



УДК 004.81:159.942.52

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ ТЕМПОРАЛЬНЫХ ВЫКАЗЫВАНИЙ

Заболеева-Зотова А.В. *, Бобков А.С. *, Петровский А.Б. **

** Волгоградский государственный технический университет,*

г. Волгоград, Россия

zabzot@vstu.ru

bobkovart@gmail.com

*** Институт системного анализа Российской академии наук,*

г. Москва, Россия

pab@isa.ru

В статье рассматривается подход к формализованному описанию движений человека с использованием последовательных нечетких темпоральных высказываний.

Ключевые слова: движения человека, нечеткое темпоральное событие, нечеткое последовательное темпоральное высказывание.

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизированная обработка информации об эмоциональном состоянии человека является актуальной задачей, решение которой позволило бы решить ряд экономических, социальных и бытовых проблем [Бобков и др., 2011]. Программные комплексы, осуществляющие интеллектуальную обработку потока видеоданных, могут оказаться полезными везде, где требуется анализ поведения человека, в том числе и его эмоциональной составляющей – на транспортных узлах, в крупных магазинах и других местах.

Отсутствие моделей и методов, обеспечивающих адекватную идентификацию эмоциональных реакций по телодвижениям человека, не позволяет пока эффективно автоматизировать этот процесс. Остается актуальной и проблема формального описания проявления эмоций через телодвижения.

В данной работе предложен подход к моделированию движений человека с целью идентификации его эмоционального состояния. Подход основан на использовании понятий нечеткого темпорального высказывания и нечеткого темпорального события [Ковалев и др., 2011], методах определения адекватности моделей по критерию истинности нечеткого темпорального высказывания [Bernshtein et al, 2009].

1. Входные данные модели

Для представления характерных движений человека разработана векторная модель скелета, состоящая из 22 точек, которые соответствуют основным анатомическим частям (суставами и отделами позвоночника) человеческого тела. Входными данными модели служит информация об изменениях углов поворота анатомических узлов при движении человека.

Идентификация движений человека в видеопотоке проводилась с использованием безмаркерной технологии. Она обеспечивает анализ состояния человека, не сковывая его движения, и как следствие, не ограничивает его эмоциональные реакции [Bobkov et al, 2012]. Сопоставление известных коммерческих систем, осуществляющих безмаркерное распознавание людей на видео, позволило выбрать систему Brekel Kinect как наиболее подходящую для отображения движений человека и дальнейшего анализа изображения. Система Brekel Kinect, работающая с сенсором от компании Microsoft, дает возможность самостоятельно выбирать положение сенсора. Если не требуется работа системы в режиме реального времени, допустимо использование IpiStudo совместно с несколькими видекамерами, в том числе и USB веб-камерами.

Векторная модель человека в системе определяется форматом описывающего её файла. Были проанализированы преимущества и недостатки различных форматов для анимации, в том числе, Biovision Hierarchy (bvh), COLLADA (dae), VALVE Source Engine Animator SMD (smd). Учитывая возможности систем (в частности, Brekel Kinect и IriStudio) для захвата движения и экспорта анимации, был выбран формат bvh.

2. Формализованное описание движений человека

Продолжительность движения анатомического узла в векторной модели скелета измеряется в кадрах. Для описания длительности движения на ограниченном естественном языке введена нечеткая темпоральная переменная «Продолжительность», определенная на следующем множестве термов: «Нулевая», «Очень короткая», «Короткая», «Умеренная», «Длительная», «Очень длительная». Функции принадлежности термов представлены функцией Гаусса.

Формализация движений анатомических узлов осуществляется с помощью семейства лингвистических переменных (ЛП) «Скорость изменения угла». Множество термов ЛП «Скорость изменения угла» состоит из следующих элементов: «Очень быстрое уменьшение», «Быстрое уменьшение», «Среднее уменьшение», «Медленное уменьшение», «Очень медленное уменьшение», «Нулевая», «Очень медленное увеличение», «Медленное увеличение», «Среднее увеличение», «Быстрое увеличение», «Очень быстрое увеличение». Графики функций принадлежности термов переменной «Скорость изменения угла» представлены на рисунке 1:

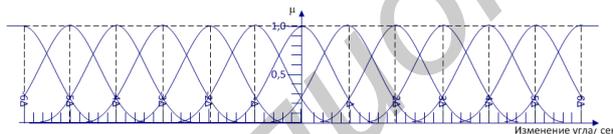


Рисунок 1 – График функций принадлежности термов переменной «Скорость изменения угла».

Каждая лингвистическая переменная характеризует движение определённого сустава (точки сгиба) в модели скелета человека. В предлагаемой модели точки сгиба сгруппированы в зависимости от значений максимальной подвижности (МП) суставов. Число лингвистических значений (ЛЗ) в лингвистических переменных постоянное, но сами значения могут различаться. Это зависит от максимальной подвижности и типа сустава (с тремя, с двумя, с одной осью вращения) или другой части тела, в которой происходит изменение угла поворота.

Для определения ЛП, описывающих 22 точки векторной модели скелета, найдено соответствие между узлами и анатомическими местами изменения углов при движении человека. С этой

целью был проведен анализ нормальной подвижности суставов, которые не считаются отклонениями, у спортсменов (пловцов, гимнастов, легкоатлетов) и людей, не занимающихся спортом.

Каждая группа узлов со схожими величинами МП описывается при помощи ЛП, максимум функции принадлежности которой достигается каждые Δ градусов за секунду. Данный набор ЛП может настраиваться в зависимости от того, какой вид движения человека описывается. Например, для малых периодических колебаний (постукивание по столу пальцами руки, покачивание, «переминание» с ноги на ногу) было экспериментально установлено, что наиболее подходящее значение Δ равно 1/18 от максимальной подвижности сустава.

Используя введенные выше лингвистические переменные, представим движение сустава вокруг одной из осей в виде нечеткого темпорального события (НТС). Так как события расположены на временной оси последовательно друг за другом, то движение можно описать последовательным нечетким темпоральным высказыванием (ПНТВ).

Пример: «Наблюдается среднее уменьшение угла очень короткой продолжительности, за которым следует практически нулевая стабилизация изменения угла, за которой следует среднее увеличение угла очень короткой продолжительностью». Модель данного описания движения представляет собой ПНТВ вида

$$W = (B_{-3} \text{ rtf } D_1) \text{ rtsn}(B_0 \text{ rtf } D_0) \text{ rtsn}(B_{+3} \text{ rtf } D_1).$$

Здесь rtf – нечеткое темпоральное отношение, rtsn – темпоральное отношение непосредственного следования, ЛЗ нечеткой переменной B «Скорость изменения угла»: B_{-3} – Среднее уменьшение, B_0 – Стабилизация, B_{+3} – Среднее увеличение; ЛЗ нечеткой темпоральной переменной D «Продолжительность»: D_1 – Очень короткая, D_0 – Нулевая.

3. Интерпретация последовательных нечетких темпоральных высказываний, описывающих движения человека

Для поиска определённого движения человека по запросу, представленному на ограниченном естественном языке, разработана интерпретирующая модель последовательных нечетких темпоральных высказываний, описывающих движения. Алгоритмическая схема модели дана на рисунке 2.

Из векторной модели скелета, располагая границами диапазонов поиска определённого движения и именем анализируемой части тела, можно получить массив значений углов вращения узла относительно одной из осей X , Y или Z . Далее формируются дочерний массив углов ρ_i , в котором находятся только те значения, которые попадают в анализируемый промежуток, и матрица разностей

углов, принадлежащих разным кадрам для одного узла. Элементы матрицы образуются по следующему правилу: $\rho_{ij} = \rho_j - \rho_i$ при $j > i$, $\rho_{ij} = 0$ при $j \leq i$.

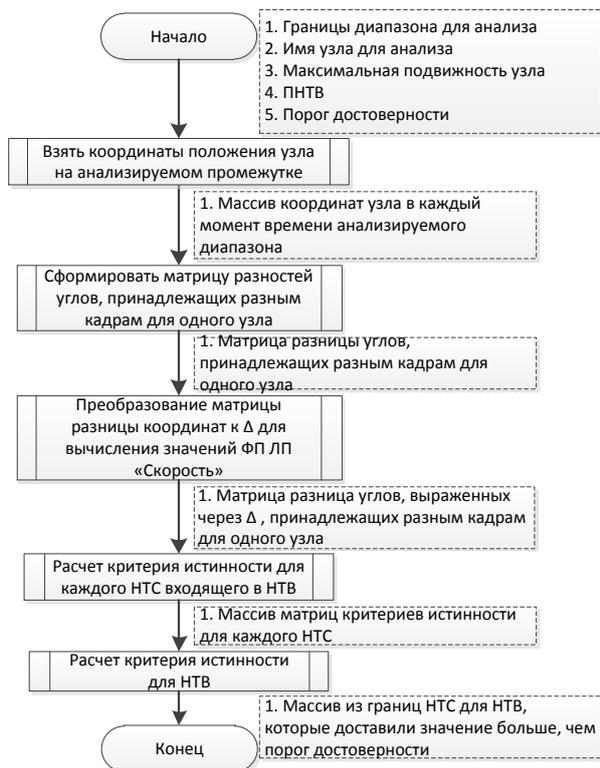


Рисунок 2 – Алгоритмическая схема интерпретирующей модели ПНТВ, описывающих движения человека

Для вычисления значения функции принадлежности лингвистической переменной «Скорость изменения угла» матрица разностей углов преобразуется к виду, в котором абсолютные изменения координат выражаются через шаг Δ максимальной подвижности, зависящей от вида анализируемой части тела.

В основе модели интерпретации последовательного нечеткого темпорального высказывания лежит критерий истинности, характеризующий возможность семантического сопоставления исходного фрагмента динамического процесса δ_q и признака q . Семантическое сопоставление задается формулой

$$J(q/\delta_q) = F_q(\delta_q) \& \mu_{Lq}(\delta_q).$$

Здесь $F_q(\delta_q)$ – характеристическая функция, устанавливающая семантическое отношение между нечеткими значениями переменных динамического процесса; $\mu_{Lq}(\delta_q)$ – функция принадлежности терма L_q лингвистической переменной L .

Критерий истинности $J(W/S)$ ПНТВ W относительно динамического процесса S записывается в виде

$$J(W/S) = \max_{I \in V} (J(W/S)_I),$$

где V – множество всех возможных интерпретаций I . В частности, критерий истинности ПНТВ W относительно динамического процесса S для множества нечетких темпоральных событий, которые выражаются признаками a, b, c , определяется выражением

$$J(W/S)_I = J(a/\delta_a) \& J(b/\delta_b) \& J(c/\delta_c) = (F_a(\delta_a) \& \mu_{L_a}(\delta_a)) \& (F_b(\delta_b) \& \mu_{L_b}(\delta_b)) \& (F_c(\delta_c) \& \mu_{L_c}(\delta_c)).$$

В нашей случае динамический процесс – это последовательность кадров в векторной модели человека, представляющая повороты одного из узлов вокруг осей X, Y или Z , а в качестве критерия истинности рассматривается критерий сходства элементарных движений с эталонными.

Рассмотрим в качестве примера вращение узла «Правый голеностопный сустав». Вычислим значение критерия сходства фрагмента динамического процесса относительно следующего НТС: «Для правого голеностопного сустава в течение короткого промежутка времени наблюдается очень медленное уменьшение угла».

По графику функции принадлежности терма «Нулевая» лингвистической переменной «Продолжительность», приведенному на рисунке 3, определяется значение $F_L(\delta_i) = 0,7$ при $\delta_i = t_2 - t_0 = 2$ кадрам.

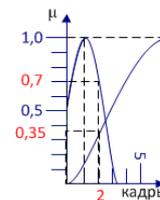


Рисунок 3 – Функция принадлежности терма «Нулевая» ЛП «Продолжительность»

Рассчитаем значение функции принадлежности $\mu_{Lq}(\rho_{ij})$ терма L_q «Очень медленное уменьшение» лингвистической переменной «Скорость изменения угла» при условии, что максимальная подвижность голеностопного сустава у спортсменов равна 79 градусам, а у людей, не занимающихся спортом, – 65 градусам. Выберем значение МП равное 72 градусам. Пусть в момент времени t_0 угол поворота ρ_0 составлял 10,00 градусов, а в момент времени t_2 угол поворота ρ_2 равнялся 6,13 градусов. Тогда $\Delta = 72/18 = 4,00$; $\rho_{ij} = 6,13 - 10,00 = -3,87$; $\mu_{Lq}(\rho_{ij}) = 0,74$. Рассчитанное значение функции принадлежности изображено на рисунке 4.



Рисунок 4 – Значение функции принадлежности терма «Очень медленное уменьшение» ЛП «Скорость изменение угла»

Для полученных значений функций принадлежности критерий истинности равен 0,7. Имея набор НТС, выраженных через три последовательно проявляющихся признака, например, поворота вокруг оси X , Y или Z , можно рассчитать критерий истинности ПНТВ W относительно динамического процесса S .

При анализе выходных данных интерпретирующей модели необходимо учесть установленный порог достоверности полученных результатов, то есть значение, которое будет считаться границей корректно распознанных характерных телодвижений. Совокупности разбиений, для которых критерий истинности относительно анализируемого последовательного нечеткого темпорального высказывания окажется выше, чем порог достоверности, считается найденными корректно.

Описанная интерпретирующая модель способна работать в режиме реального времени [Розалиев и др., 2010]. При этом осуществляется динамическое формирование треугольных матриц разностей углов, принадлежащих разным кадрам в пределах одного узла. Через определённый квант времени, который зависит от скорости записи изображения, поступают новые векторные значения параметров, получаемых от Microsoft Kinect. В эти же кванты времени в системе осуществляется пересчет вторичных нечетких признаков, описывающих движение.

Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 11-07-00398, 12-07-00266, 12-07-00270).

Библиографический список

- [Бобков и др., 2011] Развитие системы автоматизированного определения эмоций и возможные сферы применения / Бобков А.С., Заболеева-Зотова А.В., Орлова Ю.А., Розалиев В.Л. // Открытое образование. - 2011. - № 2. - С. 59-62.
- [Ковалев и др., 2011] Идентификация дискретно-динамической системы с изменяющейся структурой в стохастической среде / Ковалев С.М., Соколов С.В. // Обзорные прикладной и промышленной математики. - Москва, 2011. - Т. 18, вып. 4. - С. 545-549.
- [Розалиев и др., 2010] Моделирование эмоционального состояния человека на основе гибридных методов / Розалиев В.Л., Заболеева-Зотова А.В. // Программные продукты и системы: международный науч.-практ. журнал. – Тверь, 2010 – Вып.2 (90). – С.141-146.
- [Bobkov et al, 2012] Fuzzy Approach to Identification of Human Emotions based on Recognition and Analysis of Body Movements / Bobkov A.S., Rosaliev V.L., Zaboloeva-Zotova A.V., Petrovsky A.B. // The 2nd World Conference on Soft Computing (December 3-5, 2012, Baku, Azerbaijan): proceedings / Ministry of Communications and Information Technologies of the Republic of Azerbaijan. – Baku, 2012. – P. 117-120. – Eng.
- [Bernshtein et al, 2009] Models of representation of fuzzy temporal knowledge in databases of temporal series. / Bernshtein L.S., Kovalev S.M., and Muravskii A.V. // Journal of Computer and Systems Sciences International, 2009, 48, 625-636.

MODELING HUMAN MOVEMENTS BASED ON THE FUZZY TEMPORAL STATEMENTS

Zaboloeva-Zotova A.V.* , Bobkov A.S.* ,
Petrovsky A.B.**

* *Volgograd State Technical University,
Volgograd, Russia*

***Institute for Systems Analysis,
Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia,*

*zabzot@vstu.ru
bobkovart@gmail.com
pab@isa.ru*

The paper considers an approach to the formalized description of human movements by using sequential fuzzy temporal statements.

In order to define body movements, first of all, we recognize a person on video images using a technology for markerless motion capture with the digital video camera Brekel Kinect. Video pictures are presented in the special animation format – the BVH-file, which describes poses of body skeleton and contains motion data. Such technology allows visualizing and analyzing different movements of a person, determining areas of static or dynamic postures of micro and macro movements.

We also use the vector model of skeleton, which consists of 22 nodes correspondent to different anatomical parts of body and joints with one, two or three axes of rotation. In the vector model of skeleton, the typical movements of human body are described with the linguistic variables, which characterize duration of event, and variation of rotation angle. These variables allow to determinate the direction and speed of movement of every joint.

The movement of the joint around an axis has been described in the form of fuzzy temporal events. Since the events are located one after another on the time axis, the motion can be represented as a sequential fuzzy temporal sentence. In the model of sequential fuzzy temporal sentence, an adequacy of the analyzed fragment of a dynamic process and the corresponding attribute are determined by the validity criterion.

This work was partially supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects 11-07-00398, 12-07-00266, 12-07-00270).