

УДК 796.012

Загравский В. И., Иванчиков Н. В., Мельников А. С.

СИНТЕЗ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ ОСОБОЙ ТОЧКИ ДИСТАЛЬНОГО ЗВЕНА БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

В статье рассматривается математический аппарат синтеза траектории особой точки, совершающей прямолинейное перемещение в горизонтальной плоскости с заданным программным движением опорного звена биомеханической системы. В целенаправленных движениях человека к движениям подобного рода, в частности в спортивных единоборствах, относятся разновидности ударных движений, движения реализации захвата противника, атакующие и блокирующие действия и т.д. При анализе техники спортивных упражнений за особую точку можно принять любую из точек сегмента тела человека расположенной на продольной оси дистального звена кинематической цепи (сустав, центр масс сегмента, кисть, стопа).

Математический аппарат, синтезирующий программу прямолинейного движения особой точки в кинематической паре, реализован в языковой среде Visual Basic 2010 на базе интегрированной среды разработки Visual Studio Express 2013 под управлением Windows. Приводится иллюстративный и численный пример синтеза траектории прямолинейного движения особой точки в случае равномерного вращения опорного звена.

Ключевые слова: программное движение, траектория, биомеханическая система, моделирование, двигательные действия.

Постановка проблемы и её связь с важнейшими научными заданиями. Педагогический анализ техники спортивных упражнений основывается, в большей степени, на материалах биомеханических исследований. И, так как основными методами исследований в биомеханике являются метод анализа и метод синтеза [2, 4, 5], то наибольший удельный вес из материалов биомеханических исследований по технике спортивных упражнений имеют материалы оптической регистрации движений. Полученные данные оптической регистрации движений в дальнейшем подвергаются биомеханическому анализу.

Если нет возможности реального воспроизведения заданных форм движений, то для получения необходимой информации остается единственный путь: использовать метод компьютерного синтеза движений с требуемыми свойствами. Спортивные упражнения, в которых движение определенных сегментов или точек тела совершается по прямой линии, встречаются достаточно часто, особенно в спортивных единоборствах (ударные движения, движения для реализации захвата противника, атакующие и блокирующие действия и т.д.). Спортсмену, воспроизвести реальное движение без отклонения от прямой линии, в учебно-тренировочном процессе затруднительно. Поэтому, в данном случае только компьютерный синтез движений, с минимальным отклонением исследуемой (особой) точки от прямолинейной траектории, позволит решить проблему конструирования движений с заданными свойствами. В рамках государственной программы Республики Беларусь «Конвергенция 2020» (3.5.04) подпрограммы «Разработка программно-аппаратных диагностических комплексов и реабилитационных тренажеров, адаптируемых к специализации и квалификации трудовой и спортивной деятельности» (№ госрегистрации 20161439), мы предприняли попытку реализовать компьютерный синтез двигательных действий человека в биомеханических исследованиях.

Анализ последних исследований и публикаций показывает, что существующие в настоящее время методы компьютерного моделирования двигательных действий человека базируются на двух группах моделей [3] отражающих различные способы задания программного управления биомеханическими системами: кинематический и динамический уровни формирования программного управления. Формирование программного управления на кинематическом уровне задания управляющих функций обеспечивается законом изменения суставных углов на всей траектории биосистемы. Формирование программного управления на динамическом уровне реализует закон изменения управляющих моментов мышечных сил на всей траектории биомеханической системы. Различный способ задания программного управления в конечном итоге формирует и различную структуру математических моделей движения биомеханических систем и не однотипные методы их решения [3].

В работе [3] развивается метод моделирования движением объектов, основанный на приведении биомеханической системы в заданное кинематическое состояние в граничных точках фазовой структуры упражнения. В принципе, используемый в работе [3] технологический подход моделирования, позволяет решить задачу компьютерного синтеза движения с прохождением особой точки по траектории прямой линии. Однако предварительно необходимо сконструировать кинематическую программу во вращательном движении кинематической пары с перемещением особой точки по прямой линии.

В исследованиях Н. С. Ащепковой [1] предложен метод кинематического анализа кривошипно-шатунного механизма, с разбиением процедуры решения задачи на простые вычислительные процедуры. Метод может быть модифицирован для корректной реализации задачи перемещения особой точки по заданной прямой линии в горизонтальной плоскости.

Цель исследования – разработать компьютерную технологию синтеза движения, особой точки дистального звена биомеханической системы, по прямолинейной траектории в горизонтальной плоскости.

Задачи работы

1. Построить математическую модель двигательного действия кинематической пары с заданными параметрами целевой точки.
2. Разработать компьютерную программу, реализующую движение особой точки дистального звена биомеханической системы по прямолинейной траектории.
3. Выполнить вычислительные эксперименты моделирования движения особой точки кинематической пары по прямолинейной траектории.

Результаты исследования

1. Кинематическая схема моделируемой кинематической пары биомеханической системы включала опорное (проксимальное) звено, длиной L_1 , биомеханической системы (рис. 1), место контакта которого с опорой расположено в начале декартовой системы координат (ДСК) и дистальное звено, длиной L_2 , с особой точкой С.

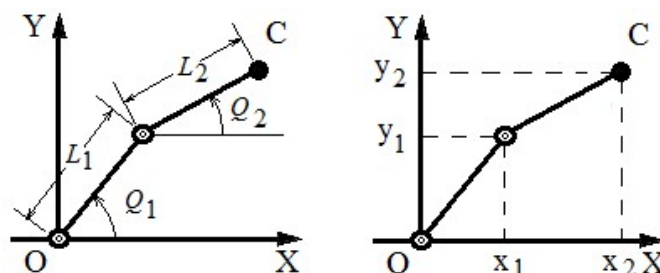


Рис. 1. Кинематическая схема двухзвенной биомеханической модели

Физическая связь звеньев модели осуществляется цилиндрическим шарниром (сустав) с координатами X_1, Y_1 . Координаты особой точки X_2, Y_2 . Угол наклона первого звена (Q_1) к оси Ox – обобщенная координата проксимального звена. Угол наклона второго звена (Q_2) к оси Ox – обобщенная координата дистального звена.

2. Математическая модель траекторного перемещения особой точки биомеханической системы по прямой линии в горизонтальной плоскости. По условию движения (прямолинейная траектория) особая точка С дистального звена биомеханической системы в любой момент времени должна располагаться на числовой оси Ox ДСК (рис. 2). Следовательно координаты точки С в ее траекторном перемещении по оси Ox будут представлены в виде $C(X_2, 0)$.

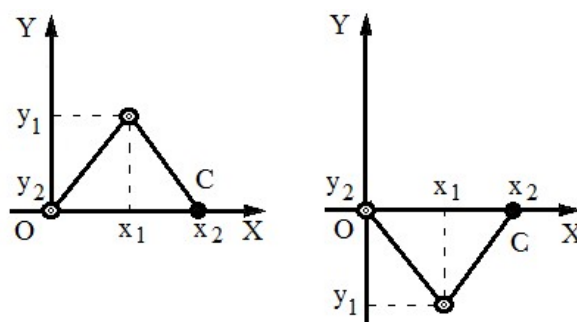


Рис. 2. Возможные положения особой точки в прямолинейном перемещении по горизонтальной плоскости

Шарнир соединения первого и второго звена модели (локтевой сустав) может быть расположен выше или ниже оси абсцисс ДСК (рис. 2), а его координаты записываются формульными выражениями

$$X_1 = L_1 \cos Q_1, \quad Y_1 = L_1 \sin Q_1. \quad (1)$$

Соответственно координаты особой точки можно записать в виде

$$X_2 = X_1 + L_2 \cos Q_2, \quad Y_2 = Y_1 + L_2 \sin Q_2. \quad (2)$$

Результат не изменится, если представить координаты особой точки по осям Ox , Oy в виде

$$X_2 = X_1 + \sqrt{(L_2)^2 - (Y_1)^2} = L_1 \cos Q_1 + \sqrt{(L_2)^2 - (L_1 \sin Q_1)^2}. \quad (3)$$

$$Y_2 = Y_1 + \sqrt{(L_2)^2 - (X_2)^2} = L_1 \sin Q_1 + \sqrt{(L_2)^2 - (X_2)^2}. \quad (4)$$

В компьютерной реализации уравнений координат модели (3),(4) следует учесть, что программное перемещение особой точки происходит при константном значении координаты Y_2 равном нулю. Следует также отметить, что прямолинейное перемещение особой точки по оси Ox будет максимальным, если длина первого звена равна расстоянию от шарнира до особой точки: $L_1 = L_2$. Если длина проксимального звена меньше, чем расстояние от шарнира до особой точки, то программное перемещение будет также реализовано, но с меньшей амплитудой. В случае же, если длина первого звена будет больше, чем расстояние от шарнира до особой точки, то происходит разрыв траектории особой точки – сход с программной траектории. На определенных значениях углового перемещения первого звена особая точка не сможет оставаться (в силу физической связи) на программной траектории и координата особой точки по оси Oy не сможет быть равной нулю.

3. Синтезированная траектория моделируемой кинематической пары биомеханической системы в перемещении особой точки по прямой линии в горизонтальной плоскости. Закономерность вращательного движения опорного звена была представлена зависимостью равномерного вращения (рис. 3).

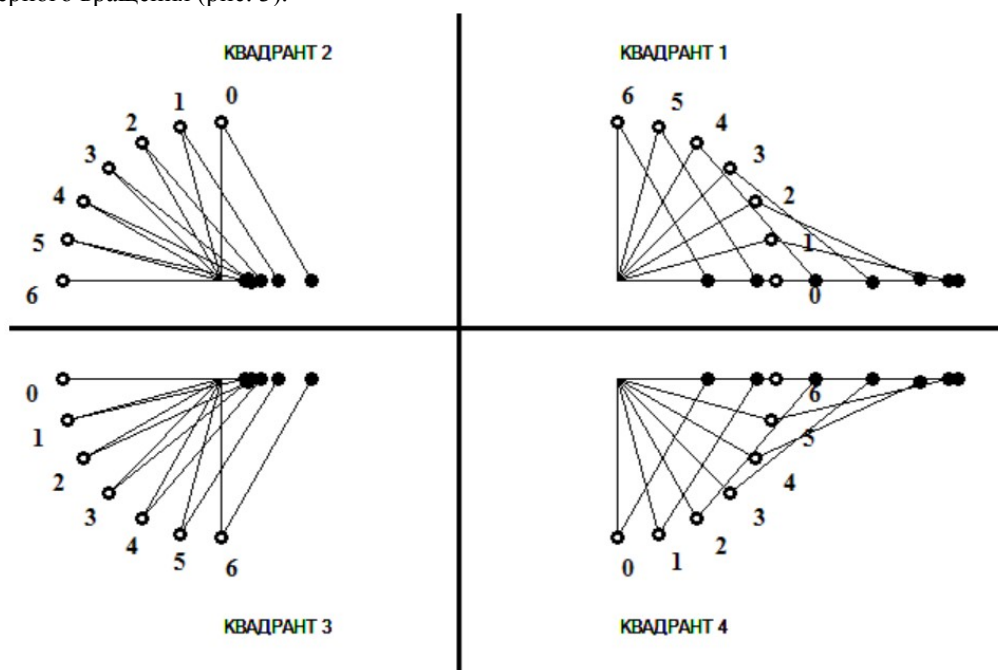


Рис. 3. Компьютерная визуализация траектории шарнира (○) биомеханической системы и особой точки (—■—) в ее прямолинейном перемещении по оси Ox ДСК

Скорость вращательного движения можно регулировать, задавая частоту выдачи кадров визуализации движения на экран монитора. В рассматриваемом случае кинетограмма положения звеньев модели выводилась на экран монитора (рис. 3) через каждые 15° угла поворота первого звена.

В исходном положении звенья модели располагались на прямой линии вдоль числовой оси Ox ДСК (рис. 3, кадр 0, квадрант 1). Конечное положение модели в каждом квадранте движения имело 6-й

номер кадра зображення. Діапазон угла поворота першого звена складав для першого квадранта від 0° до 90° , для другого квадранта відповідно від 90° до 180° , для третього квадранта – від 180° до 270° і для четвертого квадранта діапазон зміни угла поворота першого звена складав: $270^\circ - 360^\circ$.

Висновки та перспективи подальших розробок. Висновки експериментів підтвердили коректність функціонування розробленої комп'ютерної програми, що вирішує задачу синтезу прямолинійного руху (розглядається рух окремої точки дистального звена біомеханічної системи в горизонтальній площині).

Подальші напрямки дослідження розглядаються в створенні алгоритмів, що забезпечують висновки процедури розрахунку лінійної швидкості та прискорення окремої точки, що дозволить використовувати отримані дані для розрахунку таких біомеханічних характеристик руху, як кількість руху, кінетичний момент і т.п.

Окремий інтерес представляє також подальша розробка методу в додатку до вертикального переміщення окремої точки, а в кінцевому підсумку і до переміщення в довільному напрямку по прямій лінії.

Використані джерела

1. Ащепкова Н. С. Моделювання і кінематичний аналіз кривошипно-шатунного механізму / Н. С. Ащепкова. – Дніпропетровськ: ДНУ ім. О. Гончара, Вісник НТУ «ХПІ», 2014, №62 (1104). – С. 4–11.
2. Донської Д. Д. Біомеханіка: Уч-ник для ін-тов фіз. культ. / Д. Д. Донської, В. М. Заціорський. – М.: Фізкультура і спорт, 1979. – 264 с.
3. Загrevський В. І. Формалізм Лагранжа і Гамільтона в моделюванні рухів біомеханічних систем / В. І. Загrevський, О. І. Загrevський, Д. А. Лавшук. – Могилев: МГУ імені А. А. Кулешова, 2018. – 296 с.
4. Сучилин Н. Г. Педагогіко-біомеханічний аналіз техніки спортивних рухів на основі програмно-апаратного відеокomплексу / Н. Г. Сучилин, Л. Я. Аркаєв, В. С. Савельєв // Теор. і практ. фіз. культ. – 1996. – № 4. – С. 12–20.
5. Luby'sheva L. I., Zagrevskaya A. I. Kinesiological approach as methodology of modern sports science and practice // *Teoriya i Praktika Fizicheskoy Kultury*. 2015. № 12. P. 3–5.

Zagrevskiy V., Ivanchikov N., Melnikov A.

SYNTHESIS OF RECTILINEAR MOTION OF A SINGULAR POINT OF THE DISTAL LINK OF THE BIOMECHANICAL SYSTEM IN HORIZONTAL PLANE

The article deals with the mathematical apparatus of the synthesis of the trajectory of a special point that makes a rectilinear movement in the horizontal plane with a given program movement of the reference link of the biomechanical system. Any of the segment points of the human body located on the longitudinal axis of the distal link in the kinematic chain in the motor actions of the athlete can be taken as a particular point (the joint, the center of mass of the segment, hand, foot). The reference (proximal) link performs a rotational motion, in the initial formulation of the motor challenge. It is necessary to build a change in the articular angle in the kinematic pair, so that the special point moves in a straight line, realizing the trajectory of rectilinear motion. In purposeful movements of the person to movements of this kind, particularly in combat sports are varieties of percussion, the implementation of the capture of the opponent, attacking and blocking actions, etc. The program trajectory of the distal link is a function of the movement of the support link and can be implemented in the mathematical model of motor action.

The peculiarity of the solution of this problem is that the inverse kinematic mission of biomechanics can be technologically realized not by determining the generalized coordinates of the object of motion, but by calculating the generalized coordinates of the reference link and by the functional relationship between the kinematic state of the proximal link and by the coordinating the target point of the distal link in the process of movement. This approach allows calculating directly the coordinates of the singular point on the known generalized coordinates of the reference link of the biomechanical system bypassing the procedure for solving the inverse problem of motion kinematics.

The mathematical apparatus that synthesizes the program of rectilinear motion of a singular point in a kinematic pair is implemented in the language environment Visual Basic 2010 that is based on the integrated development environment Visual Studio Express 2013 running by Windows. There are illustrated and numerical examples of the synthesis of the trajectory of a rectilinear motion of a singular point in the case of a uniform rotation of the reference link is given.

Key words: software movement, the trajectory of the biomechanical system modeling, physical action.

Стаття надійшла до редакції 14.09.2018 р.