

Аспірант Сахаров С. Ю.

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**АДАПТАЦІЯ СІАМСЬКИХ МЕРЕЖ ДО
ФОТОГРАМЕТРИЧНИХ ХМАР ТОЧОК ДЛЯ
ВИЯВЛЕННЯ ЗМІН В 3D СЕРЕДОВИЩІ**

Abstract

Serhii Sakharov, PhD student

Adaptation of Siamese networks to photogrammetric point clouds for change detection in 3D environment

This paper proposes adapting Siamese KPConv for 3D change detection in photogrammetric point clouds by incorporating photogrammetric descriptors into the network's first layer. This modification enables leveraging visual features from source images, offering a cost-effective alternative to LiDAR-based methods while potentially improving detection accuracy.

Вступ

Сучасний розвиток технологій відкриває доступ до засобів картографування місцевості за допомогою безпілотників, що дозволяє отримувати актуальні детальні карти для різних потреб (Рис. 1). Найпоширенішим результатом такого картографування є хмари точок, отримані або за допомогою активного сканування LiDAR-ом (ALS точки), або, які скомпільовані з набору фотографій за допомогою техніки Structure from Motion (SfM) [1] (фотограмметричні точки).

Наявність таких карт місцевості за різні зрізи часу дозволяє, теоретично, виявляти геометричні чи семантичні зміни середовища (споруда добудувалась, споруда зникла, автомобіль перемістився тощо). Фактично ж, вже розроблено чимало методів виявлення змін і інтерес до їх вдосконалення все ще залишається у спільноти дослідників [2].

Нещодавно було адаптовано глибокі нейронні мережі, а саме Siamese KPConv, для виявлення змін у бітемпоральних хмарах ALS точок [3], що забезпечило покращення існуючих результатів.

Однак відкритим лишається питання застосовності аналогічної адаптації глибокої мережі до карт з фотограмметричними хмарами точок, з метою отримання не гірших результатів. Практична значущість такого

методу полягає в тому, що для отримання фотограмметричних точок потрібні знімки зі звичайної камери, що значно доступніша за LiDAR. Складність такої адаптації полягає в тому, що фотограмметричні хмари точок більш розріджені, неоднорідні та можуть містити точки з хибними координатами через похибку обчислення. Однак, перевагою фотограмметричних точок є можливість виміряти додаткові їх властивості із фотографій, які брали участь в їх компіляції.

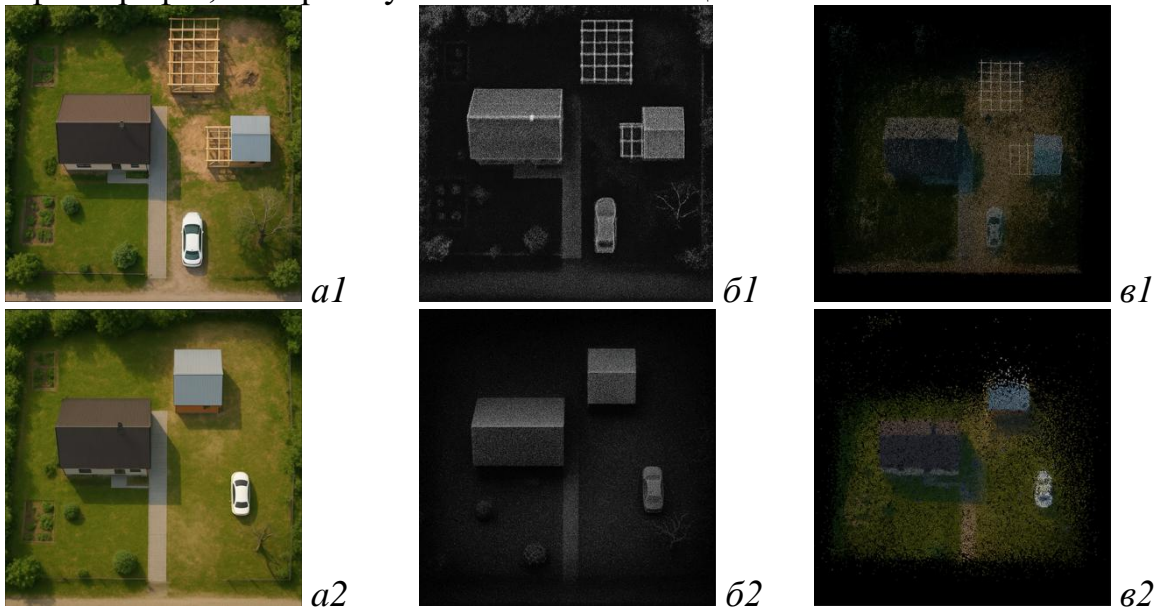


Рис 1. Ілюстрація середовища в різні зрізи часу ($a1$, $a2$), а також відповідні його карти з хмар ALS точок ($b1$, $b2$) та хмар фотограмметричних точок ($v1$, $v2$).

Постановка задачі

Метою роботи є адаптувати математичну модель Siamese KPConv для виявлення змін 3D-середовища на картах з фотограмметричними хмарами точок. Адаптація повинна враховувати наявність додаткових властивостей фотограмметричних точок.

Оригінальний метод Siamese KPConv

Розглянемо архітектуру оригінальної мережі [3] (Рис. 2) для виявлення змін середовища у хмарах ALS точок. Вона включає дві гілки глибокої мережі зі спільними вагами.

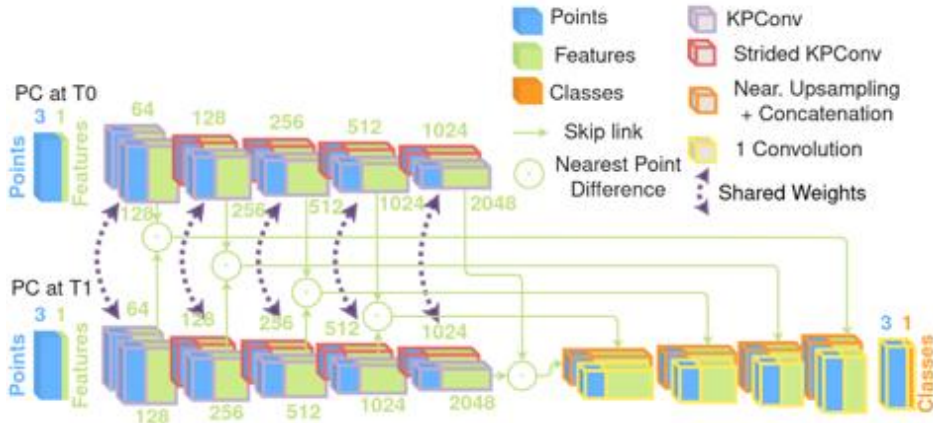


Рис 2. Архітектура оригінальної мережі Siamese KPConv.

Шари цих гілок утворені блоками KPConv, що є функціями точкової згортки:

$$(F * g)(x) = \sum_{x_i \in B^3(x, R)} g(x_i - x) f_i,$$

де x_i – точки вхідної хмари точок, що лежать в сферичному околі точки x ; f_i – вектор ознак, асоційованих з точкою x_i ; g – функція ядра.

Функція ядра здійснює відображення з простору вхідних ознак у простір вихідних ознак і визначається як:

$$g(y) = \sum_{k \leq K} h(y, \tilde{x}_k) W_k,$$

де K – кількість точок ядра; \tilde{x}_k – координати точок ядра; W_k – матриця ваг; h – функція кореляції між точками ядра \tilde{x}_k та вхідною точкою y .

Функція кореляції визначає коефіцієнт впливу точки ядра на вхідну точку. Зазвичай, її визначають таким чином, щоб вплив точки ядра був тим більший, чим ближче точка до неї вхідна точка:

$$h(y, \tilde{x}_k) = \max\left(0, 1 - \frac{\|y - \tilde{x}_k\|}{\sigma}\right).$$

Ключовим етапом у порівнянні двох хмар точок є обчислення різниці їх ознак між відповідними KPConv шарами. Вона обчислюється як:

$$(X^{(1)}, F^{(1)}) \ominus (X^{(2)}, F^{(2)}) = f_i^{(2)} - f_j^{(1)} \Big|_{j = \arg \min_m (\|x_i^{(2)} - x_m^{(1)}\|)},$$

де $X^{(1)}, X^{(2)}$ – хмари точок в різні моменти часу; $F^{(1)}, F^{(2)}$ – їх ознаки; $f_i^{(2)}$ – ознака точки з хмари $X^{(2)}$; $f_j^{(1)}$ – ознака точки з хмари $X^{(1)}$, що є найближчою до точки з ознакою $f_i^{(2)}$.

Для навчання Siamese KPConv використовують функцію втрат Negative Log Likelihood (NLL), що визначається на додатковому шарі мережі, що вирішує задачу класифікації хмари точок:

$$NLL(y_t, y_p) = -\left(y_t \log(y_p) + (1 - y_t) \log(1 - y_p)\right),$$

де y_t – очікуваний клас, y_p – передбачений мережею клас.

Адаптація методу Siamese KPConv для фотограмметричних точок

Фотограмметрична точка характеризується парою (x, d) , де x – просторова координата точки, d – її фотограмметричний дескриптор, який обраховується з урахуванням зображень, з яких було виведено точку x . Врахувати цей дескриптор можливо завдяки гнучкості оригінальної архітектури Siamese KPConv. В такому випадку функція першого KPConv шару матиме вигляд:

$$(F * g)(x) = \sum_{x_i \in B^3(x, R)} g(x_i - x) f_i^*,$$

де f_i^* – конкатенація геометричних ознак із дескриптором:

$$f^* = (x, y, z, d_1, d_2, \dots, d_D),$$

де D – розмірність дескриптора.

Хоча формально така адаптація можлива, але, інтуїтивно, для збереження адекватності моделі представлення точки, необхідно, щоб дескриптор мав глобальний характер, подібно до координат точки. Варіантом такого дескриптора може бути вектор ознак класу (ембединг) об'єкта, до якого належить точка. Однак підтвердження цієї гіпотези потребує подальшого експериментального дослідження.

Висновки

У роботі запропоновано підхід до адаптації нейромережевої архітектури Siamese KPConv, розробленої для ALS хмар точок, до задачі виявлення змін у 3D-середовищі на основі фотограмметричних хмар точок. Ключовою відмінністю запропонованого методу є врахування додаткових фотограмметричних дескрипторів точок через модифікацію функції згортки першого шару мережі.

Відмічено, що для забезпечення адекватності моделі необхідно використовувати дескриптори глобального характеру, такі як вектори ознак класів об'єктів.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на: експериментальну перевірку ефективності різних типів фотограмметричних дескрипторів та порівняльний аналіз якості виявлення змін між оригінальною моделлю на ALS даних та адаптованою моделлю на фотограмметричних даних.

Література

1. Ma Y. An invitation to 3-D vision: from images to geometric models / Y. Ma. — New York, NY : Springer, 2010. — 526 с. — ISBN 978-1-4419-1846-8.
2. О.Р. Чертов, С.Ю. Сахаров, “Аналіз математичних моделей і методів виявлення змін 3D-середовища за зображеннями”, Наукові вісті КПІ, No 3, с. 14–31, 2025. doi: <https://doi.org/10.20535/kpissn.2025.3.336383>
3. De Gélis I. Siamese KPConv: 3D multiple change detection from raw point clouds using deep learning / I. De Gélis, S. Lefèvre, T. Corpetti // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. — 2023. — Вып. 197. — С. 274–291.