

ными узлами тела человека (рисунок 1), данные о координатах этих узлов относительно друг друга и окружающего пространства с учетом основных антропометрических характеристик.

Распознанное движение объекта реального мира необходимо для построения на его основе анимации, повторяющей основные движения оригинала, для создания различного рода симуляторов и тренажеров.

Данные о движении предоставляются в виде иерархии основных узлов скелета человека [3], где вращение одних суставов относительно других представлено в виде кватернионов (роль вращающихся векторов выполняют кости скелета), а смещение представлено в виде трехмерных векторов в локальной для каждого узла системе координат.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бранец, В. Н. Применение кватернионов в задачах ориентации твердого тела / В. Н. Бранец, И. П. Шмыгалевский. – М. ; Главная редакция физико-математической литературы: Наука, 1973. – 320 с.
2. Борисенко, Л. А. Манипуляторы. Механика поворотов / А. Борисенко. – Минск: Вышэйшая школа, 2001. – 100 с.
3. Развитие системы автоматизированного определения эмоций и возможные сферы применения / А.В. Заболеева-Зотова, Ю.А. Орлова, В.Л. Розалиев, А.С. Бобков // Открытое образование. – 2011. – № 2. – С. 59–62.

УДК531.3; 621.8; 796.01

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСЧЕТА КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Покатилов А.Е., Киркор М.А.

Могилевский государственный университет продовольствия,
Могилев, Республика Беларусь.

Так как в робототехнике моделируются рабочие функции человека, то при расчетах манипуляторов и решении задач биомеханики движения человека часто общей основой является анализ опорно-двигательного аппарата человека. Последний, с точки зрения теории механизмов и машин, представляет собой кинематическую цепь. Методы расчета таких цепей в механике разработаны, но они имеют ту особенность, что предусматривают ручной труд. Сами расчетные методы универсальны, но их применение носит каждый раз конкретный характер, так как методы используются для кинематической цепи с определенным числом звеньев, кинематических пар 5-го, 4-го и 3-го классов. Таким образом, в зависимости от задачи количество звеньев меняется. В качестве наиболее общего случая начнем анализ опорно-двигательного аппарата человека с пространственной схемы. В связи со сложным строением, а значит, и соответственно сложным движением в суставе, для него вводят допущение, по которому каждый сустав биомеханической системы моделируют шарниром.

Известно, что скелет человека состоит из 206 костей, при этом 170 из них парные и 36 непарные, но в движении участвуют только 148 из них [1]. Рассчитаем степень свободы пространственной кинематической цепи по формуле Со-

мова–Мальшева:

$$W = 6n - \sum_{i=1}^5 ip_i \quad (1)$$

где n – число подвижных звеньев кинематической цепи;

p_i – число кинематических пар i -го класса.

На рисунке 1 показана расчетная кинематическая схема биомеханической системы (БМС), т.е. опорно-двигательного аппарата человека [2].

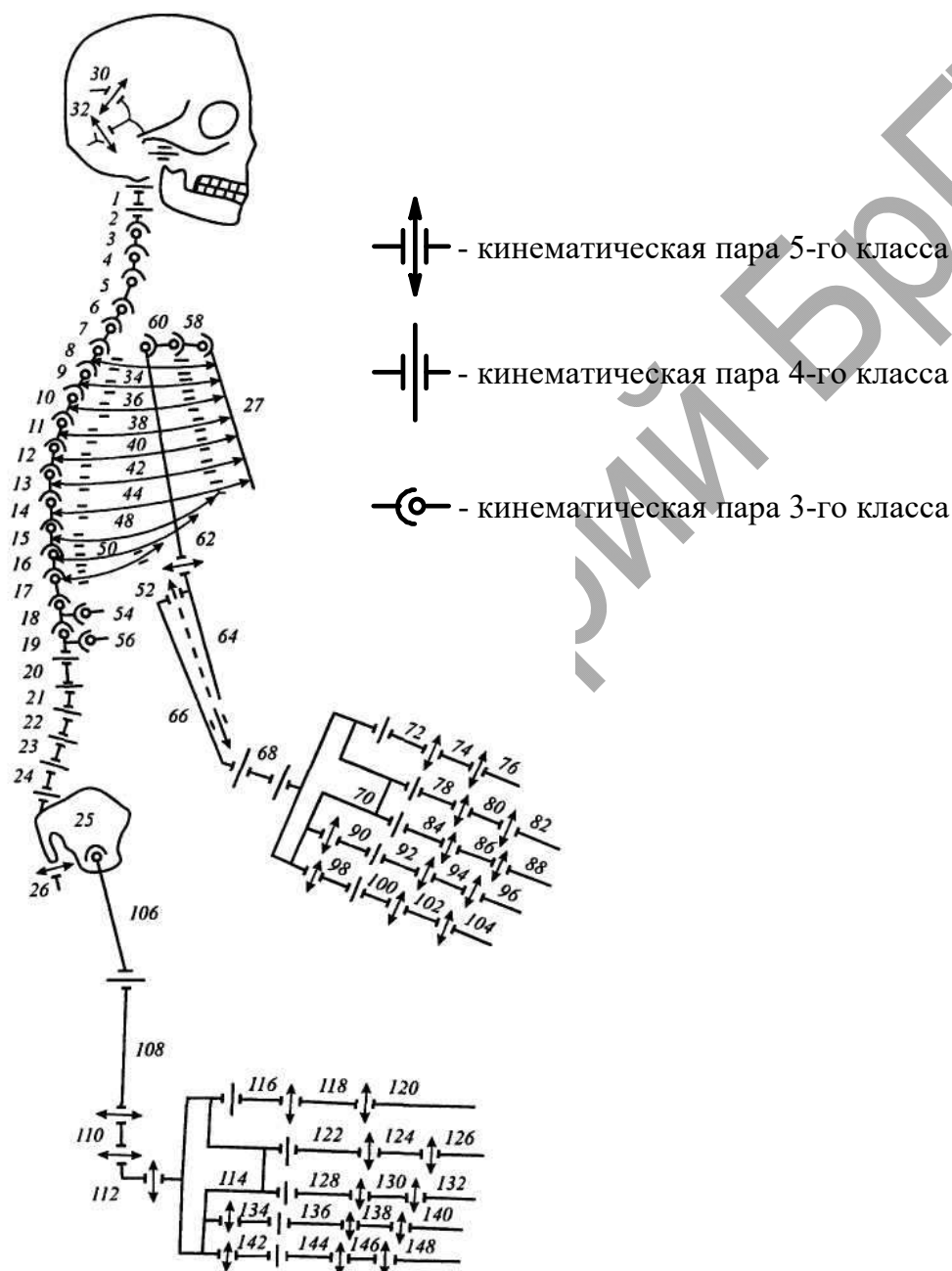


Рисунок 1 – Кинематическая схема опорно-двигательного аппарата

Кости представлены в виде звеньев кинематической цепи, а суставы в виде кинематических пар. Там же на кинематической схеме дана расшифровка обозначений. При расчетах считают, что число подвижных костей (звеньев) в теле

человека равно 148. Число кинематических пар пятого класса $p_5 = 85$, четвертого – $p_4 = 33$ и третьего – $p_3 = 29$.

Число степеней свободы опорно-двигательного аппарата равно [3]

$$W = 6n - \sum_{i=1}^5 iP_i = 6 \cdot 148 - 5 \cdot 85 - 4 \cdot 33 - 3 \cdot 29 = 244. \quad (2)$$

Если показать биомеханическую систему в качестве кинематической цепи, совершающей плоское движение, то по формуле Чебышева для плоских кинематических цепей получим

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 148 - 2 \cdot 147 - 0 = 150. \quad (3)$$

Здесь принято следующее число кинематических пар соответствующего класса: $p_5 = 147$, $p_4 = 0$.

Если же не учитывать деление тела на левую и правую половины, а также считать, что во время выполнения упражнения спортсмен молчит, т.е. не работают пары 30-33, а также не учитывать дыхательные движения, то подвижность биомеханической системы уменьшится примерно наполовину. При этом будет разумным не рассматривать и движение копчика – пара 26. Но рассчитать кинематическую цепь даже при $W=75$ представляет собой сложнейшую и очень трудоемкую задачу.

Рядом проведенных исследований показано, что на примере трехзвенной модели биомеханической системы можно вывести все основные закономерности движения [4]. Во-первых, при этом получают необходимые уравнения движения, описывающие многие конкретные случаи движения. Так, большинство оборотов упражнений в гимнастике, выполняемых на перекладине, построено на выполнении сгибательно-разгибательных движений в плечевых и тазобедренных суставах [5] и для их формализации достаточно применить трехзвенную модель опорно-двигательного аппарата человека.

Во-вторых, на основе трехзвенной модели можно получить уравнения в компактной форме для многозвенной системы с любым числом звеньев. В гимнастике существует широкий класс движений с использованием сгибательно-разгибательных движений помимо плечевых и тазобедренных суставов. Движения при выполнении ряда спортивных упражнений осуществляются в лучезапястных, локтевых, коленных, голеностопных суставах [4]. В этом случае опорно-двигательный аппарат человека представляют многозвенной моделью.

Используем подход, реализованный в работе [4] для процесса формирования необходимых уравнений с помощью ЭВМ на уровне произвольного количества элементов биомеханической системы, т.е. для любой многозвенной биосистемы. Предлагаемые на его основе модели кинематики и динамики биомеханической системы одинаково применимы как в условиях жесткой, так и упругой опоры.

Любое искомое уравнение для i -го звена сводится к рекуррентному соотношению типа

$$f_i = f_{i-1} + u_i, \quad (4)$$

где f_i – уравнение, описывающее биомеханическое состояние i -го звена;
 f_{i-1} – уравнение, описывающее биомеханическое состояние $(i-1)$ -го звена;
 u_i – свободный параметр, определяемый масс-инерционными характеристиками i -го звена и наложенными кинематическими связями.

Достаточно определить структуры f_{i-1} и u_i , а после этого, используя соотношение (4), выполнить в программе циклические вычисления по i , от $i=1$ до $i=N$. Таким образом, можно автоматизировать процедуру вывода необходимых уравнений для биомеханических систем с произвольным количеством звеньев.

Гипотеза справедлива как для кинематического, так и для динамического анализов. И применима как для задач биомеханики, так и робототехники.

Биомеханическое состояние всей системы определяется через сумму состояний звеньев биомеханической системы. Формула для биомеханической системы в целом имеет вид

$$f_{БМС} = \sum_{i=1}^N f_i \quad (5)$$

где $f_{БМС}$ – уравнение, описывающее биомеханическое состояние опорно-двигательного аппарата человека в целом.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Боянович, Ю. В. Атлас анатомии человека / Ю. В. Боянович, Н. П. Балакирев. – Ростов-на-Дону.; Феникс, Харьков. : Торсинг, 2005. – 734 с.
2. Бегун, П. И. Биомеханика: учеб. для вузов / П. И. Бегун, Ю. А. Шукейло. – СПб. : Политехника, 2000. – 463 с.
3. Бегун, П. И. Моделирование в биомеханике: учеб. пособие / П. И. Бегун, П. Н. Афонин. – М. : Высш. шк., 2004. – 390 с.
4. Загrevский, В. И. Расчетные модели кинематики и динамики биомеханических систем / В. И. Загrevский. – Томск–Могилев. : 1999. – 156 с.
5. Гавердовский, Ю. К. Техника гимнастических упражнений. Популярное учебное пособие / Ю. К. Гавердовский. – М. : Terra-Спорт, 2002. – 512 с.

УДК 629.735

КОНСТРУИРОВАНИЕ МНОГОЦЕЛЕВОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО РОБОТА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ МЕХАТРОНИКИ, РОБОТОТЕХНИКИ И БИОМЕХАНИКИ

Михальков С.Л., Массальский М.И., Ширвель П.И.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Разработка высокотехнологичного робота в качестве лабораторного комплекса для студентов и преподавателей с целью исследований в области машиностроения, робототехники, мехатроники и биомеханики является весьма актуальной задачей, которая при ее успешном решении позволит вывести образование в сфере робототехники и мехатроники на новый уровень. В настоящее время