

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРЕНАЖЕРА НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СРЕДСТВАМИ ИМИТАЦИИ

А. А. Сиухин, С. В. Карпушкин

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»,
Mr.Siuhin@yandex.ru; ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия*

Ключевые слова: машинное зрение; прогнозирование; система адаптивного управления; тренажерный комплекс.

Аннотация: Предложена схема тренажера с наблюдателями и показана его информационная модель. Поставлена задача структурно-параметрического синтеза системы управления тренажером. Представлен фильтр поиска уникальных состояний пользователя. Дано описание принципа поиска и формирования стратегии динамики пользователя. Представлен анализ результатов исследования и область их применения.

Введение

Высокие требования точности и скорости современных технологических систем требуют использования специализированного программного обеспечения, способного поддерживать высокую скорость реакции и точность выполнения поставленных задач в течение всего периода функционирования систем адаптивного управления (САУ), которые способны в режиме реального времени осуществлять:

- сбор и анализ показаний о состоянии объекта управления;
- управление подконтрольным объектом согласно заранее сформированной стратегии управления;
- адаптацию управляющего воздействия к действиям внешних сил.

Системы адаптивного управления реализуют алгоритмы, предназначенные для достижения заданных целей согласно моделям управления. Объектом управления могут быть как технические объекты, так и люди [1, 2].

Системы адаптивного управления активно применяются для адаптации систем к действиям человека-пользователя. Одним из направлений развития подобных САУ является применение в средствах имитации нагрузок беговых тренажеров, в которых скорость бегового полотна должна адаптироваться к скорости тренируемого в режиме реального времени. Отличительными особенностями САУ беговых тренажеров являются:

- различные методы получения данных о динамике пользователя. Многие системы ограничивают подвижность пользователей при сборе данных, используя проводные датчики контроля или специальные костюмы;
- отсутствие предварительной информации о динамике пользователя. Динамика разных пользователей часто не одинакова даже при выполнении одних и тех же действий, что препятствует ее формализации;

– использование динамики пользователя в качестве управляющего воздействия на беговое полотно. Управляющее воздействие определяется на основе анализа движений пользователя, которые в свою очередь являются реакцией на действия тренажера;

– непосредственное влияние изменений скорости бегового полотна на состояние пользователя. Скорость бегового полотна адаптируется к динамике пользователя, а сам пользователь одновременно приспосабливается к изменению скорости бегового полотна. При адаптации пользователя динамика его движения изменяется, на что также реагирует САУ;

– запаздывание реакции пользователя на изменение скорости бегового полотна. Тренажер – инерционная система, поэтому изменение скорости бегового полотна не может быть реализовано моментально.

Запаздывание – время, затрачиваемое САУ тренажера (САУт) на сбор и анализ данных пользователя, расчет управляющего воздействия и приведение скорости бегового полотна тренажера в соответствие реальной динамике пользователя. Минимальное запаздывание существующих беговых тренажеров, напрямую адаптирующих скорость бегового полотна к скорости пользователя, составляет 0,5 с. Они реагируют на минимальные изменения положения пользователя, их САУ не учитывают инерцию (существует эффект маятника в процессе приведения скорости движения полотна тренажера в соответствие скорости пользователя). В тренажерах, адаптирующих скорость бегового полотна к скорости пользователя с учетом инерции, запаздывание вдвое больше. Данные тренажеры плавно реагируют на изменения положения пользователя, САУ учитывает его инерцию (нет эффекта маятника), плавность изменения скорости бегового полотна препятствует своевременной остановке [3 – 7].

Принцип функционирования САУ тренажера

В качестве метода получения данных о динамике пользователя в САУт используется два подхода: установка датчиков на теле пользователя и установка датчиков контроля (наблюдателей) на тренажере. В первом случае на пользователя надевается специальный костюм или датчики положения. Использование проводного оборудования ограничивает свободу перемещения пользователя, а аккумуляторного – продолжительность тренировки [8]. Во втором случае, наблюдатели монтируются на тренажер и не ограничивают свободу движения пользователя.

Наибольшее распространение получили наблюдатели двух типов: на основе ультразвуковых датчиков и видео- фотокамер.

Ультразвуковые датчики позволяют контролировать положение тренируемого путем поиска отраженной от него звуковой волны, поэтому имеют недостатки: материал одежды пользователя должен хорошо отражать звуковые волны; ультразвуковой датчик не должен получать волны от других датчиков; датчики восприимчивы к электромагнитному полю, отражающая поверхность должна находиться в области чувствительности датчика (обычно 0,3...1,5 м) [9, 10].

Более перспективным является использование в качестве наблюдателей видео-фотокамер. Камеры получают изображение пользователя с различных сторон и не восприимчивы к сторонним влияниям, не препятствуют свободе движения пользователя, поле зрения камер значительно шире, чем области чувствительности ультразвуковых датчиков (обычно 0,1...3 м) [5, 11].

На рисунке 1 представлена схема тренажера с двумя наблюдателями, такое расположение позволяет контролировать динамику пользователя по всей плоскости бегового полотна. На основе этого рисунка составлена схема информационных потоков САУ системы имитации нагрузок бегового тренажера (рис. 2).

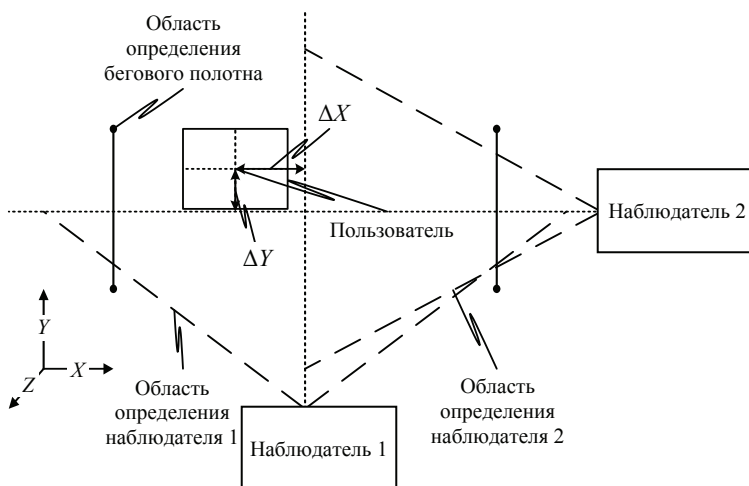


Рис. 1. Схема бегового тренажера с двумя наблюдателями

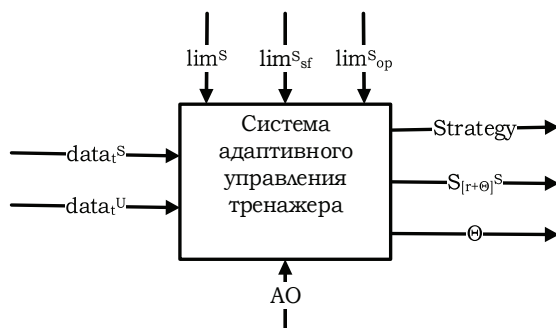


Рис. 2. Схема информационных потоков системы адаптивного управления системы имитации нагрузок

На основе рис. 2 сформировано математическое описание САУТ:

$$\begin{aligned}
 ACS^s &= \{data_t, Limits\} \rightarrow Outputs_t \\
 data_t &= \{data_t^s, data_t^u\} \\
 Limits &= \{lim^s, lim_{sf}^s, lim_{op}^s\} \\
 Outputs_t &= \{Strategy, s_{[t+\Theta]}^s, \Theta\}
 \end{aligned} \quad , \quad (1)$$

где ACS^s – модель, позволяющая прогнозировать значения выходных параметров $Outputs_t$; t – временная метка; $data_t$ – множество возможных входных состояний САУТ; $data_t^u$ – данные о состоянии пользователя, в виде изображений, получаемых с наблюдателей; $data_t^s$ – данные о состоянии тренажера, в виде массива, получаемые от датчиков тренажера; $Limits$ – множество ограничений на свободу действий системы, неизменное в процессе тренировки, задаются для аппаратного обеспечения тренажера; lim^s – возможности тренажера; lim_{sf}^s – требования техни-

ки безопасности; lim_{op}^S – ограничения, заданные оператором; $Outputs_t$ – множество результатов работы САУт; $Strategy$ – библиотека стратегий – база данных, содержащая последовательность состояний пользователя (изменение его положения между кадрами, полученными от наблюдателя, в виде набора пикселей – контрольных точек пользователя) и соответствующих состояний тренажера (параметры аппаратного обеспечения, например, скорость бегового полотна, частота вращения вала двигателя и т.п.); $s_{[t+\Theta]}^S$ – стратегия, отражающая спрогнозированную динамику тренажера, согласно ей осуществляется управление тренажером; Θ – запаздывание тренажера.

Постановка задачи исследования

На основе перечисленных отличительных особенностей САУт, схемы ее информационных потоков (см. рис. 2) и математического описания (1) сформулирована задача исследования: сформировать конечную библиотеку стратегий взаимодействия организационно-технической системы «тренируемый – тренажер – оператор»

$$Strategy = \{s_{k1,T}, s_{k2,T}, \dots, s_{ki,T}\}, \quad (2)$$

обеспечивающую максимальную эффективность функционирования САУ с точки зрения объема используемых данных K_{Data} и их точности K_{Δ} :

$$K_{Data} = \frac{\Delta data_{ki,r}^u}{data_{ki,r}^u} 100 \%; \quad (3)$$

$$K_{\Delta} = \frac{\Delta data_{k,t}^u}{\Delta data_{k,t}^u * } 100 \%; \quad (4)$$

$$\Delta data_{k,t1}^u = data_{k,t-1}^u - data_{k,t}^u, \quad (5)$$

где $\Delta data_{k,t}^u *$, $\Delta data_{k,t}^u$ – k -е состояние пользователя в момент времени t соответственно до и после фильтрации.

Каждый элемент библиотеки $s_{ki,T} \in Strategy$ является стратегией поведения организационно-технической системы на определенном промежутке времени T . Каждая стратегия включает набор состояний пользователя $s_{ki,T}^u$ и тренажера $s_{ki,T}^S$, распределенных во времени, каждая стратегия состоит из состояний:

$$\begin{aligned} s_{ki,T} &= \{s_{ki,T}^u, s_{ki,T}^S\} \\ s_{k,T}^u &= \{\Delta data_{k1,t1}^u, \Delta data_{k2,t2}^u, \dots, \Delta data_{ki,ti}^u\} \\ s_{ki,T}^S &= \{\Delta data_{k1,t1}^S, \Delta data_{k2,t2}^S, \dots, \Delta data_{ki,ti}^S\} \end{aligned} \quad (6)$$

Библиотека стратегий $Strategy$ должна позволять модели ACS^S сократить период программно-аппаратного запаздывания Θ до требуемого значения путем приведения аппаратного обеспечения тренажера в состояние, определенное на основе стратегии. При этом библиотека $Strategy$ должна обеспечивать выполнение условий:

$$\left\{ \begin{array}{l} \forall \Delta data_{k,ti}^u \in s_{k,T}^u \\ T \geq \Theta \\ FPS \geq 10 \end{array} \right. , \quad (7)$$

где T – продолжительность реализации выбранной стратегии; FPS – количество кадров с наблюдателя в секунду.

Получение состояний пользователя

Наблюдатель передает в систему кадр разрешением 640×480 , каждый пиксель которого имеет 3 параметра, характеризующих цвет [B, G, R]. Полученные одновременно кадры объединяются (рис. 3, а).

Результирующее изображение имеет разрешение 1280×480 . Объем обрабатываемых данных

$$data_{k,t}^u = 1280 \cdot 480 \cdot 3 = 1843\,200 . \quad (8)$$

Полученное изображение из цветной палитры [B, G, R] переводится в менее объемную черно-белую (рис. 3, б).

За счет перехода к черно-белой палитре, цвет каждого пикселя характеризуется одним параметром. Объем обрабатываемых данных

$$data_{k,t}^{u*} = 1280 \cdot 480 = 614\,400 . \quad (9)$$

Согласно формуле (5), получим состояния пользователя, которые позволяют оценивать не общее количество пикселей, а отклонение координат текущего состояния от предыдущего. Это позволяет значительно снизить количество используемой при анализе информации.

В результате $\Delta data_{k,t}^u = 4\,256$ пикселей, то есть

$$K_{Data} = \frac{4256}{1843\,200} \cdot 100\% = 0,2309\% . \quad (10)$$

Использование отклонений координат для фиксирования состояний пользователя позволило уменьшить объем обрабатываемых данных до 0,2309% от входного $\Delta data_{k,t}^u$, при этом $FPS \approx 55$.

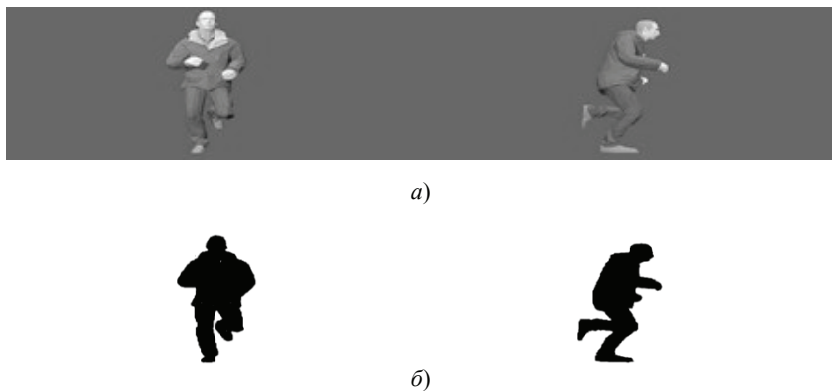


Рис. 3. Входные объединенный [B, G, R] (а) и черно-белый (б) кадры наблюдателя

Фильтрация состояний пользователя

В стратегии предпочтительно хранить ссылки (ключи), а не полные наборы данных о состояниях пользователя, что позволит представить стратегию в виде одномерного массива ключей. Значение каждой ссылки содержит все координаты пикселей состояний. В качестве ключа используется порядковый номер состояний.

На рисунке 4 показано количество уникальных состояний. Входных (Вх.) состояний получено 3600 (100 %), из них уникальных (Ун.) 3207 (89,08 %). Для уменьшения объема хранимых данных ключи присваиваются только уникальным параметрам динамики состояний пользователя. При анализе изображений необходимо учитывать дополнительные погрешности, которые возникают в аппаратной части, такие как распределение света на изображении, помехи, искажения линз, поэтому некоторые аналогичные состояния распознаются как различные. Следовательно, для формирования стратегии, динамика которой отличается от входной на $K_{\Delta} = 4,7\%$, достаточно присвоить ключи 144 состояниям или 4 % от объема входного кадра.

Заметим, что хранение и использование в стратегии некоторых из отобранных состояний, классифицированных как уникальные, не требуется, так как они или крайне редки, или ошибочно распознаны (являются погрешностями). На рисунке 5 представлен результат фильтрации: 144 входных (Вх.) состояний и их коррекция с применением 59 фильтрованных (Ф.) состояний: всем значениям Вх. состояний, которые меньше Ф., присваиваются крайние значения Ф. состояний. Промежуточные значения Вх. состояний остаются неизменными и формируют выходные (Вых.) состояния для стратегии.

Точность данных КД	Ун. состояния	Ун. состояния, %	Комментарии:
0	Нет	3600	100.00% Вх. состояния
1	0.000%	3207	89.08% Ун. состояния
2	0.235%	1766	49.06% Ун. состояния с разницей > 10
3	2.350%	283	7.86% Ун. состояния с разницей > 100
4	4.700%	144	4.00% Ун. состояния с разницей > 200

Рис. 4. Количество уникальных состояний

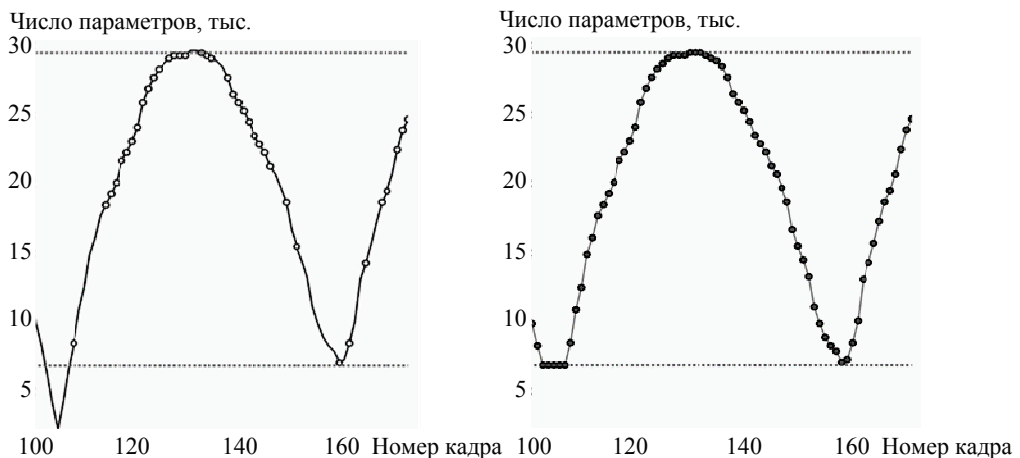


Рис. 5. Фильтрация уникальных состояний:

— Вх. [Вс.: 3600, Ун.: 144]; ○ — Ф. [Вс.: 2440, Ун.: 59]; ● — Вых. [Вс.: 3600, Ун.: 114]

В качестве фильтрованных состояний выбраны те, которые встречаются более 0,8 % раз на всем объеме. Пунктирные линии проведены через максимальное и минимальное значение Φ состояний.

Алгоритм поиска продолжительности стратегии. Алгоритм использует выходные состояния для поиска стратегии динамики пользователя $s_{ki,T}$: на всем объеме выходных состояний осуществляется поиск последовательностей, пересекающих пунктирные оси. Результат приведен на рис. 6.

На всем объеме данных (3600 состояний) найдено 26 последовательностей длиной 100 состояний. Переход из одного состояния в другое осуществляются в определенном порядке, что позволило создать траекторию, аналогичную цепи Маркова. Согласно алгоритму, стратегия имеет длину $s_{ki,T=100}$ (количество ключей) и вероятность реализации 76,47 %.

Алгоритм поиска стратегии динамики пользователя. Для поиска состояний, наиболее приближенных к реальным входным состояниям, нанесем все 26 на один участок и найдем среднее значение в каждый момент времени (рис. 7).

В результате, для формирования стратегии $s_{k,T=100}$ достаточно хранить 80 Ун. состояний $\{s_{k,T}^u, s_{k,T}^s\}$, из которых формируется стратегия длиной 100 кадров или $s_{ki,T=100} = 3,33$ с (при $FPS = 30$ кадров/с).

Анализ результатов исследования. Система адаптивного управления тренажера использует стратегию, если динамика последовательных 5 % входных состояний соответствует данным, хранящимся в стратегии, с точностью $K_{\Delta} = 4,7$ % (рис. 8). Стратегия определяется за 0,167 с (при $FPS = 30$ кадров/с – стандартная частота кадров наблюдателей, прогнозирует на $s_{ki,T=100} = 3,33 - 0,167 = 3,163$ с (или 95 кадров) вперед, что соответствует охвату 89,69 % полученных входных состояний.

	Кадров стратегии	Совпадений	Совпадений, %
0	100	26	76.470588
1	101	5	14.705882
2	99	2	5.882353
3	102	1	2.941176

Рис. 6. Результат алгоритма поиска длины стратегии

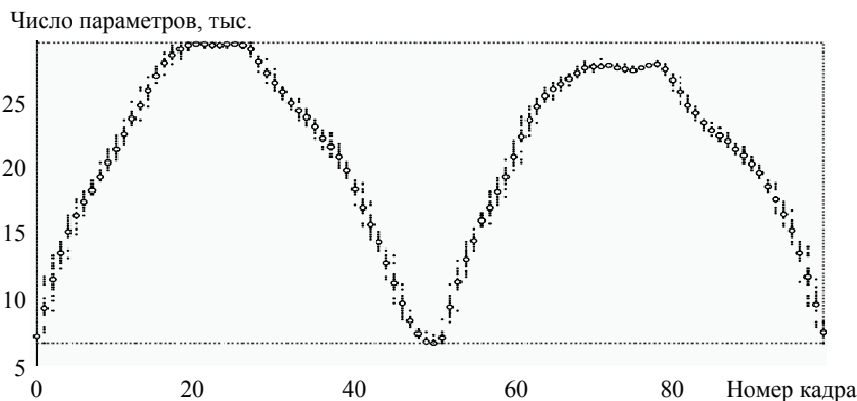


Рис. 7. Формирование стратегии:
 * – траектория № 1 – 26; ○ – стратегия

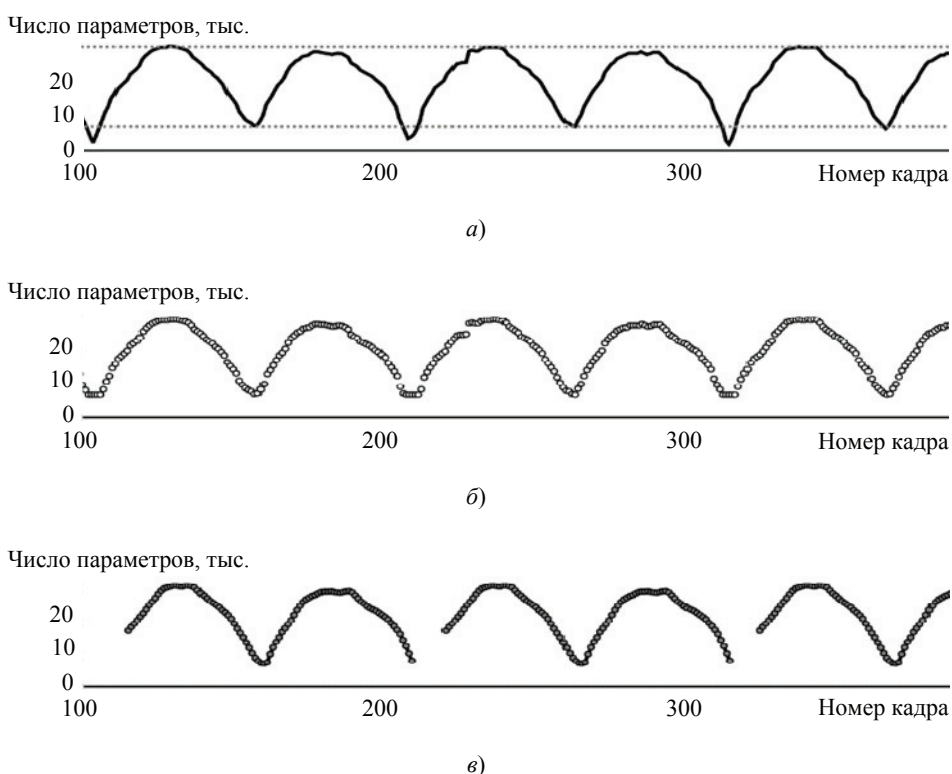


Рис. 8. Результат работы алгоритма поиска стратегии:
 а – входной; б – выходной; в – стратегия

Таким образом, представленный алгоритм можно использовать для компенсации запаздывания системы управления $\Theta \leq 3,163$ с. В качестве управляющего воздействия САУт модель ACS^s использует параметры стратегии $sk_{i,T}$, которые опережают реальные входные данные на время запаздывания Θ .

Параметры аппаратного обеспечения в стратегии получены на основании исторических данных, это позволяет не рассчитывать их в реальном времени. Хранение параметров пользователя и аппаратного обеспечения позволяет использовать исторические данные для решения задачи управления тренажером с компенсацией запаздывания.

Выводы и результаты исследования

Впервые предложена математическая постановка задачи структурно-параметрического синтеза системы адаптивного управления тренажером, решение которой позволило компенсировать запаздывание системы управления.

Разработано и апробировано специальное математическое и алгоритмическое обеспечение для обработки информации о динамике структурных элементов тренажера, позволяющее определять закономерности функционирования тренажера и динамики состояний тела тренируемого. Представлена методика формирования библиотеки стратегий, позволившая уменьшить объем обрабатываемых данных до 0,2309 % от объема входного кадра наблюдателя. Даны критерии оценки количества и точности обрабатываемых данных, позволяющие оценить качество функционирования представленной системы адаптивного управления.

Разработан алгоритм поиска стратегии динамики пользователя. Стратегия сформирована на основе 26 траекторий динамики пользователя, содержит 100 состояний, что составляет 2,78 % от входного количества (3600 состояний) и охватывает 89,69 % входных состояний с точностью 4,7 % (см. рис. 8).

Представленная модель прогнозирования выходных состояний САУТ позволила спрогнозировать динамику пользователя на период 3,163 с за 0,167 с (при ~30 кадрах/с от наблюдателя) с использованием стратегии и исторических данных динамики пользователя.

Область применения разработанных модели и алгоритмов включает физические динамические системы, в которых субъект управления многократно совершает определенные действия (САУ беговых тренажеров).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта: договор № 20-37-90041\20 от 20.08.2020.

Список литературы

1. Astrom, K. J. Adaptive Control / K. J. Astrom, B. Wittenmark. – 2d ed. – Addison-Wesley, 1994. – 574 p.
2. Юревич, Е. И. Теория автоматического управления / Е. И. Юревич. – 3-е изд. – СПб. : БХВ-Петербург, 2007. – 560 с.
3. Iwata, H. Walking About Virtual Environments on an Infinite Floor / H. Iwata // Proceedings IEEE Virtual Reality (Cat. No. 99CB36316). – IEEE, 1999. – P. 286 – 293.
4. Iwata, H. Virtual Perambulator: a Novel Interface Device for Locomotion in Virtual Environment / H. Iwata, T. Fujii // Proceedings of the IEEE 1996 Virtual Reality Annual International Symposium. – IEEE, 1996. – P. 60 – 65.
5. Motion Control of the Cybercarpet Platform / A. De Luca, R. Mattone, P. Robuffo Giordano [et al.] // IEEE Transactions on Control Systems Technology. – 2012. – Vol. 21, No. 2. – P. 410 – 427. doi: 10.1109/TCST.2012.2185051
6. An Omnidirectional Platform Design: Application to Posture Analysis / N. Hedjazi, A. Benali, M. Bouzit, Z. Dibi // XIV Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing 2016. – Springer, Cham, 2016. – P. 602 – 607. doi: 10.1007/978-3-319-32703-7_116
7. Schwaiger, M. C. A 2d-motion Platform: The Cybercarpet / M. C. Schwaiger, T. Thummel, H. Ulbrich // Second Joint Euro Haptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems (WHC'07). – IEEE, 2007. – P. 415 – 420. doi: 10.1109/WHC.2007.1
8. Yoon, J. A Novel Walking Speed Estimation Scheme and Its Application to Treadmill Control for Gait Rehabilitation / J. Yoon, H. S. Park, D. L. Damiano // Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. – 2012. – Vol. 9, No. 1. – P. 62. doi: 10.1186/1743-0003-9-62
9. Yoon, J. Impedance Control of a Small Treadmill with Sonar Sensors for Automatic Speed Adaptation / J. Yoon, A. Manurung, G. S. Kim // International Journal of Control, Automation and Systems. – 2014. – Vol. 12, No. 6. – P. 1323 – 1335. doi: 10.1007/s12555-013-0241-3
10. A Feedback-Controlled Treadmill (Treadmill-on-Demand) and the Spontaneous Speed of Walking and Running in Humans / A. E. Minetti, L. Boldrini, L. Brusamolín [et al.] // Journal of Applied Physiology. – 2003. – Vol. 95, No. 2. – P. 838 – 843. doi: 10.1152/jappphysiol.00128.2003
11. Rida, I. Gait Recognition Based on Modified Phase-Only Correlation / I. Rida, S. Almaadeed, A. Bouridane // Signal, Image and Video Processing. – 2016. – Vol. 10, No. 3. – P. 463 – 470. doi: 10.1007/s11760-015-0766-4

Structural-Parametric Synthesis of the Quality Control System for the Simulator Based on Adaptive Control of Simulation Tools

A. A. Siukhin, S. V. Karpushkin

*Department of Computer-Integrated Systems in Mechanical Engineering,
Mr.Siuhin@yandex.ru; TSTU, Tambov, Russia*

Keywords: machine vision; forecasting; adaptive control system; training complex.

Abstract: A scheme of a simulator with observers is proposed and its information model is shown. The task of structural-parametric synthesis of the simulator control system is set. A search filter for unique user states has been introduced. The description of the principle of search and formation of the user dynamics strategy is given. An analysis of the results of the study and the scope of their application are presented.

References

1. Astrom K.J., Wittenmark B. *Adaptive Control*, Addison-Wesley, 1994, 574 p.
2. Yurevich Ye.I. *Teoriya avtomaticheskogo upravleniya* [Theory of automatic control], St. Petersburg: BXB-Peterburg, 2007, 560 p. (In Russ.)
3. Iwata H. Walking About Virtual Environments on an Infinite Floor, *Proceedings IEEE Virtual Reality (Cat. No. 99CB36316)*, IEEE, 1999, pp. 286-293.
4. Iwata H., Fujii T. Virtual Perambulator: a Novel Interface Device for Locomotion in Virtual Environment, *Proceedings of the IEEE 1996 Virtual Reality Annual International Symposium*, IEEE, 1996, pp. 60-65.
5. De Luca A., Mattone R., Robuffo Giordano P. [et al.] Motion Control of the Cybercarpet Platform, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 2012, vol. 21, no. 2, pp. 410-427, doi: 10.1109/TCST.2012.2185051
6. Hedjazi N., Benali A., Bouzit M., Dibi Z. An Omnidirectional Platform Design: Application to Posture Analysis, *XIV Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing 2016*, Springer, Cham, 2016, pp. 602-607, doi: 10.1007/978-3-319-32703-7_116
7. Schwaiger M.C., Thummel T., Ulbrich H. A 2d-motion Platform: The Cybercarpet, *Second Joint Euro Haptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems (WHC'07)*, IEEE, 2007, pp. 415-420, doi: 10.1109/WHC.2007.1
8. Yoon J., Park H.S., Damiano D.L. A Novel Walking Speed Estimation Scheme and Its Application to Treadmill Control for Gait Rehabilitation, *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2012, vol. 9, no. 1, p. 62, doi: 10.1186/1743-0003-9-62
9. Yoon J., Manurung A., Kim G.S. Impedance Control of a Small Treadmill with Sonar Sensors for Automatic Speed Adaptation, *International Journal of Control, Automation and Systems*, 2014, vol. 12, no. 6, pp. 1323-1335, doi: 10.1007/s12555-013-0241-3
10. Minetti A.E., Boldrini L., Brusamolín L., Zamparo P., McKee T. A Feedback-Controlled Treadmill (Treadmill-on-Demand) and the Spontaneous Speed of Walking and Running in Humans, *Journal of Applied Physiology*, 2003, vol. 95, no. 2, pp. 838-843, doi: 10.1152/jappphysiol.00128.2003

11. Rida I., Almaadeed S., Bouridane A. Gait Recognition Based on Modified Phase-Only Correlation, *Signal, Image and Video Processing*, 2016, vol. 10, no. 3, pp. 463-470, doi: 10.1007/s11760-015-0766-4

Strukturparametrische Synthese des Qualitätsregelsystems für den Betrieb des Simulators auf Basis adaptiver Steuerung von Simulationswerkzeugen

Zusammenfassung: Es ist ein Schema des Simulators mit Beobachtern vorgeschlagen und sein Informationsmodell ist gezeigt. Die Aufgabe der strukturparametrischen Synthese des Simulatorsteuerungssystems ist gestellt. Ein Suchfilter für eindeutige Benutzerzustände ist eingeführt. Es ist die Beschreibung des Prinzips der Suche und der Bildung der Strategie der Benutzerdynamik gegeben. Eine Analyse der Ergebnisse der Studie und der Umfang ihrer Anwendung sind vorgestellt.

Synthèse structurelle et paramétrique du système de contrôle de la qualité du simulateur basé sur la gestion adaptative des outils de simulation

Résumé: Est proposé un schéma du simulateur avec des observateurs, est montré son modèle d'information. Est posée la tâche de la synthèse structurelle et paramétrique du système de contrôle du simulateur. Est présenté le filtre de la recherche des états uniques de l'utilisateur. Est donnée une description du principe de la recherche et de la formation de la stratégie de la dynamique de l'utilisateur. Sont présentés l'analyse des résultats de l'étude et leur champ d'application.

Авторы: *Суухин Александр Андреевич* – аспирант кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»; *Карпушкин Сергей Викторович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении», ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия.