
DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt216.02.070>

ШЕПЕТУХА Ю.М., канд. техн. наук, старш. наук. співроб.,
провід. наук. співроб. відд. інтелектуального керування
<https://orcid.org/0000-0002-6256-5248>, e-mail: yshep@meta.ua

БОНДАР С.О., д-р філософії (техн.),
зав. відд. інтелектуального керування,
<https://orcid.org/0000-0003-4140-7985>, e-mail: seriybrm@gmail.com

ГУБСЬКИЙ Я.М., аспірант,
<https://orcid.org/0009-0009-4484-9544>, e-mail: s.gubsky@gmail.com

ПОПОВ І.В., аспірант
молодш. наук. співроб. відд. інтелектуального керування
<https://orcid.org/0009-0009-7961-9431>, e-mail: popigor7@gmail.com

Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій
та систем НАН України та МОН України,
просп. Акад. Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна

МЕТОДИ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ПРОСТОРОВОГО МОНІТОРИНГУ СЦЕНИ

***Вступ.** Розвиток інтелектуальних технологій потребує активного використання передових технологій та інноваційних підходів для інтелектуалізації процесів просторового моніторингу сцени. Актуальність теми зумовлено потребою збільшення якості виробництва відеоконтенту. Зокрема, інтерес викликає автоматизація та подальша інтелектуалізація процесів зйомки. Застосування нових методів інтелектуалізації призводить до зменшення допустимих похибок при створенні творчого відео проєкту. Інтелектуалізація процесів оброблення даних від маркерів, а саме використання методів штучного інтелекту (ШІ), дає змогу набутти керованого рівня якості з мінімальним залученням людини. Інтелектуалізація сценічного виробництва сприяє створенню яскравих та інноваційних вистав, які захоплюють аудиторію. Вона дає змогу творити нові способи взаємодії з глядачами та для незабутніх вражень від культурних подій.*

***Мета статті.** Дослідити методи інтелектуалізації процесів оброблення даних від маркерів під час застосування автоматичних відеокамер в задачах спостереження за сценічною дією для відео-фотозйомки.*

***Методи.** Використані такі методологічні інструменти: концепції інтелектуалізації інформаційних технологій, теорія інтелектуального керування, методологія побудови автономних систем на основі образного сприйняття інформації, теорія прийняття рішень.*

© ВД «Академперіодика» НАН України, 2024. Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Результати. Розглянуто питання взаємодії маркерів з камерами у тривимірному просторі, повністю ідентичному побудованій 3D моделі.

Висновки. Інформаційна технологія просторового моніторингу сцени може підвищити ефективність та спростити використання автоматичних відеокамер в задачах спостереження за сценічною дією для відео-фотозйомки. Не існує одного універсального «найкращого» методу, оскільки кожен з алгоритмів має свої переваги та недоліки. Однак метод обчислення градієнта оптичного потоку можна вважати більш відповідним для застосування у сценічному виробництві.

Запровадження інформаційної технології просторового моніторингу сцени заснованої на методі обчислення градієнта оптичного потоку може збільшити ефективність та спростити використання автоматичних відеокамер. Застосування інформаційної технології спостереження зменшить навантаження на персонал, задіяний у роботі з обслуговування зйомки і керування нею.

Ключові слова: інтелектуалізації процесів оброблення даних, інтелектуальний моніторинг, автоматична відеокамера, аніматик, градієнт оптичного потоку, комп'ютерний зір.

ВСТУП

У сучасному світі розвиток інтелектуальних технологій поширився і на таку галузь як сценічне виробництво. На сьогодні активно застосовують передові технології та інноваційні підходи для покращення всіх аспектів театрального та виставкового процесу, зокрема постає питання інтелектуалізації процесів просторового моніторингу сцени. Актуальність теми статті полягає у потребі збільшення якості виробництва відеоконтенту в шоуіндустрії. Зокрема, напрямом досліджень і розробок є автоматизація та подальша інтелектуалізація процесів зйомки. Застосування нових методів інтелектуалізації, які розглядаються у статті, призводить до зменшення допустимих похибок при створенні творчого відео проекту.

Йдеться про інтелектуалізацію процесів оброблення даних від маркерів, а саме використання методів штучного інтелекту (ШІ). Часткова інтелектуалізації процесів оброблення даних від маркерів під час застосування автоматичних відеокамер в задачах спостереження за сценічною дією для відео-фотозйомки дає змогу набути керованого рівня якості з мінімальним залученням людини-оператора.

Інтелектуалізація сценічного виробництва сприяє створенню видовищних та інноваційних виставок та вистав, які зацікавлюють та захоплюють аудиторію, дає змогу творити нові способи взаємодії з глядачами та надавати їм незабутніх вражень від культурних подій.

ВИОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНОЇ ЧАСТИНИ ПРОБЛЕМ

Першим кроком на шляху збільшення якості виробництва відеоконтенту в шоуіндустрії є автоматизація процесів зйомки та зменшення допустимих похибок. І тоді як питання автоматизації є широко дослідженим, а на сьогодні навіть визначені основні шляхи впровадження інтелектуальних систем управління динамічними об'єктами [1], то інтелектуалізація процесів, пов'язаних з роботою режисера пересувної телевізійної станції (ПТС) та створення інтелектуалізованих алгоритмів наразі є обмеженими.

Питання просторового моніторингу сцени не може існувати без реалізації процесів оброблення даних від маркерів. Подібні технології широко використовуються в різних галузях, таких як комп'ютерний зір, віртуальна реальність, доповнена реальність, відеоігри, медична діагностика та багато інших.

Обираючи методи інтелектуалізації для процесів оброблення даних від маркерів під час застосування автоматичних відеокамер слід розібратися в унікальних обмеженнях для задач спостереження за сценічною дією. Першим вагомим обмеженням є умовний простір, обмежений рамками сценічної конструкції, створеної за творчим задумом художника сцени та режисера проєкту. Це інженерні споруди різної форми та конфігурації, вписані в простір приміщення. Кожен проєкт індивідуальний та обмежений технічними можливостями сцени: висота, навантаження на підлогу та стелю, дзеркало сцени, висота відносно сцени, розташування щодо глядацьких трибун тощо. Загалом майданчики поділяють на малі та великі. Малі як будинки культури або клуби та великого розміру палаци спорту або палаци культури. Також можливі проєкти на відкритих локаціях, де кожен проєкт має незалежну конфігурацію.

До початку роботи з приміщенням створюється 3D модель простору з повною візуалізацією сценографії та врахуванням усіх технічних та творчих характеристик проєкту. Усі дані зберігаються та допускають мінімальні похибки. Використовується стандартне програмне забезпечення яке дає змогу спостерігати об'єкти з усіх кутів огляду та грамотно описувати елементи основної декорації та унікальні елементи шоу.

Друге обмеження стосується сценографії об'єкту зйомки. Наш об'єкт — артист, який завжди знаходиться в межах майданчика, а його переміщення обмежене сценою. Але можливі відхилення від основного місцезнаходження. Це індивідуальні рішення, які потрібно завжди враховувати під час створення 3D-моделі. Наприклад, в режисера з'явився задум реалізувати політ артиста до глядацької зали. І це вимагає розв'язання задач щодо прорахування траєкторії польоту, його амплітуди, можливих місць приземлення. Якість і повнота 3D-моделі має давати змогу імітувати подібні дії. А усі розширені дані додають до бази знань основного проєкту.

Третє обмеження стосується способу зйомки. Найпоширенішим є стандартний спосіб зйомки на 24 камери з передачею сигналу та інформаційних потоків з допомогою пересувної телевізійної станції. Пересувна телевізійна станція — вантажопасажирський транспортний засіб, призначений для зйомки телевізійних передач за межами стаціонарних студій. Призначена як для транспортування знімальної групи і апаратури, яка передає, до місця зйомки, так і для здійснення процесу зйомки і передавання телевізійного сигналу на центральну телестудію.

У ПТС відбувається загальний збір інформації в програму. Кожна камера пише незалежний потік, який зберігається на носіях. Результатом є саме збирання всіх матеріалів у єдиний відеофайл (монтаж). Об'єкти зйомки (камери) поділяються на статичні та динамічні. За кожною позицією закріплений оператор, який відповідає за знімальні плани, фокус, крупності та за реалізацію поставленого творчого завдання. Статичні камери знімають зі строгим планом, повертаючись навколо своєї осі.

Динамічні є різними за способом зйомки. Це може бути кран з обертанням на 360 градусів навколо своєї осі та плавним переміщенням стріли крана, стедікам-камера (steadicam) — камера для переміщення прямо по дзеркалу сцени та камера-павук (spidercam) — підвісна телевізійна камера, здатна рухатися у всіх площинах з траєкторією польоту натяжними тросами. Стедікам — системи стабілізації знімальної камери, яку носять, для кіно- або відеозйомки в русі. У деяких джерелах [5] «Стедікам» класифікується як поясно-плечовий штатив, який демпфує, або опора та належить до допоміжного операторського обладнання. В роботі ми не розглядаємо нестандартні методи зйомки, щоб не ускладнювати процес збирання інформації, а зосередимося на методах, застосованих для стандартного процесу зйомки.

Тож, проблемою є лише часткова інтелектуалізація процесів роботи режисера ПТС, коли інформація з усіх камер одночасно виводиться на монітори, де режисер ПТС по заданому творчому плану збирає всі потоки в програму, маючи обмежені засоби інтелектуалізації цілісного процесу. Саме режисер знімальної групи керує процесом та вибудовує кадри у послідовність, яка відповідає творчому задуму проекту, витрачаючи час та відвертаючи свою увагу від творчої реалізації задумів та оперативного реагування на когнітивні реакції спостерігачів. За своєю суттю це праця групи людей, зібраних в одній точці, яку може бути замінено інформаційною технологією просторового моніторингу сцени.

І ми переходимо від проблеми створення інтелектуалізованих алгоритмів процесів оброблення даних від маркерів до застосування практичних методів спрямованих на скорочення кількості задіяних фахівців.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Коли ми говоримо про інтелектуалізацію процесів оброблення даних від маркерів, це означає використання методів штучного інтелекту (ШІ) для автоматизації та оптимізації оброблення даних на основі введених маркерів або певних ключових параметрів. Це може містити розпізнавання та класифікацію даних, прогнозування тенденцій, генерацію висновків та прийняття рішень на основі цих даних. За автоматизованої категоризації даних, ШІ може використовуватися для автоматизованої класифікації даних за введеними маркерами.

Використовуючи інтелектуалізовані алгоритми, стає можливим аналізувати отримані дані з маркерами, щоб прогнозувати майбутні тенденції чи події. Це дає змогу генерувати висновки або рекомендації і відповідно виступати помічником для напівавтоматизованого прийняття рішень. Інтелектуалізація процесів оброблення даних від маркерів дає змогу автоматизувати та оптимізувати роботу з великими обсягами інформації, що допомагає знижувати витрати часу та ресурсів, а також приймати більш обґрунтовані рішення.

Розглянемо застосування методів для скорочення кількості фахівців (операторів), задіяних у знімальному процесі, для точнішого досягнення операторських цілей та поставлених сценічних завдань. Використовуючи дані від давачів про рухомі об'єкти в просторі сцени, необхідно побудувати автоматизовану систему стеження та перемикання відеокамер

на базі. Фінальний потік зведеної інформації має бути максимально наближеним до аніматичної моделі створення шоу.

Аніматична модель, або аніматик (animatic) — зазвичай це серія статичних картинок, показаних послідовно. На картинках у спрощеній формі подані ключові кадри шоу. Ця послідовність картинок допомагає зрозуміти, як певна сцена виглядатиме в русі, і відчуті хронометраж сцен.

Важливим є те, що концертний виступ відбувається в режимі реального часу без можливості повторної зйомки. Складнощі можуть виникати на будь-якому етапі виробництва, що призводить до небажаного результату на фінальному складанні кадрів у єдиний потік. Порушується загальна ідея, ритміка, а поставлених завдань не буде досягнуто.

Задачею, яку слід розв'язати, є інтелектуалізація процесів оброблення даних від маркерів, розташованих на сценічних об'єктах, в спеціалізованих системах оброблення, керування відеокамерами залежно від поставлених перед ними завдань на основі аналізу даних. Впровадження такої інформаційної технології підвищить ефективність застосування відеокамер та розширить спектр завдань, виконуваних в різних середовищах.

Мета статті — дослідити методи інтелектуалізації процесів оброблення даних від маркерів під час застосування автоматичних відеокамер в задачах спостереження за сценічною дією для відео-фотозйомки.

ОГЛЯД МЕТОДІВ ЗАСТОСУВАННЯ АВТОМАТИЧНИХ ВІДЕОКАМЕР В ЗАДАЧАХ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА СЦЕНІЧНОЮ ДІЄЮ

Проведено дослідження публікацій в сфері керування операторською камерою для стеження в автоматичному режимі. Виконано огляд новітніх тенденцій в галузі застосування механізмів штучного інтелекту, тривимірних віртуальних середовищ, отримання інформації від багатокамерних систем, систем автоматичного запису шоу. Розглянуто роботу з маркерами та формування їх набору, достатнього для автоматичної ідентифікації рухів. На основі отриманих даних систематизовано переваги та недоліки наявних технологій та алгоритмів в зазначеній галузі.

Так існують описи роботи з відеопотоком з однієї камери, який є основою для ситуаційної обізнаності під час дистанційної роботи [2]. Розглянуті властивості камери, які можуть значно погіршити об'єктивну оцінку оператором ситуації навколо. Це може бути невдале розміщення камери, вузьке поле огляду та інші зовнішні фактори, які спричиняють когнітивні помилки та загальну дезорієнтацію. Розглянуті у роботі основи керування точкою огляду для тривимірних віртуальних середовищ можуть бути застосовні для досягнення мети цієї статті. Окремо досліджено методи оцінювання ефективності керування точками огляду на симульованому робототехнічному транспортному засобі. Отримані у роботі дані свідчать, що встановлення камери, керованої незалежно від орієнтації транспортного засобу, може полегшити завдання визначення шляху. Крім того, є докази на підтримку використання окремих камер та інтерфейсів для різних навігаційних підзадач.

Першим кроком при обробці даних від маркерів є етап отримання первинної інформації від давачів. В нашому випадку давачами є

багатокамерні системи. В іншій роботі досліджується метод автоматичного вибору камери на основі моделі знань за умов використання багатокамерних систем, зокрема для трансляції подій: спортивних, освітніх, концертів чи зустрічей тощо [3]. У таких системах автоматичний монтаж необхідний для вибору камери для трансляції відповідно до основної дії в сцені. Однак методи автоматичного вибору камери часто стосуються конкретної події. У цій роботі пропонується змодельовати функційні можливості систем автоматизованого редагування на основі аналізу сучасного рівня техніки, щоб виділити прикладний контекст. Запропонований метод спрямований на подання специфікації та формалізації знань контексту програми.

Німецькі дослідники запропонували так звану систему запису, яка автоматично вибирає камеру, розмір кадру та редагує відео під час запису з кількома камерами в театрі. У ще одній роботі розглянуто проблему, яка виникає у непрофесійному середовищі за багатокамерного запису сценічних шоу, коли аматори не навчені операторській роботі та використанню мікшерного пульта, який мікшує кілька камер [4]. Проблема можна вирішити з допомогою виробничого процесу з камерами високої роздільної здатності, де записи фрагментів зображення з довгих кадрів або кадрів середньої довжини обрізаються вручну або автоматично під час постпродакшну. Запропонована система називається «Пропонована система запису», розширює метод до чотирьох ракурсів на основі еталонної системи запису із записів професійного телевізійного театру Ohnsorg Theater. Правила для вибору камери, кадрування зображення та монтажу взято з еталонної системи запису. Для цього використовується програмне забезпечення розпізнавання тіла та пози, а сценічна дія реконструюється із записів у декорації. Динаміки розпізнаються з допомогою визначення рухів губ, а зміни динаміків ідентифікуються з допомогою програмного забезпечення для аудіодіаризації (розпізнавання мовця). Пропонована система запису практично реалізована на записі шкільного театру, зробленому непрофесіоналами з допомогою чотирьох камер 4K. Створюється сценарій автоматичного редагування, який виводить монтаж сцени. Принципи також можна адаптувати для інших ситуацій запису аудиторій: лекцій, інтерв'ю, дискусій, ток-шоу, гала-подій, церемоній нагородження тощо.

Також захоплення маркерів застосовують у медичній сфері. Зокрема у світі досліджують захоплення руху з допомогою світла та маркерів для аналізу структури обличчя, хоча набору маркерів для визначення оптимального макета ще не існує. І коли ми говоримо про сцену, то обличчя може відігравати вагомую роль для вибору алгоритмів, за якими перемикаються автоматичні камери. Тому цікавою є мета ще одного дослідження, яке пропонує автоматизований підхід до обчислення оптимізованого макета з мінімальною кількістю маркерів обличчя [5]. Було проаналізовано понад сто двадцять чітких зображень руху обличчя, отриманих з допомогою вісімнадцяти оптоелектронних камер T160 і двох відеокамер Vovita на частоті 100 Гц. Кожен знімок містить тривимірні координати 109-и маркерів (Ø 1,5 мм), зафіксованих навченим фізіотерапевтом на поверхні шкіри обличчя. Шість набутих мімічних рухів — це заплющування очей, примусове заплющування очей, вимова звуків [o] і [pu], посмішка та

спонтанна посмішка. Ці рухи було обрано через їх велике значення для аналізу виразу обличчя у здорових, патологічних або реабілітованих суб'єктів. Рухивідбуваються в різних зонах обличчя, охоплюючи як лобову, так і орбікулярну зони, а також зони губ і підборіддя. Потім відстані між кожним маркером та його найближчими сусідами обчислюються та використовуються як вхідні дані для рекурсивного двохетапного процесу класифікації KNN, який виконується на підмножині попередньо обчислених ознак, вибраних з допомогою процедури вибору ознак. Підмножина, яка дає змогу якісно автоматично ідентифікувати типи виконуваного руху, записується, і з неї беруть схему набору маркерів. Дослідження виявило набір із 19-и маркерів, а отриманий рівень розпізнавання становив 95 %.

МЕТОДИ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ В ЗАДАЧАХ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА СЦЕНІЧНОЮ ДІЄЮ

За поступового посилення ролі центрів керування та збору аналітичних даних у заданому просторі сцени виникає необхідність збирати інформацію від рухомих та нерухомих камер. Її кількість стрімко зростає, може з'являтися затримка, яка вноситься цифровою підсистемою кодування та декодування відео. І це обмежує можливості дистанційного стеження за ціллю. Тому стає актуальним застосування методів інтелектуалізації в задачах спостереження за сценічною дією.

Джерелами сигналу для інтелектуалізованої системи автоматичного вибору цілі можуть бути сенсори, наприклад, радіохвильові або вібраційні датчики, закріплені на самому об'єкті спостереження. Це певний маркер, закріплений у сценічний костюм артиста. При пересуванні в просторі камери відстежуватимуть сигнал і автоматично змінюватимуть кут стеження без участі оператора.

Сьогодні технології давачів досягли високого рівня, і активно розвиваються алгоритми збору відповідних даних. Для них теж мають бути визначені пріоритети типів даних для першочергового аналізу а саме, це — місцезнаходження цілі у просторі та час стеження за об'єктом, з прив'язкою до музичної композиції. У певні відрізки часу відбувається перемикання між камерами суворо відповідно до поставленого завдання аніматичного проекту. У роботу алгоритму допускається втручання режисера ПТС, якщо певний матеріал цікавий як творча одиниця. Після втручання процес відновлюється відповідно до заданих часових параметрів.

Метод роботи з маркерами взаємодіє з камерами у тривимірному просторі, повністю ідентичному побудованій 3D моделі, і не дає змоги такої роботи за його межами. Цю функцію реалізує спеціальне програмне забезпечення та інженерні рішення з інтеграцією в самі відеооб'єкти. Прикладом є оптична система трекінгу MoSys StarTracker — надійна запатентована система відстеження камери, яка використовує маленькі зірочки-світловідбивачі, прикріплені до стелі. Датчик StarTracker, спрямований вгору, визначає своє положення, вимірюючи кути та відстані між зірками, обчислюючи абсолютне положення камери [7]. Це система визначення розташування об'єкта з маркером містить StarTracker та Tracking Package.

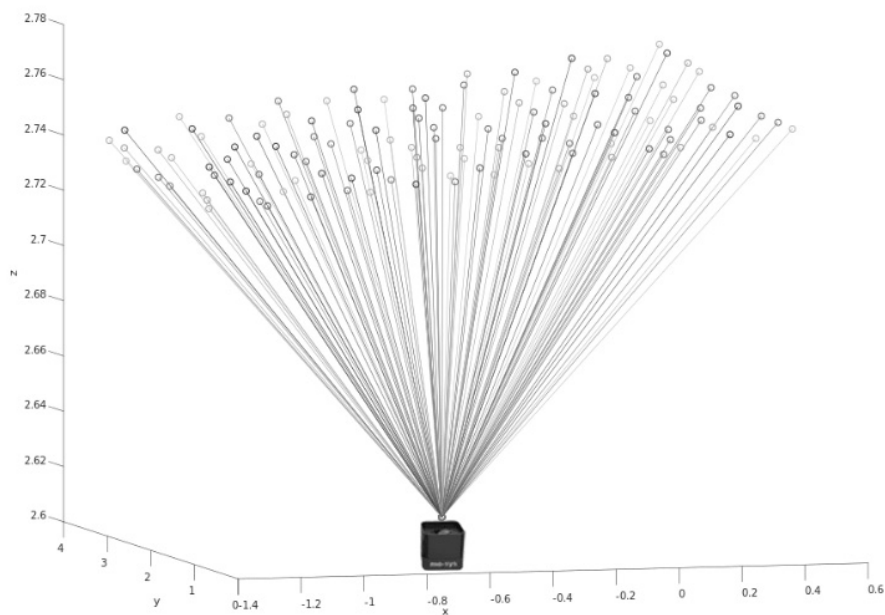


Рис. 1. Принцип роботи оптичної системи трекінгу StarTracker

Триангуляція з допомогою StarTracker уможливилює збір високоточних даних відстеження, що дає змогу переміщати студійні камери під час накладання доповненої графіки або використання повного віртуального набору для стеження за камерою для сцен Virtual Production та xR.

Спостереження за ціллю — завдання реального масштабу часу, чутливе до затримок. Загальна затримка відео в IP-мережі перевищує 500 мс (пів секунди). Якісне стеження за об'єктом може бути реалізоване за локального оброблення відео перед компресією. Така перспектива значно знижує якість відео, але дає змогу відстежувати об'єкти в динаміці. Наприклад людина, яка біжить, або переміщення артиста у виконанні танцю. Необхідно зрозуміти, яке критично допустиме значення зниження якості відео матеріалу, оскільки формати ТБ мають свої допустимі стандарти.

Сценічне місце характеризується низкою додаткових параметрів, які можуть спотворювати сигнал і створювати завади. За роботи великої кількості електронних приладів у безпосередній близькості до нашого обмеженого простору, таких як освітлювальні прилади, LED екрани, апарати спецефектів, робота інтеркомів, плунжерів, — утворюються різноманітні паразитні сигнали. Вони порушують якість зв'язку між маркером та системою відстеження його у просторі. Необхідно вибирати стійкі до перешкод варіанти передавання. Саме безперебійна робота дасть змогу забезпечити належне вироблення відеоматеріалу.

Зйомка концертного шоу — процес, у якому творчі завдання реалізуються шляхом високотехнологічного оброблення даних. Великого значення набуває крупність кадру та побудова композиції знімального плану. Мало знати, де розташовується об'єкт у просторі. Потрібне визначення його меж.

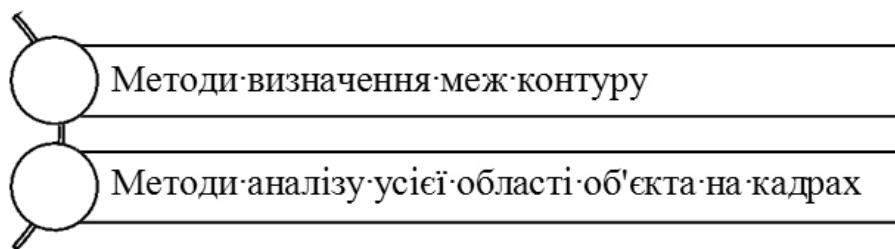


Рис. 2. Методи виділення рухомих об'єктів

Існують два основні класи методів виділення рухомих об'єктів. Це можливо зробити шляхом визначення меж контуру, або шляхом аналізу усієї області об'єкта на кадрах (Рис. 2).

У першому разі система збирає дані і організовує їх у просторовий контур рухомого об'єкта. У другому випадку, збір даних та організація потоку є групуванням подібних векторів цілої області у просторі. Фактично це є полем видимих зсувів пікселів зображення.

Розглянемо два зазначені класи методів детальніше.

Перший клас — методи визначення меж контуру, є узагальненою назвою для методів, які охоплюють методи Робертса, Превітта та Собеля. Всі зазначені методи базуються на одній із базових властивостей сигналу яскравості — розривності. Поширеним способом пошуку розривів є оброблення зображення з допомогою ковзної маски, яка є квадратною матрицею, відповідною зазначеній групі пікселів вихідного зображення [7]. Елементи матриці прийнято називати коефіцієнтами. Оперування такою матрицею в певних локальних перетвореннях називають просторовою фільтрацією.

Процес ґрунтується на простому переміщенні маски фільтра від точки до точки зображення; у кожній точці (x, y) відгук фільтра обчислюється з використанням заздалегідь заданих зв'язків. У разі лінійної просторової фільтрації відгук задається сумою добутку коефіцієнтів фільтра відповідних значень пікселів в області, покритій маскою фільтра. Для маски 3×3 елемента (Рис. 1), результат (відгук) R лінійної фільтрації у точці (x, y) зображення обчислюється як:

$$R = w(-1, -1) f(x - 1, y - 1) + w(-1, 0) f(x - 1, y) + \dots + w(0, 0) f(x, y) + \dots + w(1, 0) f(x + 1, y) + w(1, 1) f(x + 1, y + 1), \quad (1)$$

що є сумою добутку коефіцієнтів маски значення пікселів безпосередньо під маскою. З зауважимо, що коефіцієнт $w(0, 0)$ стоїть при значенні $f(x, y)$, вказуючи, що маска центрована в точці (x, y) . У разі виявлення перепадів яскравості використовують дискретні аналоги похідних першого і другого порядку. Для простоти викладу розглянемо одновимірні похідні. Перша похідна одновимірної функції $f(x)$ визначається як різниця значень сусідніх елементів:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = f(x + 1) - f(x). \quad (2)$$

Тут використано запис часткової похідної для того, щоб зберегти ті ж позначення у разі двох змінних $f(x, y)$, де доведеться обчислювати часткові похідні по двох просторових осях. Використання часткової похідної не змінює способу обчислення. Аналогічно, друга похідна визначається як різниця сусідніх значень першої похідної:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial^2 x} = f(x+1) + f(x-1) - 2f(x). \quad (3)$$

Обчислення першої похідної цифрового зображення ґрунтується на різних дискретних наближеннях двовимірного градієнта. За визначенням, градієнт зображення $f(x, y)$ у точці (x, y) є вектором [2]:

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{f(x, y) - f(x-1, y)}{f(x, y) - f(x, y-1)} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Загальний алгоритм методів аналізу усєї області рухомого об'єкта покадрово починається з частини сегментації, де передній план або рухомі об'єкти відокремлюють від фону. Прикладом цього класу методів є метод із різницею трьох кадрів для виявлення рухомих об'єктів [7]. Найпростіший спосіб реалізувати це — взяти зображення як фон і взяти кадри, отримані в момент часу t , позначені $I(t)$, для порівняння з фоновим зображенням, позначеним B . Тут, використовуючи прості арифметичні обчислення, ми можемо сегментувати об'єкти, застосовуючи техніку віднімання зображення комп'ютерного бачення: для кожного пікселя в $I(t)$ береться значення пікселя, позначене $P[I(t)]$, і віднімається з відповідними пікселями в тій самій позиції на фоновому зображенні, позначеному як $P[B]$. Математично це записується так:

$$P[F(t)] = P[I(t)] - P[B]. \quad (5)$$

Припускають, що фоном є кадр у момент часу t . Це зображення показуватиме певну інтенсивність лише для розташування пікселів, які змінилися в двох кадрах. Хоча ми таким чином виключили фон з розгляду, цей підхід працюватиме лише в разі, коли всі пікселі переднього плану рухаються, а всі пікселі фону є статичними. Для точнішого віднімання на цьому різницевому зображенні встановлено так зване порогове значення:

$$|P[F(t)] - P[F(t+1)]| > \text{Threshold}. \quad (6)$$

Це означає, що інтенсивність пікселів різницевого зображення є пороговою або відфільтрованою на основі значення Threshold. Точність цього підходу залежить від швидкості руху в сцені.

Перейдемо до методу пошуку рухомих об'єктів — методу обчислення градієнта оптичного потоку. Цей метод ґрунтується на підході до визначення напрямку та інтенсивності руху об'єктів зображення на основі зміни яскравості пікселів між двома часовими кадрами.

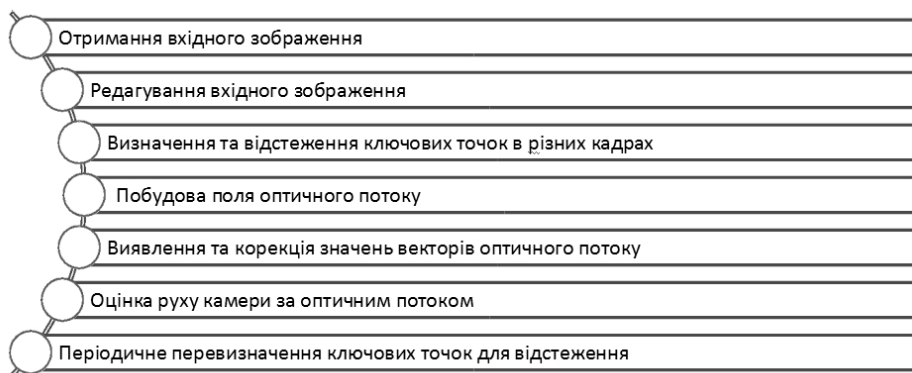


Рис. 3. Узагальнений алгоритм методу обчислення градієнта оптичного потоку

При побудові оптичного потоку вираховується градієнт оптичного потоку або, якщо застосувати другий підхід з другої групи розглянутих методів, то порівнюється вектор потоку в кожній точці кадра із сусідніми пікселями матриці, кожна комірка якої відповідає модулю градієнта, обчисленого на основі бінаризованого поля модуля градієнта.

Схожі за градієнтом потоки об'єднуються у певні зони. Далі виявляємо розмітку області та відмічаємо її як необхідну зону для стеження.

Робота відбувається послідовно з кожним кадром окремо. Порядок оброблення двох послідовних кадрів обчислюється з базового кадру. Зображення віднімається із заданого стандарту, а потім за алгоритмом пошуку в глибину відшуковують області схожих за поведінкою пікселів. Такі області обводяться контуром.

Задача спостереження за сценічною дією є окремим випадком візуальної одометрії — процесу визначення положення та орієнтації об'єкта з допомогою аналізу послідовності кадрів. Узагальнений алгоритм методу градієнта оптичного потоку подано (Рис. 3), хоча не слід забувати, що існують декілька основних алгоритмів, застосованих для методу визначення оптичного потоку (Рис. 4), і кожен з них має свої особливості щодо області застосування та наявних обмежень.

Lucas-Kanade алгоритм використовує локальну апроксимацію градієнта оптичного потоку методом найменших квадратів. Він розглядає окремі вікна зображення та шукає найменші квадратичні відхилення між двома кадрами для визначення напрямку та швидкості руху.

Horn-Schunck алгоритм моделює оптичний потік як гладку функцію, яка мінімізує функціонал енергії. Алгоритм враховує гладкість оптичного потоку в усьому зображенні та шукає оптимальний потік, який задовольняє певні умови.

Farneback алгоритм використовує апроксимацію змін яскравості пікселів з допомогою поліномів та використовує їх для обчислення оптичного потоку.

Оптимальний потік інформації (OF) моделює розподіл інтенсивності між двома кадрами та максимізує потік інформації між ними для визначення оптичного потоку.



Рис. 4. Алгоритми визначення оптичного потоку

DeepFlow алгоритм використовує глибокі нейронні мережі для прогнозування оптичного потоку на основі зображень.

Ці алгоритми можуть бути використані залежно від конкретної задачі та обмежень ресурсів, і кожен з них має свої переваги та недоліки. Сьогодні у світі вже є потужні багатоядерні комп'ютери, з допомогою яких процес реалізації режисерського задуму шляхом відеомонтажу можливий у реальному часі з мінімальною затримкою. Формат зйомки на телебаченні передбачає роботу із частотою 24 кадри/с. Існують також рапідні режими, або прискорена зйомка, де частота досягає 50 і 100 кадрів/с. Прискорена зйомка — кіно або відео з частотою від 32 до 200 кадрів/с. Використовується для отримання ефекту уповільненого руху під час проєкції фільму зі стандартною частотою кадрів. Але такі режими використовуються виключно для роботи в *post production* (після виробництва). Післявиробництво — це етап виробництва кіно, радіопередач та інших видів цифрового мистецтва, який виконують після знімання або запису окремих сегментів роботи, коли немає необхідності видавати результат у реальному часі. Це звичайний відеомонтаж, створений на основі всього записаного матеріалу.

Застосування у галузі кінематографії поширюється на етап монтажу — період оброблення відеоматеріалу після зйомок епізодів фільму, підготовка та виготовлення комп'ютерних об'єктів, редагування, монтаж, озвучування та оброблення матеріалу фільму.

Розглянутий метод визначення градієнта оптичного потоку для роботи з маркерами придатний і для кіно. Але є деякі складнощі, які варто розглядати окремо. Вони пов'язані з великою кількістю об'єктів, які знаходяться на дзеркалі сцени. Артист бере участь у постановочному

процесі, взаємодіючи з танцювальним балетом. На сцені одночасно можуть перебувати від одного до двадцяти людей. Тому необхідно виділити єдине поле руху виключно для спостереження за артистом. Для цього потрібно у подальшому розробити метод, який дасть змогу виключити решту рухомих об'єктів. Маркер і система стеження дасть змогу визначити точне місцезнаходження артиста, а метод виділення об'єкта визначить його рамки у просторі. Потрібно використання алгоритму, строго зав'язаного на часових параметрах.

Для глядача під час всього шоу відбувається звичайний виступ. Оцінювання відбувається візуально. Монтаж у реальному часі дає змогу глядачеві через телевізор чи гаджет спостерігати за монтажною драматургією виступу.

ВИСНОВКИ

Інформаційна технологія просторового моніторингу сцени може зробити ефективнішим та простішим використання автоматизованих відеокамер в задачах спостереження за сценічною дією для відео-фотозйомки. Використання інформаційної технології спостереження для одного об'єкта чи їх групи може зменшити навантаження на персонал, який обслуговує зйомку та керує нею, або залежно від поставленої задачі зменшить кількість людей задіяних у роботі.

Проблема взаємодії маркерів із камерами у тривимірному просторі, ідентичному побудованій 3D моделі і їх взаємодії є не тільки елементом технологій комп'ютерного зору та комп'ютерної графіки, таких як віртуальна реальність. Маркери також є елементом взаємодії з реальним оточенням, і слугують для відстеження сценічних об'єктів та для повної реконструкції сцен. Взаємодія маркерів з камерами дає змогу відстежувати рух об'єктів або досліджувати їхнє положення та орієнтацію у тривимірному просторі. Також їх використання спільно з камерами дає змогу створювати віртуальні об'єкти або ефекти, які відтворюються на основі реального оточення (доповнена реальність) або створюються цілком віртуальні сцени (віртуальна реальність).

Використання маркерів дає змогу проводити реконструкцію тривимірних об'єктів та сцен на основі даних, зібраних камерами. Це може бути корисно для створення тривимірних моделей, архітектурних проєктів, анімації та інших цілей.

Вибір найкращого методу взаємодії маркерів з камерами у тривимірному просторі залежить від конкретного контексту задачі, вимог щодо точності та ефективності, а також від обмежень ресурсів. Не існує одного універсального «найкращого» методу, оскільки кожен з алгоритмів має свої переваги та недоліки. Однак метод обчислення градієнта оптичного потоку може вважатися більш відповідним для використання у сценічному виробництві. Він дає змогу використати усі плюси від розвитку обчислювальної техніки та штучного інтелекту для роботи з великою кількістю динамічних об'єктів і може застосовуватися як базовий для впровадження інтелектуалізації процесів просторового моніторингу сцени та ведення монтажу в режимі реального часу.

Запровадження інформаційної технології просторового моніторингу сцени, заснованої на методі обчислення градієнта оптичного потоку зробить ефективнішим та спростить використання автоматичних відеокамер в задачах спостереження за сценічною дією для відео-фотозйомки. Використання інформаційної технології спостереження для одного об'єкта чи їх групи зменшить навантаження на персонал, що обслуговує зйомку та керує нею, або залежно від використання та поставленої задачі зменшить кількість задіяних у роботі людей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Волков О.Є., Шепетуха Ю.М., Богачук Ю.Л., Комар М.М., Волошенюк Д.О. Досвід створення та впровадження інтелектуалізованих систем керування динамічними об'єктами. *Control Systems and Computers*. 2022. № 1. С. 64–81. <https://doi.org/10.15407/csc.2022.01.064>
2. Stephen Hughes, Michael Lewis Robotic camera control for remote exploration *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, April 2004. P. 511–517 <https://doi.org/10.1145/985692.985757>
3. Lefevre F., Bombardier V., Charpentier P. Context-based camera selection from multiple video streams. *Multimed Tools Appl.* 81. P. 2803–2826 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11042-021-11674-6>
4. E. Stoll, S. Breide, S. Göring, A. Raake. Automatic Camera Selection, Shot Size, and Video Editing in Theater Multi-Camera Recordings. *IEEE Access*. Vol. 11. P. 96673-96692. 2023. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3311256>
5. N. Dagnes, K. Ben-Mansour, F. Marcolin, F. Marin, F.R. Sarhan, S. Dakpé, E. Vezzetti. What is the best set of markers for facial movements recognition. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine* (2018); <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2018.05.1062>
6. M. Gustavo. Steadicam shot. *The Filmmaker's Eye*. 2022. P.197–202. <https://doi.org/10.4324/9781315770857-33>
7. Griffith D.A. Spatial Filtering. In: Fischer, M., Getis, A. (eds) *Handbook of Applied Spatial Analysis*. Springer, Berlin, Heidelberg. 2010. https://doi.org/10.1007/978-3-642-03647-7_16
8. Simsek E., Ozyer B. Selected Three Frame Difference Method for Moving Object Detection. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*. 2021. 9(2). P. 48–54. <https://doi.org/10.18201/ijisae.2021.233>

Отримано 06.03.2024

REFERENCES.

1. O.Ye. Volkov, Yu.M. Shepetukha, Yu.P. Bogachuk, M.M. Komar, D.O. Volosheniuk, Experience in development and implementation of intelligent systems for control of dynamic objects. *Control Systems and Computers*, 2022, Issue 1 (297), pp. 64–81 <https://doi.org/10.15407/csc.2022.01.064>
2. Stephen Hughes, Michael Lewis Robotic camera control for remote exploration. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, April 2004, pp. 511–517 <https://doi.org/10.1145/985692.985757>
3. Lefevre F., Bombardier V., Charpentier P. Context-based camera selection from multiple video streams. *Multimed Tools Appl.* 81, pp. 2803–2826 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11042-021-11674-6>
4. E. Stoll, S. Breide, S. Göring, A. Raake. Automatic Camera Selection, Shot Size, and Video Editing in Theater Multi-Camera Recordings. *IEEE Access*. 2023, Vol. 11, pp. 96673-96692, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3311256>
5. N. Dagnes, K. Ben-Mansour, F. Marcolin, F. Marin, F.R. Sarhan, S. Dakpé, E. Vezzetti. What is the best set of markers for facial movements recognition. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2018, <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2018.05.1062>
6. M. Gustavo, Steadicam shot. *The Filmmaker's Eye*, 2022, pp.197–202 <https://doi.org/10.4324/9781315770857-33>

7. Griffith D.A. Spatial Filtering. In: Fischer, M., Getis, A. (eds) Handbook of Applied Spatial Analysis. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010. https://doi.org/10.1007/978-3-642-03647-7_16
8. Simsek E., Ozyer B. Selected Three Frame Difference Method for Moving Object Detection. International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering. 2021, 9(2), pp.48–54. <https://doi.org/10.18201/ijisae.2021.233>

Received 06.03.2024

Shepetukha Yu.M., PhD (Engineering), Senior Researcher
Leading Researcher of the Intelligent Control Department
<https://orcid.org/0000-0002-6256-5248> e-mail: yshep@meta.ua
Bondar S.O., PhD (Engineering),
Head of the Intelligent Control Department,
<https://orcid.org/0000-0003-4140-7985>, e-mail: seriybrm@gmail.com
Hubsy Ya.M., PhD Student,
<https://orcid.org/0009-0009-4484-9544>, e-mail: s.gubsky@gmail.com
Popov I.V., PhD Student,
Junior Researcher of the Intelligent Control Department
<https://orcid.org/0009-0009-7961-9431>, e-mail: popigor7@gmail.com
International Research and Training Center for Information
Technologies and Systems of the National Academy of Science
and Ministry of Education and Science of Ukraine.
40, Acad. Glushkov av., 03187, Kyiv, Ukraine

METHODS OF INTELLECTUALISATION OF SPATIAL SCENE MONITORING PROCESSES

Introduction. *The development of intelligent technologies requires the active use of advanced technologies and innovative approaches for the intellectualization of spatial scene monitoring processes. The relevance of the topic lies in the great need to improve the quality of video content production. In particular, there is interest in the automation and further intellectualization of shooting processes. The use of new methods of intellectualization leads to a reduction of permissible errors when creating a creative video project. Intellectualization of data processing processes from markers, namely the use of artificial intelligence (AI) methods, allows to obtain a controlled level of quality with minimal human involvement. Intellectualization of stage production contributes to the creation of exciting and innovative performances that captivate the audience. It allows creating new ways of interacting with the audience and providing them with unique impressions from cultural events.*

The purpose of the paper is to study the methods of intellectualization of data processing from markers during the use of automatic video cameras in tasks of observing stage action for video-photography.

The results. *The issue of the interaction of markers with cameras in three-dimensional space, which is completely identical to the built 3D model, is considered.*

Conclusions. *The information technology of spatial monitoring of the scene can increase the efficiency and simplify the use of automatic video cameras in the tasks of monitoring the stage action for video-photo shooting. There is no one universal "best" method, as each algorithm has its own advantages and disadvantages. However, the optical flow gradient calculation method may be considered more suitable for use in stage production.*

The introduction of information technology for spatial scene monitoring based on the optical flow gradient calculation method will improve efficiency and simplify the use of automatic video cameras. The use of surveillance information technology will reduce the burden on the personnel who maintain and manage the filming and are involved in the work.

Keywords: *intellectualization of data processing processes, intelligent monitoring, automatic video camera, animation, optical flow gradient, computer vision.*