

Kureichik Vladimir Victorovich – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: vkur@tsure.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371651; the department of computer aided design; head of department; dr. of eng. sc.; professor.

Kureichik Vladimir Vladimirovich – e-mail: kureichik@yandex.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; the department of computer aided design; student.

УДК 004.89

А.Ю. Кудяев, А.А. Лежебоков, З.В. Нагоев

**ВИРТУАЛЬНОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ В ИНТЕГРИРОВАННЫХ САПР
МАШИНОСТРОЕНИЯ И ЭЛЕКТРОНИКИ НА ОСНОВЕ
ОНТОНЕЙРОМОРФОГЕНЕТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ***

Разработаны основные принципы создания систем виртуального прототипирования для интегрированных САПР машиностроения и электроники, основанные на онтонейроморфогенетических моделях виртуальных прототипов конструкций, материалов, элементной и схмотехнической базы. Построены архитектура интегрированных многомодальных моделей на основе процессов онтонейроморфогенеза и алгоритмы построения онтонейроморфогенетических моделей реальных объектов на основе процессов самоорганизации мультиагентных рекурсивных когнитивных архитектур.

Виртуальное прототипирование; онтонейроморфогенетическое моделирование; интегрированные САПР; искусственный интеллект; мультиагентные системы.

A.Y. Kudyaev, A.A. Lezhebokov, Z.V. Nagoev

**VIRTUAL PROTOTYPING IN INTEGRATED CADs OF ENGINEERING
AND ELECTRONICS BASED ON THE ONTONEURO MORPHOGENETIC
MODELING**

The basic principles of creation of systems of virtual prototyping for integrated CADs of engineering and electronics, based on the ontoneuromorphogenetic models of virtual prototypes of constructions, materials, element and circuit base, are developed. The architecture of integrated multimodal models based on the ontoneuromorphogenesis processes and the algorithms of building ontoneuromorphogenetic models of real objects based on processes of self-organization of multiagent recursive cognitive architectures, are built.

Virtual prototyping; ontoneuromorphogenetic simulation; integrated CAD systems; artificial intelligence; multi-agent systems.

Введение. Системы виртуального прототипирования (ВП) возникли как современное развитие САПР, опирающееся на два основных научных и технологических достижения – создание систем виртуальной реальности и систем быстрого прототипирования [1]. Системы виртуальной реальности расширили функционал трехмерной визуализации и т.н. «физических движков» САПР, реализующих инженерные расчеты, за счет интерфейсов погружения в иммерсивные [2] виртуальные среды (виртуальные среды полного погружения), а также за счет применения т.н. виртуальных физически корректных сред [3], позволяющих строить динамическую визуализацию в виртуальной среде на основе данных инженерных расчетов, осуществляемых в режиме реального времени. Новые технические средства и возможности актуализировали ряд фундаментальных и прикладных проблем. В част-

* Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 12-07-00624-а, № 13-07-01003-а.

ности, проблему разработки *моделей виртуальных материалов, обладающих заданными свойствами и поведением* и связанную с ней проблему *разработки физически корректных виртуальных сред, реализующих инженерные расчеты в системах виртуального прототипирования с заданной точностью в режиме реального времени*.

Как показано в [3], применение классических методов механики деформируемого твердого тела в качестве основы для имитации взаимодействий в физическом движении виртуальной реальности затруднено сложностью моделей, требующих специальных трудоемких методов решения. Модели виртуальной реальности на основе систем частиц [3] лишены этого недостатка. Однако они менее точны и разработаны в гораздо меньшей степени. В [4] предложена концепция *онтонейроморфогенетического моделирования* – создания комплексных обучаемых многомодальных моделей объектов и явлений реального мира на основе принципов онтонейроморфогенеза, гипотетически описывающих процессы извлечения и представления знаний, протекающие в нейроморфологических системах головного мозга.

Цель данного исследования состоит в разработке основных принципов создания систем виртуального прототипирования для интегрированных САПР машиностроения и электроники, основанных на онтонейроморфогенетических моделях виртуальных прототипов конструкций, материалов, элементной и схемотехнической базы.

Задачи исследования:

- ◆ разработка архитектуры интегрированных многомодальных моделей на основе процессов онтонейроморфогенеза;
- ◆ разработка алгоритмов построения онтонейроморфогенетических моделей реальных объектов на основе процессов самоорганизации мультиагентных рекурсивных когнитивных архитектур.

1. Онтонейроморфогенетическое моделирование. Как известно, основная функция модели любого типа – предоставление информации о свойствах и поведении объектов в ответ на запросы некоторых внешних по отношению к ней систем [5, 6]. Известно также, что все виды информации, которые способен осознавать человек, в головном мозге приводятся в формат, который может быть обработан вычислительными сетями нейронов. Следовательно, все виды моделей для того, чтобы начать «работать», должны с необходимостью сначала быть приведены в формат, «понятный» этим вычислительным сетям нейронов. Важно, на наш взгляд, следуя в направлении общемирового тренда бионспирированных формализмов [7, 8], все же ориентироваться на вычислительные аспекты нейронных сетей головного мозга. Нейрон можно рассматривать как базовый вычислитель, который берет на себя определенную часть расчетов, которые необходимо провести, для того, чтобы вся модель была адекватна и достаточно точна [9]. Основная идея *онтонейроморфогенетического моделирования (ОНМГ-моделирования)* состоит в создании сети имитационных моделей базовых вычислителей – нейронов головного мозга и построении на их основе универсального компактного в вычислительном плане самообучающегося адаптивного алгоритма построения моделей любых объектов и процессов.

В работах [10, 11] проведено развитие данного подхода в направлении построения абстрактной сущности онтонейроморфогенеза. В частности, сети нейронов рассмотрены как группы слабосвязанных агентов, реализующих вычисления на основе принципа максимизации энергии, извлекаемой организмом из среды обитания. Для формализации такой архитектуры предлагается использовать рекурсивный детерминированный абстрактный автомат, отражающий рекурсивную структуру и мультиагентный характер подобных систем [12]:

$$S_i = (S_i^*, X_i, Y_i, \delta_i, \gamma_i)$$

где S_i^* – множество состояний системы, X_i – входной алфавит, Y_i – выходной алфавит, $\delta_i = (S_i^* \times X_i \rightarrow S_i^*) = \{(S_{is}^j, X_{is}^j, A_j^{sf}, S_{if}^j)\}$ – функция переходов автомата, $\gamma_i = (S_i^* \times X_i \rightarrow Y_i) = \{(S_{is}^j, X_{is}^j, A_j^{sf}, Y_{if}^j)\}$ – функция выходов автомата. Здесь X_{is}^j – слово входного алфавита X_i , а Y_{if}^j – слово выходного алфавита. Таким образом, автомат (1) распознает слова X_{is}^j в алфавите X_i и в соответствии со своим состоянием S_{is}^j , выполняет действие A_j^{sf} для перехода в состояние S_{if}^j и выполнения во внешней среде W^i действий Y_{if}^j . Функции δ_i и γ_i строятся с учетом энергии состояний и действий. Функционирование такого автомата можно описать соотношениями:

$$S_{if}^j = \delta_i(S_{is}^j, X_{is}^j); Y_{if}^j = \gamma_i(S_{is}^j, X_{is}^j).$$

Элементарным агентом или агентом ранга 0 (нулевого ранга) будем называть систему $\aleph_i^0 = \{R_i, F_i, G_i\}$, состоящую из генома агента $G_i = \delta_i \cup \gamma_i$, множества рецепторов агента $R_i\{r_{i1}, \dots, r_{ik}\}$ и множества эффекторов агента $F_i\{f_{i1}, \dots, f_{ik}\}$. Будем считать, что множество рецепторов R_i является структурной частью агента \aleph_i^0 , порождающей все слова входного алфавита X_i , а множество эффекторов F_i – структурная часть агента, порождающая все слова выходного алфавита Y_i .

Агентом ранга n, или рекурсивным агентом, или просто агентом назовем множество:

$$\aleph_i^n \{R_i, F_i, G_i, S_i, \aleph_{i1}^{n-1}, \dots, \aleph_{ik}^{n-1}\}.$$

Здесь S_i – система управления поведением агента \aleph_i^n , которая описывается *рекурсивным детерминированным абстрактным автоматом*, состояния которого определяются не только входами, состояниями, функцией переходов и функцией выходов данного уровня, но также и состояниями и выходами всех автоматов, встроенных в данный (автоматов нижнего уровня (ранга). Если сопоставить каждому состоянию S_{ik}^j агента энергию $E(S_{ik}^j)$, которой он обладает в этом состоянии, то, построив переходную функцию агента с учетом предпочтения перехода из состояния с меньшими значениями энергии в состояния с большими значениями, мы получим реактивного, но уже целенаправленного агента.

Рассмотрим структуру минимального агента, способного к обучению и коллективному целенаправленному поведению (рис. 2), являющемуся необходимым условием возникновения и осуществления онтонейроморфогенеза.

Мы рассматриваем таблицы переходов и выходов автомата, как базу знаний агента. В представление знания можно ввести еще и выражения для описания энергии состояний и энергии, необходимой для совершения действий, а также – энергии, приобретенной в результате перехода автомата в новое состояние:

$$k_i^l (S_{is}^j, E(S_{is}^j), X_{is}^j, A_j^{sf}, \Delta E(A_j^{sf}), S_{if}^j, E(S_{if}^j), \Delta E^r(A_j^{sf}); S_{is}^j, X_{is}^j, A_j^{sf}, Y_{if}^j).$$

Агент, блок-схема алгоритма поведения которого изображена на рис. 2, уже способен к обучению и организации совместного поведения с другими агентами в составе ОНМГ-модели. Он распознает слово входного алфавита X_{is}^j , перебирая записи, хранящиеся в базе знаний. Следует отметить, что такое представление знаний является мультиагентным (МА-знания), так как определяет соответствия между состояниями автомата и сообщениями, на входном и выходном языках, которыми он может обмениваться с другими агентами.

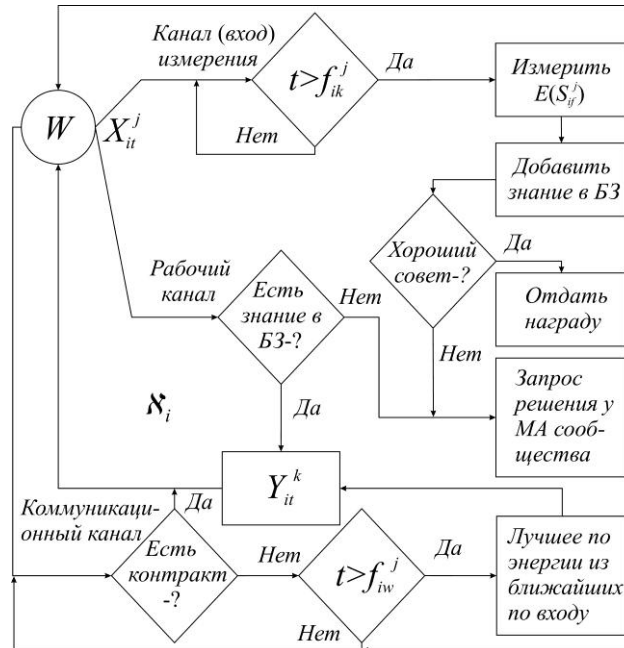


Рис. 2. Агент, способный к кооперативному решению задач

Самообучающаяся ОНМГ-модель, состоящая из подобных нейронов-агентов, может быть создана только на основе вычислительной системы, реализованной в определенной когнитивной архитектуре, основанной на взаимодействии функциональных центров, отвечающих за определенные части сложного процесса обучения. В качестве базовой для такой системы можно предложить когнитивную архитектуру, изображенную на рис. 3.



Рис. 3. Когнитивная архитектура самообучаемых ОНМГ-моделей

2. Алгоритмы построения ОНМГ-моделей виртуальных прототипов для интегрированных САПР. Рассмотрим некоторые свойства таких моделей на примере аналогии с виртуальными прототипами объектов реального мира. Фрагмент среды (объект, тело) моделируется отдельными агентами, обеспечивающими поддержку вычисления параметров в пространстве связной топологии. Агенты выступают в роли вычислительных узлов и представляют определенные свойства конкретных топологических участков объекта (проблемных областей), а контракты между ними определяют характер взаимозависимостей между этими свойствами, характерными для данных топологических областей объекта моделирования (рис. 4).

На рис. 4 черными точками обозначены нейроны-агенты, выполняющие вычисления некоторого вида взаимодействий (модальности), например, упругих взаимодействий. Области вокруг точек, ооконтуренные тонкой черной сплошной линией, обозначают зону ответственности нейронов-вычислителей. Красные точки и пунктирные овалы обозначают другую модальность – например, электропроводность. Такой пример типичен для интегрированных САПР машиностроения и электроники, основанных на виртуальном прототипировании, когда необходимо в реальном времени рассчитывать динамические параметры схмотехнических и электротехнических элементов, на которые оказывается еще и механическое воздействие.

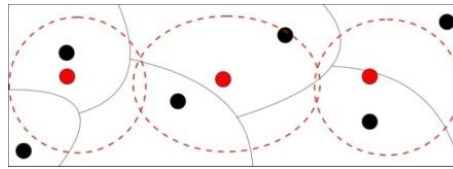


Рис. 4. Двухмодальная онтонейроморфогенетическая модель плоской прямоугольной области

В случае необходимости повышения точности моделей в определенных предметных областях, на основе алгоритмов онтонейроморфогенеза в них добавляются новые вычислительные узлы – агенты-нейроны, базы знаний которых автоматически на основе контуров самообучения пополняются новыми МА-знаниями. Эти новые узлы подключаются к выполнению МА-алгоритмов, синтезируя динамические когнитивные архитектуры, направленные на управление приобретением энергии в проблемных областях (рис. 5).

На рис. 5 повышенная концентрация вычислителей упругих взаимодействий в центре объекта свидетельствует о важности данной проблемной области для целей моделирования и необходимости усиления вычислительной базы модели в этой области. Здесь также добавлена еще одна модальность, обозначенная зеленым цветом, которая, например, в данном случае может быть интерпретирована как химическая реактивность. Таким образом, к примеру, мог бы быть получен виртуальный прототип упругого проводника с возможностями изучения сочетанного воздействия значительных электрических токов, динамической нагрузки и агрессивной химической среды.

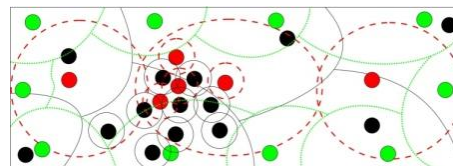


Рис. 5. Уточненная трехмодальная онтонейроморфогенетическая модель плоской прямоугольной области

Заключение. Разработаны основные принципы создания систем виртуального прототипирования для интегрированных САПР машиностроения и электроники, основанные на онтонейроморфогенетических моделях виртуальных прототипов конструкций, материалов, элементной и схмотехнической базы.

Разработаны архитектура интегрированных многомодальных моделей на основе процессов онтонейроморфогенеза и алгоритмы построения онтонейроморфогенетических моделей реальных объектов на основе процессов самоорганизации мультиагентных рекурсивных когнитивных архитектур.

Следует отметить, что ОНМГ-модели обладают большими возможностями для моделирования различных закономерностей в составе физически корректных виртуальных сред, в которых модели объектов и явлений комплексные, учитывающие синхронное и согласованное проявление законов из различных областей естествознаний (физика, химия, биология).

Таким образом, ОНМГ-моделирование определяет естественный способ построения универсальных, многомодальных, адаптивных, динамических, самоорганизующихся, комплексных моделей объектов и процессов реального мира.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Косенко И.И., Кузнецова Л.В., Николаев А.В.* Моделирование и виртуальное прототипирование: Учебное пособие. – М.: Альфа-М: ИНФРА-М, 2012. – 176 с.
2. *Розенсон И.А.* Основы теории дизайна: Учебник для вузов. – Питер, 2006. – 224 с.
3. *Ошхунов М.М., Нагоев З.В.* Математические модели деформируемых сред для интеллектуальных систем виртуального прототипирования. – Нальчик: Изд-во КБНЦ РАН, 2013 – 196 с.
4. *Нагоев З.В.* Онтонейроморфогенетическое моделирование // Известия КБНЦ РАН. – 2013. – № 3.
5. *Иванов П.М.* Алгебраическое моделирование сложных систем. – М.: Изд-во: Наука – Физматлит, 1996. – 272 с.
6. *Капитонова Ю.В., Летичевский А.А.* Инсерционное моделирование // Праці міжнар. конф. «50 років Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України». – Київ: Вид-во ІК НАНУ, 2008. – С. 293-301.
7. *Кныш Д.С., Курейчик В.М.* Параллельные генетические алгоритмы: обзор и состояние проблемы // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2010. – № 4. – С. 72-82.
8. *Курейчик В.В., Родзин С.И.* О правилах представления решений в эволюционных алгоритмах // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 7 (108). – С. 13-21.
9. *Нагоев З.В.* Алгоритм пластичного субстратного онтонейроморфогенеза для проактивного виртуального агента // Материалы всероссийской конференции с международным участием "Проблемы информатизации общества". – Нальчик, 7-11 октября 2008 г.
10. *Иванов П.М., Нагоев З.В.* Самоорганизующаяся система принятия решений на основе автоматного представления рекурсивной мультиагентной когнитивной архитектуры для систем обволакивающего интеллекта // Известия КБНЦ РАН. – 2012. – № 5 (49). – С. 30-37.
11. *Кудаев В.Ч., Нагоев З.В., Нагоева О.В.* Рекурсивные агенты для задач моделирования интеллектуального принятия решений на основе самоорганизации мультиагентных когнитивных архитектур // Известия КБНЦ РАН. – 2012. – № 4 (48). – С. 50-57.
12. *Nagoev Z.V.* Multiagent recursive cognitive architecture. – Biologically Inspired Cognitive Architectures 2012, Proceedings of the third annual meeting of the BICA Society, in Advances in Intelligent Systems and Computing series, Springer. – 2012. – P. 247-248.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Н.И. Витиска.

Нагоев Залимхан Вячеславович – Институт информатики и проблем регионального управления КБНЦ РАН; e-mail: zaliman@mail.ru; 360000, КБР, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а; тел.: 88662426552; к.т.н., зав. отделом мультиагентных систем.

Кудаев Анзор Юрьевич – e-mail: kbr_terek@mail.ru; к.ф.-м.н.; с.н.с. отдела мультиагентных систем.

Лежебоков Андрей Анатольевич – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: legebokov@gmail.com; 347902, г. Таганрог, ул. Кузнечная, 142/2, кв. 1; тел.: 89282141767; кафедра систем автоматизированного проектирования; ассистент.

Nagoev Zalimhan Vyacheslavovich – Institute of Computer Science and Problems of Regional Management of KBSC of RAS; e-mail: zaliman@mail.ru; 37-a, I. Armand's street, Nalchik, 360000, KBR; phone: +78662426552; cand. of eng. sc.; head the department of multiagent systems.

Kudayev Anzor Yurievich – e-mail: kbr_terek@mail.ru; cand. of phys.-math. sc., c.r.o. of the department of multiagent systems.

Leghebokov Andrey Anatolievich – Federal State-Owned Autonomous Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: legebokov@gmail.com; 142/2, Kuznechnaya street, fl. 1, Taganrog, 347902, Russia; phone: +79282141767; the department of computer aided design; assistant.

УДК 658.512.2.011.5

Л.А. Гладков, Н.В. Гладкова, Е.С. Скубриева

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ТРЕХМЕРНОЙ УПАКОВКИ РАЗНОГАБАРИТНЫХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОНИЧЕСКИХ МЕТОДОВ*

Рассматривается задача трехмерной упаковки разногабаритных элементов. Приведена постановка задачи, разработана методика кодирования/декодирования решений. Предложена эвристика создания начальной популяции на основе последовательного алгоритма. Разработаны генетический и эволюционный алгоритмы решения поставленной задачи. Описан процесс кодирования и декодирования решения. Разработана программная среда. Представлено краткое описание проведенных вычислительных экспериментов, подтверждающих эффективность предложенного метода, а так же выполнена оценка его временной сложности.

Упаковка разногабаритных элементов; генетический алгоритм; эволюционный алгоритм; эвристика создания начальной популяции.

L.A. Gladkov, N.V. Gladkova, E.S. Skubrieva

THE DECISION OF THE 3D-PACKING PROBLEM DIFFERENTLY DIMENSIONAL OBJECTS WITH USE BIONIC METHODS

In article the problem of 3D packing differently dimensional elements is considered. Problem statement is resulted; the technique of coding/decoding of decisions is developed. The heuristics of creation of initial population on the basis of consecutive algorithm is offered. Genetic and evolutionary algorithms of the decision of a task in view are developed. Process of coding and decision decoding is described. The program environment is developed. The short description of the spent computing experiments confirming efficiency of the offered method and as the estimation of its time complexity is executed is presented.

Packing differently dimensional elements; genetic algorithm; evolutionary algorithm; heuristics of creation of initial population.

Одной из актуальных отраслей экономики, требующих автоматизации является складское хозяйство, в том числе задачи логистики и транспортные задачи, задачи упаковки. Такого рода задачи, как правило, являются NP-полными. Поэтому необходима разработка эвристических методов решения данного класса задач

* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 11-01-00122).