

УДК 004.457

О.Є. КОВАЛЕНКО*, Л. ЛІ**,**

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ У СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ЖИТТЄВИМ СЕРЕДОВИЩЕМ

*Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

**Університет Бенбу, провінція Аньхой, КНР

Анотація. Управління навколишнім середовищем для забезпечення сталого розвитку є актуальною проблемою сьогодення і майбутнього, оскільки вимоги щодо екологічних показників життєвого середовища зростають, а нормативні обмеження посилюються. Екологічний менеджмент має охоплювати весь проєктний цикл. Типовий проєктний цикл має чітко визначені початкові та кінцеві точки з чітко визначеними основними фазами та підфазами і складними інтерфейсами з іншими допоміжними процесами, такими як закупівлі, модернізація та планування, а також управління підрядниками. Побудова й використання систем менеджменту середовищем вимагають розробки методів та засобів конвергенції інформаційних технологій для реалізації адекватного ситуаційного управління в цільовій організації з використанням формалізованих знань. Застосування систем управління середовищем є необхідною умовою сталого розвитку. Побудова таких систем вимагає використання холистичного підходу до множини факторів різної природи для задоволення вимог до параметрів середовища. Системогенез систем менеджменту середовищем враховує складність структури, ситуативний характер зв'язків між компонентами, ситуативний характер сценаріїв поведінки за різних умов, кількість параметрів і змінних, неповноту і невизначеність джерел інформації, різноманітність інформаційних і ймовірнісних параметрів середовища. Складності, пов'язані з візуальним аналізом стану середовища, можна подолати шляхом застосування технологій обробки зображень та комп'ютерного зору. У статті проведений аналіз технологій обробки зображень для управління середовищем. У результаті проведеного аналізу окреслено узагальнену структуру процесів управління середовищем із використанням обробки зображень та визначено напрями побудови і використання моделей знань при створенні цільових систем управління середовищем на основі обробки зображень.

Ключові слова: модель знань, управління навколишнім середовищем, кіберконвергентна система, обробка зображень.

Abstract. Management of the environment aimed at ensuring sustainable development is a topical problem of the present and the future since the requirements for the ecological indicators of the living environment are growing and regulatory restrictions are increasing. Environmental management should cover the entire project cycle. A typical project cycle has well-defined start and end points with well-defined major phases and sub-phases and complex interfaces with other supporting processes such as procurement, modernization, planning, and contractor management. The construction and use of environmental management systems require the development of methods and means of convergence of information technologies for the implementation of adequate situational management in the target organization using formalized knowledge. The application of environmental management systems is a necessary condition for sustainable development. The development of such systems requires the use of a holistic approach of a number of factors of a different nature to meet the requirements for environmental parameters. The systemogenesis of environment management systems takes into account the complexity of the structure, the situational nature of connections between components, the situational nature of behavior scenarios under different conditions, the number of parameters and variables, the incompleteness and uncertainty of information sources, the variety of informational, and probabilistic parameters of the environment. Difficulties associated with visual analysis of

the state of the environment can be overcome by applying image processing and computer vision technologies. The article analyzes image processing technologies for environmental management. As a result of the analysis, a generalized structure of environmental management processes using image processing was outlined, and directions for building and using knowledge models in creating target environmental management systems based on image processing were determined.

Keywords: *knowledge model, environmental management, cyberconverged system, image processing.*

DOI: 10.34121/1028-9763-2024-1-55-69

1. Вступ

Управління навколишнім середовищем – це набір дій, заснованих на структурованій методології, щоб забезпечити прихильність організації до навколишнього середовища та мінімальний негативний вплив виробничого процесу на нього. Управління навколишнім середовищем для забезпечення сталого розвитку є актуальною проблемою сьогодення і майбутнього, оскільки вимоги щодо екологічних показників життєвого середовища зростають, а нормативні обмеження посилюються. Все більшої ваги в економічній діяльності набуває забезпечення екологічних показників продукції як стосовно самої продукції, так і впливу процесу її виробництва на оточуюче середовище. Тобто екологічні показники діяльності організацій стають ринковою стратегією.

Метою сталого розвитку є підвищення добробуту людей, що вимірюється не лише збільшенням пропозиції товарів і послуг, а й показниками якості суспільного здоров'я, життєвого середовища, соціальної та культурної сфер. Цей розвиток задовольняє основні потреби суспільства, зокрема, зайнятість, комфорт і придатні для використання продукти.

Сталий розвиток неможливий без забезпечення якості життєвого середовища, що реалізується через відповідні процеси управління. Життєве середовище можна розглядати як множину фізичних або соціальних ресурсів, доступних у певний час для задоволення потреб людини, що змінюється з часом. Швидкість і види змін є важливими показниками екологічних проблем. Ресурси, доступні для задоволення людських потреб, складають фізичне середовище. Розвиток технологій управління життєвим середовищем повинен забезпечити ефективне використання і, за необхідності, поповнення або реструктурування ресурсів. Індустріалізація, урбанізація та інші техногенні впливи виснажують і змінюють структуру наявних ресурсів, що призводить до їх серйозного дефіциту. Однак шкода відчувається в більших масштабах, а користь залишається локальною. Отже, сталий розвиток досягається шляхом належного управління навколишнім середовищем.

Одним із найбільш інформативних каналів про стан середовища є візуальна інформація. Методи і засоби обробки візуальної інформації, зокрема, зображень, отримали широке застосування у найрізноманітніших сферах діяльності.

Метою статті є огляд сфер застосування та методів обробки зображень при управлінні життєвим середовищем.

2. Системи управління навколишнім середовищем

Система управління навколишнім середовищем (Environmental Management System, EMS) – це структура, що створюється в організаціях для забезпечення моніторингу, контролю і постійного покращення своїх екологічних показників. Організації можуть використовувати EMS для структуривання та реалізації своєї екологічної стратегії.

Системи управління навколишнім середовищем можна використовувати, щоб зменшити вплив організації на навколишнє середовище та підвищити ефективність роботи, одночасно демонструючи зацікавленим сторонам, що вживаються реальні дії.

EMS спрямована на те, щоб допомогти організаціям покращити визначення, керування, моніторинг та менеджмент своєї екологічної ефективності у комплексі. Наприклад, можна провести оцінку ризиків, щоб допомогти визначити контекст впливу організації на

навколишнє середовище. Потім будуть запроваджені засоби контролю, щоб допомогти керувати цими ризиками, і стратегії, спрямовані на їх зменшення.

Впроваджуючи EMS, організація враховує всі екологічні питання, які стосуються її діяльності. Це включає використання ресурсів, споживання енергії та води, утворення відходів, викиди вуглецю та ефективне місцеве біорізноманіття. Найпоширенішим стандартом, на якому базується EMS, є міжнародний стандарт ISO 14001 [1]. Альтернативою ISO 14001 є Eco-Management and Audit Scheme (EMAS) [2].

Модель EMS – це структура політик, процедур і практик, які допомагають організаціям керувати своїм впливом на навколишнє середовище та зменшувати його. Вона забезпечує структурований підхід до виявлення, оцінки та пом'якшення впливу на навколишнє середовище.

Основними цілями EMS є забезпечення:

- відповідності екологічним вимогам;
- ефективного використання ресурсів;
- зменшення відходів і мінімального забруднення;
- постійного поліпшення екологічних показників.

Вимоги стандарту ISO 14001 передбачають, що діяльністю, продуктами та послугами організацій слід керувати так, щоб зменшити фактичний і потенційний впливи на середовище. Ця перспектива підтверджує, що середовищем не керують, але діяльністю, продуктами та послугами керують, щоб запобігти небажаним змінам у постраждалому середовищі. Системи управління, засновані на ISO 14001, також вимагають оптимізації позитивних впливів, дозволяючи робити компроміси між негативними та позитивними впливами, додаючи ще один вимір компромісів або вибору до концепції управління навколишнім середовищем. Зосередженість на фактичних і потенційних впливах також диктує як превентивний, так і коригувальний підхід до управління діяльністю, продуктами та послугами. Принцип, згідно з яким діяльністю, продуктами та послугами необхідно керувати, також розширює традиційний фокус екологічного менеджменту лише на діяльності. Модель екологічного менеджменту ISO 14001 вимагає управління аспектами, а не впливами, пов'язаними з діяльністю, продуктами та послугами. Це означає проактивний або футуристичний підхід, а не реактивне, відпрацьоване чи історичне вирішення історичних екологічних проблем.

Різноманітність характеристик є ілюстрацією як складності, властивої природі концепції, так і того факту, що концепція постійно розвивається.

З часом концепція управління навколишнім середовищем розвивалася і продовжує розвиватися, стаючи все більш нюансованою та складною, оскільки обізнаність і розуміння предмета покращуються та зростають; кількість доступних і використовуваних інструментів управління навколишнім середовищем зростає; зростає як інтенсивність, так і спрямованість груп захисту навколишнього середовища; посилюється вплив процесів реформування екологічного права.

Екологічний менеджмент має охоплювати весь проектний цикл. Типовий проектний цикл має чітко визначені початкові та кінцеві точки з чітко визначеними основними фазами та підфазами й складними інтерфейсами з іншими допоміжними процесами, такими як закупівлі, модернізація та планування, а також управління підрядниками. Загальний цикл проекту показано на рис. 1 [3].

Можна виділити три основні фази: фаза планування та проектування, фаза закупівель та укладання контрактів, а також фаза впровадження з такими підфазами, як будівництво, введення в експлуатацію, операції, редизайн, оптимізація, розширення і модифікація, обслуговування, виведення з експлуатації, демонтаж і реабілітація. Все завершується реконструкцією коричневих полів, яка знову запускає цикл планування та проектування.



Рисунок 1 – Проектний цикл в інтегрованому управлінні середовищем (на основі [3])

Щоб досягти ефективного екологічного управління, необхідно розглянути весь цикл проєкту, а також інтерфейси з допоміжними процесами та процесами, переданими стороннім виконавцям. Як показано на рис. 1, різні інструменти управління навколишнім середовищем можуть використовуватися на різних етапах життєвого циклу проєкту. Ці інструменти є інструментами планування, такими як процеси розробки проєкту; оцінка впливу на навколишнє середовище (EIA) або оцінка екологічного ризику (ERA) і специфікації проєкту; інструменти управління, такі як плани управління навколишнім середовищем (EMP); інструменти перевірки та дії, які можуть включати серед іншого інструменти аудиту, звітності та комунікації. Більш м'які інструменти, такі як тендерні та контрактні специфікації, угоди про рівень обслуговування, спілкування та навчання.

Інструменти підвищення обізнаності можуть бути використані для управління екологічними проблемами, пов'язаними із процесами, переданими аутсорсингу.

Одна з найбільших проблем управління навколишнім середовищем полягає в тому, щоб поширити фокус класичного управління навколишнім середовищем на види діяльності та продукти й застосувати принципи управління навколишнім середовищем до послуг. Послуги іноді спричиняють прямий вплив на навколишнє середовище, але в більшості випадків вони діють як каталізатори подальшої діяльності, що може спричинити вторинний або третинний вплив.

Шкідливими продуктами та речовинами також слід керувати протягом усього циклу виробництва від джерела сировини до обробки, закупівлі, транспортування; виробництва, пакування; роздрібною торгівлі; утилізації, кульмінацією якої є переробка та повторне використання й відповідальна утилізація. Більш м'які та часто нематеріальні інструменти управління навколишнім середовищем, такі як надання інформації, навчання та підвищення обізнаності, специфікація закупівлі, вплив на зовнішніх постачальників і постачальники послуг, використовуються для таких зовнішніх видів діяльності, продуктів і послуг.

Управління навколишнім середовищем характеризується великою кількістю екологічних інструментів, у той час як нові або модифіковані інструменти, методи та техніки постійно стають доступними. Найбільша проблема для екологічних менеджерів полягає у виборі правильного інструменту для правильної роботи. Досить слушним узагальненням є те, що майже жоден із інструментів не забезпечує універсального екологічного менеджменту чи рішення управління одним типом і розміром, яке відповідало б усім. Щоб забезпечити ефективне управління навколишнім середовищем і врядування, справедливо стверджувати, що менеджери з охорони навколишнього середовища повинні вибрати, прийняти, запровадити та використати низку інструментів управління навколишнім середовищем. Використовуючи елементи циклу менеджменту Демінга, можна стверджувати, що інструменти екологічного менеджменту або комбінації таких інструментів повинні, як мінімум, мати характеристики планування, виконання, перевірки та дії (PDCA).

Мінливість оточуючого середовища та непередбачуваність змін у ньому потребує використання ситуаційного підходу у процесах організації діяльності цільових ситуаційних систем. Ситуаційно-орієнтована діяльність і процеси ситуаційного управління, що мають циклічний характер, реалізуються через етапи емпіричного дослідження середовища, створення формальної моделі його стану та застосування цієї моделі при управлінні середовищем [4]. Таким чином, ситуаційне управління у цільовій EMS повинне бути адаптоване до особливостей конкретної ситуації, зокрема, на основі використання ad-hoc архітектур [5]. При побудові EMS можуть бути застосовані методи інженерії системи систем, які визначаються ситуаційними чинниками.

Побудова та використання EMS вимагають розробки методів та засобів конвергенції інформаційних технологій для реалізації адекватного ситуаційного управління в цільовій організації з використанням формалізованих знань [6]. Моделі діяльності EMS повинні передбачати можливості використання різних наборів сервісів, необхідних для реалізації різних моделей діяльності відповідно до функціональних можливостей сервісів, їх доступності, гнучкості та автономності. Відбір і конвергенція сервісів для задоволення вимог EMS можуть бути реалізовані на основі агентно-орієнтованого підходу [7]. Конвергенція визначається як поглиблена інтеграція знань, ресурсів і всієї раціональної людської діяльності для досягнення спільної мети, здатність відповідати на нові запитання щодо зміни відповідної фізичної чи соціальної екосистеми.

Формальний опис предметної області, для якої створюється EMS, являє собою ієрархію концептів бази знань і формальних перетворень моделі знань предметної сфери. Формальна модель предметної сфери також повинна включати узагальнену модель процесу управління середовищем.

Обсяг і функціональність EMS визначаються набором вимог, які можуть визначати кількість користувачів, класи цільових задач, робоче навантаження, необхідну продуктивність, системні вимоги, обсяг і вміст баз даних і знань тощо. При цьому слід враховувати географічну віддаленість користувачів, наявність інфраструктури та її технічні спроможності, критерії ефективності управління середовищем та інші специфічні параметри для кожної окремої системи.

Завданням створення архітектури конвергентної системи є виконання вимог до її функціональності при забезпеченні ефективності реалізації. Вимоги до системи визначають

обмеження при реалізації необхідної функціональності EMS і утворюють множину функцій обмежень.

Системогенез EMS враховує складність структури, ситуативність зв'язків між компонентами та сценаріїв поведінки за різних умов, кількість параметрів і змінних, неповноту і невизначеність джерел інформації, різноманітність інформаційних та ймовірнісних характеристик середовища тощо.

3. Обробка зображень при управлінні середовищем

Еволюція навколишнього середовища та раннє виявлення й діагностика екологічних проблем є предметом постійної занепокоєності людей, які живуть у постраждалих районах, неурядових організацій, які борються за здоровіше довкілля, органів місцевої адміністрації, підприємств та багатьох інших. У питаннях, пов'язаних із ризиком для навколишнього середовища, необхідно якомога раніше знати, які проблеми та які їх причини, щоб вжити ефективних заходів та уникнути або зупинити майбутні катастрофи й вирішити ці проблеми до того, як вони вийдуть з-під контролю. Такі знання, перш за все, отримуються на основі візуального аналізу стану середовища.

Традиційні підходи до візуального аналізу стану середовища міст і міських територій покладаються на спостереження на місці та ручну оцінку польових зображень, які мають низький рівень охоплення та є дорогими. Такі обмеження можна подолати шляхом застосування технологій обробки зображень та комп'ютерного зору [8, 9]. Для міського планування у країнах, що розвиваються, де доступність і якість даних часто обмежені, а стійкі міста мають нагальну потребу, технологія комп'ютерного зору (computer vision, CV) [10, 11] є особливо корисною, оскільки вона може забезпечити доступні та недорогі інструменти міської оцінки та моделювання. Отже, CV може підтримувати проєктування сталого та стійкого міського середовища шляхом подолання прогалів у даних планування. Таким чином, використання явного геопросторового штучного інтелекту (GeoAI), який застосовує просторові атрибути, та логічний умовивід у процесі обчислень штучного інтелекту стають все більш помітними у міських дослідженнях, пропонуючи різні програми та можливості для сталого міського планування й розвитку.

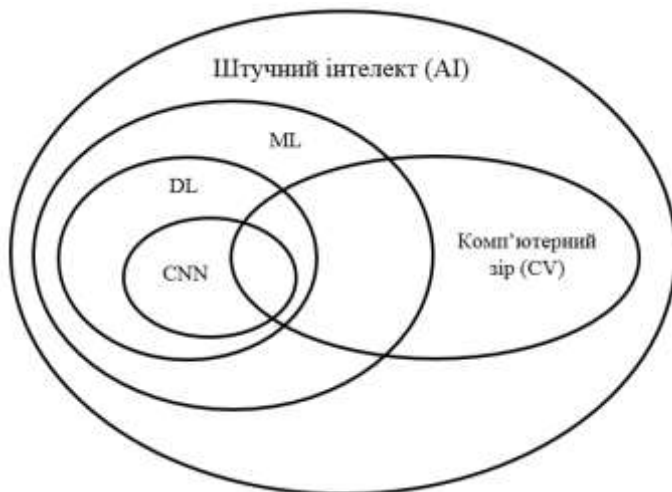


Рисунок 2 – Взаємозв'язок між штучним інтелектом і комп'ютерним зором

Це привело до інтеграції основних областей застосування штучного інтелекту для створення інструментів на основі штучного інтелекту, які можна використовувати для покращення процесів планування та сприяння прийняттю обґрунтованих рішень. Це багатодисциплінарна галузь, яка переважно вважається підгалуззю штучного інтелекту та машинного навчання (machine learning, ML), оскільки вона значною мірою базується на алгоритмах цих сфер (рис. 2). CV визначається як універсальна дисципліна в рамках ML, яка надає машинам можливість обробляти та аналізувати візуальні дані, використовуючи методології як ML, так і його підмножини, поглибленого навчання (Deep Learning,

DL) [12]. Моделі поглибленого навчання включають у себе, зокрема, згорткові нейронні мережі (Convolutional Neural Network, CNN). Взаємозв'язки між штучним інтелектом і комп'ютерним зором показано на рис. 2.

Останні розробки в аналізі відео спортивних і комп'ютерних методів зору досягли значних удосконалень, щоб забезпечити різноманітність критичних операцій. У статті [13] представлено огляд аналізу спортивного відео для різних застосувань, таких як виявлення та класифікація гравців, відстеження гравців або м'ячів у спорті та прогнозування траєкторій гравців або м'ячів, розпізнавання стратегій команди і класифікація різних подій у спорті.

Формалізовані знання – це факти, об'єднані відношеннями та функціями інтерпретації, отриманими через досвід або асоціацію шляхом розуміння будь-якого домену діяльності. Знання в основному складаються з інформації, класифікації інформації та метаданих. Метадані використовуються для порівняння даних та інформації. Основна перевага знань – можливість знаходити проблему, заглиблюватися в неї, створювати погляди та допомагати їх ефективно вирішувати. Особливостями знань є проактивність, змінюваність, можлива неповнота. Створення бази знань починається з ідентифікації знань, їх добування, перевірки та подальшого розгортання. Цей процес називається інженерією знань.

При побудові бази знань EMS інженер зі знань наповнює цю базу знань, використовуючи знання із програм обробки зображень, які працюють у складі EMS. Домени такої бази знань показано на рис. 3.

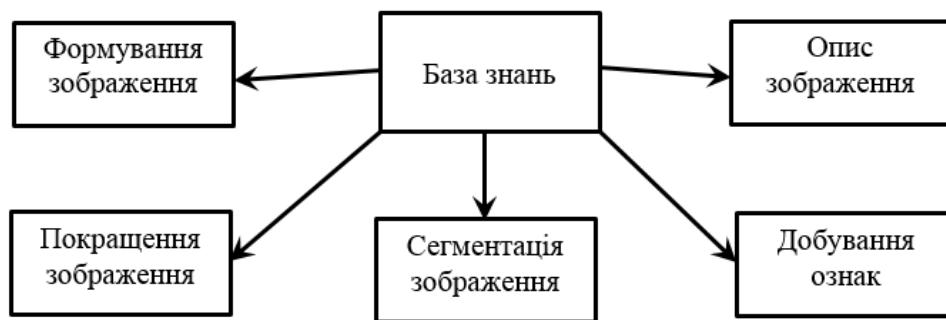


Рисунок 3 – Домени бази знань з обробки зображень

Кожен із доменів бази знань може бути описаний окремою онтологією і оброблятися автономно. Будь-який користувач отримує інформацію з окремих доменів бази знань. База знань може також містити інформацію про режими і засоби доступу до неї та які методи застосовуються для цього. Програмний код для обробки зображень також може бути складовою бази знань. Приклад онтології обробки зображень наведено на рис. 4 [14].

4. Комп'ютерне бачення та обробка зображень

Комп'ютерне бачення – це сфера штучного інтелекту, яка дозволяє комп'ютерам інтерпретувати та розуміти візуальний світ. Він передбачає навчання машин «бачити» та розуміти вміст цифрових зображень або відео, подібне до людського зору. Це досягається шляхом вилучення та аналізу відповідних даних із візуальних вхідних даних за допомогою різних методів і алгоритмів.

Застосування комп'ютерного зору зростає з технологічним прогресом. У безпілотних автомобілях алгоритми комп'ютерного зору використовуються для інтерпретації оточення, розпізнавання перешкод, дорожніх знаків та інших транспортних засобів, що забезпечує безпечне автономне водіння. У роздрібній торгівлі це дозволяє автоматизувати системи перевірки шляхом ідентифікації та відстеження продуктів. У сфері охорони здоров'я допомагає діагностувати захворювання, аналізуючи медичні зображення з надзвичайною точністю.

Платформи соціальних медіа використовують комп'ютерне бачення для розпізнавання обличчя та застосування фільтрів у режимі реального часу. Це лише кілька прикладів. Потенціал застосування комп'ютерного зору практично безмежний.

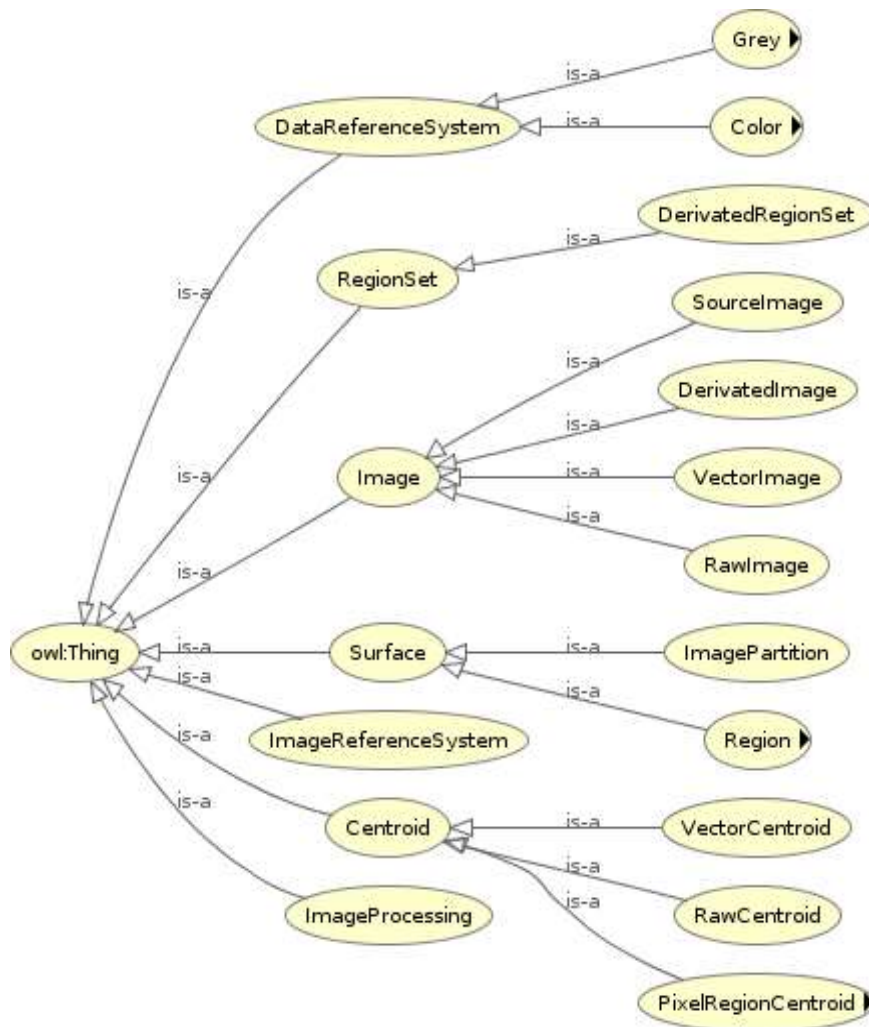


Рисунок 4 – Приклад онтології обробки зображень

Обробка зображень є фундаментальною галуззю інформатики та цифрових технологій, яка обертається навколо обробки та аналізу цифрових зображень [15]. Вона охоплює широкий спектр методів і алгоритмів, спрямованих на покращення, вилучення інформації або зміну цифрових зображень для досягнення конкретних цілей. Ці цілі можуть бути різними: від покращення якості зображення та виправлення недоліків, таких як шум і спотворення, до вилучення значущої інформації з зображень, таких як визначення об'єктів або візерунків. Обробка зображень є ключовим компонентом у різноманітних програмах, галузях, включаючи медичне зображення, дистанційне зондування, розваги тощо.

Обробка зображень включає ряд операцій, які виконуються на растровому форматі, де кожен піксель відповідає крихітному елементу зображення. Ці операції можуть включати фільтрацію для видалення шуму, зміну розміру для зміни розмірів зображення, коригування кольору для корекції яскравості та контрасту, а також складні завдання, такі як виявлення та розпізнавання об'єктів за допомогою розширених алгоритмів машинного навчання.

Порівняння комп'ютерного бачення та обробки зображень представлено у табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння комп'ютерного бачення та обробки зображень

	Комп'ютерне бачення (комп'ютерний зір)	Обробка зображень
Цілі	Отримання інформації із зображень і відео	Маніпулювання візуальними аспектами зображень
Вхід/ Вихід	Вхід може бути як зображенням, так і відео. Результатом може бути інтерпретація, яка часто є невізуальною	Вхід і вихід є зображеннями
Охоплення	Більш повне, комплексне, засноване на холистичному підході	Операції низького рівня, які змінюють параметри зображення
Методи	Складні алгоритми та методики	Більш прості операції
Загальне застосування	Автономні транспортні засоби, робототехніка, доповнена реальність тощо	Програмне забезпечення для редагування зображень, покращення растрових зображень, аналізу параметрів зображень тощо
Час обробки	Реальний час	Реальний час або відтермінована обробка

Слід також зазначити, що обробка зображень завжди є складовою частиною процесів комп'ютерного бачення.

5. Задачі та методи обробки зображень

Обробка зображень є комплексним напрямом досліджень і застосування, що включає різноманітні алгоритми та методи, які використовуються для досягнення конкретних результатів. Обробка зображень використовується при аналізі діагностичних зображень, хірургічному плануванні, виявленні та зіставленні об'єктів, відніманні фону у відео, локалізації пухлин, вимірюванні об'ємів тканин, визначенні місцезнаходження об'єктів на супутникових знімках (дороги, ліси тощо), керуванні дорожнім рухом, визначенні місцезнаходження об'єктів, розпізнаванні обличчя та райдужної оболонки ока, сільськогосподарській та медичній візуалізації. Усі ці сфери застосування складаються з різних підходів до обробки зображень, таких як виділення ознак, класифікація, зіставлення шаблонів, прийняття рішень та перевірка, які в кінцевому підсумку приводять до бажаного результату (рис. 5).

При обробці зображень, отриманих із різних джерел (камери, супутники, датчики тощо), покращується їх якість та виділяються інформативні ознаки. Розроблені й розвиваються різні методи для ефективної обробки зображень. Різні методи можуть бути застосовані в різних додатках для аналізу зображень, виявлення та зіставлення об'єктів, локалізації, трансформації тощо. Різні методи обробки цифрових зображень зосереджені насамперед на таких проблемах, як втрата якості зображень або покращення погіршеного зображення.



Рисунок 5 – Технологічні етапи процесу обробки зображень

Методи обробки зображень

Обробка зображень використовується для трансформації первинних (вихідних) зображень із метою покращення їх якості, видалення із зображення небажаних артефактів або навіть генерації нових зображень. Зокрема, з використанням методів обробки зображень можна видалити фон із зображень, залишаючи лише потрібні об'єкти зображення.

Задача 1: Покращення якості зображення

Одним із найпоширеніших завдань обробки зображень є покращення якості зображення, зокрема, в задачах комп'ютерного зору, дистанційного зондування та спостереження. Одним із загальних підходів є коригування контрастності та яскравості зображення.

Контрастність визначає різниця в яскравості між найсвітлішою та найтемнішою ділянками зображення. Збільшення контрастності може збільшити загальну яскравість зображення та покращити його вигляд. Яскравість є параметром освітленості або темноти зображення. Збільшення яскравості зображення може зробити його світлішим, що також покращує його вигляд. Параметри контрастності та яскравості можна налаштувати автоматично або вручну у більшості сучасних програм для редагування зображень.

Слід зауважити, що налаштування контрастності та яскравості зображення є елементарними операціями. Іноді зображення з ідеальним контрастом і яскравістю зі збільшенням масштабу стає розмитим через меншу роздільну здатність (щільність пікселів). Для вирішення цієї проблеми використовується досконаліша концепція суперроздільності зображення [16], згідно з якою зображення високої роздільної здатності отримують із аналогів із

низькою роздільною здатністю. Для такого покращення широко використовуються методи поглибленого навчання.

Наприклад, найпершим прикладом використання поглибленого навчання для вирішення проблеми суперроздільності є модель SRCNN [17], де зображення з низькою роздільною здатністю спочатку масштабується за допомогою традиційної бікубічної інтерполяції, а потім використовується як вхідні дані для моделі CNN. Нелінійне відображення в CNN виділяє ділянки, що перекриваються, із вхідного зображення, а шар згортки накладається на витягнуті ділянки для отримання реконструйованого зображення високої роздільної здатності. Каркас моделі наочно зображено нижче.

Задача 2: Відновлення зображення

Якість зображень на оригіналах може погіршуватися з різних причин, зокрема, через умови зберігання оригіналів (фотографій, плівок, паперових документів тощо). Наприклад, відскановані із друкованих копій зображення можуть мати подряпини, затемнення та інші спотворення. Відновлення таких зображень є особливо важливим, зокрема, при реставрації пошкоджених історичних документів. Алгоритми відновлення зображень на основі методів поглибленого навчання можуть виявляти фрагменти відсутньої інформації у пошкоджених документах.

Відновлення зображення також може використовуватися при малюванні зображень із використанням комп'ютера шляхом автоматичного заповнення відсутніх пікселів у зображенні. Цю операцію можна реалізувати на основі алгоритму синтезу текстур, який синтезує нові текстури для заповнення відсутніх пікселів. На основі поглибленого навчання моделі є правильним вибором через їх спроможності розпізнавання образів.

У статті [18] було запропоновано приклад структури малювання зображення (на основі автокодувальника U-Net [19]), яка використовує двоетапний підхід до проблеми: крок грубої оцінки та крок уточнення. Основною особливістю цієї мережі є рівень Coherent Semantic Attention (CSA), який заповнює закриті області у вхідних зображеннях за допомогою ітераційної оптимізації.

Задача 3: Сегментація зображення

Сегментація зображення є процесом фрагментації зображення на кілька сегментів або областей і часто використовується як етап попередньої обробки для виявлення об'єкта. Сегменти представляють різні об'єкти на зображенні.

Розроблено велику кількість алгоритмів, які можна використовувати для сегментації зображення, але одним із найпоширеніших підходів є використання порогових значень (порогова сегментація). При бінарній пороговій сегментації зображення перетворюється у двійкове зображення, де кожен піксель є чорним або білим. Порогове значення вибирається таким чином, що всі пікселі з рівнем яскравості нижче певного порогового значення стають чорними, а всі пікселі з рівнем яскравості вище порогового значення стають білими. Таким чином, сегменти на зображенні, що представляють об'єкти, позначаються чіткими чорними та білими областями.

При застосуванні багаторівневої порогової сегментації різні фрагменти (сегменти) зображення позначаються градаціями сірого кольору відповідно до кількості рівнів. У статті [20] описано використання багаторівневої порогової сегментації в медичній візуалізації, зокрема, для сегментації зображень МРТ головного мозку.

Сучасні автоматизовані алгоритми сегментації зображень використовують методи поглибленого навчання як для бінарної, так і для багаторівневої сегментації. Зокрема, модель Positioning and Focus Network (PFNet) [21] побудована на основі CNN і вирішує проблему сегментації замаскованих об'єктів. Ця модель містить два ключових модулі: модуль позиціонування (PM), призначений для виявлення об'єктів (імітує поведінку хижаків, які

намагаються визначити приблизне розташування здобичі), і модуль фокусування (FM), призначений для реалізації процесу ідентифікації хижаком здобичі для уточнення початкових результатів сегментації шляхом фокусування на неоднозначних областях.

Задача 4: Ідентифікація об'єктів

Задача ідентифікації об'єктів на зображенні часто використовується в таких застосунках, як відеоспостереження у системах безпеки і охорони. Для ідентифікації об'єктів використовуються різні алгоритми, але найпоширенішим класом алгоритмів ідентифікації є алгоритми, які використовують моделі поглибленого навчання, зокрема, згорткові нейронні мережі (Convolutional Neural Network, CNN).

CNN є різновидом штучної нейронної мережі, яка була розроблена спеціально для задач обробки зображень, оскільки операція згортки в їхньому ядрі забезпечує видимість у процесі обробки фрагментів зображення в цілому замість обробки окремих пікселів. Програми, які реалізують CNN, виявляють потрібні об'єкти і позначають їх обмежувальною рамкою, що вказує місце, де виявлено об'єкт на зображенні разом із його класифікацією.

Прикладом CNN є модель Faster R-CNN (Region-based Convolutional Neural Network) [22], яка є наскрізною, повністю згортковою мережею з можливістю навчання. Модель Faster R-CNN перевіряє точні налаштування для формування пропозиції щодо зон (передбачуваних областей на зображенні, де може бути присутній об'єкт), а потім точно налаштування для виявлення об'єкта (визначення наявного об'єкта), зберігаючи зафіксовані пропозиції.

Задача 5: Стиснення зображення

Стиснення зображення є процесом зменшення розміру файлу зображення, зберігаючи при цьому максимальну якість зображення. Метою стиснення є економія місця на носіях даних, що особливо актуально для ефективної роботи алгоритмів обробки зображень у мобільних пристроях і граничних обчисленнях або для забезпечення необхідної пропускну здатності каналів зв'язку при передачі зображень.

Традиційні алгоритми стиснення зі зменшенням розміру файлу, як правило, дещо знижують якість зображення. Зокрема, у файлах формату JPEG для стиснення зображення використовується дискретне косинусне перетворення.

Використання поглибленого навчання при стисненні зображень передбачає кодування зображень у просторі ознак зменшеної розмірності з подальшим відновленням зображень на стороні отримувача за допомогою мережі декодування. Такі моделі називаються автокодерами і включають гілку кодування, яка навчається ефективній схемі кодування, та гілку декодування, яка намагається відновити зображення без втрат якості з використанням закодованих функцій. У статті [23] запропоновано структуру стиснення зображення зі змінною швидкістю з використанням умовного автокодувальника. Умовний автокодер обумовлений множитком Лагранжа, тобто мережа приймає множник Лагранжа як вхідні дані та створює приховане представлення, швидкість якого залежить від вхідного значення. Автори також навчають мережу зі змішаними розмірами вікна квантування для точного налаштування швидкості стиснення.

Задача 6: Модифікація зображень

Модифікація зображення є процесом перетворення зображення для зміни його вигляду. Необхідність такої модифікації може бути зумовлена, наприклад, необхідністю видалення небажаного об'єкта із зображення або додавання іншого об'єкта у зображення. Модифікація зображень використовується, зокрема, дизайнерами для створення плакатів, фільмів тощо.

Однією з технологій модифікації зображень є Neural Style Transfer [24], яка використовує моделі поглибленого навчання для відтворення стилю іншого зображення. Прикладом такої моделі є модель, яка здатна передавати довільні нові стилі в режимі реального часу

(інші підходи часто потребують набагато більше часу для обробки), використовуючи структуру на основі автокодувальника [25]. У цій моделі використовується рівень нормалізації адаптивного екземпляра (AdaIN), який регулює середнє значення та дисперсію вхідного вмісту (зображення, яке потрібно змінити) відповідно до вхідних даних стилю (зображення, стиль якого потрібно прийняти). Потім вихідні дані AdaIN декодуються назад у простір зображення, щоб отримати остаточне передане зображення стилю.

Задача 7: Синтез нових зображень

Синтез нових зображень є важливою задачею при обробці зображень, зокрема, з використанням алгоритмів поглибленого навчання, які потребують обробки великих об'ємів категоризованої інформації при навчанні. Одним із поширених методів синтезу зображень є використання генеративних змагальних мереж (GAN) [26], які є однією з архітектур нейронних мереж.

Архітектура GAN містить дві окремі моделі: генератор, який генерує синтетичні зображення, і дискримінатор, який визначає відмінності між синтетичним і реальним зображеннями. Генератор синтезує зображення, які виглядають досить реалістично, щоб протестувати дискримінатор, а дискримінатор тренується на зразках, щоб краще відрізнити синтетичні зображення від реальних. Таке змагання дозволяє генератору створювати фотографічно реалістичні зображення після проведення кількох ітерацій. Ці зображення потім можна використовувати при поглибленому навчанні для інших моделей.

Задача 8: Перетворення зображень

Перетворення «зображення в зображення» – це клас візуальних і графічних задач, метою яких є вивчення зіставлення між вхідним і вихідним зображеннями за допомогою навчального набору вирівняних пар зображень.

Pix2pix [27] є популярною моделлю в цьому домені, яка використовує умовну модель GAN (cGAN) для трансляції зображення в зображення загального призначення, тобто кілька проблем обробки зображень, таких як семантична сегментація, переклад ескізу в зображення та розфарбовування зображень, вирішуються тією ж мережею. Модель cGAN передбачає умовну генерацію зображень за допомогою моделі генератора. Наприклад, генерація зображення може визначатись міткою класу для створення зображень, специфічних для цього класу.

6. Висновки

Застосування систем управління середовищем є необхідною умовою сталого розвитку. Побудова таких систем вимагає застосування холістичного підходу до множини факторів різної природи для задоволення вимог до параметрів середовища. Обробка зображень є важливою складовою процесу управління середовищем. Дистанційний аналіз зображень середовища дозволяє забезпечити оперативне інформування та прийняття адекватних рішень у процесі управління оточуючим середовищем. Використання інтелектуальної обробки зображень та методів і алгоритмів машинного навчання дозволяє підвищити точність інтерпретації даних зображень.

Різноманіття задач обробки зображень і комп'ютерного зору та методів їх вирішення обумовлює необхідність систематизації й формалізації знань у цій сфері. В результаті проведеного аналізу окреслено узагальнену структуру процесів управління середовищем із використанням обробки зображень та визначено напрями побудови і використання моделей знань при створенні цільових систем управління середовищем на основі обробки зображень.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. SO 14001:2015. Environmental management systems. Requirements with guidance for use. URL: <https://www.iso.org/ru/standard/60857.html>.
2. Eco-Management and Audit Scheme (EMAS). URL: https://green-business.ec.europa.eu/eco-management-and-audit-scheme-emas_en.
3. Kotze L., Nel J.G. Environmental management: An introduction. *Environmental Management in South Africa*. 2nd ed. Juta and Company Ltd.: Cape Town, South Africa, 2009. P. 1–33.
4. Коваленко О.Є. Принципи інженерії ситуаційних систем. *Математичні машини і системи*. 2019. № 4. С. 65–78. DOI: [10.34121/1028-9763-2019-4-65-78](https://doi.org/10.34121/1028-9763-2019-4-65-78).
5. Kovalenko O., Velev D. Ad-Hoc Architecture of Systems for Disaster Risk Management. Information Technology in Disaster Risk Reduction. *ITDRR 2019. IFIP Advances in Information and Communication Technology* / Y. Murayama, D. Velev, P. Zlateva (eds.). Springer, Cham, 2020. Vol. 575. P. 135–145. DOI: [10.1007/978-3-030-48939-7_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-48939-7_12).
6. Kovalenko O. Systems Convergence for Situational Control and Decision Making in Distributed Environments. *IEEE 16th International Conf. on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*. Lviv-Slavske, 2022. P. 344–347. DOI: [10.1109/TCSET55632.2022.9767006](https://doi.org/10.1109/TCSET55632.2022.9767006).
7. Kovalenko O. Knowledge Driven Cyber-Convergent Systems Based on Situational Agents. *IEEE 17th International Conf. on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*. Lviv, 2022. P. 243–246. DOI: [10.1109/CSIT56902.2022.10000762](https://doi.org/10.1109/CSIT56902.2022.10000762).
8. Computer Vision. URL: <https://paperswithcode.com/methods/area/computer-vision>.
9. Computer Vision Techniques. URL: <https://www.javatpoint.com/computer-vision-techniques>.
10. Andronie M. Environmental management systems based on digital images. *Global Journal on Advances in Pure & Applied Sciences*. 2013. Vol. 1. P. 475–480.
11. Marasinghe R., Yigitcanlar T., Mayere S., Washington T., Limb M. Computer vision applications for urban planning: A systematic review of opportunities and constraints. *Sustainable Cities and Society*. 2024. Vol. 100. P. 105047. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105047>.
12. Valente J., Antonio J., Mora C., Jardim S. Developments in Image Processing Using Deep Learning and Reinforcement Learning. *J. Imaging*. 2023. Vol. 9. P. 207. DOI: <https://doi.org/10.3390/jimaging9100207>.
13. Naik Banoth Thulasya, Mohammad Farukh Hashmi, Neeraj Dhanraj Bokde. A Comprehensive Review of Computer Vision in Sports: Open Issues, Future Trends and Research Directions. *Applied Sciences* 12. 2022. N 9. P. 4429. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12094429>.
14. Image Processing Ontology. URL: <https://pageperso.univ-lr.fr/alain.bouju/ImageProcessingOntology/>.
15. Gupta S., Mahajan S., Pandit A.K. A Review On Image Processing Techniques. *12th International Conf. on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN)*. Bhimtal, India, 2020. P. 20–24. DOI: [10.1109/CICN49253.2020.9242606](https://doi.org/10.1109/CICN49253.2020.9242606). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9242606>.
16. Nguyen Ngoc Long et al. Self-supervised super-resolution for multi-exposure push-frame satellites. *Proc. of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. New Orleans, LA, USA, 2022. P. 1848–1858. DOI: [10.1109/CVPR52688.2022.00190](https://doi.org/10.1109/CVPR52688.2022.00190).
17. Dong C., Loy C.C., He K., Tang X. Learning a Deep Convolutional Network for Image Super-Resolution / D. Fleet, T. Pajdla, B. Schiele, T. Tuytelaars (eds.). *Computer Vision – ECCV 2014. ECCV 2014. Lecture Notes in Computer Science*. Springer, Cham, 2014. Vol. 8692. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-10593-2_13.
18. Hongyu L. et al. Coherent semantic attention for image inpainting. *Proc. of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*. Seoul, Korea (South), 2019. P. 4169–4178. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCV.2019.00427>.
19. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015: 18th International Conf. (Munich, Germany, 5–9 October 2015)*. Munich, 2015. Proc. Part III 18. Springer International Publishing, 2015. P. 234–241. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1505.04597>.
20. Bandyopadhyay R., Kundu R., Oliva D., Sarkar R. Segmentation of brain MRI using an altruistic Harris Hawks' Optimization algorithm. *Knowledge-Based Systems*. 2021. Vol. 232. P. 107468. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2021.107468>.

21. Haiyang M. et al. Camouflaged Object Segmentation with Distraction Mining. *Proc. of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. Nashville, TN, USA, 2021. P. 8768–8777. DOI: [10.1109/CVPR46437.2021.00866](https://doi.org/10.1109/CVPR46437.2021.00866).
22. Ren S. et al. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2017. Vol. 39, N 6. P. 1137–1149. DOI: [10.1109/TPAMI.2016.2577031](https://doi.org/10.1109/TPAMI.2016.2577031).
23. Choi Y., El-Khamy M., Lee J. Variable Rate Deep Image Compression With a Conditional Autoencoder. *IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*. Seoul, Korea (South), 2019. P. 3146–3154. DOI: [10.1109/ICCV.2019.00324](https://doi.org/10.1109/ICCV.2019.00324).
24. Baheti P. Neural Style Transfer: Everything You Need to Know. 2021. URL: <https://www.v7labs.com/blog/neural-style-transfer>.
25. Huang X., Belongie S. Arbitrary Style Transfer in Real-Time with Adaptive Instance Normalization. *2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. Venice, Italy, 2017. P. 1510–1519. DOI: [10.1109/ICCV.2017.167](https://doi.org/10.1109/ICCV.2017.167).
26. Shah D. The Complete Guide to Generative Adversarial Networks. 2022. August. URL: <https://www.v7labs.com/blog/generative-adversarial-networks-guide>.
27. Isola P. et al. Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. Honolulu, HI, USA, 2017. P. 5967–5976. DOI: [10.1109/CVPR.2017.632](https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.632).

Стаття надійшла до редакції 05.01.2024