

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет комп'ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Моделі та алгоритми
створення системи відеомоніторинга за будівництвом

(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи СПм-21-2
Демиденко Д.В.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-наукова
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Системне програмування
(повна назва освітньої програми)

Керівник: проф. Фесенко Т.Г.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ЕОМ

(підпис)

Коваленко А.А.

(прізвище, ініціали)

2023 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ комп'ютерної інженерії та управління _____

Кафедра _____ електронних обчислювальних машин _____

Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

Спеціальність _____ 123 «Комп'ютерна інженерія» _____
(код і повна назва)

Тип програми _____ освітньо-наукова _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____ Системне програмування _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту _____ Демиденку Давиду Володимировичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Моделі та алгоритми створення системи відеомоніторингу за будівництвом

затверджена наказом по університету від “ 03 ” квітня 2023 р. № 318 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 17 травня 2023 р.

3. Вхідні дані до роботи _____

Програмна архітектура BIM (Building Information Modeling)

Методи для обробки відеоданих (метод зсуву середнього значення, Байєський аналіз

Контурний аналіз, сегментація на основі графа)

Життєвий цикл реалізації будівельного проєкта

Моделі відеокамер Verkada

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі _____

Огляд вимог і технічних засобів для автоматизованого відстеження об'єктів на будівельному майданчику

Проаналізувати методи для обробки відеоданих і обрати найбільш коректний для реалізації відеомоніторингу за будівництвом

Запропонувати декілька алгоритмів, методів, моделей відеокамер для створення системи відеомоніторингу за будівництвом

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) _____

Слайд-презентація – 12 слайдів _____

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд IT рішень для відеомоніторингу за будівництвом	04.04.23–07.04.23	
2	Вибір та обґрунтування методики дослідження	08.04.23–13.04.23	
3	Аналіз методів обробки відеоданих. Вибір найбільш коректного для застосування	14.04.23–18.04.23	
4	Розробка архітектури автоматизованого відстеження об'єктів на буд.майданчику	19.04.23–25.04.23	
5	Проведення експериментів	26.04.23–03.05.23	
6	Оформлення матеріалів кваліфікаційної роботи	04.05.23–08.05.23	
7	Подання керівникові кваліфікаційної роботи та її попередній захист	10.05.23–11.05.23	
8	Подання кваліфікаційної роботи на рецензування	12.05.23–16.05.23	

Дата видачі завдання 03 квітня 2023 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

проф. Фесенко Т.Г.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 74 с., 16 рис., 1 табл., 2 дод., 71 джерел.

КОМП'ЮТЕРНИЙ ЗІР, ПЕРЕДАЧА ВІДЕОДАН, МОНІТОРИНГ ПРОГРЕСУ, ВІДСТЕЖЕННЯ РЕСУРСІВ, ПРОЕКТНА ПЛАТФОРМА, КОНТРОЛЬ ПРОДУКТИВНОСТІ, БУДІВНИЦТВО.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка теоретико-методичних рішень з підвищення ефективності контролю і моніторингу будівництва шляхом використання технологій відеоспостереження.

У ході виконання кваліфікаційної роботи були проаналізовані сучасні IT-інструменти, які застосовуються для контролю і моніторингу виконання робіт на будівельному майданчику.

Визначено базові моделі, методи, інструменти обробки фото і відео зображень, заснованих на технологіях комп'ютерного зору. Встановлено, що більш коректним алгоритмом збору й аналізу типових будівельних даних для автоматичного відстеження місцезнаходження є байєсовська сегментація.

Удосконалена про процедура автоматизованого аналізу безпеки, продуктивності виконання будівельних робіт із використанням відеокамер (розміщених на будівельному майданчику).

Запропонований комплекс рішень для візуального відстеження людей і механізмів на об'єкті будівництва дозволять особамб які приймають рішення, більш ефективно управляти відеоданими на різних етапах життєвого циклу будівельного проєкту.

ABSTRACT

Master's thesis: 74 pages, 16 figures, 1 tables, 2 appendices, 71 sources.

COMPUTER VISION, VIDEO DATA TRANSFER, PROGRESS MONITORING, RESOURCE TRACKING, PROJECT PLATFORM, PERFORMANCE MONITORING, CONSTRUCTION

The major goal of this thesis is the development of theoretical and methodological solutions to increase the effectiveness of control and monitoring of construction through the use of video surveillance technologies.

During the qualification work, modern IT tools, which are used to control and monitor work performance on the construction site, were analyzed.

The basic models, methods, and tools for processing photo and video images based on computer vision technologies are defined. It has been established that Bayesian segmentation is the correct algorithm for collecting and analyzing typical building data for automatic location tracking.

The procedure for automated analysis of safety, and performance of construction works using video cameras (placed on the construction site) has been improved.

The proposed set of solutions for visual tracking of people and mechanisms at the construction site will allow decision-makers to more effectively manage video data at various stages of the life cycle of a construction project.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ВІДЕОМОНІТОРИНГА ЗА БУДІВНИЦТВОМ.....	12
1.1 Відеомоніторинг за будівництвом: ідентифікація можливостей	12
1.2 Огляд вимог та засобів для автоматизованого відстеження працівників.....	14
1.2.1 Особливості здійснення контролю за станом виконання будівельних робіт.....	15
1.2.2 Технології стеження для автоматизованого контролю продуктивності	16
1.2.3 Огляд методів автоматичного виявлення та відстеження на основі зору	19
2 МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ РОЗРОБКИ ВІЗУАЛЬНОГО ВІДСТЕЖЕННЯ	22
2.1 Методи розробки системи візуального відстеження.....	22
2.2 Особливості відстеження персоналу за допомогою відеокамер.....	29
3 ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВІДЕОМОНІТОРИНГУ ЗА БУДІВНИЦТВОМ	33
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	41
4.1 Застосування алгоритму відстеження персоналу за допомогою відеокамер	41
4.2 Інтеграція елементів відеомоніторингу в інформаційну систему компанії-Забудовника.....	43
ВИСНОВКИ.....	48
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	49

ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	56
ДОДАТОК Б Приклади функціонально-технічних характеристик відеокамер для відеоспостереження за будівництвом	64
Б.1 Внутрішні купольні камери	64
Рисунок Б.1.2 – Функціонально-технічні характеристики внутрішньої купольної камери Verkada.....	64
Б.2 Камери, стійкі до атмосферних впливів	65
Б.3 Камери безпеки високої роздільної здатності	66
ДОДАТОК В Макет наукової статті для фахового видання	68

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

APM – автоматизоване робоче місце

ІКТ – інформаційно-комунікативні технології

ІТ – інформаційні технології

BIM – інформаційне моделювання будівель (Building Information Modeling)

SSD – твердотілий накопичувач (Solid-State Drive)

DVR – відеореєстратор (Digital Video Recorder)

NVR – мережевий відеореєстратор (Network Video Recorder)

PMBOK – свод знань з управління проєктами (A Guide to the Project Management Body of Knowledge)

3D, 4D – три (чотири) виміність (Dimension, Dimensional)

АСТ – автоматизоване відстеження будівництва (Automated construction tracking)

RANSAC – ітеративний метод, що використовується для оцінки параметрів математичної моделі для набору спостережуваних даних (RANdom SAmple Consensus)

GPS – Система глобального позиціювання (Global Positioning System)

RFID – радіочастотна ідентифікація (Radio frequency identification).

UWB - ультраширокий діапазон (Ultra-Wide Band)

ВСТУП

Реалізація будь-якого будівельного проєкту вимагає чіткої системи контролю за виконанням будівельно-монтажних робіт. Так, перевірка виконання робіт на об'єкті передбачає реалізацію технічного, авторського, виробничого нагляду. Специфіка системи управління будівельним проєктом пов'язана із залученням значних трудових ресурсів, а саме: виконроба, інженера з технічного нагляду і головного інженера проєкту (головного архітектора проєкту). Під час проведення регулярних оперативних нарад на будмайданчику також беруть участь керівники будівельних організацій (вищої і середньої ланки управління), експерти з проєктування і виконання спеціалізованих видів робіт, представники державного контролю (пожежної охорони, енергозбереження, санстанції, охорони праці, архітектурно-будівельного контролю тощо).

Для прийняття конструктивних рішень учасникам таких нарад потрібна повна виробничо-організаційна інформація за об'єктом будівництва. Разом з тим традиційною проблемою є складність отримання повної та точної інформації, бо це пов'язано із «людським чинником» (безвідповідальність виконавців, прояви корупції тощо). Оскільки ключові відповідальні особи за характером своєї роботи не можуть бути присутніми на будмайданчику 24 години на добу, то актуальним залишається питання про удосконалення не тільки системи контролю за виконанням будівельно-монтажних робіт, а управління будівельним проєктом в цілому.

На сьогодні будівельні проєкти стають набагато складнішими і комплексними в управлінні, що, у свою чергу, обумовлює розвиток використання інформаційно-комунікаційні технологій (ІКТ) в архітектурі та будівництві. Інформаційне моделювання будівель (Building Information Modeling, BIM) надає можливість команді архітекторів, інженерів, забудовника (замовника), підрядників та ін. виробляти спільний підхід для реалізації будівельного проєкту: від ініціації (розробки техніко-економічного

обґрунтування) до введення в експлуатацію об'єкта будівництва [1]. У такій ситуації набуває науково-практичного значення дослідження щодо вироблення дієвих підходів для реалізації BIM проєктів.

Оскільки *проєкт* – це комплекс дій, скерованих на одержання унікального результату, що може бути продуктом чи послугою, тому його реалізація завжди пов'язана з ризиками. У стандарті PMBOK *ризик* визначається як невизначена подія (або умова), настання якої негативно або позитивно позначається на цілях проєкту (наприклад, строках, вартості, контексту, якості) . Також під ризиком розуміють: подію, яка ще не відбулась; ймовірність події; подію, якої можна було запобігти; негативну або позитивну подію; подію, наслідки якої можна мінімізувати або максимізувати або прийняти .

Управління ризиками в ІКТ проєктах передбачає визначення передумов виникнення ризиків, аналіз ймовірності та потенційного впливу кожного чинника, визначення пріоритетів факторів ризику та розробку стратегій зменшення ймовірності виникнення ризику, а також мінімізації негативного впливу (у разі коли фактор ризику стає проблемою). Для ІКТ проєктів негативний вплив пов'язано із схильністю інженерів-програмістів додавати непотрібні функції, «прогалинами» в управлінні вимогами до якості програмного забезпечення (наприклад, безпека). Слід відзначити, що управління ризиками представляється безперервним і наскрізним процесом протягом усього життєвого циклу проєкту, метою якого є забезпечення стабільного прогресу та відповідність внутрішнім і зовнішнім обмеженням, що змінюються.

Мета дослідження – розробка теоретико-методичних рішень з підвищення ефективності контролю і моніторингу будівництва шляхом використання технологій відеоспостереження.

Для досягнення поставленої мети пропонується вирішити наступні завдання:

- проаналізувати сучасні ІТ-інструменти, які застосовуються для контролю і моніторингу виконання робіт на будівельному майданчику;
- визначити моделі, методи, інструменти обробки фото і відео зображень, заснованих на технологіях комп'ютерного зору;
- дослідити процедуру автоматизованого аналізу безпеки, продуктивності виконання будівельних робіт із використанням відеокамер (розміщених на будівельному майданчику);
- запропонувати комплекс рішень для візуального відстеження людей і механізмів на об'єкті будівництва та управління відеоданими на різних етапах життєвого циклу.

1 АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ВІДЕОМОНІТОРИНГА ЗА БУДІВНИЦТВОМ

1.1 Відеомоніторинг за будівництвом: ідентифікація можливостей

Безпека є головним пріоритетом для будівельних компаній, незалежно від розміру проекту чи організації. Галузева специфіка будівництва полягає у тому, що на робочих місцях виникає багато потенційних ризиків і небезпек, починаючи від крадіжки і закінчуючи вандалізмом. Для будівельних компаній важливо мати ефективні камери спостереження для моніторингу будівельних майданчиків, щоб захистити працівників, обладнання та матеріали.

Однією з найбільших проблем безпеки, з якою стикаються будівельні компанії, є крадіжки. Трапляються випадки, коли інструменти та матеріали викрадають з робочих місць, особливо якщо вони не захищені належним чином або не контролюються камерами безпеки. Це може призвести до значних втрат компанії з точки зору фінансів і продуктивності. Для подолання цієї проблеми, компанії повинні переконатися, що всі матеріали надійно закриті (коли вони не використовуються) та інвестувати в якісне обладнання для відеоспостереження, щоб допомогти контролювати діяльність на будівельному майданчику.

Друга проблема, яка може виникнути на будівельних майданчиках, є доступ несанкціонованого персоналу на територію без дозволу або належних протоколів безпеки. Без відповідних заходів безпеки, таких як системи контролю доступу або ідентифікаційні картки, може бути важко визначити, кого насправді впускають у приміщення, а кого ні. Крім того, деякі працівники можуть нехтувати стандартами безпеки через відсутність нагляду, що наражає їх на ризик серйозних травм або навіть смерті, якщо не вжити належних заходів. Отже, моніторинг будівельного майданчика дуже

важливий для забезпечення безпеки працівників.

В цілому для будівельних компаній важливо мати комплексні заходи безпеки, щоб захистити своїх працівників і активи від потенційних загроз або нещасних випадків на місці. Інвестиції в якісні камери відеоспостереження в поєднанні з іншими технологіями, такими як системи контролю доступу, можуть допомогти мінімізувати ці ризики, водночас гарантуючи безпеку вашого робочого місця протягом усього періоду його роботи.

Компанії-виробники відеокamer пропонують широкий спектр продуктів безпеки, включаючи камери розпізнавання облич, контроль доступу, датчики вторгнення та професійний моніторинг. Наприклад, усі пристрої Verkada інтегруються один з одним і керуються ними з єдиної хмарної інформаційної панелі.

Особливості всіх пристроїв Verkada

1) простота у використанні:

- твердотільний накопичувач (SSD): не потрібні NVR, DVR або сервер;
- регулярні автоматичні оновлення програмного забезпечення: не потрібно хвилюватися про те, чи інші пристрої працюють належним чином або вони оновлені з нашими пристроями Verkada;
- просте встановлення Plug-and-Play: потрібен лише стандартний кабель Ethernet, щоб камери були підключені та повністю готові за лічені хвилини;
- доступ будь-де та будь-коли: отримуйте доступ до заархівованих або живих відео на будь-якому пристрої чи в будь-якому браузері;

2) масштабованість

- необмежене зберігання на камері та в хмарі: зменшення ризику відповідальності вашої організації за допомогою необмеженого хмарного архівування, яке пропонують камери Verkada;
- дозволено необмежену кількість користувачів: можна легко дозволити адміністраторам доступ до необмеженої кількості користувачів;
- можливість нескінченного масштабування: незалежно від того,

наскільки великий заклад, можна допомогти тримати всіх на одній сторінці;

3) безмежно розумний

- відеоаналітика на основі штучного інтелекту: доступно розпізнавання облич, розпізнавання зацікавлених осіб і розпізнавання номерних знаків;
- сповіщення в реальному часі: отримання миттєвих сповіщень про будь-які важливі події;
- живі стрічки, якими можна ділитися за допомогою SMS. Це корисно, оскільки можна надіслати його службам швидкого реагування у разі надзвичайної ситуації, що значно скорочує час реагування;
- 10-річна гарантія.

У Додатку В наведено приклади функціонально-технічних характеристик відеокамер для відеоспостереження за будівництвом.

1.2 Огляд вимог та засобів для автоматизованого відстеження працівників

Основна складність, пов'язана з відстеженням на будівельному майданчику, полягає в будівельному середовищі. Проблеми включають візуальний безлад, зміну фотометричного візуального вмісту протягом дня, а також наявність загороджувальних і рухомих перешкод. Відстеження працівників у полі зору камери базується на інформації про зовнішній вигляд відстежуваного працівника. В літературі з комп'ютерного зору існує безліч методів відстеження, у тому числі алгоритм відстеження на основі статистичних шаблонів, відстеження середнього зсуву [1], трекари на основі сегментації: байєсівські, активні контури та методи сегментації на графіку, що використовуються для відстеження [2–6]. Тоді як алгоритм середнього зсуву може відстежувати лише загальне положення працівника, методи на

основі сегментації також можуть відстежувати форму працівника за відповідних умов зображення.

1.2.1 Особливості здійснення контролю за станом виконання будівельних робіт

Проблеми, з якими щодня стикаються керівники будівельних проєктів, пов'язані з виконанням робіт, що виконуються «вручну». Сучасне будівництво розвивається в напрямку автоматизованого планування та контролю проєкту, що включає тривимірні (3D) моделі, які містять часову шкалу проєкту, а також відомі як 4D моделі. 4D-модель вказує на перехід і завершення окремих компонентів, як це передбачено графіком і моніторингом статусу будівельних робіт [7]. Контроль вартості проєкту можна підтримувати за допомогою візуалізації та генерації звітів на певну дану. Робота декомпонується на робочі пакети, які можна окремо розподіляти та виконувати. Робочі завдання можуть виконуватися за допомогою одного компонента або підтримувати декілька підготовчих робіт на малих, середніх або великих сайтах.

Слід зазначити, що в будівельне професійне середовище включено різні професії, що робить деякі будівельні роботи унікальними або типовими для взаємозалежних робочих завдань. Спостереження за виконанням робочих завдань і пакетів стало важливим показником для відстеження прогресу сайту. Зокрема, передбачається, що присутність і відстеження робочої сили відіграють вирішальну роль у виконанні робочих завдань, оскільки прогрес будівництва передбачає ручну роботу або операції із використанням обладнання.

Своєчасний зворотний зв'язок щодо статусу проєкту може допомогти керівництву проєкту звітувати про точний відсоток виконання завдань, належним чином розподіляти ресурси для робочих пакетів і, зрештою,

підтримувати контроль над витратами та графіком. Метою будівельної індустрії, що керується компонентами, є, наприклад, надати особі, яка приймає рішення, інформаційні моделі, які включають геометричні знання, а також випадки вартості, графіку, поставок, контрактів, послуг тощо, які розвиваються у часі. Повністю інтегрований підхід можна назвати Building Information Modeling (BIM) [8–12].

Особливий інтерес для будівельної індустрії полягає в тому, щоб «досягти визнання завершення компонентів на вимогу, автоматично, за мінімальної людської взаємодії» [7]. Типові проекти супроводжуються планами, які містять детально розбитий перелік робочих завдань. Організовані у формі списку, вони вимірюються за допомогою коефіцієнтів ефективності, які базуються на досвіді або архівах попередніх проєктів. Традиційні підходи до вимірювання показників результативності є здебільшого ручними за своєю природою та базуються на суб'єктивних думках. Крім того, вони є дорогими, схильними до помилок через брак досвіду реєстратора, а також занадто рідкісними для ефективного та успішного контролю проєкту. Автоматизований моніторинг проєкту обіцяє вирішити ці перешкоди [13].

1.2.2 Технології стеження для автоматизованого контролю продуктивності

Для вимірювання продуктивності автоматизованого моніторингу прогресу, включаючи моніторинг працівників, було проведено низку досліджень і комерційних досліджень. Загалом у цих дослідженнях використовуються технології відстеження на основі радіочастотної ідентифікації (RFID) [14, 15], системи глобального позиціонування (GPS), штрих-коду, лазерного сканування [16–18] або гібридних систем двох або більше технологій [19–24] для відстеження прогресу різних аспектів будівельних майданчиків.

Незважаючи на те, що деякі з існуючих технологій, наприклад пристрої RFID і GPS, були успішно реалізовані для відстеження будівельних ресурсів, усі ці технології працюють за тим самим принципом ручного встановлення датчика на об'єкті. Ефективне напівавтоматичне відстеження ресурсів передбачається для великих і капіталомістких будівельних проектів, де присутні кілька сотень ресурсів, таких як персонал, обладнання та матеріали. Однак у таких програмах встановлення та обслуговування інфраструктури міток і датчиків стає дорогим і вимагає багато часу. Таким чином, поточні дослідження та промислові зусилля зосереджені на відстеженні критичних активів проекту [14, 15, 20]. Розміщення тегів на ресурсах пов'язане з декількома іншими проблемами, яких не має підхід, заснований на баченні: (а) персонал може навмисно видалити теги через проблеми конфіденційності, (б) читання тегів на чорних металах все ще залишається певною проблемою [14], і (с) розмір і геометрія мітки ускладнюють їх розміщення на невеликих матеріалах, наприклад, обмежуючи діапазон читання RFID. GPS добре працює для відстеження важкої будівельної техніки (наприклад, землерийної), але може не надавати точні дані про позиціонування в місцях, куди не досягають сигнали GPS, наприклад у густонаселених містах або в приміщеннях. Технологія RFID зазвичай не забезпечує локалізацію своїх тегів у реальному часі, а в прикладних дослідженнях використовує відстеження будівельних матеріалів на основі близькості (наприклад, ручне зчитування або використання воріт, обладнаних зчитувачами RFID). UWB пропонує тривимірну локалізацію ресурсів у реальному часі, але вимагає встановлення тегів та дорогої інфраструктури зондування [25]. Обмеження розміру та потужності датчиків, наприклад GPS, роблять непрактичним застосування їх до менших матеріалів або людей.

Існуючі технології, включно з візуальними датчиками, пропонують певні переваги та обмеження у відстеженні ресурсів. Принцип вимірювання методів відстеження GPS, RFID, UWB або методів відстеження на основі зору базується на прямому огляді. Усі ці методи погіршуються, коли

втрачається або порушується лінія прямої видимості. Основна перевага методів відстеження на основі зору полягає в тому, що вони менш нав'язливі та добре підходять для обробки ресурсів відстеження на великих і відкритих будівельних майданчиках, наприклад, при будівництві автомагістралей і аеропортів. Такі типи будівництва вимагають методів відстеження, які охоплюють великі території за менших витрат на впровадження. Існує багато застосувань для методів, заснованих на візуалізації, деякі з них: (а) забезпечення того, що персонал без супроводу, який може входити на будівельний майданчик, або персонал без пропуску (RFID, UWB) може бути виявлений; та (б) перевіряти та документувати наявність субпідрядників для цілей бухгалтерського обліку.

Інші дослідження моніторингу прогресу на основі візуалізації зосереджені на порівнянні запланованої і побудованої інфраструктури та структурного тривимірного моделювання в доповненій реальності [26–28], виявленні дефектів [29] і тривимірному моделюванні просторове моделювання [30].

В роботі [31] зазначається, що одним із найекономічніших способів автоматичного відстеження прогресу є запис відео або фотографування. Автори дослідження [32] пропонують використовувати ручний відеозапис та інтерпретацію, щоб успішно продемонструвати шляхи будівельників без доданої вартості. Будівництво все ще використовує значну частку людської праці, натомість простір та інвентар часто використовуються без жодної вартості. Надані дані можуть призвести до часто необхідних інновацій, керованих менеджментом, і до прагматичного вирішення проблем «знизу до гори» [33]. Інша основна сфера застосування, яка може отримати вигоду від автоматизованого відстеження продуктивності, – безпека будівництва [34]. Загалом, нещасним випадкам можна запобігти, якщо робітники та оператори машин будуть більш обізнані та уважні до фізичного стану навколишнього середовища. Як було запропоновано в цьому дослідженні, забезпечення розуміння розташування ресурсів може допомогти в довгостроковій

перспективі в автоматизованих підходах для «пом'якшення» обмеженого бачення та обізнаності оператора обладнання [35]. У короткостроковій перспективі це може допомогти у навчанні та освіті персоналу та керівництва на всіх рівнях. Забезпечуючи точний збір і обробку даних, інформацію можна візуалізувати та використовувати для підвищення кваліфікації з техніки безпеки та найкращих практик [36].

Водночас більшість існуючих підходів до збору даних стикаються з двома основними проблемами: 1) ручні зусилля, спрямовані на точний запис і точну інтерпретацію зібраних даних, можуть бути дуже значними, зокрема протягом тривалих періодів часу, і 2) підходи, засновані на автоматичному вилученні (детальної) інформації про хід роботи з фотографій або відео оточення будівельного майданчика, не існують або працюють ненадійно.

1.2.3 Огляд методів автоматичного виявлення та відстеження на основі зору

Збільшення потреби та використання сучасних датчиків на будівельних майданчиках у поєднанні з величезним обсягом збору даних, пов'язаних із датчиками, вимагає використання автоматизованих або, мінімально, напівавтоматичних методів [37]. Область комп'ютерного зору спеціально займається збором, обробкою та візуалізацією даних, пов'язаних із тривимірним світом [38]. Залежно від датчика та призначених даних існують різні методи обробки зображень і відео [39].

На сьогоднішній день основні методи включають фонове моделювання, цільове моделювання та відповідність, а також методи на основі машинного навчання [40–42]. Після виявлення можна застосувати алгоритми відстеження, щоб отримати оцінку руху цілі в просторі та часі. Для малих цілей, відносно послідовних цілей, нежорсткі методи на основі шаблонів є ідеальними [43–46]. Для більших, нежорстких або змінних цілей методи

відстеження на основі сегментації, як правило, працюють краще [47–49]. Основними методами є байєсівська сегментація, активні контури та розрізи графіків [50–53]. На відміну від нежорстких методів, заснованих на шаблонах, методи, засновані на сегментації, можуть забезпечити обмежувальні контури об'єктів доріжки, тобто можна зробити оцінку пози, наміру або іншої геометрії об'єкта доріжки [41,54].

Оцінку або аналіз візуальної сцени можна виконати за допомогою грубих, неспецифічних методологій, таких як оптичний потік або розрізнення зображень. Ці методи ідентифікують зміни у візуальній сцені з урахуванням відеоряду. Методи отримання інформації про траєкторію були розроблені та застосовані до малих груп, великих натовпів тощо [55–57]. Подібні концепції залишаються застосованими до пересування по всьому робочому майданчику. Як альтернатива, підполе комп'ютерного зору спрямоване на розробку заснованих на моделях алгоритмів для зіставлення існуючих 3D-моделей із цифровими фотографіями об'єкта [58–63] або використання кількох фотографій для відновлення 3D-структури об'єкта [64–66]. Ці методи відносяться до багаторакурсного стерео [67–69].

Тривимірна локалізація відстежуваного об'єкта, як монокулярного, так і мультиракурсного стерео, потребує кроку оцінки з урахуванням координат двовимірного зображення [70]. Етап оцінки відображає координати 2D-зображення назад у 3D-світ, який не є унікальним. Щоб подолати неунікальність, етап оцінки покладається на знання внутрішніх параметрів камери та знання відносної конфігурації камери. У випадку монокулярного зору необхідні додаткові знання сцени щодо площини землі.

Алгоритми комп'ютерного зору відіграють важливу роль у системах постійного візуального сприйняття. Поточні дослідження системи активних візуальних датчиків деталізують просторове усвідомлення умов будівельного майданчика, тоді як менше зусиль стосується точного моніторингу динаміки будівельного середовища, наприклад праці. Робота [71] презентує дослідження статичного багаторакурсного стереовідстеження робочої сили,

але не обговорює довгострокову життєздатність алгоритму відстеження, особливо для нежорстких об'єктів стеження, таких як персонал на робочому місці. Щоб бути корисним, алгоритм відстеження повинен забезпечувати надійні та постійні оцінки відстежуваного персоналу.

2 МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ РОЗРОБКИ ВІЗУАЛЬНОГО ВІДСТЕЖЕННЯ

2.1 Методи розробки системи візуального відстеження

Інформаційна технологія дозволяє поєднувати різні типи інформації в узгоджену структуру, яка називається 4D моделлю. Вона містить модель продукту та процесу і таким чином об'єднує інформацію про геометрію та будівельні дії в інтегровану модель. Для ефективного нагляду або виявлення відмінностей між запланованим і побудованим може використовуватись система 4D-АСТ (Automated construction tracking), розроблена за допомогою логічної, часової та просторової інформації з 4D-моделі. Система 4D-АСТ дозволяє формувати звіти про відмінності між запланованою та виконаною діяльністю. Система 4D-АСТ розпізнає елементи будівлі за допомогою зображень сайту та еталонної 3D-моделі, отриманої з 4D-моделі. Вона також може генерувати анімацію процесу будівництва на основі 4D моделі (рисунок 2.1).

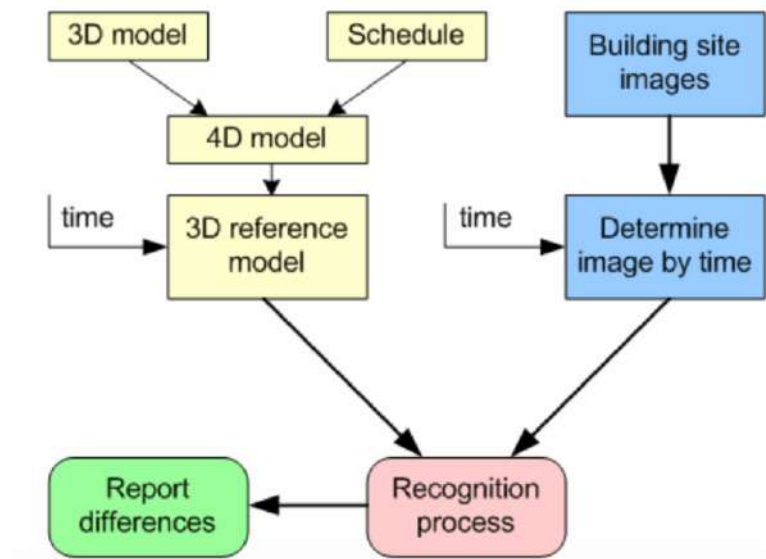


Рисунок 2.1 – Схема розробки системи 4D-АСТ

З розвитком різних представлень геометрії – записом внутрішньої геометричної структури в комп'ютерно-інженерній галузі швидко почали використовувати більш ефективні геометричні структури для опису будівельних властивостей, таких як акустичні, теплові, освітлення, матеріал будівельних елементів, колірний дизайн тощо.

Інтеграція будівельних властивостей і геометрії дозволяє будувати віртуальні будівлі. З такої моделі можна проводити різноманітні аналізи будівель, які дозволяють знайти оптимальне поєднання між геометрією, конструкцією та матеріалами для будівництва одночасної будівлі. Окрема властивість будівлі має власний зв'язок з іншими властивостями, що визначає набір залежностей між геометрією та матеріалами.

Таким чином інтегрована структура геометрії та властивостей будівельних елементів стає складною. Запис цієї структури у файл у стандартній формі є складним завданням. Інструменти систем автоматизованого проектування (САПР) дають можливість інсталиувати додаткові компоненти програмного забезпечення, щоб записати інтегровану структуру в одну зі стандартних форм. Використовуючи спільну модель даних, компанії можуть налагодити потік інформації та співпраці.

Інженери пропонують рішення в стандартній структурі даних STEP – Standard for the Exchange of Product data, яка була прийнята як стандарт у 1994 році. За допомогою STEP можна описати будь-яку модель продукту, незалежно від її складної геометрії. і структура власності. Для практичного використання STEP необхідно розділити на багато інженерних галузей (будівельна, машинобудівна, інженерна, суднобудівна тощо), які описані різними прикладними протоколами. Кожен протокол реалізує певну інженерну область і має власний код (AP203, AP209).

Модель процесу описує послідовності будівельних дій і залежності між ними. У модель процесу також включені актори та визначення зв'язків між акторами та видами діяльності. План-графік можна побудувати різними способами. СРМ – метод критичного шляху є одним із методів і може

представляти різні рівні деталей діяльності та зв'язки між діями з плану розкладу, які можна виконувати за допомогою таких інструментів, як MS Project, Primavera тощо. Недоліком цього методу є його нездатність вирішувати часово-просторові конфлікти, що означає, що метод не може представляти дії з того самого місця в той самий час. Користувачам потрібна власна інтерпретація, і вони повинні побудувати геометричну ситуацію, враховуючи графік. Завдяки достатньому спрощенню загалом CPM здебільшого використовувався як метод у інструментах планування.

Перше покоління 4D-інструментів дозволило створити часово-просторове представлення будівлі у вигляді анімації. Наступне покоління 4D-інструментів містило геометрію та графік, представлені семантикою. 4D-модель визначається як зв'язки між елементами з моделі продукту та діяльністю з моделі процесу та має здатність вирішувати конфлікти, такі як час-простір і конструктивність, до початку процесу побудови. За допомогою таких інструментів менеджери об'єктів можуть швидко перевірити відповідність геометрії моделі виробу реальній ситуації на будівництві та планувати завдання з діяльністю на будівельному майданчику.

4D-АСТ має три фази розробки, які можна визначити як: пілотне тестування, впровадження базової платформи (4D-інструмент) і розробка розпізнавання будівельних елементів (4D-АСТ).

Виявлення проблем, таких як перешкодження потоку інформації про проект і витрати часу під час перевірки фактичного процесу будівництва вручну, запропонувало автоматичне відстеження дій на будівельному майданчику.

Існує широкий спектр бібліотек додатків, які вже впроваджені та протестовані. 3D ACIS Modeler є одним із комерційних двигунів 3D-геометрії та дозволяє розробникам використовувати складні геометричні перетворення та презентації різними способами. Він використовується в усьому світі в компаніях з розробки програмного забезпечення. Ядро 3D ACIS Modeler написано мовою програмування C++, але його також можна використовувати

в інших середовищах програмування, таких як: Java, Python, C і FORTRAN. Дуже важливою частиною геометричних моделей є завантажувачі для різних типів геометрії. 3D ACIS Modeler може завантажувати такі формати геометрії: CATIA V5, CATIA V4, IGES, STEP, VDA-FS, Pro/ENGINEER (Pro/E), Parasolid (PS), Unigraphics (UG), SolidWorks і Inventor. Для розширеного рішення з інтегрованими моделями геометрії необхідно завантажити структури даних зі стандартних форм. Для будівельної галузі найбільш важливим є стандарт IFC, який не підтримує 3D ACIS Modeler. Технологія Open CASCADE представляє альтернативу без платного запиту та підтримує дуже подібні функції, такі як 3D ACIS Modeler.

Primavera та MS Project 2003, які використовують метод СРМ для розробки планів розкладу, є найбільш широко використовуваними програмами в промисловості. MS Project 2003 був обраний, тому що він підтримує функції експорту та імпорту XML, що дозволяє завантажувати зовнішні плани розкладу в додаток.

На рисунку 2.2 представлена архітектура програми, процес розпізнавання та обидві моделі вхідних даних, наприклад: 4D модель і модель зображення.

Архітектори та інженери-будівельники використовують досконалі інструменти САПР для проектування будівель і самостійно створюють тривимірні моделі проектування, які мають певну геометричну структуру залежно від геометричного моделювача та типу представлення геометрії (CSG, B-гер). 3D-моделі проектування створюються різними інструментами САПР і потребують різних завантажувачів 3D-геометрії Java для подальшого використання завантаженої геометрії. Загалом, кожен завантажувач має певну структуру геометрії та представлення елементів геометрії. Повторне використання того самого модуля програми для роботи із завантаженою геометрією, як правило, неможливо.

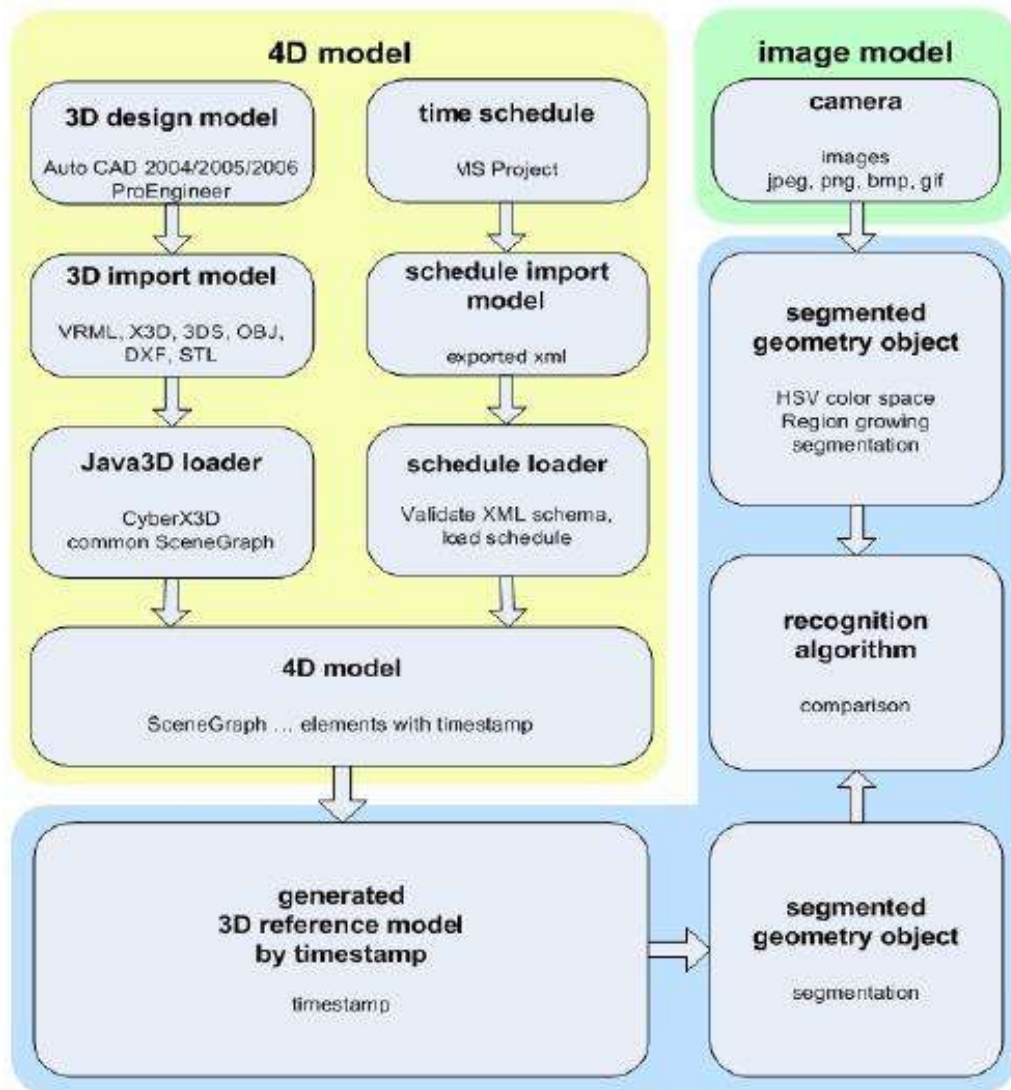


Рисунок 2.2 – Схема архітектури програми 4D-АСТ

Проблема вирішується шляхом перетворення 3D-моделі імпорту в проміжну модель, яка встановлює незалежну архітектуру та забезпечує безперешкодний потік даних між 3D-моделлю та 4D-моделлю. 3D-модель імпорту підтримує різні типи форматів геометричних даних, як-от: VRML, X3D, 3DS, OBJ, STL і DXF. Інструменти САПР можуть експортувати геометричну модель (3D модель проектування) принаймні в один із цих форматів.

Специфікація Sun вимагає визначеної структури програмного забезпечення та узгодженого іменування класів і методів. Команди, які хочуть реалізувати будь-які специфікації Sun, повинні враховувати

рекомендації. Користувачі можуть вибирати між різним програмним забезпеченням, яке має однакову функціональність і реалізоване за тією самою специфікацією, але від різних постачальників. У процесі еволюції програми користувачі можуть передумати і вибрати модуль програми від іншого виробника без жодного втручання у вихідний код. У програмуванні на Java прикладний модуль викликає бібліотеку, яка є стисненим файлом із розширенням «*.jar*» (архів Java).

Переваги специфікації Sun пропонують різні завантажувачі Java3D з однаковою внутрішньою архітектурою програмування. Вибір бібліотеки Java для завантаження 3D-моделі імпорту залежить від функцій бібліотеки. Для завантаження 3D моделі імпорту можна обрати бібліотеку CyberX3D. Її перевага полягає в тому, що підтримує багато стандартних файлів геометрії, таких як VRML, X3D, 3DS, OBJ, STL і DXF, і може їх завантажувати. Друга перевага бібліотеки базується на структурі VRML і здатності переводити інші типи геометрії в загальну структуру, яка називається SceneGraph, відображену зі схеми VRML. За допомогою Java3D розробник може використовувати таку структуру та бібліотеки для маніпулювання та рендерингу сцени з елементами. SceneGraph в оригінальній формі представлено як геометрія в нашій 4D-моделі.

Модель (рисунок 2.2) створює сховище зображень із необхідною інформацією, наприклад, положення камери, вектор, мітку часу. Усі ці дані потрібні для генерації 3D-еталонної моделі з 4D-моделі, яка представляє 3D-геометричну модель для певної мітки часу.

Перед сегментацією кожне зображення має бути перетворено в колірний простір HSV, де піксельна складова представляє: H – відтінок, S – насиченість і V – значення. Для кожного пікселя алгоритм розпізнавання обчислює значення для: текстурі, контрасту і градієнту.

Для успішного відстеження активності автоматизації алгоритм розпізнає елементи побудови із зображень сайту. Розпізнані елементи будівель порівнюються з елементами з 3D еталонної моделі, яка представляє

3D модель проекту в часі. Першою фазою процесу розпізнавання є сегментація, де алгоритм відокремлює корисну інформацію від іншої на зображеннях. Перед процесом сегментації алгоритм повинен містити критерії для сегментації. «Вчитель» інтерактивно позначив зони на зображеннях сайту, які представляють елементи будівлі. З цих областей алгоритм навчається сам і генерує базові знання про особливості елементів. Середні значення ознак елементів складено в універсальну критеріальну функцію процесу сегментації.

Елементарний принцип, заснований на тому, що область, що зростає з одного або кількох початкових пікселів або області, має входити до складу розширеної області. Для цих областей алгоритм перевіряє, чи відповідають сусідні пікселі (вниз, вгору, вліво і вправо) функції універсальних критеріїв і включає в область тільки відповідний піксель. Процес зростання закінчується, коли немає сусідніх пікселів, відповідних функції універсального критерію. Результатом є область на зображенні сайту з властивостями, подібними до значень із базових знань.

Ідентифікація окремих будівельних елементів будівельного об'єкта необхідна для автоматичного встановлення відповідності між запланованими та виконаними діями під час будівельного процесу на будівельному майданчику. Алгоритм із сегментованого зображення намагається ідентифікувати елементи за допомогою 3D еталонної моделі. Ідентифікований будівельний елемент можна з'єднати з різними системами обміну повідомленнями та таким чином покращити потік інформації про проєкт.

2.2 Особливості відстеження персоналу за допомогою відеокамер

Відстеження середнього зсуву відстежує об'єкт за допомогою початкового шаблону, виконуючи статистичне порівняння цільової області оцінки з шаблоном. Градієнтний спуск використовується для максимізації статистичної відповідності, таким чином ідентифікуючи розташування об'єкта в поточному кадрі. Далі наведено підсумок алгоритму середнього зсуву.

Враховуючи об'єкт шаблону, $T : D_T \rightarrow \mathbb{R}^d$, де $D_T \subset \mathbb{R}^2$ – область об'єкта шаблону, початок координат якої знаходиться в центрі шаблону, а \mathbb{R}^d – область піксельних даних, цільова оцінка фотометричної щільності

$$\hat{q}(v) = C \sum_{i=1}^{N_p} k(\|x_i\|^2) \delta(T(x_i) - v), \quad x_i \in D_T, \quad (2.1)$$

Де $k : \mathbb{R} \rightarrow [0, 1]$ – це ядро опуклого зважування, яке надає перевагу піксельним даним на початку домену. Значення N_p є загальною кількістю дискретних місць розташування пікселів у домені шаблону, в межах якого змінна координати x_i . Нарешті, передбачається, що значення пікселів зображення $v \in \mathbb{R}^d$ можна представити набором дискретних величин.

Починаючи з оціненого цільового розташування на поточному зображенні, щільність, пов'язана з цільовим розташуванням у домені зображення, $\bar{y} \in D_I$ генерується обчисленням

$$\hat{p}(v; \bar{y}) = C \sum_{i=1}^{N_p} k(\|y_i - \bar{y}\|^2) \delta(T(y_i - \bar{y}) - v), \quad (2.2)$$

для $y_i \in D_T$, що еквівалентно вилученню вікна того самого розміру, що й домен шаблону з центром у передбачуваному цільовому місці та обчисленню щільності вилученого вікна.

Мірою для мінімізації є відстань між цільовою та вилученою густинами, як визначено

$$d(\hat{q}, \hat{p}) = \sqrt{1 - \rho(\hat{q}, \hat{p})} \quad (2.3)$$

де q – коефіцієнт Бхаттачарії, $\rho \equiv \sum_v \sqrt{p(v; \bar{y})q(v)}$. і є похідною вагового ядра k . Кілька розширень базового методу включають адаптацію масштабу, моделювання щільності фону, вигляд суцільної форми та альтернативні метрики.

Алгоритм байєсівської сегментації зображення також базується на оцінці щільності. Він використовує статистичний аналіз зображення з класифікацією цілі та фону, досягнутою за допомогою максимальної апостеріорної (МАР) сегментації або логарифмічного порогового значення відношення правдоподібності. У конкретному випадку відстеження байєсівський алгоритм інтерпретує зображення як таке, що складається з двох шарів: цільового (клас 1) і фоновий (клас 2). Для даного пікселя у кожен клас c пов'язаний з ним розподілом або ймовірністю $P(v|c)$, що описує очікувані значення пікселів $v \in R^d$ класу, а також передбачувану попередню ймовірність $P(c(y)=c)$, що кожен піксель y відповідає даному класу. Байєсівський класифікатор вибирає найбільш імовірний клас для певного пікселя на основі ймовірності класифікації $P(c(y) = c | I(y) = v)$, де $I: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^d$ – поточне зображення. Ймовірність класифікації обчислюється за правилом Байєса,

$$P(c(y) = c | I(y) = v) = \frac{P(I(y) = v | c(y) = c)P(c(y) = c)}{\sum_{i \in \{1,2\}} P(I(y) = v | c(y) = i)P(c(y) = i)} \quad (2.4)$$

Стандартним підходом до класифікації буде використання максимальної ймовірності

$$c^*(y) = \arg \max_{i \in \{1,2\}} \hat{P}(c(y) = i | I(y) = v), \quad (2.4)$$

де \hat{P} є згладженою версією P . Згладжування виконується для забезпечення просторової узгодженості ймовірностей. Остаточна сегментація визначає цільову область, а отже, цільову межу.

Геометричне усереднення апостеріорних ймовірностей накладає часову

когерентність на цільові сегментації, що розвиваються. Враховуючи ймовірності з попереднього часового кроку, P_b та струм.

$$\hat{P}^+(r) = \left(\hat{P}^-(r)\right)^{1-\alpha} \left(\hat{P}_m(r)\right)^\alpha. \quad (2.5)$$

де α обирається на основі спостережуваного шуму вимірювання. Низький α зміщений до минулих оцінених ймовірностей, а високий α зміщений до поточних вимірених ймовірностей.

Активні контури – замкнуті криві, внутрішня область. Це стратегія сегментації, яка використовує регіональну конкуренцію та згладжування кривої для досягнення обмежуючого контуру. Як і байєсівська стратегія сегментації, активні контури покладаються на модель очікуваних даних внутрішнього та зовнішнього зображення. Популярною стратегією є використання негативної логарифмічної правдоподібності, пов'язаної з щільністю ймовірності внутрішніх і зовнішніх областей. Функціоналом для мінімізації є

$$\begin{aligned} \mathcal{L}(C) := & v \int_{\partial C} \|C_f\| \left| f - \int_{\Omega \setminus \sqcup(C)} \log P_{in}(\mathcal{I}(\xi, \dagger)) \right| \Gamma_{\Omega} \\ & - \int_{\mathcal{D}_I \setminus \sqcup(C)} \log P_{out}(\mathcal{I}(\xi, \dagger)) \Gamma_{\Omega} \end{aligned} \quad (2.6)$$

де C описує активний контур, визначений над областю зображення D_I , s описує його параметризацію довжини дуги, dX є одиницею площі для D_I , а $P_{in}=P_{out}$ представляє внутрішній/зовнішній розподіл. Перший варіант функціоналу використовується для отримання рівнянь градієнтного спуску для замкнутої кривої C ,

$$C_t = (v\kappa - \log P_{in}(I(C)) + \log P_{out}(I(C)))\mathcal{N}, \quad (2.7)$$

які призводять до руху кривої в напрямку нормалі кривої, \mathcal{N} .

Сегментація на основі графа використовує представлення графа для координат зображення та прагне знайти розділення графа, яке мінімізує вартість країв з'єднаних вузлів. Функціонал вартості енергії подібний до функціоналу активних контурів за модулем того факту, що він скоригований

для графіків. Енергія, пов'язана з розбиттям графа, $\mathcal{P} : D_I \rightarrow \{\text{in}, \text{out}\}$, складається з термінів відповідності даних і просторових попередніх термінів,

$$E(\mathcal{P}) = \sum_{y \in D} (R_1(\mathcal{P}(y); I(y)) + v_1 R_2(\mathcal{P}(y), \|y - \bar{y}\|)) + v_2 \times \sum_{\substack{(y_1, y_2) \in \mathcal{N}, \\ \mathcal{P}(y_1) \neq \mathcal{P}(y_2)}} B(y_1, y_2). \quad (2.8)$$

де термін відповідності даних

$$R_1(p; v) = \begin{cases} -\log P_{\text{in}}(v) & \text{if } p = \text{in} \\ -\log P_{\text{out}}(v) & \text{if } p = \text{out} \end{cases}$$

$$B(r_1, r_2) = \frac{1}{\|r_1 - r_2\|} \exp\left(-\frac{\|I(r_1) - I(r_2)\|^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2.9)$$

$$R_2(p, r) = \begin{pmatrix} \exp(-\min(r, \gamma)^2 / \delta^2) \Psi(y) & \text{if } p = \text{in} \\ 0 & \text{if } p = \text{out} \end{pmatrix}, \quad (2.10)$$

де B штрафє довгі межі розділів, а R_2 накладає штраф на розділи, досить віддалені від прогнозованого розташування у цільовій області. Безкоштовними параметрами алгоритму порізки графіка є v_1 і v_2 , які регулюють відносну важливість енергетичних термінів, σ і δ , які регулюють допустиму дисперсію підгонки даних і енергій розташування, і s , який обмежує штраф за енергію розташування. Функція $\Psi(y)$ повертає відстань від поточної точки та найближчої точки до вказаної маски M , яка приблизно представляє цільову форму (якщо цільова точка знаходиться в масці, відстань дорівнює нулю). Визначення цих параметрів і обчислення мінімального розрізу для графа призводить до розбиття графа і, отже, до сегментації. Очікуване цільове розташування у оновлюється з кожним кадром на основі попередніх вимірювань у.

3 ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВІДЕОМОНІТОРИНГУ ЗА БУДІВНИЦТВОМ

Мета автоматизованої системи моніторингу полягає в тому, щоб отримати дані, перетворити їх на інформацію та вчасно надати цю інформацію для кращого виконання проекту. У нашому підході ми зосереджуємось на діяльності як на основних об'єктах інформаційного циклу будівництва, який включає плани діяльності (план-графік, 3D-модель), хід робіт на місці та звіти про діяльність (рисунок 3.1).

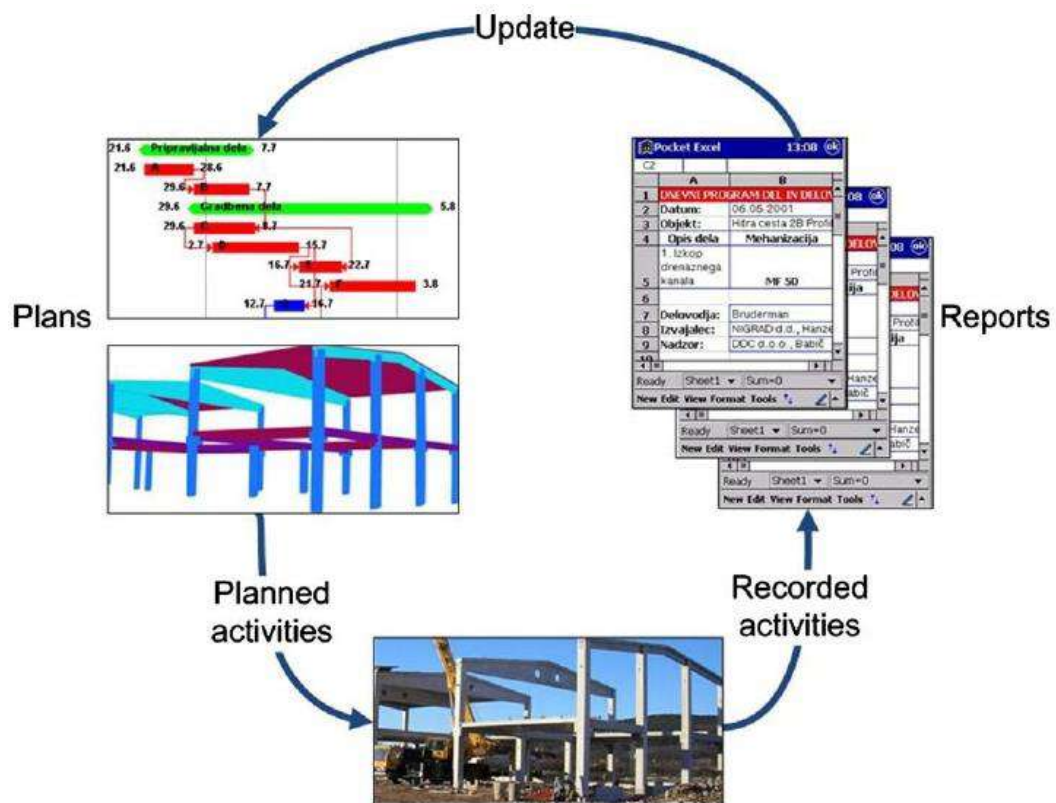


Рисунок 3.1 – Інформаційний цикл управління даними в будівництві

Автоматизовані методи збору даних системи базуються на інформаційній моделі будівлі (BIM), особливо на 4D моделі будівлі. Через важливу роль діяльності під час процесу моніторингу, її необхідно визначати

послідовно таким чином, щоб мати чіткий зв'язок між діяльністю та елементами 3D-моделі. Перший автоматизований метод заснований на зображеннях будівлі, які потім порівнюються з 4D-графічним зображенням будівлі за той самий проміжок часу. Далі цей метод детально описано в розділі про компоненти системи (4D-АСТ). Основним завданням цього компонента є виявлення будь-яких відмінностей між запланованими та побудованими елементами будівлі.

Другий метод збору даних заснований на автоматизованому відстеженні матеріалів. Сам метод детально описано в розділі Відстеження матеріальних ресурсів. Її можна використовувати як окрему систему, але в поєднанні з 4D-АСТ вона має додаткову функцію підвищення надійності даних про діяльність. Дані з обох компонентів перехресно перевіряються на узгодженість за допомогою плану діяльності. У разі чіткого зв'язку між матеріальними ресурсами, необхідними для діяльності, та ідентифікатором конкретного матеріалу в матеріальному потоці (наприклад, унікальні збірні елементи), результати 4D-АСТ можуть бути підтвержені з високою точністю. Однак, навіть якщо матеріальні ресурси не мають унікального зв'язку з окремою діяльністю (наприклад, бетоном), їх споживання можна перевірити на основі ресурсів, необхідних для виконання діяльності, як це виявлено підсистемою 4D-АСТ.

У випадку зв'язку «один-до-одного» діяльність вважається завершеною, коли пов'язаний елемент виявлено на місці, тоді як у випадку зв'язку «один-до-багатьох» можна навіть визначити відсоток завершення шляхом підрахунку виявлених елементів. Водночас у випадках зв'язків «багато-до-одного» або «багато-до-багатьох» між діяльністю та елементами ВІМ необхідна об'єднана інформація, щоб визначити завершену дію (як, наприклад, дії для побудови колони потребують різних ресурсів), такі як арматура, панелі, бетон, які можна контролювати разом із зображенням колони).

Третім компонентом автоматизованої системи моніторингу

будівельних робіт є динамічне комунікаційне середовище (DyCE), яке додає експертну інформацію до кожної діяльності, що виконується на місці. Цю інформацію надає персонал на місці за допомогою мобільних комп'ютерів для передачі інформації, пов'язаної з проектом.

Уся інформація про діяльність на місці в режимі реального часу синтезується та перевіряється, перш ніж система запропонує будь-яке перепланування плану діяльності. Після перепланування плану діяльності відповідальним менеджером 4D-модель реформується та починається новий цикл; один прохід контуру моніторингу показаний на рисунку 3.2.

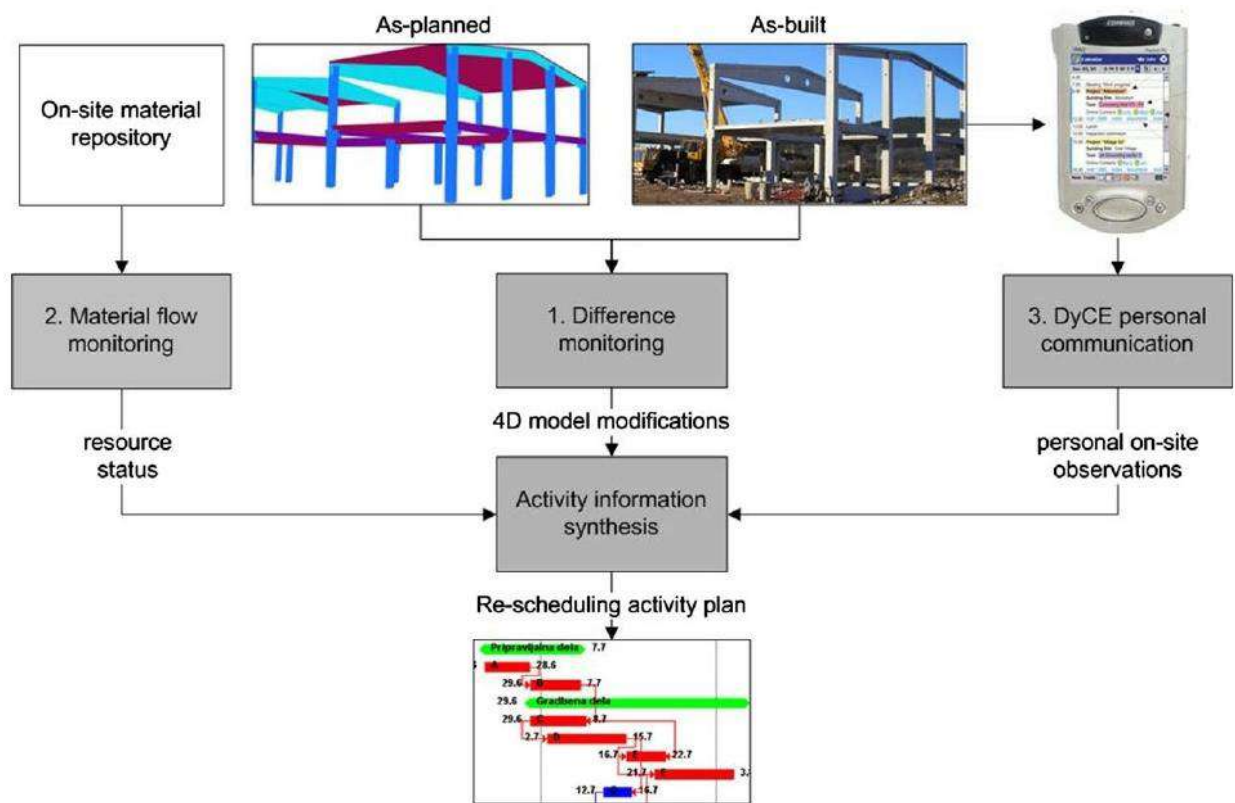


Рисунок 3.2 – Концептуальна схема автоматизованої системи моніторингу будівельної діяльності

Автоматизована система моніторингу будівельної діяльності складається з трьох основних компонентів. Кожен з них може використовуватися як окрема система, але поєднання значно підвищує

надійність системи в цілому. Система виконує порівняння в режимі реального часу між зображеннями сайту та зображеннями, отриманими з 4D-моделі. 4D-АСТ містить прикладні модулі (інструмент 4D, сегментація, калібрування, розпізнавання тощо), які були окремо протестовані на різних реальних випадках. Інтегрована система була випробувана в експериментальному середовищі, а також на місці.

Під час побудови 4D-моделі 4D-інструмент повинен містити два входи: модель продукту IFC і план-розклад у форматі MS Project. Будь-які зв'язки між елементами побудови геометричної моделі та діями виконуються шляхом ручного вибору елементів і відповідних дій (рис. 3.3). Основною мотивацією для розробки нашого власного 4D інструменту було отримання повного контролю над структурою даних у 4D моделі.

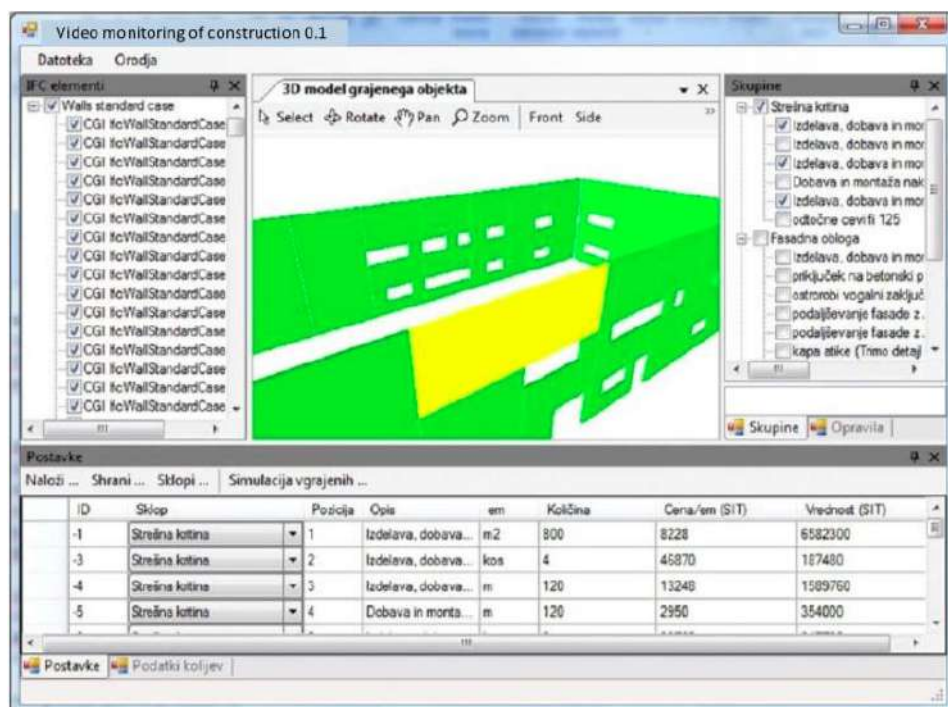


Рисунок 3.3 – 4D інструменти для побудови 4D-моделей продукту та процесу будівництва

Зображення містять багато інформації. Щоб встановити процес розпізнавання будівельних елементів, необхідно отримати різні рівні

інформації (кольори, градієнти, текстури тощо), для яких сегментація є найпоширенішим методом. Збільшення області було обрано як найбільш коректний метод для сегментації шумних зображень будівельного майданчика. Процес сегментації базується на пошуку областей пікселів із подібними попередньо визначеними характеристиками.

Алгоритм встановлює критерії з набору навчання перед початком процесу сегментації. Користувач позначає маленькі частини зображення, які є елементами області, яку він хоче сегментувати. Ці частини визначають навчальний набір. Результатом сегментації є виділена область зображення, яка має певний рівень подібності щодо навчального набору. Таким чином відфільтровуються ті частини зображення, які не належать до будівлі (наприклад, тимчасове обладнання).

Найважливішою особливістю 4D-інструменту є 3D-еталонна модель, яка представляє 3D-модель у визначений момент часу під час процесу побудови. Зображення моделі тривимірної геометрії (повної або часткової) генерується з еталонної тривимірної моделі на основі параметрів віртуальної камери. Ця віртуальна камера має ті самі параметри (положення, орієнтацію та напрямок перегляду), що й камера на будівельному майданчику, але спостерігає за віртуальною будівлею – 3D еталонною моделлю.

Коли сегментована форма, отримана із зображення сайту, збігається з формою із зображення 3D еталонної моделі, тоді елемент будівлі легко розпізнати. Однак частини будівельних об'єктів зазвичай закриті тимчасовим обладнанням, тому збір інформації про спостережувані об'єкти є недоцільним. З цієї причини зображення знімаються кількома камерами в різних положеннях і орієнтаціях. Об'єднання даних з кількох камер можливе після їх калібрування. Калібрування може виконуватись різними методами, такими як: восьмикрапковий алгоритм, LMedS, RANSAC, M-estimator тощо.

Сегментовані зображення майданчика та зображення моделі показують однакові елементи в одній перспективі, враховуючи, що параметри віртуальної камери та камер будівельного майданчика однакові.

Порівняння між сегментованим зображенням сайту та зображенням модельного вигляду виконується за допомогою автоматизованого алгоритму розпізнавання, заснованого на мінімальних відмінностях між характеристиками елементів з обох зображень. Якщо різниця нижче попередньо визначеного порогу, тоді елемент із сегментованого зображення має найвищу ймовірність бути ідентифікованим як елемент на зображенні моделі.

Під час процесу визнання можна очікувати різні сценарії. Успішне зіставлення всіх елементів із сегментованого зображення є найкращим сценарієм і засобом навчальний набір був оцінений оптимально, Зображення з будівельного майданчика були успішно сегментовані, і дії на місці збігаються з запланованими заходами.

У випадках невдалого зіставлення 4D-АСТ визначає та перераховує невідповідні елементи як відсутні або невідомі елементи (зловмисники).

Залежно від складності будівлі, системи камер, будівельного майданчика або технології будівельного процесу можна досягти різних рівнів надійності для розпізнавання будівельних елементів. Сегментована область на зображенні сайту порівнюється з елементами на зображенні перегляду. Щоб певний елемент було розпізнано, він має бути видимим на обох зображеннях. 4D-АСТ успішно розпізнав усі видимі елементи будівлі на зображенні експериментальної дерев'яної моделі за допомогою однієї камери. Для цих конкретних будівельних елементів можна підтвердити відмінності між «як заплановано» та «як побудовано». Подальший розвиток системи має бути спрямований на розпізнавання затемнених елементів будівлі за допомогою кількох камер.

Дослідження показали, що видимість і відстеження матеріальних ресурсів у будівельних проектах відіграє важливу роль у загальному успіху проекту. З цієї причини будівельна галузь прийняла методи управління ланцюгом поставок (SCM), які використовуються виробничими галузями, щоб забезпечити кращий контроль і, таким чином, кращий потік матеріалів.

Проблема ще не вирішена в тій мірі, в якій потребує галузь. Сучасна практика показує, що ручний збір даних на будівельних майданчиках не є підходом, який задовольняє інформаційні вимоги для сучасних проектів. Якість даних низька, і це вимагає надто багато часу та зусиль, що призводить до рідкого та неповного контролю проекту. Однак впровадження SCM вже існує на будівельних майданчиках і, тим не менш, є важливим джерелом інформації для осіб, які приймають рішення на рівні управління проектом.

Система управління матеріалами заснована на 4D моделі. Зв'язки між матеріальними ресурсами та елементами BIM встановлюються через план діяльності 4D-моделі, де кожна дія містить інформацію про необхідні ресурси. Статус матеріалу має передаватися в обох напрямках між моделлю та системою SCM. Загалом впровадження може здійснюватися за різними підходами до управління ланцюгом поставок. Наприклад, впровадження «Моделі управління та контролю матеріалів», як визначено Navon, задовольнятиме цим критерієм через блоки введення та відстеження.

На рис. 3.4 показано, як управління ланцюгом постачання відображається в інформаційній системі головного підрядника, щоб отримати додаткові переваги з метою моніторингу проекту. Інформація про будівництво доступна в 4D-моделі, де елементи будівлі пов'язані з діяльністю, що міститься в плані проекту. Для кожного моменту часу протягом проекту можна отримати кількість матеріалів і вимоги до планування матеріалів для попереднього виготовлення та закупівлі матеріалів. Ці вимоги більш-менш деталізовані залежно від методів планування, таких як поетапне планування, і прогресу проекту. З іншого боку, рух матеріалів реєструється на будівельному майданчику. В основному ця інформація описує, який матеріал був доставлений на об'єкт і коли він використовувався під час будівельних робіт. Інформація передається з будівельного майданчика назад в інформаційну систему головного підрядника.

Керівник ділянки ініціює детальне планування на основі існуючої 4D

моделі. Цей план визначає послідовні дії, а модель показує виконану роботу та доступні деталі або матеріали на місці. Таким чином, менеджер сайту має негайну інформацію про можливі суттєві недоліки та може вчасно діяти. План розповсюджується по всій організації та створює більш детальні потреби щодо закупівель і збірних матеріалів.

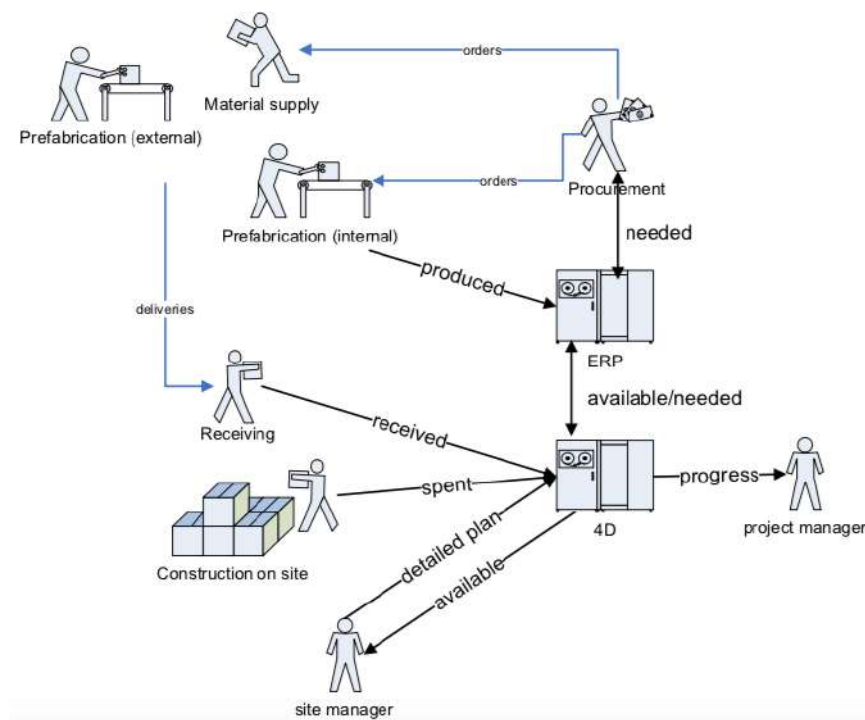


Рисунок 3.4 – Схема управління та координація ланцюга поставок на основі 4D

Відстеження проекту також включає діяльність, пов'язану з безпосереднім моніторингом прогресу, наприклад, перевіркою на місці керівником об'єкта або застосування зображень будівельного майданчика та використання систем розпізнавання зображень. Ці заходи підтверджують або спростовують достовірність будь-яких передбачуваних показників прогресу.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

4.1 Застосування алгоритму відстеження персоналу за допомогою відеокамер

Алгоритми були застосовані до різноманітних сценаріїв будівництва, щоб оцінити їх здатність стежити за типовими умовами будівельного майданчика. Параметри камери та відстань до об'єктів стеження були такими, що розміри об'єкта стеження становили щонайбільше приблизно 10% від загальних розмірів зображення (320×240 пікселів для всіх послідовностей).. Загалом проблема відстеження ускладнюється через великий безлад, часткові оклюзії, шум зображення та рух камери. Через інтенсивність руху камери в деяких випадках була виконана компенсація руху фону.

Враховуючи, що всі алгоритми покладаються на очікувану щільність правдоподібності для об'єкта треку та, можливо, також для фонові області, той самий опис щільності використовувався для алгоритмів. Крім того, кожен об'єкт відстежувався за допомогою вікна кадрів, де центр вікна знаходився відповідно до сигналу треку. Сам сигнал треку було відфільтровано за допомогою фільтра Калмана, при цьому всі алгоритми мали однакову динаміку фільтра, початкові коваріації та коваріації невизначеності. Загальна методологія відстеження для кожного з алгоритмів наведена на рисунку 4.1.

В таблиці 4.1 містяться результати роботи алгоритмів, застосованих до шести тестових послідовностей. Сигнал треку, визначався вручну для кожної з послідовностей. Помилки сигналів L_2 і L_1 були обчислені з використанням сигналу істинності землі, позначеного $(x^*(\cdot), y^*(\cdot))$. Помилка треку L_2 є

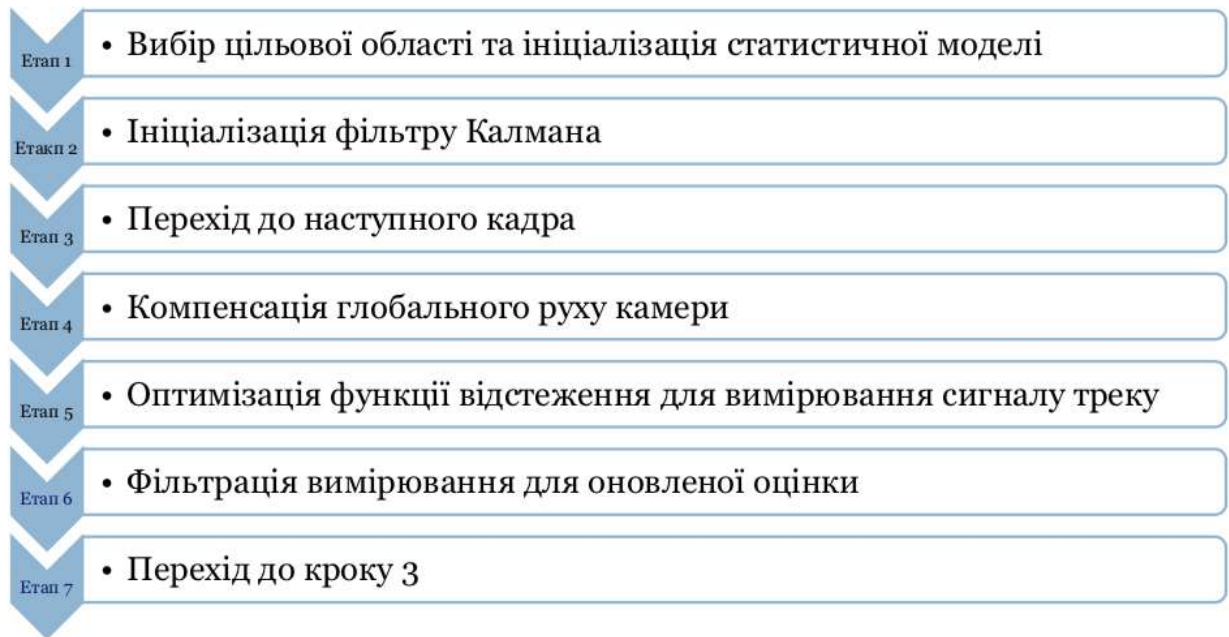


Рисунок 4.1 – Загальний алгоритм відслідковування даних

Таблиця 4.1 – Таблиця метрик помилок відстеження

Послідовність алгоритму	Середній зсув	Байєса	Активний контур	Graph-cut	Розмір
1	67/6.90	1.15/3.80			20x10
2	4.80/14.11	2.61/8.07	2.47/6.06	2.38/6.34	25x25
3	3.16/09.63	1.80/5.74		2.65/10.72	25x15
4	3.15/19.21	0.80/2.01			25x15
5	5.40/19.01	3.31/18.96	3.41/18.74	3.27/18.40	25x15
6	3.90/22.10	3.08/27.45		6.66/20.73	25x15

$$\|e\|_2 \equiv \left(\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \left((x(k) - x^*(k))^2 + (y(k) - y^*(k))^2 \right) \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (4.1)$$

тоді як помилка L1

$$\|e\|_\infty \equiv \max_k \left((x(k) - x^*(k))^2 + (y(k) - y^*(k))^2 \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (4.2)$$

Ці дві метрики помилок представляють середню відстань помилки відстеження (L_2) і відстань помилки відстеження в найгіршому випадку (L_∞).

Нижчі значення вказують на кращу продуктивність. Закреслення представляють втрату траєкторії, яка виникає, коли прогнозована похибка точки постійно перевищує заданий допуск, визначений визначенням дійсного поля треку для кожної цілі (останній стовпець таблиці 4.1).

В цілому алгоритми середнього зсуву та байєсівські алгоритми здатні відстежувати працівників на відкритих майданчиках зі значною візуальною перешкодою. Активний контур виявляється чутливим до шуму зображення та невизначеності в розподілах. Метод вирізання графіка, будучи більш глобальним, не мав тих самих проблем, що й активні контури, натомість мав труднощі з хибнопозитивними даними зображення. Ми припускаємо, що часова когерентність байєсового контуру забезпечує важливу регулярність даних для надійного відстеження. Через різні математичні описи, пов'язані з алгоритмами, вони природно мають різні точки відмови. Що стосується середнього зсуву, то це головним чином змінний у часі характер фотометричних характеристик, пов'язаних із ціллю відстеження, і жорсткістю межі доріжки (прямокутне вікно). З алгоритмами на основі сегментації низька продуктивність здебільшого пов'язана з безладом зображень або оманливими даними зовнішнього вигляду. Часове згладжування сегментації, як це виконується для байєсівської сегментації, забезпечує стійкість до цих помилок.

4.2 Інтеграція елементів відеомоніторингу в інформаційну систему компанії-Забудовника

Автоматизована система моніторингу будівельної діяльності є складною, але керованою завдяки модульній архітектурі системи (рис. 3.2). Спільним для описаних компонентів є 4D-модель або BIM в цілому, де основними елементами є дії. Кожен компонент можна використовувати для сигналізації про невідповідності плану діяльності незалежно, застосовуючи

власні правила, поєднуючи інформацію, що надходить від кожного компонента, це значно підвищує рівень надійності. Якщо 4D-АСТ розпізнає будівельний елемент як побудований, але система відстеження матеріалу все ще виявляє, що попередньо виготовлений елемент знаходиться в сховищі, то одна інформація, очевидно, є неправдивою. Потім статус потрібно перевірити вручну, завдяки чому додаткова інформація про діяльність, зібрана через систему зв'язку DuCE, підвищує рівень ефективності при вирішенні очевидної невідповідності інформації. Якщо всі підсистеми надають узгоджену інформацію, її надійність стає вирішальною.

Запропонована програма циклу керування інформацією відстеження для підтримки перевірки узгодженості інформації передбачає такі вхідні данні:

- 1) початковий графік проекту (початок, кінець завдання, інформація про ресурси),
- 2) графіки завдань від системи відстеження на основі розпізнавання зображень 4D-АСТ (початок, кінець завдання),
- 3) час використання матеріалу від системи відстеження матеріальних ресурсів.

Шляхом простої перехресної перевірки вхідних даних керуюча програма забезпечує наступний вихід:

- 1) підтвердження або заперечення узгодженості вхідних даних,
- 2) якщо вхідні дані є послідовними, тоді статус відповідних заходів у графіку проекту оновлюється та відповідальний керівник сповіщений,
- 3) якщо вхідні дані суперечать, то розбіжності між запланованими і відображається відстежена інформація, а менеджеру сайту пропонується вручну перевірити та ввести правильний статус активності; у випадку, коли виявлений статус активності відрізняється від плану, менеджеру пропонується послідовно оновити план діяльності та 4D-модель.

Щодо випадку 3, існує потреба в адекватному часовому вікні, оскільки завжди існує проміжок часу між моментом, коли система відстеження

ресурсів виявляє певний ресурс біля воріт будівельної території, і часом, коли відповідна активність виявляється системою відстеження активності. Часовий проміжок встановлюється відповідно до технології будівництва для кожного виду діяльності.

На основі вищевикладеної концепції проведе пілотне впровадження системи в компанії під час індустріалізованого процесу будівництва. Компанія середнього розміру займається виробництвом складських приміщень, промислових установок і великих складських приміщень. Будинки складаються з несучих сталевих або бетонних конструкцій, з металевими дахами та фасадними елементами. Окрім будівельних проєктів, компанія також виготовляє елементи покрівлі та фасаду для ринку.

Спочатку було проаналізовано робочий процес проекту після підписання проектного контракту, враховуючи, що передпродажний і чистий виробничий процеси добре організовані та належним чином підтримуються інструментами ІКТ. На рисунку Рис. 4.2 а проілюстрована початкова ситуація в компанії. З точки зору проекту, робочі процеси в компанії умовно розділені на три групи: детальне проектування, збірне виробництво та діяльність на будівельному майданчику. Робочий проєкт є «входом» для виготовлення, а також розробки кресленників для будівництва. Робота добре підтримується САПР інструменти. Збірне виробництво організоване як масове виробництво та є високоавтоматизованим. Промислове виробництво будівельних елементів інтегровано з іншими видами діяльності через систему планування ресурсів підприємства (ERP). Діяльність на будівельному майданчику орієнтована на проєкт і включає організацію будівельного майданчика, будівельні роботи, моніторинг прогресу проекту та управління діяльністю, а також відстеження матеріальних потоків до та всередині будівельних майданчиків. Аналіз показав, що ця група заходів недостатньо підтримується засобами ІКТ. Детальне планування та збір даних щодо виконаних будівельних робіт виконувалися непослідовно, за допомогою кількох програмних інструментів залежно від кожного окремого керівника проекту.

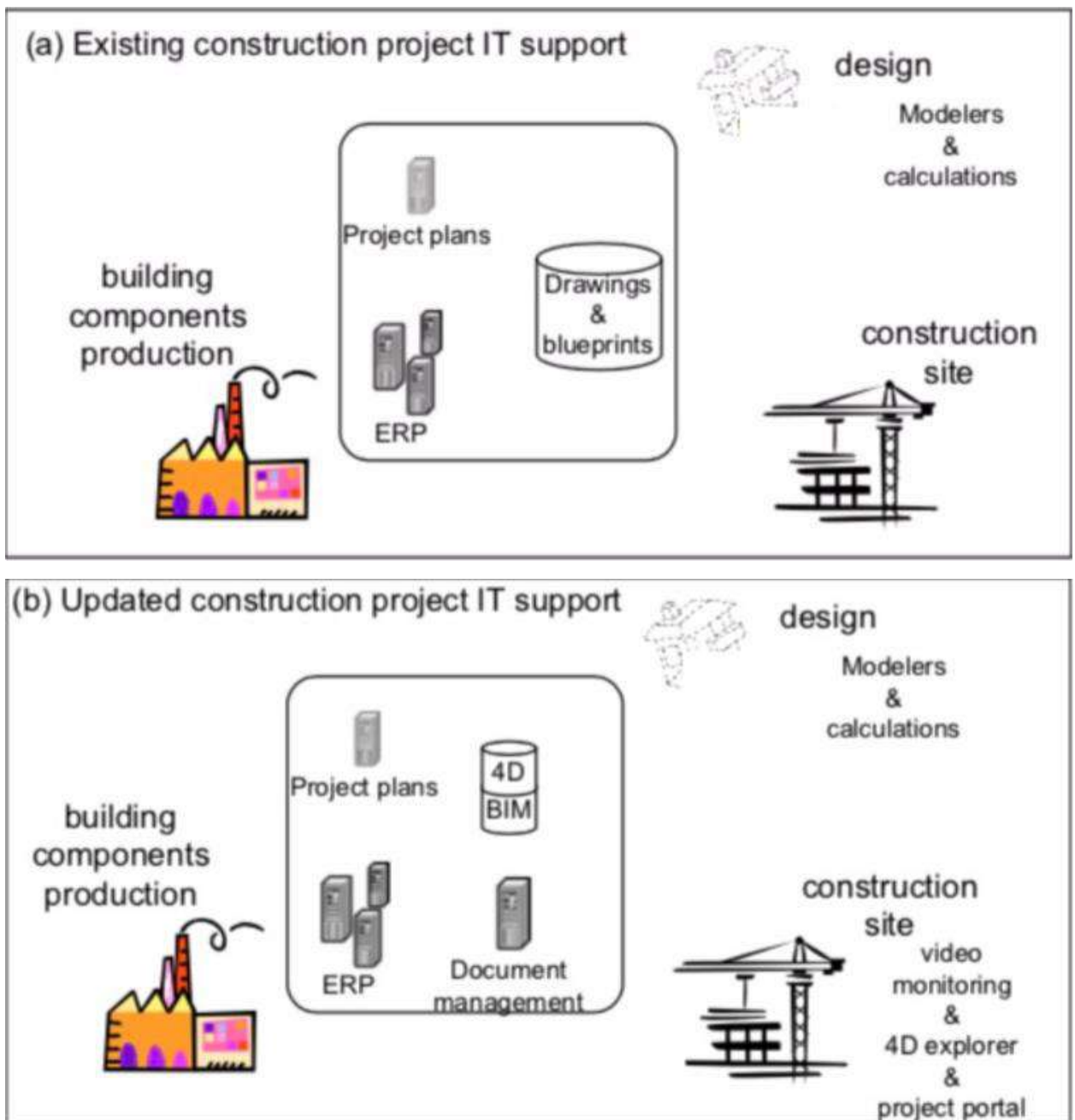


Рисунок 4.2 – Приклад інтеграції елементів відеомоніторингу в інформаційну систему компанії-Забудовника

Під час аналізу процесу встановлено, що два основних покращення можуть суттєво вплинути на загальну продуктивність. По-перше, має бути досягнута інтеграція проектування будівель та індустріалізованого виробництва, а по-друге, управління проектом на місці та діяльність, пов'язана з проектною документацією, має бути об'єднана та інтегрована у

виробництво. Перший етап впровадження запропонованої системи був зосереджений на моніторингу прогресу проекту та відстеження виробництва та доставки будівельних елементів.

ВИСНОВКИ

Процес еволюції системи 4D-АСТ охоплює різні фази розробки. Перший етап пов'язаний з перевіркою різних технологій, які будуть використані для впровадження. Другий етап представляє архітектуру системної платформи та її розвиток для побудови 4D моделі. Новий інструмент 4D може генерувати анімацію процесу будівництва. Побудована 4D-модель потрібна як базове знання під час процесу розпізнавання. Java3D використовувався для геометричної структури, а CyberX3D як завантажувач геометрії для створення незалежної архітектури. 3D еталонна модель була описана як згенерована з 4D моделі з додатковою розрахованою інформацією для доповнення відсутньої інформації моделі зображення в процесі розпізнавання.

Проведено досліджень надійних і надійних методів збору й аналізу типових будівельних даних для автоматичного відстеження місцезнаходження. Акцент було зроблено на чотирьох алгоритмах (середній зсув, байєсовська сегментація, активні контури та розрізи графіка), які були застосовані до проблеми відстеження робочої сили на будівельних майданчиках з використанням відеокамер.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. D. Comaniciu, V. Ramesh, P. Meer, Kernel-based object tracking, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 25 (5) (2003) 564–577.
2. D. Freedman, T. Zhang, Active contours for tracking distributions, IEEE Transactions on Image Processing 13 (4) (2004) 518–526.
3. J. Malcolm, Y. Rathi, A. Tannenbaum, Tracking through clutter using graph cuts, in: British Machine Vision Conference, 2007, p. 116.
4. J. Malcolm, Y. Rathi, A. Tannenbaum, Multi-object tracking through clutter using graph cuts, in: IEEE International Conference on Computer Vision, 2007, pp. 1–5.
5. M. Rousson, R. Deriche, A variational framework for active and adaptive segmentation of vector valued images, Tech. Rep. 4515, INRIA, 2002.
6. P. Vela, M. Niethammer, G. Pryor, A. Tannenbaum, R. Butts, D. Washburn, Knowledge-based segmentation for tracking through deep turbulence, IEEE Transactions on Control Systems Technology 16 (3) (2008) 469–474.
7. T. Lukins, Y. Ibrahim, A. Kaka, E. Trucco, Now you see it: the case for measuring progress with computer vision, in: Proceedings of the 4th International SCRI Research Symposium, Salford UK, 2007, pp. 409–422.
8. A. Lee, G. Marshall-Ponting, Aouad, Developing a vision of nD-enabled construction, Tech. rep., Construct I.T. Centre, UK, 2003.
9. C. Fu, G. Aouad, A. Lee, IFC model viewer to support nd model application, Automation in Construction 15 (3) (2006) 178–185.
10. C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston, BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2008.
11. Фесенко Т.Г. Управління проектами інтегрованого розвитку міста із використанням BIM технологій. *Просторове планування: містопланування,*

архітектура, політичні та соціокультурні засади. Зб. наук. пр. Вип. II. В 2-х ч. Київ-Тернопіль : КНУБА, «Бескиди», 2021. Частина 2. С. 13–17.

12. Фесенко Т. Сучасні знання для управління будівельними проєктами: бібліографічна карта дослідження. *Архітектура та будівництво: Відновлення України. Наука, технологія, практика : Програми і тези доповідей міжнародного науково-технічного форуму, 17 листопада 2022 року*. Київ: КНУБА. С. 344–345.

13. R. Navon, R. Sacks, Assessing research issues in automated project performance control (APPC), *Automation in Construction* 16 (4) (2006) 474–484.

14. J. Song, C. Haas, C.H. Caldas, Tracking the location of materials on construction job sites, *Journal of Construction Engineering and Management* 132 (9) (2006) 911–918.

15. E. Ergen, B. Akinci, R. Sacks, Tracking and locating components in a precast storage yard utilizing radio frequency identification technology and GPS, *Automation in Construction* 16 (3) (2006) 354–367.

16. G. Cheok, R. Lipman, C. Witzgall, J. Bernal, W. Stone, Field demonstration of laser scanning for excavation measurement, in: *Proceedings International Symposium of Automation and Robotics in Construction, 2000*, pp. 683–688.

17. B. Akinci, M. Fischer, R. Levitt, B. Carlson, Formalization and automation of time-space conflict analysis, *Journal of Computing in Civil Engineering* 6 (2) (2002) 124–135.

18. R. Navon, E. Goldschmidt, Monitoring labor inputs: automated-data-collection model and enabling technologies, *Automation in Construction* 12 (2) (2003) 185–199.

19. C. Caldas, C. Haas, D. Grau, C. Wood, R. Porter, Field trials of GPS technology for locating fabricated pipe in laydown yards, Tech. rep., College of Engineering, University of Texas, Austin, 2004.

20. C. Caldas, D. Grau, C. Haas, Using global positioning systems to improve materials locating processes on industrial projects, *Journal of*

Construction Engineering and Management 132 (7) (2006) 741–749.

21. M. Golparvar Fard, F. Pea-Mora, Semi-automated visualization techniques for construction progress monitoring, in: Proceedings Construction Research Congress, Freeport, Bahamas, 2007.

22. M. Cheng, J. Chen, Integrating barcode and GIS for monitoring construction progress, *Automation in Construction* 11 (1) (2002) 23–33.

23. M. Cheng, C. Ko, C. Chang, Computer-aided DSS for safety monitoring of geotechnical construction, *Automation in Construction* 11 (2002) 375–390.

24. R. Sacks, R. Navon, E. Goldschmidt, Building project model support for automated labor monitoring, *Journal of Computing in Civil Engineering* 17 (1) (2003) 19–27.

25. J. Teizer, D. Lao, M. Sofer, Rapid automated monitoring of construction site activities using ultra-wideband, in: Proceedings International Symposium of Automation and Robotics in Construction, Kochi, Kerala, India, 2007, pp. 23–28.

26. J. Messner, V. Sanvido, An information model for project evaluation, *Engineering, Construction and Architectural Management* 8 (5) (2001) 391–400.

27. M. Golparvar Fard, S. Savarese, F. Pena-Mora, Interactive visual construction progress monitoring with 4D augmented reality model, in: ICCBEXI, China, 2008.

28. V. Kamat, J. Martinez, Large-scale dynamic terrain in three-dimensional construction process visualizations, *Journal of Computing in Civil Engineering* 19 (2) (2005) 160–171.

29. C. Gordon, F. Boukamp, D. Huber, E. Latimer, K. Park, A.B., Combining reality capture technologies for construction defect detection: a case study, in: Proceedings International Conference on E-Activities and Intelligent Support in Design and the Built Environment, Istanbul, Turkey, 2003, pp. 99–108.

30. F. Bosche, C. Haas, Automated retrieval of 3D CAD model objects in construction range images, *Automation in Construction* 17 (4) (2008) 499–512.

31. J. Bohn, J. Teizer, Benefits and barriers of construction project monitoring using hi-resolution automated cameras, *Journal of Construction*

Engineering and Management (2009).

32. J. Diekman, M. Krewedl, T. Stewart, S. Won, Application of lean manufacturing principles to construction, Tech. Rep. 191-11, The University of Texas at Austin, Construction Industry Institute, 2004.

33. J. Womack, D. Jones, *The Machine That Changed the World*, Rawson, New York, NY, 1990.

34. National census of fatal occupational injuries in 2007, Tech. rep., OSHA, Available from: <<http://www.osha.gov>>, 2008 (accessed 07.07.08).

35. C. Kim, C. Haas, K. Liapi, J. McLaughlin, J. Teizer, F. Bosche, Rapid human- assisted, obstacle avoidance system using sparse range point clouds, in: 9th ASCE Aerospace Division International Conference, 2004, pp. 115–122.

36. J. Garrett, J. Teizer, Human factors analysis classification system relating to human error awareness taxonomy in construction safety, *Journal of Construction Engineering and Management* (2009).

37. D. Cremers, Nonlinear dynamical shape priors for level set segmentation, in: *Proceedings IEEE Conference on Vision and Pattern Recognition*, 2007, pp. 17–22.

38. M. Niethammer, P. Vela, A. Tannenbaum, Geometric observers for dynamically evolving curves, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 30 (6) (2008). 2093–1108.

39. D. Cremers, M. Rousson, R. Deriche, A review of satistical apporaches to level- set segmentation: integrating color, texture, motion, and shape, *International Journal of Computer Vision* 72(2).

40. J. Malcolm, Y. Rathi, A. Tannenbaum, Multi-object tracking through clutter using graph cuts, in: *IEEE International Conference on Computer Vision*, 2007, pp. 1–5.

41. P. Vela, M. Niethammer, G. Pryor, A. Tannenbaum, R. Butts, D. Washburn, Knowledge-based segmentation for tracking through deep turbulence, *IEEE Transactions on Control Systems Technology* 16 (3) (2008) 469–474.

42. H. Tao, H. Sawhney, R. Kumar, An integrated bayesian approach to

layer extraction from image sequences, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 24 (2002) 75–89.

43. R. Okada, S. Soatto, Relevant feature selection for human pose estimation and localization in cluttered images, in: *Proceedings European Conference on Computer Vision*, 2008, pp. 434–445.

44. S. Ali, M. Shah, A Lagrangian particle dynamics approach for crowd flow segmentation and stability analysis, in: *Proceedings IEEE Conference on Vision and Pattern Recognition*, 2007, pp. 17–22.

45. B. Zhan, D. Monekosso, P. Remagnino, S. Velastin, L. Xu, *Crowd Analysis: a Survey*, Springer, 2008. pp. 1432–1769.

46. S. Denman, V. Chandran, S. Sridharan, An adaptive optical flow technique for person tracking systems, *Pattern Recognition Letters* 28 (10) (2007) 1232–1239.

47. D. Demirdjian, Combining geometric- and view-based approaches for articulated pose estimation, *Proceedings European Conference Computer Vision* 10 (2) (2004) 183–194.

48. D. Koller, H. Daniilidis, H.H. Nagel, Model-based object tracking in monocular image sequences of road traffic scenes, *International Journal of Computer Vision* 10 (3) (1993) 257–281.

49. H. Kollnig, H. Nagel, 3d pose estimation by directly matching polyhedral models to gray value gradients, *International Journal of Computer Vision* 23 (3) (1997) 283–302.

50. D. Cremers, Nonlinear dynamical shape priors for level set segmentation, in: *Proceedings IEEE Conference on Vision and Pattern Recognition*, 2007, pp. 17–22.

51. M. Niethammer, P. Vela, A. Tannenbaum, Geometric observers for dynamically evolving curves, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 30 (6) (2008). 2093–1108.

52. D. Cremers, M. Rousson, R. Deriche, A review of statistical approaches to level- set segmentation: integrating color, texture, motion, and shape,

International Journal of Computer Vision 72(2).

53. J. Malcolm, Y. Rathi, A. Tannenbaum, Multi-object tracking through clutter using graph cuts, in: IEEE International Conference on Computer Vision, 2007, pp. 1–5.

54. P. Vela, M. Niethammer, G. Pryor, A. Tannenbaum, R. Butts, D. Washburn, Knowledge-based segmentation for tracking through deep turbulence, IEEE Transactions on Control Systems Technology 16 (3) (2008) 469–474.

55. H. Tao, H. Sawhney, R. Kumar, An integrated bayesian approach to layer extraction from image sequences, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 24 (2002) 75–89.

56. R. Okada, S. Soatto, Relevant feature selection for human pose estimation and localization in cluttered images, in: Proceedings European Conference on Computer Vision, 2008, pp. 434–445.

57. S. Ali, M. Shah, A Lagrangian particle dynamics approach for crowd flow segmentation and stability analysis, in: Proceedings IEEE Conference on Vision and Pattern Recognition, 2007, pp. 17–22.

58. B. Zhan, D. Monekosso, P. Remagnino, S. Velastin, L. Xu, Crowd Analysis: a Survey, Springer, 2008. pp. 1432–1769.

59. S. Denman, V. Chandran, S. Sridharan, An adaptive optical flow technique for person tracking systems, Pattern Recognition Letters 28 (10) (2007) 1232–1239.

60. D. Demirdjian, Combining geometric- and view-based approaches for articulated pose estimation, Proceedings European Conference Computer Vision 10 (2) (2004) 183–194.

61. D. Koller, H. Daniilidis, H.H. Nagel, Model-based object tracking in monocular image sequences of road traffic scenes, International Journal of Computer Vision 10 (3) (1993) 257–281.

62. H. Kollnig, H. Nagel, 3d pose estimation by directly matching polyhedral models to gray value gradients, International Journal of Computer Vision 23 (3) (1997) 283–302.

63. D. Lowe, Fitting parameterized three-dimensional models to images, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 13 (5) (1991) 441–450.
64. A. Van den Hengel, A. Dick, T. ThormShlen, B. Ward, P. Torr, Hierarchical model fitting to 2d and 3d data, in: *Proceedings of the Third International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization*, 2006, pp. 359–364.
65. Y. Yoon, A. Kosaka, J. Park, A. Kak, A new approach to the use of edge extremities for model-based object tracking, in: *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2005, pp. 1883–1889.
66. H. Jin, A. Yezzi, Y. Tsai, L. Cheng, S. Soatto, Estimation of 3d surface shape and smooth radiance from 2d images: A level set approach, *Journal of Scientific Computing* 19 (1–3) (2003) 267–292 .
67. M. Pollefeys, L. Van Gool, From images to 3d models, *Communications of the ACM* 45 (7) (2002) 50–55.
68. I. Siveg, G. Vosselman, Reconstruction of 3d building models from aerial images and maps, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 58 (3–4) (2004) 202–224.
69. R. Hartley, F. Kahl, Optimal algorithms in multiview geometry, in: *Proc. Asian Conference on Computer Vision*, 2007, pp. 1611–3349.
70. L. Liu, I. Stamos, G. Yu, G. Wolberg, S. Zokai, Multiview geometry for texture mapping 2d images onto 3d range data, in: *Proceedings IEEE Conference on Vision and Pattern Recognition*, 2006, pp. 2293–2300.
71. F. Cordova, I. Brilakis, On-site 3D vision tracking of construction personnel, in: *Conference of the International Group for Lean Construction Management*, 2008, pp. 809–820.