

## Библиографические ссылки

1. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise / Martin Ester, Hans-Peter Kriegel, Jörg Sander, Xiaowei Xu // Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. – AAAI Press, 1996. – Pp. 226–231.

2. The Soundex Indexing System // The U. S. National Archives and Records Administration, 2007. – URL:

Получено 17.06.14

<http://www.archives.gov/research/census/soundex.html> (дата обращения: 11.02.2015).

3. Левенштейн В. И. Двоичные коды с исправлением выпадений, вставок и замещений символов // Докл. Академии наук СССР. – М. : Наука, 1965. 163.4:845-848.

4. Wand M. P., Jones M. C. Kernel Smoothing. – London : Chapman & Hall /CRC Press, 1995.

УДК 004.932.7 + 621.397

А. В. Самохвалов, кандидат технических наук, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

## КОМПРЕССИЯ КОНТУРНОГО И КОДИРОВАНИЕ МАСКИРОВАННОГО ИЗОБРАЖЕНИЙ

Контурная информация играет существенную роль при восприятии человеческим зрением изображений. Следовательно, «неконтурная» информация (области одного цвета или плавно меняющегося цвета) является визуально избыточной

и может быть частично или полностью исключена из изображения [1, 2]. На данной идее основывается предложенный ниже контурный метод сжатия изображений, структурная схема которого представлена на рис. 1.

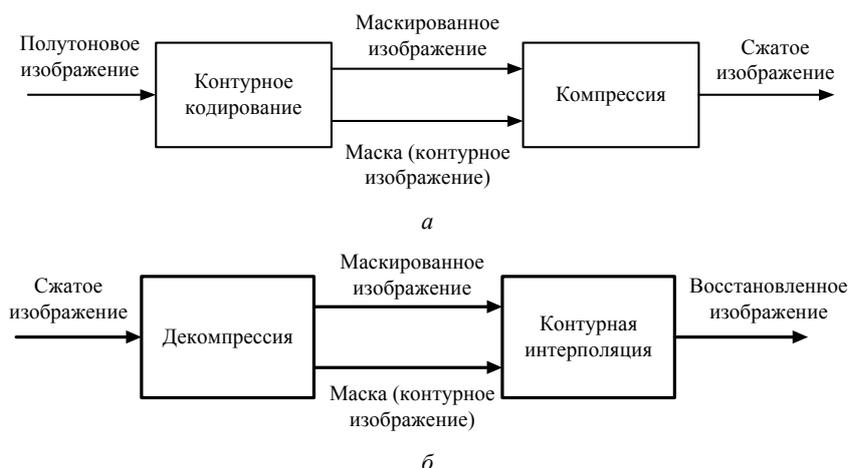


Рис. 1. Структурная схема контурного метода сжатия изображений: а – компрессия; б – декомпрессия

Основная идея сжатия полутоновых изображений с помощью метода контурных кодирования и интерполяции заключается в следующем. Сначала на полутоновом изображении (рис. 2) выделяются контуры (рис. 3): формируется двоичное изображение, в котором «0» означает отсутствие контура, а «1» – наличие контура в соответствующем пикселе исходного изображения.

Далее полученные контуры исходного изображения утолщаются. Таким образом, получена контурная маска (рис. 4) (результат утолщения контуров). На следующем этапе происходит маскирование изображения (рис. 5): полученная маска накладывается на исходное изображение (операция умножения исходного изображения и маски). В результате получа-

ем маскированное исходное изображение, на котором хорошо просматриваются околоконтурные области (пиксели исходного изображения, лежащие на контурах и вблизи контуров, не претерпевающие никаких изменений), а также пустые (потерянные) области. От исходного изображения остается очень малая часть (5–20 % для большинства изображений) значащих пикселей. Используя на данном этапе стандартные методы сжатия, можно получить высокий коэффициент компрессии, при том что достаточно важная контурная составляющая изображения остается без изменений.

В статье рассмотрены этапы компрессии контурного изображения и эффективного кодирования маскированного изображения для дальнейшего его сжатия.

Для решения задачи на этапе сжатия контурного изображения необходимо использовать компрессию без потерь, дабы избежать порчи существенной контурной составляющей изображения.

Был проведен эксперимент, направленный на определение наиболее эффективного стандарта для сжатия контурного изображения (маски). В эксперименте использовались четыре контурных изображения полутоновых изображений Propeller, Sweden, Iris, Barbara. Изображения отличаются по своим частотным характеристикам: от условно «низкочастот-

ного изображения» Propeller (рис. 6) до «высокочастотного изображения» Barbara (рис. 9).

В эксперименте были использованы три специализированных стандарта для компрессии двухградационных изображений (TIFF Group 3, TIFF Group 4, JBIG), три неспециализированных стандарта сжатия данных (7-Zip (PPM), YBS (BWT+DC), RAR). В качестве опоры для сравнения результатов использовалось изображение без сжатия (BMP). В таблице приведены результаты эксперимента.



Рис. 2. Исходное изображение



Рис. 3. Результат выделения контуров на изображении



Рис. 4. Результат утолщения контуров изображения (контурная маска)



Рис. 5. Маскированное исходное изображение

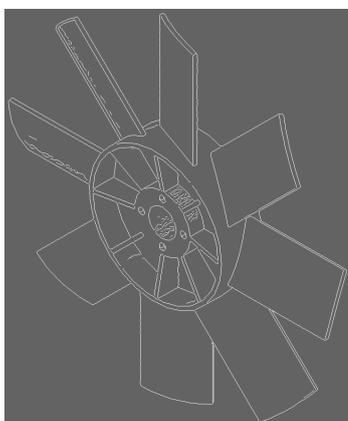


Рис. 6. Контурное изображение для изображения Propeller

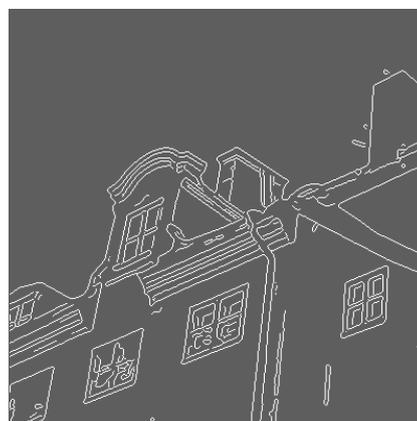


Рис. 7. Контурное изображение для изображения Sweden

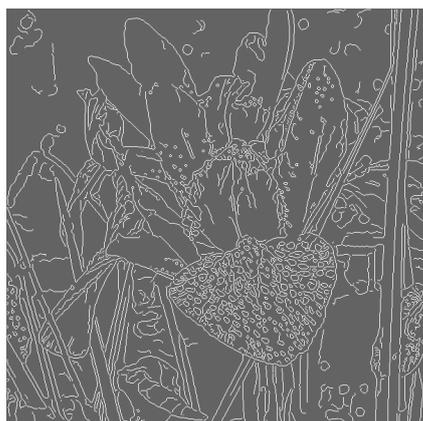


Рис. 8. Контурное изображение для изображения Iris



Рис. 9. Контурное изображение для изображения Barbara

**Сравнение стандартов сжатия на двухуровневых контурных изображениях**

| Стандарт сжатия  | Размер файла двухуровневого изображения маски, байт |       |        |       |        |       |         |       |
|------------------|---|-------|--------|-------|--------|-------|---------|-------|
|                  | Процент сжатия, %                                   |       |        |       |        |       |         |       |
|                  | Propeller   |       | Sweden |       | Iris   |       | Barbara |       |
|                  | байт  | %     | байт   | %     | байт   | %     | байт    | %     |
| BMP (без сжатия) | 818504  | 100,0 | 456620 | 100,0 | 456626 | 100,0 | 328304  | 100,0 |
| TIFF Group 3     | 229060  | 28,0  | 190224 | 41,7  | 376954 | 82,6  | 300093  | 91,4  |
| TIFF Group 4     | 126985  | 15,5  | 95602  | 20,9  | 307065 | 67,2  | 174462  | 53,1  |
| 7-Zip (PPMII)    | 72156   | 8,8   | 65873  | 14,4  | 133531 | 29,2  | 116630  | 35,5  |
| YBS (BWT+DC)     | 84458   | 10,3  | 80656  | 17,7  | 168923 | 37,0  | 133275  | 40,6  |
| RAR              | 87961   | 10,7  | 80170  | 17,6  | 172796 | 37,8  | 136766  | 41,7  |
| JBIG             | 25693   | 3,1   | 32153  | 7,0   | 55334  | 12,1  | 45449   | 13,8  |

Необходимо отметить, что чем более высокочастотную характеристику имеет изображение, тем менее эффективно сжатие контурной маски изображения любым стандартом сжатия. Для стандарта *JBIG* степень сжатия увеличивается от 96,9 % для «низкочастотного изображения» до 86,2 % для «высокочастотного изображения».

Можно констатировать, что среди стандартов, ориентированных на сжатие двухуровневых изображений, лучше всего при компрессии контурных изображений проявил себя стандарт *JBIG*, он также обошел все универсальные стандарты сжатия. Следует заметить, что ориентированные на двухуровневые изображения стандарты *TIFF* обеих групп проявили себя значительно хуже универсальных методов сжатия данных, среди которых лучше всего себя проявил *7-Zip*, основанный на методе *PPMII*.

После получения маскированного изображения можно заметить, что в нем хорошо просматриваются околоконтурные области (пиксели исходного изображения, лежащие на контурах и вблизи контуров, не претерпевающие никаких изменений), а также пустые области. Очевидно, что пустые области имеют достаточно большие размеры. Данные области будут «изъять» из исходных изображений.

В связи с этим актуально ввести долю использования пикселей, которая равна отношению количества единичных пикселей в маске ( $\Pi_{\text{маски}}$ ) к количеству пикселей на исходном изображении ( $\Pi_{\text{исх}}$ ):

$$D_{\text{ИП}} = \left( \frac{\sum \Pi_{\text{маски}}}{\sum \Pi_{\text{исх}}} \right) \cdot 100 \text{ \%}$$

Доля использования пикселей изображения *Barbara* равна 26,2 %, изображения *Sweden* – 17,9 %, изображения *Propeller* – 11,3 %.

Таким образом, можно констатировать, что доля «изымаемых» (пустых) областей изображения тем больше, чем больше исходное изображение имеет низкочастотных областей, то есть областей плавно меняющейся с малым диапазоном изменения яркости.

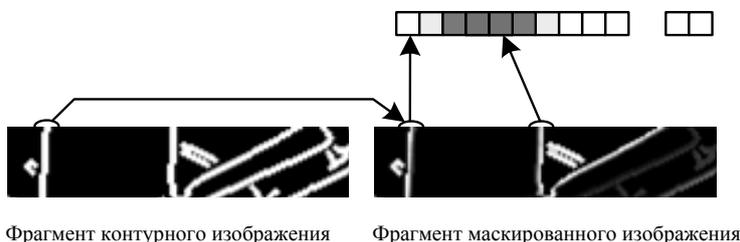
Также следует отметить, что на данном этапе достигнуты следующие коэффициенты сжатия:

- изображение *Barbara* –  $3,8 \left( \frac{100 \text{ \%}}{26,2 \text{ \%}} \right)$ ;
- изображение *Sweden* –  $5,6 \left( \frac{100 \text{ \%}}{17,9 \text{ \%}} \right)$ ;
- изображение *Propeller* –  $8,8 \left( \frac{100 \text{ \%}}{11,3 \text{ \%}} \right)$ .

Указанные коэффициенты сжатия (даже для тестового изображения *Propeller*) слишком малы для современного уровня сжатия полутоновых изображений с потерями. Следовательно, маскированные изображения необходимо подвергать дальнейшему сжатию. На этом этапе можно использовать методы сжатия, как без потерь, так и с потерями. Методы сжатия с потерями позволяют достичь значительно больших коэффициентов сжатия, при этом необходимо оценить возникающие потери. Наиболее эффективными методами сжатия с потерями на сегодняшний день являются методы, основанные на вейвлет-преобразовании.

Маскированное изображение, содержащее в себе контурную информацию изображения, нет смысла хранить в двумерном виде, иначе оно будет занимать ровно столько же объема, сколько и исходное изображение до маскирования. Следовательно, маски-

рованное изображение необходимо преобразовать в одномерный вид при помощи одного из типов сканирования (обход строками, обход полосами, зигзаг-сканирование и т. д.), отбрасывая при этом пустые области (рис. 10).



Фрагмент контурного изображения      Фрагмент маскированного изображения  
Рис. 10. Приведение маскированного изображения к одномерному виду

Учитывая особенности структуры маскированного изображения (контурной информации) и непредсказуемый характер контурных линий, наиболее подходящим будет построчное сканирование; другие виды сканирования не дадут в данном случае никакого выигрыша на большом наборе маскированных изображений, а технически реализовать их достаточно сложно. После сканирования получаем одномерный сигнал, который можно дальше обрабатывать (продолжать компрессию).

Предлагаемый метод контурного сжатия наиболее эффективен на низкочастотных изображениях (с большими областями малого изменения тона), так как доля «изымаемых» областей изображения тем больше, чем больше исходное изображение имеет низкочастотных областей.

Получено 07.11.2014

Установлено, что *JBIG* является наиболее эффективным методом сжатия контурной маски. Для низкочастотных изображений коэффициент сжатия в 4-5 раз больше, чем у *TIFF Group 4*, для среднечастотных изображений – в 3-4 раза больше, и для высокочастотных изображений – в 2-3 раза больше.

#### Библиографические ссылки

1. Самохвалов А. В. Контурная информация при сжатии полутоновых изображений // Приволжский научный вестник. – 2013. – № 7(23). – С. 46–52.
2. Самохвалов А. В. Контурное кодирование полутонового изображения: выделение контурной информации на изображении // Приволжский научный вестник. – 2013. – № 7(23). – С. 53–61.

УДК 628.81: 621.577.2

**Е. В. Корепанов**, кандидат технических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

**И. Н. Булдакова**, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

## УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ВОЗДУШНО-ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЯ С ТЕПЛОНАСОСНОЙ СИСТЕМОЙ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И РЕКУПЕРАЦИЕЙ ТЕПЛОТЫ

Одним из наиболее перспективных путей экономии топливно-энергетических ресурсов является использование экологически чистых нетрадиционных возобновляемых источников энергии, и в первую очередь – энергии грунта, водоемов и воздуха с преобразованием низкопотенциальной энергии с помощью тепловых насосов [1–4].

Применение теплонасосного теплоснабжения, использующего теплоту грунта, связано с большими затратами на изготовление системы съема теплоты. Горизонтальные коллекторы в условиях средней полосы России из-за большой глубины промерзания

грунта эффективны только на глубине 6–10 м, на которой температура грунта составляет приблизительно 3–4 °С. Поэтому целесообразно использовать вертикальные зонды [5, 6]. Высокая стоимость монтажа вертикального коллектора (≈1000–1200 руб./м) приводит к необходимости уменьшения количества скважин применением различных методов снижения теплопотребления здания. Энергопотребление зданий можно снизить применением энергосберегающих окон [7–13] и утилизацией теплоты вентиляционного воздуха [14]. Для выравнивания неравномерности потребления теплоты эффективны фазовые