МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ

Шимків Денис Анатолійович

УДК 004.932

СИСТЕМА РЕАЛЬНОГО ЧАСУ ДЛЯ ЗНЯТТЯ ЕФЕКТУ ЗАТУМАНЕННЯ З ЗОБРАЖЕННЯ НА БАЗІ RASPBERRY PI

Напрям підготовки 123 – Комп’ютерна інженерія

Автореферат
магістерської роботи
на здобуття кваліфікації магістра з комп’ютерної інженерії

Миколаїв – 2021

Робота виконана у Чорноморському національному університеті ім. Петра Могили.

Керівник: **Пузирьов Сергій Володимирович,**
ЧНУ ім. Петра Могили, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри комп'ютерної інженерії

Рецензент: **Кондратенко Юрій Пантелійович,**
ЧНУ ім. Петра Могили, завідувач кафедри інтелектуальних інформаційних систем, доктор технічних наук, професор

Захист відбудеться «24» лютого 2021 року на засіданні Екзаменаційної комісії в ЧНУ ім. Петра Могили, ауд. 2-406.

З магістерською роботою можна ознайомитись на сайті ЧНУ ім. Петра Могили за посиланням http://chmnu.edu.ua.

Автореферат оприлюднений « 22 » лютого 2021 р.

Секретар
екзаменаційної комісії,
кандидат фіз.-мат. наук, доцент С. В. Пузирьов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У багатьох технічних сферах таких як зйомка безпілотників, автопілот автомобіля та відеоспостереження в нічний час і в умовах недостатнього освітлення, записані зображення та відео містять небажані погіршення, такі як туман, дощ, сніг. Крім того, ефективність багатьох алгоритмів комп'ютерного зору часто погіршується, коли вони працюють з зображеннями, що містять такі артефакти.

Проте зображення, ніколи не буває ідеальним, особливо зображення, зроблені у специфічних умовах, таких як дощ, туман або екстремальне освітлення. Ці непередбачувані порушення негативно впливають на роботу багатьох алгоритмів комп’ютерного зору, таких як виявлення, класифікація та спостереження. Це пов’язано, в першу чергу, з тим, що ці алгоритми навчаються із використанням зображень, які знімаються в добре контрольованих умовах. Наявність туману сильно погіршує візуальну якість зображення, роблячи таким чином алгоритми виявлення автомобіля неефективними за таких погіршень. Можливим рішенням для вирішення цієї проблеми є включення зображень, зроблених у погіршених умовах, до навчального процесу цих алгоритмів. Однак збирати такі зображення для всіх класів у навчальному наборі, особливо у великих масштабах, може бути непрактично. Отже, важливо розробити алгоритми, які можуть автоматично видаляти ці артефакти.

Мета: проектування та прототипування системи, яка може значно зменшити вплив туману для систем комп’ютерного зору на базі Raspberry Pi.

Основні **завдання** роботи:

– з аналітичного огляду літератури та патентної інформації сформулювати завдання дослідження;

– розробити принципову електричну схему пристрою для видалення туману з зображень на Raspberry Pi;

– розробити програмне забезпечення для зняття ефекту туману на базі нейронних мереж;

– виготовити робочий прототип пристрою та здійснити його тестування;

– оцінити якість покращення зображення, а також ефективність методів видалення туману.

Практичне значення отриманих результатів полягає в створенні прототипу пристрою для видалення туману та інших забруднень таких як пил з зображення.

Використані методи: системний аналіз, експеримент, статистичні методи, тестування.

Практичне значення одержаних результатів: результати даної роботи допоможуть вирішити проблему розпізнавання образів у погану погоду для безпілотників та система спостереження.

Апробація результатів магістерської роботи відбулася під час Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Інтелектуальні інформаційні системи» 2021 р.

Публікації. За результатами магістерської роботи опубліковані тези доповідей [1].

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається з анотації на 2 сторінках, вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання з 41 найменування, 2 додатків на 4 сторінках, спеціальної частини з охорони праці та безпеки життєдіяльності. Основна частина роботи становить 83 сторінки, серед яких 39 рисунків та 3 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** подано обґрунтування актуальності теми магістерської роботи, а саме необхідність розробки інтелектуальної системи для видалення туману в реальному часі на базі Raspberry Pi, зазначено її зв’язок із науковою програмою, планами і темами, сформульовано мету та завдання дослідження, вказано практичне значення одержаних результатів, наведено відомості про апробацію результатів роботи та публікації автора. Описано практичне значення роботи.

У **першому розділі** магістерської роботи «**Аналітичний огляд літератури та патентної інформації**» пропонується глобальний опис бачення в негоду. Спочатку дається визначення, що таке складні умови. Описуються властивості частинок, що становлять атмосферу, і пов'язані з ними явища погіршення видимості**.** У розділі описані різні види туману та природа їх появи. Надана математична модель для видалення туману з зображення на основі атмосферного світла та релеївського розсіювання.

Описані різні існуючі підходи до видалення туману. Для випадку з одним зображенням було визначено два основні види. Перший розглядає видалення туману через удосконалення зображення, через гіпотези та суворі припущення для оцінки невідомих параметрів. Другий спирається на фізичну модель, розглядаючи зорову систему людини, категорія цих методів спрямована на підвищення якості неясного зображення, незалежно від того, чи відновлене зображення точно відповідає вихідному.

Методи видалення туману з кольорових зображень різноманітні. Однак усі вони страждають від певних обмежень, коли справа доходить до ефективної обробки зображення при високій щільності туману і точного відновлення оригінальних характеристик, які були б у сонячну погоду. Описані проблеми, що виникають при видалені ефекту туману з відео.

Відео можна визначити як групу кадрів (зображень). Таким чином, видалення туману слід застосовувати послідовно на кадрах, які згодом

поєднуються, щоб сформувати назад розкладене відео. Час цього процесу безпосередньо залежить від розміру кадру. Отже, для видалення туману з відео, крім неточностей методів, залишається вирішальною проблемою скорочення часу процесу.

На відміну від алгоритмів видалення туману з зображень, існує лише кілька алгоритмів для покращення видимості у відео. Однак такі алгоритми більш активно використовуються в повсякденній діяльності. Алгоритми для відео можна згрупувати за трьома категоріями: на основі кадру, на основі злиття та універсальне видалення основане на компонентах.

У **другому розділі** магістерської роботи **«Моделювання та проєктування системи для видалення туману»** описується апаратна частина проєкту, необхідне програмне забезпечення та описуються вибрані нейроні мережі для побудови майбутнього алгоритму, особлива увага виділялася на генеративно-змагальні мережі, а саме циклічно узгоджені генеративно-змагальні мережі.

Генеративно-змагальні мережі, або коротше GAN, – це підхід до генеративного моделювання з використанням методів глибокого навчання, таких як згорткові нейронні мережі.

Генеративне моделювання – це непідконтрольне навчальне завдання в машинному навчанні, яке передбачає автоматичне виявлення та вивчення закономірностей у вхідних даних таким чином, що модель може бути використана для створення або виведення нових прикладів, які, ймовірно, могли бути отримані з вихідного набору даних.

GAN – це розумний спосіб навчання генеративної моделі, формулюючи проблему як контрольовану проблему навчання з двома підмоделями: модель генератора, яка навчається для створення нових прикладів, і модель дискримінатора, яка намагається класифікувати приклади як

реальні (з домену) або підроблені (створені). Дві моделі навчаються разом у грі з нульовою сумою, змагальній, доки модель дискримінатора не обдуриться приблизно вдвічі, тобто модель генератора створює вірогідні

приклади (рис. 1).

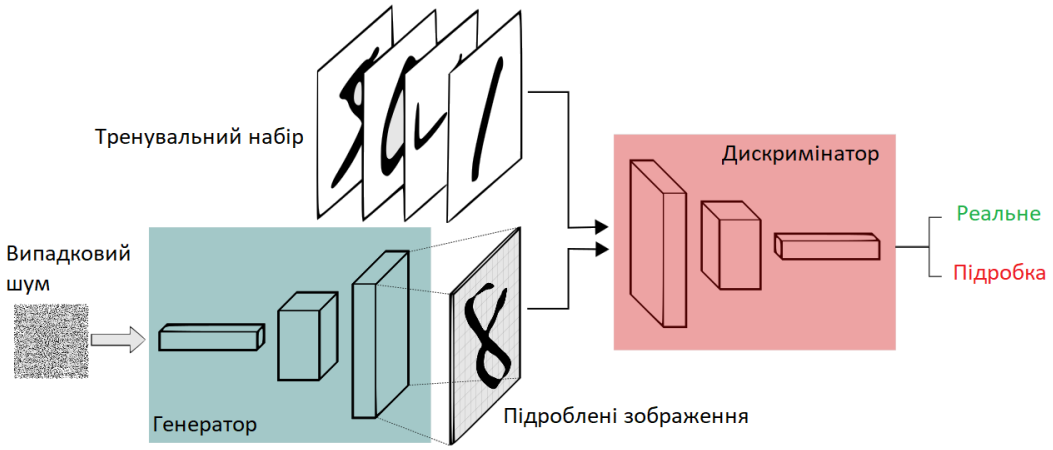

Рисунок 1. Генеративно-змагальна мережа.

GAN – це захоплююче та швидко мінливе поле, яке забезпечує обіцянки генеративних моделей у їх здатності генерувати реалістичні приклади у цілому ряді проблемних областей, особливо в задачах перекладу зображення на зображення, таких як переклад фотографій літа на зиму чи день до ночі, а також під час створення фотореалістичних фотографій предметів, сцен та людей, про які навіть не можна сказати, що є фальшивими.

CycleGAN – це розширення архітектури GAN, яке передбачає одночасне навчання двох моделей генераторів та двох моделей дискримінатора.

Один генератор приймає зображення з першого домену як вхідні дані і виводить зображення для другого домену, а інший генератор приймає зображення з другого домену як вхідні дані та генерує зображення для першого домену. Потім використовуються моделі дискримінатора, щоб визначити, наскільки правдоподібними є сформовані зображення, і відповідно оновити моделі генератора.

У **третьому розділі** магістерської роботи **«Апаратно-програмне забезпечення системи»** виконується програмна та апаратна реалізація проекту, проведено аналіз існуючих наборів даних з туманними

зображеннями, описана архітектура моделі нейронної мережі, яка основана на CycleGAN, описаний процес налаштування середовища для нейронної мережі на Raspberry Pi та описаний запуск системи реального часу для видалення зображення на фізичній моделі. І нарешті, розвернута підготовлена нейронна мережа на мікрокомп'ютері Raspberry Pi 4.

Архітектура складається з двох генераторів, *G* та *F*, та двох дискримінаторів, D_X та D_Y. Дві генеративно-змагальні мережі конкурують між собою та обмежують одна одну (рис. 2). Тренуючись одночасно, вони вивчають особливості туману, зберігаючи структуру фону зображення майже незмінною, і використовують непарні набори даних без маркування вручну. Цей неконтрольований підхід різко спрощує роботу на етапі підготовки даних.

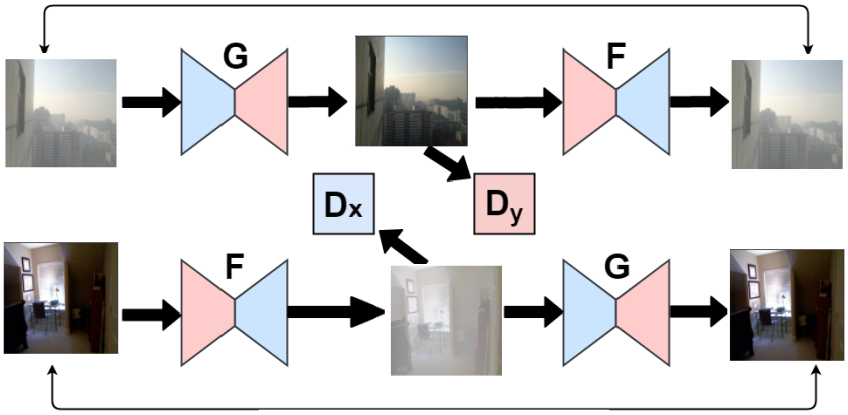

Рисунок 2. Архітектура розробленої мережі.

Для підготовки моделі використовуються туманні набори зображень та дані з чистими зображеннями. Дані туманних зображень та дані чітких зображень визначаються як домен *X* та домен *Y*. Відповідності між зображеннями в домені *X* та домені *Y* не існує. Після введення зображення в *X* у генеруючу модель *G*, *G* генерує нове зображення Y_G. Отже, Y_G і зображення в *Y* служать вхідними даними для дискримінаційної моделі D_X, яка визначає, коли вхідне зображення

походить від реальних чітких даних Y або псевдозображень, що генеруються генератором G. Результат повертається до G і використовується для покращення роботи G. Під керівництвом D_X, Y_G постійно зменшує розрив між Y_G та зображенням у наборі даних Y.

Подібним чином генератор F діє, щоб зменшити Y_G і Y до туманних зображень, а Y_G і Y подаються у другу генеруючу модель F, щоб сформувати нове зображення X_F, яке призначене для того, щоб зробити X_F максимально схожим на зображення в X через функцію втрат. Циклічна структура моделі дозволяє двом GAN генерувати дедалі реалістичніші зображення, тобто тумані зображення у наборі даних X перетворювати на чисті.

У **четвертому розділі** магістерської роботи **«Експериментальні дослідження»** описано результати роботи мережі та проведена оцінка якості зображення.

Оцінка якості зображення під впливом туману є складним завданням, оскільки варіант зображення без туману часто недоступне, і немає простого способу отримати належне еталонне зображення. Декілька факторів роблять оцінку підходів до видалення туману непростою. На відміну від класичного шуму зображення, туман – це суцільний рівномірний/нерівномірний шар на всьому зображенні. Він має глибинний ефект: хроматичні ефекти туману посилюються з глибиною, оскільки кількість туману, що втручається між поверхнею та оглядом, збільшується. Це призводить до зменшення контрасту та зміщення кольорів. Туман може також мати різні кольорові відтінки залежно від його щільності, повітряного простору та оточеного середнього кольору навколишнього середовища. Усі ці фактори перетворюють оцінку якості зображення у складне завдання, що вимагає точної оцінки змінних особливостей.

Рисунки 3 та 4 показують приклади роботи розробленої мережі за різних ситуацій.

Рисунок 3. Робота розробленої мережі з міським пейзажом.

Рисунок 4. Обробка художнього пейзажу.

Були розглянуті об’єктивні метрики для оцінки якості та вибрані два методи для порівняння розробленого алгоритму з аналогами (PSNR – пікове відношення сигналу до шуму та структурна подібність, SSIM). Розроблений алгоритм був порівняний з DehazeNet та DCP.

Додатки містять лістинги кодів для видалення туману на основі фізичної моделі та скрипт для обрахунку якості покращення зображення.

У **спеціальній** частині «**Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях**» були викладені вимоги до робочого місця програміста. На підставі вивченої літератури по даній проблемі, були зазначені оптимальні розміри робочого столу та крісла, робочої поверхні, а також проведено вибір системи і розрахунок оптимального освітлення виробничого приміщення.

ВИСНОВКИ

Під час виконання дипломної роботи було розроблено програмно-апаратний модуль для видалення туману з зображення.

Було розглянуто низку проблем, які перешкоджають нормальному функціонуванню програм комп’ютерного зору, роблячи їх ефективність та надійність низькими із-за непогоди.

Для написання дипломної роботи був проведений літературний огляд. Внаслідок вивчення даного питання, склалася повна картина уявлення про

явище туману та властивостей інших атмосферних частинок, які створюють шуми на зображені. Сформульована математична модель для очищення зображення від ефекту туману. Описані різні категорії методів видалення туману, які по-різному вирішують питання покращення зображення.

Був представлений метод глибокого навчання, який дозволяє якісно зменшити вплив туману на зображення, тим часом не порушуючи виразності зображення та мінімально спотворюючи його. Це було досягнуто шляхом побудови та навчання моделі видалення туману на основі циклічно узгодженої генеративно-змагальної нейронної мережі.

Були проведені експерименти по запуску розробленої мережі на платі Raspberry Pi 4 для обробки зображень знятих з модуля камери. Описані результати експерименту та варіанти для покращення продуктивності розробки.

Завершується дипломна робота, розбираючи складну теми оцінки якості алгоритмів видалення туману з зображення. За допомогою взаємопов'язаних суб'єктивних та об'єктивних критеріїв оцінки був запропонований спосіб, що дозволяє об’єктивно порівняти якість алгоритмів між собою. Розроблена модель була порівняна з іншими актуальними алгоритмами для покращення зображення.

Для подальшого вдосконалення програмної частини розробки можна включити більше наборів даних в процес навчання, розширити архітектуру мережі для вирішення нових проблем, таких як покращення видимості під водою. Для покращення апаратної частини проекту важливо використати

спеціалізовані плати для роботи з нейронними мережами, побудованими на основі глибокого навчання.

Також були розглянуті загальні характеристики процесу розробки, виявлені небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що впливають на розробника в процесі розробки і збору пристрою, докладно висвітлені вимоги безпеки, що пред'являються при використанні готового виробу, і наслідки їх недотримання.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1. Шимків. Д. А., Пузирьов С. В. Чорноморський національний університет ім. Петра Могили «Система реального часу для зняття ефекту затуманення з зображення на базі Raspberry Pi».

АНОТАЦІЯ

Шимків Д. Система реального часу для зняття ефекту затуманення з зображення на базі Raspberry Pi. – Кваліфікаційна робота магістра зі спеціальності 123 Комп’ютерна інженерія. – Чорноморський національний університет імені Петра Могили, 2021.

Магістерська робота спрямована на дослідження методів обробки зображення за допомогою нейронних мереж з цілю значно зменшити вплив туману для систем комп’ютерного зору на базі Raspberry Pi. Практичне значення результатів дослідження полягає в створенні прототипу пристрою для видалення туману та інших забруднень таких як пил з зображення.

Пояснювальна записка магістерської роботи складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та двох додатків. У вступі визначається актуальність теми, сформульовані мета, об’єкт, предмет та завдання дослідження та розробки магістерської роботи. У першому розділі досліджується природне явище туману; формулюється математична модель для видалення туману з зображення; описана існуюча класифікація методів видалення туману з зображення. У другому розділі розглядаються нейроні

мережі, а саме згорткі та генеративно-змагальні мережі; описується бібліотека для побудови нейронних мереж PyTorch; також описується апаратна частина проекту – мікрокомп’ютер Rasbperry Pi 4. У третьому розділі описаний архітектура нейронної мережі для видалення туману та тестовий запуск мережі на мікрокомп’ютері Rasbperry Pi. В четвертому розділі описані критерії оцінки якості зображення та порівняна розроблена нейрона мережа з існуючими. У висновках наведено аналіз виконаної роботи та отриманих результатів дослідження та розроблення. У додатку А наведений скрипт для

видалення туману в реальному часі за допомогою фізичної моделі. У додатку Б наведений код обрахунку метрик для оцінки якості зображення.

В цілому, магістерська робота без додатків містить 83 сторінки, 39 рисунків, 3 таблиці, 41 джерел посилання.

Ключові слова: видалення туману, темний канал, генеративно-змагальна мережа, CycleGAN, PyTorch, Raspberry Pi, оцінка якості зображення

ABSTRACT

Shymkiv D. Real-time system for image dehazing based on Raspberry Pi. – Master’s thesis in specialty 123 Computer Engineering. – Petro Mohyla Black Sea National University, 2021.

The Master's thesis is devoted to study the methods of image processing using neural networks in order to significantly reduce the impact of fog for computer vision systems based on the Raspberry Pi. The practical significance of the results of the study is to create a prototype of device for dehazing.

The explanatory note for Master's thesis consists of an introduction, four sections, conclusions and two appendices. The introduction determines the relevance of the topic, formulates the purpose, object, subject and objectives of research and development of the master's thesis. The first section examines the natural phenomenon of fog; formulated the mathematical model for dehazing; describes the existing classification of methods for removing fog from the image.

The second section considers neural networks, namely convolutional and generative-adversarial networks; describes a library for building neural networks PyTorch; the hardware part of the project, also described microcomputer Rasbperry Pi 4. The third section describes the neural network architecture for dehazing and the test run of the network on the microcomputer Rasbperry Pi. The fourth section describes the criteria for image quality assessment and compares the developed neural network for dehazing with existing ones. The conclusions give an analysis of the work performed and the results of research and development. Appendix A provides a script for real-time dehazing using a physical model. Appendix B

provides a code for calculating metrics to image quality assessment.

In general, the Master’s thesis without appendices contains 83 pages, 39 figures, 3 tables, 41 bibliographical references.

Keywords: dehazing, dark channel, generative-adversarial networks, CycleGAN, PyTorch, Raspberry Pi, image quality assessment.