



УДК 621.856.8

© 2012 г. **М.Ю. Катаев**, д-р техн. наук

(Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники),

С.Г. Катаев, канд. физ.-мат. наук

(Томский государственный педагогический университет),

Н.Г. Катаева, д-р мед. наук

(Сибирский государственный медицинский университет, Томск),

В.А. Чистякова

(Филиал №2 – Томская больница ФГБУЗ СОМЦ ФМБА России)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ПОСТИНСУЛЬТНОГО ПАЦИЕНТА ИЗ ПОТОКА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Рассматривается описание программно-аппаратного комплекса для определения и анализа двигательной активности постинсультного пациента из потока изображений. Приводятся описание комплекса, его алгоритмическое наполнение и результатов работы на примере обработки реальных данных видеосъемки.

Ключевые слова: двигательная активность человека, видеоизображение, алгоритмы обработки изображений, программно-аппаратный комплекс.

Введение

В последние годы цифровая обработка и анализ изображений находят все большее применение в различных областях науки и техники, в том числе и в медицинских исследованиях. Для многих приложений анализ сводится к визуальному обнаружению или простейшему измерению по одному или нескольким изображениям искомым объектов. В работах отечественных и зарубежных исследователей получены теоретические и практические решения данной проблемы, предложен целый ряд методов и моделей, которые могут быть использованы для обнаружения, распознавания и измерения объектов, представленных изображениями [1, 2]. Однако, несмотря на имеющиеся достижения в области обработки и анализа изображений, их применение к решению конкретных практических задач требует дополнительных исследований. Для этого необходима разработка алгоритмов обработки изображений, связанных с особенностью решаемой задачи.

Ежегодно общее количество больных в мире, перенесших инсульт или проходящее нарушение мозгового кровообращения, превышает 50 миллионов человек. По расчетам специалистов Национальной ассоциации по борьбе с инсультом, заболеваемость инсультом в России в последнее десятилетие увеличилась с 1,5 до

5,1 на 1000 человек населения и составляет 450-500 тысяч больных в год [3, 4]. Около 80% лиц, перенесших это заболевание, становятся инвалидами. Примерно 55% пострадавших не удовлетворены качеством жизни, и лишь менее 15% выживших могут вернуться к своей работе [5]. Одна из причин неудовлетворенности качеством жизни связана с нарушением двигательной активности человека.

В клинической медицине изучаются и используются для диагностики двигательной активности человека различные подходы: визуальные; с помощью специализированных приборов и обработки изображений [6, 7]. Первые два подхода являются трудоемкими и утомительными как для врача, так и пациента. Применение методов компьютерной обработки изображений позволяет повысить скорость проведения диагностики двигательной активности постинсультных пациентов. Однако существующие подходы обработки изображений опираются на маркерные подходы, комплексы, реализация которых обходится дорого, требует специализированных помещений и квалифицированных врачей, что существенно ограничивает их широкое внедрение [8, 9].

Нами предлагается разработать программно-аппаратный комплекс измерения, обработки и последующего анализа видеоинформации (безмаркерный подход, нет особых требований к помещению), который в сочетании с опытом врача позволит подобрать комплекс реабилитационного лечения, способствующий формированию у пациента двигательного навыка, наиболее приближенного к норме. Надо отметить, что разрабатываемая нами методика может быть применима для пациентов с двигательными нарушениями любой этиологии (последствия травм, нейроинфекции с повреждением элементов нервной системы, рассеянный склероз и пр.).

Постановка задачи

Предлагается применить современные информационные технологии обработки видеоизображений для оценки функционирования опорно-двигательного аппарата постинсультного пациента. Программно-аппаратный комплекс, рассматриваемый в работе, состоит из компьютера, веб-камеры, с типичным разрешением 640x480 пикселей и программы. Программа преобразовывает видеопоток от веб-камеры в статические изображения формата BMP, проводит предобработку, обработку изображений и выполняет анализ полученных результатов. В качестве искомой величины нами берется центр тяжести фигуры человека.

Задача ставится так: по набору последовательно идущих кадров (поток изображений) движущегося человека определить траекторию движения его центра тяжести. Имеется набор изображений $i = 1, \dots, N$, записанных в формате BMP, на которых последовательность кадров движущегося человека. Каждой точке кадра поставлено в соответствие три значения цвета (RGB-признаки). Таким образом, кадр может рассматриваться как совокупность N – объектов и фона, каждый из которых характеризуется тремя признаками. Тогда исходная задача сводится к следующим:

- 1) классифицировать все точки кадра на два класса: объект (фигура человека) и фон;
- 2) найти координаты центра тяжести объекта для каждого кадра.

Описание подходов нахождения центра тяжести

Расчет центра тяжести (ЦТ) объекта нами предлагается выполнять четырьмя способами.

1. Метод координат основан на выделении объекта на кадре и переводе его к бинарному виду, тогда координаты ЦТ находят по формулам:

$$x_c = \frac{\sum_i \sum_j x(i, j) \cdot \Delta(i, j)}{\sum_i \sum_j \Delta(i, j)} \text{ и } y_c = \frac{\sum_i \sum_j y(i, j) \cdot \Delta(i, j)}{\sum_i \sum_j \Delta(i, j)}, \Delta(i, j) = \begin{cases} 1, & (i, j) \in O \\ 0, & (i, j) \notin O \end{cases}$$

где $x(i, j)$, $y(i, j)$ – отсчеты координат в поле цифрового изображения; $\Delta(i, j)$ – функция, равная единице при попадании точки кадра с координатами (i, j) в поле объекта и нулю – во всех остальных случаях.

2. В методе прямоугольника ищется граница объекта, которая в бинарном изображении в четкости повторяет контуры фигуры человека. Далее находятся минимальные и максимальные точки контура, в которые вписывается прямоугольник, и угол между гипотенузой и стороной, как это показано на рис. 1. Величина угла однозначно определяет колебание ЦТ фигуры человека [8].

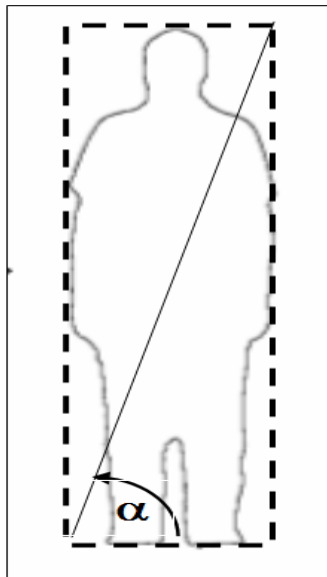


Рис. 1. Методика определения центра тяжести движущегося человека, основанная на вычислении угла гипотенузы прямоугольника.

3. Решение задачи классификации объект – фон можно осуществить с использованием алгоритма RevPat, основанного на методе выделения структур [9]. Однако при применении этого подхода возникает серьезная трудность при автоматическом отнесении полученных классов-структур к фону или объекту. Нужна какая-нибудь исходная информация в виде отличительных признаков объекта. 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.

Алгоритм RevPat разбивает все множество точек исходного изображения на таксоны, используя процедуру выделения компонент-связности графа. Последний 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 $\mathbf{a}_i, i = 1, \dots, N$ вершину \mathbf{x}_i некоторого графа $\mathbf{G} = (\mathbf{X}, \mathbf{E})$, а каждому ребру $\mathbf{e}_{ij} = (\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) \in \mathbf{E}, i, j = 1, \dots, N$, связывающему вершины \mathbf{x}_i и \mathbf{x}_j , в качестве стоимости \mathbf{c}_{ij} припишем величину, равную расстоянию \mathbf{d}_{ij} между соответствующими объектами в пространстве признаков: $\mathbf{c}_{ij} = \mathbf{d}_{ij}$.

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, проведя выделение структур, можно разбить все множество точек на два класса (объект, фон), а затем найти центр тяжести объекта одним из вышеприведенных подходов (1 или 2).

4. Алгоритм BinRel также основан на методе выделения структур [9], однако в нем не используется процедура выделения компонент-связности. Здесь 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 исследуемом объекте в целом.

Описание программного комплекса

Кратко поясним основные части структуры программного комплекса, представленного на рис. 2.

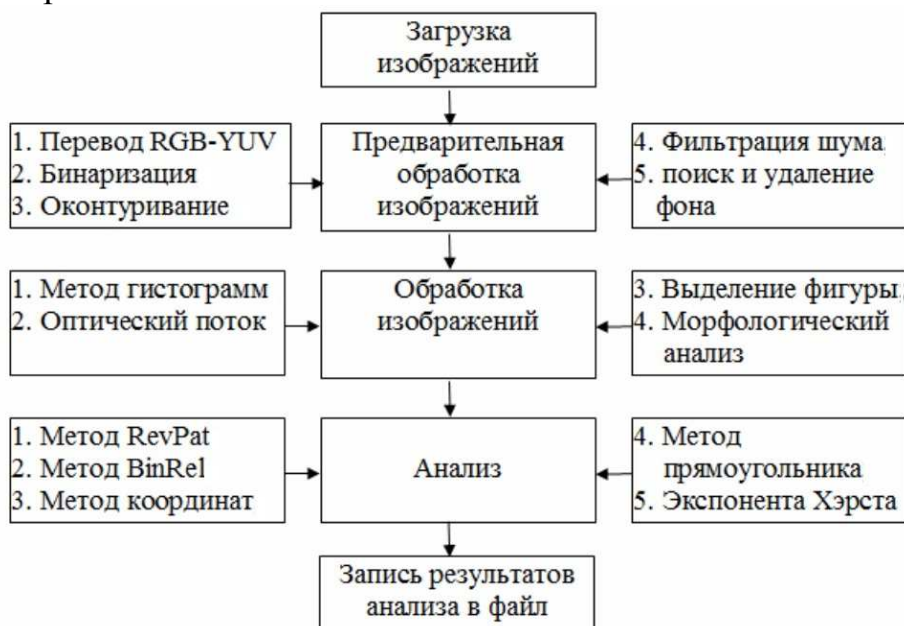


Рис. 2. Блок-схема разрабатываемого программно-аппаратного комплекса.

Во время осмотра пациента врач предлагает пройти несколько шагов вдоль веб-камеры. Результаты движения записываются в виде видеофайла (формата mov, avi или др.). Далее происходит загрузка этих файлов в систему и преобразование их в формат BMP. Следующий этап связан с предварительной обработкой каждого кадра видеопоследовательности, в которую входит: перевод из цветовых координат RGB в формат YUV, фильтрация шума, приведение к единому контрасту (методика «серый мир»), поиск и удаление фона, бинаризация, удаление фона [10 – 14]. Этап обработки специально подготовленных кадров связан с выделением области фигуры человека (метод гистограмм, оптический поток). На этом этапе происходит возможная очистка кадра от фона и выделение области точек, которые связаны с фигурой человека. Однако в кадре остается еще некоторое количество мешающих артефактов. Далее выполняется анализ набора кадров с целью определения центра тяжести фигуры человека, четырьмя вышеописанными подходами и производится расчет параметра, характеризующего двигательную активность.

После продолжительных исследований мы остановились на экспоненте Хэрста [15 – 18] как величине, наиболее правдоподобно отражающей двигательную активность. Этот показатель позволяет врачу увидеть степень реабилитации пациента после специальных процедур.

Применение алгоритмов

Для апробирования алгоритмов и программы в целом, была выполнена запись движения постинсультного пациента, проведены обработка и анализ. На рис. 3 показано одно из исходных изображений, поступающее на вход программы для последующей обработки и анализа.



Рис. 3. Одно из исходных изображений движения человека.

На рис. 4а, 4б показаны результаты преобразования этого же кадра, полученные с помощью алгоритмов Revpat и BinRel. Первые два подхода (координат и прямоугольника) позволяют выделить фигуру человека практически так же, как это выполняет алгоритм RevPat, и поэтому мы не приводим их.

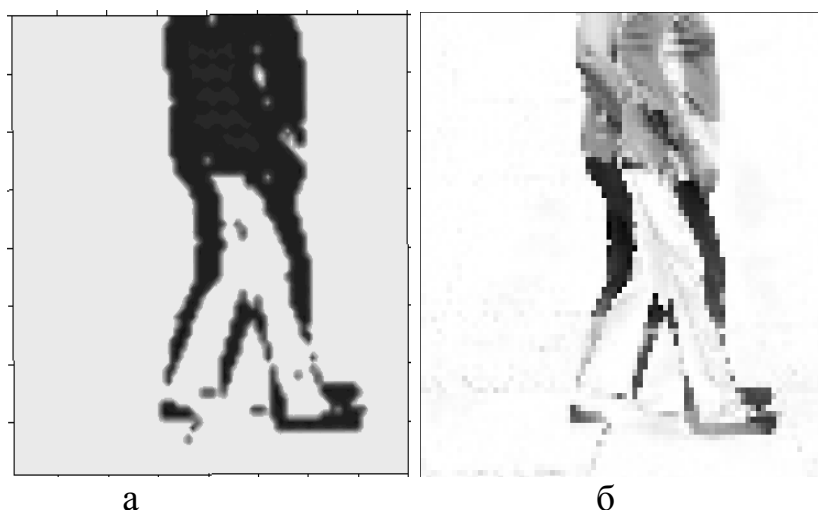


Рис. 4. Результат классификации изображения алгоритмом RevPat и BinRel.

На рис. 5 приведено сравнение положения центра тяжести постинсультного пациента при двух сеансах реабилитационных действий (каждый сеанс длится две недели, а между сеансами – несколько месяцев). Можно отметить, что результаты определения центра тяжести всеми алгоритмами разнятся незначительно (не более чем на 5%), и поэтому далее мы приводим результаты только одного подхода – BinRel.

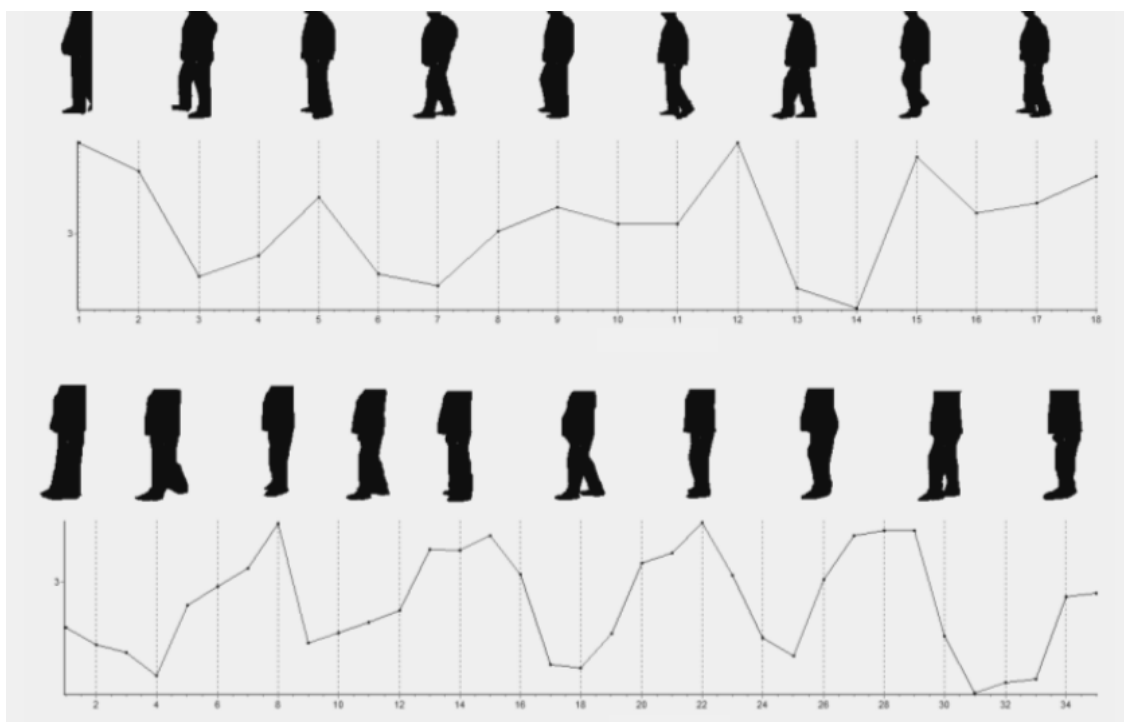


Рис. 5. Оценка центра тяжести движущегося постинсультного пациента во время двух сеансов проведения реабилитационных действий.

Анализ результатов обработки

В качестве критерия успешности проведения реабилитационных действий нами предлагается, как это было сказано выше, использовать экспоненту Хэрста. Это связано с тем, что анализ графиков изменения положения ЦТ достаточно за-

труднителен ввиду того, что сказать, изменилось или не изменилось функциональное состояние, как (насколько) улучшилась двигательная активность пациента, невозможно. Эта величина успешно применяется для анализа временных рядов в науке, экономике, медицине и др. [15 – 17].

Приведем классический алгоритм расчета экспоненты Хэрста (Hurst) [18]. Имеем временной ряд $\{x\}$ длиной N ($1 < n < N$), тогда:

$$X(i, n) = \sum_{u=1}^i [x_u - \langle X \rangle_n],$$

$$\langle X \rangle_n = \frac{1}{n} \sum_i x_i,$$

$$R(n) = \max_{1 \leq i \leq n} (X(i, n)) - \min_{1 \leq i \leq n} (X(i, n)),$$

$$S(n) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [x_i - \langle X \rangle_n]^2},$$

и на основе $R(n)$ и $S(n)$ вычисляется функция:

$$\frac{R(n)}{S(n)} \approx \left(\frac{n}{2}\right)^H,$$

где H – экспонента Хэрста; $D = (2 - H)$ – фрактальная размерность.

Величина H говорит об изменении (возрастании или убывании) тренда, который наблюдается в зависимости $\ln(n)$ и $R(n)/S(n)$ и может быть не очевидным в реальной последовательности $x(i)$. Обычно строят график $y = \ln(n)$ и $z = R(n)/S(n)$ и находят линейную регрессию стандартного вида $y = a + bz$. Коэффициент уравнения a определяется как экспонента Хэрста.

Нами был выполнен анализ данных изменения центра тяжести пациента за время четырех реабилитационных сеансов (в течение года, фото с одного из сеансов показано на рис. 3).

Значения экспоненты Хэрста, последовательно для каждого из сеансов, получились такими: 1 = 0.42; 2 = 0.28; 3 = 0.24; 4 = 0.15. Видно, что между первым и вторым сеансами реабилитации был получен значительный прогресс (см. рис. 5).

Второй и третий сеансы различаются между собой мало, а последний, четвертый, сеанс снова приводит к улучшению двигательных функций пациента.

Заключение

Представлено описание подхода к обработке данных видеонаблюдений за движением постинсультных пациентов и определению показателя, характеризующего степень двигательной активности. Разработан программно-аппаратный комплекс, насыщенный алгоритмами обработки изображений, с целью выделения центра тяжести фигуры человека на изображении, как характеристики двигательной активности. На основе полученных временных графиков строится показатель – экспонента Хэрста, который является единым показателем качества двигательной активности человека. Оценивая величину показателя при различных сеансах

реабилитационных действий, врач может говорить о движении пациента количественно и определять те или иные варианты реабилитационных действий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методы компьютерной обработки изображений / под ред. *В.А. Соифера*. – М.: Физматлит, 2001.
2. *Хорн Б.К.* Зрение роботов / пер. с англ. – М.: Мир, 1989.
3. *Гусев Е. И., Скворцова В.И.* Ишемия головного мозга. – М.: Медицина, 2001.
4. *Катаева Н.Г., Корнетов Н.А. Левина А.Ю.* Постинсультная депрессия: клиника и реабилитация. // Бюллетень сибирской медицины. Научно-практический журнал. – 2008. – Т. 7 – С.234-237.
5. *Иванова Г.Е., Поляев Б.А., Герасименко М.Ю, Епифанов В.А., Скворцова В.И.* Восстановление двигательных функций при инсульте // Качество жизни. – 2007. – С. 71–75.
6. *Белова А.Н.* Нейрореабилитация. Руководство для врачей. – М.: Антидор, 2000.
7. *Кадыков А.С.* Реабилитация после инсульта. – М.: Миклош, 2003.
8. *Катаев М.Ю., Хамаганов Я.А.* Исследование двигательной активности человека на основе анализа видеоизображений. Аппаратно-программный комплекс // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 1 (21). – Ч.2. – С. 177-182.
9. *Катаев М.Ю., Катаев С.Г.* Численный метод и алгоритм определения центра тяжести движущегося человека из анализа потока изображений // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2 (24), – Ч.3. – С. 195-200.
10. *Прэнт У.* Цифровая обработка изображений – Кн. 1. – М.: Мир, 1982.
11. *Прэнт У.* Цифровая обработка изображений – Кн. 2. – М.: Мир, 1982.
12. Новейшие методы обработки изображений / под ред. *А. А. Потапова*. – М.: Физматлит, 2008.
13. *Яне Б.* Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2007.
14. *Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005.
15. *Кроновер Р.М.* Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. – М.: Постмаркет, 2000.
16. *Goldberger A.L., Amaral A.N., Hausdorff J.M., Ivanov P.Ch., Peng C.-K., Stanley H.E.* Fractal dynamics in physiology: Alterations with disease and aging // PNAS. – 2002. – V.99, Suppl. 1. – P.2466-2472.
17. *Chan G.* An Effective Method for Simulating Gaussian Random Fields // American Statistical Association, Proceedings of The Statistical Computing Section. – 1999. – P. 133-138.
18. *Hurst H.E.* Long-term storage capacity of resevories // Trans. Amer. Civil Ehergy. – 1951. – V.116. – P.770-808.

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.А. Шелупановым.

E-mail:

Катаев Михаил Юрьевич – kataev.m@sibmail.com

Катаев Сергей Григорьевич – kataev.m@sibmail.com

Катаева Надежда Григорьевна – kataev.m@sibmail.com

Чистякова Вера Анатольевна – kataev.m@sibmail.com