

Взвешенный CombMNZ для комбинирования результатов поиска изображений по цветовым признакам

© Наталья Васильева, Юлия Гладышева

HP Labs, СПбГУ

nvassilieva@hp.com, yulia.gladisheva@gmail.com

Аннотация

В данной статье рассматриваются два алгоритма поиска изображений по цвету, исследуется их относительная точность в зависимости от изображения-запроса и предлагается адаптивная модификация метода синтеза CombMNZ, учитывающая данную зависимость.

1. Введение

Традиционным подходом к поиску изображений по содержанию является независимый анализ их визуальных характеристик (цвета, текстуры и формы объектов), каждая из которых описывается точкой в соответствующем пространстве признаков. Иногда для описания одной и той же характеристики используются различные пространства признаков. В результате каждое изображение в системе представляется набором векторов признаков, полученных с помощью различных алгоритмов. При таком подходе встает задача дальнейшего синтеза результатов поиска по каждому из пространств признаков для формирования общей выдачи.

Задача синтеза данных состоит в том, чтобы имея результаты работы некоторых поисковых алгоритмов, получить один общий результат, превосходящий исходные по заданным критериям. Каждый исходный алгоритм поиска в совокупности с данными, с которыми он работает, принято называть свидетелем или источником синтеза.

Одним из наиболее эффективных методов синтеза по результатам ряда экспериментальных исследований является метод CombMNZ [4]. Данный метод особенно эффективен в случае достаточного пересечения источников синтеза [1, 2], что характерно при комбинировании пространств признаков, описывающих одну и ту же характеристику изображения. К недостаткам метода CombMNZ можно отнести то, что он, как и большинство прочих алгоритмов комбинирования результатов различных методов поиска, не зависит от изображения-запроса. На практике же наблюдается, что при поиске по различным запросам могут выигрывать в точности поиска различные пространства признаков. Поэтому в случае поиска по разнородной коллекции изображений представляется оправданным исследование зависимости точности поиска в каждом из пространств признаков от особенностей запроса-образца и использование адаптивного метода синтеза, учитывающего данную зависимость.

В данной работе мы рассматриваем два алгоритма поиска изображений по цвету, исследуем их относительную точность в зависимости от запроса и предлагаем адаптивную модификацию метода CombMNZ для синтеза данных методов.

Целью участия в РОМИП для нас являлась проверка гипотезы о зависимости относительной точности поиска по цветовым гистограммам и цветовым моментам – двух основных методов поиска изображений по цвету, от общего числа цветов на изображении-запросе, а также сравнение методов синтеза CombMNZ и его адаптивной версии – взвешенного CombMNZ.

2. Методы поиска изображений по цвету

При поиске по коллекции цветных изображений произвольной тематики цвет – наиболее значимая характеристика. Он играет огромную роль в механизме зрительного восприятия человека. Кроме того, цвет изображения достаточно просто анализировать, он инвариантен относительно размера изображения и ориентации расположенных на нем объектов.

2.1 Цветовая гистограмма

Самым простым и распространенным представлением цвета в системах поиска является цветовая гистограмма – гистограмма распределения цветов изображения [5-8]. Для каждой точки рассматриваемого цветового пространства вычисляется доля пикселей данного цвета на изображении.

В данной работе использовалась модификация классической цветовой гистограммы HistSP, учитывающая пространственное расположение цветов [1]. Для каждого ненулевого элемента гистограммы вычисляется также центр масс пикселей соответствующего цвета, его координаты сохраняются в числе элементов вектора признаков. Для оценки подобия двух изображений по соответствующим им векторам признаков использовалась функция $D_{\text{HistSP}}[1]$.

Для построения гистограммы было выбрано цветовое пространство HSI* [1], разбитое на цветовые диапазоны с применением схемы равномерного квантования с граничными условиями [1] с параметрами $\langle 6,2,3 \rangle$: помимо граничных диапазонов, ось оттенков (H) была разбита на шесть равных диапазонов, ось насыщенности (S) – на два диапазона, ось интенсивности – на три. Данный выбор обусловлен результатами экспериментального исследования эффективности поиска изображений по цветовым гистограммам в различных цветовых пространствах и с использованием различных схем квантования [1]. Пространство HSI* незначительно отличается от классических HSI, HSV, HSL [3] представлением интенсивности (яркости) цвета. Оно лучше соответствует тому свойству зрительного восприятия человека, что ненасыщенные цвета визуально кажутся светлее более насыщенных тех же оттенка и яркости. Добавление граничных условий при квантовании цветового пространства позволяет существенно снизить размерность векторов признаков при незначительном снижении точности результатов поиска.

2.1 Цветовые моменты

В качестве второго цветового признака мы использовали цветовые моменты [5, 6] – альтернативную цветовым гистограммам модель представления цвета изображения. В рамках данной модели распределения отдельных цветовых каналов рассматриваются как части трехмерного распределения. Для оценки подобия двух изображений сравниваются параметры распределения их цветов: математическое ожидание по каждому из цветовых каналов и попарные ковариации распределений каналов [6].

Пространственное расположение цветов учитывается с помощью разбиения изображения на “нечеткие области” [6]. Вводится пять фиксированных областей: центральная область в виде эллипса и четыре боковые области. Каждая из областей рассматривается как отдельное изображение со своими параметрами распределения цвета. Для каждого из пикселей вычисляется его

степень принадлежности к области: чем ближе к границе области, тем меньше степень принадлежности к ней. Это значение регулирует вклад цвета соответствующего пиксела в общую оценку распределения цвета области.

Для сравнения двух изображений по соответствующим им наборам признаков используется взвешенная манхэттенская метрика с различными весами для различных областей и различных параметров распределения цвета.

3. Зависимость точности поиска по цвету от запроса

При использовании цветовых моментов в качестве признаков цвета, степень подобия изображений определяется разностью средних значений по каждому из цветовых каналов. Видится логичным, что данный метод будет эффективен при небольшом количестве различных цветов на сравниваемых изображениях. В противном случае средние значения могут оказаться одинаковыми для различных наборов цветов.

Данное предположение соответствует наблюдениям, сделанным в ходе экспериментов по сравнению эффективности методов поиска изображений по цвету [1]. Была отмечена существенная разница в относительной точности результатов поиска по цветовым гистограммам и цветовым моментам для различных запросов. Для ряда запросов поиск по гистограммам давал существенно более точный результат по сравнению с результатом поиска по цветовым моментам, для других запросов результат поиска по цветовым моментам был точнее. Мы предположили, что относительная точность результатов работы данных методов зависит от числа цветов на изображении-запросе.

Для проверки данной гипотезы мы поставили следующий эксперимент на тестовой коллекции из 100 изображений, разбитых экспертом на 16 групп по семантическому и визуальному подобию. Для каждого изображения коллекции мы вычислили описанные выше цветовые признаки:

- HistSP – цветовая гистограмма, учитывающая пространственное расположение цветов [1];
- ColorMoments – цветовые моменты, построенные согласно [6].

Для каждой пары изображений было вычислено расстояние в каждом из рассматриваемых пространств признаков. Далее мы вычислили точность результатов поиска по каждому из изображений коллекции. При вычислении точности все

изображения, принадлежащие той же группе, что и изображение-запрос, считались релевантными, а остальные изображения коллекции – нерелевантными запросу.

Для того чтобы определить зависимость относительной точности рассматриваемых методов поиска по цвету, изображения тестовой коллекции были разбиты на три группы в зависимости от разности в точности поиска по цветовым гистограммам и цветовым моментам:

Группа А: изображения, для которых поиск по цветовым моментам дает существенно более точный результат по сравнению с результатом поиска по цветовым гистограммам: (точность поиска по моментам – точность поиска по гистограммам) $\geq 20\%$

Группа Б: изображения, для которых точность результатов поиска с помощью обоих рассматриваемых методов сравнима: $|\text{точность поиска по гистограммам} - \text{точность поиска по моментам}| < 20\%$

Группа В: изображения, для которых поиск по гистограммам дает существенно более точный результат по сравнению с результатом поиска по моментам: (точность поиска по моментам – точность поиска по гистограммам) $\geq 20\%$

Для каждой группы было посчитано среднее количество цветов: α , β , γ для групп А, Б и В соответственно. Полученные значения значения параметров α , β , γ удовлетворяли неравенству $\alpha \leq \beta \leq \gamma$. Из данного наблюдения мы сделали вывод, что поиск по цветовым моментам более эффективен для запросов с количеством цветов, меньшим α ; метод гистограмм – для запросов с количеством цветов, большим γ ; для остальных запросов эффективность рассматриваемых методов поиска сравнима.

Мы также исследовали зависимость средней точности (использовалось макроусреднение) от числа цветов на изображении. На рис. 1 (а, б) представлена зависимость разности точности результатов поиска по цветовым гистограммам и по цветовым моментам от числа цветов на изображении-запросе. Данная зависимость также подтверждает нашу гипотезу.

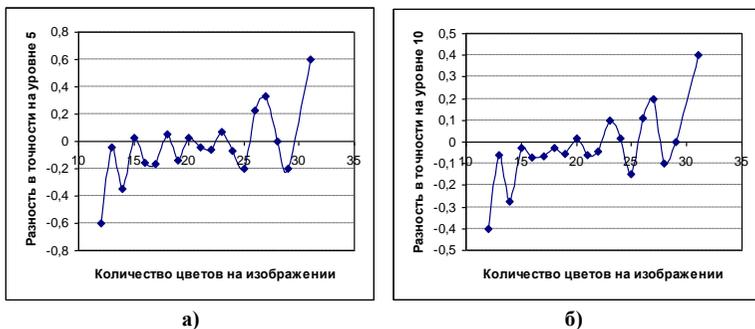


Рис. 1. Зависимость разности точности на уровне 5 (а) и на уровне 10 (б) от числа цветов на изображении-запросе для результатов поиска по цветовым гистограммам и цветовым моментам

На графиках наблюдается тенденция к увеличению разности с ростом числа цветов: для запросов с небольшим числом цветов характерна более высокая точность результатов поиска по цветовым моментам, в то время как с ростом числа цветов более высокой точности результатов можно достичь при поиске по цветовым гистограммам. Скачкообразный характер графиков можно объяснить небольшим размером тестовой коллекции – усреднение проводилось по небольшому числу изображений. На рис. 2 представлена гистограмма по числу цветов на изображениях тестовой коллекции.



Рис. 2. Распределение числа цветов на изображениях тестовой коллекции

4. Методы синтеза

4.1 CombMNZ

Метод CombMNZ является одним из наиболее эффективных методов синтеза ранжированных списков [4]. Вес элемента в результирующем списке вычисляется как сумма его весов во всех списках, подлежащих синтезу, умноженная на количество списков, где этот элемент присутствует с весом не равным 0. Если элемент отсутствует в каком-либо списке, подлежащем синтезу, его вес в этом списке также считается равным 0.

При поиске изображений в качестве веса элементов в списках-источниках синтеза использовались оценки подобия изображений запросу. Результаты экспериментального исследования показали, что метод CombMNZ особенно эффективен при условии достаточного пересечения источников синтеза. В случае синтеза результатов поиска по цветовым гистограммам и цветовым моментам следует ожидать существенного пересечения источников синтеза, так как поиск производится по одной и той же характеристике изображения – по цвету.

4.2 Взвешенный CombMNZ

Метод синтеза CombMNZ не является адаптивным к запросу и не позволяет использовать выявленную ранее зависимость точности поиска по цветовым гистограммам и моментам от числа цветов на изображении.

В данной работе мы предлагаем модификацию метода синтеза CombMNZ – взвешенный CombMNZ (CombMNZWeighted) с весами для источников синтеза, зависящими от числа цветов на изображении-запросе. Мы предлагаем применять повышающий и понижающий весовые коэффициенты для оценок степени подобия изображений запросу по цветовым гистограммам и цветовым моментам таким образом, чтобы оценка подобия по гистограммам вносила больший вклад в результат синтеза по сравнению с оценкой по моментам в случае, когда изображение-запрос содержит большое количество цветов, и меньший вклад в случае, когда число цветов на изображении-запросе мало.

Для вычисления весовых коэффициентов для источников синтеза мы предлагаем использовать следующую весовую функцию:

$$W(c) = 1 + 2\arctg(2(c - \bar{c})) / \pi,$$

Где c – число цветов на изображении-запросе, \bar{c} – параметр весовой функции, зависящий от распределения числа цветов на изображениях коллекции. Функция $W(c)$ принимает значения на отрезке $[0,2]$. График данной функции представлен на рис. 3.



Рис. 3. График весовой функции $W(c)$

В качестве весового коэффициента для оценки подобия по цветовым гистограммам мы предлагаем использовать функцию $W(c)$, а для оценки подобия по цветовым моментам – функцию $2 - W(c)$. Таким образом, при числе цветов на изображении-запросе, равном параметру \bar{c} , функция синтеза CombMNZWeighted совпадает с функцией синтеза CombMNZ. При числе цветов меньшем параметра \bar{c} , оценка подобия по цветовым моментам вносит больший вклад в результат синтеза, а при числе цветов большем значения \bar{c} – оценка подобия по цветовым гистограммам в большей степени влияет на ранг элемента в результирующей выдаче.

5. Эксперименты на РОМИП'2010

В дорожке поиска изображений по содержанию мы представили к оценке результаты двух прогонов:

- **CombMNZ** – синтез результатов поиска по цветовым моментам и цветовым гистограммам методом CombMNZ;
- **CombMNZWeighted** – синтез результатов поиска по цветовым моментам и цветовым гистограммам методом

CombMNZWeighted, описанном в предыдущем разделе, при значении параметра $\bar{c} = 25$ весовой функции $W(c)$.

Выбор значения параметра \bar{c} был обусловлен распределением числа цветов на изображениях коллекции РОМИП, представленным на рис. 4.

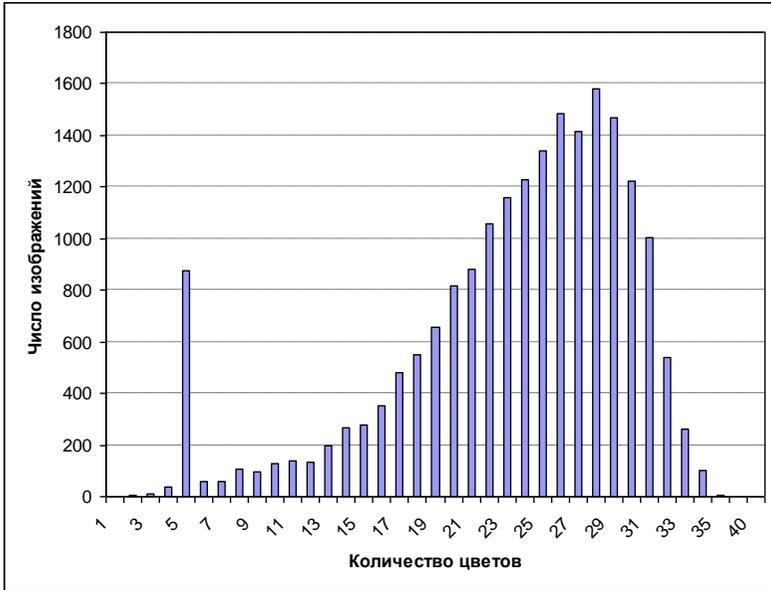


Рис. 4. Распределение числа цветов на изображениях коллекции РОМИП

Для нормировки значений оценок подобию по двум рассматриваемым признакам использовалась линейное выражение

$$\tilde{x}_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}},$$

где x_{\min} и x_{\max} - минимальное и максимальное значение оценок подобию для заданного пространства признаков.

К сожалению, мы ошибочно представили к оценке результаты прогонов по набору запросов для другой дорожки (дорожки аннотирования изображений). Поэтому мы не смогли использовать предоставленные организаторами семинара результаты оценки для анализа эффективности работы наших методов.

6. Заключение

В данной работе мы исследовали зависимость точности результатов поиска в двух пространствах цветowych признаков от числа цветов на изображении-запросе. В качестве цветowych признаков использовались цветовая гистограмма с информацией о пространственном расположении цветов [1] и цветовые моменты [6]. По результатам экспериментов на небольшой размеченной тестовой коллекции (100 изображений) мы сделали вывод о существовании такой зависимости: в случае небольшого числа цветов на запросе лучше работает поиск по цветowym моментам, а в случае большого числа цветов – поиск по гистограммам.

Далее мы предложили модификацию метода синтеза CombMNZ, взвешенный CombMNZ, который учитывает данную зависимость при формировании результирующей выдачи на основе результатов поиска в каждом из рассматриваемых пространств признаков.

Целью участия в семинаре РОМИП было экспериментальное сравнение эффективности классического метода CombMNZ предложенной нами модификации. К сожалению, мы ошибочно представили к оценке набор результатов по другому множеству запросу. Поэтому мы не смогли достичь поставленной цели. Мы планируем проведение повторного эксперимента для сравнения данных методов синтеза.

Литература

- [1] Васильева Н. Построение и комбинирование признаков в задаче поиска изображений по содержанию. – 2010. – С. 164.
- [2] Васильева Н., Дольник А., Марков И. Поиск изображений. Синтез различных методов поиска при формировании результатов. Интернет-Математика 2007: Сборник работ участников конкурса. Под ред. П. И. Браславского.— Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2007. – С. 46–55.
- [3] Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Мир цифровой обработки. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с. (R. Gonzalez, R. Woods. Digital Image Processing).
- [4] Shaw J. A., Fox E. A. Combination of multiple searches [Electronic resource]. – 1994. Mode of access: <http://citeseer.ist.psu.edu/fox94combination.html>
- [5] Stricker M., Orengo M. Similarity of Color Images. In Proceedings of the SPIE Conference. – 1995. – Vol. 2420. – P. 381-392.

- [6] Stricker M., Dimai A. Spectral Covariance and Fuzzy Regions for Image Indexing. Machine Vision and Applications. – 1997. – V. 10. – P.66-73
- [7] Sural S., Qian G., Pramanik S. A histogram with perceptually smooth color transition for image retrieval. Fourth International Conference on Computer Vision, Pattern Recognition and Image Processing. 2002.
- [8] Swain M.J., Ballard D.H. Color Indexing. In International Journal of Computer Vision. – 1991. – V. 7(1). – P. 11-32.

Weighted CombMNZ to combine color-based evidences in image retrieval

Natalia Vassilieva, Yulia Gladisheva

Two image retrieval algorithms using color features are considered in this paper. Precision of these algorithms is investigated and its dependency from the image query is stated. A new adaptive version of CombMNZ data fusion function is proposed, which takes into account this dependency.