

Е.В. ПУГИН

**Обзор методов и алгоритмов  
обработки последовательностей  
цифровых изображений**

УДК 004.932

Муромский институт  
(филиал) ФГБОУ ВПО  
«Владимирский  
государственный  
университет имени  
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,  
г. Муром

*В статье проводится обзор существующих алгоритмов и прикладных направлений обработки последовательностей цифровых изображений. Приводится описание типов последовательностей цифровых изображений. Подробно рассмотрены видеоряды, а также последовательности изображений при кратномасштабном анализе.*

### **Введение**

Человек использует зрительный аппарат, как основной источник информации об окружающем мире. По мере развития технологий в различных областях науки и техники возникают задачи автоматизированной и автоматической обработки визуальных образов и символов, а также их распознавания. Для решения данного класса задач синтезируют механические, оптические, электронные и программные системы. После процессов квантования и дискретизации непрерывного входного сигнала получают оцифрованное изображение, пригодное к обработке и хранению в ЭВМ. Обработка изображений является следующим этапом решения поставленной задачи. Изображения фильтруются, улучшаются, на них удаляются шумы, выделяются признаки, выполняются различные преобразования для последующего процесса распознавания.

В некоторых случаях на изображении может содержаться меньше информации, чем это необходимо для его улучшения и принятия результирующего решения. На практике такое изображение обычно отбрасывается. В этих ситуациях стараются повысить качество освещения, характеристики оптической системы, её поло-

жение в пространстве, избавиться от факторов, повлиявших на неудовлетворительное исходное изображение.

По мере усовершенствования оптических систем становится возможным получать не отдельные редкие кадры изображения, но и весь видеоряд с высокой частотой. На сегодняшний день кадровая частота видеосъёмки может достигать 100 Гц. По мере роста производительности ЭВМ стало возможным обрабатывать весь видеоряд за аналогичное время с лучшими результатами. Также появилась возможность синтеза новых изображений по исходному, необходимым для выделения большего числа признаков, используемых при обработке и распознавании. При работе с цветными изображениями исходными данными являются значения точек по каждому цвету.

Всё это представляет собой некую последовательность изображений, которая в большинстве случаев содержит больше дополнительной информации, чем одно изображение. Следовательно, обработка последовательности изображений должна привести к более высокому качеству фильтрации, улучшения или распознавания.

Большой вклад в разработку методов цифровой обработки изображений и распознавания образов внесли школы таких учёных как У. Прэтта, Ю. Журавлёва, Р. Вудса, Р. Гонсалеса, В. Киричука, И. Гуревича, В. Сойфера, В. Пяткина, Н. Загоруйко, К. Фу, Я. Фурмана, Л. Ярославского, С. Садыкова и других. Развитие методов обработки последовательностей цифровых изображений происходило, благодаря работам С. Малла, И. Мейера, И. Добеши, Л. Шапиро, Дж. Стокмана, Б. Яне, Д. Форсайта, Дж. Понс, К. Каслмана, Д. Алпатова, М. Фаворской.

Целью работы является проведение обзора существующих методов и алгоритмов обработки основных видов последовательностей изображений.

### **Понятие последовательности цифровых изображений**

В настоящее время существует большое число математических моделей описания последовательностей цифровых изображений. Например, при обработке видеопоследовательностей часто используют следующие обозначения:

$$\mathbf{F} = f(x, y, t_i),$$

где  $F$  - последовательность изображений,  $f(x, y, t_i)$  - изображение (кадр) в момент времени  $t_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ). Другой подход по построению математической модели последовательностей изображений описывается в [1]. Последовательность изображений  $\{f_n\}$  это каким-либо образом упорядоченное множество изображений  $f$ . Каждому элементу множества присваивается индекс:

$$\{f_n\} = \{f_0, f_1, \dots, f_n\}.$$

Существуют различные типы последовательностей цифровых изображений. К основным типам последовательностей изображений можно отнести видеоряды (видеопоследовательности), а также последовательности, получаемые в ходе кратно- и многомасштабной обработки. Сюда входят пирамиды изображений, а также вспомогательные изображения, получаемые в ходе вейвлет-анализа с помощью вейвлет-преобразований.

Помимо этих групп выделяют и другие последовательности изображений. Их обработка может производиться с помощью методов, применяемых к основным группам. К ним относят:

1. Изображения, полученные в ходе мультиспектральной съёмки.
2. Цветные изображения, которые можно представить в виде совокупности изображений по каждому цвету.
3. Последовательности изображений, получаемые из исходного путём наложения фильтров, шумовых составляющих, смазов, применения некоторых операторов.

Рассмотрим более подробно методы и алгоритмы обработки видеопоследовательностей, а также последовательностей цифровых изображений, получаемых в ходе вейвлет-анализа и кратно-масштабной обработки.

### **Видеопоследовательности**

Последовательности данного вида позволяют наблюдать изменяющиеся сцены. В качестве характерных признаков для обнаружения движущихся объектов или их траекторий обычно выбираются присутствующие на последовательности изменения между соседними кадрами. Изменения яркостей пикселей являются важными

характеристиками, полезными для распознавания или обнаружения объектов.

В результате анализа движения объекта можно определить его форму и ряд других свойств, например, скорость или выполняемые объектом операции.

Первые упоминания последовательностей цифровых изображений появляются практически сразу после зарождения ЦОИ в конце 50-х - начале 60-х годов 20 века. Решаются задачи корреляционной привязки двух изображений, содержащих пространственный сдвиг объекта, для их сравнения. Изображениями служат либо два изображения одного и того же объекта, зарегистрированного разными датчиками, или два изображения объекта, полученного с помощью одного датчика, но в разное время. Вместо корреляционного может использоваться последовательный подход. Предлагаются методы по оптимизации данных алгоритмов. Исследуются методы использования движения при сегментации в пространственной области, а также в частотной области с использованием преобразования Фурье.

Одним из важнейших методов определения изменений на видеопоследовательностях является метод вычитания изображений:

$$g(x, y) = f(x, y) - h(x, y),$$

где  $f(x, y)$ ,  $h(x, y)$  - исходные изображения,  $g(x, y)$  - результирующее изображение. Вычитание изображений широко используется в медицине (рентгенография с использованием масок) для наблюдения за кровеносными сосудами.

Для видеопоследовательностей разработаны методы слежения с учётом априорных знаний из предметной области, различные алгоритмы сжатия (MPEG и др.). Например, существуют системы для слежения за движениями человека посредством вычислений траекторий его рук, ног и головы, где части тела обнаруживаются на силуэте как выступы с высокой кривизной; системы слежения за лицом оператора рабочей станции, его глазами и носом для бесконтактного управления курсором.

Видеозаписи могут содержать большое число различных сюжетов и сцен. Для создания цифровых библиотек важно уметь сегментировать и хранить фрагменты видеопоследовательностей с обес-

печением произвольного доступа. Выделяют следующие виды изменения характера некоторой последовательности изображений:

1. Смена сцены - изменение среды, в которой производится видеосъёмка. Часто занимают от 10 до 50 кадров.

2. Смена монтажного кадра - значительное изменение параметров поля зрения при съёмке одной и той же сцены за счёт переключения разных камер. Например, поочерёдная съёмка двух собеседников, сидящих напротив друг друга.

3. Панорамирование камеры. Применяется для охвата горизонтального вида сцены. Если камера поворачивается слева направо, то кажется, что объекты появляются с правой стороны кадра и движутся через изображение налево, а затем уходят за границу.

4. Масштабирование. Выполняется путём изменения фокусного расстояния в течение некоторого времени.

5. Эффекты камеры (наплыв, плавное исчезновение или появление, вытеснение одного кадра другим) используются для организации перехода от одного источника изображений к другому.

Для количественной оценки различий между двумя кадрами видеопоследовательности  $f_t(x, y)$  и  $f_{t+\Delta}(x, y)$  размера  $M \times N$  вычисляют среднюю разность между соответствующими пикселями изображений:

$$d_{\text{pixel}}(f_t, f_{t+\Delta}) = \frac{f_t(x, y) - f_{t+\Delta}(x, y)}{MN}.$$

Временной интервал  $\Delta$  может занимать один или несколько кадров. Данное выражение может давать неточные результаты, так как разность получается большой даже при небольшом сдвиге камеры или при движении объекта по сцене.

Для более устойчивой оценки различия кадров предлагается разбивать изображения на большие блоки и проверять, совпадают ли большинство этих блоков на обоих изображениях. Для этого вычисляются статистические характеристики блоков, такие как математическое ожидание и дисперсия яркостей, а затем происходит сравнение между соответствующими блоками пары изображений путём нахождения разностей. Если достаточное число блоков имеют различие ниже определённого порога, то считают, что два изображения принадлежат одному плану.

Обработка последовательностей цифровых изображений широко используется при решении прикладных задач. Для отслеживания траектории движения на последовательностях изображений возможно использование Гауссовых моделей с применением последовательных методов Монте-Карло. Методы автоматического отслеживания движения используются в медицине при обработке последовательностей рентгеновских ангиограмм, ультразвуковых снимков печени, эхокардиографических снимков. Для сегментации последовательностей изображений, вычисления оптического потока и разделения сигналов применяют частотные методы преобразования Фурье и самоорганизующиеся карты Кохонена. Для детектирования движения разработаны методы с использованием фильтров Калмана. Существуют методы выделения движения на цветных изображениях.

В отечественной литературе также проводятся исследования методов обработки последовательностей изображений. Рассматриваются вопросы фильтрации видеопоследовательностей на основе марковских процессов, морфологические методы слежения за объектами, быстрые алгоритмы обработки последовательностей, задачи обнаружения появления объекта на зашумлённых последовательностях, алгоритмы оценивания сдвигов и поворотов изображений. Исследуются адаптивные алгоритмы обнаружения аномалий на последовательностях. Для повышения разрешения изображений используются методы вейвлет оценок при обработке последовательности смещающихся кадров.

В [2] рассматриваются методы выделения контурных признаков объектов на последовательностях, а также их применение при отслеживании потока машин. Разработаны алгоритмы обнаружения движущихся точечных объектов [3]. В статье [4] описываются алгоритмы по разбиению состава на отдельные вагоны по видеоизображению. В [5] рассмотрены некоторые модели распознавания динамических образов на основе пространственно-временного анализа последовательностей изображений.

Как и при обработке одного изображения на видеопоследовательностях выделяют характерные признаки: поле движения, фокус расширения, фокус схода, поток изображения, траектория объекта, суммарная гладкость траектории и другие.

Обработка видеопоследовательностей используется при решении следующих задач:

1. Обнаружение движущегося объекта.
2. Определение скорости движения объекта или объектов, их траектории и формы.
3. Автоматический анализ видеорядов с целью выделения на них важных событий или сцен.
4. Определение поведения людей, животных по их траекториям.
5. Отслеживание траектории спортсменов, игровых предметов (футбольный, теннисный мячи) во время игры.
6. Вычисление векторов перемещения в трёхмерном пространстве.
7. Автоматическая сегментация видеопоследовательностей.

### **Вейвлеты и кратномасштабная обработка изображений**

В конце 80-ых - начале 90-х годов появляются первые работы, посвящённые кратномасштабному анализу (КМА). В его основе лежат вейвлеты - малые волны изменяющейся частоты и ограниченные во времени [6]. Кратномасштабный анализ работает с представлением и анализом сигналов (изображений) в различных масштабах или разрешениях. Преимущество данного подхода состоит в том, что характерные детали, скрытые при одном разрешении, могут быть обнаружены на другом.

Одной из структур представления изображений в более чем одном масштабе является пирамида изображений. В основе лежит исходное изображение  $f(x, y)$ , подлежащее обработке, в то время как вершина пирамиды состоит из приближения низкого разрешения. По мере движения вверх по пирамиде масштаб (размеры и разрешение) уменьшаются. Наиболее распространёнными являются гауссовы пирамиды изображений, пирамиды лапласианов, пирамиды средних значений и пирамиды прореженных значений.

Другими методами, используемыми при кратномасштабной обработке изображений, являются субполосное кодирование и преобразование Хаара. В субполосном кодировании изображение разлагается на несколько составляющих с ограниченным диапазоном частот, сохраняя при этом возможность точного восстановления. Пре-

образование Хаара наиболее часто используется для сжатия изображений.

В КМА использование масштабирующей функции позволяет построить последовательность приближений для некоторой функции или изображения, причём каждое приближение отличается от соседнего масштабным фактором 2. Для кодирования информации, описывающей разность между соседними приближениями, используются дополнительные функции - вейвлеты.

Свёртку вейвлет-функции с сигналом называют вейвлет-преобразованием. К одномерным вейвлет-преобразованиям относят разложение в вейвлет-ряды, дискретное вейвлет-преобразование и интегральное (непрерывное) вейвлет-преобразование. По аналогии с быстрым преобразованием Фурье для дискретного вейвлет-преобразования существует быстрое вейвлет-преобразование, представляющее собой эффективный метод реализации вычислений.

Одномерные вейвлет-преобразования обобщают на двумерные функции (изображения). В двумерном случае необходимо иметь двумерную масштабирующую функцию  $\varphi(x, y)$  и три двумерных вейвлет-функции  $\psi^H(x, y)$ ,  $\psi^V(x, y)$ ,  $\psi^D(x, y)$ . Для большего контроля над разбиением частотно-временной плоскости используются вейвлет-пакеты.

Методы вейвлет-анализа могут использоваться в предобработке кадров видеопоследовательностей, при слиянии двух видеопоследовательностей в одну повышенной чёткости. Существуют методы фильтрации для изучения снимков атмосферы солнца.

К настоящему времени разработано большое число методов кратно- и многомасштабной обработки изображений. В [7] описываются методы многомасштабной фильтрации изображений с произвольным коэффициентом масштаба. Фильтрация контуров полутонных изображений с применением теории кратномасштабного анализа и вейвлет-преобразований рассматривается в [8]. Подходы к классификации изображений микроструктур металлов на основе многомасштабных моделей предлагаются в [9]. Фильтрация особенностей полутонных изображений с применением непрерывного вейвлет-преобразования с адаптивным выбором масштабирующего коэффициента рассматривается в [10]. Методы многомасштабного

выделения границ применяются для обработки медицинских изображений. Многомасштабное слияние видимых и инфракрасных снимков используется в задаче распознавания лиц. Алгоритмы адаптивного многомасштабного преобразования изображений рассматриваются в [11].

Вейвлет-анализ и многомасштабная обработка изображений используется при классификации на основе текстур, обнаружении границ объектов, устранении шума, морфологическом анализе, восстановлении и улучшении изображений, в вычислительной томографии, при сжатии изображений.

### Заключение

В статье был проведён обзор основных типов последовательностей цифровых изображений и алгоритмов обработки, применяемых к ним. Рассмотрены некоторые признаки, выделяемые на последовательностях изображений. Приведены прикладные направления исследований и работы по ним. Основное внимание уделено видеопоследовательностям и многомасштабной обработке с использованием вейвлетов.

Большое число исследований по данному направлению подчёркивает его актуальность. В то же время общие методы обработки последовательностей цифровых изображений на данный момент не разработаны. Следовательно, задача синтеза более качественных алгоритмов обработки и распознавания последовательностей цифровых изображений также является актуальной.

### Литература

1. *Жизняков А. Л.* Формирование и анализ наборов признаков многомасштабных последовательностей цифровых изображений // Программные продукты и системы. — 2007. — № 4. — С. 24.
2. *Гнеушев А. Н.* Система для оценки скорости транспортных средств по контурным признакам в режиме реального времени // Известия Академии наук. Теория и системы управления. — 2005. — №1. — С. 133—143.
3. *Киричук В. С., Косых В. П., Курманбек Т.* Алгоритмы обнаружения движущихся малоразмерных объектов в последовательностях изображений // Автометрия. — 2009. — № 1. — С. 14—22.
4. *Малков А. Н., Штерн Г. П., Михайлов И. А.* Разбиение железнодорожного состава на отдельные вагоны // Моделирование и анализ информационных систем. — 2011. — Т. 18, № 2. — С. 77—112.

5. *Фаворская М. Н.* Распознавание динамических образов на основе предсказывающих фильтров // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета. — 2009. — № 1. — С. 64—68.
6. Малла С. Вэйвлеты в обработке сигналов : пер. с англ. — М. : Мир, 2005. — 671 с.
7. Жизняков А. Л. Построение пирамид изображений с адаптивным выбором масштабного коэффициента // Искусственный интеллект: Научно-теоретический журнал НАН Украины. — 2006. — №1. — С. 63—70.
8. *Жизняков А. Л., Фомин А. А.* Многомасштабный подход к фильтрации контуров полутонных изображений // Вестник компьютерных и информационных технологий. — 2007. — № 9. — С. 19—24.
9. *Гай В. Е., Жизняков А. Л.* Классификация изображений микроструктур металлов на основе многомасштабных моделей // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. — 2007. — Т.4, № 2. — С. 46—50.
10. *Жизняков А. Л., Фомин А. А.* Многомасштабная фильтрация особенностей полутонных изображений // Методы и устройства передачи и обработки информации. — 2007. — № 9. — С. 176—180.
11. *Жизняков А. Л.* Алгоритмы адаптивного многомасштабного преобразования изображений // Информационные технологии моделирования и управления. — 2007. — № 1. — С. 63—70.

ПУГИН Е.В.

E-MAIL: [EGOR.PUGIN@GMAIL.COM](mailto:EGOR.PUGIN@GMAIL.COM)

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:

Д.Т.Н., ПРОФ. ЖИЗНЯКОВ А.Л.