

Перетворення відеозапису з дошки у слайд-шоу

Доповідач: Максим Шило¹ Науковий керівник: Водолазський Є. В.¹

¹Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

16 червня 2022

Мотивація

Three panels of a chalkboard showing the proof of Theorem 2. The first panel contains:

Теорема 2. Нехай $A = T_1 \cup T_2 \cup \dots \cup T_k$.
Тоді існує білокомпактна сітка \sim на A та $\sim = \sim_{T_1} \cup \sim_{T_2} \cup \dots \cup \sim_{T_k}$.

Нехай $a \sim b \Leftrightarrow \exists i : a \in T_i, b \in T_i$
тобто $a \in T_i, b \in T_i \Rightarrow a \sim b$
Суми: $a \sim b \Leftrightarrow \exists i : a \in T_i, b \in T_i \Rightarrow a \sim b$
Произ: $\forall a, b, c : a \sim b, b \sim c \Rightarrow a \sim c$
 $a \sim b \Leftrightarrow (\exists i) \sim_i a \sim_i b$

The second panel contains:

Доведення:

$\sim^2 = \sim_{T_1} \circ \sim_{T_2} \circ \dots \circ \sim_{T_k}$
 \sim^2 - зображення білокомпактне на A^2
 $(a, b) \sim R(x, y) \Leftrightarrow \begin{cases} (a, b) = (x, y) \\ (a, b) \sim (x, y) \end{cases}$
 $(x, y) \sim R(u, v) \Leftrightarrow \begin{cases} (x, y) = (u, v) \\ (x, y) \sim (u, v) \end{cases}$
 $\sim^2 = \{ (a, b) : \exists i, j \in \{1, 2, \dots, k\}, a \sim_i b, b \sim_j c \}$

The third panel contains:

Якщо $a \neq b$, то $\{a\} \cap \{b\} = \emptyset$

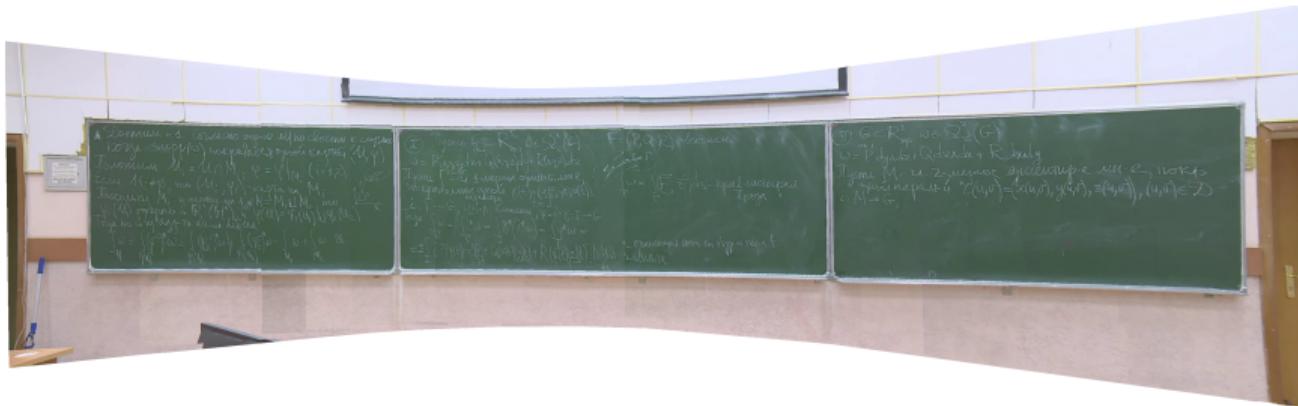
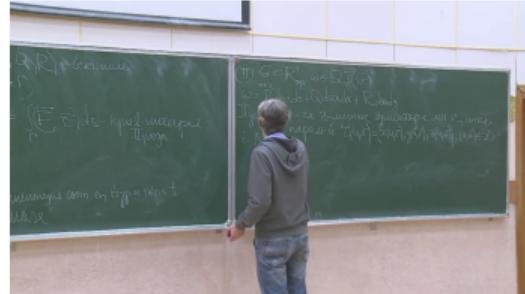
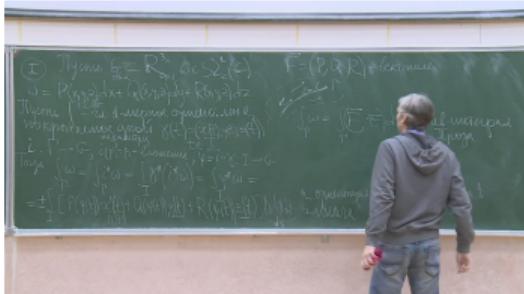
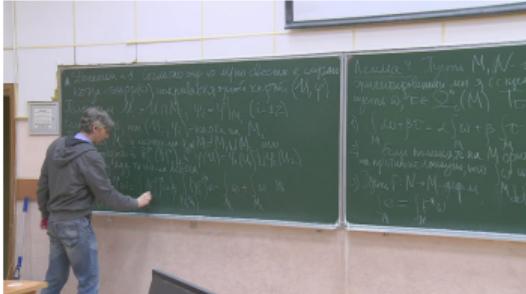
$\exists (2) -$ мультина небілокомпактна, пор.

$A^{(2)} = A^2 / R$

$\exists \mathbb{Z} \times \mathbb{N} \sim (m, n) \sim$

Джерело — <https://youtu.be/a7TUp4p-pIk>

Мотивація



Джерело — https://youtu.be/_pt7x37urx4



Вступ

Об'єкт дослідження — відеозаписи лекцій.

Предмет дослідження — автоматична обробка відеозаписів.

Метою роботи є розробка алгоритму, що перетворює відеозапис лекції у панорамні знімки без викладача за умови, що камера може рухатись.

Даний алгоритм має

- враховувати дошки різного кольору;
- враховувати рух камери під час зйомки;
- давати мінімальну кількість дефектів на слайдах, таких як наявність фрагментів викладача;
- мати можливість ефективної реалізації на звичайному смартфоні.

Апробація результатів роботи:

- ① Доповідь на Masters Symposium on Advances in Data Mining, Machine Learning, and Computer Vision в Українському Католицькому Університеті.
- ② Стаття «Перетворення відеозапису з дошки у слайд-шоу» авторів Кригін В. М. та Шило М. К. прийнята до друку Міжнародним науковим журналом “Control Systems and Computers” (“Системи керування та комп’ютери”) та буде опублікована в № 2 (298) 2022 року.

Зміст

- 1 Процедура створення панорамних слайдів
- 2 Стабілізація відео
- 3 Методи локалізації людини та рухомих об'єктів
- 4 Створення панорами
- 5 Обробка слайдів
- 6 Висновки

Процедура створення панорамних слайдів



Стабілізація відео

Оскільки дошка — це плоска поверхня, ми можемо знайти матрицю гомографії між двома кадрами. Для цього використовуємо SIFT та RANSAC.



Кадри F^i (верхній) та F^{i+s} (нижній) із ключовими точками та лініями,
які поєднують відповідні точки.

Джерело — <https://youtu.be/a7TUp4p-pIk>

Алгоритм Бойкова Колмогорова

Сформулюємо задачу максимального потоку

$$\sum_{t \in N_s} f_{st} \rightarrow \max_{f: \tau \rightarrow R}$$

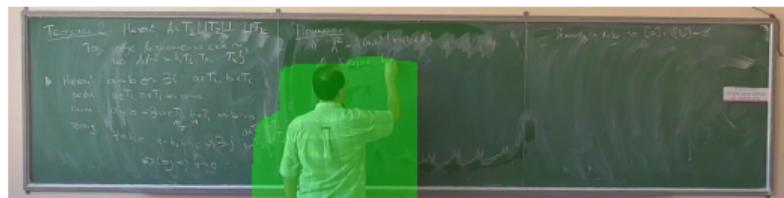
з обмеженнями

$$\begin{cases} f_{tt'} \leq c_{tt'}, & \forall tt' \in \tau, \\ \sum_{p \in P_t} f_{pt} - \sum_{t' \in N_t} f_{tt'} = 0, & \forall t \in T \setminus \{s, e\}, \\ \sum f_{tt'} \geq 0, & \forall tt' \in \tau. \end{cases}$$

Це означає, що

- ① потік має не перевищувати пропускну здатність для всіх ребер;
- ② сума потоків, що входять у вузол не повинна змінитись на виході;
- ③ потік завжди додатній.

Процес створення маски рухомих об'єктів алгоритмом Б-К

(a) Попередній кадр F^i (b) Поточний кадр F^{i+s} (c) Інвертована різниця F^i і F^{i+s} (d) Маска рухомих об'єктів на кадрі F^{i+s}

Джерело — <https://youtu.be/a7TUp4p-pIk>

Згорткові нейронні мережі для локалізації людини



(a) Алгоритм Б-К



(b) yolov5n



(c) ssdlite320-mobilenet-v3



(d) fasterrcnn-mobilenet-v3

Джерело — <https://youtu.be/A0S330SngG4>

Алгоритм створення панорами

Вхід: два кадри F^i та F^{i+s} , поточна панорама W^i ($W^1 = F^1$).

Вихід: панорама W^{i+s} .

Етап отримання відповідних точок.

1. Знаходимо набір M^i пар відповідних пікселів між кадрами F^i і F^{i+s} і будуємо множину $M'^i = \{(p^i, p^{i+s}) \in M^i : B_{p^i}^i = B_{p^{i+s}}^{i+s} = 0\}$ тих пар відповідних пікселів, координати яких не належать області рухомих об'єктів.

2. Якщо $|M'^i| < 0.5 \cdot |M^i|$ або $|M'^i| < 4$, завершуємо алгоритм з результатом $W^{i+s} = W^i$.

3. Знаходимо набір M_W^i пар відповідних пікселів між панорамою W^i і кадром F^{i+s} і будуємо множину $M'_W^i = \{(p_W^i, p^{i+s}) \in M_W^i : \exists p^i \in P : (p^i, p^{i+s}) \in M'^i\}$.

Етап обчислення матриці гомографії.

4. На базі множини M'_W^i пар відповідних точок знаходимо матрицю H_W^i гомографії, що співставляє пікселі кадру F^{i+s} та панорами W^i .

Етап обчислення розміру нової панорами.

5. Рахуємо координати крайніх точок кадру F^{i+s} після застосування до них матриці H_W^i .
 $I_1^i = H_W^i \cdot (0, 0, 1)^T, I_2^i = H_W^i \cdot (w - 1, 0, 1)^T, I_3^i = H_W^i \cdot (0, h - 1, 1)^T, I_4^i = H_W^i \cdot (h - 1, h - 1, 1)^T$

Алгоритм створення панорами

6. Для визначення множини P_W^i нової панорами W^{i+s} рахуємо величини

$$x_{\min}^i = \min_{j=1,4} \frac{(f_j^i)_x}{(f_j^i)_z}, x_{\max}^i = \max_{j=1,4} \frac{(f_j^i)_x}{(f_j^i)_z}, y_{\min}^i = \min_{j=1,4} \frac{(f_j^i)_y}{(f_j^i)_z}, y_{\max}^i = \max_{j=1,4} \frac{(f_j^i)_y}{(f_j^i)_z}.$$

Позначимо $P_W^{i+s} = 1, \dots, \max(w^i, x_{\max}^i - x_{\min}^i) \times 1, \dots, \max(h^i, y_{\max}^i - y_{\min}^i)$

Етап створення нової панорами.

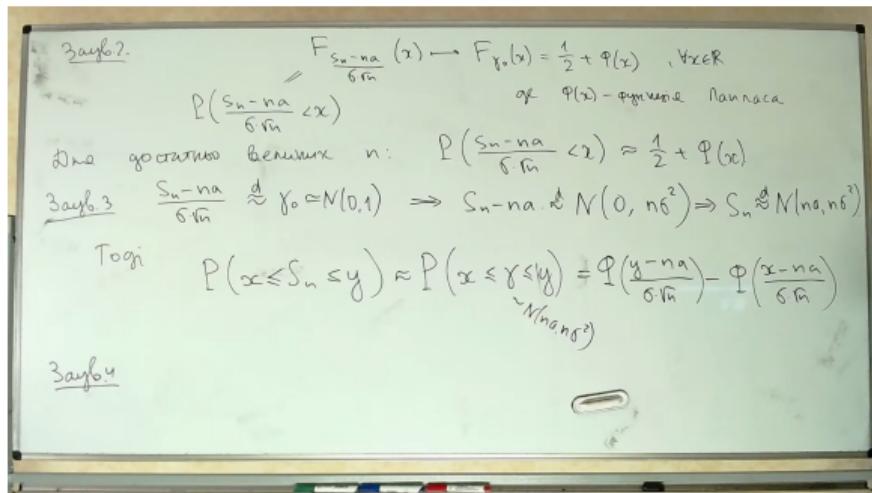
7. Будуємо панораму W^{i+s} . Для зручності позначимо обернену матрицю $H' = (H_W^i)^{-1}$, числа

$$x'_{\min} = \min(x_{\max}^i, 0), y'_{\min} = \min(y_{\max}^i, 0) \text{ і відображення } f' : p \rightarrow \left(\left| \frac{(H' \cdot p)_x}{(H' \cdot p)_y} \right|, \left| \frac{(H' \cdot p)_y}{(H' \cdot p)_z} \right| \right), \text{ що перетворює}$$

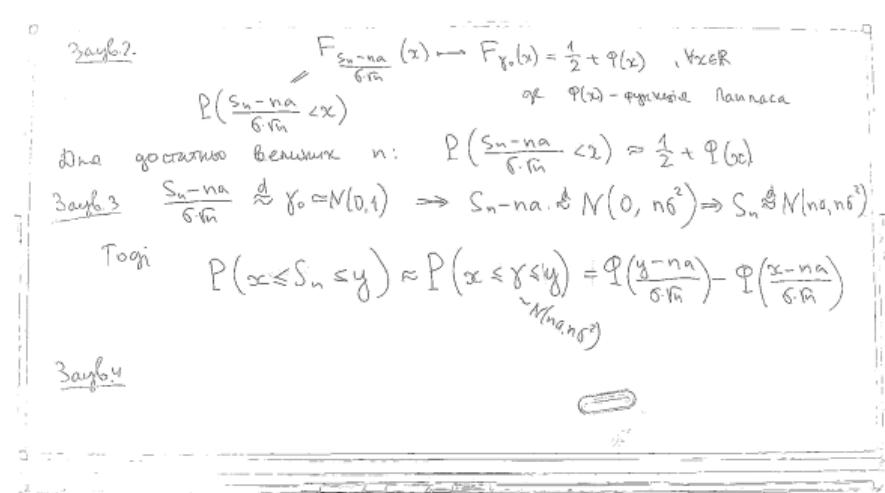
координати з панорами до пікселів кадру за допомогою гомографії. Інтенсивність у пікселі p панорами W^{i+s} визначається за формулою

$$W^{i+s}(p) = \begin{cases} F^{i+s}(f(p)), & f(p) \in P, \\ W^i(p + (x'_{\min}, y'_{\min})), & p + (x'_{\min}, y'_{\min}) \in P^i, \\ 0, & p + (x'_{\min}, y'_{\min}) \notin P^i. \end{cases}$$

Обробка слайдів



(a) RGB слайд



(b) Оператор Лапласа + Бінаризація Отсу

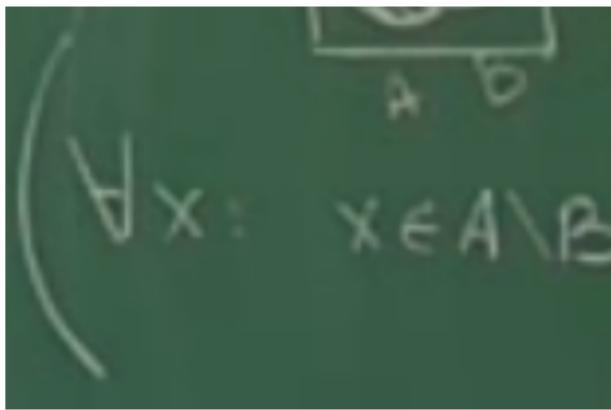
Джерело — https://youtu.be/wSjCy_QMJSG

Обробка слайдів

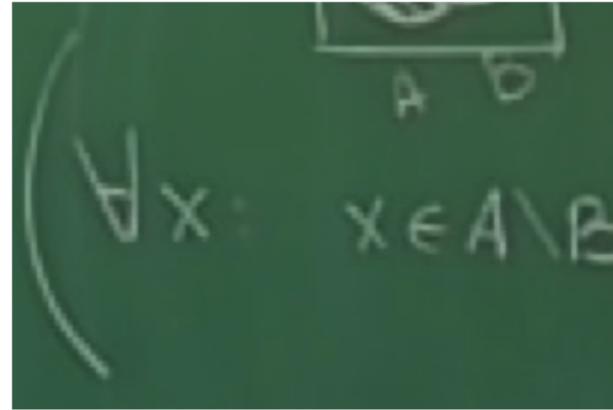
Складність швидкої медіани m зображень, кожне з яких розміром $h \times w$: $\mathcal{O}(h \cdot w)$.

Для звичайної часової медіани із quick sort: $\mathcal{O}(h \cdot w \cdot m^2)$ у найгіршому випадку.

Варто відмітити, що таке прискорення досягається тим, що є обмеження на використання значень від 0 до 255.



(a) До швидкої медіани



(b) Після швидкої медіани

Джерело — <https://youtu.be/a7TUp4p-pIk>

Висновки

- В результаті виконання роботи вдалося розробити алгоритм створення панорамних слайдів без викладача.
- Виявлено, що алгоритм Бойкова-Колмогорова досить добре справляється у задачі видалення рухомих об'єктів. Результати роботи згорткових нейромереж сімейства YOLO, MobileNet, SSD та R-CNN свідчать про високу якість детекції людини та можливість їх використання на смартфонах. За експериментальними результатами YOLOv5n є найбільш оптимальним методом прибирання викладача.
- Було реалізовано програмне забезпечення, що приймає на вхід відео з параметрами від користувача та будує панорамні оброблені слайди.
- Якість результатів слайдів свідчить про необхідність проведення подальшої роботи та ще покращення алгоритму й інформаційної технології. Наприклад детекція дошки прискорить роботу системи, оскільки розмір панорами зменшиться і потрібно буде менше часу для її обробки.