

УДК 618.31.05

І. Р. Арсенюк, к. т. н., доц.; С. І. Перевозніков, д. т. н, проф.;
В. В. Войтко, к. т. н., доц.; В. С. Гончарук

СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ РАДІОКЕРОВАНОГО ВІЗКА ЗІ СТАТИЧНОГО ЗОБРАЖЕННЯ

У статті представлено математичну модель та алгоритм розпізнавання радіокерованого візка. На основі запропонованого алгоритму розроблено програму розпізнавання візка. Результати тестування на зображеннях візка різної якості, яскравості та з різним ступенем завад засвідчили задовільну роботу програми.

Ключові слова: радіокерований візок, структурно-інваріантний алгоритм, система розпізнавання, нейронна мережа, поліном Лагранжа.

Вступ

Сьогодні можна спостерігати бурхливий розвиток робототехніки значні досягнення в галузі створення систем штучного інтелекту. Тому актуальним є проведення досліджень пов'язаних з робототехнікою, у галузі комп'ютерного розпізнавання різних механічних об'єктів, зокрема радіокерованого візка. Таке завдання, безумовно, є актуальним для багатьох сфер діяльності людини. Наприклад, подібні системи активно розробляються у військовій сфері, тому що використання радіокерованих об'єктів є набагато безпечнішим, ніж використання людського втручання (наприклад, проведення саперних робіт). Також цей напрям досліджень успішно розвивається в галузях, де використання людської праці є дуже небезпечним для здоров'я (наприклад, хімічна і радіаційна розвідка) або взагалі неможливим (космічний та глибоководний простори з екстремальними значеннями тиску/температури). Розв'язання завдання розпізнавання передбачає обробку даних досить великого обсягу, що містяться в зображенні, тому для його розв'язання доцільно використати систему штучного інтелекту [1].

Об'єктом дослідження є радіокерований візок, який необхідно розпізнати на статичній картинці. Предметом дослідження виступає система, яка здатна виконувати розпізнавання об'єкта в процесі нормального сценарію розпізнавання (коли візок присутній на картинці повністю і якість картини достатня для розв'язання завдання розпізнавання) та в разі виникнення проблем при розпізнаванні (наприклад, коли візок присутній на картинці частково або коли картинка дуже малого розміру чи на ній багато завад). Метою роботи є розробка системи, яка ефективно розв'язує завдання розпізнавання складного об'єкта, а саме: радіокерованого візка за умови різної якості вхідного зображення.

Аналіз сучасного стану проблеми

В останні роки зріс інтерес до дослідження й побудови систем автоматичного розпізнавання образів та машинного навчання. Прикладів таких систем досить багато. Наприклад, були отримані успішні результати створення пристроїв і програм читання надрукованих символів, в цих програмах розв'язується задача розпізнавання символів, обробки електрокардіограм, розпізнавання мови, відбитків пальців та інтерпретації фотознімків. Як інші приклади можна навести програми, що розпізнають символи рукописного вводу, класифікують сейсмічну активність, знаходять ворожі об'єкти, виконують прогнозування погоди тощо [1]. Наведемо приклади систем, що можуть бути використані для розв'язання завдання розпізнавання радіокерованого візка.

– Автоматична класифікація даних, отриманих дистанційно [2].

Порівняно недавно в Сполучених Штатах Америки виник інтерес до стану навколишнього

середовища та природних ресурсів, який призвів до написання ряду додатків розпізнавання образів. Найбільшу увагу серед них привертає автоматична класифікація даних, отриманих дистанційно. Оскільки обсяг даних, які отримують від багатодіапазонних спектральних портативних пристроїв, встановлених на літаках, супутниках і космічних станціях, надзвичайно великий, виникла необхідність звернутися до автоматичних засобів обробки та аналізу цієї інформації. Дистанційний збір даних використовується під час розв'язання різних завдань. Серед галузей, де є особлива зацікавленість, можна відзначити, наприклад, землекористування, виявлення захворювань сільськогосподарських культур, лісове господарство, контроль якості повітря і води, геологічні та географічні дослідження, прогнозування погоди й багато інших завдань, пов'язаних з охороною навколишнього середовища [2].

– Середовище розробки систем машинного зору National Instruments Vision Development Module (NI Vision DM) [3].

Середовище NI Vision DM (версія 8.5) призначено для інженерів і вчених, які використовують технології технічного зору в промислових і наукових завданнях. Модуль містить у собі інтерактивну оболонку NI Vision Assistant, призначену для розробки прототипів додатків без програмування й потужну бібліотеку з більш ніж 200 функціями обробки зображень IMAQ Vision [3].

Можливість спільного використання NI Vision Assistant та IMAQ Vision дозволяє скоротити терміни створення систем машинного зору, оскільки NI Vision Assistant може здійснювати автоматичну генерацію кодів у Lab VIEW, C/C++ та Visual Basic з тією ж послідовністю операцій, що використовувалася під час роботи в NI Vision Assistant. Тут з'являється можливість інтегрувати діаграму відеозбирання в промислову систему вимірювань і автоматизації, що, крім цього, може містити в собі керування рухом, вимірювальними приладами або пристроями введення/виведення сигналів.

Це середовище є досить потужним та універсальним, проте воно має дещо незручний інтерфейс, в якому важко налаштовувати деталі роботи системи та додавати в систему власні алгоритми розпізнавання.

– Програмний комплекс Ident Smart Studio предметно незалежного розпізнавання графічних об'єктів [4].

Ще одним потужним програмним продуктом, розробленим для розв'язання подібних завдань є система розпізнавання складних об'єктів Ident Smart Studio [4], в якій розроблено програмний модуль розпізнавання Pattern Searcher. Ця система призначена для розпізнавання широкого класу об'єктів, серед яких і біологічні об'єкти і живі тварини. Вона може бути адаптована та налаштована користувачем на розпізнавання потрібного класу об'єктів, що свідчить про універсальність використання цього програмного продукту. Однак про цю систему було опубліковано лише загальну інформацію та надано можливість вільного копіювання демонстраційної версії модуля розпізнавання Pattern Searcher 1.0 Demo [4], який реалізує лише мінімум можливостей її роботи на одному прикладі об'єкта розпізнавання і не придатний для розпізнавання широкого класу об'єктів.

Стислий огляд основних методів розпізнавання зображень

Сучасний етап розвитку обчислювальної техніки відзначається інтенсивним пошуком нових принципів обробки інформації, що зумовлено вимогами високої продуктивності систем, а також їхньої гнучкості та надійності.

Під час роботи із зображеннями слід розв'язати завдання, які виникають у зв'язку з трьома основними проблемами: опис (моделювання) зображення; розробка та вибір математичних засобів обробки й аналізу зображень; апаратна реалізація математичних методів роботи із зображеннями. Тому на сучасному етапі можна виділити такі основні методи розпізнавання:

– лінгвістичні методи;

- евристичні методи;
- математичні методи.

Лінгвістичний (синтаксичний) метод. Якщо опис образів здійснюється за допомогою підобразів та їх співвідношень, то для конструювання системи розпізнавання використовують лінгвістичний, або синтаксичний, підхід з використанням принципу схожості властивостей. Образи, які належать одному й тому ж класу, мають ряд загальних властивостей або ознак, які відображають схожість таких образів. Ці загальні властивості можна частково ввести в пам'ять системи розпізнавання. Коли системі надати неklasифікований образ, то вибирається набір певних ознак, які потім порівнюються з ознаками, закладеними в пам'яті системи розпізнавання. При використанні цього методу основне завдання полягає у виділенні таких загальних властивостей об'єктів розпізнавання для їхньої подальшої класифікації. Часто вибір таких властивостей залежить від розробника системи розпізнавання, а також від предметної галузі, де буде використовуватися ця система розпізнавання.

Математичний метод. В основу математичного методу покладено правила класифікації, які формулюються й виводяться в рамках визначеного математичного формалізму за допомогою принципів загальності властивостей і кластеризації. Коли образи певного класу представляють собою вектори, компонентами яких є дійсні числа, то цей клас можна розглядати як кластер. Побудова системи розпізнавання, яка базується на реалізації цього принципу, визначається просторовим розміщенням окремих кластерів. Якщо кластери, котрі належать різним класам, рознесено далеко один від одного, то можна користуватися простими схемами розпізнавання, наприклад, класифікацією за принципом мінімальної відстані.

Евристичний аналіз. Основа евристичного аналізу – інтуїція й досвід людини. У цьому аналізі використовуються принципи перерахування членів класу й загальні властивості. Зазвичай системи, побудовані за такими методами, містять набір специфічних процедур, розроблених для конкретних завдань розпізнавання. Це означає, що структура і якість евристичної системи значною мірою визначається навичками і досвідом роботи тих, хто її розробляє.

Аналіз методів розв'язання поставленого завдання

Під час розробки системи розпізнавання потрібно проаналізувати відомі методи і способи, які можна використати для розв'язання цього завдання та обрати найраціональніший з них. Такими є структурно-інваріантний метод і спосіб розпізнавання на основі нейронної мережі.

Таким чином розглянемо структурно-інваріантний метод для побудови формального опису й обробки даних, розпізнавання складних зображень, де загальною властивістю об'єктів розпізнавання є колір.

Структурно-інваріантні алгоритми призначені для побудови формального опису однозв'язних об'єктів на основі аналізу інформації про взаємне розташування на контурі точок локального екстремуму кривизни та класифікації таким чином утворених описів [5]

Алгоритм будує систему ознак досліджуваного об'єкта на основі знаходження спеціальних точок – полюсів при інтерполяції контура. Контур представляється за допомогою параметричних функцій $x(t) = x_b$, $y(t) = y_b$, $t = 1, \dots, N$, де N – кількість точок контура. Для обчислення значень полюсів використовується параметричне представлення інтерполяційного полінома третього степеня у формі Лагранжа. Для функцій $x(t)$ та $y(t)$ цей поліном має вигляд:

$$P_{iii} = -\frac{(t_2 - t_1)^2}{(t_2 - t_0)(t_1 - t_0)} P_{000} + \frac{(t_2 - t_0)^2}{(t_2 - t_1)(t_1 - t_0)} P_{111} - \frac{(t_1 - t_0)^2}{(t_2 - t_1)(t_2 - t_0)} P_{222}, \quad (1)$$

де P_{iii} – значення полюса; P_{000} , P_{111} , P_{222} – значення у вузлових точках інтерполяції; t_i –

елементи неспадної послідовності, сформованої з координат вузлових точок.

Полюси P_{III} розташовуються близько від геометричного об'єкта, і довільна лінійна зміна параметра t не впливає на геометричне розташування полюсів.

$$t = aT + b, \quad (2)$$

де $a, b \in R$ (R – область знаходження об'єкта), T – період дискретизації. Така заміна означає композицію перетворення переносу та перетворення подібності. Отже, величини відстаней полюсів до кривих $x(t)$ та $y(t)$ можна використати як опис об'єкта.

Для того, щоб визначити вид кожної частини контура розглядаються рівняння дотичних, проведених у точках локальних екстремумів (ТЛЕ). Якщо для проведених дотичних виконується умова

$$|k_1 - k_2| \leq \left| k - \frac{|k_1 + k_2|}{2} \right|, \quad (3)$$

де k, k_1, k_2 – відповідно кутові коефіцієнти прямої, проведеної через ТЛЕ, і дотичних, проведених у цих точках, то приймається, що відповідна частина контура – відрізок прямої. Якщо ж така умова не виконується, то знаходиться точка перетину нормалей до дотичних (r_1), проведених у ТЛЕ, і відстані від цієї точки до ТЛЕ (r_2). У випадку, коли для величин цих відстаней виконується умова

$$|r_1 - r_2| \leq \frac{\max(r_1, r_2)}{|r_1 - r_2|}, \quad (4)$$

де r_1, r_2 – обчислені величини, приймаємо, що частина контура – дуга кола, у протилежному випадку частина контура – дуга еліпса.

У кожному випадку частині контура ставиться у відповідність символ: l – якщо частина контура – відрізок прямої, c – якщо частина контура – дуга кола, e – якщо частина контура – дуга еліпса.

Доказано, що така система ознак володіє інваріантними властивостями при афінних перетвореннях об'єкта [5].

Для класифікації об'єктів значення кожної функції вхідного об'єкта порівнюються із значеннями відповідної функції представника класу. За критерій береться мінімум середньоквадратичної похибки. Якщо величина похибки набуває мінімального значення при порівнянні із представником класу, то вважаємо, що вхідний об'єкт належить до того ж класу, що й представник. Таке застосування критерію мінімуму середньоквадратичної похибки можливе завдяки властивості періодичності функцій: коли функція повторює свої значення через деякий ненульовий період, тобто не змінює свого значення при додаванні до аргументу фіксованого ненульового числа (періоду).

Розглянемо використання нейромережевих технологій для розв'язання завдання розпізнавання. Великий крок у розвитку нейрокібернетики зробив нейрофізіолог Френк Розенблат, який запропонував модель машини, що розпізнає, і назвав її "Перцептрон" (від латинського *perceptio* – розумію, пізнаю). Під час розробки цієї машини він виходив з деяких прийнятих уявлень про структуру мозку та зорового апарата. Прагнучи відтворити функції людського мозку, Френк Розенблат використав просту модель біологічного нейрона й систему зв'язків між ними [6].

Сприймаючим пристроєм перцептрона слугує фотоелектрична модель сітківки – поле рецепторів, що складається з декількох сотень фотоопорів (S -елементів). Кожен елемент поля рецепторів може перебувати у двох станах – збудженому або незбудженому, залежно від того, падає чи ні на відповідний фотоопір контур проекрованої на поле фігури. На виході кожного елемента з'являється сигнал x_i ($i = 1, 2, \dots, n$, де n – число елементів), який дорівнює одиниці, якщо елемент збуджений, і нулю – у протилежному випадку (рис. 1). Наступним

щаблем перцептрона є асоціативні елементи, або A -елементи, кожен з яких має кілька входів та один вихід. При підготовці перцептрона до експерименту до входів A -елемента підключаються виходи рецепторів, причому підключення кожного з них може бути зроблене зі знаком плюс або мінус. Вибір рецепторів, що підключають до цього A -елемента, як і вибір знака підключення, виконується випадково. У ході експерименту зв'язок рецепторів з A -елементами залишається незмінним. A -елементи виконують алгебраїчне підсумовування сигналів, що надійшли на їхні входи, і отриману суму порівнюють із однаковою для всіх A -елементів величиною [4].

Однак використання нейронних мереж для задач розпізнавання також не завжди є оптимальним, оскільки цей спосіб має і ряд недоліків. Наприклад, не завжди існує така комбінація вагових коефіцієнтів, за якої наявну множину образів буде

вдало розпізнано; відсутність можливості, за якою можна визначити, скільки часу знадобиться для навчання нейромережі; схильність мережі до хибних реакцій на вхідний сигнал; низька ефективність під час перенавчання, коли необхідно ввести нові дані, не знищуючи інформації, яка збережена раніше. Усі ці недоліки є суттєвими й значно ускладнюють процес побудови ефективної системи розпізнавання.

Алгоритм розпізнавання, заснований на методі лінгвістичного розпізнавання, де спільною ознакою об'єктів розпізнавання виступає колір, є найпростішим і швидкісним, проте він не забезпечує достатньої точності розпізнавання, оскільки має ряд недоліків. Одним із найбільших серед таких недоліків є те, що алгоритм може виявитися зовсім неефективним при зміні яскравості картинки, або у разі появи на ній світлових відблисків. Тому цей алгоритм у процесі розпізнавання пропонується застосовувати в комбінації з структурно-інваріантним, оскільки це підвищить точність розпізнавання. Отже, під час розпізнавання візка з'являється можливість використовувати комбінований алгоритм, що складається зі структурно-інваріантного алгоритму, який буде виконувати розпізнавання форми радіокерованого візка, та алгоритму, заснований на методі лінгвістичного розпізнавання. Це підвищить точність та швидкість системи розпізнавання, а також її завадостійкість.

Загальний алгоритм роботи системи розпізнавання

Розробимо загальний алгоритм роботи системи розпізнавання. На вхід алгоритму подається масив даних, у якому записано усі властивості кожного пікселя зображення. Далі масив послідовно обробляється (попіксельно: від першого до останнього; так само як промінь електронів пробігає по екрану телевізора), під час перевірки кожного пікселя перевіряються його властивості згідно з логічними правилами алгоритму. Якщо точка зовсім не відповідає за властивостями тій, яку потрібно розпізнати, то відповідний піксель надалі не обробляється й алгоритм починає розглядати не сусідню точку, а точку, яка розташована на певній відстані від цього пікселя. Такий метод, як показали дослідження, дозволяє підвищити швидкість алгоритму до 40%. Якщо знайдено точку, яка відповідає за властивостями тій, яку потрібно розпізнати, то алгоритм починає проглядати сусідні точки, і якщо їхні властивості задовольняють умову розпізнавання, то ця область вважається розпізнаною (наприклад, розпізнано передню частину візка), і алгоритм продовжує свою роботу доти, поки не буде знайдено координати передньої та задньої частини візка, а також поки не буде визначено його орієнтацію на картинці. Якщо алгоритм, що заснований на методі лінгвістичного розпізнавання, розпізнав візок не повністю або виявилися додаткові складності при розпізнаванні (наприклад, на картинці присутні декілька візків), то виконується алгоритм, що працює за структурно-інваріантним методом. Цей алгоритм

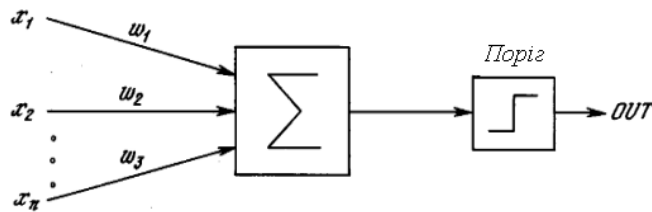


Рис. 1. Перцептронний нейрон

працює дещо повільніше, проте він уже працює не з усією картинкою, а з даними, отриманими під час роботи лінгвістичного алгоритму. Результатом роботи алгоритму є координати місцезнаходження візка та його орієнтація або повідомлення про неможливість розпізнавання візка.

Враховуючи вищезазначені міркування стосовно основних принципів роботи алгоритму розпізнавання радіокерованого візка, отримаємо схему, наведену на рис. 2.

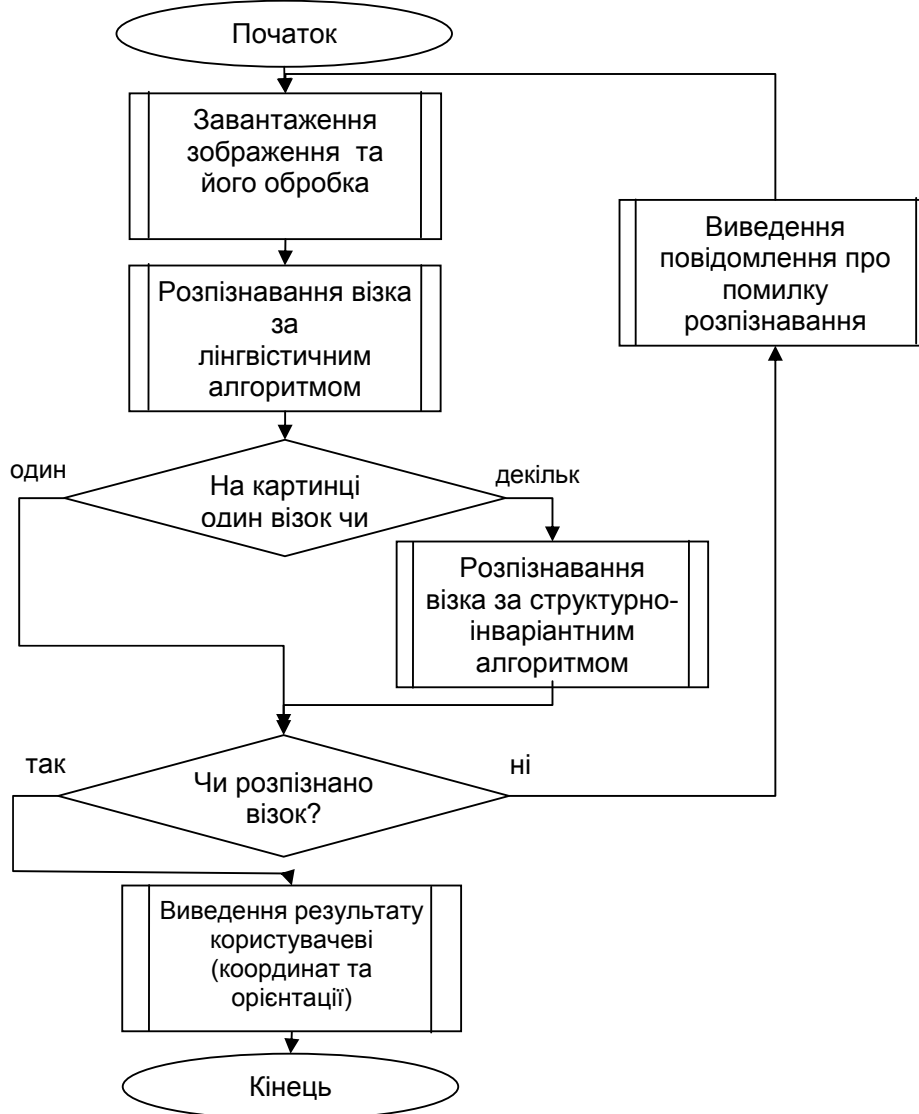


Рис. 2. Алгоритм роботи основного програмного модуля системи

Аналіз результатів тестування програми

На основі запропонованого вище алгоритму розпізнавання розроблено програмний продукт, який досить ефективно вирішує завдання розпізнавання радіокерованого візка на статичній картинці. Результати роботи програми наведено нижче.

Було протестовано 30 зображень, з яких лише 3 не було розпізнано. Наводити їх усіх немає сенсу, оскільки серед них багато аналогічних, тому наведемо лише три приклади зображень, які характерні для таких класів зображень, як якісні, яскраві та неякісні (дуже темні).

Так, на рис. 3 показано, що об'єкт розпізнавання видно чітко, і тому його було розпізнано правильно й швидко (час розпізнавання склав склав менше 40 мс, координати: (686; 762); (1124; 1100), орієнтація – 48°).

У випадку надмірної яскравості зображення та наявності на об'єкті великої кількості відблисків, лінгвістичний алгоритм дещо неправильно розпізнав одну з координат, тому тут ще застосовувався структурно-інваріантний алгоритм, у результаті чого швидкодія системи зменшилась, і візок був розпізнаний уже за 150 мс (рис. 4), координати: (1156; 413); (1218; 885), орієнтація 2^0 .

У випадку, коли картинка дуже неякісна й візка майже не видно (рис. 5), програма аналізувала картинку протягом 100 мс, але, не знайшовши об'єкт розпізнавання, припинила роботу й вивела повідомлення про помилку. Для того, щоб розпізнавати такі неякісні картини, потрібно їх обробляти спеціальними програмними фільтрами перед розпізнаванням, але тоді час розпізнавання значно зростає.



Рис. 3. Вигляд вікна програми з результатом розпізнавання

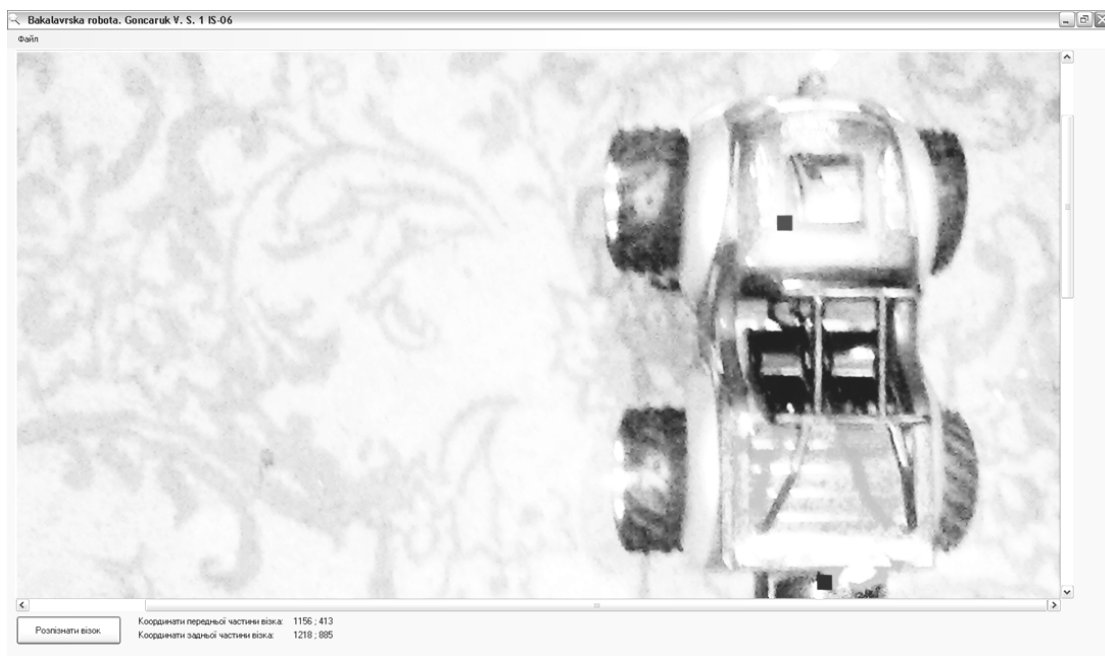


Рис. 4. Вигляд вікна програми при неточному розпізнаванні



Рис. 5. Вигляд вікна програми у випадку неможливості розпізнати візок

Висновки

У статті досліджено основні підходи щодо розробки системи розпізнавання радіокерованого візка на статичному зображенні. Здійснено порівняння різних методів розпізнавання, яке засвідчило доцільність використання комбінованого алгоритму розпізнавання, який застосовує лінгвістичний і структурно-інваріантний методи, що дозволяє підвищити швидкодію та точність розпізнавання.

Запропоновано схему загального алгоритму роботи програми розпізнавання радіокерованого візка. Основним недоліком цієї системи є недостатня універсальність розпізнавання, яку можна поліпшити, застосовуючи більш універсальний метод розпізнавання. Це дозволить розширити працездатність системи і в інших предметних галузях, а також зменшити прив'язаність програми до конкретного об'єкта розпізнавання.

Розроблено програмний продукт, який розпізнає радіокерований візок зі статичного зображення. Під час випробування роботи програми було протестовано тридцять картинок візка, з яких було правильно розпізнано двадцять сім зображень. Три картини, які програма не розпізнала були дуже неякісними й містили багато завад, які призвели до того, що алгоритм розпізнавання виявився неефективним у цих випадках. В усіх інших випадках програма коректно та швидко розпізнала радіокерований візок.

Надалі передбачається розширення можливостей розробленого програмного комплексу в напрямі розпізнавання рухомих зображень у режимі реального часу, де буде розпізнаватися не статична картинка, а динамічне відео, що дозволить використати цю програму як модуль до комплексної системи керування радіокерованими об'єктами в реальному режимі часу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Люгер Д. Ф. Искусственный интеллект. Стратегии и методы решения сложных проблем/ Д. Ф. Люгер – М.: Вильямс, 2005. – 864 с.
2. Ту Дж. Принципы распознавания образов / Ту Дж., Гонсалес Р. – М.: Мир, 1988. – 401 с.
3. National Instruments Announces NI Vision Development Module 8.5 Инструментарий для создания систем машинного зрения [Електронний ресурс] / National Instruments// Режим доступу: <http://industrial-embedded.com/national-module-8-5>
4. Проект Ident Smart Studio, материалы [Електронний ресурс] / Мальчевский С. А. // Режим доступу: http://iss.norcity.ru/download_get_file.php?id=17
5. Косаревич Р. Я. Структурно-инвариантные алгоритмы опису та розпізнавання зображень: дис. канд. техн. Науківі праці ВНТУ, 2010, № 3

наук: 05.13.06 / Косаревич Р. Я. – Львів, 1999. – 150 с.

6. Круглов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В. В. Круглов, В. В. Борисов. – Горячая линия-Телеком, 2002. – 382 с.

Арсенюк Ігор Ростиславович – к. т. н., доцент кафедри комп'ютерних наук.

Перевозніков Сергій Іванович – д. т. н., професор, завідувач кафедри комп'ютерних наук.

Войтко Вікторія Володимирівна – к. т. н., доцент кафедри програмного забезпечення, декан факультету комп'ютерного інтелекту.

Гончарук Владислав Сергійович – студент кафедри комп'ютерних наук.
Вінницький національний технічний університет.