

## МОДИФИЦИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ КОНТЕКСТНОГО ПОИСКА ИЗОБРАЖЕНИЙ В БАЗАХ ДАННЫХ

Н.С.Костюкова

Донецкий национальный технический университет  
Кафедра Прикладной математики и информатики

*В роботі розглядаються питання, пов'язані з пошуком зображень на основі їх вмісту, зокрема, за кольоровою інформацією, що міститься в зображенні. Описується запропонований автором модифікований алгоритм пошуку, оцінюється його ефективність, виконується порівняння з раніше запропонованими алгоритмами.*

### **Введение**

Поиск в коллекции изображений, похожих на заданное, является предметом исследований при решении различных задач. И если в разработке биометрических систем, содержащих однотипные изображения (фотографии человеческих лиц, отпечатки пальцев, сканированное изображение сетчатки и др.) задача поиска изображений, похожих на заданное, решается достаточно успешно, то для баз данных (БД), содержащих произвольные изображения, данная задача остается актуальной. Весьма активно в последнее время развивается подход, называемый контекстным поиском изображений. В соответствии с этим подходом в БД выполняется поиск изображений, визуально сходных с заданным изображением-образцом. Разработки в этом направлении ведутся в США Колумбийским университетом, фирмами IBM и Virage [2,3,4]. Все описанные ранее алгоритмы используют для сравнения цветовых гистограмм изображений метрики, величина которых неограничена (евклидово, косинусное расстояние, конъюнкция цветовых гистограмм). По этой причине отличительной чертой всех современных систем контекстного поиска изображений является сортировка всех изображений, содержащихся в БД, по убыванию сходства с искомым образцом, то есть, в качестве результатов поиска предъявляется все содержимое БД, упорядоченное определенным образом [1]. Описываемый в данной работе алгоритм позволяет не только ограничить набор изображений, являющихся результатом, но и предоставляет возможность решать обратную задачу, а именно, поиск изображений, наименее похожих на заданный образец.

### Этапы решения задачи поиска изображений по их содержимому

В целях формализации решения задачи контекстного поиска изображений авторами сформулирована ее общая постановка, приведенная в [5]. В соответствии с этой постановкой, для представления цветового содержимого изображения будем использовать цветовую гистограмму-вектор  $H [1.. C \max]$ , каждый элемент которого вычисляется как:

$$H[i] = \frac{K_i}{M \times N}, i = 1, 2..C \max, \quad (1)$$

где  $K_i$  - количество точек изображения, имеющих цвет  $Colors[i]$ ,  $C \max$  - число цветов базового набора, для которого строится цветовая гистограмма. Таким образом, каждый элемент цветовой гистограммы характеризует вероятность того, что цвет произвольного пикселя изображения совпадает с  $i$ -м цветом из базового набора, а сама цветовая гистограмма представляет собой распределение вероятности значений цвета пикселей. Если количество цветов изображения не совпадает с  $C \max$ , то перед построением цветовой гистограммы дополнительно должна быть решена задача приведения цветовых систем, то есть замены цветов пикселей изображения наиболее близкими цветами из базового набора. Для решения данной подзадачи разработан ряд методов, различающихся по быстрдействию и эффективности, однако, как показывает выполненный анализ [6], в процессе контекстного поиска применим только один, заключающийся в отбрасывании младших разрядов каждой цветовой составляющей – это единственный метод, позволяющий получить после преобразования различных изображений один и тот же набор цветов.

Наиболее проблематичным при решении рассматриваемой задачи является сравнение цветовых гистограмм. Применение для сравнения цветовых гистограмм таких метрик, как конъюнкция цветовых гистограмм, евклидово расстояние между гистограммами, квадратичное расстояние, обладает весьма существенным недостатком. Особенность этих величин заключается в том, что невозможно оценить их значение, не сравнивая его с другими аналогичными величинами, поскольку данные характеристики могут принимать произвольные значения, никак не ограниченные сверху, что иллюстрируется анализом области их значений, приведенным в [5]. Именно по этой причине задача поиска в базе данных изображений, похожих на заданное, сводится к задаче упорядочения всех изображений, хранящихся в базе данных, по убыванию сходства с искомым изображением [1].

### Модифицированный алгоритм поиска изображений

В данной работе описывается метод поиска, основанный на использовании для сравнения цветового содержимого изображений

коэффициента корреляции их цветовых гистограмм, вычисляемый по следующей формуле (2):

$$\rho = \frac{\text{cov}(H_1, H_2)}{\sigma(H_1) \cdot \sigma(H_2)}. \quad (2)$$

где  $\text{cov}(H_1, H_2)$  – ковариация гистограмм  $H_1$  и  $H_2$ ,  
 $\sigma(H_1)$ ,  $\sigma(H_2)$  – среднеквадратичное отклонение гистограмм  $H_1$  и  $H_2$  соответственно.

Показано [7], что коэффициент корреляции обладает следующими свойствами:

- 1)  $-1 \leq \rho(H_1, H_2) \leq 1$ .
- 2) Если  $\rho(H_1, H_2) = 0$ , значит, гистограммы  $H_1$  и  $H_2$  никак не связаны.
- 3) Если  $\rho(H_1, H_2) < 0$ , значит, между элементами гистограмм  $H_1$  и  $H_2$  существует отрицательная корреляция, то есть малым значениям элементов одной гистограммы соответствуют большие значениями другой.
- 4) Если  $\rho(H_1, H_2) > 0$ , значит, большие значения одной гистограммы связаны с большими значениями другой (положительная корреляция), причем, чем больше значение  $\rho$ , тем сильнее зависимость  $H_1$  и  $H_2$ .

Очевидно, что коэффициент корреляции не удовлетворяет свойствам идентичности, неотрицательности и неравенства треугольника, которыми обладают традиционные меры сходства цветовых гистограмм [8]. Однако коэффициент корреляции является «естественной» мерой оценки взаимной зависимости случайных величин, тогда как традиционные метрики являются мерами искусственными. Использование коэффициента корреляции, во-первых, позволяет ограничить число изображений, выводимых в качестве результатов поиска, включая в набор результатов только те, для которых, по крайней мере,  $\rho > 0$  (или же задавать минимально допустимую степень сходства образца и результатов поиска). Также с использованием данного подхода можно, при необходимости, найти в БД изображения, в наименьшей степени похожие на образец (для этого достаточно упорядочить набор изображений не по убыванию, а по возрастанию значения коэффициента корреляции).

Учитывая, что для представления цветового содержимого изображения используются нормализованные цветовые гистограммы (сумма элементов нормализованной цветовой гистограммы равна 1), можно модифицировать данный алгоритм с целью уменьшения его временной сложности. С учетом этого используемые в вычислениях формулы могут быть преобразованы, и, в частности, формула для среднеквадратичного отклонения элементов цветовой гистограммы примет вид:

$$\sigma(H) = \sqrt{\frac{1}{C_{\max}} \left( \sum_{i=1}^{C_{\max}} H[i]^2 - \mu \right)}. \quad (3)$$

Аналогично для ковариации получим:

$$\text{cov}(H_1, H_2) = \frac{1}{C_{\max}} \left( \sum_{i=1}^{C_{\max}} H_1[i] \cdot H_2[i] - \mu \right). \quad (4)$$

Автором также была исследована еще одна возможная модификация этого алгоритма. Если заменить элементы ЦГ нормированными центрированными значениями [7], то математическое ожидание элементов такой гистограммы будет равным нулю, а дисперсия – единице, за счет чего достигается ускорение вычислений. Однако при использовании нормированных центрированных гистограмм следует учесть, что в результате преобразования могут исчезнуть нулевые элементы, то есть цвета, не представленные в изображении, будут влиять на значение коэффициента корреляции, из-за чего могут быть искажены результаты поиска, и данный метод окажется неприменимым

### **Экспериментальная оценка качества поиска**

Для оценки качества поиска изображений на основе предложенного подхода были разработаны программы, выполняющие поиск изображений как на основе ранее предложенных метрик (евклидово, косинусное расстояние, конъюнкция цветовых гистограмм), так и с использованием коэффициента корреляции обычных и нормированных центрированных ЦГ.

Полученные экспериментально результаты поиска с использованием различных образцов приведены на рисунках 1-5. В качестве образца всякий раз использовалось изображение, выводимое в левом верхнем углу экрана; результаты поиска визуализируются в порядке убывания сходства с образцом слева направо и сверху вниз. Для оценки качества поиска по предлагаемым методикам выполнялось сравнение с результатами, полученными по традиционным метрикам, в частности, с использованием евклидова расстояния (рис. 1, 3). Использование коэффициента корреляции нормированных центрированных цветовых гистограмм в ряде случаев позволяло получить вполне удовлетворительные результаты, однако рисунок 5 показывает, что данный подход приводит к тому, что в число результатов поиска могут попасть изображения, содержащие цвета, не встречающиеся в образце. Таким образом, экспериментально получено подтверждение неприменимости такого подхода для поиска изображений по цветовому содержанию. При сравнении результатов поиска по предложенному алгоритму (рис. 2, 4) с традиционными методиками видно, что результаты поиска совпадают, то есть экспериментальным путем подтверждена возможность использования коэффициента корреляции в качестве меры различия цветовых гистограмм изображений.

## **Выводы**

В работе рассмотрен модифицированный алгоритм поиска изображений в больших базах данных на основе их цветового содержимого, в котором на этапе сравнения изображений для оценки степени сходства цветовых гистограмм используется коэффициент их корреляции. Выполнена экспериментальная проверка предлагаемого алгоритма и проанализированы полученные результаты, подтвердившие адекватность выполняемого поиска.

## **Литература**

1. Michael S. Lew. Next-Generation Web Searches for Visual Content// IEEE Computer.–November, 2000.–pp.46-53.
2. IBM Almaden Research Center. Query by Image and Video Content: the QBIC System. Computer, September 1995, 23-31.
3. J. R. Smith and S.-F. Chang, "VisualSEEK: A Fully Automated Content-Based Image Query System," ACM Multimedia Conference, Boston, MA, Nov. 1996. Demo: [http://www.ctr.columbia.edu/ VisualSEEK](http://www.ctr.columbia.edu/VisualSEEK)
4. Amarnath Gupta. Visual Information Retrieval Technology- A Virage Perspective.
5. Башков Е.А., Шозда Н.С. Поиск изображений в больших БД с использованием коэффициента корреляции цветовых гистограмм. 12-я Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению ГрафиКон'2002. Труды конференции. Нижний Новгород, 16-21 сентября 2002г. стр.358-361
6. Башков Е.А., Шозда Н.С. Алгоритмы дискретизации цветового пространства и их использование в контекстном поиске изображений// Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка.–Випуск 15.–Донецьк, 2000.–С.192–196.
7. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика.– М.:Высшая школа, 1972.
8. John R. Smith Integrated Spatial and Feature Image Systems: Retrieval, Analysis and Compression. Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in the Graduate School of Arts and Sciences, Columbia University, 1997.

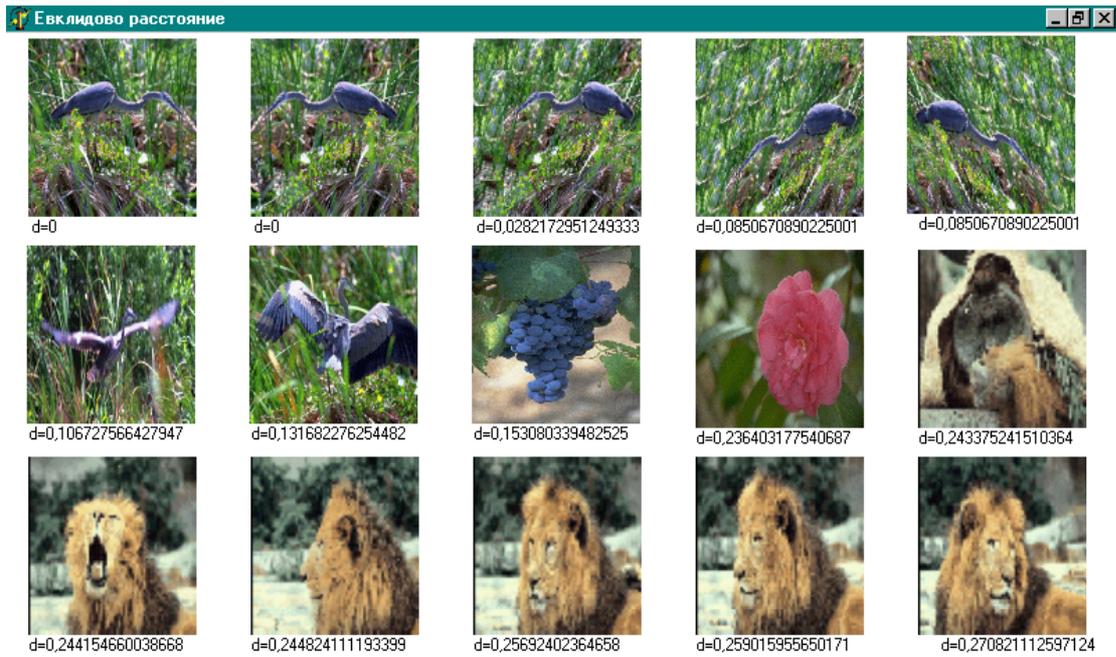


Рисунок 1—Результаты поиска с использованием евклидова расстояния

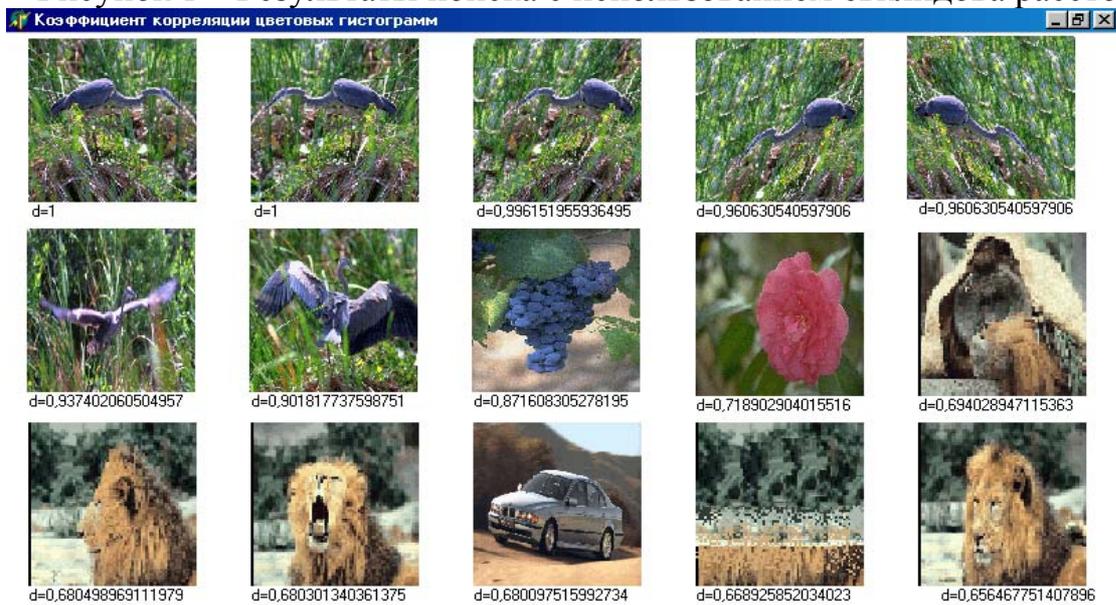


Рисунок 2—Результаты поиска с использованием коэффициента корреляции цветовых гистограмм.

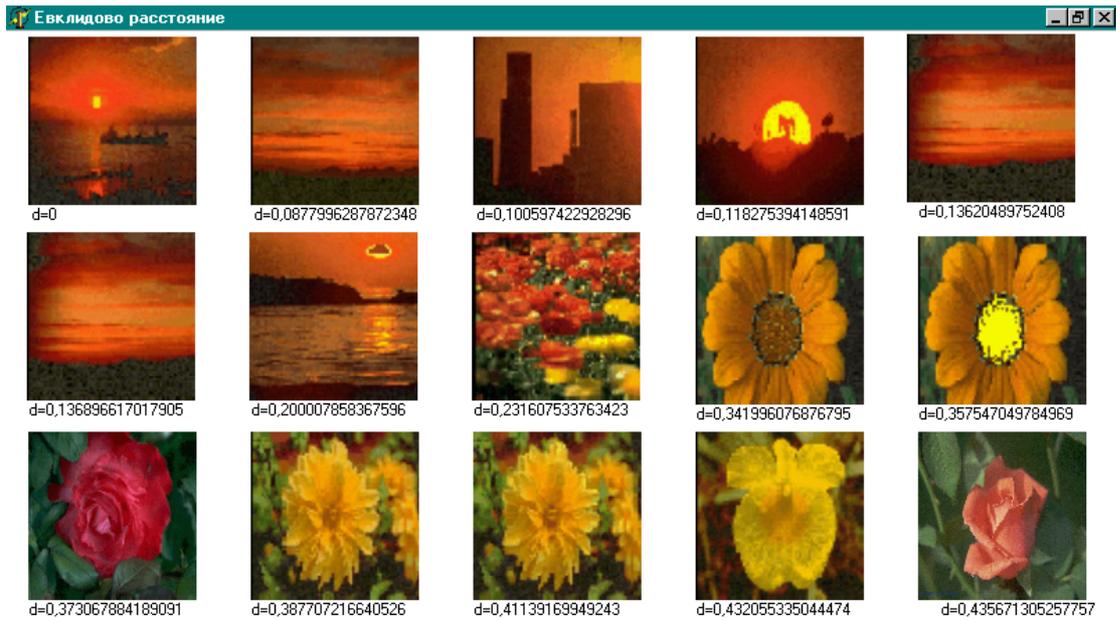


Рисунок 3—Результаты поиска с использованием евклидова расстояния

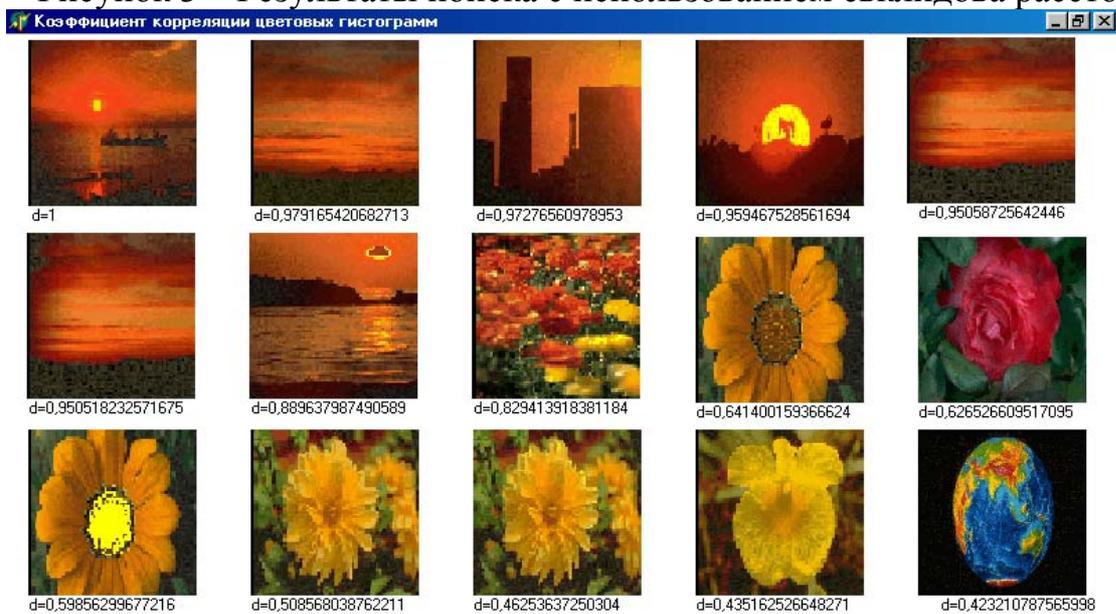


Рисунок 4—Результаты поиска с использованием коэффициента корреляции цветовых гистограмм.

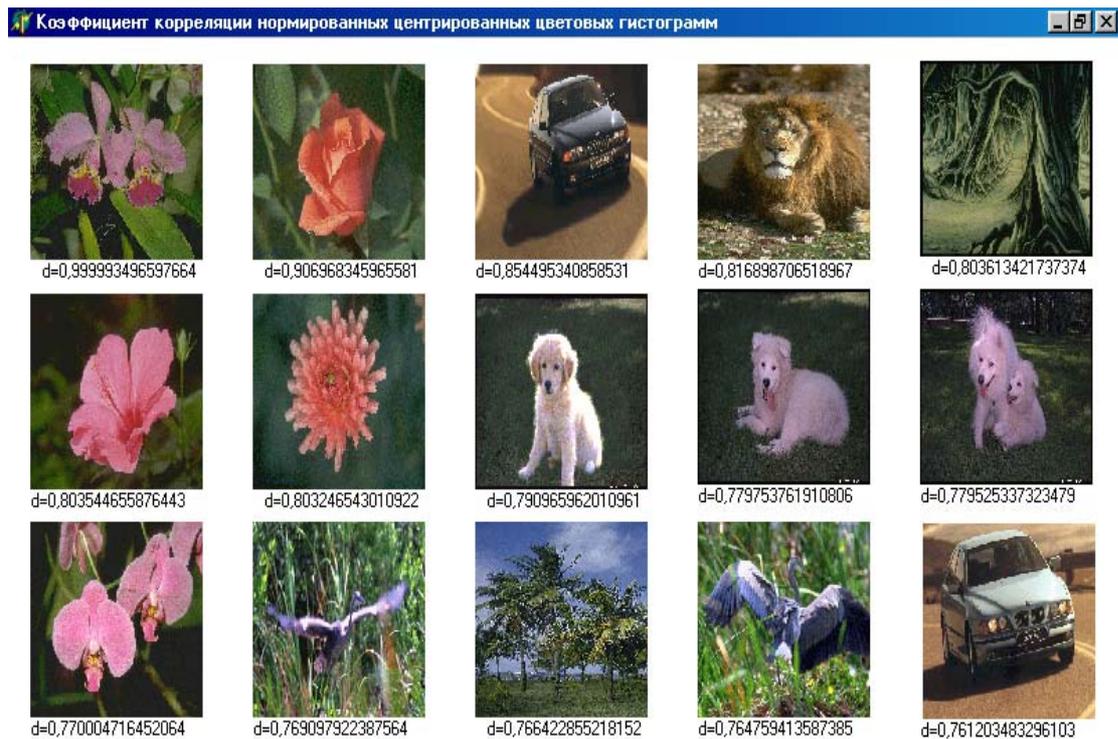


Рисунок 5—Результаты поиска, иллюстрирующие недостатки использования коэффициента корреляции нормированных центрированных цветových гистограмм.

Поступила в редакцию 24.12.03