

## СИЛУЕТИ КОЛЬОРУ ТА ЯСКРАВОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ЇХ КЛАСИФІКАЦІЇ ТА ПОШУКУ

© Мельник Р., Каличак Ю., 2010

Для зменшення часових затрат пошуку зображень у базах даних великих розмірів запропоновано підхід, що ґрунтується на визначенні силуетів яскравості зображень різних типів: фронтального та бічного для двох видів яскравості. Подальше прискорення пошуку відбувається за рахунок заміни кривих силуетів поліноміальними функціями чебишовського типу. Додатковою ознакою є відстань до піків силуетів. Як приклади практичних даних використано зображення із відомих баз образів. Критеріями прийняті силуети та відстані до них.

**Ключові слова:** силует, візуальний образ, зображення, яскравість, класифікація, пошук.

An approach to find different types of a pattern brightness silhouettes which then are being replaced by polynomial coefficients of approximation functions is considered. Coefficients and silhouette diagrams of visual patterns were tested as image features for searching them in the databases.

**Keywords:** silhouette, visual pattern, image, brightness, classification, search.

### Вступ

Індексування є важливим інструментом в системах знаходження зображень за їх вмістом (Content-based image retrieval – CBIR). Інтернет є прикладом розподіленої бази даних, що містить візуальні образи. Пошук в розподіленій базі даних є складною задачею, один з можливих підходів до вирішення якої розглядається в роботі.

Існуючі універсальні системи CBIR відносять до однієї із трьох категорій залежно від підходу отримання властивостей образу: гістограма [1,2], форма [3,4], структура [5], розташування [6]. Системи пошуку за регіонами використовують локальні властивості регіонів (ідеальних об'єктів) на протипагу глобальним властивостям повного зображення. Прикладом такої системи є SIMPLicity [7]. Інші приклади семантичної класифікації зображень передбачають знаходження обличчя [8, 9]. Wang та Fischler [10] показали, що точне семантичне представлення є корисним для задач порівняння зображень.

Робота присвячена дослідженню алгоритму пошуку зображень на основі доволі простої характеристики, а саме: силуету яскравості образу або його апроксимації. За результатами досліджень запропоновано використовувати силуети чи апроксимаційні поліноми як критерії для автоматизованого пошуку образів у базах даних.

### 1. Перетворення яскравості силуету

Для отримання силуету кольорове зображення перетворюється на відтінки сірого. Кожна елементарна клітинка – піксель – набуває значення від чорного до білого кольору, яке позначимо як  $b$  – яскравість. Діапазон всіх можливих значень яскравості знаходиться в межах  $0 \div 255$ .

Для перетворення використовуємо алгоритм BT709 з коефіцієнтами  $R$ ,  $G$ ,  $B$ :

$$R = 0,2125; G = 0,7154; B = 0,072. \quad (1)$$

Значення яскравості пікселів обчислюється з рівняння відносного заповнення клітинки у відсотках від чорного кольору:

$$b = (256 - c_i) \times 100 / 256, \quad (2)$$

або у відсотках від білого кольору:

$$b = c_i \times 100 / 256, \quad (3)$$

де  $c_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) – значення компоненти R (G або B) сірого кольору пікселя.

На рис.1. показано тестове зображення. На цьому ж рисунку представлені яскравості зображення у тривимірному просторі. Яскравість розрахована за формулою (1.3).

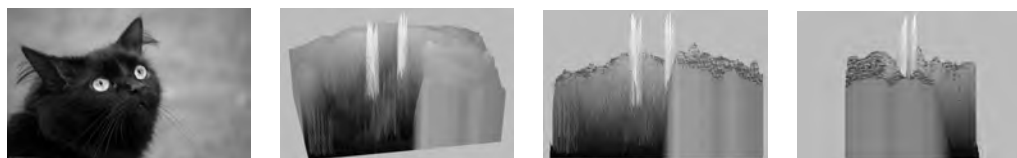


Рис.1. Образ, його просторове, фронтальне та бічне зображення яскравості

Для фронтального силуету  $S_f(x)$  та бічного силуету  $S_l(y)$  реалізуємо вирази:

$$S_f(x) = \max_{y \in Y} B(x, y) \quad x \in X \quad S_l(y) = \max_{x \in X} B(x, y) \quad y \in Y \quad (4)$$

де  $X, Y$  – множини координат зображення,  $B(x, y)$  – яскравість пікселя.

Для тестового образу приклади фронтального та бічного силуетів, а також відстані до їхніх піків від краю зображення продемонстровано на рис. 2.

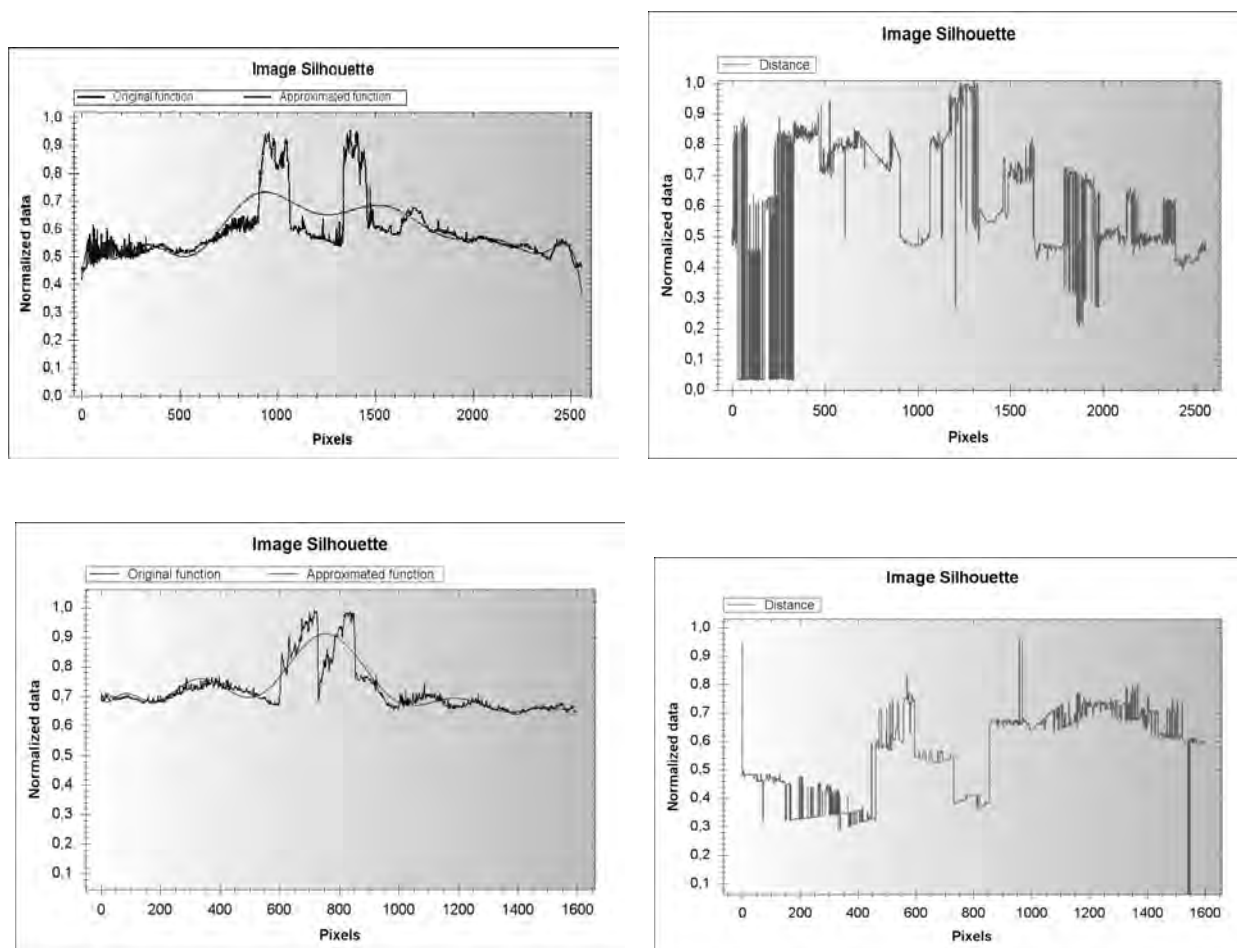


Рис.2. Фронтальний та бічний силуети, їх апроксимації та відстані до піків

Замінивши рівняння (3) для обчислення яскравості на рівняння (2), ми отримуємо інверсне представлення (рис. 3) тестового образу.

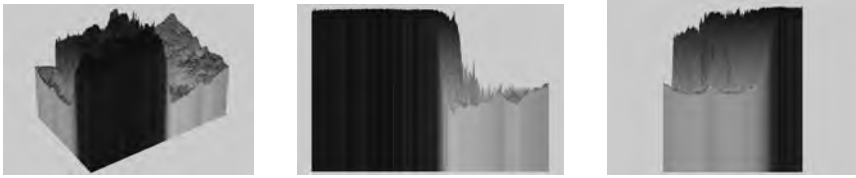


Рис. 3. Тривимірні зображення за інверсною яскравістю

Для тестового образу криві фронтального та бічного силуетів, а також їх пікові відстані для інверсної яскравості продемонстровано на рис. 4.

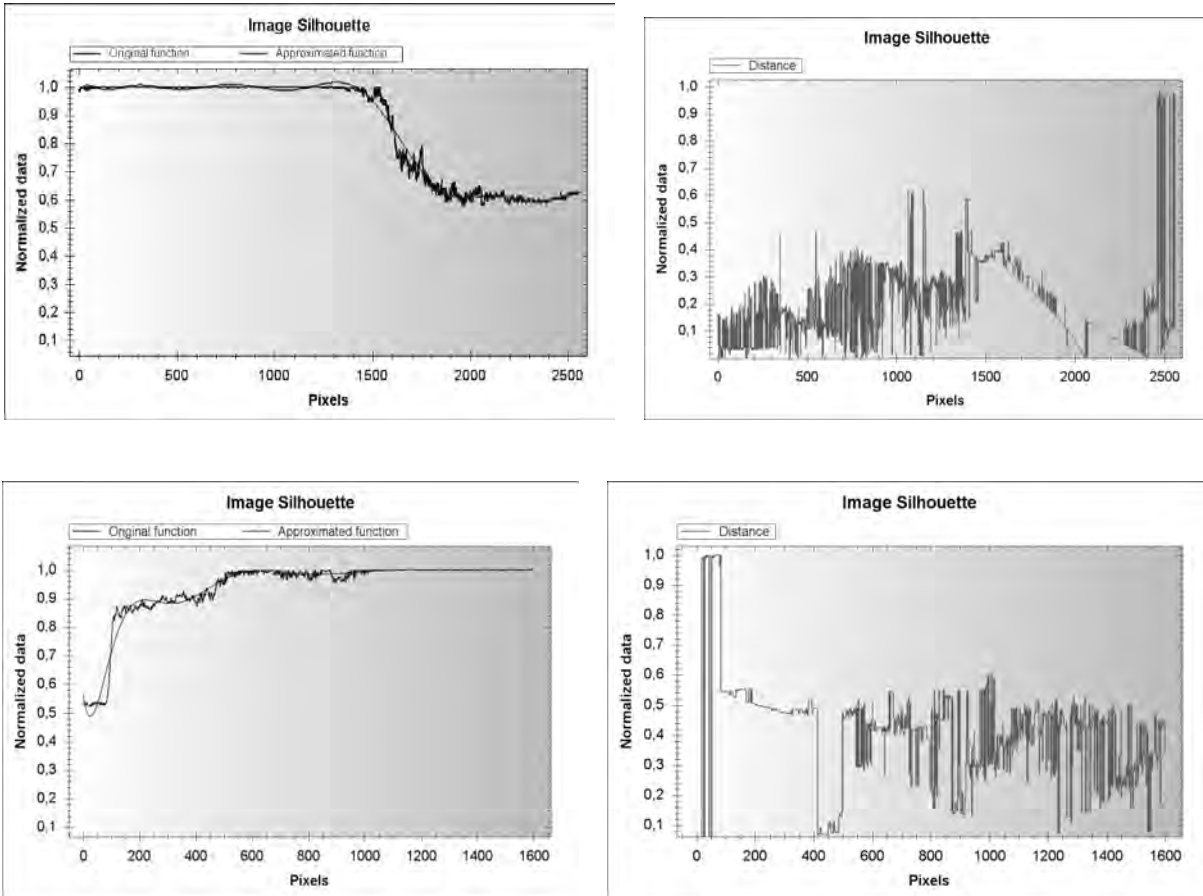


Рис. 4. Інверсні силуети, їх апроксимації та пікові відстані

Отже, чотири графічні діаграми можна прийняти як грубі ознаки для пошуку зображення. Для того, щоб зменшити розмірність даних для пошуку, пропонується графіки силуетів апроксимувати простішими функціями, зокрема, поліноміальними функціями.

## 2. Апроксимація силуетів

Криві силуетів зображення апроксимуємо поліноміальною функцією вигляду:

$$P(\vec{A}, \omega) = A_0 + A_1\omega + \dots + A_m\omega^m, \quad (5)$$

або

$$P_m(\vec{a}, \omega) = a_0\varphi_0(\omega) + a_1\varphi_1(\omega) + \dots + a_m\varphi_m(\omega), \quad (6)$$

де ортогональні функції представляються так:

$$\varphi_0(\omega) = 1, \quad \varphi_1(\omega) = \omega + b_0^{(1)}, \dots, \quad (7)$$

$$\varphi_{k+1}(\omega) = (\omega + \beta_{k+1})\varphi_k(\omega) + \gamma_{k+1}\varphi_{k-1}(\omega) \quad (8)$$

$$\beta_{k+1} = \frac{\sum_{i=1}^L \omega_i [\varphi_k(\omega_i)]^2}{\sum_{i=1}^L [\varphi_k(\omega_i)]^2}; \quad \gamma_{k+1} = \frac{\sum_{i=1}^L \omega_i \varphi_{k-1}(\omega_i) \varphi_k(\omega_i)}{\sum_{i=1}^L [\varphi_{k-1}(\omega_i)]^2} \quad (9)$$

Тут  $\xi(\omega_i)$  – табличне значення апроксимованої функції в точці  $\omega_i$ .

Коефіцієнти для ортогональних функцій обчислюємо за рекурентними формулами:

$$b_j^{(k)} = b_j^{(k-1)} \beta_k + b_{j-1}^{(k-1)} + b_{j-1}^{(k-2)} \gamma_k \quad (10)$$

$$b_k^{(k)} = 1, \quad b_{-1}^{(k)} = 0, \quad k = 0, 1, 2, \dots, m. \quad j = 0, 1, 2, \dots, k. \quad (11)$$

Коефіцієнти для результуючого многочлена функції (за ортогональними функціями та степенем змінної) обчислюємо за формулами:

$$a_k = \frac{\sum_{i=1}^L \xi(\omega_i) \varphi_k(\omega_i)}{\sum_{i=1}^L [\varphi_k(\omega_i)]^2}; \quad k = 0, 1, 2, \dots, m. \quad A_k = \sum_{i=0}^m a_i b_k^{(i)} \quad (12)$$

Графіки силуетів образів та апроксимованих функцій шостого степеня подано на рис. 2, 4. Для вибору найкращого значення степеня многочленів алгоритм передбачає поступове збільшення та контроль похибки апроксимації.

### 3. Пошук зображень за силуетами

Тестування алгоритму пошуку зображень за фронтальними силуетами яскравості образів здійснювали у базі даних зображень Ванга (1000 елементів, розбитих на 10 категорій) [11]. Пошук проводився за кривими силуетів з використанням всіх пікселів рядка зображення, а також за коефіцієнтами апроксимуючих поліномів. Апроксимація зображень проводилася многочленами шостого степеня. Приклад зображень та їх ключів (коефіцієнтів поліномів) наведено на рис. 5.



$A_0$	0,26615	0,76455	-6,72113E-15
$A_1$	0,00334	0,00656	0,00976
$A_2$	-0,00016	-0,00011	-0,00013
$A_3$	2,04446E-06	1,01569E-06	8,69406E-07
$A_4$	-1,10557E-08	-4,28688E-09	-2,80730E-09
$A_5$	2,65329E-11	8,65551E-12	4,44251E-12
$A_6$	-2,34530E-14	-6,72113E-15	-2,72950E-15

Рис.5. Приклади образів та їх ключів (поліноміальних коефіцієнтів)

Критерієм пошуку використано відносно середньоквадратичне та модульне відхилення шуканого зразка від наявних в базі даних екземплярів. Для кривих силуетів та їх апроксимуючих функцій вирази для похибки тотожні.

На рис. 6 наведено приклади образів, фронтальних силуетів та результати пошуку за силуетами та поліноміальними коефіцієнтами функцій шостого степеня.

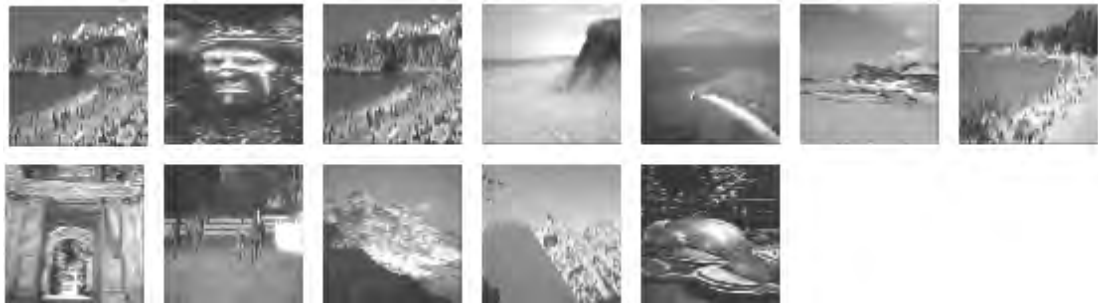
Відхилення %	Пошук по кривій			Пошук за поліномом шостого степеня			Типове зображення	Типова крива яскравості
	Час, мс	Кількість	Із категорії	Час, мс	Кількість	Із категорії		
5	78	1	1	48	1	1		
10	78	1	1	62	4	1		
15	78	1	1	62	7	1		
20	78	1	1	62	9	2		
5	140	318	100	5	1	1		
10	125	592	100	10	1	1		
15	156	749	100	15	8	2		
20	203	820	100	20	16	3		
5	78	1	1	62	1	1		
10	109	224	14	62	1	1		
15	156	762	82	46	1	1		
20	187	835	100	78	1	1		
5	78	1	1	62	1	1		
10	78	1	1	62	1	1		
15	78	6	1	62	1	1		
20	93	50	5	62	1	1		
5	62	1	1	62	1	1		
10	62	1	1	62	1	1		
15	78	3	1	62	1	1		
20	46	17	2	62	1	1		
5	78	9	4	62	1	1		
10	93	220	39	62	3	1		
15	140	686	89	62	16	2		
20	171	856	95	31	30	3		

Рис. 6. Приклади пошуку образів за силуетами

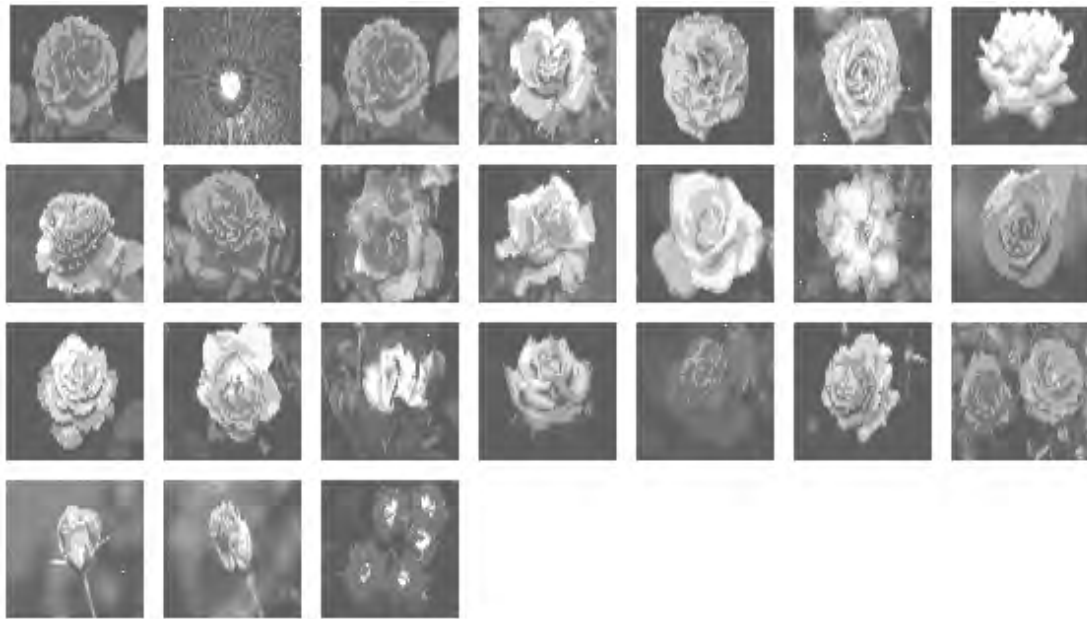
Інтерпретація результатів тестування вказує на такі властивості силуетів яскравості: вони можуть бути ключем до грубого оцінювання наявності зображення в базі даних; час пошуку за коефіцієнтами поліномів в середньому в два рази менший; кількість поданих зображень збільшується зі збільшенням похибки; в середньому для кривих силуетів кількість поданих зображень більша, ніж для коефіцієнтів; для простих силуетів кількість даних значно зростає, для коефіцієнтів їх ріст менший.

На рис.7 наведено приклади роботи алгоритму пошуку, на яких перше зображення є образом-запитом, а решта знайдені як відповідь на запит. Пошук здійснювався за кривими силуетів при похибці 13%. За коефіцієнтами поліномів в результаті пошуку при похибці 5–15 відсотків на виході були тільки шукані зображення.

Результати пошуку залежать від виду силуету: для виразного силуету, характерного для групи образів, ця група формується алгоритмом як відповідь (приклад на рис.7 б); якщо силует не має виразної форми, відповідь містить образи різних категорій. Зменшення похибки пошуку приводить до знаходження бажаних образів.



a



б

Рис. 7. Приклади результатів пошуку за кривими силуетів

Додатково для уточнення результатів при пошуку можна використовувати інші критерії. Так, при тестуванні пошуку використовувалася фільтрація отриманих зображень за відстанями до піків силуетів від нижнього краю зображення. Для зображень різного розміру дані масштабуються. Уточнення відбувається на основі отриманих при попередньому пошуку зображень. На рис.8. наведено схему роботи такого пошуку.

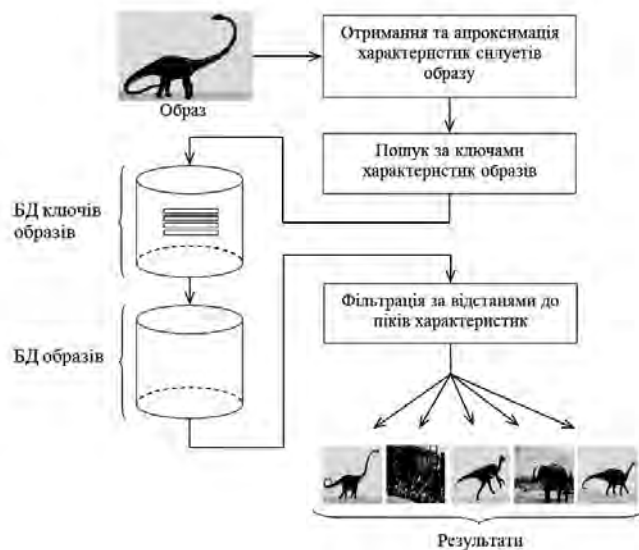


Рис. 8. Схема процесу пошуку образів

На рис. 9 наведено приклади роботи алгоритму із фільтрацією результатів за відстанями піків силуетів до переднього краю зображення при відхиленні кривих силуетів 2,5% та кривих відстаней – 60%. Рис. 9, а – результати попереднього пошуку, рис.9б – уточнені результати.



*a*



*б*

*Рис. 9. Приклади результатів пошуку з фільтрацією за відстанями*

#### 4. Програмний пакет

Експериментальний програмний пакет з інтерфейсом користувача контролює всі етапи роботи: введення образу, керування параметрами, виведення варіантів пошуку (за кривою, за поліномом), повний звіт про хід алгоритму, числові параметри результатів тощо. Пакет дає змогу виконати три завдання: знайти силуети, апроксимувати їх поліномами, виконати пошуки окремих образів за категоріями. Параметрами керування є похибка апроксимації, похибка пошуку, ознака пошуку, керування критеріями пошуку. Інтерфейс пакета наведено на рис. 10.

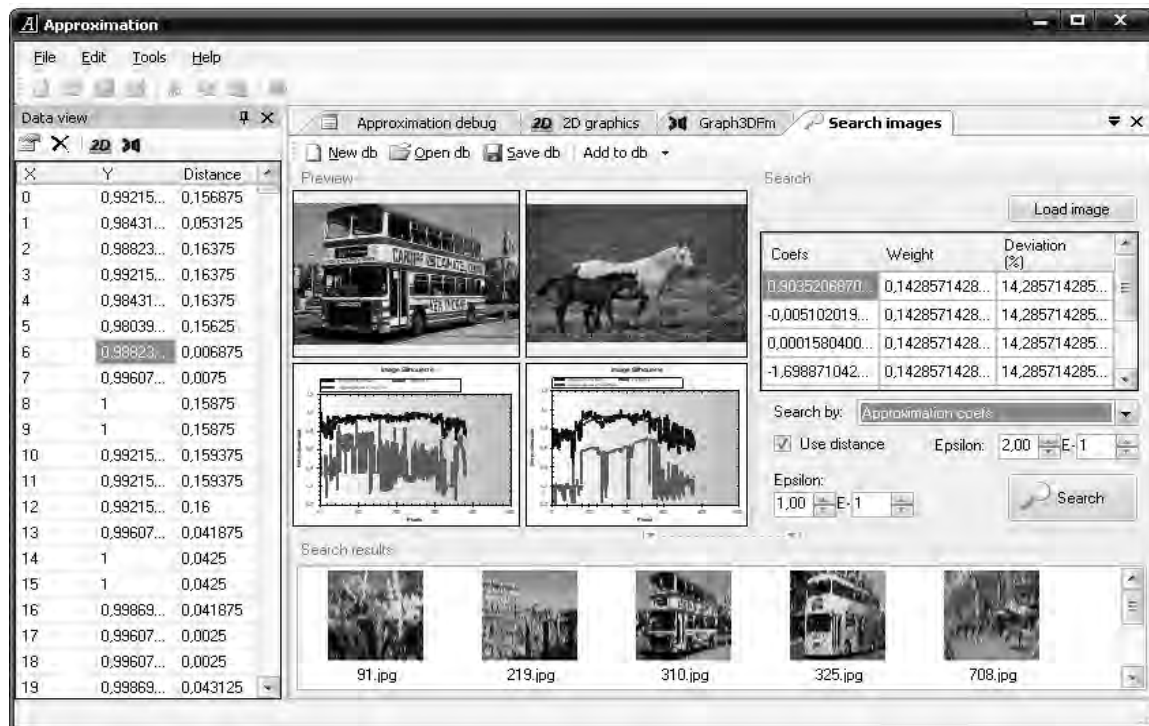


Рис. 10. Інтерфейс пакета

#### Висновки

Реалізовано програмний пакет з інтерфейсом користувача, що контролює всі етапи роботи із зображенням: введення образу, керування параметрами, процесу індексування та пошуку, повний звіт про хід алгоритму, числові параметри результатів тощо. Запропоновано коефіцієнти апроксимуючих поліномів силуетів використовувати для грубого пошуку зображень. Формування ключів зображення за представленими властивостями образів рекомендується для застосування в автоматизованих системах пошуку зображень.

1. Swain M.J., Ballard D.H. Color indexing, *International journal of Computer Vision*, vol. 7, n. 1, p. 11–32, 1991. 2. Nezamabadi-pour H., Kabir E. Image retrieval using histograms of unicolor and bicolor blocs and Mokhtarian F., Abbasi S. Shape similarity retrieval under affine transforms, *Pattern Recognition*, vol. 35, p. 31–41, 2002. 4. Jain A.K., Vailaya A. Image retrieval using color and shape, *Pattern Recognition*, vol. 29, n. 8, p. 1233–1244, 1996. 5. Manjunath B.S., Ma W.Y. Texture feature for browsing and retrieval of image data, *IEEE PAMI*, vol. 8, n. 18, p. 837–842, 1996. 6. Smith J.R., Li C.S. Image classification and querying using composite region templates, *Academic Press, Computer Vision and Understanding*, vol. 75, p. 165–174, 1999. 7. Wang J.Z., Li J., Wiederhold G. SIMPLcity: semantic sensitive integrated matching for picture libraries, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 23, n. 9, p. 947–963, 2001. 8. Yoo H.W., Jung S.H., Jang D.H., Na Y.K. Extraction of major object features using VQ clustering for content-based image retrieval, *Pattern Recognition*, vol. 35, p. 1115–1126, 2002. 9. Burl M.C., Weber M., Perona P. A probabilistic approach to object recognition using local photometry and global geometry, *Proc. European Conf. Computer Vision*, p. 628–641, 1998. 10. Wang J.Z., Fishler M.A. Visual similarity, judgmental certainty and stereo correspondence, *Proc. DARPA Image Understanding Workshop*, 1998. 11. База 1000 тестових зображень (Wang) <http://wang.ist.psu.edu/~jwang/test1.tar> (2009).