

УДК 681.325

С.К. АБРАМОВ, В.В. ЛУКИН, Н.Н. ПОНОМАРЕНКО

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

МЕРА СОДЕРЖАНИЯ ФОНА НА ОСНОВЕ ЭНТРОПИИ ДЛЯ ПОИСКА И СОРТИРОВКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В БАЗАХ ДАННЫХ¹

Предложен подход к анализу свойств цветных изображений на основе энтропии, определяемой для каждой из компонент RGB. Показано, что рассчитываемый в результате параметр может быть использован для поиска в базах данных изображений, которые содержат значительное число пикселей, принадлежащих фону. Это позволяет ранжировать изображения по относительному числу пикселей, принадлежащих фону, а также использовать эту информацию для извлечения изображений из баз больших размеров.

базы изображений, фон, энтропия

Введение

В последние два десятилетия в различных базах было накоплено огромное количество разнообразных изображений [1]. Однако поиск нужных пользователю или подобных изображений в этих базах представляет собой весьма сложную задачу по ряду причин. Во-первых, часто отсутствует описание изображений, содержащихся в той или иной базе. Если же даже какое-то описание имеется, это не гарантирует легкий доступ и быстрый поиск нужных изображений, поскольку описания носят субъективный характер и могут быть на различных языках [2]. Во-вторых, изображения тех или иных объектов могут иметь различный размер, они могут быть получены в различных условиях и т.д. Поэтому значительное внимание в последние годы уделяется разработке автоматизированных методов поиска подобных изображений с использованием различных невербальных признаков [2].

Эти признаки могут быть условно отнесены к нескольким основным группам [2]: – цветовые [3], текстурные [4], признаки формы [5], гистограммные [6] и др. Для обеспечения более высокого быстродействия поиска эти признаки целесообразно заранее определять для пиктограмм (уменьшенных копий) изображе-

ний и хранить в виде соответствующих атрибутов.

Вместе с тем, существует достаточно большое количество изображений, для которых характерно наличие так называемого фона – областей компактно расположенных пикселей, обладающих примерно одинаковыми цветовыми признаками, причем относительная площадь этих областей весьма велика и достигает десятков процентов [7]. Наличие таких фоновых областей может существенно исказить значения различных признаков, определяемых для пиктограммы в целом, особенно цветовых и текстурных. В свою очередь, это заметно осложняет поиск по подобию среди изображений, содержащих фон, и их ранжирование (сортировку или выстраивание в очередь по тем или иным признакам).

В связи с этим актуальными являются задачи выбора или разработки признаков, характеризующих наличие фона в изображениях и его свойства, сортировки изображений по процентному количеству пикселей, принадлежащих фону [8], и т.п. Отметим, что определение характеристик фона является важной промежуточной задачей и для ряда других приложений, например, автоматизированного поиска текста в видеопоследовательностях [9], при обработке медицинских изображений [10] и т.п. В дан-

¹ Работа подготовлена при поддержке ООО "ЯНДЕКС" (www.yandex.ru)

ной работе нами анализируется один из возможных подходов к решению указанных задач на основе анализа энтропии, определяемой для гистограмм каждой из компонент цветных изображений при использовании их RGB представления [11].

1. Свойства фона в цветных изображениях и требования к его описанию

Прежде всего, приведем примеры изображений, содержащих фон, о которых идет речь. На рис. 1 показаны примеры таких цветных изображений (рамками показаны границы изображений). Чаще всего области фона располагаются вдоль краев изображения, в то время как информационная часть изображения расположена ближе к центру. Однако такая ситуация не является единственно возможной, когда можно считать, что данное изображение содержит фон достаточно большой площади. Например, в базах часто встречаются изображения различных графиков, где координатные оси и сами графики приведены некоторым цветом на достаточно однородном фоне (пример показан на рис. 2).



Рис. 1. Примеры изображений на фоне

Хотя фон визуально представляется достаточно однородным как по цвету, так и по интенсивности, конкретные значения пикселей, принадлежащих фону, в каждой из компонент RGB при восьмибитовом представлении могут существенно отличаться. Это объясняется рядом факторов – наличием помех

в исходных изображениях, сжатием изображения, если таковое использовалось, различной освещенностью участков изображения и т.д. В связи с этим весьма сложно использовать количественные показатели (признаки), вычисляемые в виде сумм разностей или квадратов разностей, для группировки пикселей, принадлежащих фону, и определения числа таких пикселей. Поэтому нужны какие-то другие подходы к расчету признаков, позволяющих оценивать процентное содержание фона.

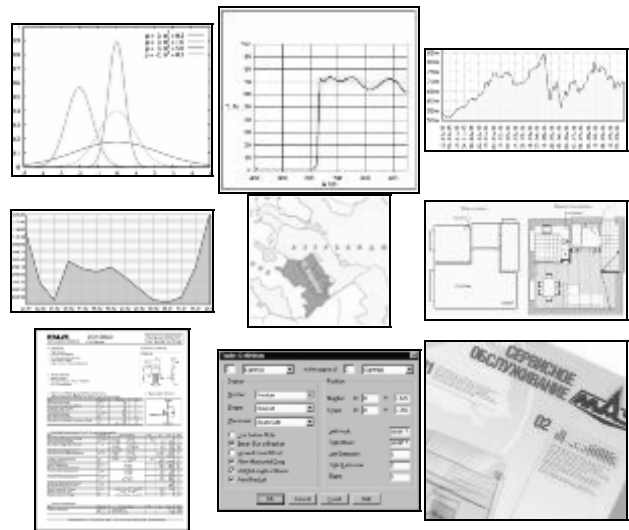


Рис. 2. Примеры изображений с фоном

Такие признаки должны быть инвариантными к конкретному цвету и интенсивности фона, а также к контрасту информационной части изображения по отношению к окружающему ее фону. Желательно чтобы значения соответствующего признака лежали в пределах от 0 до 1 и монотонно изменялись при изменении процентного отношения пикселей, принадлежащих фону, и не зависели от общего количества пикселей в изображении. Эти требования должны учитываться при выборе или разработке соответствующих признаков.

2. Признак наличия фоновых областей в изображении на основе энтропии гистограмм его цветовых компонент

Проанализируем типичные гистограммы изображения с большим содержанием фона (рис. 3, а) и изображения, в котором фон практически отсутст-

вует (рис. 3, б). Соответствующие гистограммы красной компоненты этих изображений приведены на рис. 4, а и б соответственно.

Как видно из рис. 4, гистограмма изображения с фоном содержит ярко выраженные пики, соответствующие одному или нескольким фоновым цветам.



Рис. 3. Примеры изображений с большим (а) и малым (б) содержанием фона

В то же время, у изображений, практически не содержащих фона, гистограмма практически равномерна и выраженных пиков не имеет. Таким образом, равномерность гистограммы можно считать хорошим признаком отсутствия у изображений фона, и задача сводится лишь к численной оценке степени равномерности гистограммы.

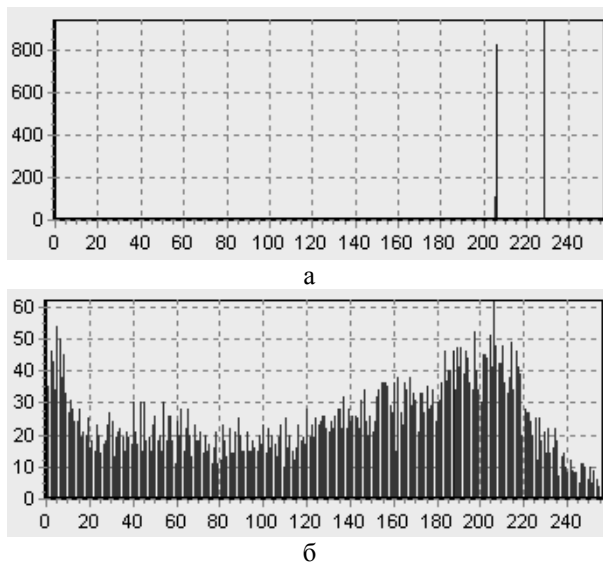


Рис. 4. Гистограммы красной компоненты соответствующих изображений на рис. 3

Для ее решения предлагается использовать энтропию как меру информативности каждого из столбцов гистограммы. Отметим, что энтропия широко используется как мера количества информации в системах кодирования [12], характеризуя закон распределения. Идея состоит в следующем. Если различные интенсивности цветовой компоненты

встречаются в изображении приблизительно равномерно (что соответствует отсутствию на цветовой компоненте изображения фона как такового), то их информативность стремится к максимальной. Если же цветовая компонента изображения содержит лишь одну интенсивность или компактную группу значений (что соответствует однородному фону на всей цветовой компоненте изображения), то информативность гистограммы (содержащей в этом случае всего один столбец или группу расположенных рядом столбцов) приближается к нулевой. Определив таким образом информативность каждой из цветовой компонент изображения, полученные результаты можно каким-либо образом объединить в один параметр, характеризующий изображение в целом.

Распишем предложенную процедуру более подробно. Пусть A – цветное изображение размером $W \times H$, для которого необходимо оценить степень содержания фона. Представим это изображение в виде трех цветовой компонент $\{A_{ij}^R\}$, $\{A_{ij}^G\}$, $\{A_{ij}^B\}$, $i = \overline{1, H}$, $j = \overline{1, W}$ (двумерных массивов целых чисел в диапазоне $0 \dots M$, для восьмибитового представления $M = 255$).

Для каждой из цветовой компонент определим соответствующие гистограммы $\{G_i^R\}$, $\{G_i^G\}$, $\{G_i^B\}$, $i = \overline{0, M}$, и рассчитаем значение энтропии

$$E^x = \sum_{i=0}^M \delta_i, \quad (1)$$

где x – индекс соответствующей цветовой компоненты R , G или B ; WH – общее число пикселей в изображении;

$$\delta_i = \begin{cases} 0, & \text{если } G_i^x = 0; \\ -\frac{G_i^x}{WH} \log_2 \left(\frac{G_i^x}{WH} \right), & \text{если } G_i^x \neq 0. \end{cases}$$

На основании полученного значения энтропии определим признак содержания фона в каждой из цветовой компонент изображения

$$B^x = 1 - \left(\frac{E^x}{\log_2 M} \right), \quad (2)$$

где $\log_2 M$ – нормирующий множитель, обеспечивающий пределы изменения признака от 0 до 1 (0 – не содержит фона; 1 – содержит только фон).

Признак содержания фона для всего изображения предлагается рассчитывать следующим образом

$$B = B^R B^G B^B. \quad (3)$$

Для проверки работоспособности предложенного подхода была проведена сортировка набора тестовых изображений из базы, предоставленной фирмой Яндекс. Набор состоял из 1000 выбранных случайным образом изображений. На рис. 5 представлены 9 изображений из отсортированного тестового набора с существенно различными значениями признака содержания фона.

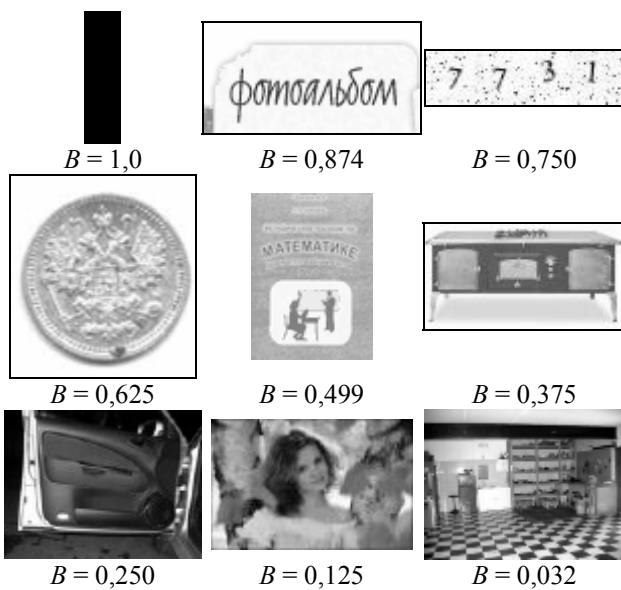


Рис. 5. Пример сортировки изображений

Как видно из рис. 5, сортировка по предложенному признаку является достаточно эффективной. Приближающиеся к 1 значения признака B соответствуют изображениям, практически полностью состоящим из фоновых областей, а значениям B , приближающимся к нулю, соответствуют разнородные изображения, содержащие большое количество мелких деталей и полную палитру цветов.

Для базы пиктограмм изображений, предоставленной фирмой Яндекс, содержащей 2,5 млн. изо-

бражений, была сформирована гистограмма значений предложенного признака (рис. 6).

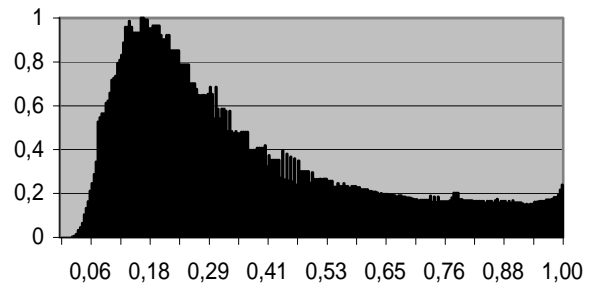


Рис. 6. Гистограмма распределения признака фона

Максимум этой гистограммы приходится на значения $B \approx 0,18$. Проведенный анализ показал, что такое значение B является типичным для фотографических изображений реальных сцен (см. изображение на рис. 5 с $B=0,125$). В то же время, анализ показывает, что в базах данных имеется также большое количество изображений со значительным содержанием фона ($B \rightarrow 1$).

Рассмотрим, насколько предложенная мера соответствует сформулированным выше требованиям. С точки зрения инвариантности к цвету, интенсивности и степени контрастности фона по отношению к информационной части изображения параметр B слабо зависит от этих параметров. Это связано с тем, что указанные параметры практически не влияют на информативность гистограмм цветовых компонент изображения, которую, собственно, и характеризует параметр B . Неинвариантность предложенной меры проявляется лишь в том случае, если изображение подвергается гамма-коррекции или сжимается с потерями, в этом случае информативность гистограмм изменяется, что влечет за собой незначительное изменение параметра B .

Остальные требования, касающиеся пределов изменения параметра B и его инвариантности к размеру изображения, также выполняются. Кроме того, предложенный параметр достаточно монотонно уменьшается при уменьшении степени содержания фона, что подтверждается результатами сортировки тестовой базы изображений в соответствии со значениями параметра B (рис. 5).

Заключення

Показано, что для современных поисковых систем в базах изображений актуальной является задача поиска по подобию. В связи с этим возникает необходимость разработки эффективных мер подобия, позволяющих характеризовать степень сходства (отличия) изображений между собой.

В виду сложности задачи ее решение следует проводить в несколько этапов, рассматривая меры подобия изображений по различным признакам, а затем объединяя их в одну более общую меру. Одним из возможных признаков является наличие на изображении фоновых областей.

На основе анализа возможных поисковых задач были сформулированы основные требования к признаку наличия фона на изображениях. В соответствии с ними была предложена численная мера этого признака на основе анализа энтропии гистограмм цветовых компонент изображения.

Предложенная мера была протестирована на базе изображений, содержащей 1000 пиктограмм. Результаты показали хорошее соответствие сортировки визуальным критериям степени наличия фона.

Полученное распределение значений предложенной меры по базе из 2,5 млн. пиктограмм изображений российского сегмента Internet свидетельствует о том, что основным типом изображений являются фотографические, что действительно имеет место на практике. Это является дополнительным подтверждением адекватности предложенной меры.

Литература

1. Aslandogan Y. Alp, Yu C.T. Techniques and Systems for Image and Video Retrieval // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. – 1999. – Vol. 11, No 1. – P. 56-63.
2. Rui Y., Huang T.S., Chang S.F. Image retrieval: current techniques, promising directions and open issues // Journal of visual communication and image representation. – 1999. – No 10. – P. 39-62.

3. Adjero D., Lee M.C. On ratio-based color indexing // IEEE Transactions on Image Processing. – 2001. – Vol. 10, No 1. – P. 36-48.

4. Grgic M., Grgic S., Ghanbari M. Large Image Database Retrieval Based on Texture Features // Proc. of ICIT. – 2003. – P. 959-964.

5. Dell'Acqua F., Gamba P. Simplified modal analysis and search for reliable shape retrieval // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. – 1998. – Vol. 8, No 5. – P. 656-666.

6. Berens J., Finlayson G.D., Qiu G. Image Indexing Using Compressed Colour Histograms // IEE Proc. of Vision, Image and Signal Processing. – 2000. – Vol. 147, No 4. – P. 349-355.

7. Huang Q., Dom B. Quantitative Methods of Evaluating Image Segmentations // Proc. of IEEE Conference on Image Processing. – 1995. – Vol. III. – P. 53-57.

8. Le Bourgeois F. Content based image retrieval using gradient color fields // Proc. of International Conference on Pattern Recognition. – 2000. – Vol. 1. – P. 5027-5030.

9. Du E.Y., Chang C.-I., Thouin P.D. Thresholding Video for Text Detection // Proc. of the 16-th International Conference on Pattern Recognition. – 2002. – Vol. 3. – P. 919-922.

10. Niemisto A., Hu L., Yli-Harja O., Zhang W., Shmulevich I. Quantification of in vitro cell invasion through image analysis // Proc. of the 26-th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, San Francisco (CA, USA). – 2004. – P. 1703-1706.

11. Plataniotis K.N., Venetsanopoulos A.N. Color Image Processing and Applications. – Springer-Verlag, (NY, USA). – 2000. – 540 p.

12. Salomon D. Data compression: The Complete Reference. 3rd edition, Springer. – 2004. – 969 p.

Поступила в редакцию 18.05.2007

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, с.н.с. О.В. Сытник, Институт радиофизики и электроники НАН Украины, Харьков.