

плануванні, аналізі ризиків або розробці політик, де потрібно порівнювати сценарії та приймати оптимальне рішення на основі багатоваріантного аналізу [3]. Наприклад, у фінансовому плануванні ToT дозволяє враховувати кілька економічних факторів та ризиків, що створює більш повну картину майбутніх наслідків. Також ця методика придатна для команд з інноваційного розвитку, які оцінюють декілька концепцій продукту чи бізнес-моделі одночасно [4].

У міру того, як великі мовні моделі знаходять застосування в різних підрозділах компаній, зростає потреба в інструментах, що спрощують складні методи конструювання підказок. Сучасні платформи генеративного ШІ дедалі частіше інтегрують інтерфейси, які приховують технічну складність під зручними UX-шаблонами [5]. Ці інструменти автоматично перетворюють бізнес-намір користувача на структуровану підказку, здатну активувати такі методи, як chain-of-thought або tree-of-thought, без потреби вручну прописувати відповідні інструкції. Наприклад, помічник із прийняття рішень може надати користувачу форму для введення параметрів – а система автоматично сформує складну багатоступеневу підказку для моделі. Аналогічно, чат-боти з попередньо налаштованими сценаріями дозволяють нетехнічним користувачам швидко отримувати підсумки, аналітику або імітації рішень без прямої взаємодії з текстом запиту. Такий рівень абстракції відкриває доступ до ШІ для фахівців з HR, маркетингу, юриспруденції та операцій, сприяючи безпечному та ефективному впровадженню генеративного ШІ в бізнес-процеси.

Література

1. Brown T., Mann B., Ryder N., Subbiah M., Kaplan J., Dhariwal P. та ін. Language Models are Few-Shot Learners. URL: <https://arxiv.org/abs/2005.14165> (дата звернення: 07.05.2025).
2. Yao S., Yu D., Zhao J., Shafran I., Griffiths T. L., Cao Y., Narasimhan K. Tree of Thoughts: Deliberate Problem Solving with Large Language Models. URL: <https://arxiv.org/abs/2305.10601> (дата звернення: 07.05.2025).
3. Gao A. Prompt Engineering for Large Language Models. URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4504303 (дата звернення: 07.05.2025).
4. Chen B., Zhang Z., Langrené N., Zhu S. Unleashing the Potential of Prompt Engineering in Large Language Models: A Comprehensive Review. URL: <https://arxiv.org/abs/2310.14735> (дата звернення: 08.05.2025).
5. White J., Fu Q., Hays S., Sandborn M., Olea C., Gilbert H., Elnashar A., Spencer-Smith J., Schmidt D. C. A Prompt Pattern Catalog to Enhance Prompt Engineering with ChatGPT. URL: <https://arxiv.org/abs/2302.11382> (дата звернення: 08.05.2025).

УДК 004.046

О.В. Сороківський, В.А. Готович, к.т.н.

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

ЗАДАЧА ПОВЫШЕНИЯ СКОРОСТИ КАЛИБРОВАНИЯ КАМЕР ДЛЯ АНАЛИЗА ВИДЕОЗАПИСЕЙ ФУТБОЛЬНЫХ МАТЧЕВ

O.V. Sorokivskyi, V.A. Hotovych Ph.D.

TASK OF INCREASING THE SPEED OF CALIBRATION OF CAMERAS FOR THE ANALYSIS OF SOCCER MATCHES VIDEO RECORDINGS

При вирішенні задач аналізу відеозаписів футбольних матчів калібрування відеокамери (часто зване також реєстрацією спортивного поля) має вирішальне значення для узгодження

відеопотоку з відомою моделлю поля. Точне калібрування дозволяє правильно накладати віртуальну графіку та анотації на поле (наприклад, лінії офсайду або маркери відстані) та є основою для автоматичного відстеження гравців і аналітичних інструментів. Однак швидке й надійне виконання калібрування камери є складним завданням. До того ж при створенні футбольних трансляцій зазвичай використовують рухомі камери з функцією зуму (zoom), які досить часто відслідковують лише частину розмітки поля. Додаткові ускладнення вносять тимчасові оклюзії (наприклад, коли гравці перекривають лінії розмітки), значні зміни освітлення, а також переходи між різними камерами, що мають різні внутрішні параметри. Тому сучасні підходи до вирішення даної задачі дедалі частіше покладаються на глибокі нейронні мережі та багатовидову геометрію, щоб забезпечити стійку оцінку гомографії в реальному часі навіть за умов низького контрасту та високої динаміки сцени.

В даній роботі розглядаються останні наукові роботи, які підкреслюють потребу в прискоренні процесу калібрування камери. Також пояснюється, чому швидші та легші рішення мають вирішальне значення для практичного використання.

Результати останніх досліджень показують досягнення значного прогресу у використанні комп'ютерного зору та глибокого навчання для автоматичного визначення положення камери за розміткою поля чи ключовими точками [1, 2] проте, сучасні методи демонструють високу точність калібрування часто за рахунок значних обчислювальних витрат.

Для сучасних досліджень з калібрування відеокамер характерним є розрив між високою точністю та практичною швидкістю, що підкреслює потребу в оптимізації продуктивності. Наприклад, баєсівський підхід ВНІТК, запропонований Claasen і de Villiers, демонструє точне покадрове вирівнювання, однак у порівняльних експериментах їхня базова модель KpSFR (≈ 73 млн параметрів) забезпечує лише $\approx 1,5$ FPS на платі RTX 3090, тоді як ВНІТК – хоч і точніший, але залишається прив'язаним до того самого класу «важких» GPU [1]. Простіша система Nie et al. (біля 42 млн параметрів) досягає значення ≈ 50 FPS [3]. Втім, така швидкість усе ще є граничною для систем реального часу, особливо на мобільних чи edge-платформах.

Показовими є результати дослідження [4]. Запропонована авторами мультизадачна нейронна мережа, яка одночасно виконує задачі знаходження рівномірної ґратки ключових точок та регресії щільних карт відстаней до розмітки, функціонує в режимі реального часу (приблизно 30 кадрів за секунду для HD-зображень на відеокарті GTX 1080 Ti) і забезпечує у середньому на ≈ 25 % точнішу оцінку гомографії на наборі SportsFields порівняно з методом KpSFR.

Falaleev і Chen пропонують багатостадійну схему, що дає $\approx 22,7$ FPS для одиночних кадрів або понад 300 FPS при пакетній обробці 128 зображень на платі RTX 3090 [2]. Самі автори даного дослідження підкреслюють, що реальний час не є метою їхньої роботи, тож необхідна додаткова оптимізація. Метод PnLCalib від Gutiérrez-Pérez та Agudo, протестований на платі RTX 2080 Ti, взагалі не наводить показника FPS, що вказує на орієнтацію даного дослідження лише на офлайн-точність [5]. Навіть спеціалізований трекер BroadTrack, який одночасно використовує дві плати RTX 4090, досягає лише ≈ 16 FPS при роздільній здатності класу HD [6].

Таким чином можна зробити висновок про те, що продуктивність у діапазоні 1–22 FPS на дорогих GPU може бути прийнятною для офлайн-аналізу чи преміум-трансляцій, але лишається непридатною для систем обробки даних в реальному часі або ж для задач з жорсткими вимогами до затримки в часі (50–100 мс. і менше).

Тож подальші дослідження в даному напрямку мають зосередитися на скороченні обчислювальної складності, ефективному використанні апаратних прискорювачів і розробці легших моделей нейронних мереж, не жертвуючи при цьому точністю калібрування.

Поточні вимоги до апаратних ресурсів фактично обмежують застосування наведених методів калібрування камер аналітиками професійних футбольних клубів найвищого рівня, які мають в розпорядженні робочі станції з GPU класу RTX 3090 / 4090 або ж розподілені

кластери для обробки відео у реальному часі. Вартість такої інфраструктури (десятки тисяч доларів з урахуванням обслуговування й енергоспоживання) легко вкладається в бюджети топ-клубів. Натомість для малих чи напівпрофесійних футбольних клубів, регіональних ліг і дитячо-юнацьких академій подібні витрати є непосильними: їхні системи відеоаналізу зазвичай обмежені однією GPU або ж навіть CPU-edge-пристроями, де затримка в 50–100 мс вже є критичною. В підсумку дороговартісні аналітичні інструменти залишаються доступними лише елітним організаціям, тоді як широка футбольна спільнота потребує легших, енергоефективних та значно дешевших рішень для масового застосування.

Література

1. Claasen P. J., de Villiers J. P. Video-based sequential Bayesian homography estimation for soccer field registration. *Expert Systems with Applications*. 2024. Vol. 252. P. 124156. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124156> (дата звернення: 10.05.2025).
2. Falaleev N. S., Chen R. Enhancing soccer camera calibration through keypoint exploitation. *Proceedings of the 7th ACM International Workshop on Multimedia Content Analysis in Sports*. 2024. P. 65–73. URL: <https://doi.org/10.1145/3689061.3689074> (дата звернення: 10.05.2025).
3. Nie X., Chen S., Hamid R. A robust and efficient framework for sports-field registration. In: *2021 IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*. 2021. P. 1936–1944. URL: <https://doi.org/10.1109/WACV48630.2021.00198> (дата звернення: 10.05.2025).
4. Nie X., Chen S., Hamid R. A Robust and Efficient Framework for Sports-Field Registration. *Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*. 2021. P. 1936–1944. URL: <https://doi.org/10.1109/WACV48630.2021.00198> (дата звернення: 10.05.2025).
5. Gutiérrez-Pérez M., Agudo A. PnLCalib: Sports Field Registration via Points and Lines Optimization. *arXiv preprint arXiv:2404.08401*. 2024. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.08401> (дата звернення: 10.05.2025).
6. Magera F., Hoyoux T., Barnich O., Van Droogenbroeck M. BroadTrack: Broadcast camera tracking for soccer. In: *2025 IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*. 2025. P. 6177–6187. URL: https://openaccess.thecvf.com/content/WACV2025/papers/Magera_BroadTrack_Broadcast_Camera_Tracking_for_Soccer_WACV_2025_paper.pdf (дата звернення: 10.05.2025).

УДК 621.31

О.В. Смолій, А.Г. Микитишин к.т.н, Р.І. Королюк

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ У ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВOSTІ.

O.V. Smolii, A.G. Mykityshyn Ph.D., R.I. Koroliuk

APPLICATION OF IOT TECHNOLOGIES FOR ENERGY MANAGEMENT IN THE FOOD INDUSTRY.

Основна концепція Індустрії 4.0 полягає в інтеграції передових інформаційних технологій, особливо нових технологій, таких як Інтернет речей, 5G та 6G, аналітика та управління даними, штучний інтелект, хмарні обчислення та блокчейн, для досягнення послідовної трансформації та модернізації виробництва, а також для зміни ланцюжка створення вартості промисловості та суспільства [1]. Як один з найбільш енергоємних секторів, обробна промисловість дедалі більше прагне скоротити споживання енергії за