційних технологій, зокрема штучного інтелекту, суттєво вплинув на різні галузі. Паралельно продовжує активно розвиватися Інтернет речей, який охоплює мільярди фізичних пристроїв та розширює сфери свого застосування. Поєднання двох цих напрямів стало відоме як Інтелект речей (АІоТ).

Поява генеративних моделей, зробила можливою трансформацію зображень в різноманітні стилі. Однак більшість існуючих рішень реалізують або програмну обробку зображень або їх відтворення.

Проблема полягає у відсутності повноцінних систем, які поєднували отримання зображення, його подальшу обробку та відтворення пристроєм.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-30] було виявлено певні прогалини у забезпеченні дослідження та реалізація апаратно-програмних засобів отримання фотозображення, його стилізації та відтворення за допомогою реалізації пристрою ІОТ плоттеру.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є отримання та відтворення попередньо стилізованого фотографічного зображення з використанням можливостей ІоТ на плотері.

Для досягнення мети було поставлено такі завдання:

- провести огляд існуючих методів векторизації растрових зображень;
- порівняти існуючі моделі стилізації зображень на базі архітектури Stable Diffusion;
- програмно реалізувати захоплення та передачу зображення, стилізацію, подальше перетворення у дані придатні для відображення плоттером.

Об'єкт дослідження. Процес стилізації растрового зображення, перетворення його у векторну графіку й відтворення пристроєм.

Предмет дослідження. Методи, програмні засоби й алгоритми отримання, стилізації та векторизації зображення.

Методи дослідження. Застосовуються наступні методи, а саме: методи системного аналізу, методи цифрової обробки зображень та алгоритми машинного навчання.

Виклад основного матеріалу. Функціонування запропонованої системи представляє собою циклічний конвеєр обробки даних, який об'єднує методи отримання первинної візуальної інформації, її візуальну трансформацію та механічне відтворення. Загальний алгоритм роботи системи розділено на чотири етапи:

- Захоплення зображення.
- Стилзація зображення.
- Векторизація.
- Відображення.

На першому етапі ми здійснюємо ініціалізацію модуля камери. Вона, функціонуючи як окремих вузол, виконує захоплення растрового зображення. Ми можемо звертатися до вбудованої камери обчислювальної станції або зовнішньої USB-периферії через системні драйвери та інтерфейси API засобами бібліотеки OpenCV.

Другий етап полягає в обробці отриманого кадру неймережами. Програмне забезпечення сервера, реалізоване мовою Python, відправляє отримані дані до API Automatic1111. На цьому етапі ми використовуємо модель Stable Diffusion 1.5 у поєднанні з додатковими модулями керованої генерації:

- ControlNet.
- LoRA-моделі.

LoRA-моделі фокусують генерацію на отриманні специфічного стилю “Line Art”, що важливо для роботи плотера, тому що вихідне зображення виходить з чіткими лініями та мінімальною кількістю шумів, які легше відобразити.

На третьому етапі виконуємо постобробку згенерованого стилізованого зображення. За допомогою бібліотеки OpenCV здійснюється бінаризація та фільтрація дефектів. Отриманий растр піддається алгоритму векторизації, що перетворює масив пікселів у набір ліній та кривих. В результаті формується файл з розширенням .gcode, який містить послідовність команд для переміщення пера плоттера у тривимірному просторі.

На фінальному етапі ми передаємо згенеровані команди на контролер плоттера. Контролер інтерпретує G-код, керує кроковими двигунами для точного фізичного відтворення стилізованого малюнка на носії.

Структурної схема вказує взаємозв'язки між компонентами, розподіл обчислювального навантаження та протоколи інформаційного обміну. Відповідно до поставленого завдання, архітектура системи побудована за модульним принципом, для стабільності передачі даних між різномірними середовищами. Структурна схема системи зображена на малюнку 1. Розглянемо детальніше її елементи.

Блок отримання візуальних даних

Здійснює роль сенсорного входу системи. Схема передбачає універсальність інтерфейсу підключення. Це дозволить нам використовувати як автономні IoT-модулі, наприклад, ESP32-CAM, так і стаціонарні пристрої відеозахоплення, як інтегровані камери. Єдине завдання цього блоку – це формувати стабільний кадровий потік або знімків та їх передача у центральний вузол обробки. Відео транслюється одразу в оперативну пам'ять керуючого комп'ютера, минаючи проміжні буфери. Через це ми зможемо мати можливість інтерактивно змінювати композицію кадру, параметри експозиції та позицію об'єкта ще до моменту фіксації зображення, нівелює вірогідність отримання некоректних вхідних даних. Вихідними даними блоку буде растрове зображення у форматі високої чіткості для подальшої стилізації.

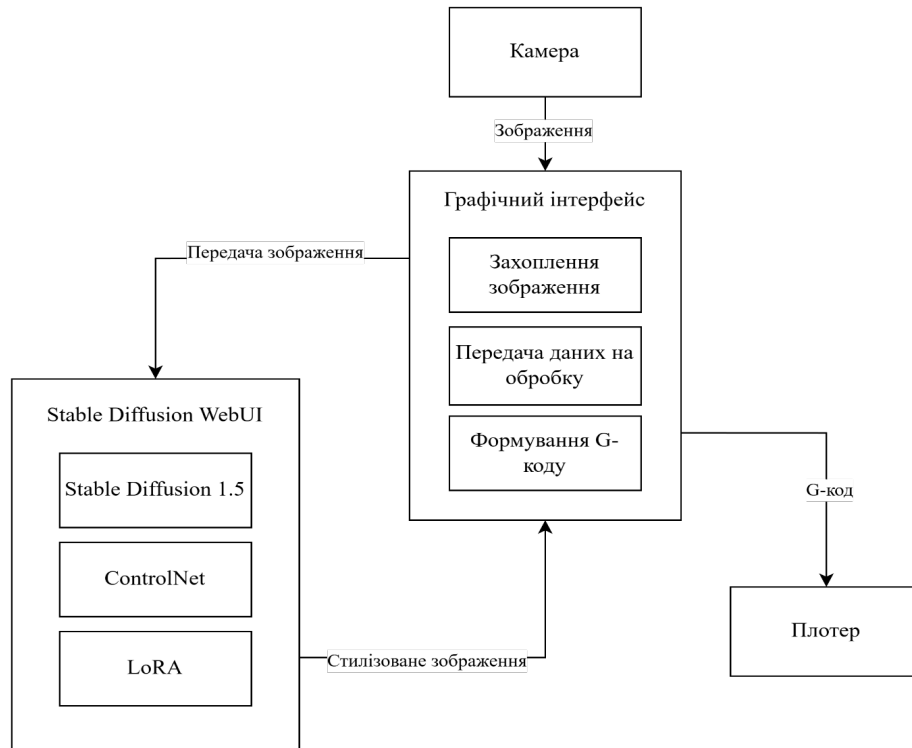


Рисунок 1 – Структурна схема системи

Графічний інтерфейс

Посідає центральне місце у структурній ієрархії. Це вузол графічного інтерфейсу та керування, який виступає архітектурним ядром системи. Якщо традиційні клієнтські додатки виконують лише роль терміналу введення-виведення, то даний вузол – це повноцінний оркестратор асинхронних процесів. Внутрішня логіка керуючого вузла включає підсистему попередньої обробки відеосигналу, модуль векторизації та драйвер комунікації з периферійними пристроями. Тобто цей блок керує:

- Захопленням зображення.
- Передачею даних на обробку.
- Формуванням G-коду.

Таким рішенням ми можемо інкапсулювати складність керування різноманітним обладнанням всередині однієї програми, надаючи користувачу інтуїтивно зрозумілий інтерфейс високого рівня абстракції. Через реалізацію багатопотокової моделі обчислень, керуючий вузол гарантує швидкодію інтерфейсу навіть під час тривалих операцій.

Модуль інтелектуальної трансформації

Цей блок винесено в окремий блок через високу обчислювальну складність операцій. Крім того така архітектура дозволяє нам розвантажити основний потік виконання та забезпечити масштабованість системи. Він представляє собою серверне середовище, де відбувається дифузійна обробка зображення.

Внутрішня архітектура блока складається з трьох інтегрованих рівнів. Найголовніший рівень – це базова генеративна модель Stable Diffusion 1.5, яка відповідає за формування загальної текстури та композиції на основі ймовірнісної дифузії. Для адаптації цієї моделі до задач інженерної графіки застосовано адаптер ControlNet. Додатково застосовується стилізаційний модуль LoRA, що застосовує специфічний художній стиль для моделі без повної модифікації ваг нейромережі.

Плотер

Останній блок структурної схеми, для фізичного втілення початкового растрового зображення. Вхідні дані для цього блоку – це послідовність команд G-коду. Плотер має у собі мікроконтролер керування двигунами, драйвери силової частини та безпосередньо

механіку. Має архітектурною особливість. Це наявність буфера команд із функцією попереднього перегляду. Це дозволяє нам згладити надходження даних та забезпечити неперервність руху інструменту. Результатом функціонування цього блоку є точне відтворення графічних ліній на фізичному носії.

Висновки. У статті наведено теоретичне узагальнення та розв'язання науково-технічного завдання щодо інтеграції нейромережових алгоритмів обробки зображень у системи числового програмного керування (ЧПК). Досягнення поставленої мети базувалося на послідовному виконанні таких етапів:

- Проведено аналітичний огляд існуючих методів векторизації растрових зображень та архітектурних рішень для CNC-систем;
- Досліджено методи оптимізації генеративних моделей Stable Diffusion за допомогою адаптерів ControlNet для збереження геометричної точності контурів;
- На основі отриманих результатів створено програмну реалізацію комплексу стилізації та векторизації зображень безпосередньо на керуючому вузлі (Host-системі);
- Розроблені алгоритми спірального пошуку та спрощення ламаних, адаптовані під специфіку плотерів, дозволяють успішно вирішувати завдання перетворення піксельних масивів у векторні траєкторії з мінімальною кількістю холостих ходів.

У ході аналізу предметної галузі було ідентифіковано ключові об'єкти взаємодії, визначено їхні функціональні характеристики та побудовано математичну модель перетворення графічної інформації.

Список літератури

1. Al-Mudhafar Aqeel, A.M., Smirnova, T., Buravchenko, K., Smirnov, O. «The method of assessing and improving the user experience of subscribers in software-configured networks based on the use of machine learning». *Advanced Information Systems*, 2023, 7(2), pp. 49-56.
2. Kuznetsov, O., Kuznetsova, Y., Smirnov, O., Kostenko, O., Zvieriev, V. «Evaluating Hashing Algorithms in the Age of ASIC Resistance». *CEUR Workshop Proceedings*, 2023, 3628, pp. 93-105.
3. Smirnov, O., Sydorenko, V., Aleksander, M., Zhyharevych, O., Yenchey, S. «Simulation of the cloud IoT-based monitoring system for critical infrastructures». *CEUR Workshop Proceedings*, Volume 3530, 2023, pp. 256-265.
4. Smirnov, O., Odarchenko, R., Smirnova, T., Bondar, S., Volosheniuk, D. «Optimal Structure Construction of Private 5G Network for the Needs of Enterprises». *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 2023, 178, pp. 208–223.
5. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Коваленко А.С., Смірнов С.А., Буравченко К.О. «Дослідження вимог міжнародних стандартів IEC60880 та IEC62138 з розробки програмного забезпечення інформаційно-керуючих систем АЕС, важливих для безпеки». *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2023, вип. 3(73), С. 155-166.
6. Аль-Мудхафар Акіл Абдулхуссейн М., Смірнова Т.В., Буравченко К.О., Смірнов О.А. «Метод оцінки та підвищення користувальницького досвіду абонентів в програмно-конфігурованих мережах на основі використання машинного навчання». *Сучасні інформаційні системи*, 2023, том 7, № 2, С. 49-56.
7. Smirnova, T., Gnatyuk, S., Yudin, O., Sydorenko, V., Polozhentsev, A., «The Model for Calculating the Quantitative Criteria for Assessing the Security Level of Information and Telecommunication Systems». *CEUR Workshop Proceedings Volume 3156*, 2022, Pages 390-399.
8. Смірнова Т.В., Гнатюк С.О., Сидоренко В.М., Юдін О.Ю., Сидоренко С.Ю., «Модель визначення критичності галузевих інформаційно-телекомунікаційних систем». *Проблеми інформатизації та управління*, № 2(70). 2022. С. 28-37.
9. Смірнов О.А., Смірнова Т.В., Якименко Н.М., Смірнов С.А., Поліщук Л.І., «Дослідження стійкості до диференціального криптоаналізу запропонованої функції гешування удосконаленого модуля криптографічного захисту в інформаційно-комунікаційних системах» *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2022, № 3(69). С. 93-98.
10. Смірнов О.А., Смірнова Т.В., Якименко Н.М., Поліщук Л.І., Смірнов С.А. «Дослідження статистичної стійкості та швидкісних характеристик запропонованої функції гешування удосконаленого модуля криптографічного захисту в інформаційно-комунікаційних системах» *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: «Технічні науки»*, № 2 (307). С. 46-52. 2022.
11. Смірнов О.А., Смірнова Т.В., Константинова Л.В., Смірнов С.А., Якименко Н.М., «Дослідження стійкості до лінійного криптоаналізу запропонованої функції гешування удосконаленого модуля криптографічного захисту в інформаційно-комунікаційних системах» *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2022, № 1(67). С. 84-89.

12. Smirnova T., Gnatyuk S., Berdibayev R., Avkurova Zh., Iavich M. «Cloud-Based Cyber Incidents Response System and Software Tools». *Communications in Computer and Information Science*, 2021, vol 1486. Springer, Cham. pp 169-184.
13. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». *CEUR Workshop Proceedings. Volume 2740*, 2020, Pages 102-114.
14. Smirnov O., Alimseitova Zh., Adranova A., Akhmetov B., Lakhno V., Zhilkishbayeva G. «Models and algorithms for ensuring functional stability and cybersecurity of virtual cloud resources». *Journal of theoretical and applied information technology* Vol.98. No 21, 2020, P. 3334-3346.
15. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiiian A., Cherep A., Kanabekova M., Chepurko I. «Testing of code-based pseudorandom number generators for post-quantum application». 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020. P. 172-177.
16. Smirnov O., Kuznetsov A., Pushkar'ov A., Serhiienko R., Babenko V., Kuznetsova T., «Representation of Cascade Codes in the Frequency Domain». In: Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) *Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol 48. Springer, Cham. 2021. pp 557-587.
17. Smirnov, O., Markovets, O. Vovk, N., Turchyn, Y., «Model of informational support for social network administrators' content creation». *CEUR Workshop Proceedings Volume 2616*, 2020, Pages 125-136.
18. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Polishchuk, Y., Brzhanov, R., Aleksander, M. «Method of fractal traffic generation by a model of generator on the graph». *CEUR Workshop Proceedings Volume 2616*, 2020, Pages 366-379.
19. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Simakhin, V., Bondar, S., Odarchenko, R. «Managing multifractal properties of the binary sequence generated with the Markov chains», *CEUR Workshop Proceedings Volume 2608*, 2020, Pages 633-645.
20. Smirnov O. Kuznetsov A., Zaichenko Yu., Pastukhov M., Oleshko O., Kuznetsova K., «Formation of Discrete Signals with Special Correlation Properties». *International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2019; Odessa; Ukraine; 9-13 September 2019*. P.22-28.
21. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kolovanova, I., Kuznetsova, T., «Noise immunity of the algebraic geometric codes». *International Journal of Computing; 2019, Volume 18, Issue 4 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2019*. – P. 393-407.
22. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Reshetniak, O., Ivko, N., Katkova, T., Kuznetsova, T., «Generators of Pseudorandom Sequence with Multilevel Function of Correlation». 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019 . P.517-522.
23. Smirnov, O., Odarchenko, R., Abakumova, A., Usik, P., Kundyz, M., «QoE optimization technique for media delivery in 5G networks». 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019. P.597-601.
24. Smirnov, O., Krasnobayev, V., Yanko, A., Kuznetsova, T. «Methods of nulling numbers in the system of residual classes». *CEUR Workshop Proceedings, Vol 2588*, P. 90-106, 2019.
25. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Averchev, A., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., «Formation of Pseudorandom Sequences with Special Correlation Properties», 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT -2019/ Lviv, Ukraine, 2-6 July, 2019, P. 395-399.
26. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kiiian, A., Zamula, A., Rudenko, S., Hryhorenko, V., «Variance Analysis of Networks Traffic for Intrusion Detection in Smart Grids», 2019 IEEE 6th International Conference On Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS), Kyiv, Ukraine April 17-19, 2019 P. 353-358.
27. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kavun, S., Babenko, B., Nakisko, O., Kuznetsova, K., «Malware Correlation Monitoring in Computer Networks of Promising Smart Grids», 2019 IEEE 6th International Conference On Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS), Kyiv, Ukraine April 17-19, 2019 P. 347-352.
28. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., Prokopovych-Tkachenko, D., «Discrete Signals with Special Correlation Properties», *CEUR Workshop Proceedings Volume 2353*, CEUR Workshop Proceedings 2019, Pages 618-629.
29. Smirnov A.A., Kuznetsov A.A., Danilenko D.A., Berezovsky A., «The statistical analysis of a network traffic for the intrusion detection and prevention systems», *Telecommunications and Radio Engineering. – Volume 74, Issue 1. – Begel House Inc. – 2015. – P. 61-78*.
30. Смірнов О.А., Смірнова Т.В., Буравченко К.О., Кравченко С.С., Горбов В.О., «Хмарна система підтримки прийняття рішень технологічного процесу відновлення поверхонь конструкцій і деталей машин». *Сучасні інформаційні системи*. 2021. Т. 5, № 4. С. 79-95