

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ГІСТОГРАМ НАПРЯМЛЕНИХ ГРАДІЄНТІВ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

В. Я. Пуйда, С. В. Шургот

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра електронних обчислювальних машин

© Пуйда В. Я., Шургот С. В., 2019

Теоретичні основи, методи та алгоритми розпізнавання візуальних об'єктів починають розробляти з часів появи перших електронних обчислювальних машин. Практичне використання різних завдань розпізнавання образів у сучасних технічних системах зумовлено стрімким розвитком потужних, малогабаритних та порівняно дешевих засобів оброблення цифрових даних і стає все поширенішим у різноманітних галузях. У роботі виконано дослідження ефективності алгоритму гістограм напрямлених градієнтів (HOG) у разі ідентифікації у відеопотоці транспортних засобів різних типів: автомобілів, літаків, кораблів. Виконано моделювання алгоритму з використанням пакета MATLAB на прикладі літаків фірми “Антонов”, автомобілів різних марок та різних кораблів. У результаті моделювання з допомогою інструментів MATLAB отримано спеціалізовані SVM-класифікатори для ідентифікації деяких марок автомобілів, літаків та кораблів. Для отримання класифікатора використовували вибірки зображень з сцен, на яких є об'єкти, що ідентифікуються, та негативних зображень сцен, на яких відсутні такі об'єкти. Здійснено порівняння основних параметрів класифікаторів. У процесі моделювання алгоритму проводили навчання спеціалізованого класифікатора для ідентифікації об'єктів класу автомобілів, літаків, кораблів та підбір оптимальних параметрів навчання і робочого функціонування спеціалізованого класифікатора для досягнення найефективнішої ідентифікації. Аналіз отриманих результатів показав, що використаний алгоритм із найбільшою ефективністю працює на об'єктах класу “автомобілі”. Для перевірки функціонування алгоритму на реальних об'єктах у режимі реального часу розроблено структурну схему модуля ідентифікації на основі мікрокомп'ютера з відкритим кодом типу Orange Pi зі встановленою ОС Android ZIDOO.

**Ключові слова:** ідентифікація, алгоритм гістограм напрямлених градієнтів (HOG), SVM-класифікатор.

### Вступ

Ідентифікація об'єктів є одним із складних завдань під час проектування систем технічного зору, наприклад, для контролю дорожнього руху, контролю повітряного простору в ближній зоні аеропорту, для спеціальних застосувань, зокрема військових систем тощо. Існують різноманітні алгоритми для рішення подібних та суміжних завдань. Одним із поширених алгоритмів для виявлення та ідентифікації об'єктів на відеозображеннях є алгоритм гістограм напрямлених градієнтів (HOG) [1]. Він забезпечує достатньо високу швидкість під час реалізації на апаратних засобах порівняно низької швидкодії. Однак треба зазначити, що алгоритм HOG не є інваріантним до поворотів об'єктів, але інваріантний до геометричних та фотометричних перетворень і може використовуватися за певних обмежень для об'єктів або в сукупності з іншими алгоритмами.

Виконано дослідження ефективності алгоритму для ідентифікації транспортних засобів різних типів: автомобілів, літаків, кораблів за певних умов фіксації об'єкта в кадрі з відеопотоку.

### Аналіз публікацій

У роботах Navneet Dalal, Bill Triggs [1], В. П. Дрозд [2] подано результати функціонування алгоритму HOG для виявлення пішоходів на статичних зображеннях. Згодом вони розширили ділянку застосування до виявлення людей на відео та тварин і машин на статичних зображеннях. Алгоритм ґрунтується на формуванні розподілу градієнтів інтенсивності або напрямків країв та підрахунку кількості напрямків градієнта в локальних ділянках зображення. Як правило, побудова цих дескрипторів відбувається за допомогою розбиття зображення на комірки і присвоєння кожному осередку гістограми напрямків градієнтів для пікселів всередині осередку; їх комбінація і є дескриптором. З метою збільшення точності зображення, яке обробляється, його роблять чорно-білим, а локальні гістограми нормалізують за контрастом щодо заходів інтенсивності, що обчислюють на більшому фрагменті зображення. Нормалізація за контрастом дає змогу домогтися більшої інваріантності дескрипторів до висвітлення. Дескриптор HOG має кілька переваг над іншими дескрипторами. Оскільки HOG працює локально, метод підтримує інваріантність геометричних і фотометричних перетворень, за винятком орієнтації об'єкта.

### Постановка завдання

Виконати порівняльний аналіз застосування алгоритму гістограм напрямлених градієнтів (HOG) для ідентифікації у відеопотоці транспортних засобів різних типів: автомобілів, літаків, кораблів. Вхідний відеопотік складається з послідовності  $(I_n)_{n \in N}$  кадрів розміром 1360x768 пікселів, які формуються з формату Full HD видаленням країв кадру. Кожен кадр  $I_n = (I_n(i, j))$ ,  $n \in N$ ,  $i \in \{1, \dots, 1360\}$ ,  $j \in \{1, \dots, 768\}$ . Кольорова палітра YUV. Глибина кожного пікселя становить 8 біт:  $I_n(i, j) \in \{0, \dots, 255\}$  для всіх  $n, i, j$ .



Рис. 1. Кадри відеопотоку

### Розв'язання завдання

Моделювання алгоритму здійснено з використанням пакета MATLAB на виділених із різних відеопотоків кадрах. Спеціалізовані класифікатори сформовано на основі функції *trainCascadeObjectDetector* із набором позитивних та негативних взірців зображень. Проведено навчання спеціалізованих класифікаторів для ідентифікації автомобілів, літаків та кораблів. Основні етапи процесу моделювання реалізовані на основі публікації [1]:

- 1) нормалізація гами / кольорів;
- 2) обчислення градієнта з використанням 1-D різницевої маски в горизонтальному і вертикальному напрямках:  $[-1, 0, 1]$  і  $[-1, 0, 1]^T$ ;

- 3) формування гістограми напрямлених градієнтів; кожний піксель із комірки додає зважений коефіцієнт гістограми напрямлених градієнтів на основі величини і напрямку градієнта;
- 4) формування блоків дескриптора; для врахування яскравості й контрастності градієнти локально нормуються; для цього осередки групують у більші зв'язкові блоки; дескриптор HOG, так, є вектором компонент нормованих гістограм осередків з усіх ділянок блоку;
- 5) нормалізацію блоків виконували за такими схемами:

L2-норма: 
$$f = \frac{v}{\sqrt{\|v\|_2^2 + e^2}}$$

L2-норма обмежується зверху (значення  $v$ , більші ніж 0,2, беруть рівними 0,2) і перенормовують.

L1-норма: 
$$f = \frac{v}{(\|v\|_1 + e)}$$

L1к-норма: 
$$f = \sqrt{\frac{v}{(\|v\|_1 + e)}}$$

де  $v$  – ненормований вектор, що містить всі гістограми заданого блоку,  $\|v\|_k$  – його  $k$ -норма при  $k=1,2$  і  $e$  – деяка мала константа (точне значення не таке важливе). L1-норма дає менш надійні результати, ніж інші три, які працюють приблизно однаково добре, проте всі чотири методи значно покращують результати порівняно з ненормалізованими;

- б) застосування до зображення SVM-класифікатора; кінцевим є класифікація дескрипторів за допомогою системи навчання з учителем.

У процесі навчання класифікатора автомобілів методом проб і помилок визначено такі параметри:

- FalseAlarmRate (помилковий позитивний відсоток спрацювань) – 0,01.
- NumCascadeStages (кількість стадій навчання) – 5.
- TruePositiveRate (істинний позитивний відсоток спрацювань) – 0,95.

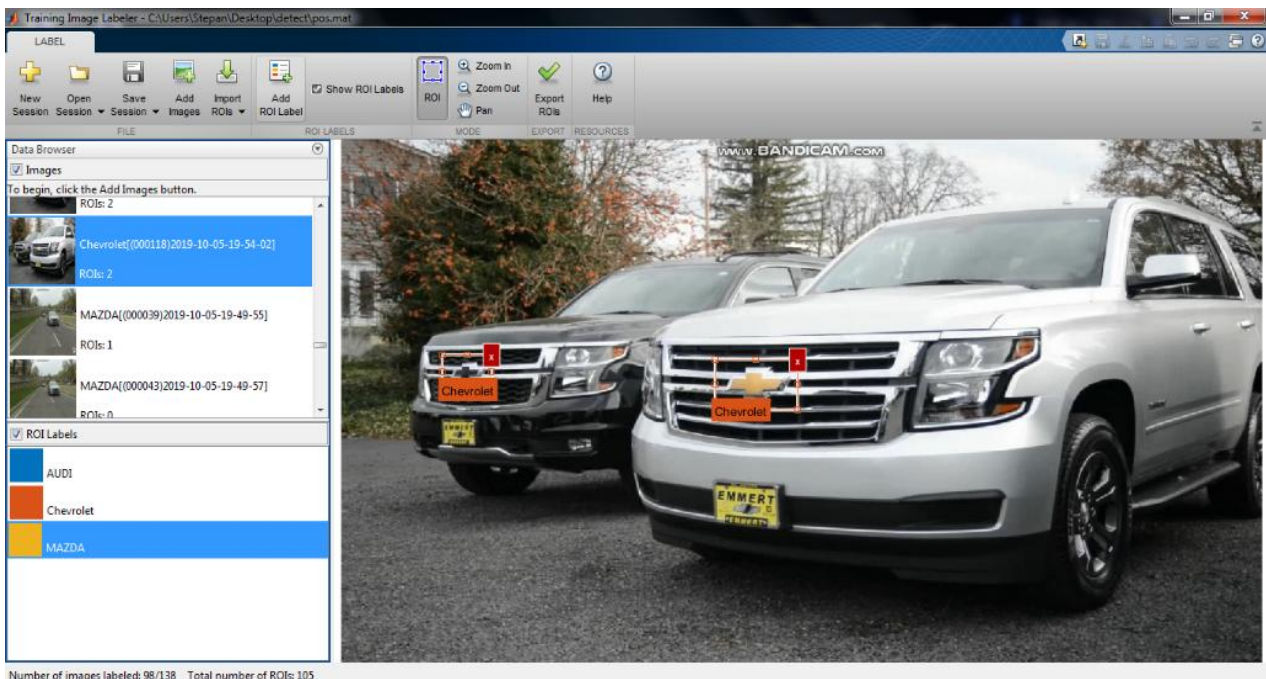


Рис. 2. Процес виокремлення позитивних взірців зображення

Проведено навчання спеціалізованих класифікаторів для літаків АН-178 та АН-132 (рис. 4, 5). Для навчання класифікатора літаків використано такі параметри:

- FalseAlarmRate (помилковий позитивний відсоток спрацювань) – 0,03.
- NumCascadeStages (кількість стадій навчання) – 3.
- TruePositiveRate (істинний позитивний відсоток спрацювань) – 0,95.

Для навчання класифікатора кораблів використано такі параметри:

- FalseAlarmRate (помилковий позитивний відсоток спрацювань) – 0,05.
- NumCascadeStages (кількість стадій навчання) – 5.
- TruePositiveRate (істинний позитивний відсоток спрацювань) – 1.



Рис. 3. Ідентифікація марки автомобілів: а – AUDI; б – Chevrolet

У табл. 1 наведено порівняння класифікаторів на транспортних засобах: автомобілях, літаках, кораблях із використанням по 100 кадрів відеопотоку для кожного виду транспортного засобу.

З табл. 1 можна зробити висновок, що алгоритм гістограм напрямлених градієнтів (HOG) найефективніший за ідентифікації автомобільного транспорту. Для отримання точніших результатів необхідно провести дослідження на розширеній вибірці автомобілів різних типів та марок.

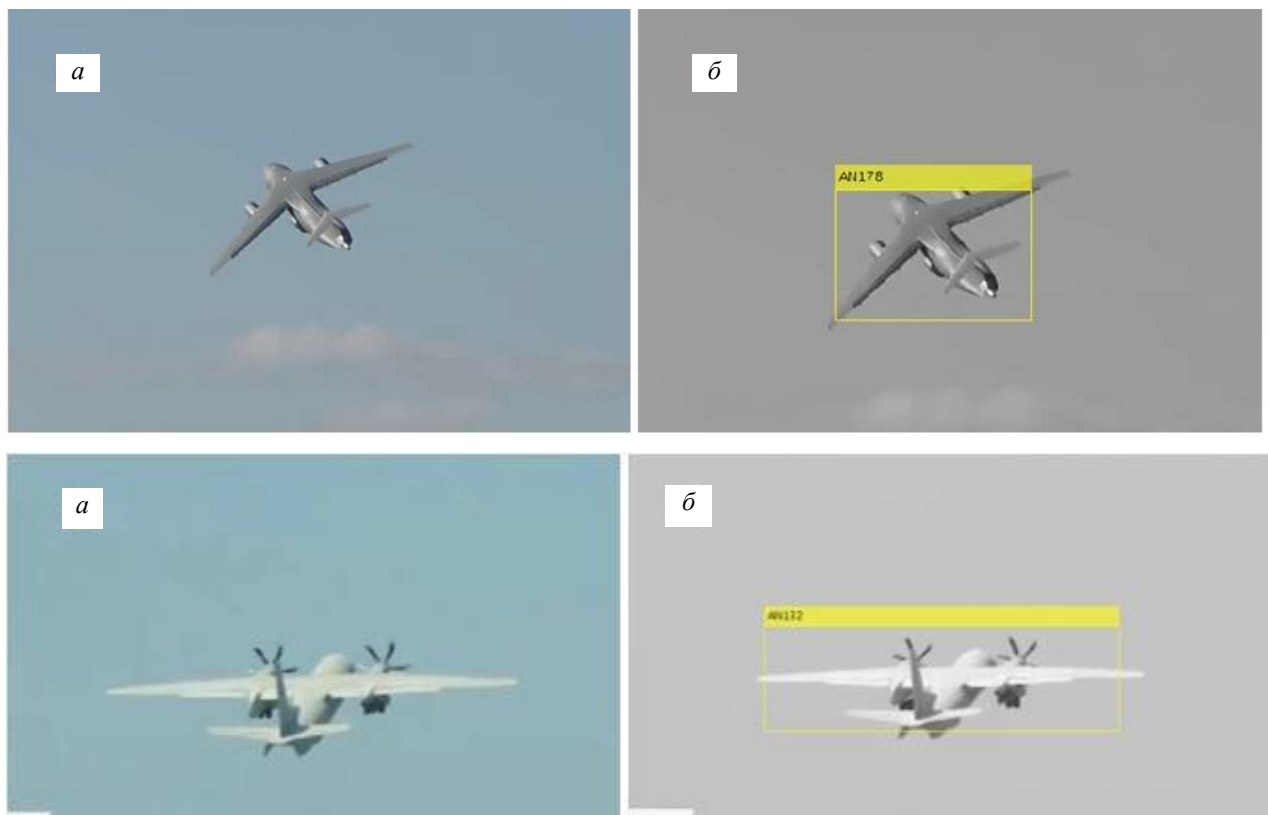


Рис. 4. Процес ідентифікації літаків АН-178 та АН-132:  
а – вхідне зображення; б – ідентифіковане зображення

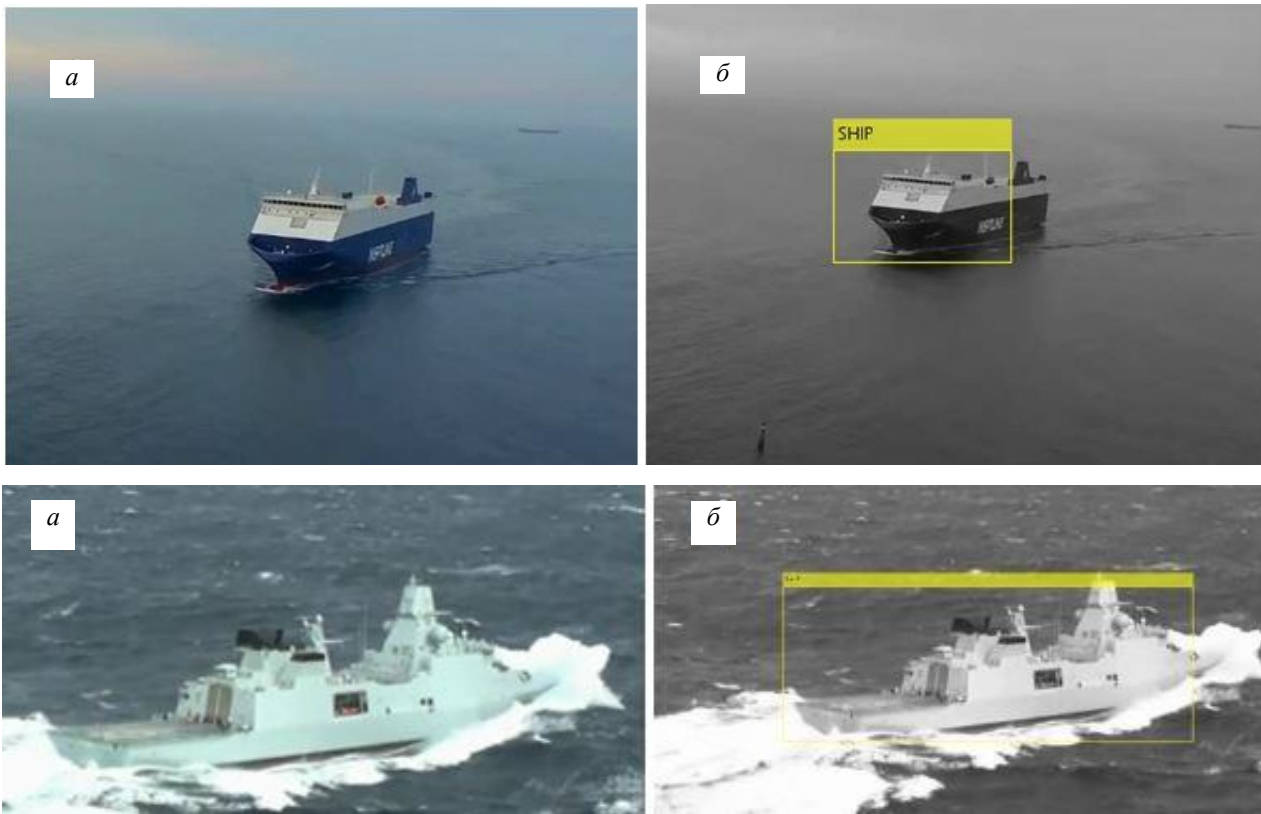


Рис. 5. Ідентифікація кораблів: а – вхідне зображення; б – ідентифіковане зображення

Таблиця 1

**Результати досліджень роботи класифікаторів**

Характеристика	Кількість позитивних спрацювань	Кількість хибних спрацювань	Кількість неспрацювань
Транспорт			
Автомобіль	93	11	7
Літак	80	23	20
Корабель	75	3	25

Для перевірки функціонування алгоритму гістограм напрямлених градієнтів (HOG) зібрано апаратно-програмний макет модуля ідентифікації на основі мікрокомп'ютера з відкритим кодом типу Orange Pi із встановленою ОС типу Android [3], збірка ZIDOO. Структурну схему макета показано на рис. 6, фото макета – на рис. 7. Відеокамера типу USB-cam Full HD, дисплей – стандартний екран Full HD з інтерфейсом HDMI, який використовувався як системний екран для Orange Pi та для виведення відеокадрів у процесі ідентифікації.

Для проектування систем технічного зору (СТЗ) експериментального типу чи для реального застосування необхідні процесорні модулі з достатньо високою продуктивністю. На цей час серійно випускають різноманітні засоби від міні-ПК, мікро-ПК до апаратних платформ із відкритим кодом. Можна використовувати і стандартні материнські плати стаціонарних ПК чи промислових комп'ютерів, які забезпечують найкращі можливості щодо продуктивності, об'єму оперативної пам'яті та функціональності. Але такі засоби доволі коштовні, тому їх використовують для відповідних завдань та застосувань, де їхнє використання технічно та економічно виправдане. Для експериментів із алгоритмом гістограм напрямлених градієнтів використано бюджетний варіант мікрокомп'ютера з відкритим кодом Orange Pi PC на основі 4-ядерного ARM-Cortex A7 процесора з робочою частотою 1,6 GHz та інтегрованою на платі оперативною пам'яттю 1Gb. Крім цього, на

платі інтегровано порти USB 2.0, Ethernet і що дуже важливо – виведено на зовнішні контакти лінії паралельного порту та інтерфейсів I2C, SPI. Це дає змогу здійснювати під'єднання до модуля різноманітних зовнішніх компонентів, наприклад, виконавчих механізмів СТЗ. Для плати існує багато різних варіантів ОС [3], наприклад, Android, Linux, Debian та різноманітні збірки на їх основі. Всі ОС встановлюють на зовнішню мікро-SD класу 10. Такий варіант апаратно-програмної платформи можна використати не тільки для експериментів, але і для реальних систем відповідного застосування.

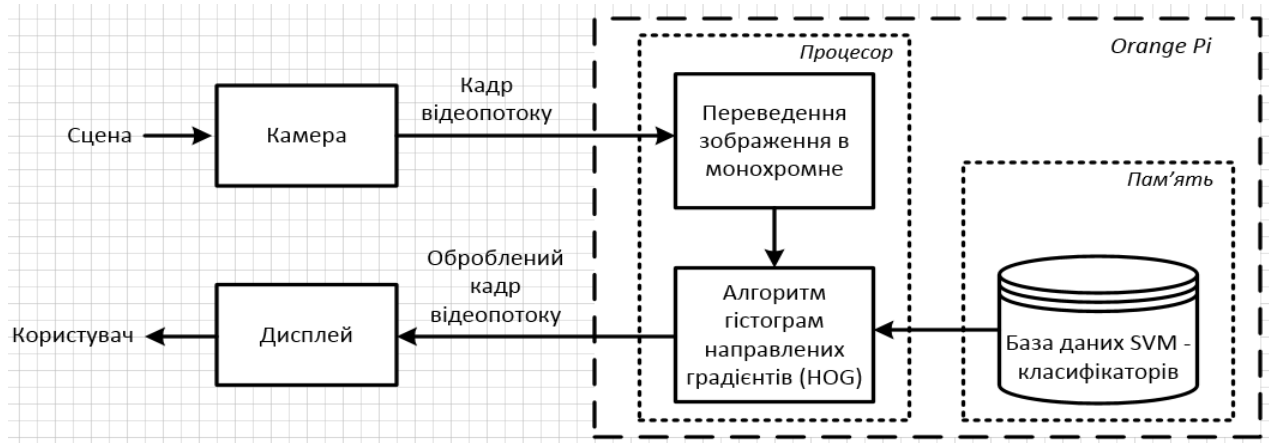


Рис. 6. Структурна схема макета апаратно-програмного модуля на основі мікрокомп'ютера з відкритим кодом Orange Pi

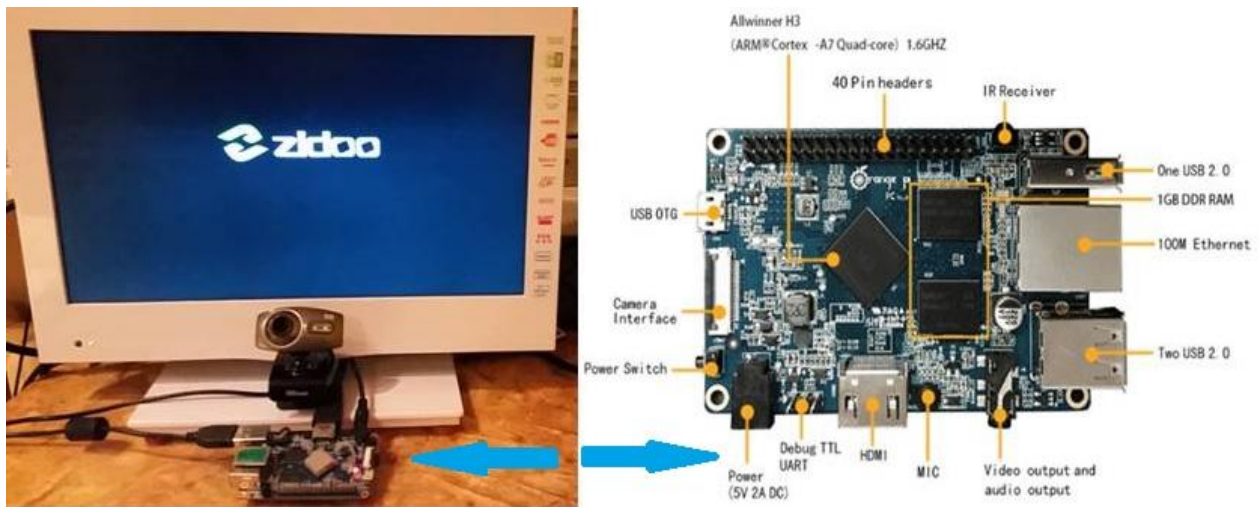


Рис. 7. Макет модуля ідентифікації на основі мікрокомп'ютера з відкритим кодом типу Orange Pi

### Висновки

Досліджено ефективність методу гістограм напрямлених градієнтів (HOG) для ідентифікації транспортних засобів різних типів: автомобілів, літаків, кораблів за певних умов фіксації об'єкта в кадрі з відеопотоку. Моделювання виконано в пакеті MATLAB із використанням функції *trainCascadeObjectDetector* із набором позитивних та негативних взірців зображень. На основі вибірки в 100 зображень певних типів автомобілів, літаків та кораблів виявлено найбільшу ефективність застосування алгоритму для ідентифікації автомобілів. Зібрано макет модуля ідентифікації на основі мікрокомп'ютера з відкритим кодом типу Orange Pi, на який встановлено ОС Android. Розроблено програмні модулі для перевірки ідентифікації автомобілів на основі сформованих дескрипторів.

### Список літератури

1. Navneet Dalal, Bill Triggs. *Histograms of Oriented Gradients for Human Detection. International Conference on Computer Vision & Pattern Recognition (CVPR '05), Jun 2005, San Diego, United States. pp. 886–893, 10.1109/CVPR.2005.177. inria-00548512.*
2. Drozd V. P. *Applying a HOG for detecting a pedestrian in an image [Text] / V. P. Drozd // Informatics, Mathematics, Automation: Materials and Program of the Scientific and Technical Conference, Sumy, April 21–26, 2014 / Ans. for the issue SI. Procenko. Sumy: SSU, 2014. P. 52.*
3. Інтернет ресурс: <http://www.orangepi.org/downloadresources/>

## ON APPLICATION OF THE HISTOGRAM OF ORIENTED GRADIENTS METHOD TO VEHICLES IDENTIFICATION

V. Puyda, S. Shurhot

Lviv Polytechnic National University

© Puyda V., Shurhot S., 2019

Development of theoretical background, methods and algorithms for identification of visual objects has begun when the first computers appeared. Application of various object recognition techniques in modern technical systems is boosted by fast development of powerful, small and relatively cheap digital devices for data processing that become more and more common these days. In this paper, we study the application of the histogram of oriented gradients (HOG) method to the problem of identification of three kinds of vehicles: cars, planes and ships. The algorithm was implemented in MATLAB and tested using images of Antonov planes and different models of cars and ships. As a result, SVM classifiers for identification of some models of cars, planes and ships were created. To create these classifiers, the authors used sets of images containing the objects to be identified as well as “negative” sets of images that do not contain them. Main parameters of the obtained classifiers were compared. During the simulations, the specialized classifiers for identification of different models of cars, planes and ships were trained and optimal parameters for training and verification were selected to achieve best results. The study showed best results for car objects. To verify the algorithm in real time using real-world images, the authors developed an identification module based on an open-source Orange Pi microcomputer operating under the Android ZIDOO OS.

**Key words:** identification, directional gradient histogram algorithm (HOG), SVM classifier.