

УДК 504.064.37

М.Ю. Катаев, С.Г. Катаев

## Численный метод и алгоритм определения центра тяжести движущегося человека из анализа потока изображений

Предлагается математический подход, основанный на методе выделения структур, позволяющий значительно ускорить обработку потока видеоизображений. Рассматривается алгоритм выделения фигуры человека в потоке видеоизображений с произвольным фоном. Данный метод позволяет за одну итерацию проводить выделение фигуры с минимальным влиянием фона. Приводятся результаты численной апробации подхода.

**Ключевые слова:** структуры, метод выявления структур, графы, поток видеоизображений

Алгоритмы обработки изображений могут быть применены в различных устройствах, что является ценным для разнообразных приложений (видеоконтроль, мониторинг, фильмы, анализ научной или иной информации и др.). Видеотехника применяется активно уже во многих отраслях промышленности, контроле безопасности и охране, в том числе и в медицине. В последнее время получило развитие такое направление, как телемедицина, которое стало играть значимую роль при проведении удаленных осмотров, проведении операций и др. Однако в таком разделе медицины, как осмотр пациента, видеотехника практически не применяется. Нами предлагается для проведения осмотра пациента, а именно в задаче определения конституции человека, применять видеотехнику.

Известно, что фигура человека при своем движении во времени претерпевает множество изменений, многие из которых являются типичными для большинства людей. Существует неразрывная связь между двигательной активностью (возможностью) человека и его психофизиологическим состоянием [1]. Основные методы, которые применяются в настоящее время, связаны с применением специальных датчиков, перемещения которых фиксируются видеотехникой [2]. Этот способ является хорошим, но для проведения тестовых медицинских научных исследований и невозможным для практического использования ввиду того, что он является весьма затратным по времени. Нами предлагается применять непосредственно видеотехнику к определению характеристик состояния пациента при использовании математического аппарата обработки изображений.

В реализации движений, в норме, основную роль играет содружественная работа мышц антагонистов: сгибателей и разгибателей [3]. При изменении и снижении мышечной силы возникает ограничение объема движений. Причем эти изменения в разной степени затрагивают мышцы-антагонисты. Это приводит к изменению объема, скорости и траектории движений пораженных конечностей, а также к формированию патологической позы.

На данном этапе развития практической медицины в повседневной практике врача для диагностики двигательных нарушений в конечностях после перенесенного инсульта применяются рутинные методы, заключающиеся в использовании шкал с субъективной оценкой мышечной силы и тонуса, а также угломеров, не очень удобных в применении.

На данном этапе развития медицины существует раздел клинической биомеханики, занимающийся изучением движений. Этот раздел – клинический анализ движений. Значительная часть современного клинического анализа движений представлена направлением, использующим ходьбу человека как глобальный двигательный тест [4]. В крупных специализированных реабилитационных центрах используется аппаратный комплекс «МБН-Биомеханика» [<http://www.mbn.ru/>], позволяющий определить различные параметры движений: временные характеристики шага (подометрия), кинематические характеристики движений в суставах при ходьбе (гониометрия), реакцию опоры (динамометрия), а также положение и движение общего центра давления на плоскость опоры при стоянии (стабилометрия). Для осуществления данного метода диагностики необходимы большие материальные затраты (стоимость аппаратного комплекса, его техническое обеспечение), специально обученный персонал, а также просторное отдельное помещение. Это является существенной проблемой для распространения этого подхода в повседневной практике врача.

Нами предлагается доступный и малозатратный метод, основанный на анализе видеоизображений, который позволит провести диагностику степени нарушения ходьбы и оценить динамику вос-

становления в процессе проводимых реабилитационных мероприятий. Бесспорным преимуществом метода видеоанализа движений перед методами контактной биомеханики является отсутствие на теле пациента каких-либо датчиков и кабелей, в значительной степени ограничивающих свободное поведение человека и искажающих его естественный двигательный стереотип. Кроме того, данный метод не требует отдельных помещений (достаточно кабинета лечебной физкультуры) и специального обучения.

### Оценка степени нарушения ходьбы

Ходьба – это сложный двигательный акт, в котором задействованы различные уровни нервной системы, мышцы, связки, костно-суставной аппарат. Нарушение походки и, соответственно, мобильности больного относят к основным факторам, ограничивающим нормальную жизнедеятельность [4–6]. При обычном типе ходьбы человек не производит движений большой амплитуды. С этим фактом связан практически важный вопрос о минимальных пределах нормальной подвижности, совместимой с нормальным типом ходьбы. Важность этого вопроса заключается в том, что прогноз реабилитации необходимо основывать не на возможности восстановления подвижности в полной мере, а лишь в известных пределах, совместимых с нормальным типом ходьбы. Иначе говоря, прогноз будет положительным, если мы можем рассчитывать на восстановление той степени подвижности, которая дает возможность нормально ходить [5].

Наиболее общими параметрами, характеризующими ходьбу, являются линия перемещения центра масс тела, длина шага, длина двойного шага, база опоры, скорость перемещения и ритмичность. База опоры – это расстояние между двумя параллельными линиями, проведенными через центры опоры пяток параллельно линии перемещения. Чем больше база опоры, тем более выражено нарушение равновесия. Короткий шаг – это расстояние между точкой опоры пятки одной ноги и центром опоры пятки контралатеральной ноги. Период двойного шага – полный цикл ходьбы – складывается для каждой ноги из фазы опоры и фазы переноса конечности. При ходьбе человек последовательно опирается то на одну, то на другую ногу. Эта нога называется опорной. Контралатеральная нога в этот момент выносится вперед. Период переноса ноги называется «фаза переноса». При ходьбе в среднем темпе фаза опоры длится примерно 60% от цикла двойного шага, фаза переноса – примерно 40%. Ритмичность ходьбы – отношение длительности переносной фазы одной ноги к длительности переносной фазы другой ноги. В циклической последовательности ходьбы выделяют моменты, когда с опорой соприкасаются только одна нога («одноопорный период») и обе ноги, когда вынесенная вперед конечность уже коснулась опоры, а расположенная сзади ещё не оторвалась («двухопорная фаза») [6].

Центр масс тела человека при ходьбе совершает сложные пространственные движения. Амплитуда этих движений составляет около 5 см в направлении вверх-вниз и 2–4 см в боковом направлении. Наиболее низкое положение центра масс соответствует двухопорному периоду, а наиболее высокое – середине одноопорного периода (рис. 1). Ходьба здорового человека характеризуется симметрией движений левой и правой сторон [4, 5].

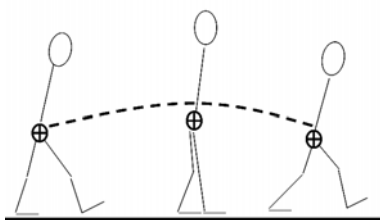


Рис. 1. Положение центра масс человека при ходьбе (модель)

### Некоторые параметры ходьбы здоровых людей в разном темпе [11]

Параметры	Темп				
	Медленный	Замедленный	Произвольный	Ускоренный	Быстрый
Скорость ходьбы (м/с)	0,61	0,91	1,43	1,43	1,90
Темп (шаг/мин)	67,8	84,5	109,1	125,0	137,9
Длина шага (м)	0,51	0,6	0,74	0,84	0,88

Задача: по набору последовательно идущих кадров (поток изображений) движущегося человека определить траекторию движения его центра масс. Имеется набор изображений, записанных в формате .bmp, на которых – последовательность кадров движущегося человека. Каждой точке экрана поставлено в соответствие 3 значения (RGB-признаки). Таким образом, каждый кадр может рассматриваться как совокупность  $N$ -объектов, каждый из которых характеризуется тремя признаками. Тогда исходная задача сводится к следующим двум:

- 1) классифицировать все точки кадра на 2 класса: объект и фон;
- 2) найти координаты центра масс объекта для каждого кадра.

Решение первой задачи можно осуществить с использованием метода выделения структур (МВС, алгоритм Revpat), однако при этом возникает серьезная трудность при автоматическом отнесении полученных классов-структур к фону или объекту. Нужна какая-нибудь исходная информация в виде отличительных признаков объекта, которые можно было бы ввести в понятие структуры. Такой информацией мог бы быть цвет объекта (но только в том случае, если подобный цвет отсутствует в фоне) или форма объекта (но если только объектов с подобной формой нет в фоне) и т.д. Иными словами, решать эту задачу для отдельно взятого кадра необычайно сложно. Эти трудности проиллюстрированы на рис. 2 куда помещен результат деления на классы, осуществленный алгоритмом Revpat. Каждому классу соответствует свой цвет.

**Описание алгоритма Revpat.** Алгоритм Revpat реализует МВС так: разбивает все множество точек на таксоны, используя процедуру выделения компонент связности графа. Последующий анализ внутриклассовых характеристик и расстояний между классами позволяет ранжировать все полученные кластеры по степени удаленности от фона. Алгоритм выделения структур, используемый нами для решения этой задачи, наиболее просто может быть описан на языке теории графов. Соотнесем с каждым объектом  $a_i, i=1, \dots, N$  вершину  $x_i$  некоторого графа  $G=(X, E)$ , а каждому ребру  $e_{ij}=(x_i, x_j) \in E, i, j=1, \dots, N$ , связывающему вершины  $x_i$  и  $x_j$  в качестве стоимости  $c_{ij}$  припишем величину, равную расстоянию  $d_{ij}$  между соответствующими объектами в пространстве признаков:  $c_{ij} = d_{ij}$ .

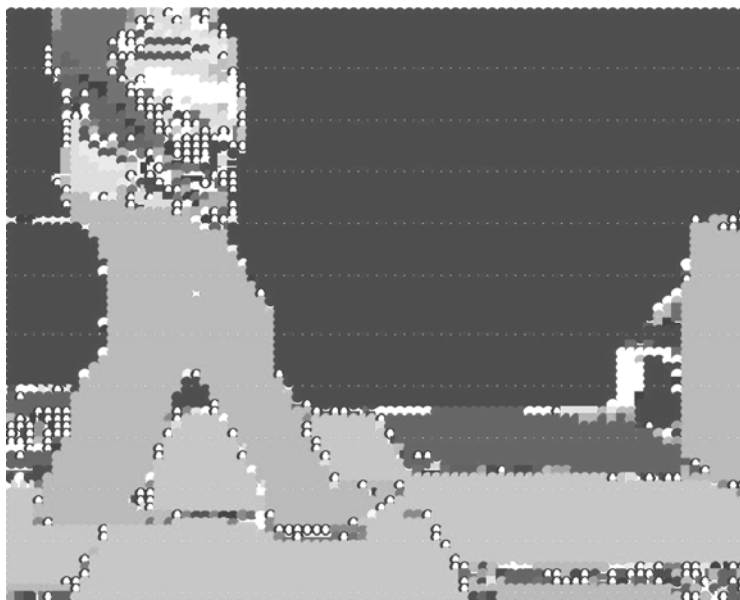


Рис. 2. Результат классификации изображения алгоритмом Revpat

Из рис. 2 видно, что сразу несколько объектов изображения (человек, пол, стол) попадают в один класс, что существенно затрудняет классификацию объектов.

В рассматриваемой задаче отличительным признаком является движущийся объект. Этим фактом можно воспользоваться, формируя новый набор изображений, построенный в виде разности двух подряд идущих кадров. В этом случае в неподвижных точках (точках фона) значения признаков будут близкими к нулю. Тогда, проводя выделение структур, можно разбить все множество точек на 2 класса (объект, фон), а затем найти центр тяжести объекта в предположении, что все точки входят с одинаковым весом. Эта процедура проделывалась для всех кадров и в качестве примера на рис. 3 приведен результат для одного из кадров.

Второй алгоритм (Binrel) не использует процедуру выделения компонент связности. В нем реализуется идея использовать для отыскания индивидуальных характеристик объектов бинарные отношения между ними. Анализируя совокупность отношений каждой точки со всеми другими, алгоритм присваивает этой точке определенное значение степени относительного контраста. Этот алгоритм удобно применять, когда сканирование ведется по площади и есть необходимость получить представление о зондируемой среде в целом. Результаты применения вышеизложенного алгоритма Binrel представлены на рис. 4.

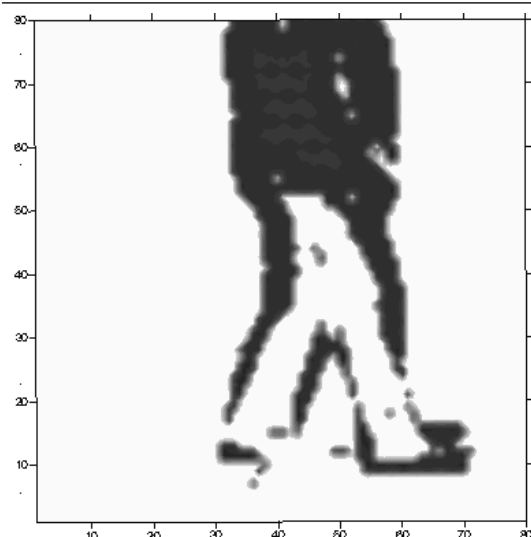


Рис. 3. Результат классификации изображения алгоритмом Revrat

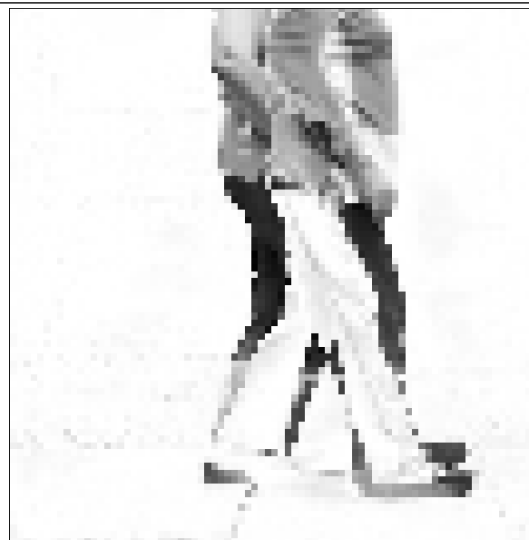


Рис. 4. Результат классификации изображения алгоритмом Binrel

Далее нами согласно выше описанным алгоритмам была выполнена подобная процедура выделения фигуры человека для каждого кадра набора изображений движущегося человека. Затем для каждого кадра проводилась процедура фильтрации мешающих элементов изображения (вне фигуры человека) и оценивался центр тяжести фигуры человека. Процедура фильтрации заключалась в определении гистограмм по разным направлениям изображения, после чего пиксели, попадающие в области малых значений, отсекались. Результаты оценки центра тяжести движущегося человека приведены на рис. 5. Можно отметить, что результаты определения центра тяжести обоими алгоритмами разнятся незначительно и на рис. 5 приведен результат найденный алгоритмом Binrel.

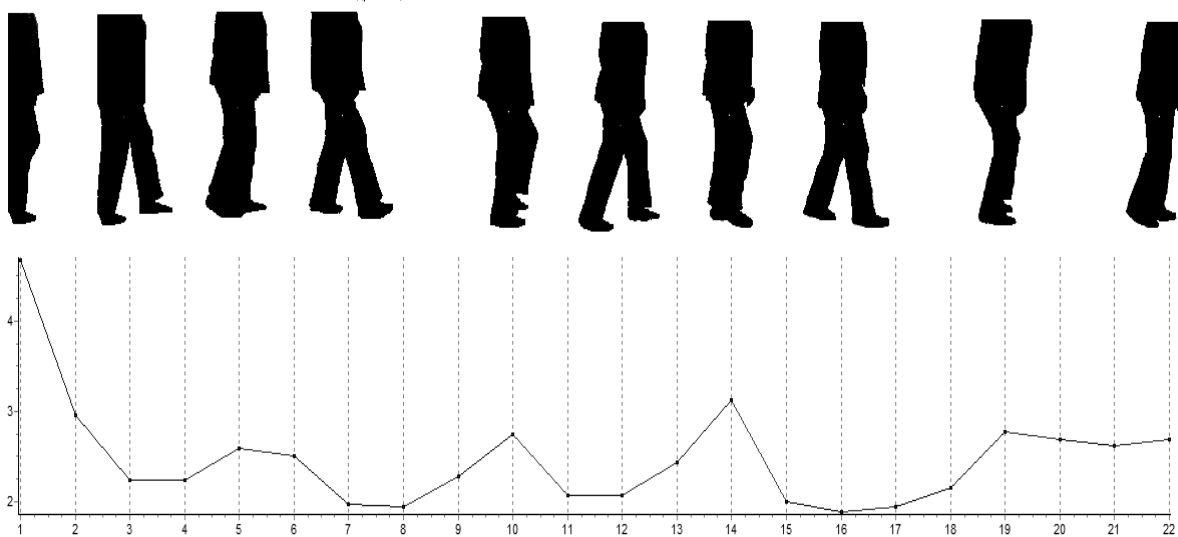


Рис. 5. Оценка центра тяжести движущегося человека

### Заключение

Изложенные в статье методы выделения структур, применены для нахождения траектории центра тяжести фигуры движущегося человека. Методы, основаны на компьютерном анализе видеоизображений, показали свою эффективность при оценивании состояния двигательной активности человека. Эффективность показана путем обработки потока изображений движения человека, как в нормальной, так и с нарушением фазы двигательной активности.

*Литература*

1. Тамар Г. Основы сенсорной физиологии. – М.: Медицина, 1976. – 520 с.
2. Витензон А. С. Закономерности нормальной и патологической ходьбы человека. – М.: Зеркало-М, 1998. – 272 с.
3. Физиология человека: учебник для вузов / Под ред. В.М. Покровского, Г.Ф. Коротько. – М.: Медицина, 2007. – 656 с.
4. Сковцов Д.В. Клинический анализ движений. Анализ походки. – Иваново: Стимул, 1996. – 334 с.
5. Бернштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. – М.: Медицина, 1966. – 349 с.
6. Загоскин В.В. Алгоритмы обнаружения малоконтрастных объектов из данных подповерхностного зондирования / С.Г. Катаев, В.Н. Ильюшенко, В.Н. Чернышов // Доклады Сибирского поляризационного семинара СибПол–2004. Сургут, 7–9 сентября 2004 г. – Сургут, 2004. – С. 232–237.

---

**Катаев Михаил Юрьевич**

Д-р техн. наук, профессор каф. автоматизированных систем управления (АСУ) ТУСУРа

Тел.: 8 (3822) 70-15-36

Эл. почта: kataev.m@sibmail.com

**Катаев Сергей Григорьевич**

Канд. физ.-мат. наук, доцент, докторант каф. АСУ ТУСУРа

Тел.: 8 (3822) 70-15-36

Kataev M.Yu., Kataev S.G.

**Numerical method and algorithm for definition of gravity center of moving people from image flow analysis**

In article mathematical approach, based on method of detecting structure, allowing of much to speed up the stream handling of video images is being offered. The algorithm of human figura selection in the flow of video images with arbitrary background is being considered. The given technique permits for one iteration to carry out figural selection with minimum influence of background. Gives results numerical approach approbation.

**Keywords:** structures, method for structure revealing, graphs, image processing.