

УДК 004.896

С. А. Пекарь, В. В. Смелов

Белорусский государственный технологический университет

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОВЕДЕНИЯ 3D-ОБЪЕКТА**

Статья посвящена описанию математической модели, позволяющей в общем виде описать работу программного комплекса для построения имитационных моделей интеллектуального поведения 3D-объектов в пространстве. Построение такого рода имитационных моделей дает возможность получить решения многих задач в робототехнике, эргономике и 3D-анимации без необходимости применения дорогостоящего оборудования или построения физических прототипов. Это позволит значительно сократить временные и финансовые затраты на разработку реальных систем, реализующих интеллектуальное поведение 3D-объектов в пространстве. В статье описаны сферы применения таких систем, а также лежащая в их основе математическая модель. Введены понятия интеллектуального 3D-объекта и его свойств: форма, центр, границы, операторы, состояние. Сформулированы понятия: время моделирования, среда существования 3D-объекта, цель и жизненный цикл. Сделаны выводы о полноте разработанной математической модели, а также приведены примеры практической реализации ее компонентов.

Ключевые слова: 3D-объект, форма, граница, точка, состояние, оператор, жизненный цикл, интеллектуальное поведение.

S. A. Pekar', V. V. Smelov

Belarusian State Technological University

MATHEMATICAL MODEL OF INTELLIGENT BEHAVIOR OF 3D-OBJECT

The article is devoted to the description of the mathematical model of intellectual behaviour of 3D-object, which allows to generally describe the work of software applications intended for simulation models creation. The simulation models of this type of objects give the opportunity to test complex and expensive hardware complexes software packages without need of creating physical prototypes. This helps to save a huge amount of time and financial resources for the development of real systems containing implementation of intellectual behaviour of 3D-objects. This paper describes the scopes of application of systems of modeling of such objects. The article also contains a concept of an intelligent 3D-object and its properties: form, center, bounding box, operators, state, the definition of the terms of modeling time, environment, goal and the life cycle. Article also formulates the concept of intellectual behavior of a 3D-object. Another objective of the paper is to describe the developed mathematical model of the system for modeling the intellectual behavior of a 3D-object. The conclusion of the article is about the completeness of the developed mathematical model and gives examples of practical implementation of all model components.

Key words: 3-D object, form, bounding box, point, state, operator, life cycle, intellectual behavior.

Введение. Среди многообразия компьютерных систем можно выделить класс систем, работу которых можно представить как разумное поведение 3D-объектов в пространстве. Исследование, моделирование и реализация таких систем может привести к решению ряда насущных прикладных задач, связанных с движением или трансформацией интеллектуальных объектов в трехмерном пространстве. Полученные модели могут быть использованы в робототехнике [1, 2], эргономике [3] и в технологиях 3D-анимации [4]. Подобные модели широко применяются в программах-автопилотах для беспилотных автомобилей (Tesla Motors, Google) [5, 6], в различного рода симуляторах (для обучения водителей или пилотов) и компьютерных играх [4, 7].

В предлагаемой статье решаются следующие задачи:

– формулируется понятие интеллектуального 3D-объекта (I3D);

– описывается общая математическая модель разумного поведения I3D.

Основная часть. Формулировка понятия I3D требует пояснения следующих терминов:

– 3D-объект;

– среда существования 3D-объекта;

– жизненный цикл 3D-объекта;

– интеллектуальное поведение 3D-объекта.

3D-объект – основной активный элемент (агент) модели интеллектуального поведения 3D-объекта в пространстве, обладающий следующими свойствами:

– *форма* ($F = \langle v_1, v_2, \dots, v_n \rangle$, где v_i – координаты $\langle x, y, z \rangle$ i -й точки *формы* 3D-объекта D : n – количество точек, образующих *формы*) – упорядоченный набор точек в трехмерном евк-

лидовом пространстве, соединение которых образует геометрическую фигуру, являющуюся поверхностью 3D-объекта и образующую визуальное представление; принцип соединения точек для формирования геометрической фигуры не является принципиальным при построении модели и может быть реализован различными способами;

– *центр* $o = \langle M, \Delta S \rangle$, где x, y, z – координаты *центра* – точка в трехмерном евклидовом пространстве, определяющая положение 3D-объекта; за центр может быть принята любая внутренняя точка трехмерной фигуры 3D-объекта; центр может быть задан декларативно или вычислен (медианная точка, центр масс и т. п.);

– *граница* $\langle B = \langle v_1, v_2, \dots, v_m \rangle$, где v_i – координаты $\langle x, y, z \rangle$ i -й точки *границы* B ; m – количество точек, образующих *границу* B 3D-объекта D . В некоторых случаях $F \triangleq B$ – упорядоченный набор точек, образующий собой геометрическую фигуру; введение понятия *границы* 3D-объекта обусловлено необходимостью упрощения расчета столкновений; в простейших случаях граница может совпадать с *формой* 3D-объекта; в общем случае *граница* полностью включает в себя форму;

– *состояние* (S) – величина, характеризующая потенциальную возможность 3D-объекта выполнять *операторы*; одно из состояний 3D-объекта задается как *идеальное состояние*;

– *операторы* ($O = \langle o_1, o_2, \dots, o_k \rangle$, где o_i – *элементарный оператор*, который может быть исполнен 3D-объектом; k – общее число операторов 3D-объекта). *Элементарный оператор* o_i 3D-объекта является действием 3D-объекта, связанным с движением (перемещение, поворот и т. п.) и/или изменением его *формы* и/или *состояния*; o_i *определяется* следующим образом: $D = \langle F, C, B, O, S \rangle$, где M – матрица аффинного преобразования, содержащая информацию о смещении, масштабировании и повороте; ΔS – изменение *состояния* S относительно текущего.

Таким образом, в общем случае 3D-объект D представляется в виде пятерки:

$$D = \langle F, C, B, O, S \rangle,$$

где F – форма; C – центр; B – граница; O – множество операторов; S – множество состояний.

Среда существования E объекта представляет собой окружение, воспринимаемое 3D-объектом, другими словами то, что объект «знает» о своем окружающем мире и то, что «видит».

Более точная формулировка понятия *видимой среды* E 3D-объекта требует определения термина *время существования* 3D-объекта.

Время существования 3D-объекта является дискретным. За единицу дискретизации выбран

такт t , который равен времени выполнения одного элементарного оператора o_i .

Таким образом: *видимая для* 3D-объекта *среда существования* E зависит от месторасположения его центра C и времени t . Другими словами, *среда существования* E 3D-объекта D является функцией *центра* C этого 3D-объекта и номера такта t :

$$E(t) = f(C, t - 1).$$

Понятие *жизненного цикла* L 3D-объекта требует введение термина *цель* 3D-объекта.

Цель – точка в трехмерном пространстве, достижение которой означает окончание *жизненного цикла* 3D-объекта.

Жизненный цикл L 3D-объекта включает в себя *цель*, которую должен достичь 3D-объект и последовательность *операторов*, которую он должен выполнить для достижения цели при заданной *среде существования*.

Таким образом, *жизненный цикл* L 3D-объекта задается выражением

$$L = \langle T, \langle o_1, o_2, \dots, o_l \rangle \rangle,$$

где T – *цель* объекта; $\langle o_1, o_2, \dots, o_l \rangle$ – последовательность элементарных операторов, $o_i \in O$, последовательное выполнение которых приводит 3D-объект D к *цели* T ; l – количество *операторов*, которые должен выполнить 3D-объект D для достижения *цели* T .

В свою очередь, последовательность операторов $\langle o_1, o_2, \dots, o_l \rangle$ является функцией от *среды существования* E 3D-объекта:

$$\langle o_1, o_2, \dots, o_l \rangle = f(E).$$

Интеллектуальное поведение I 3D-объекта D представляет собой его способность построить эффективную последовательность операторов *собственного жизненного цикла*. Причем под *эффективностью* понимается выбор такой последовательности операторов, которая позволяет достичь *цель* и *конечное состояние объекта*, величина которого минимально расходится с *идеальным состоянием*. Таким образом, *интеллектуальное поведение* I 3D-объекта является функцией от объекта D , *среды существования* E и *цели* T :

$$I(t) = f(D(t), E(t), T).$$

Интеллектуальный 3D-объект $I3D$ – это *3D-объект*, способный на *интеллектуальное поведение* для реализации своего *жизненного цикла* в заданной *среде существования* при заданной *цели*.

Реализация формы F 3D-объекта может быть выполнена при помощи большинства популярных программных пакетов 3D-моделирования (Autodesk 3D Studio Max, Autodesk Maya, Blender)

или трехмерных игровых движков (Unity, Unreal Engine, Source, Cry Engine). В общем случае множество точек, принадлежащих форме F 3D-объекта, последовательно соединены гранями, служащими границами для плоскостей образующих «каркас объекта».

Аналогично объекту D среда существования E тоже может быть реализована в виде 3D-объекта.

Элементарные операторы могут быть записаны в виде заранее заданных величин отклонения состояния S и матрицы аффинного преобразования M или вычисляться на основании заданных формул: параметрами которых будут выступать текущее состояние 3D-объекта D , а также его геометрические характеристики.

Жизненный цикл реализуется через выполнение $I3D$ последовательности операторов, построенной при помощи его функции интеллектуального поведения I .

Интеллектуально поведение I может быть реализовано с помощью искусственных ней-

ронных сетей, нечеткой логики или других методов искусственного интеллекта. Практическая реализация I может сочетать методы искусственного интеллекта с классическими методами реализации поведения: «Поиск пути», «Деревья поведения», «Машины состояний» и т. д.

Практическая реализация I допускает возможность построения последовательности $\langle o_1, o_2, \dots, o_l \rangle$ как перед началом выполнения жизненного цикла L , так и построение эффективной последовательности операторов «на лету», то есть в процессе выполнения L . Важным является только подбор необходимого оператора o_i для выполнения в момент t_i , то есть объект должен «успеть» осуществить выбор подходящего оператора o_i из множества O раньше либо в момент выполнения действия.

Заключение. Представленная математическая модель является обобщенной и может быть легко расширена для описания интеллектуального поведения нескольких 3D-объектов.

Литература

1. Thrun S., Montemerlo M., Dahlkamp H. Stanley: The Robot that Won the DARPA Grand Challenge // Journal of Field Robotics. URL: <http://isl.ecst.csuchico.edu/DOCS/darpa2005/DARPA%202005%20Stanley.pdf> (date of access: 06.07.2017).
2. Urmson C., Anhalt J., Bagnell A. Tartan Racing: A Multi-Modal Approach to the DARPA Urban Challenge // Carnegie Mellon University. URL: https://www.ri.cmu.edu/pub_files/2007/4/Tartan_Racing.pdf (date of access: 08.07.2017).
3. Rychtycky N. Ergonomics Analysis for Vehicle Assembly Using Artificial Intelligence // Ford Motor Company Manufacturing Engineering Systems. URL: <https://www.aaai.org/Papers/IAAI/2004/IAAI04-004.pdf> (date of access: 12.07.2017).
4. Cavazza M., Bandi S., Palmer I. “Situated AI” in Video Games: Integrating NLP, Path Planning and 3D Animation // Electronic Imaging and Media Communications, University of Bradford. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/29dc/dfb9fc3bc6294a87cc0707181dc36c3d1d8e.pdf> (date of access: 05.08.2017).
5. Jafee E. The First Look at How Google's Self-Driving Car Handles City Streets // Citylab.com, The Atlantic Monthly Group. Mode of access: <https://www.citylab.com/life/2014/04/first-look-how-googles-self-driving-car-handles-city-streets/8977/> (date of access: 06.08.2017).
6. Stewart J. Tesla's New “Autopilot” Is Just the Start of a Critical Reboot // Weird Media Group. URL: <https://www.wired.com/2017/01/teslas-new-autopilot-may-seem-lame-critical-reboot/> (date of access: 06.08.2017).
7. Kuanusont K., Lucas S. M., Pérez-Liébana D. General Video Game AI: Learning from screen capture // IEEE Xplore Digital Library. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7969556/?reload=true> (date of access: 09.09.2017).

References

1. Thrun S., Montemerlo M., Dahlkamp H. Stanley: The Robot that Won the DARPA Grand Challenge. Available at: <http://isl.ecst.csuchico.edu/DOCS/darpa2005/DARPA%202005%20Stanley.pdf> (accessed 06.07.2017).
2. Urmson C., Anhalt J., Bagnell A. Tartan Racing: A Multi-Modal Approach to the DARPA Urban Challenge. Available at: https://www.ri.cmu.edu/pub_files/2007/4/Tartan_Racing.pdf (accessed: 08.07.2017).
3. Rychtycky N. Ergonomics Analysis for Vehicle Assembly Using Artificial Intelligence. Available at: <https://www.aaai.org/Papers/IAAI/2004/IAAI04-004.pdf> (accessed 12.07.2017).
4. Cavazza M., Bandi S., Palmer I. “Situated AI” in Video Games: Integrating NLP, Path Planning and 3D Animation. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/29dc/dfb9fc3bc6294a87cc0707181dc36c3d1d8e.pdf> (accessed 05.08.2017).

5. Jafee E. The First Look at How Google's Self-Driving Car Handles City Streets. Available at: <https://www.citylab.com/life/2014/04/first-look-how-googles-self-driving-car-handles-city-streets/8977/> (accessed 06.08.2017).

6. Stewart J. Tesla's New "Autopilot" Is Just the Start of a Critical Reboot. Available at: <https://www.wired.com/2017/01/teslas-new-autopilot-may-seem-lame-critical-reboot/> (accessed 06.08.2017).

7. Kunanusont K., Lucas S. M., Pérez-Liébana D. General Video Game AI: Learning from screen capture. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7969556/?reload=true> (accessed 09.09.2017).

Информация об авторах

Пекаръ Сергей Александрович – аспирант. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: sergik.com@mai.ru

Смелов Владимир Владиславович – кандидат технических наук, заведующий кафедры информационных систем и технологий. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: smw60@mail.ru

Information about the authors

Pekar' Sergey Aleksandrovich – PhD student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sergik.com@mai.ru

Smelov Vladimir Vladislavovich – PhD (Engineering), Head of the Department of Information Systems and Technologies. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: smw60@mail.ru

Поступила 01.02.2018