

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ДО ВИЯВЛЕННЯ І ЛОКАЛІЗАЦІЇ ДОРОЖНІХ ЗНАКІВ

У статті розглянуті варіанти реалізації системи розпізнавання дорожніх знаків для транспортних засобів. Перераховано основні недоліки існуючих комерційних систем та запропоновано реалізацію на основі мобільних пристроїв.

Провівши аналіз існуючих методів і алгоритмів розпізнавання об'єктів, було виявлено, що для вирішення задачі розпізнавання дорожніх знаків ефективним варіантом буде використання штучних нейронних мереж. Таку нейронну мережу можна використовувати не тільки для виявлення дорожнього знака на зображенні, але і для його ідентифікації. З цими двома задачами згортаюча нейронна мережа здатна досить ефективно впоратись.

Ключові слова: інтелектуальний автомобіль, система розпізнавання дорожніх знаків, нейронні мережі.

Вступ. Щорічно кількість автомобілів на дорогах невідомо зростає. У свою чергу це призводить до збільшення кількості дорожньо-транспортних пригод. Тому гостро стоїть питання безпеки дорожнього руху. Як відомо, у переважній більшості випадків, вирішальну роль відіграє так званий "людський фактор". Часто трапляється так, що водій не може зреагувати на пішохода, який раптово з'явився на дорозі, через те що перед ним він пропустив попереджувальний знак. Тому для вирішення цієї проблеми виробники автомобілів намагаються якомога більше комп'ютеризувати процес керування автомобілем. Впроваджуються різноманітні спеціалізовані комп'ютерні системи, завданням яких є допомога водієві. Однією з таких систем є система розпізнавання дорожніх знаків. Дані системи мають в своєму активі багато відомих автовиробників - Audi, BMW, Ford, Mercedes-Benz, Opel, Volkswagen. Проте більшість із цих систем мають ряд недоліків. До таких недоліків варто віднести те, що деякі з цих систем можуть розпізнавати лише знаки обмеження швидкісного режиму. Також вони не є універсальними, тобто встановлюються компаніями лише у автомобілі власного виробництва і не сумісні з автомобілями інших марок. Висока вартість і закритість цих систем також не можна занести їм в актив. Тому актуальним залишається питання доступних і універсальних систем розпізнавання дорожніх знаків.

У перспективі подібні системи можуть бути використані в повністю автоматизованих безпілотних автомобілях. В даний час тестування таких автомобілів йде повним ходом. Вже у найближчому майбутньому слід очікувати появу безпілотних автомобілів на дорогах. Тому питання про якість систем, що будуть слідкувати за дотриманням правил дорожнього руху є вкрай актуальним.

Постановка задачі. На перший погляд алгоритм за яким функціонують системи розпізнавання дорожніх знаків простий: відеокамера охоплює частину дороги, де можуть розташовуватись дорожні знаки; дані передаються інформаційній системі, яка здійснює пошук і ідентифікацію дорожнього знаку. Існує декілька методів для вирішення задачі розпізнавання дорожніх знаків, які опираються на такі підходи, як порівняння з шаблоном, еластичні еталони порівняння, використання нейронних мереж [1] та інші. Дорожні знаки зроблені так, щоб бути помітними і такими, що легко читаються. Це робить їх хорошим об'єктом для розпізнавання. Проте при вирішенні задачі виявлення і розпізнавання дорожнього знаку доводиться мати справу із рядом проблем. Це і не сприятливі погодні умови (дощ, сніг, туман), і освітлення. Також часто трапляється, що знак пошкоджений, або ж його частково може перекривати інший об'єкт. У зв'язку з цим, важливим є вибір ефективного методу, який би давав позитивний результат у різноманітних екстремальних умовах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Узагальнена структурна схема усіх існуючих наразі систем ідентифікації дорожніх знаків практично однакова і включає відеокамеру, операційний блок і екран. Операційний блок реалізується на певному мікроконтролері, що виконує всі обчислювальні операції пов'язані з розпізнаванням дорожніх знаків на вхідному зображенні з камери. При ідентифікації знаку інформація виводиться на екран і може супроводжуватись звуковим сигналом.

Описаний вище тип системи як правило є в наявності лише в автомобілях преміум-класу (BMW 5-ї, 6-ї, 7-ї серії, Mercedes E класу і вище, Opel Insignia). Навіть для таких авто дана система представлена в якості дорогої опції в комплекті з навігаційною системою. Це інтегровані системи, вартість яких становить 1000 - 4000 євро. Портативним приладом, який володіє функцією розпізнавання дорожніх знаків, є автомобільний навігатор Vlaupunkt TravelPilot 700 (вартість 600-700 євро). Як бачимо, інтелектуальні системи допомоги водієві є досить дорогими. І це теж є проблемою, що заважає масовому впровадженню таких систем. Таким чином виникає питання: як зробити системи розпізнавання дорожніх знаків доступнішими? Враховуючи стрімкий розвиток мобільних пристроїв, а також збільшення їх продуктивності, можна зробити висновок, що найоптимальнішим на сьогоднішній день варіантом є реалізація системи на базі мобільних пристроїв. Відсоток користувачів смартфонів серед водіїв досить великий. Їх часто використовують в якості навігаторів. Технічні характеристики сучасних мобільних пристроїв дозволяють вирішувати ті задачі, що стоять перед системами забезпечення безпеки дорожнього руху.

Принцип реалізації даного підходу наступний: мобільний пристрій за допомогою автомобільного тримача закріплюється на лобовому склі автомобіля. Використовуючи вбудовану в мобільний пристрій камеру, програма в режимі реального часу отримує знімки дороги, що являють собою кадри відеоряду. На кожному кадрі програма намагається виявити дорожні знаки. Вразі виявлення знака, на екран мобільного пристрою виводиться повідомлення, що може супроводжуватись звуковим сигналом. Крім того така програма може працювати в фоновому режимі. Тобто на мобільному пристрої можуть бути відкриті Google карти або ж будь який інший додаток, а повідомлення про дорожні знаки будуть з'являтися поверх відкритих додатків. Прикладом такої програм є RoadAR. Проте даний програмний продукт здатен розпізнати лише деякі дорожні знаки.

Для реалізації такої програмної системи на мобільних пристроях існують оптимізовані бібліотеки технічного зору, такі як OpenCV і FastCV.

Головною перевагою системи розпізнавання дорожніх знаків на базі мобільних пристроїв перед аналогами є відсутність для користувачів необхідності в придбанні спеціального дорогого технічного пристрою для виконання необхідних функцій, а також можливість використання у будь-якому автомобілі. Тобто це допоможе вирішити проблему доступності відповідних систем.

Не менш важливим залишається вибір метода розпізнавання дорожніх знаків. Під час дорожнього руху швидкість детектування знака і якість розпізнавання відіграватимуть вирішальну роль. І навіть найменша неточність може призвести до фатальних наслідків.

Не зважаючи на значне просування світових виробників в області створення інтелектуальних систем забезпечення безпеки дорожнього руху, в плані функцій розпізнавання дорожніх знаків результати залишаються незначними. Як вже було згадано вище, найбільш відомі системи здатні розрізняти лише невеликий набір знаків обмеження швидкості. Пов'язане це, мабуть, з тим, що збільшення кількості знаків, що розпізнаються, призводить до значних обчислювальних затрат, що, в свою чергу, збільшують час реакції системи. А це є не прийнятним з точки зору оперативності.

Численні експериментальні перевірки показують, що переважна більшість помилок пов'язані з невірним детектуванням об'єктів. Наприклад, замість дорожнього знака система може виявити рекламний щит або інші схожі об'єкти. Тому проблема детектування об'єктів на зображеннях зі складним фоном є головною при розробці систем технічного зору.

На даний час відомі щонайменше три підходи до виявлення і локалізації дорожніх знаків: виявлення з використанням інформації про колір, виявлення на основі інформації про геометричну форму і методи, які використовують і колір, і форму.

Колір знаків дозволяє відрізнити їх на фоні навколишньої дорожньої обстановки. Зокрема, для виявлення знаків використовують кольорову фільтрацію в просторі RGB [2]. В інших випадках застосовується простір HSI чи HSV.

Ще одним варіантом є метод детектування дорожніх знаків з використанням кольорового представлення зображення в просторі HSI. Відтінок (H - складова) кожного пікселя порівнюється з еталонним відтінком. За допомогою граничних значень на зображенні виділяються контури дорожніх знаків.

Також застосовуються методи з використанням граничної функції для детектування об'єктів. Основою метода є розрахунок відстані в просторі RGB між кольором пікселя та еталонного кольору. Піксель вважається частиною об'єкта, якщо ця відстань достатньо мала.

Підходи до виявлення знаків на основі кольорової фільтрації не вимогливі до обчислювальних ресурсів. Проте точність таких підходів не достатньо висока.

Характерні недоліки для даного методу:

- виникнення проблем при поганих погодних умовах (дощ, сніг, туман);
- більшість алгоритмів не справляються з виявленням дорожніх знаків при недостатньому освітленні;
- методи виявляються не ефективними в ситуаціях, коли частина знака знаходиться в тіні, а інша частина яскраво освітлена.

Обчислювальні потужності сучасних систем дозволяють використовувати більш складні алгоритми детектування об'єктів в реальному часі. Вони використовують інформацію про форму об'єкта [3].

Для аналізу форми на етапі детектування використовуються методи виділення контурів, такі як метод Канні чи перетворення Хафа [4]. Аналізується площа і положення об'єкта, який імовірно є знаком.

Один із алгоритмів базується на обчисленні тангенса нахилу дотичної до об'єкта. Оскільки форма знаку може бути одного з трьох варіантів - круг, прямокутник чи трикутник, то такий метод дозволить виявити форму знака навіть при великому шумі.

В деяких працях автори запропонували метод детектування на основі тільки яскравості пікселів. Об'єкт виділяється на фоні за допомогою лапласіана після застосування розмиваючого фільтра. Для отримання бінарного зображення використовується визначений поріг, а безпосередньо детектування відбувається за допомогою генетичних алгоритмів з використанням завчасно відомих шаблонів округлостей.

Інформація про форму знака в багатьох алгоритмах детектування враховується у вигляді деякого набору ознак, що розраховуються по зображенню. Для формування набору ознак використовуються різні підходи. Одним з найперспективніших можна вважати алгоритм масштабно-інваріантних перетворень ознак (Scale Invariant Feature Transformation - SIFT), запропонований в 2004 році Лоуном. Часто на практиці використовуються різні модифікації даного алгоритму. Алгоритм володіє рядом характеристик, які дуже важливі для процедур автоматичного відбору ознак. Отримані ознаки є інваріантними до змін в освітленні, шуму на зображенні, повороту, масштабуванню. Ці характеристики цілком задовольняють вимоги до задач розпізнавання дорожніх знаків. Алгоритм включає наступні послідовності: виявлення екстремуму в просторі масштабних перетворень, локалізація ключових точок, встановлення правильної орієнтації зображення і генерація ознак.

Для базового алгоритму SIFT при визначенні зразка, який відповідає зображенню знака, що розглядається, використовується евклідова відстань в просторі векторів ознак. Таким чином, вибирається той зразок, до якого поточне зображення знака виявилось ближче. Але такий метод має ряд недоліків при великій кількості зразків і високій розмірності простору ознак.

Окрім алгоритму SIFT існують інші підходи до автоматизованої генерації наборів ознак. Один із них ґрунтується на використанні коефіцієнтів вейвлет-перетворень Хаара в якості ознак. Для класифікації використовується алгоритм AdaBoost. Основна ідея цього алгоритму навчання полягає в тому, що кожен наступний класифікатор навчається по тим векторам, які були невірні класифіковані попереднім класифікатором.

Методи детектування знаків на основі інформації про форму вимагають високих обчислювальних витрат і в деяких випадках можуть не справлятися з поставленим завданням в режимі реального часу.

Основні недоліки даного підходу:

- об'єкти, що мають геометричну форму, подібну до форми дорожнього знака (рекламні щити, вікна і т. д.), теж будуть детектовані;

- дорожні знаки можуть бути пропущені при їх незначних пошкодженнях, перекритті іншими об'єктами;

- детектування і розпізнавання суттєво ускладнює той факт, що автомобіль рухається відносно дорожнього знака, з чого випливає що масштаби поточного зображення і еталона можуть відрізнитись.

Також застосовуються методи, що використовують інформацію про колір і форму одночасно. Прикладом є методи, коли використовується відтінок і насиченість з кольорового простору HSL. Динамічні пороги використовуються для гістограм відтінку і насиченості. Кінцеві бінарні зображення отримуються за допомогою логічного складання значень відтінку і насиченості. Кінцеве бінарне зображення отримується за допомогою логічного складання значення відтінку і насиченості. Пікселі бінарного зображення розподіляються в 7 типів в залежності від цільового пікселя і його сусіда. Ці типи-шаблони використовуються для детектування форми дорожнього знака.

Існує метод в якому детектування будується по декільком кадрам. Система виявляє знак-кандидат і відслідковує його протягом кількох кадрів за допомогою алгоритмів, що схожі на аналіз оптичного потоку. Якщо для об'єкта на кількох кадрах обмеження не порушуються, то кандидат проходить на етап розпізнавання. Така процедура відслідковування знака-кандидата може бути реалізована використовуючи фільтр Калмана. Якщо вважати, що на короткому інтервалі часу знак наближається до камери з постійною швидкістю, то можна передбачити положення знака на кадрі. Таким чином можна скоротити витрати на аналіз областей на кадрі які не містять знака.

Ще одним варіантом для розпізнавання форми і кольору знака є використання простої нейронної мережі. Початкові кольорові зображення спочатку обробляються лапласіаном фільтра Гауса. Потім для сегментації по кольору, а тоді по формі об'єктів використовуються спеціально навчені нейронні мережі. При вдалому детектуванні знака для розпізнавання застосовується співставлення шаблонів.

Виходячи з вище сказаного, можна очікувати, що використання комбінованої інформації про колір і форму може дати суттєве покращення якості і надійності детектування дорожніх знаків.

Із наведеного короткого огляду випливає, що в існуючих підходах задачі детектування і розпізнавання нерозривно пов'язані. Тому ставиться питання про метод, який би забезпечував розпізнавання дорожнього знака без явного попереднього детектування.

В системах автомобільної безпеки для розпізнавання дорожніх знаків часто використовуються нейронні мережі у вигляді багат шарового перцептрона. Перевагами такого підходу є те, що не потрібно попереднього формування векторів ознак. В якості навчальної множини для нейронної мережі використовується безпосередньо зображення знаків.

Так як основні затрати часу потрібні для навчання нейронної мережі, що відбувається на попередньому етапі, то на етапі розпізнавання витрачається мінімум часу.

Головним недоліком нейромережевого підходу є непередбачуваність результатів і велика варіативність помилки розпізнавання.

Серед інших методів розпізнавання дорожніх знаків слід відмітити метод співставлення шаблонів. Даний метод ефективно зарекомендував себе за рахунок своєї простоти і швидкості роботи. При використанні цього методу неодмінною вимогою є необхідність точного виділення внутрішньої області знайденого дорожнього знака для співставлення з еталонним зображенням.

Таким чином, етап детектування знака, в явному чи неявному вигляді, присутній у всіх існуючих підходах. Тому завданням є не уникнення цього етапу, а максимальне покращення точності, швидкості і надійності.

Проаналізувавши існуючі методи розпізнавання дорожніх знаків, можна сказати, що доцільним є використання штучних нейронних мереж. Однак класичні ШНМ чутливі до різного роду спотворень зображення. До того ж зображення складаються з великої кількості пікселів, у зв'язку з чим збільшується розмір ШНМ, кількість шарів, нейронів і все це призводить до громіздкої структури, збільшення часу роботи. Тому кращим варіантом буде використання згортаючих нейронних мереж [5]-[6]. Вони достатньо інваріантні до різного роду спотворення вхідного сигналу.

Структура згортаючих нейронних мереж включає в себе чергування згортаючих і субдискретизуючих шарів, і наявність повнозв'язних шарів на виході.

Для виділення дорожнього знака на зображенні можна використати згортаючу нейронну мережу з одним нейроном у вхідному шарі, який буде приймати значення в інтервалі $[-1; +1]$, що відповідно означає наявність чи відсутність дорожнього знака на зображенні.

На рисунку 1 представлена структура згортаючої нейронної мережі для виявлення дорожніх знаків на зображенні.

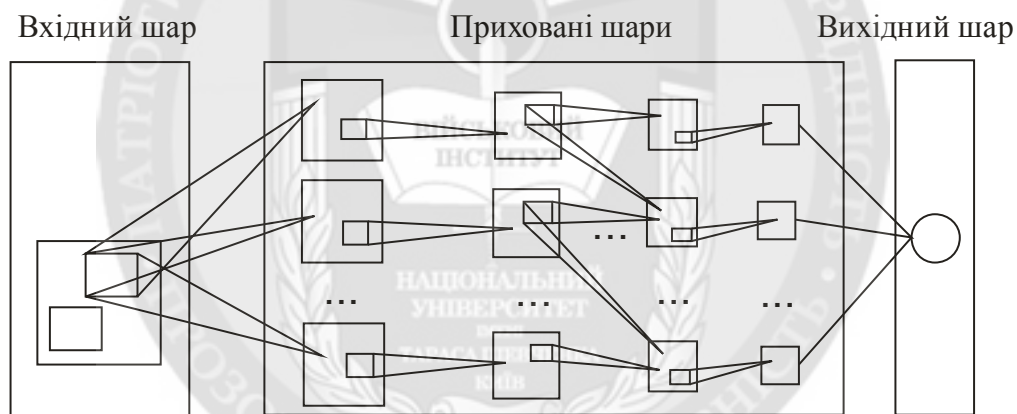


Рис. 1. Структура згортаючої нейронної мережі для виявлення дорожніх знаків

Згортаючі шари такої нейронної мережі функціонують за формулою:

$$y_k^{(i,j)} = b_k + \sum_{s=1}^K \sum_{t=1}^K w_{k,s,t} x^{((i-1)+s, (j+t))}$$

Субдискретизуючі шари функціонують за формулою:

$$y_k^{(i,j)} = b_k + \frac{1}{4} w_k \sum_{s=1}^2 \sum_{t=1}^2 w_{k,s,t} x^{((i,j)+s, (j+t))}$$

Для навчання мережі використовується алгоритм зворотнього поширення помилки:

$$w_{i,j}(t+1) = w_{i,j}(t) + \eta \delta_{pi} o_{pj}$$

Таку нейронну мережу можна використовувати не тільки для виявлення дорожнього знака на зображенні, але і для його ідентифікації. З цими двома задачами згортаюча нейронна мережа здатна досить ефективно впоратись. На рисунку 2 зображена структура згортаючої нейронної мережі для розпізнавання дорожніх знаків.

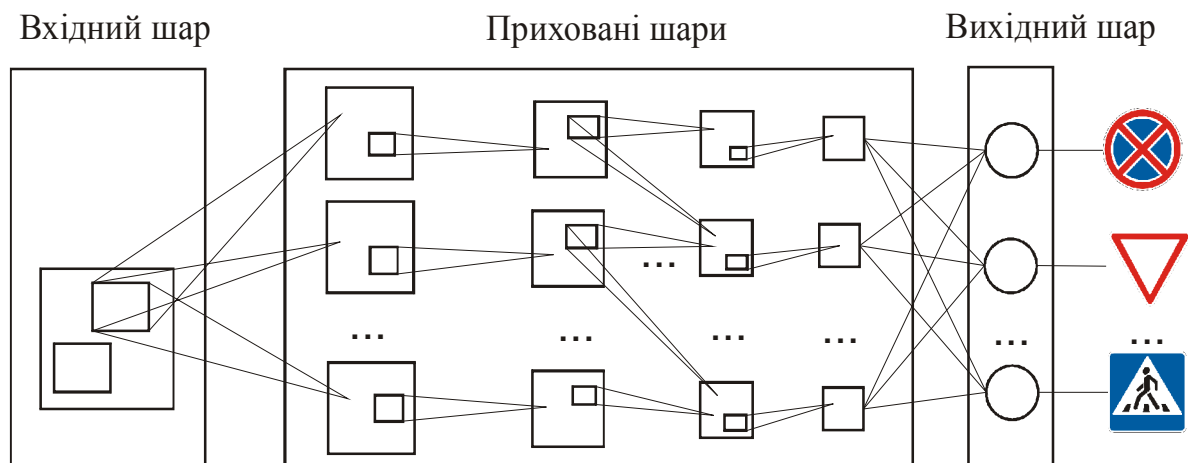


Рис. 2. Структура згортаючої нейронної мережі для розпізнавання дорожніх знаків

Висновки. Розглянувши всі переваги, які надає система розпізнавання дорожніх знаків, можна впевнено говорити про актуальність розробки таких систем та широке їх впровадження. Головним завданням залишається створення алгоритму, який би давав високий результат точності і швидкості розпізнавання знака при малих обчислювальних витратах. На даний момент одними з найефективніших можна вважати методи, що базуються на використанні штучних нейронних мереж.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.
2. Shneier, M. Road sign detection and recognition // Proc. IEEE Computer Society Int. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2005 – P. 215–222.
3. Oh, J.-T. Segmentation and Recognition of Traffic Signs Using Shape, Information / J.-T. Oh, H.-W. Kwak, Y.-H. Sohn, W.-H. Kim // Segmentation and Recognition of Traffic Signs Using Shape, Information. Lecture Notes in Computer Science, Springer Berlin/Heidelberg. – 2005 – Vol. 3804. – P. 519 – 526.
4. Hardzeyeu, V. On using the Hough transform for driving assistance applications / Hardzeyeu, V., Klefenz, F., // Intelligent Computer Communication and Processing, 2008. ICCP 2008. 4th International Conference on , vol., no., pp.91,98, 28-30 Aug. 2008
5. LeCun Y., Bottou L., Bengio Y., Haffne P. Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition // Proc. IEEE. – 1998. – P.59-67.
6. Круглов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. / В.В. Круглов, В.В. Борисов. –М.: Телеком, 2001.

Рецензент: д.т.н., проф. Ленков С.В., начальник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Жигальский П.В., к.т.н., доц. Джулий В.Н.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ К ОБНАРУЖЕНИЮ И ЛОКАЛИЗАЦИИ ДОРОЖНЫХ ЗНАКОВ

В статье рассмотрены варианты реализации системы распознавания дорожных знаков для транспортных средств. Перечислены основные недостатки существующих коммерческих систем и предложено реализацию на основе мобильных устройств.

Проведя анализ существующих методов и алгоритмов распознавания объектов, было выявлено, что для решения задачи распознавания дорожных знаков эффективным вариантом будет использование искусственных нейронных сетей. Такую нейронную сеть можно использовать не только для выявления дорожного знака на картинке, но и для его идентификации. С этими двумя задачами свертывающая нейронная сеть способна достаточно эффективно справиться.

Ключевые слова: интеллектуальный автомобиль, система распознавания дорожных знаков, нейронные сети.

Zhynalski P.M., Ph.D. Julie V.N.

**ANALYSIS OF EXISTING APPROACHES TO THE IDENTIFICATION AND
LOCALIZATION OF ROAD SIGNS**

In the article the considered variants of realization of the system of recognition of sign-boards are for transport vehicles. The basic problems of the existent commercial systems are enumerated and realization is offered on the basis of mobile devices.

Conducting the analysis of existent methods and algorithms of recognition of objects, it was deduced that for the decision of task of recognition of sign-boards an effective variant will be the use of artificial neural networks. Such a neural network can be used not only to identify a road sign in the picture, but also to identify it. With these two objectives a neural network is able to effectively manage.

Keywords: intellectual car, system of recognition of sign-boards, neural networks.