

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ

Січевський Станіслав Вікторович

УДК 004.048

**СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПРИСТРОЄМ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ З
ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО ІНТЕЛЕКТУ**

122 – Комп'ютерні науки

Автореферат
магістерської кваліфікаційної роботи на здобуття освітньої кваліфікації
«Магістр комп'ютерних наук»

Миколаїв – 2021

Магістерська кваліфікаційна робота є рукопис.

Робота виконана в Чорноморському національному університеті імені Петра Могили Міністерства освіти і науки України на кафедрі інтелектуальних інформаційних систем

Науковий керівник: к.т.н., доцент, доцент кафедри
інтелектуальних інформаційних систем
Кондратенко Галина Володимирівна

Рецензент: к.т.н., доцент, завідувач кафедри
комп'ютерної інженерії
Крайник Ярослав Михайлович

Захист відбудеться «23» лютого 2021 р. о 9³⁰ год. на засіданні екзаменаційної комісії (ауд. 2-403) у Чорноморському національному університеті імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68-ми Десантників, 10.

З магістерською кваліфікаційною роботою можна ознайомитися в бібліотеці Чорноморського національного університету імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68-ми Десантників, 10.

Автореферат представлений «16» лютого 2021 р.

Секретар
екзаменаційної комісії,
к.пед.н., доцент

Н. М. Боллюбаш

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність даної роботи підкріплюється умовами сучасного розвитку інформаційних технологій та робототехніки, зокрема використання в них прогресивних технологій обчислювального інтелекту.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є моделювання процесу дистанційного керування робототехнічним пристроєм в режимі реального часу за допомогою методів обчислювального інтелекту.

Об'єктом дослідження є процеси керування пристроями.

Предметом дослідження є методи обчислювального інтелекту для дистанційного керування робототехнічним пристроєм в режимі реального часу.

Апробація результатів дослідження: Січевський С. В., Кондратенко Г. В. “Система керування пристроєм в режимі реального часу з використанням методів обчислювального інтелекту”, Інтелектуальні інформаційні системи : матеріали всеукр. наук.-практ. конф., м. Миколаїв, 9-12 лют. 2021 р. Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2021. С. 28-29.

Магістерська кваліфікаційна робота складається із вступу, 6 розділів, висновків, додатків. Загальний обсяг роботи складає 112 сторінок, 55 рисунків, 4 таблиці та 50 посилань на літературні джерела.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі магістерської кваліфікаційної роботи визначено сучасний стан розвитку систем реального часу, інтелектуального керування та робототехніки. Зазначено актуальність роботи, об'єкт та предмет дослідження, мету. Сформовано перелік задач, які необхідно виконати для досягнення мети.

У першому розділі проведено аналіз предметної сфери за рахунок визначення основних понять та термінів, аналітичного огляду літератури, публікацій, досліджень, підходів та методів керування робототехнічними пристроями, методів обчислювального інтелекту. На основі цього аналізу було прийнято рішення про розробку системи керування та аналіз можливих підходів, методів, інформаційних технологій для вирішення поставленої задачі.

У другому розділі проведено детальний опис підходів до керування робототехнічним пристроєм та методів обчислювального інтелекту. Визначено перелік необхідних інформаційних технологій для вирішення поставленої задачі.

Методи керування робототехнічними пристроями поділяються на: програмне керування, адаптивне керування, інтелектуальне керування, напівавтоматичне або телекерування – тобто за участі людини. Оскільки мета даної роботи полягає у розробці системи керування робототехнічним пристроєм в режимі реального часу з використанням методів обчислювального інтелекту, інтелектуальний метод керування найбільше підходить для використання.

Інтелектуальне керування – спосіб керування заснований на методах штучного інтелекту. У нашому випадку для інтелектуального керування необхідно використовувати нейронну мережу, яка зможе розпізнавати елементи, отримані з камери робототехнічного пристрою та виконувати маніпуляції над цими елементами.

Обчислювальний інтелект використовує комбінацію п'яти основних додаткових методів: нечітку логіку, штучні нейронні мережі, еволюційні обчислення, теорії навчання та ймовірнісні методи.

Для нашої реалізації будуть використовуватися нейронні мережі. Нейронні мережі – це обчислювальні системи, натхнені біологічними нейронними мережами,

що складають мозок тварин. ШНМ ґрунтується на сукупності з'єднаних вузлів, що називають штучними нейронами (аналогічно до біологічних нейронів у головному мозку тварин). Кожне з'єднання (аналогічне синапсові) між штучними нейронами може передавати сигнал від одного до іншого. Штучний нейрон, що отримує сигнал, може обробляти його, й потім сигналізувати штучним нейронам, приєднаним до нього. Це саме те, чому експерти працюють над розвитком штучних нейронних мереж на основі біологічних нейронних мереж, які можна визначити трьома основними компонентами: клітиною, яка обробляє інформацію, аксоном, що є пристроєм, якій дозволяє проводити сигнал, і синапсом, який управляє сигналами. Тому штучні нейронні мережі складаються з розподілених систем обробки інформації, що дозволяють здійснювати процес і вивчати досвід.

Нейронні мережі широко застосовуються в наступних класах задач:

- розпізнавання образів і класифікація;
- прийняття рішень і управління;
- кластеризація;
- прогнозування;
- апроксимація;
- стиснення даних та асоціативна пам'ять;
- аналіз даних;

оптимізація.

Розпізнавання образів (об'єктів, сигналів, ситуацій, явищ або процесів) – завдання ідентифікації об'єкта або визначення будь-яких його властивостей по його зображенню (оптичне розпізнавання) або аудіо записи (акустичне розпізнавання) та іншим характеристикам.

Образ – класифікаційне угруповання в системі класифікації, яка об'єднує (виділяє) певну групу об'єктів за певною ознакою. Образи мають характерною властивістю, що виявляється в тому, що ознайомлення з кінцевим числом явищ з одного і того ж безлічі дає можливість дізнаватися як завгодно велике число його представників. Образи мають характерні об'єктивними властивостями в тому сенсі, що різні люди, які навчаються на різному матеріалі спостережень, здебільшого

однаково і незалежно один від одного класифікують одні і ті ж об'єкти. У класичній постановці задачі розпізнавання універсальне безліч розбивається на частини-образи. Кожне відображення будь-якого об'єкта на сприймаючі органи системи, що розпізнає, незалежно від його положення щодо цих органів, прийнято називати зображенням об'єкта, а безлічі таких зображень, об'єднані певними загальними властивостями, являють собою образи. В якості образів можуть виступати різні за своєю природою об'єкти: символи тексту, зображення, зразки звуків і т.д.

При навчанні мережі пропонуються різні зразки образів із зазначенням того, до якого класу вони відносяться. Зразок, як правило, представляється як вектор значень ознак. При цьому сукупність усіх ознак повинна однозначно визначати клас, до якого належить зразок. У разі, якщо ознак недостатньо, мережа може співвіднести один і той же зразок з декількома класами, що невірно. Після закінчення навчання мережі їй можна пред'являти невідомі раніше образи і отримувати відповідь про належність до певного класу.

Топологія такої мережі характеризується тим, що кількість нейронів у вихідному шарі, як правило, дорівнює кількості визначених класів. При цьому встановлюється відповідність між виходом нейронної мережі і класом, який він представляє. Коли мережі пред'являється якийсь образ, на одному з її виходів повинен з'явитися ознака того, що образ належить цьому класу. У той же час на інших виходах повинен бути ознака того, що образ даного класу не належить. Якщо на двох або більше виходах є ознака приналежності до класу, вважається, що мережа «не впевнена» в своїй відповіді.

Архітектури нейронних мереж для розпізнавання образів та класифікації:

- навчання з учителем:
 - перцептрон;
 - згорткові нейронні мережі.
- навчання без учителя:
 - мережі адаптивного резонансу.
- змішане навчання:
 - мережі радіально-базисних функцій.

Згорткова нейронна мережа (англ. convolutional neural network, CNN) – спеціальна архітектура штучних нейронних мереж, запропонована Яном Лекуном в 1988 році і направлена на ефективне розпізнавання образів. Входить до складу технологій глибокого навчання (англ. deep learning) . Використовує деякі особливості зорової кори, в якій були відкриті так звані прості клітини, що реагують на прямі лінії під різними кутами, і складні клітини, реакція яких пов'язана з активацією певного набору простих клітин. Таким чином, ідея згорткових нейронних мереж полягає в чергуванні згорткових шарів (англ. convolution layers) і субдискретизаційних шарів (англ. subsampling layers або англ. pooling layers, шарів підвибірки).

Структура мережі – односпрямована (без зворотних зв'язків), принципово багат шарова. Для навчання використовуються стандартні методи, найчастіше метод зворотного поширення помилки. Функція активації нейронів (передавальна функція) – будь-яка, за вибором дослідника.

Робота згорткової нейронної мережі зазвичай інтерпретується як перехід від конкретних особливостей зображення до більш абстрактних деталей, і далі до ще більш абстрактним деталей аж до виділення понять високого рівня. При цьому мережа самонастроюється і виробляє сама необхідну ієрархію абстрактних ознак (послідовності карт ознак), фільтруючи незначні деталі і виділяючи істотне.

У згорткової нейронної мережі в операції згортки використовується лише обмежена матриця ваг невеликого розміру, яку «рухають» по всьому оброблюваному шарі (на самому початку – безпосередньо по вхідному зображенню), формуючи після кожного зсуву сигнал активації для нейрона наступного шару з аналогічною позицією.

Операція субдискретизація (англ. subsampling, англ. pooling, також перекладається як «операція підвибірки» або операція об'єднання), виконує зменшення розмірності сформованих карт ознак. У даній архітектурі мережі вважається, що інформація про факт наявності шуканого ознаки важливіше точного знання його координат, тому з кількох сусідніх нейронів карти ознак вибирається максимальний і приймається за один нейрон ущільненої карти ознак меншої

розмірності. За рахунок цієї операції, крім прискорення подальших обчислень, мережа стає більш інваріантною до масштабу вхідного зображення.

Шар згортки. Шар згортки (англ. convolutional layer) – це основний блок згорткової нейронної мережі. Шар згортки включає в себе для кожного каналу свій фільтр, ядро згортки якого обробляє попередній шар за фрагментами (підсумовуючи результати поелементного перемноження для кожного фрагмента). Вагові коефіцієнти ядра згортки (невеликої матриці) невідомі і встановлюються в процесі навчання.

Особливістю згорткового шару є порівняно невелика кількість параметрів, яке встановлюється при навчанні. Так наприклад, якщо вихідне зображення має розмірність 100×100 пікселів по трьом каналам (це значить 30000 вхідних нейронів), а згортковий шар використовує фільтри з ядром 3×3 пікселя з виходом на 6 каналів, тоді в процесі навчання визначається тільки 9 ваг ядра, однак по всім сполученням каналів, тобто $9 \times 3 \times 6 = 162$, в такому випадку даний шар вимагає знаходження тільки 162 параметрів, що істотно менше кількості шуканих параметрів повнозв'язної нейронної мережі.

Шар активації. Скалярний результат кожної згортки потрапляє на функцію активації, яка представляє собою якусь нелінійну функцію. Шар активації зазвичай логічно пов'язують з шаром згортки (вважають, що функція активації вбудована в шар згортки). Функція нелінійності може бути будь-який з вибору дослідника, традиційно для цього використовували функції типу гіперболічного тангенса $f(x) = \tanh(x)$, $f(x) = |\tanh(x)|$ або сигмоїд. Однак в 2000-х роках була запропонована і досліджена нова функція активації – ReLU (скорочення від англ. rectified linear unit), яка дозволила суттєво прискорити процес навчання і одночасно спростити обчислення (за рахунок простоти самої функції), що означає блок лінійної ректифікації, який обчислює функцію $f(x) = \max(0, x)$. Тобто по суті це операція відсікання негативній частині скалярної величини. Станом на 2017 рік ця функція і її модифікації (Noisy ReLU, Leaky ReLU та інші) є найбільш часто використовуваними функціями активації в глибоких нейромережах, зокрема, в згорткових.

Шар пулінгу. Шар пулінгу (інакше підвибірки, субдискретизації) являє собою нелінійне ущільнення карти ознак, при цьому група пікселів (зазвичай розміру 2×2) ущільнюється до одного пікселя, проходячи нелінійне перетворення. Найбільш споживані при цьому функція максимуму. Перетворення зачіпають непересічні прямокутники або квадрати, кожен з яких скорочується в один піксель, при цьому вибирається піксель, що має максимальне значення. Операція пулінг дозволяє істотно зменшити просторовий обсяг зображення. Пулінг інтерпретується так: якщо на попередній операції згортки вже були виявлені деякі ознаки, то для подальшої обробки настільки докладне зображення вже не потрібно, і воно ущільнюється до менш докладного. До того ж фільтрація вже непотрібних деталей допомагає не перенавчатися. Шар пулінгу, як правило, вставляється після шару згортки перед шаром наступної згортки.

Повнозв'язна нейронна мережа. Після кількох проходжень згортки зображення і ущільнення за допомогою пудлінга, система перебудовується від конкретної сітки пікселів з високою роздільною здатністю до більш абстрактним картками ознак, як правило на кожному наступному шарі збільшується число каналів і зменшується розмірність зображення в кожному каналі. Зрештою залишається великий набір каналів, що зберігають невелику кількість даних (навіть один параметр), які інтерпретуються як самі абстрактні поняття, виявлені з вихідного зображення. Ці дані об'єднуються і передаються на звичайну повнозв'язну нейронну мережу, яка теж може складатися з декількох шарів. При цьому повнозв'язні шари вже втрачають просторову структуру пікселів і мають порівняно невеликий розмірністю (по відношенню до кількості пікселів вихідного зображення).

Навчання мережі. Найбільш простим і популярним способом навчання є метод навчання з учителем (на маркованих даних) – метод зворотного поширення помилки і його модифікації. Але існує також ряд технік навчання згорткових мереж без вчителя. Наприклад, фільтри операції згортки можна навчити окремо і автономно, подаючи на них вирізані випадковим чином шматочки вихідних зображень навчальної вибірки і застосовуючи для них будь-який відомий алгоритм

навчання без вчителя (наприклад, автоасоціатор або навіть метод k-середніх) – така техніка відома під назвою *patch-based training*. Відповідно, наступний шар згортки мережі буде навчатися на шматочках від уже навченого першого шару мережі. Також можна скомбінувати згорткові нейронні мережі з іншими технологіями глибинного навчання. Наприклад, зробити згортковий автоасоціатор, згорткову версію каскадних обмежених машин Больцмана, що навчаються за рахунок ймовірнісного математичного апарату, згорткову версію розрідженого кодування (англ. *sparse coding*), названу *deconvolutional networks* («розгорнутими» мережами).

Для поліпшення роботи мережі, підвищення її стійкості і запобігання перенавчання застосовується також виключення (дропаутів) – метод тренування підмережі з викиданням випадкових одиничних нейронів.

Переваги та недоліки згорткових нейронних мереж. Згорткові нейронні мережі мають ряд переваг та недоліків.

Серед переваг визначають такі:

- один з кращих алгоритмів по розпізнаванню та класифікації зображень;
- зручне розпаралелювання обчислень, а отже, можливість реалізації алгоритмів роботи і навчання мережі на графічних процесорах;
- відносна стійкість до повороту і зсуву розпізнається зображення;
- навчання за допомогою класичного методу зворотного поширення помилки.

Одним з головних недоліків такого виду нейронних мереж є – занадто велика кількість змінних параметрів мережі. Не зрозуміло, для якої задачі і обчислювальної потужності які потрібні налаштування. Так, до варійованим параметрам можна віднести: кількість шарів, розмірність ядра згортки для кожного з шарів, кількість ядер для кожного з шарів, крок зсуву ядра при обробці шару, необхідність шарів субдискретизації, ступінь зменшення ними розмірності, функція по зменшенню розмірності (вибір максимуму, середнього і т. п.), передавальна функція нейронів, наявність і параметри вихідної повнозв'язної нейронної мережі на виході загорткової нейронної мережі. Всі ці параметри істотно впливають на результат, але вибираються дослідниками емпірично. Існує кілька вивірених і

прекрасно працюють конфігурацій мереж, але не вистачає рекомендацій, за якими потрібно будувати мережу для нового завдання.

Серед списку обраних методів, підходів, інформаційних технологій для вирішення зазначено такі:

- інтелектуальний метод керування пристроєм;
- розпізнавання образів та класифікація;
- архітектура системи – клієнт-сервер;
- операційна система розроблюваної системи керування – iOS;
- архітектурний шаблон VIPER для клієнтської частини;
- бібліотека RxSwift;
- мобільна база даних Realm;
- фреймворк Vision;
- веб-фреймворк Vapor для серверної частини;
- реляційна СКБД SQLite;
- фреймворк Create ML;
- ПЗ для моделювання роботи робототехнічними пристроями MoveIt.

У третьому розділі виконується опис етапу проектування який включав у себе формування загальної структурної схеми системи керування, її декомпозиція в детальну структурну схему системи керування та трансформацію в розширену структурну схему системи керування. В якості прикладу було наведено діаграму класів для одного із модулів системи. Була представлена сутність-таблиця з реляційної СКБД. Також був змодельований робототехнічний пристрій за допомогою програмного забезпечення MoveIt та сформовано тренувальний набір зображень для нейронної мережі, що містить який складається з 213 зображень та містить 411 об'єктів приналежності до 3 різних класів.

У четвертому розділі описується етап програмної реалізації системи керування. Сервер було реалізовано за допомогою веб-фреймворку Vapor, систему керування – за допомогою мови програмування Swift та інших технологій, налаштування та створення згорткової нейронної мережі за допомогою фреймворку Create ML.

У методичній частині розроблено практичні роботи на теми «Бінарний перцептрон» та «Евристичний пошук» для дисципліни «Нейромеревеві методи обчислювального інтелекту».

У спеціальній частині магістерської кваліфікаційної роботи з «Охорони праці та безпеки життєдіяльності» присвячується питанням аналізу умов праці в приміщенні, забезпеченню необхідними умовами працівників, вимогам освітлення, мікроклімату та іонізації у виробничих приміщеннях, заходам щодо забезпечення вимог охорони праці при експлуатації персональних комп'ютерів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Результатом виконання магістерської кваліфікаційної роботи є розроблена система керування пристроєм в режимі реального часу з використанням методів обчислювального інтелекту.

У даній роботі було проведено аналіз предметної сфери за рахунок визначення основних понять та термінів, аналітичного огляду літератури, публікацій, досліджень, підходів та методів керування робототехнічними пристроями, методів обчислювального інтелекту.

На основі даного аналізу було виконано етап проектування системи, який включав у себе формування загальної структурної схеми системи керування, її декомпозиція в детальну структурну схему системи керування та трансформацію в розширену структурну схему системи керування. В якості прикладу було наведено діаграму класів для одного із модулів системи. Була представлена сутність-таблиця з реляційної СКБД. Також був змодельований робототехнічний пристрій за допомогою програмного забезпечення MoveIt.

По завершенню проектування було проведено етап програмної реалізації системи керування. Сервер було реалізовано за допомогою веб-фреймворку Vapor, систему керування – за допомогою мови програмування Swift та інших технологій, налаштування та створення згорткової нейронної мережі за допомогою фреймворку Create ML.

Окрім фахової частини магістерська кваліфікаційна робота включає в себе методичну частину та спеціальну частину з охорони праці.

Методична частина присвячена розробці практичних робіт з дисципліни «Нейромереві методи обчислювального інтелекту»

Спеціальна частина з охорони праці присвячується питанням аналізу умов праці в приміщенні, забезпеченню необхідними умовами працівників, вимогам освітлення, мікроклімату та іонізації у виробничих приміщеннях, заходам щодо забезпечення вимог охорони праці при експлуатації персональних комп'ютерів.

Таким чином, всі поставлені завдання були виконані в повній мірі, а мета досягнута.

Апробація результатів дослідження: Січевський С. В., Кондратенко Г. В. “Система керування пристроєм в режимі реального часу з використанням методів обчислювального інтелекту”, Інтелектуальні інформаційні системи : матеріали всеукр. наук.-практ. конф., м. Миколаїв, 9-12 лют. 2021 р. Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2021. С. 28-29.

АНОТАЦІЯ

до магістерської кваліфікаційної роботи
студента групи 601 ЧНУ ім. Петра Могили

Січевського Станіслава Вікторовича

на тему: **“СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПРИСТРОЄМ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО ІНТЕЛЕКТУ”**

Актуальність даної роботи підкріплюється умовами сучасного розвитку інформаційних технологій та робототехніки, зокрема використання в них прогресивних технологій обчислювального інтелекту.

Об’єктом дослідження є процеси керування пристроями.

Предметом дослідження є методи обчислювального інтелекту для дистанційного керування робототехнічним пристроєм в режимі реального часу.

Метою роботи є моделювання процесу дистанційного керування робототехнічним пристроєм в режимі реального часу за допомогою методів обчислювального інтелекту.

У результаті виконання даної роботи було проведено аналітичний огляд публікацій, літератури, досліджень, підходів та методів керування робототехнічними пристроями, методів обчислювального інтелекту. Було здійснено проектування компонентів системи керування та визначено перелік інформаційних технологій для розробки системи керування. Також було представлено опис і результати програмної реалізації компонентів системи керування та продемонстровано процес тренування згорткової нейронної мережі для розпізнавання образів та класифікації.

Дана робота складається з шести розділів. Розділи присвячені: аналізу предметної області, математичним моделям і методам, використаним у магістерській роботі, моделюванню і проектуванню системи керування, програмній реалізації компонентів системи керування, методичному розділу та розділу з охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Загальний обсяг роботи – 112 сторінок. Магістерська робота містить, 55 рисунків, 4 таблиці і посилання на 50 джерел.

Ключові слова: *система реального часу, система керування пристроєм, рука-маніпулятор, МОІ, розпізнавання образів та класифікація, робототехніка.*

ABSTRACT

to the master's qualification work by the student of the group 601 of Petro Mohyla Black Sea National University

Sichevskyi Stanislav

“ REAL-TIME ROBOT CONTROL SYSTEM USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS”

The relevance of this work is supported by the conditions of modern development of information technology and robotics, in particular the use of advanced technologies of computational intelligence.

The object of research is device management processes..

The subject of research is the methods of computational intelligence for remote control of a robotic device in real time.

The purpose of the work is to model the process of remote control of a robotic device in real time using the methods of computational intelligence.

As a result of this work, an analytical review of publications, literature, research, approaches and methods of control of robotic devices, methods of computational intelligence was conducted. The description and results of software implementation of the control system components were also presented and the process of convolutional neural network training for pattern recognition and classification was demonstrated.

This work consists of six sections. Sections are devoted to: analysis of the subject area, mathematical models and methods used in the master's thesis, modeling and design of the control system, software implementation of the components of the control system, methodological section and section on occupational safety and health.

The total volume of the work is 112 pages. The master's thesis contains 55 figures, 4 tables and references to 50 sources.

Keywords: *real-time system, device control system, manipulator arm, MoAI, pattern recognition and classification, robotics.*