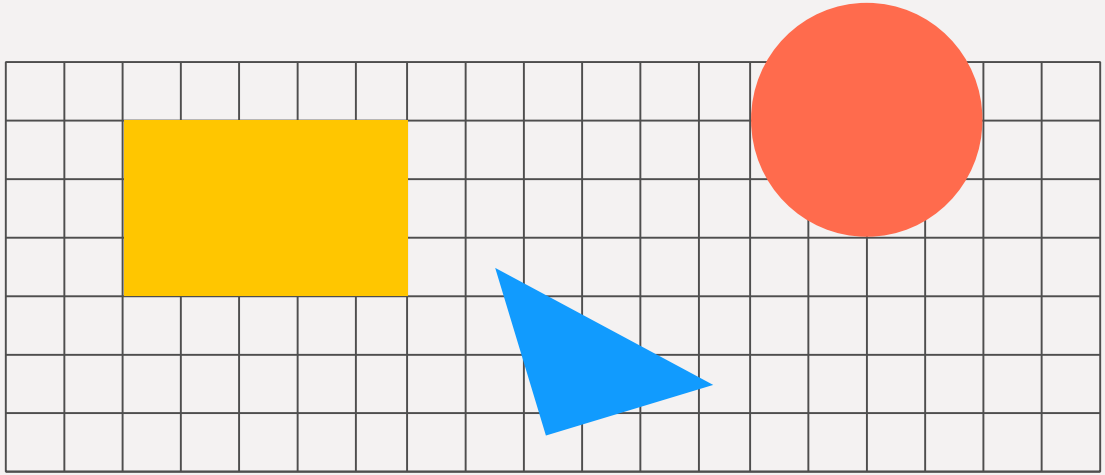
МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ ЗІПСОВАНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

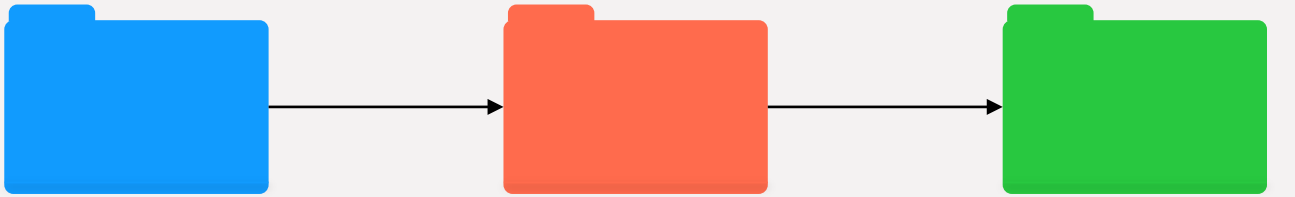


Актуальність

1. Застосування цифрових зображень у галузях критичної інфраструктури

2. Втрата даних

3. Попит на автоматизацію й підвищення якості візуального контенту


КЛАСИЧНІ МЕТОДИ
МЕТОДИ МАШИННОГО ТА ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ
ДЕМОНСТРАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

Класичні Методи

Просторова фільтрація

Ідея: використання згортки з різними функціями-ядрами (фільтрами) задля зміни характеристик зображення.

Методи: арифметичне середнє, медіанний фільтр, гаусів фільтр, Лапласіан-фільтр.

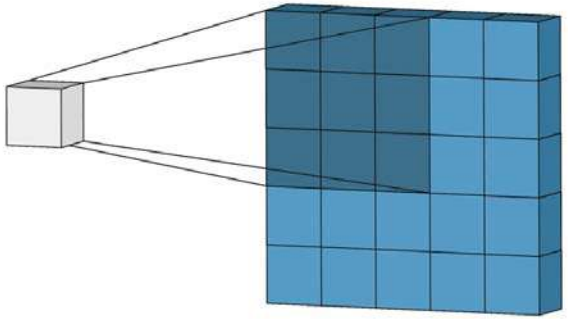


Рис. 1. Згортка. Оригінальне зображення взяте з wiki.cloudfactory.com

Класичні Методи

Частотна фільтрація

Ідея: використання перетворення Фур'є (FFT), модифікація частотного спектру зображення, зворотне перетворення Фур'є (IFFT);

Методи: фільтр Баттерворта, фільтр Вінера;

Переваги: зменшення обчислювальної складності

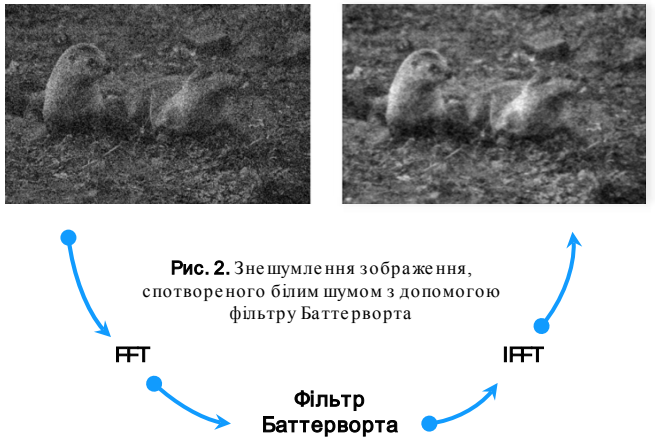


Рис. 2. Знешумлення зображення, спотвореного білим шумом з допомогою фільтру Баттерворта

Класичні Методи

Вейвлет-перетворення

Ідея: розширення можливостей перетворення Фур'є, декомпозиція зображення, мультирезолюційний аналіз.

Методи: метод знешумлення Донохо-Джонстона

Інші практичні використання: підвищення роздільної здатності, виявлення контурів.

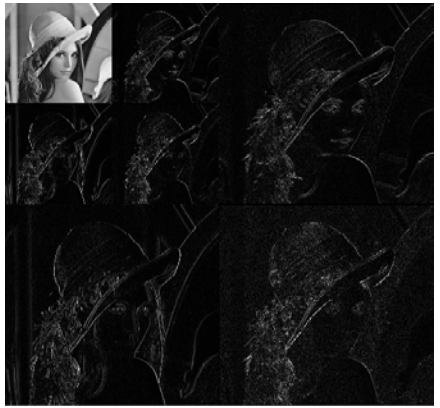


Рис. 3. Дворівнева декомпозиція зображення з допомогою вейвлет-перетворення

Класичні Методи

Регуляризація

Ідея: постановка завдання відновлення зображення як оптимізаційної задачі, введення регуляризатора й відомої інформації про оригінальне зображення.

Методи: регуляризація за Тихоновим, регуляризація максимальної ентропії, регуляризація повної дисперсії.

Рис. 4. Відновлення зображення спотвореного розмиттям у русі й білим шумом з SNR=30 дБ регуляризацією повної дисперсії.

Автокодувальники

Автокодувальник - нейронна мережа з енкодер-декодер архітектурою, метою якої є реконструкція вхідних даних, за якої похибка між вхідними та вихідними значеннями мінімізується.

Використання: генерація, інпейнтинг, збільшення роздільної здатності, знешумлення зображень та інші.

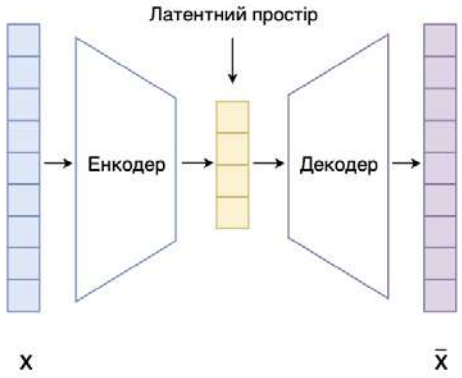


Рис. 5. Архітектура базового автокодувальника

Згорткові нейронні мережі

Згорткові нейронні мережі (CNN) - послідовність згорткових шарів, які зазвичай супроводжуються, зменшенням розмірності (pooling) та декодером.

Використання: шумозаглушення, збільшення роздільної здатності, відновлення втрачених фрагментів зображення.

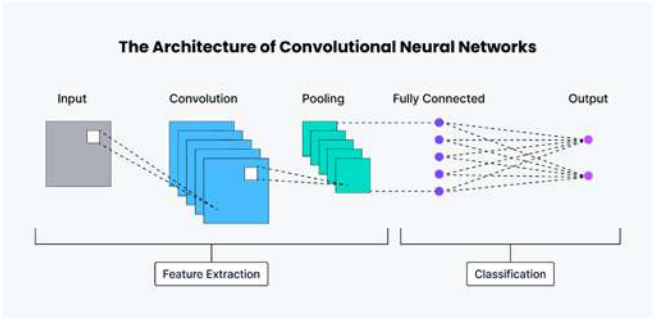


Рис. 6. Архітектура базової CNN. Оригінальне зображення взяте з zilliz.com

Генеративні змагальні мережі

Генеративні навчальні мережі (**GAN**) - клас моделей глибокого навчання, що складаються з двох нейронних мереж: генератора й дискримінатора, які навчаються у змагальному процесі.

Використання: генерація нових зображень, інпейнтинг.

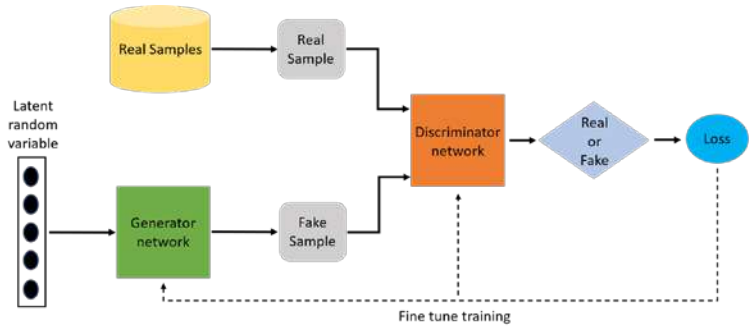


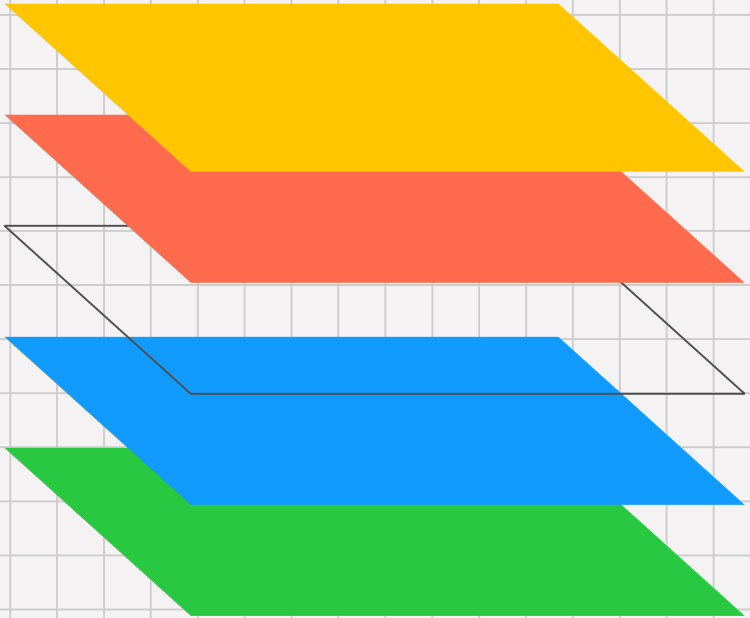
Рис. 7. Архітектура базової GAN. Оригінальне зображення взяте з arxiv.org

ДАТАСЕТ

Для виконання демонстраційного проєкту було обрано **CIFAR-10**, що нерідко використовується для тренування класифікаційних моделей.

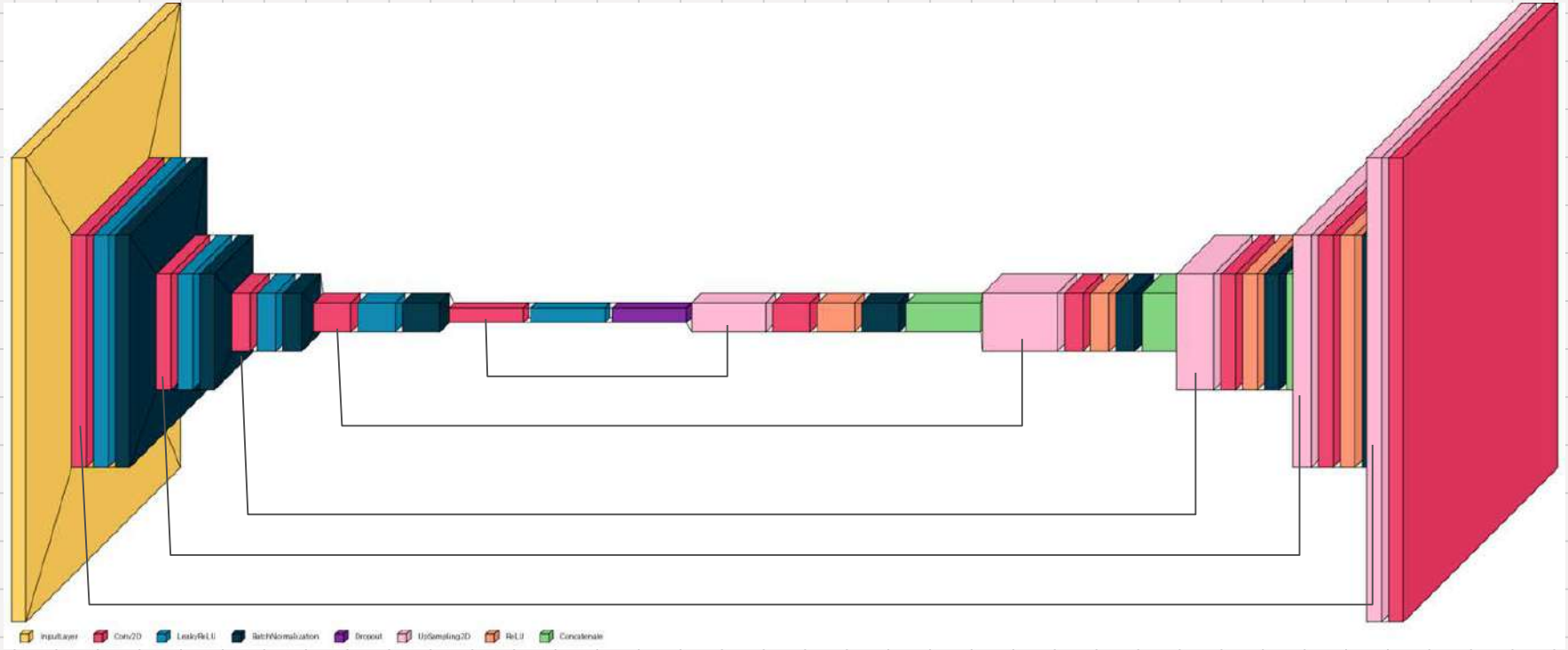
Розмірність: 60000 зображень розміром 32x32 пікселі.

ПЛАН



1. Навчання змагального автоенкодера (adversarial autoencoder) на вибірці з CIFAR-10;
2. Оцінка ефективності моделі за PSNR, SSIM та візуальним результатом;
3. Розширення моделі, введення U-Net архітектури та додаткової функції втрат: перцептивної;
4. Порівняння результатів.

АРХІТЕКТУРА



РЕЗУЛЬТАТИ

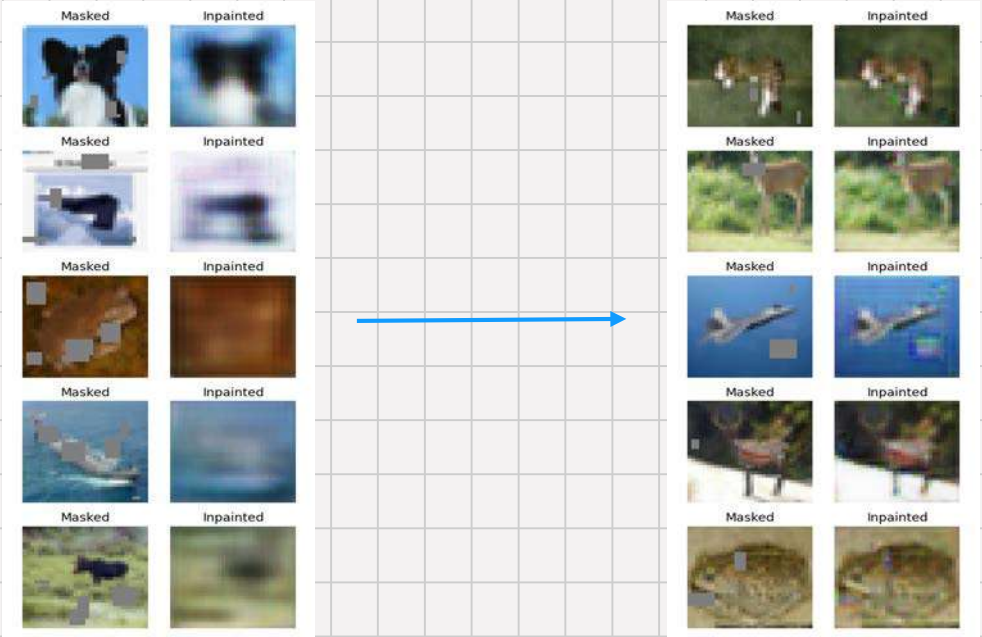
Табл. 4.1: Проміжні значення описових метрик моделі

Епоха	Втрати генератора	PSNR	SSIM
1	0.6605	12.33	0.1161
700	0.1225	18.80	0.4652
1500	0.1043	19.92	0.5546

Табл. 4.2: Проміжні значення описових метрик модифікованої моделі

Епоха	Втрати генератора	PSNR	SSIM	Перцептивна втрата
1	0.6305	12.86	0.1161	4.8475
250	0.2006	23.16	0.8249	3.0872
500	0.1606	25.71	0.8843	2.2180

РЕЗУЛЬТАТИ


Masked
Inpainted
Masked
Inpainted
Masked
Inpainted
Masked
Inpainted
Masked
Inpainted
Masked
Inpainted
Masked
Inpainted
Masked
Inpainted
Masked
Inpainted
Masked
Inpainted

- розглянуто теоретичні засади обробки цифрових зображень математичними методами;
- розглянуто методи усунення шуму й розмиття;
- розроблено модель глибокого навчання для генеративного заповнення зображень з пошкодженими ділянками
- За подальшого навчання, розширення вибірки навчальних даних, побудована модель може використовуватись для генеративного заповнення різного виду пошкоджень у зображеннях

1. Gonzalez R. C., Woods R. E. *Digital Image Processing*, Fourth Edition, Global Edition. Pearson Education Limited, 2018, 120-303
2. Zhang A., Lipton Z. C. *Dive into Deep Learning*. Cambridge University Press, 2023, 239-273
3. Dey S. *Hands-On Image Processing with Python: Expert techniques for advanced image analysis and effective interpretation of image data*. Packt Publishing, 2018, 403-451
4. Bengio Y., Courville A., Goodfellow I. *Deep Learning*. MIT Press, 2016. 499-523
5. Mao X.-J., Shen C., Yang Y.-B. *Image Restoration Using Very Deep Convolutional Encoder-Decoder Networks with Symmetric Skip Connections*, arXiv:1603.09056, 2016
6. Yu J., Lin Z., Yang J., Shen X., Lu X., Huang T. *Generative Image Inpainting with Contextual Attention*, arXiv:1801.07892, 2018
7. Jiang J., Zuo Z., Wu G., Jiang K., Liu X. *A Survey on All-in- One Image Restoration: Taxonomy, Evaluation and Future Trends*, arXiv:2410.15067, 2024
8. Zhang K., Zuo W., Chen W., Meng D., Zhang L. *Beyond a Gaussi- an Denoiser: Residual Learning of Deep CNN for Image Denoising*, arXiv:1608.03981, 2016
9. Pathak D., Krahenbuhl P., Donahue J., Darrell T., Efros A. *Context Encoders: Feature Learning by Inpainting*, arXiv:1604.07379, 2016
10. Nazeri K., Ng E., Joseph T., Qureshi F., Ebrahimi M. *EdgeConnect: Generative Image Inpainting with Adversarial Edge Learning*, arXiv:1901.00212, 2019
11. Bovik A. C. *Handbook of Image and Video Processing*. Academic Press, 2005, 117-161
12. Makhzani A., Shlens J., Jaitly N., Goodfellow I., Frey B. Adversarial Autoencoders, arXiv:1511.05644, 2016
13. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. *U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation*, arXiv:1505.04597, 2015
14. Keras 3 API documentation [електронний ресурс] https://keras.io/api
15. CBSD68 датасет [електронний ресурс] https://github.com/clausmichele/CBSD68-dataset
16. CIFAR-10 датасет [електронний ресурс https://www.cs.toronto.edu/ kriz/cifar.html

Дякую

за увагу!