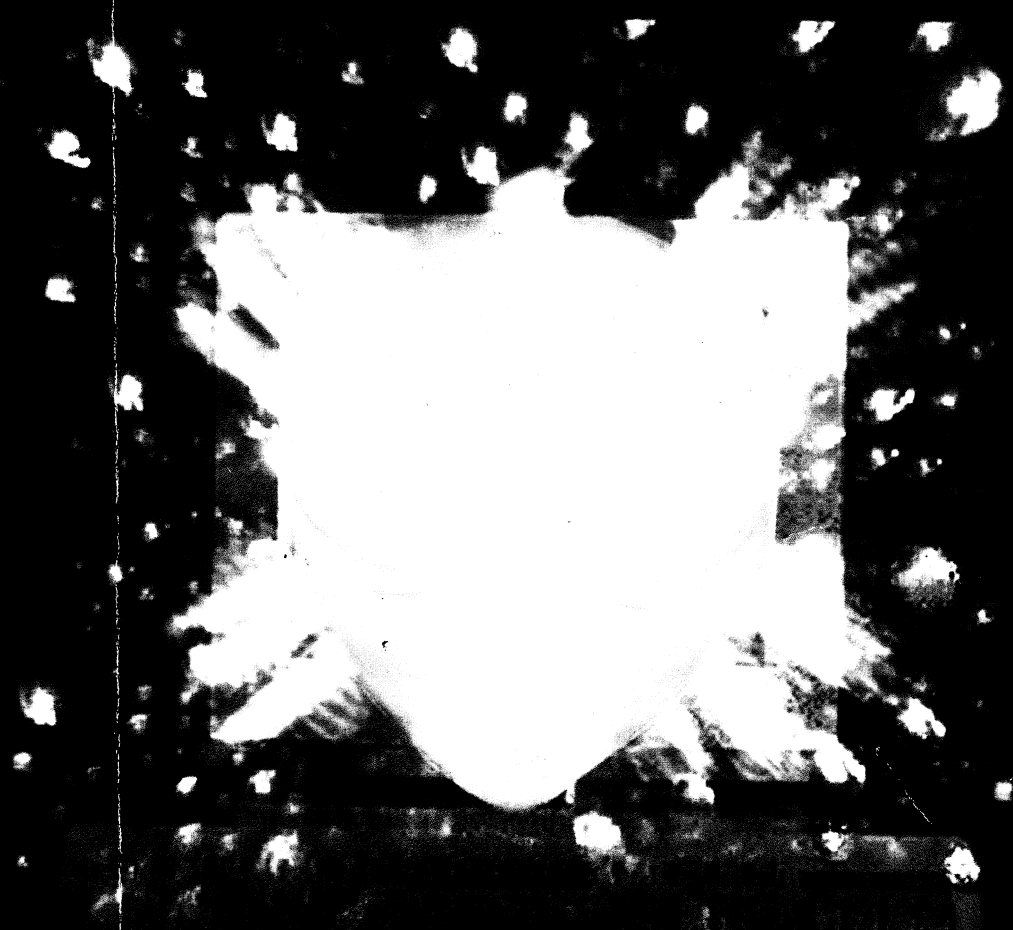


ISSN 1561-5359

ИСКУССТВЕННЫЙ Т ИНТЕЛЛЕКТ

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



1 ' 2011

УДК 004.93

*Р.В. Маслій, А.Я. Кулик*Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна
romas@ukr.net

Boosting-метод виявлення обличчя на зображенні

У статті представлено boosting-метод виявлення обличчя фронтального вигляду на напівтонових зображеннях, який як прості класифікатори використовує ознаки з нового набору, отриманого шляхом поєднання локальних бінарних шаблонів та хаароподібних ознак. На наборі зображень обличчя з бази Yale B, які характеризуються нерівномірною освітленістю, розроблений метод демонструє на 7 – 10% вищу вірогідність виявлення обличчя у порівнянні з boosting-методом Віюлі-Джонса.

Вступ

Задача виявлення обличчя вирішується в багатьох застосуваннях, де є першим кроком для подальшої обробки зображення, а саме: розпізнавання обличчя, розпізнавання емоцій, гендерна класифікація, інтерфейс «людина-комп'ютер», відеоспостереження, відеоконференції, контроль доступу, пошук зображень за контекстом, підрахунок відвідувачів тощо [1].

Найкращі результати на сьогоднішній день демонструють методи, які розглядають виявлення як задачу класифікації з двома класами (обличчя/не обличчя). Серед цих методів велику увагу привертають boosting-методи [2-5], які можуть оброблювати зображення у режимі реального часу і є ефективними за критеріями ймовірності виявлення та кількості хибних виявлень. У цих методах використовуються алгоритми навчання класифікації з сімейства boosting-алгоритмів. Ці алгоритми вирішують задачу класифікації шляхом комбінування малоефективних простих класифікаторів в один «сильний», для якого властива висока класифікаційна здатність. У багатьох boosting-методах як boosting-алгоритм використовується Adaboost, а як прості класифікатори – хаароподібні ознаки, чи їх модифікації. Цим ознакам властива простота обчислення, що є перевагою, але вони вразливі до умов освітлення.

Для створення boosting-методу з високою вірогідністю виявлення необхідним є використання набору ознак, робастних до умов освітлення. Такими ознаками можуть виступити локальні бінарні шаблони (ЛБШ), які останнім часом активно застосовуються у задачах розпізнавання [6], [7]. Для високої швидкості обчислення доцільно створити новий набір ознак, який поєднає ЛБШ та хаароподібні ознаки. Для дослідження ефективності застосування цього набору у роботі потрібно використати напівтонові зображення обличчя людей фронтального вигляду.

Метою даної роботи є розробка та дослідження ефективності boosting-методу виявлення обличчя фронтального вигляду, який базується на використанні як простих класифікаторів ознак з набору, отриманого шляхом поєднання хаароподібних ознак та локальних бінарних шаблонів при використанні напівтонових зображень, отриманих в умовах нерівномірної освітленості.

1 Модифіковані хаароподібні ознаки

Хаароподібні ознаки [2] визначаються на напівтоновому зображенні і значення ознаки залежить від різниці сум інтенсивностей пікселів, обчислених у прямокутних областях ознаки (рис. 1).

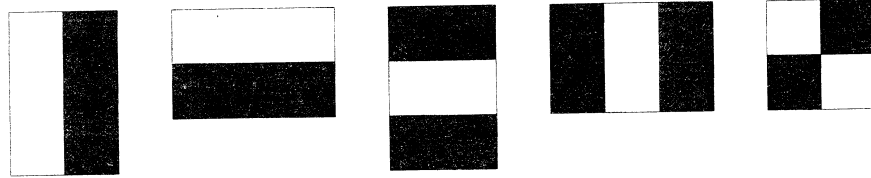


Рисунок 1 – Хаароподібні ознаки

ЛБШ оператор дозволяє отримати опис околу пікселя зображення у двійковій формі. Значення ЛБШ ознаки після застосування ЛБШ оператора до околу пікселя зображення з координатами (x, y) можна описати [7]:

$$CS-LBP(x, y) = \sum_{m=0}^{(N/2)-1} s(k_m - k_{m+N/2}) 2^m, \quad (1)$$

де N – кількість пікселів околу, k – значення інтенсивностей пікселів околу,

$$s(k_m - k_{m+N/2}) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } k_m - k_{m+N/2} > \lambda \\ 0, & \text{інакше} \end{cases}, \text{ де } \lambda - \text{поріг.}$$

Згідно з формулою (1) ЛБШ оператор, що застосовується до околу пікселя напівтонового зображення з координатами (x, y), використовуючи вісім пікселів околу (k0 – k7) утворює чотирьохрозрядний бінарний код (рис. 2).

Окіл пікселя (x,y)

k5	k6	k7
k4	(x,y)	k0
k3	k2	k1

Оператор ЛБШ

$$CS-LBP(x,y) = s(k0-k4)*1 + s(k1-k5)*2 + s(k2-k6)*4 + s(k3-k7)*8$$

Рисунок 2 – Обчислення значення ЛБШ ознаки

Обчислюючи значення ЛБШ ознак згідно з формулою (1) у всіх точках напівтонового зображення крім граничних, можна отримати масив ЛБШ (рис. 3).

Доцільно новий набір ознак, який використовує ЛБШ ознаки та хаароподібні ознаки, назвати модифікованими хаароподібними ознаками (МХО). Для обчислення значення МХО напівтонове зображення спочатку перетворюється у масив ЛБШ, а потім у набір інтегральних масивів ЛБШ (ІЛБШ), використовуючи формули:

$$i_d(x, y) = i_d(x, y-1) + \delta_d(x, y), \quad (2)$$

$$I_d(x, y) = I_d(x-1, y) + i_d(x, y), \quad (3)$$

де I – масив ІЛБШ, i – допоміжний масив, d = 1, ..., 16; $\delta_d(x, y) = 1$, якщо комірка масиву з набору I_{LBP}^p з координатами (x, y) дорівнює d, і $\delta_d(x, y) = 0$ – в іншому випадку.

МХО визначена певними параметрами: типом хаароподібної ознаки (рис. 1), значенням CS-LBP, розмірами та місцезнаходженням на зображенні, що відповідає розміру мінімального вікна пошуку (наприклад, 24x24 або 48x48 пікселів).



Рисунок 3 – Отримання масиву ЛБШ з напівтонового зображення
Приклад отримання набору масивів ІЛБШ з масиву ЛБШ представлений на рис. 4.

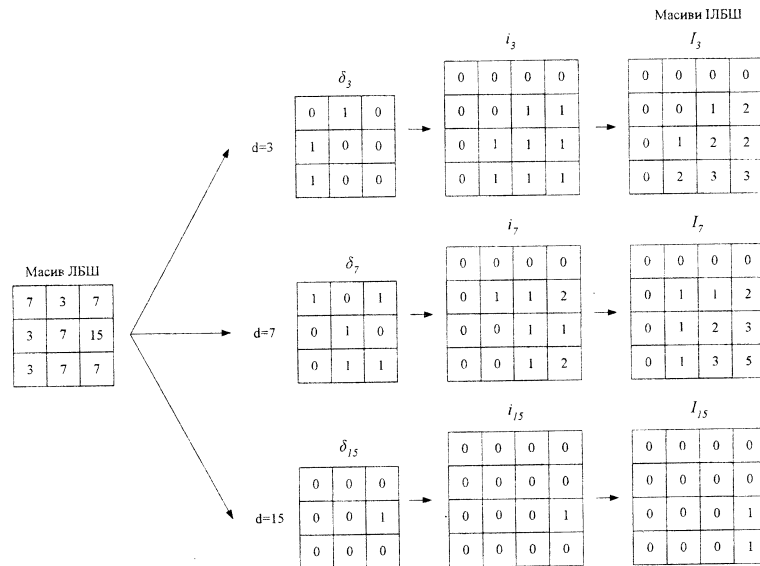


Рисунок 4 – Отримання набору масивів ІЛБШ з масиву ЛБШ

Відповідно до параметрів МХО, використовуючи відповідний масив ІЛБШ I , обчислюється кількість CS-LBP ознак у світлих та темних прямокутниках МХО. Значення МХО обчислюється за формулою:

$$f(I) = S_W - S_B,$$

де S_W – кількість CS-LBP ознак у світлих прямокутниках МХО, S_B – кількість CS-LBP ознак у темних прямокутниках МХО, I – масив ІЛБШ.

Значення S_W та S_B обчислюються за формулою:

$$S = I(a_2, b_2) - I(a_3, b_3) - I(a_1, b_1) + I(a_4, b_4), \quad (4)$$

де (a_1, b_1) , (a_2, b_2) , (a_3, b_3) , (a_4, b_4) – це координати чотирьох пікселів, пов'язаних з відповідним прямокутником у МХО (сусідній зверху з правим верхнім пікселем прямокутника, правий нижній піксель прямокутника, сусідній зліва з лівим нижнім пікселем прямокутника, сусідній по діагоналі зверху з лівим верхнім пікселем прямокутника).

2 Розробка методу

Для розробки методу доцільно використати підхід, запропонований у [2], у якому сукупність простих класифікаторів, відібраних за допомогою алгоритму AdaBoost для пришвидшення обробки зображення, представлена у вигляді каскаду сильних кла-

сифікаторів (КСК), з використанням як простих класифікаторів МХО. Розробка методу виявлення облич буде складатися з декількох етапів:

- 1) тренування КСК на наборах прикладів;
- 2) оброблення зображення КСК;
- 3) верифікація облич-кандидатів.

Перший етап. Для реалізації першого етапу необхідно сформувати набори позитивних та негативних прикладів. Для цього формується база зображень облич фронтального вигляду V_{face} , використовуючи зображення з баз ORL та BioID, а також база зображень, на яких відсутні обличчя, V_{nonface} , використовуючи зображення, відібрані в Інтернеті. Зображення з бази V_{face} нормалізуються таким чином, щоб очі на зображеннях знаходилися в одних і тих же просторових координатах, та формується з них навчальний P та верифікаційний набори V_p позитивних прикладів. З V_{nonface} виділяються області зображень та формується з них навчальний N та верифікаційний V_n набори негативних прикладів. Зображення у наборах P , V_p , N , V_n приводяться до розміру мінімального вікна пошуку.

Для формування набору МХО доцільно обмежити розмір хаароподібних ознак, які використовуються у МХО, так як хаароподібні ознаки невеликого розміру при застосуванні у МХО будуть недостатньо дискримінантними. Нехай мінімальний розмір прямокутника у хаароподібній ознаці буде 4×4 пікселів.

Для КСК встановлюються значення ймовірності помилки першого роду FP_C та ймовірності виявлення TP_C , яких при тренуванні має досягнути КСК. СК додаються до КСК до тих пір, поки не будуть досягнуті встановлені FP_C та TP_C .

З набору позитивних тренувальних прикладів при застосуванні ЛБШ оператора отримується набір масивів ЛБШ позитивних прикладів I_{LBP}^P . Аналогічним чином з набору негативних тренувальних прикладів отримується набір масивів ЛБШ негативних прикладів I_{LBP}^N . Використовуючи формули (2) та (3) з набору I_{LBP}^P отримується набір масивів ЛБШ позитивних прикладів I^P , а з набору I_{LBP}^N набір масивів ЛБШ негативних прикладів I^N .

Використовуючи набори I^P та I^N обчислюється значення кожної МХО f_j та визначається її оптимальний поріг θ_j , та напрямок знаку p_j .

Для кожного СК встановлюються значення ймовірності помилки першого роду FP та ймовірності виявлення TP , яких при тренуванні має досягнути СК.

За допомогою алгоритму Adaboost тренується кожен СК до досягнення встановлених FP та TP . Формується навчальна вибірка з набору I_{LBP}^P позитивних прикладів та набору I_{LBP}^N негативних прикладів вигляду $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$, де x – масив ЛБШ, y – цільове значення, яке дорівнює 0 – для негативних прикладів, 1 – для позитивних прикладів. Ініціалізуються ваги $w_{1,i} = 1/2m$, $1/2l$, для $y_i = 0, 1$ відповідно, де m – кількість позитивних прикладів, l – кількість негативних прикладів, а поточне значення ймовірності помилки першого роду – $fpRate$ (спочатку $fpRate = 1$). Запускається цикл з умовою, поки $fpRate > FP$, де t – це поточна ітерація, i – індекс прикладу, j – індекс МХО.

Нормалізуються ваги прикладів навчальної вибірки:

$$w_{t,i} \leftarrow \frac{w_{t,i}}{\sum_{k=1}^n w_{t,k}}$$

Формується простий класифікатор h_j для кожної МХО, використовуючи I^P та I^N за формулою:

$$h_j(x) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } p_j f_j(x) < p_j \theta_j \\ 0, & \text{інакше} \end{cases}$$

де f_j – МХО, x – масив ЛБШ, θ_j – поріг, p_j – напрямок знаку МХО.

Помилка усіх простих класифікаторів на навчальній вибірці обчислюється за формулою:

$$\varepsilon_j = \sum_i w_i |h_j(x_i) - y_i|.$$

У СК додається простий класифікатор h_i з найменшою помилкою ε_i . Ваги прикладів оновлюються за формулою:

$$w_{t+1,i} = w_{t,i} \beta_i^{1-\varepsilon_i},$$

де $\varepsilon_i = 0$, якщо приклад x_i розпізнаний правильно, $\varepsilon_i = 1$ в іншому випадку, $\beta_i = \frac{\varepsilon_i}{1-\varepsilon_i}$.

Формується СК за формулою:

$$h(x) = \begin{cases} 1, & \sum_{t=1}^T \alpha_t h_t(x) \geq \psi \\ 0, & \text{інакше} \end{cases}, \quad (5)$$

де $\alpha_t = \log \frac{1}{\beta_t}$, $\psi = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \alpha_t$.

Використовуючи верифікаційний набір позитивних прикладів V_p підлаштовується поріг ψ СК, для досягнення заданого значення ймовірності виявлення ТР. Обчислюється значення ймовірності помилки першого роду $fpRate$ СК на верифікаційному наборі негативних прикладів V_n . Перехід на наступну ітерацію циклу здійснюється у випадку виконання умови $fpRate > FP$, в іншому випадку СК додається у КСК.

Здійснюється перехід до тренування наступного СК. Для формування набору негативних прикладів N наступного СК виділяється з $V_{nonface}$ області зображень, які приводяться до розміру мінімального вікна пошуку та формуються з них негативні приклади, здійснюється їх перетворення у масиви ЛБШ і подаються на вхід КСК, приклади, які КСК прийняв за позитивні, додаються у набір N .

Другий етап. Процес обробки зображення КСК для виявлення на ньому обличчя здійснюється наступним чином. За допомогою оптичного пристрою, наприклад, відеокамери, зображення, на якому присутнє одне чи більше людських обличчя, вводиться у комп'ютер. Це зображення перетворюється у масив ЛБШ та з допомогою формул (2) та (3) створюється 16 масивів ЛБШ. За допомогою вікна пошуку, розмір якого спочатку дорівнює мінімальному, а потім збільшується на коефіцієнт M_s , при зміні масштабу пересувається по зображенню уздовж його рядків з кроком K_r пікселів, виділяється область зображення, відповідні їй частини масивів ЛБШ подаються на вхід КСК. У СК, використовуючи отримані частини масивів ЛБШ, за формулою (4) обчислюються значення МХО у простих класифікаторах. Згідно з формулою (5) приймається рішення про перехід до наступного СК у каскаді у випадку $h(x) = 1$, чи до відхилення поточної області зображення у випадку $h(x) = 0$ і переходу до обробки наступної області зображення, виділеної вікном пошуку. У випадку, якщо всі СК каскаду приймуть рішення $h(x) = 1$, область зображення визнається за таку, на якій присутнє обличчя.

Третій етап. Після проходження вікна пошуку по всьому зображенню у всіх масштабах КСК виділяє на зображенні декілька виявлених областей – обличчя-кандидати. Для верифікації обличчя-кандидатів застосовується правило кластеризації, в якому вся множина обличчя-кандидатів розбивається на множини, що не перетинаються. При кластеризації два обличчя-кандидати відносяться до одного кластера, якщо вони перетинаються більше ніж на відсоток ϕ . Кластер є кандидатом для створення об'єднаної області, якщо множина обличчя-кандидатів у ньому більша порогу η . Об'єднана область формується шляхом знаходження середнього арифметичного координат обличчя-кандидатів, що входять у кластер. Кожна з об'єднаних областей визнається за область обличчя.

3 Тестування методу

Для оцінки ефективності розробленого методу як еталонного методу виявлення облич для порівняння результатів тестування був обраний відомий boosting-метод Віоли-Джонса [2]. Тестування методів виявлення проводилося з використанням середовища Microsoft Visual C++ 2008 Express Edition та бібліотеки Intel Open Computer Vision Library. Для тестування методів була використана база облич «Yale Face Database B» [8].

З бази «Yale Face Database B» був використаний набір з 650 напівтонових зображень облич фронтального вигляду розміром 640×480 пікселів (рис. 5). Кожне зображення містить фронтальний вигляд особи. Зображення бази «Yale Face Database B» характеризуються тим, що вони отримані при 65 різних умовах освітлення.



Рисунок 5 – Приклади зображень облич з бази «Yale Face Database B»

Тренування КСК здійснювалося при таких параметрах: значення ймовірності помилки першого роду $FP_C=10^{-6}$, ймовірність виявлення $TP_C = 0,9$; для кожного СК значення ймовірності помилки першого роду $FP = 0,5$, ймовірність виявлення $TP = 0,995$. В результаті тренування отриманий КСК, який складається з 20 СК.

Тестування розробленого методу та методу Віоли-Джонса здійснювалося при таких загальних параметрах: кількість вікон $\eta = 2$, коефіцієнт масштабу M_s (1,1 та 1,2), розмір мінімального вікна пошуку (24×24 та 48×48 пікселів). Для розробленого методу додатковими параметрами були: для ЛБШ (кількість пікселів околу $N = 8$, поріг $\lambda = 0$), зсув вікна пошуку $K_g = 1$ піксель, відсоток перетину вікон $\gamma = 70\%$.

Результати тестування методів виявлення облич при зазначених параметрах представлені у табл. 1.

Таблиця 1 – Результати тестування методів виявлення облич

Коефіцієнт масштабу	Критерії оцінки ефективності виявлення	Метод Віоли-Джонса		Розроблений метод	
		Розмір мінімального вікна пошуку, пікселів			
		24×24	48×48	24×24	48×48
1,1	Ймовірність виявлення	0,797	0,789	0,871	0,873
	Кількість хибних виявлень	65	46	69	45
	Швидкість виявлення, кадрів/с	2 – 3	5 – 7	2	4 – 5
1,2	Ймовірність виявлення	0,735	0,737	0,827	0,84
	Кількість хибних виявлень	32	35	39	29
	Швидкість виявлення, кадрів/с	4 – 5	7 – 10	3 – 4	6 – 8

Висновки

Розроблений метод виявлення обличчя фронтального вигляду на напівтонових зображеннях з використанням алгоритму навчання Adaboost та набору модифікованих хаароподібних ознак як простих класифікаторів дозволив збільшити вірогідність виявлення обличчя в наборі фронтального вигляду з бази Yale B, зображення у якому характеризуються нерівномірним освітленням, у порівнянні з методом Віоли-Джонса. При збільшенні вірогідності виявлення на 7 – 10%, в залежності від параметрів, при цьому кількість хибних виявлень залишилася на тому самому рівні та незначно зменшилася швидкість виявлення. Тестування здійснювалося на комп'ютері AMD 3000+ з частотою процесора 1,81 ГГц.

Для збільшення швидкості виявлення обличчя розробленим методом планується застосувати етап попередньої обробки зображення, який дозволить зменшити кількість вікон, оброблюваних каскадом сильних класифікаторів. Також планується удосконалити етап верифікації обличчя-кандидатів, який дозволить зменшити кількість хибних виявлень.

Література

1. Yang M. Detecting Faces in Images: A Survey / M. Yang, D. Kriegman, N. Ahuja // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI). – 2002. – Vol. 24, № 1. – P. 34-58.
2. Viola P. Robust Real-Time Face Detection / P. Viola, M. Jones // International Journal of Computer Vision. – 2004. – Vol. 57, № 2. – P. 137-154.
3. Li S. FloatBoost Learning and Statistical Face Detection / S. Li, Z. Zhang // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2004. – Vol. 26, № 9. – P. 1112-1123.
4. Кудряшов П.П. Гибридный алгоритм обнаружения человеческих лиц / П.П. Кудряшов, С.А. Фоменков // Информационные технологии. – 2007. – № 10. – С. 20-23.
5. Мурыгин К.В. Особенности реализации алгоритма Adaboost для обнаружения объектов на изображениях / К.В. Мурыгин // Штучний інтелект. – 2009. – № 3. – С. 573-581.
6. Hadid A. A Discriminative Feature Space for Detecting and Recognizing Faces / A. Hadid, M. Pietikäinen, T. Ahonen // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2004. – P. 797-804.
7. Marko Heikkila. Description of Interest Regions with Local Binary Patterns / Marko Heikkila, Matti Pietikäinen, Cordelia Schmid // Computer Vision, Graphics and Image Processing, 5th Indian Conference. – 2006. – P. 58-69.
8. Georghiades A.S. From Few to Many: Illumination Cone Models for Face Recognition under Variable Lighting and Pose / A.S. Georghiades, P.N. Belhumeur, D.J. Kriegman // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intelligence. – 2001. – Vol. 23, № 6. – P. 643-660.

Р.В. Маслій, А.Я. Кулик

Boosting-метод обнаружения лиц на изображении

В статье представлен boosting-метод обнаружения лиц фронтального вида на полутоновом изображении, который в качестве простых классификаторов использует новый набор признаков, полученных путём объединения локальных бинарных шаблонов и хаароподобных признаков. На наборе изображений лиц с базы Yale B, которые характеризуются неравномерной освещённостью, разработанный метод показывает на 7 – 10% более высокую вероятность обнаружения лиц в сравнении с boosting-методом Виоли-Джонса.

R.V. Masliy, A.Y. Kulyk

Boosting-Based Face Detection Method

The article proposed boosting-based frontal view faces detection method in grayscale image, which uses a new set of features obtained by combining local binary patterns and Haar-like features. as simple classifiers On the set of images from the base of Yale B, which are characterized by nonuniform illumination the developed method shows a 7 – 10% higher probability of face detection in comparison with the Viola-Jones boosting-based method.

Стаття надійшла до редакції 01.09.2010.

ЧИТАЧУ! ПЕРЕДПЛАТИТЬ НАШ ЖУРНАЛ!

ПЕРЕДПЛАТНИЙ ІНДЕКС УДПЗ «УКРПОШТА» 23563
ПЕРЕДПЛАТНИЙ ІНДЕКС НВП «ІДЕЯ» 10118
ПЕРЕДПЛАТНЕ АГЕНТСТВО «УКРІНФОРМНАУКА» (передплата В УКРАЇНІ):
тел. / факс +38 (044) 239-64-57, моб. +38 (050) 154-77-83
E-mail: innovation@nas.gov.ua
Поштова адреса: вул. Володимирська, 54, кімн. 144, м. Київ-30, 01601

КОМПАНІЯ «ІНФОРМНАУКА» (подписка В РОССИИ):
тел.: +38(495) 787-38-73, факс: +38(499) 152-54-81
E-mail: perova@viniti.ru
Почтовый адрес: ООО «Информнаука», ул. Усиевича, 20, г. Москва, 125190, Россия

Журнал «Штучний інтелект» виходить 4 рази на рік
У журналі публікуються статті українською, російською та англійською мовами
Видавництво «Наука і освіта» ІПШ МОН України і НАН України
виготворює монографії, автореферати і дисертації, науково-методичні,
навчальні посібники та ін. види літератури
Редакційно-видавничий відділ: тел. +38 (062) 311-72-01; e-mail: edoffice@iai.donetsk.ua

Науковий редактор Л.О. Глущенко
Технічний редактор В.М. Пігуз
Коректори К.С. Івашко, О.В. Головій, С.О. Ізосімова
Коректура англійських текстів Н.О. Кульчицька
Комп'ютерна верстка Н.В. Лашенко, О.В. Петюренко

Здано до набору 27.12.2010. Підписано до друку 31.03.2011. Формат 70×108/16.
Обл.-вид. арк. 26.16. Наклад 300 прим. Зам. № 596/10 від 27.12.2010
Оригінал-макет виготовлено в редакційно-видавничому відділі Інституту проблем штучного інтелекту
МОН і НАН України, Україна, 83050, м. Донецьк, пр. Б. Хмельницького, 84
e-mail: edoffice@iai.donetsk.ua, http://www.iai.donetsk.ua

Віддруковано в Інституті проблем штучного інтелекту (*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції № 444, серія ДК від 08.05.2001 р., вид діяльності у видавничій справі – видавнича діяльність, виготовлення видавничої продукції, розповсюдження видавничої продукції.*)

Національна академія наук України
Інститут проблем штучного інтелекту

READER!SUBSCRIBE OUR JOURNAL!

SUBSCRIPTION INDEX USEMC «UKRMAIL» 23563
SUBSCRIPTION INDEX SPE «IDEA» 10118
Subscription to the journal in Ukraine is at the SUBSCRIPTION AGENCY “UKRINFORMNAUKA”:
tel / fax: +38 (044) 239-64-57; mob.tel: +38 (050) 154-77-83
E-mail: innovation@nas.gov.ua
Postal address: Vladimirskaya st, 54, room 144, c. Kyiv-30, 01601

Subscription to the journal in Russia is at the ENTERPRISE “INFORMNAUKA”:
tel: +38(495) 787-38-73; fax: +38(499) 152-54-81
E-mail: perova@viniti.ru
Postal address: LLC “Informnauka”, Usievicha st, 20, c. Moscow 125190, Russia

Journal “Artificial Intelligence” is published four times a year.
The articles are published in Ukrainian, Russian and English
Publishing House “Sciences and Education” of the IAI MES of Ukraine and NAS of Ukraine
produces monographs, abstracts of thesis and dissertation,
methodological textbooks and other kinds of books.
Editorial and publishing department: tel. +38 (062) 311-72-01; e-mail: edoffice@iai.donetsk.ua

Scientific editor L.O. Glushchenko
Technical editor V.M. Piguz
Proof-readers K.S. Ivashko, E.V. Goloviy, S.A. Izosimova
Proof-reader of English N.A. Kulchytska
Computer making-up N.V. Laschenko, A.V. Petyurenko

Given to type-setting 27.12.2010. Passed for printing 31.03.2011. Format 70×108/16.
Publisher's signature 26.16. Circulation 300 copies. Order № 596/10 from 27.12.2010
Make-up page was made by the editorial and publishing department of the
Institute of Artificial Intelligence MES and NAS of Ukraine, Ukraine, 83050, c. Donetsk, B. Khmelinskiy st, 84
e-mail: edoffice@iai.donetsk.ua, http://www.iai.donetsk.ua

Printed in the Institute of Artificial Intelligence (*Certificate № 444 about registration of a publishing industry subject in the state list of publishers, producers and distributors of publishing production, series DK from 08 May 2001, kind of activities in publishing industry – publishing activities, producing of publishing production, distribution of publishing production*)

National Academy of Sciences of Ukraine
Institute of Artificial Intelligence