

Моделирование техники тройного прыжка с использованием технологии нейронечетких сетей*

Илья Кривецкий, Григорий Попов, Александр Оганджанов

АННОТАЦИЯ

Цель. Обосновать целесообразность использования технологии нейронечетких сетей для моделирования техники тройного прыжка.

Методы. Видеоциклография, фотодиодный хронометраж, программа Dartfish.

Результаты. На основе каскадной нейронечеткой сети предложен способ моделирования индивидуальной техники тройного прыжка. Разработанная интерактивная система прогнозирования успешности спортивных движений позволяет создавать интерактивные модели для прыгунов высокого класса. С ее помощью можно как прогнозировать, так и моделировать условия, позволяющие показать высокий результат.

Ключевые слова: тройной прыжок, моделирование, нейронечеткая сеть.

ABSTRACT

Objective. To substantiate expediency of using technology of neuro-fuzzy nets for triple jump technique modelling.

Methods. Videocyclography, photodiode chronometry, Dartfish program.

Results. On the basis of cascade neuro-fuzzy net, the way of modelling individual technique of triple jumping has been suggested. Developed interactive system for predicting successful sports motions permits to develop interactive models for top level athletes. It may allow both to predict and to model conditions contributing to high performance.

Keywords: triple jump, modelling, neuro-fuzzy net.

Постановка проблемы. Тройной прыжок является одним из видов легкой атлетики, где помимо высокой физической подготовленности спортсмен должен обладать совершенной техникой движений. Несмотря на то что данный вид включает три разных составляющих после отталкивания – «скачок», «шаг» и «прыжок», – его следует рассматривать как целостное упражнение, успешность которого зависит от ряда биомеханических характеристик, правильное сочетание которых формирует оптимальную технику движений и обеспечивает высокий результат.

В настоящее время спортсмены показывают очень высокие результаты в тройном прыжке. Однако далекие прыжки повторяются не так часто, даже в рамках одного и того же соревнования, что говорит о нестабильности техники движений.

Решением этой проблемы может послужить внедрение в процесс технической подготовки прыгунов современных технологий компьютерного моделирования, а именно использование возможностей нейронечеткой сети для имитации индивидуальной техники движений высококвалифицированных спортсменов [4]. С недавнего времени их стали использовать для целей моделирования в разных видах спорта, в том числе в плавании [10], в легкоатлетических дисциплинах: метании копья [7], толкании ядра [8], а также для решения общих задач описания движений [6, 9].

Ранее нами были разработаны система прогнозирования успешности движений [1] и индивидуальные интерактивные модели для прыгунов в высоту высокого класса [2, 3, 5]. Применение их в тренировочном процессе привело к росту результата и повышению стабильности успешных попыток на соревнованиях.

Цель исследования – создание индивидуальной модели прыгуна тройным на основе каскадной нейронечеткой сети для прогнозирования успешности прыжка.

Методы исследования. В исследовании принял участие спортсмен – мастер спорта

международного класса по тройному прыжку. Основной инструментальной методикой сбора информации являлась видеоциклография, с помощью которой регистрировали кинематические характеристики движений прыгуна при выполнении тройного прыжка с разбега.

Видеосъемку проводили двумя специальными видеокамерами с частотой съемки 50 кадров в секунду в дневное время в условиях летнего соревновательного сезона при достаточной освещенности. Видеокамеры фиксировали на штативе на расстоянии 20 м от сектора напротив места наибольшей вероятности второго отталкивания на высоте 1 м над уровнем дорожки; вторая видеокамера располагалась в 2 м от бруска для отталкивания в сторону разбега.

Для измерения линейных характеристик прыжка использовали специальные метки (пластырь шириной 3 см и длиной 10 см), которые располагали с двух сторон на границе сектора на расстоянии 25 см друг от друга на следующем расстоянии от планки для отталкивания: 5,50–5,75–6,00–6,25–6,50 м – для «скачка» (место второго отталкивания) и 10,50–10,75–11,00–11,25–11,50 м – для «шага» (место третьего отталкивания). При этом линия, условно соединяющая две парные метки, была строго перпендикулярна линии, ограничивающей прыжковый сектор. Длину фаз тройного прыжка и трех последних шагов разбега фиксировали согласно общепринятой методике: первое, второе и третье отталкивания – по носку спортсмена, в яме – по ближней к планке точке касания спортсменом песка.

Для регистрации временных отрезков разбега на последних и предпоследних пяти метрах перед отталкиванием использовали фотодиодный хронометраж. Датчики были установлены на 1-м, 6-м и 11-м метрах от планки для отталкивания в сторону разбега.

Всего было зарегистрировано 50 прыжков. Обработку и расчет материала проводили в каждой попытке с использованием программы видеонализа Dartfish (Швейцария) по 22 кинематическим характеристикам (табл. 1).

Моделирование техники тройного прыжка на основе каскадной нейронечеткой сети

* Перепечатано из: Вестник спортивной науки. – 2014. – № 1. – С. 6–9.

ТАБЛИЦА 1 – Кинематические характеристики тройного прыжка

№ п/п	Характеристика	Условное обозначение
1	Результат тройного прыжка, м	R
2	Скорость на предпоследних 5 м перед отталкиванием, м/с	V_{6-11}
3	Скорость на последних 5 м перед отталкиванием, м/с	V_{1-6}
4	Набегание ($V_1 - V_{6-11}$), м/с	N
5	Время опоры 1-го отталкивания, с	t_{on1}
6	Время опоры 2-го отталкивания – «скачка», с	t_{on2}
7	Время опоры 3-го отталкивания – «шага», с	t_{on3}
8	Общее время опоры, с	T_{op}
9	Время полета «скачка», с	t_{n1}
10	Время полета «шага», с	t_{n2}
11	Время полета «прыжка», с	t_{n3}
12	Общее время полета, с	T_n
13	Общее время тройного прыжка, с	T_{TP}
14	Длина «скачка», м	L_1
15	Длина «шага», м	L_2
16	Длина «прыжка», м	L_3
17	Длина «скачка» + «шага» – «связка», м	$L_1 + L_2$
18	Длина «шага» + «прыжка», м	$L_2 + L_3$
19	Скорость во время «скачка», м/с	V_1
20	Скорость во время «шага», м/с	V_2
21	Скорость во время «прыжка», м/с	V_3
22	Средняя скорость всего прыжка после отталкивания, м/с	V_{cp}

четкой сети. Модель индивидуальной техники тройного прыжка строили аналогично описанным нами ранее этапам [4]. Успешность в данном исследовании определялась результатом 16,65 м. Все прыжки были разделены на две выборки:

1) успешные – спортсмен перепрыгнул рубеж 16,65 м (1);

2) неуспешные – спортсмен не перепрыгнул рубеж 16,65 м (–1).

Затем данные заносили в интерактивную систему [4], которая имеет модульную структуру (рис. 1) и представляет собой компьютерную программу, реализованную в среде Matlab. Априорно определенные данные отправляли в модуль статистического исследования из базы данных. С его помощью, используя критерий Стьюдента, было проведено сравнение биомеханических характеристик и отобраны наиболее достоверно различающиеся. Выбранные признаки переправляли в модуль построения моделей, где строили индивидуальную интерактивную модель техники прыгуна. Она состоит из двух блоков: нормировки значимых признаков и принятия решения [4]. Блок предобработки обеспечивает принадлежность преобразо-

ванных данных единому диапазону (–1, 1) с равномерным распределением, а блок принятия решения с помощью каскадной нейронечеткой сети аппроксимирует имеющиеся в данных закономерности и выводит ответ в диапазоне от –1 до 1. Если ответ больше нуля, то спортсмен перепрыгнет рубеж 16,65 м; если меньше нуля, то не перепрыгнет.

Результаты исследования и их обсуждение. В результате статистического сравнения кинематических характеристик тройного прыжка в успешных и неуспешных попытках были выбраны шесть наиболее достоверно различавшихся параметров. У спортсмена, принимавшего участие в исследовании, это оказались: «связка» ($L_1 + L_2$), длина «шага» (L_2), время полета «шага» (t_{n2}), общее время тройного прыжка (T_{TP}), ско-

рость на последних 5 м перед отталкиванием (V_{1-6}), набегание (N). Таким образом, мы определили значимые признаки спортивной техники, влияющие на результат конкретного прыгуна.

Используя выбранные признаки, была построена модель на основе каскадной нейронечеткой сети. Входными данными служили результат тройного прыжка и шесть кинематических характеристик. Они позволили провести обучение (настройку) модели каскадной нейронечеткой сети. Прогнозируя в модели обеспечение какого-либо спортивного результата, мы тем самым прогнозировали сочетание определенных показателей. Задаваемое изменение любого из них должно сочетаться с изменением целого ряда показателей, что и осуществляет модель.

Работу интерактивной системы оценивали по выходу блока нейронечеткого вывода. Спортсмен прыгнет на заданный результат, если выход системы меньше 0, иначе не допрыгнет до заданного рубежа. Ошибка работы системы для обучающих данных составила 0 %, для проверочных – 8 %.

Важной особенностью в работе с моделями, построенными на основе нейронечетких сетей, является то, что при обеспечении соответствия реальных показателей техники прыжка модельным существует возможность варьировать значения модельных характеристик, т. е. структура предлагаемой компьютерной программы такова, что желаемого результата можно добиться путем различного сочетания модельных характеристик. И в этом основа творческого сочетания теоретических оценок ученого, практического подхода тренера и реализационных возможностей спортсмена, собственные ощущения которого позволяют при опоре на предлагаемые модельные оценки и вытекающие из них конкретные двигательные установки надежнее добиваться роста спортивной результативности.

Разработанная модель может в дальнейшем совершенствоваться путем введения в нее новых примеров. Значения

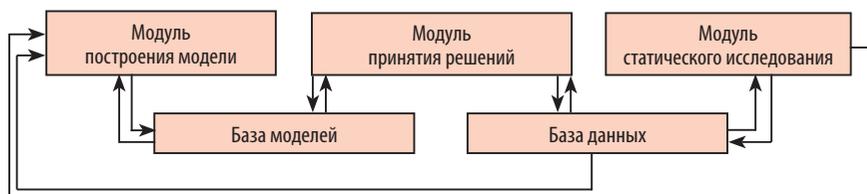


РИСУНОК 1 – Интерактивная система прогнозирования успешности спортивных движений

характеристик новых прыжков добавляются в базу модели, и сеть переобучается, накапливая «опыт», что приводит к увеличению точности ее работы и большего числа вариантов предлагаемых решений. Поскольку создана индивидуальная модель для конкретного спортсмена, накопление данных поможет выявить как бы «реперные» кластеры индивидуальной техники прыжка. Это будет указанием к тому, где особенно важно в ходе тренировочного процесса усиливать внутренние механизмы выполнения двигательного действия прыгуна.

Естественно, что задаваемый рубеж тройного прыжка может принимать различные значения. По мере совершенствования в упражнении он будет увеличиваться. И здесь просматривается очень интересная в модель-

ном отношении задача: как должны трансформироваться элементы техники тройного прыжка по мере роста спортивной результативности. Насколько сохраняются кластеры индивидуальности элементов техники прыжка? Не происходит ли перераспределение акцентов в проявлении технических показателей хотя бы за счет необходимого с ростом результатов прироста физических возможностей спортсмена? На все это можно ответить в рамках развитой модели нейронечеткой сети.

Заключение. Использование средств искусственного интеллекта, таких, как нейронечеткая сеть, в моделировании спортивных движений, является современным и перспективным методом.

Предложенная нами интерактивная система прогнозирования успешности спор-

тивных движений позволяет создавать индивидуальные модели для прыгунов тройным высокого класса. С ее помощью можно не только прогнозировать, но и моделировать условия, при которых спортсмен покажет успешный прыжок. У тренера появляется инструмент, позволяющий оказать поддержку в принятии решений по коррекции техники тройного прыжка.

С помощью данного инструмента, учитывающего индивидуальные биомеханические особенности прыжкового стиля спортсмена, можно детально анализировать фазы прыжка, совершенствовать технику за счет достижения оптимальной комбинации кинематических параметров, которая обеспечивает достижение наивысшего результата.

■ Литература

1. Кривецкий И. Ю. Моделирование успешности спортивных движений в прыжках в высоту с разбега / И. Ю. Кривецкий, Г. И. Попов, Н. С. Безруков // Информатика и системы управления. — 2011. — № 2 (28). — С. 126–132.
2. Кривецкий И. Ю. Создание индивидуальной модели техники прыжка в высоту на основе каскадной нейронечеткой сети с целью оптимизации тренировочного процесса / И. Ю. Кривецкий, Г. И. Попов, Н. С. Безруков // Рос. журн. биомеханики. — 2011. — Т. 15, № 3 (53). — С. 71–78.
3. Кривецкий И. Ю. Методика оптимизации тренировочного процесса прыгунов в высоту с использованием интерактивной системы прогнозирования успешности прыжка / И. Ю. Кривецкий, Г. И. Попов // Вестн. спорт. науки. — 2011. — № 6. — С. 3–7.
4. Кривецкий И. Ю. Возможности применения технологии нейронечетких сетей в некоторых видах спорта / И. Ю. Кривецкий, Г. И. Попов // Информатика и системы управления. — 2013. — № 4 (38). — С. 80–87.
5. Krivetskiy I. Yu. Innovative modeling method in technical training of high jumpers / I. Yu. Krivetskiy, G. I. Popov // Polish J. of sport and tourism. — 2012. — Vol. 19, N 4. — P. 253–255.
6. Kurz M. J. An artificial neural network that utilizes hip joint actuations to control bifurcations and chaos in a passive dynamic bipedal walking model / M. J. Kurz, N. Stergiou // Biological Cybernetics. — 2005. — Vol. 93, N 3. — P. 213–221.
7. Maier K. D. Neural network based models of javelin flight: prediction of flight distances and optimal release parameters / K. D. Maier, V. Wank, K. Bartonietz, R. Blickhan // Sports Engineering. — 2000. — Vol. 3, N 1. — P. 57–63.
8. Maier K.D. Neural network modelling in sport biomechanics based on the example of shot-put flight / K. D. Maier, P. Maier, H. Wagner, R. Blickhan // XVIII International Symposium on Biomechanics in Sports, June 25–30, Hong Kong. Proceedings. — 2000. — P. 26–29.
9. Perl J. A neural network approach to movement pattern analysis / J. Perl // Human Movement Sci. — 2004. — Vol. 23. — P. 605–620.
10. The use of neural network technology to model swimming performance / A. J. Silva, A. M. Costa, P. M. Oliveira [et al.] // J. of Sports Sci. and Med. — 2007. — Vol. 6. — P. 117–125.

Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма, Москва, Россия

■ References

1. Krivetskiy I. Yu. Modelling the success of motions in high jumps / I. Yu. Krivetskiy, G. I. Popov, N. S. Bezrukov // Informatics and Control Systems. — 2011. — N 2 (28). — P. 126–132.
2. Krivetskiy I. Yu. Creating individual model of high jump technique based on cascaded fuzzy neural network in order to optimize the training process / I. Yu. Krivetskiy, G. I. Popov, N. S. Bezrukov // Russian J. of Biomechanics. — 2011. — Vol. 15, N 3 (53). — P. 73–78.
3. Krivetskiy I. Yu. Optimization the training process of jumpers using an interactive prediction system of success jump / I. Yu. Krivetskiy, G. I. Popov // Vestnik sportivnojnauki. — 2011. — N 6. — P. 3–7.
4. Krivetskiy I. Yu. The possibility of using the technology of fuzzy neural networks in some sports / I. Yu. Krivetskiy, G. I. Popov // Informatics and Control Systems. — 2013. — N 4 (38). — P. 80–87.
5. Krivetskiy I. Yu. Innovative modeling method in technical training of high jumpers / I. Yu. Krivetskiy, G. I. Popov // Polish J. of sport and tourism. — 2012. — Vol. 19, N 4. — P. 253–255.
6. Kurz M. J., Stergiou N. An artificial neural network that utilizes hip joint actuations to control bifurcations and chaos in a passive dynamic bipedal walking model / M. J. Kurz, N. Stergiou // Biological Cybernetics. — 2005. — Vol. 93, N 3. — P. 213–221.
7. Maier K.D. Neural network based models of javelin flight: prediction of flight distances and optimal release parameter / K. D. Maier, V. Wank, K. Bartonietz, R. Blickhan // Sports Engineering. — 2000. — Vol. 3, N 1. — P. 57–63.
8. Maier K.D. Neural network modelling in sport biomechanics based on the example of shot-put flight / K. D. Maier, P. Maier, H. Wagner, R. Blickhan // XVIII International Symposium on Biomechanics in Sports, June 25–30, Hong Kong. Proceedings. — 2000. — P. 26–29.
9. Perl J. A neural network approach to movement pattern analysis / J. Perl // Human Movement Science. — 2004. — Vol. 23. — P. 605–620.
10. The use of neural network technology to model swimming performance / A. J. Silva, A. M. Costa, P.M. Oliveira [et al.] // J. of Sports Sci. and Med. — 2007. — Vol. 6. — P. 117–125.