

ДОДАТОК А

Графічний матеріал кваліфікаційної роботи



Харківський національний університет радіоелектроніки

Кафедра електронних обчислювальних машин

Кваліфікаційна робота

МОДЕЛІ ТА АЛГОРИТМИ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ВІДЕОМОНІТОРИНГА ЗА БУДІВНИЦТВОМ

Виконавець: **Демиденко Д.В.**

здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти,
гр. СПм-21-2

Науковий керівник: **Фесенко Т.Г.** д.т.н., проф.

2023

Методологічні основи дослідження

ОБ'ЄКТ дослідження – параметри та характеристики ефективності системи відеомоніторингу за будівництвом.

ПРЕДМЕТ дослідження – моделі, методи, алгоритми збору і обробки фото і відео зображень об'єктів на будівельному майданчику.

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

ЗАВДАННЯ дослідження:

- 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

Відеомоніторинг за будівництвом: ідентифікація можливостей

Роль і можливості застосування відеоканери протягом життєвого циклу будівельного проекту

Групи процесів управління проектами	Застосування відеоканери у процесі управління будівельним проектом
Ініціалізація	Розробка Статуту проекту Інвестори, співінвестори отримують візуалізовану інформацію про наявні параметри земельної ділянки (об'єкта реконструкції) майбутнього об'єкту: місцезнаходження, оглядові об'єкти, загальні (оглядові) види, які земельні ділянки межують тощо.
Планування	Розробка плану управління проектом При зборі вихідних даних для розробки проектно-конструкторської документації виникає необхідність обов'язково відіти на об'єкт представників державних, муніципальних, інженерних служб для загального огляду. За наявності можливості, підключеного до інтернету, цю процедуру можна провести у вигляді перегляду у режимі on-line.
Виконання	Керівництво і управління виконанням проекту Проведення відеоконференцій, відеонарад для оперативного обміну інформацією, оперативного узгодження і вирішення поточних організаційно-технічних питань. Власцтво будівництва здійснюється коли одна камера і аудіоцентр для передачі голосу встановлюється в одному місці (районі міста), а друга пара – у іншому. Зв'язок між відеоканерами здійснюється через інтернет. Процес забезпечення якості. Спеціальні відеонагляди дозволяють здійснювати нагляд за будівництвом об'єктів нерухомості. Одна або декілька камер встановлюються, наприклад, на башенній крані і керівники будівельної організації, а також замовники можуть контролювати ход виконання будівельних робіт із свого робочого місця (кабінету). Щодобова відеотрансляція у прямому ефірі робіт, що ведуться на будмайданчику, дозволяє менеджерам більш ефективно контролювати виконання підприємствами і субпідрядниками обов'язків за контрактами. Ввід на ІР-адресу кожної камери може бути обмежений з метою забезпечення захисту інформації.
Моніторинг і управління	Моніторинг і управління роботами проекту Організація відеомоніторингу будівельного майданчика. Загальне управління зйомкою Можливість не тільки бачити і чути про відбувається на будмайданчику, а й попереджати про небезпеку. Управління командою проекту. Керівництво територіально віддаленими підрозділами шляхом проведення відеонарад. Звітність із виконання Виконання фотозвіту про хід будівництва.
Завершення	Закриття проекту Презентація завершення робіт на об'єкті і здача держкомісії до експлуатації. Відеореєстр етапів будівництва.

> 3

Внутрішня купольна камера Verkada

	CS42-E	CS52-E	CS62-E
Тип	Купольна	Купольна	Купольна
Розмір корпусу, мм	85x85	85x85	85x85
Розмір об'єкта, мм	1000x1000	1000x1000	1000x1000
Роздільна здатність	2 Мп	2 Мп	2 Мп
Кольори	Темно-сірий	Темно-сірий	Темно-сірий
Аудіо	Так	Так	Так
Питання	Рів	Рів	Рів
Матеріал	ABS	ABS	ABS

Міні-лампа Verkada високої роздільної здатності

	CS42-E	CS52-E	CS62-E
Тип	Міні-лампа	Міні-лампа	Міні-лампа
Розмір корпусу, мм	45x45	45x45	45x45
Розмір об'єкта, мм	1000x1000	1000x1000	1000x1000
Роздільна здатність	2 Мп	2 Мп	2 Мп
Кольори	Темно-сірий	Темно-сірий	Темно-сірий
Аудіо	Так	Так	Так
Питання	Рів	Рів	Рів
Матеріал	ABS	ABS	ABS

Камери Verkada, стійкі до атмосферних впливів

	CS42-E	CS52-E	CS62-E
Тип	Висхідна	Висхідна	Висхідна
Розмір корпусу, мм	85x85	85x85	85x85
Розмір об'єкта, мм	1000x1000	1000x1000	1000x1000
Роздільна здатність	2 Мп	2 Мп	2 Мп
Кольори	Темно-сірий	Темно-сірий	Темно-сірий
Аудіо	Так	Так	Так
Питання	Рів	Рів	Рів
Матеріал	ABS	ABS	ABS

Камера Verkadam високої роздільної здатності

	CS42-E	CS52-E	CS62-E
Тип	Висхідна	Висхідна	Висхідна
Розмір корпусу, мм	85x85	85x85	85x85
Розмір об'єкта, мм	1000x1000	1000x1000	1000x1000
Роздільна здатність	2 Мп	2 Мп	2 Мп
Кольори	Темно-сірий	Темно-сірий	Темно-сірий
Аудіо	Так	Так	Так
Питання	Рів	Рів	Рів
Матеріал	ABS	ABS	ABS

Алгоритми для обробки відеоданих

Метод зсуву середнього значення

Шаблон об'єкту

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

де $D_T \subset R^2$ – область об'єкта шаблону, початок координат якої знаходиться в центрі шаблону; R^d – область піксельних даних.

Цільова оцінка фотометричної щільності.

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

де $k: R \rightarrow [0,1]$ – ядро опуклого зважування, яке надає перевагу піксельним даним на початку домену; N_p – загальна кількість дискретних місць розташування пікселів у домені шаблону.

Крок градієнтного спуску для коригування цільового розташування y обчислюється за допомогою першої варіації

$$\Delta y = \frac{\sum_{i=1}^{N_p} x_i w(x_i) g(|x_i|)}{\sum_{i=1}^{N_p} g(|x_i|)},$$

> 4

Байєський аналіз

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

де $D_T \subset R^2$ – область об'єкта шаблону, початок координат якої знаходиться в центрі шаблону; R^d – область піксельних даних.

Максимальна ймовірність

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

де \hat{P} – згладжена версія P .

Геометричне усереднення апостеріорних ймовірностей накладає часову узгодженість на еволюцію цільових сегментів

$$\hat{P}^+(r) = (\hat{P}^-(r))^{1-\alpha} (\hat{P}_m(r))^\alpha$$

де α вибирається на основі спостереження та вимірювання шуму. Низький α зміщений до попередніх оцінок ймовірностей, а високий α – зміщений до поточно вимірених ймовірностей

Алгоритми для обробки відеоданих

Метод зсуву середнього значення

Шаблон об'єкту

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

де $D_T \subset R^2$ – область об'єкта шаблону, початок координат якої знаходиться в центрі шаблону; R^d – область піксельних даних.

Цільова оцінка фотометричної щільності.

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

де $k: R \rightarrow [0,1]$ – ядро опуклого зважування, яке надає перевагу піксельним даним на початку домену;

N_p – загальна кількість дискретних місць розташування пікселів у домені шаблону.

Крок градієнтного спуску для коригування цільового розташування y обчислюється за допомогою першої варіації

$$\Delta y = \frac{\sum_{i=1}^{N_p} x_i w(x_i) g(\|x_i\|)}{\sum_{i=1}^{N_p} g(\|x_i\|)},$$

> 4

Байєський аналіз

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

де $D_T \subset R^2$ – область об'єкта шаблону, початок координат якої знаходиться в центрі шаблону; R^d – область піксельних даних.

Максимальна ймовірність

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

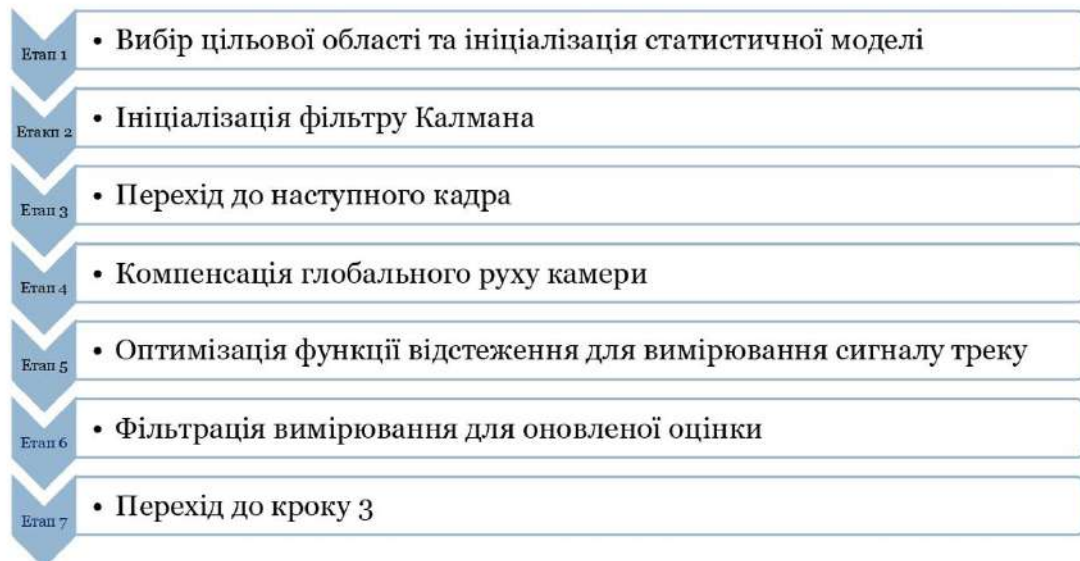
де \hat{P} – згладжена версія P .

Геометричне усереднення апостеріорних ймовірностей накладає часову узгодженість на еволюцію цільових сегментів

$$\hat{P}^+(r) = (\hat{P}^-(r))^{1-\alpha} (\hat{P}_m(r))^\alpha$$

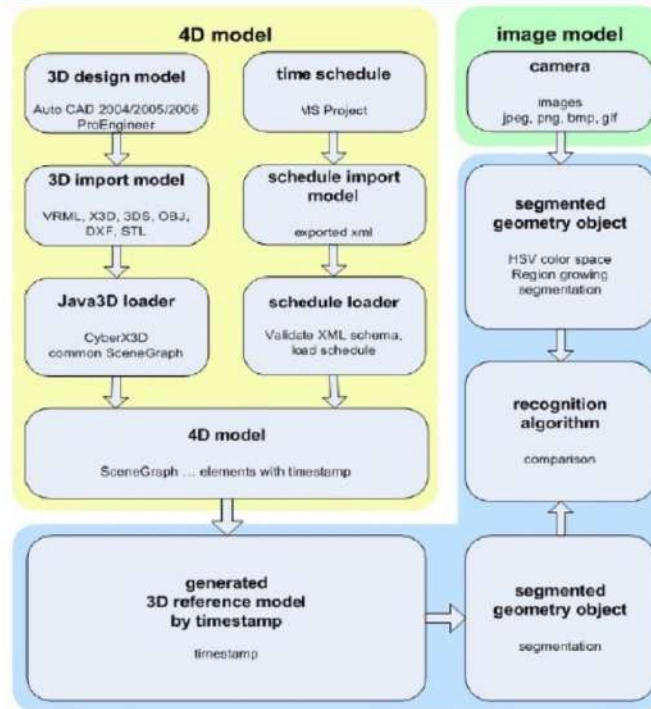
де α обирається на основі спостереження та вимірювання шуму. Низький α зміщений до попередніх оцінок ймовірностей, а високий α – зміщений до поточно вимірюваних ймовірностей

Загальний алгоритм відслідковування відеоданих



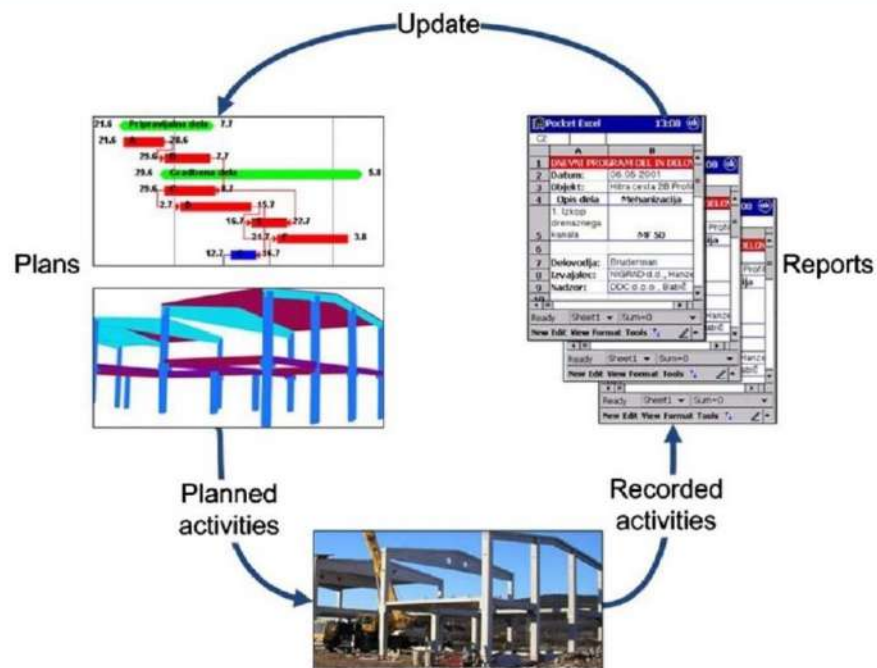
> 6

Архітектура програми автоматизованого відстеження будівництва



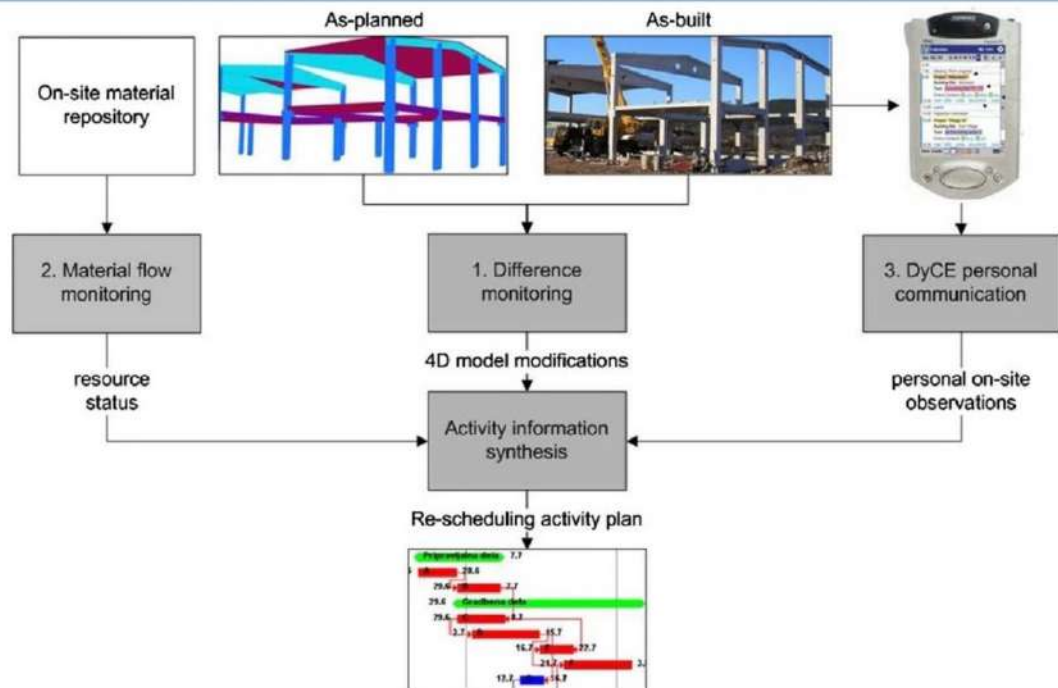
> 7

Інформаційний цикл управління даними в будівництві



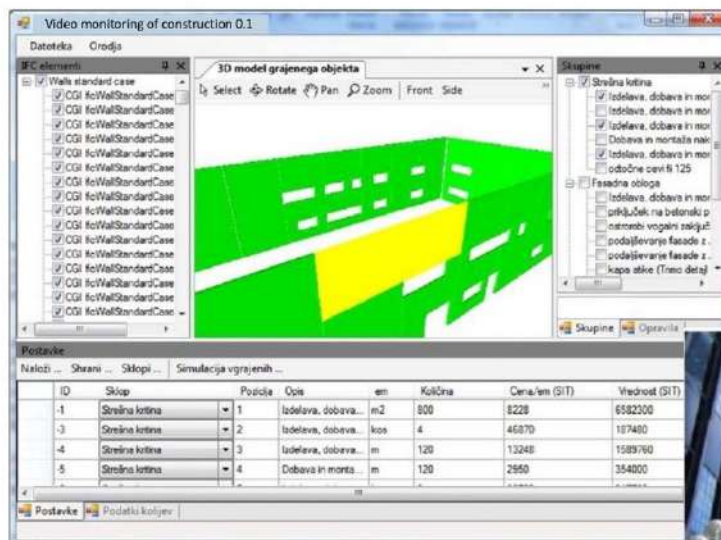
> 8

Концептуальна схема автоматизованої системи моніторингу будівельної діяльності



> 9

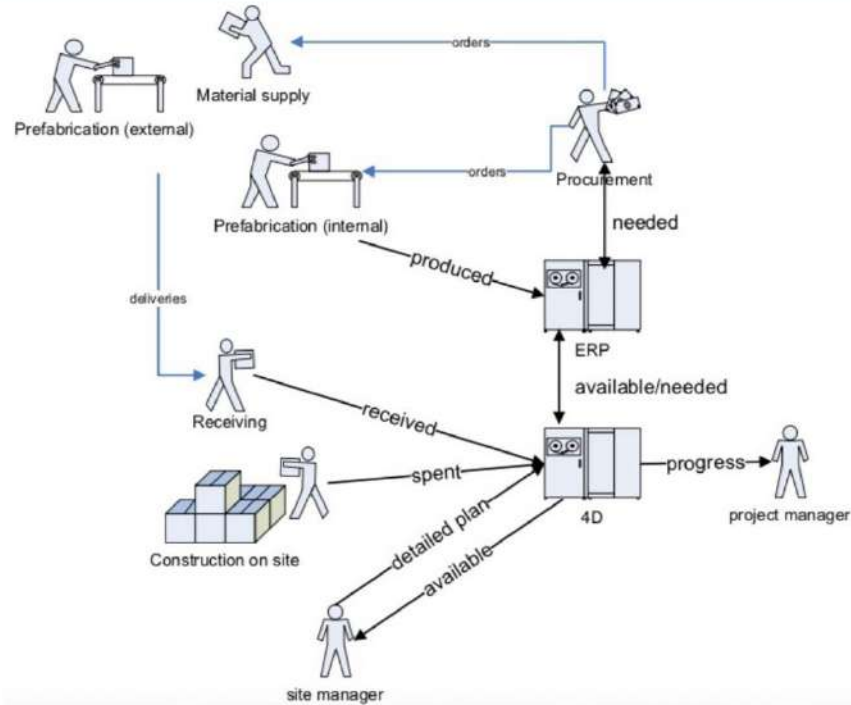
4D інструменти для побудови 4D-моделей продукту та процесу будівництва



> 10

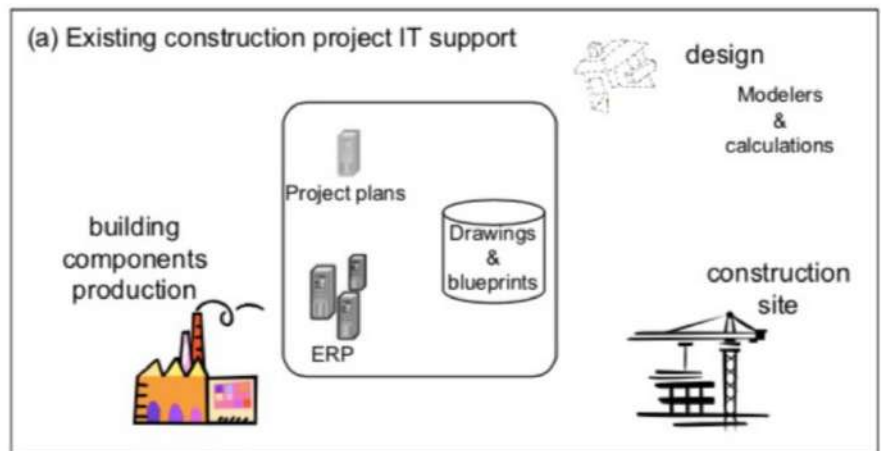


Управління та координація ланцюга поставок на основі 4D

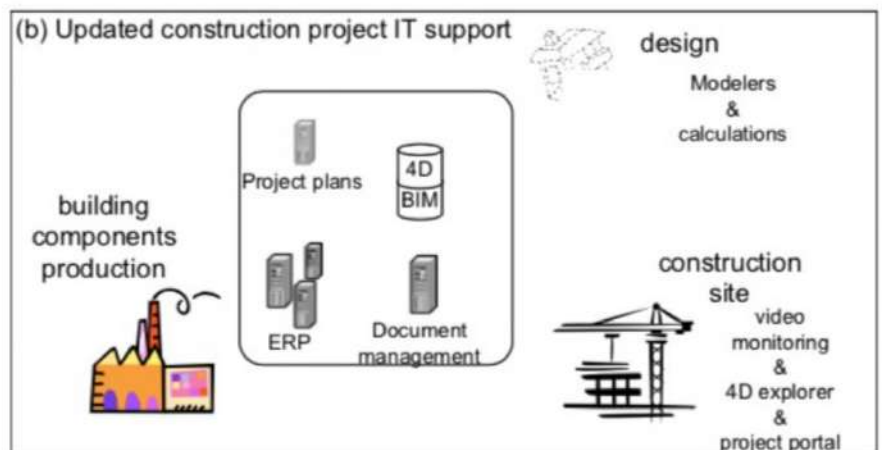


> 11

Компоненти інформаційної системи без елементів відеомоніторингу



Компоненти інформаційної системи з елементами відеомоніторингом



> 12

Модель вибору відеокамери для будівельного майданчика

Введемо змінну, $\bar{y}_h = \{0;1\}$ де $\bar{y}_h = 1$ якщо обрана h -та конфігурація відеокамери, в протилежному випадку $\bar{y}_h = 0$

Кожний тип відеокамери, що є складовою системи мультимедійного комплексу, характеризується низкою **показників**:

1) функціонально-технічними (дозвільна здатність фотографування і відеозйомки, швидкість, оптичне збільшення, кут огляду, гарантійний термін фірми-виробника) – F_h ;

2) витратними (у вигляді витрат на купівлю, інсталяцію, технічну підтримку, обслуговування) – B_h .

Частковими критеріями

оптимізації у математичній моделі вибору конфігурації відеокамери пропонуються наступні:

- максимальні функціонально-технічні показники

> 13 • мінімальні витратні показники

Область припустимих рішень визначається обмеженнями:

- із всієї множини конфігурацій відеокамер має бути обрана лише одна

$$\sum_{h=1}^{h'} \bar{y}_{jrmh} = 1 \quad i = \overline{1,5}; j = \overline{1, j_i}; r = \overline{1, r_j}; m = \overline{1, m_{jr}}; \exists h = \overline{1, h'}$$

- необхідні функціонально-технічні показники не мають бути меншими заданих $F_{задано}$

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{j_i} \sum_{r=1}^{r_j} \sum_{m=1}^{m_{jr}} \sum_{h=1}^{h'} F_h \bar{y}_{jrmh} \geq F_{задано}$$

- витратні показники не мають перевищувати заданих $B_{задано}$

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{j_i} \sum_{r=1}^{r_j} \sum_{m=1}^{m_{jr}} \sum_{h=1}^{h'} B_h \bar{y}_{jrmh} \leq B_{задано}$$

- наявність: технології «нічного бачення», інтегрованого мікрофону, функції «шумопоглинання», відповідного функціонального призначення (для ноутбуків, будмайданчику), відповідної фірми-виробника; функції повороту зображення, вбудованого детектору руху тощо

$$\sum_{h=1}^{h'} G_h \bar{y}_{jrmh} = 1 \quad i = \overline{1,5}; j = \overline{1, j_i}; r = \overline{1, r_j}; m = \overline{1, m_{jr}}; \exists h = \overline{1, h'}$$

Висновки

- Досліджено методи збору й аналізу будівельних даних для автоматичного відстеження місцезнаходження. Проаналізовано чотири алгоритми (середній зсув, байсовська сегментація, активні контури та розрізи графа), які застосовувались для вирішення проблем відстеження працівників на будівельних майданчиках із використанням відеокамер.
- Розглянуто основні організаційні та функціональні характеристики відеокамер в будівництві. Запропонована узагальнена модель вибору відеокамери, яка дозволяє науково-обґрунтовано обирати за заданими критеріями і обмеженнями для мультимедійного комплексу будівельної організації.
- Запропоновано архітектуру програми автоматизованого відстеження будівництва. Java3D використана для геометричної структури, а CyberX3D для створення незалежної архітектури. Алгоритм дозволяє ідентифікувати окремі елементи будівлі після сегментації зображення.
- Запропоновано функціональні компоненти (ланцюги поставок, комунікативне середовище), які можуть бути інтегровані у систему автоматизованого моніторингу будівництва.
- Створено інформаційну систему «Video monitoring of construction» для забезпечення команду своєчасною інформацією, управління змінами та підвищення ефективності виконання будівельних робіт.

> 14

ДОДАТОК Б

Приклади функціонально-технічних характеристик відеокамер для відеоспостереження за будівництвом

Б.1 Внутрішні купольні камери

Внутрішня купольна камера Verkada (рис. Б.1.1) розроблена для внутрішніх приміщень з інтенсивним рухом людей. Це ідеальна камера безпеки загального призначення з високою роздільною здатністю. У серії Indoor Dome є три моделі: C D42, CD52 і C62 (рис. Б.1.2).



Рисунок Б.1.1 – Внутрішня купольна камера Verkada

	CD42	CD52	CD62
Тип	В приміщенні	В приміщенні	В приміщенні
Роздільна здатність зображення	5 Мп	5 Мп	4К
Тип об'єктива	Фіксований, з 3-кратним цифровим зумом	Масштабування з 3-кратним оптичним і цифровим зумом	Масштабування з 3-кратним оптичним і цифровим зумом
Стандартне утримання	До 365 днів	До 365 днів	До 90 днів
Стандартне зберігання	До 2 ТБ	До 2 ТБ	До 2 ТБ
Аудіо	Так	Так	Так
ІЧ діапазон	15м	30м	30м
Рейтинг	IK08	IK08	IK08

Рисунок Б.1.2 – Функціонально-технічні характеристики внутрішньої купольної камери Verkada

Б.2 Камери, стійкі до атмосферних впливів

Серія Verkada Outdoor Dome (рис. Б.2.1) стійка до атмосферних впливів і несанкціонованого доступу. Ці камери добре функціонують навіть у місцях з обмеженою пропускнуою здатністю та з'єднанням. Вони ідеально підходять для моніторингу паркінгу, зовнішнього вигляду будівель (наприклад, для зйомки ключових номерних знаків) і навіть будівельних майданчиків. У серії Outdoor Dome є три моделі: CD42-E, CD52-E та CD62-E (рис. Б.2.2).



Рисунок Б.2.1 – Камера Verkada Outdoor Dome, стійка до атмосферних впливів

	CD42-E	CD52-E	CD62-E
Тип	На відкритому повітрі	На відкритому повітрі	На відкритому повітрі
Роздільна здатність зображення	5 Мп	5 Мп	4К
Тип об'єктива	Фіксований, з 3-кратним цифровим зумом	Масштабування з 3-кратним оптичним і цифровим зумом	Масштабування з 3-кратним оптичним і цифровим зумом
Стандартне утримання	До 365 днів	До 365 днів	До 90 днів
Стандартне зберігання	До 2 ТБ	До 2 ТБ	До 2 ТБ
Аудіо	Так	Так	Так
ІЧ діапазон	15м	30м	30м
Рейтинг	IK10 і IP67	IK10 і IP67	IK10 і IP67

Рисунок Б.2.2 – Функціонально-технічні характеристики камер Verkada Outdoor Dome, стійких до атмосферних впливів

Б.3 Камери безпеки високої роздільної здатності

Серія Verkada Bullet (рис. Б.3.1) – камера безпеки високої роздільної здатності, створена для роботи в суворих умовах, що робить її ідеальною камерою на будівельному майданчику для дистанційного моніторингу. Камера Verkada Bullet доступна в двох типах об'єктивів: ширококутний і телефото. У серії Bullet є чотири моделі: СВ51-Е, СВ61-Е, СВ51-ТЕ, СВ61-ТЕ (рис. Б.3.2).



Рисунок Б.3.1 – Камера безпеки Verkada Bullet

	СВ51-Е	СВ51-ТЕ	СВ61-Е	СВ61-ТЕ
Тип	В приміщенні та/або на відкритому повітрі	В приміщенні та/або на відкритому повітрі	В приміщенні та/або на відкритому повітрі	В приміщенні та/або на відкритому повітрі
Роздільна здатність зображення	5 Мп	5 Мп	4К	4К
Тип об'єктива	Масштабування з 3-кратним оптичним і цифровим масштабуванням	Телефото зум, з фокусною відстанню 8-20 мм	Масштабування з 3-кратним оптичним і цифровим масштабуванням	Телефото зум, з фокусною відстанню 8-20 мм
Стандартне утримання	До 2 ТБ	До 2 ТБ	До 2 ТБ	До 2 ТБ
Стандартне зберігання	До 365 днів	До 365 днів	До 90 днів	До 90 днів
Аудіо	–	–	–	–
ІЧ діапазон	30м	50м	30м	50м
Рейтинг	IK10 і IP167	IK10 і IP167	IK10 і IP167	IK10 і IP167

Рисунок Б.3.2 – Функціонально-технічні характеристики камер безпеки серії Verkada Bullet

Б.4 Міні-камери з високою роздільною здатністю

Камери серії Verkada Mini (рис. Б.4.1) мають високу роздільну здатність для кристально чистого відео. Міні-камера компактного розміру може розміститися в будь-якому місці. У серії Mini є три моделі: CM41-S, CM41 і CM41-E (рис. Б.4.2).



Рисунок Б.4.1 – Камера серії Verkada Mini

	CM41-S	CM41	CM41-E
Тип	закритий	закритий	Відкритий
Роздільна здатність зображення	5 Мп	5 Мп	5 Мп
Тип об'єктива	Фіксований, із 3-кратним цифровим збільшенням	Фіксований, із 3-кратним цифровим збільшенням	Фіксований, із 3-кратним цифровим збільшенням
Стандартне утримання	До 90 днів	До 365 днів	До 365 днів
Стандартне зберігання	До 385 ГБ	До 2 ТБ	До 2 ТБ
Аудіо	–	Так	–
ІЧ діапазон	N/A	15м	15м
Рейтинг	N/A	IK08	IK10 і IP67

Рисунок Б.4.2 – Функціонально-технічні характеристики камер серії Verkada Mini

ДОДАТОК В

Макет наукової статті для фахового видання

УДК 005.8:69:005.94

Фесенко Тетяна Григорівна*доктор технічних наук, професор, професор кафедри електронних обчислювальних машин, orcid.org/0000-0001-9636-9598**Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків***Демиденко Давид Володимирович***здобувач другого (магістерського) рівня спеціальності «ІТ3 Комп'ютерна інженерія» освітньо-наукової програми «Системне програмування», orcid.org/0009-0008-7939-5952**Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків***Гайдило Дмитро Олексійович***здобувач другого (магістерського) рівня спеціальності «ІТ3 Комп'ютерна інженерія» освітньо-наукової програми «Системне програмування», orcid.org/0009-0007-4681-2978**Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків***ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В БУДІВНИЦТВІ: БІБЛІОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ VOSviewer**

Цифрові технології є корисними в галузі архітектури, проектування та будівництва, оскільки надають різноманітні переваги для зацікавлених сторін проекту, зокрема візуалізація, покращення обміну даними, зменшення будівельних відходів, підвищення продуктивності, стійкість продуктивності, підвищення безпеки. Проведений бібліометрично-якісний огляд публікацій (на прикладі наукометричної бази даних Scopus) дозволить виявити нові прогалини в знаннях і практичних потребах в області інформаційно-комунікативних технологіях (ІКТ) в будівельній галузі. Досліджено сукупності знань, передбачаючи тенденції та закономірності, визначаючи ключові дослідницькі інтереси, журнали, країни, нові досягнення, виклики, негативне ставлення та майбутні напрямки щодо застосування цифрових технологій в будівництві. Результати бібліометричного аналізу заклало основу для майбутніх дослідників, забудовників і девелоперів у прийнятті ефективних рішень в будівельних проєктах.

Ключові слова: цифрові технології; бібліометричний аналіз; інформаційне моделювання будівель (BIM); безпека

Вступ

Сучасні тенденції в будівництві, архітектурі, інженерії свідчать про необхідність кореляції феноменів «цифрові технології», «конкурентні переваги» і «знання». Інноваційні процеси спонукають будівельні та девелоперські компанії до проєктно-орієнтованого управління, як підходу створення нових цінностей. Зокрема, широкого розповсюдження набувають технології інформаційного моделювання об'єктів будівництва (Building Information Model, BIM), що дозволяють налагодити ефективну взаємодію між учасниками, підвищити продуктивність роботи, ощадливо використовувати ресурси і зменшити негативні впливи на навколишнє середовище [1]. Будівельні стандарти (ISO) розглядаються у співвідношенні з Цілями сталого розвитку (Sustainable Development Goals, SDGs) [2]. Отже, ефективність будівельної діяльності залежить не тільки від виробничих технологій, а й від застосування цифрових технологій усіх учасників проєкту (стейкхолдерів).

Інформаційно-технічна інфраструктура, знання ІТ технологій, а також досвід з управління проєктами відображає рівень технологічної (цифрової) зрілості будівельної компанії.

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Запровадження BIM стає все більш важливим для будівельної галузі України, що підтверджується прийняттям «Концепції впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технології) в Україні» (затверджено Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17 лютого 2021 року) та Законом «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо запровадження будівельного інформаційного моделювання (BIM-технології) на всіх етапах життєвого циклу об'єктів та науково-технічного супроводу об'єктів, удосконалення процедури обстеження об'єктів, прийнятих в експлуатацію в установленому законодавством порядку»

(Постанова Верховної Ради України від 08.07.2022 №2364-IX). Прийняття цих документів створює правові умови для спільного використання в Україні BIM-технологій усіма суб'єктами, залученими в процес проєктування, зведення, введення в експлуатацію, подальшого використання об'єктів будівництва з можливістю їх науково-технічного супроводу на всіх етапах життєвого циклу цих об'єктів.

Крім того, розроблено чотири національних стандарти застосування інформаційного моделювання в будівництві:

1) ДСТУ ISO 19650-1:2020 (ISO 19650-1:2018, IDT). Організація та оцифрування інформації щодо будівель та споруд включно з будівельним інформаційним моделюванням (BIM). Управління інформацією з використанням будівельного інформаційного моделювання. Частина 1. Концепції та принципи;

2) ДСТУ ISO 22263:2020 (ISO 22263:2008, IDT). Організація інформатизації про будівлі та споруди. Структура управління інформацією про проєкт;

3) ДСТУ ISO 29481-1:2022 (ISO 29481-1:2017, IDT; ISO 29481-1:2016, IDT). Інформаційні моделі будівель. Настанова з доставляння інформації. Частина 1. Методологія та формат;

4) ДСТУ ISO 12006-2:2020 (ISO 12006-2:2020, IDT; ISO 12006-2:2015, IDT). Зведення будівель. Структура інформації про об'єкти будівництва. Частина 2. Основні принципи класифікації).

В цілому, впровадження BIM в Україні, продовжить зростати в найближчі роки, оскільки мають потенціал до трансформації будівельної галузі у напрямку підвищення якості, безпеки, оціадивності і сталості [3].

В роботі [4] представлені переваги застосування технологій доповненої реальності (Augmented Reality, AR) та віртуальної реальності (Virtual Reality, VR зокрема для проєктів житлового і комерційного будівництва. Крім того, технології віртуальної реальності, мають широкий потенціал для міського планування [5], акустичного аналізу [6], аналізу рішень та підтримки прийняття рішень [7], безпеки будівництва [8], покращення просторового сприйняття та результатів навчання в інженерних сферах [9]. Пристрої радіочастотної ідентифікації (Radio Frequency Identification Devices, RFID) можуть допомогти підвищити прозорість і продуктивність ланцюжка поставок [10]. Для збору даних, відстеження, візуального моніторингу та оцінки можуть використовуватися технології GPS-GIS [11].

Використання робототехніки має потенціал для підвищення ефективності та безпеки, у довгостроковій перспективі воно не повинно

зменшувати загальні можливості роботи в будівельному секторі [12]. За допомогою відеокамери смартфона програма зчитує QR-код і показує модель без зіткнень на своєму дисплеї. Користувачі можуть вкочати, інтерпретувати або використовувати площини перегину, щоб легко візуалізувати рішення в кресленнях [13]. Також, штучний інтелект пропонує широкі можливості для значного підвищення ефективності за рахунок швидкого та точного аналізу великих обсягів даних [14]. Системи та технології штучного інтелекту можуть вирішувати складні нелінійні функціональні проблеми, а також з високою швидкістю прогнозувати і узагальнювати інформацію [15].

Дане дослідження спрямовано на проведення аналізу публікацій та визначення тенденцій розвитку знань із застосування цифрових технологій в будівництві. Для досягнення поставленої мети пропонується провести пошук актуальних наукових досліджень і розробити їх бібліографічну карту. Це дозволить виявити існуючі дослідницькі акценти та позначити перспективи для подальших наукових пошуків.

Мета і завдання дослідження

Метою даного дослідження є визначення тенденцій розвитку застосування цифрових технологій в будівництві на різних стадіях (від ініціації та проєктування до введення об'єкту в експлуатації) та проблемних питань, пов'язаних з їх використанням. Ці дані будуть орієнтиром для науковців, забудовників та девелоперів.

Для досягнення поставленої мети пропонується вирішити наступні завдання:

- сформувані пошуковий запит за ключовими словами (пов'язаними з диджиталізацією будівництва) та здійснити пошук публікацій у науково-метричній базі Scopus;
- проаналізувати розподіл публікацій з за роками, цитованістю, журналами, академічною приналежністю та іншими критеріями;
- сформувані інфографіку результатів бібліометричного аналізу із використанням комп'ютерної програми VOSviewer.

Бібліографічний аналіз досліджень

Бібліометрична візуалізація є важливим інструментом для візуалізації інформації та зв'язків між дослідниками, організаціями статтями, журналами тощо. Бібліометрична карта застосовується для класифікації областей знань і шаблонів досліджень на тематику «цифрові технології в будівництві та архітектурі» та допомагає сформувані цілісне уявлення про поточний стан дослідження, виявити прогалини в

Висновки

У підсумку виявлено, що структура публікацій про застосування цифрових технологій в будівництві значно збільшилась за останні 15 років. Більшість публікацій стосуються автоматизації виконання будівельно-монтажних робіт, а також в відомоніторингу безпеки будівельного майданчика. Встановлено, що більшість авторів публікацій мають приналежність до університетів зі Сполучених Штатів. Було також виявлено, що BIM вважається

найбільш популярним цифровим інструментом в сучасній будівельній галузі.

Результати даного дослідження можуть допомогти практикам в обґрунтуванні та виборі цифрових інструментів для підвищення ефективності і безпеки будівельного виробництва. Також результати аналізу бібліометричних даних можуть допомогти у виборі журналу для публікацій, пошуку партнерів для наукової колаборації і проєктів

(линия отсечения устанавливается клавишей Tab через диалоговое окно Табуляция в меню Формат/Абзац/Табуляция)

Список літератури

1. Фесенко Т.Г. Управління проєктами інтегрованого розвитку міста із використанням BIM технологій. Просторове планування: містопланування, архітектура, політичні та соціокультурні засади. 36. наук. пр. Вип. II. В 2-х ч. Київ-Тернопіль: КНУБА, «Бескиди», 2021. Частина 2. С. 13–17.
2. Fesenko T. Conceptualizing of sustainable-oriented construction project management methodology. Dortmund International Research Conference «EURO PIM 2022» (1-2 July 2022). 2022. P. 75–80.
3. Мірошніченко Р. О., Фесенко Т.Г. Управління ризиками BIM проєктів. Перспективи розвитку територій: теорія і практика: матеріали V міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, Харків, 18–19 листопада 2021 р. / Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Рада молодих вчених при МОН України, Slovak technical university in Bratislava, Czestochowa university of technology, Одеський національний економічний університет [та ін.] – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. С. 527–5307.
4. Noghbaei, M., Heydari, A., Balali, V., & Han, K. (2020). Trend analysis on adoption of virtual and augmented reality in the architecture, engineering, and construction industry. *Data*, 5(1), 26.
5. Maffei, L.; Masullo, M.; Pascale, A.; Ruggiero, G.; Romero, V.P. Immersive virtual reality in community planning: Acoustic and visual congruence of simulated vs real world. *Sustain. Cities Soc.* 2016, 27, 338–345.
6. Iachimi, T.; Maffei, L.; Ruotolo, F.; Senese, V.P.; Ruggiero, G.; Masullo, M.; Alekseeva, N. Multisensory Assessment of Acoustic Comfort Aboard Metros: A Virtual Reality Study. *Appl. Cogn. Psychol.* 2012, 26, 757–767.
7. Vincke, S.; Hernandez, R.D.L.; Bassier, M.; Vergauwen, M. Immersive Visualisation of Construction Site Point Cloud Data, Meshes and BIM Models in a VR Environment using a Gaming Engine. *ISPRS Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2019, XLII-5/W2, 77–83.
8. Azhar, S. Role of Visualization Technologies in Safety Planning and Management at Construction Jobsties. *Procedia Eng.* 2017, 171, 215–226.
9. Jensen, C.G. Collaboration and dialogue in Virtual reality. *J. Probl. Based Learn. High. Educ.* 2017, 5.
10. Pauwels, P.; Zhang, S.; Lee, Y.-C. Semantic web technologies in AEC industry: A literature overview. *Autom. Constr.* 2017, 73, 145–165.
11. Irizarry, J.; Karan, E.P.; Jalaei, F. Integrating BIM and GIS to improve the visual monitoring of construction supply chain management. *Autom. Constr.* 2013, 31, 241–254.
12. De Soto, B.G.; Agusti-Juan, I.; Joss, S.; Hunhevicz, J. Implications of Construction 4.0 to the workforce and organizational structures. *Int. J. Constr. Manag.* 2019, 1–13.
13. Zaki, T.; Khalil, C. QR-coded clash-free drawings: An integrated system of BIM and Augmented reality to improve construction project visualization. In *Proceedings of the ICSC15—The Canadian Society for Civil Engineering's 5th International/11th Construction Specialty Conference, Vancouver, BC, Canada, 7–10 June 2015*.
14. Patrício, D.I.; Rieder, R. Computer vision and artificial intelligence in precision agriculture for grain crops: A systematic review. *Comput. Electron. Agric.* 2018, 153, 69–81.
15. Mellit, A.; Kalogirou, S.A. Artificial intelligence techniques for photovoltaic applications: A review. *Prog. Energy Combust. Sci.* 2008, 34, 574–632.
16. Фесенко Т. Сучасні знання для управління будівельними проєктами: бібліографічна карта дослідження. Архитектура та будівництво: Відродження України. Наука, технологія, практика: Програми і тези доповідей міжнародного науково-технічного форуму, 17 листопада 2022 року. Київ: КНУБА, 2022. С. 344–345.
17. Vilutiene, T.; Kalibatiene, D.; Hosseini, M.R.; Pellicer, E.; Zavadskas, E.K. Building Information Modeling (BIM) for Structural Engineering. A Bibliometric Analysis of the Literature. *Adv. Civ. Eng.* 2019, 2019, 1–19.
18. Zheng, L.; Chen, K.; Lu, W. Bibliometric Analysis of Construction Education Research from 1982 to 2017. *J. Prof. Issues Eng. Educ. Pract.* 2019, 145, 04019005.
19. Manzoor, B.; Othman, I. Safety Management Model During Construction Focusing on Building Information Modeling (BIM). In *Advances in Civil Engineering Materials: Selected Articles from the International Conference on Architecture and Civil Engineering (ICACE2020)*; Springer Nature: Singapore, 2021; p. 31.