

**Стеценко Валентина Витальевна** – e-mail: stecenکو@sfedu.ru; кафедра систем автоматизированного проектирования; магистрант.

**Gerasimenko Evgeniya Michailovna** – Southern Federal University; e-mail: egerasimenko@sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy lane, Taganrog, 347928, Russia, phone: +78634371621; the department of computer-aided design; associate professor.

**Stetsenko Valentina Vitalievna** – e-mail: stecenکو@sfedu.ru; the department of computer-aided design; master student.

УДК 519.712.2

DOI 10.18522/2311-3103-2020-4-48-59

**Л.А. Гладков, Н.В. Гладкова****ЭВОЛЮЦИОНИРУЮЩИЕ МНОГОАГЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ  
И ЭВОЛЮЦИОННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ\***

*Статья посвящена обсуждению проблем построения эволюционирующих мультиагентных систем на основе использования принципов эволюционного проектирования и гибридных моделей. Рассмотрено понятие агента. Представлен набор базовых свойств агента. Рассмотрены аналогии между многоагентными и эволюционными системами. Рассмотрены принципы построения и организации мультиагентных систем. Отмечены сходства между основными определениями теории агентов и теории эволюции. Отмечено, что основные модели эволюции и эволюционные алгоритмы, могут быть с успехом использованы при проектировании многоагентных систем. Проведен анализ существующих методов и методологий проектирования агентов и многоагентных систем. Отмечены существующие различия в подходах к проектированию многоагентных систем. Описаны основные типы моделей и приведены их важнейшие характеристики. Представлена модель взаимодействия агентов, включающая описание услуг (сервисов), взаимосвязей и обязательств, существующих между агентами. Описана модель отношений (контактов), которая задает коммуникационные связи между агентами. Отмечена важность и перспективность использования агентно-ориентированного подхода к проектированию многоагентных систем. Предложена концепция проектирования агентов и многоагентных систем, согласно которой процесс проектирования включает в себя базовые компоненты самоорганизации, в том числе процессы взаимодействия, скрещивания, адаптации к среде и т.д. Рассмотрены различные подходы к эволюционному проектированию искусственных систем. Предложена Эволюционная модель формирования агентов и агентств, как основной компонент эволюционного проектирования. Предложены модифицированные эволюционные операторы кроссингвера для реализации процесса проектирования агентов.*

*Мультиагентная система; агент; свойства агентов; агентство; эволюционное проектирование; эволюционные операторы; методология проектирования; гибридные методы.*

**L.A. Gladkov, N.V. Gladkova****EVOLUTIONARY DESIGN AS A TOOL FOR DEVELOPING MULTI-AGENT  
SYSTEMS**

*The article is devoted to the discussion of the problems of constructing evolving multi-agent systems based on the use of the principles of evolutionary design and hybrid models. The concept of an agent is considered. A set of basic properties of the agent is presented. The analogies between multi-agent and evolutionary systems are considered. The principles of construction and organization of multi-agent systems are considered. The similarities between the main definitions of the theory of agents and the theory of evolution are noted. It that the main evolution models and evolutionary algorithms can be successfully used in the design of multi-agent systems is noted. The analysis of existing methods and*

\* Исследование выполнено при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-01-00715.

*methodologies for designing agents and multi-agent systems is carried out. The existing differences in approaches to the design of multi-agent systems are noted. The main types of models are described and their most important characteristics are given. A model of agent interaction, including a description of services (services), relationships and obligations existing between agents is presented. The model of relations (contacts), which defines communication links between agents is described. The importance and prospects of using the agent-based approach to the design of multi-agent systems are noted. The concept of designing agents and multi-agent systems, according to which the design process includes the basic components of self-organization, including the processes of interaction, crossing, adaptation to the environment, etc is proposed. Various approaches to the evolutionary design of artificial systems are considered. An evolutionary model of the formation of agents and agencies as the main component of evolutionary design is proposed. Modified evolutionary crossing-over operators to implement the agent design process are proposed.*

*Multiagent system; agent; properties of agents; agents; evolutionary design; evolutionary operators; design methodology; hybrid methods.*

**Введение.** Многоагентные системы являются в настоящее время одним из наиболее активно развивающихся научных направлений. Различные подходы и методы построения искусственных агентов и многоагентных систем известны (МАС) [1–3].

С одной стороны агент может пониматься как «квазисубъект», способный в некотором смысле замещать другого субъекта (своего «хозяина»), имеющий определенные обязательства перед ним и действующий по его поручению. С другой стороны, агентом считается «активный объект» или метаобъект, способный формировать собственное поведение.

Формирование поведения включает восприятие данных из внешней среды посредством сенсоров с ограниченным разрешением, позволяющее получить информацию о событиях, происходящих в среде, интерпретацию этой информации и действие на среду посредством эффекторов [4, 5]. Здесь выделены четыре исходных агентообразующих фактора: среда, восприятие, интерпретация, действие.

Характер среды накладывает существенные требования на модель агента, при этом в процессе проектирования структуру многоагентной системы, индивидуальных и совместных действий агентов необходимо учитывать различные модели поведения, а также особенности взаимодействия агентов.

Агент должен обладать определенным набором качеств в базовом варианте. К ним можно отнести следующие свойства.

Автономность – это способность функционировать без вмешательства людей или других агентов, сохраняя контроль над своими действиями и внутренними состояниями.

Реактивность – способность оценивать текущее состояние окружающей среды, воспринимать происходящие изменения и адекватно на них реагировать.

Активность – способность не реагировать на воздействия, поступающие из внешней среды и сохранять собственное целенаправленное поведение.

Общественное поведение (Social Ability) – способность решать свои задачи совместно с другими агентами при наличии возможностей коммуникации.

Агентов можно также разделить на интеллектуальные (когнитивные) и реактивные агенты [1, 6]. В первом случае агенты способны на основе модели внешней среды выполнять рассуждения и принимать на их основе собственные действия направленные на ее изменение. Во втором агенты не имеют подобной возможности и вынуждены полагаться на получение знаний извне.

Определенные аналогии между принципами построения интеллектуальных организаций и эволюционными алгоритмами, теорией эволюции становятся очевидными в ходе изучения теории агентов и мультиагентных систем. Например, «индивид» – агент, хромосома – набор свойств агента, семья – агентство, популяция – эволюционирующая многоагентная система и т.д.

Холланд [7] определял агента как искусственный организм, развивающийся в популяции себе подобных, стремящийся обучаться и адаптироваться к внешней среде, чтобы выжить в ней (и победить конкурентов). Эта интерпретация агента опирается на теоретические подходы и модели искусственной эволюции (мутации и модификации агентов, их борьба за существование, естественный отбор) и ключевые принципы искусственной жизни (самовоспроизведение, самосохранение, самоопределение, саморегуляция агентов и пр.) [8, 9].

Простейший пример – это муравьи, которые являются естественными реактивными агентами. Отдельный муравей представляет собой примитивного агента, все действия которого, по сути, сводятся к элементарным инстинктивным реакциям на окружающую обстановку и действиям других муравьев [10, 11]. Однако собираясь вместе муравьи образуют сложную систему коллективного поведения которую называют роевой интеллект (Swarm Intelligence) [12, 13].

**Анализ методов проектирования агентов и мультиагентных систем.** Методология агентно-ориентированного проектирования может строиться на основе объектно-ориентированного подхода с дополнением его элементами теории агентов. Оба подхода используют обмен сообщениями для взаимодействия, а также принципы наследования и агрегирования для определения архитектуры. Таким образом, элементы сходства объектно-ориентированных и агентно-ориентированных подходов здесь используются. Различные варианты реализации методологии существуют [1, 14].

Построение множества моделей, которые определяют спецификацию многоагентной системы предусматривается в классическом варианте. Каждая модель состоит из компонентов и взаимоотношений между ними. Разрабатываемые модели разделяются на внешние и внутренние. Внешние модели относятся к системному уровню описания: основными компонентами в них являются сами агенты, взаимодействия между которыми описываются с использованием отношений наследования, агрегации, и т.п. Таким образом, абстрактные структуры агентов разрабатываются. Внутренние модели предлагаются для каждого отдельного класса агентов и описывают внутренние структуры агентов: их мнения, цели, планы и пр.

Обычно выделяются два основных вида внешних моделей: модель агентов и модель взаимодействий, определяющая способы связи (коммуникации) между агентами. Модель агентов разделяется на модель классов агентов и модель экземпляров агентов. Эти две модели определяют классы агентов и их возможные реализации, связанные между собой отношениями наследования, агрегации и означивания. Классы агентов определяют различные атрибуты агентов, включая атрибуты, задающие мнения, цели и планы агента.

Внутренняя модель, представляющая мнения, цели и планы конкретного класса агентов, является непосредственным расширением объектно-ориентированных моделей (мнения и цели) и динамических моделей (планы).

Кроме указанных видов моделей, могут строиться также:

- ◆ модели задач, описывающие задачи, которые могут выполняться агентами (исходные цели, варианты их декомпозиции, методы решения задач, и пр.);
- ◆ модели организации (например, описание социальной организации сообщества агентов или характеристики организации, куда должна внедряться данная МАС);
- ◆ модели коммуникации, которые уточняют характеристики партнерского интерфейса человека с компьютером.

Практической ценностью методологии агентно-ориентированного проектирования (АОП) является акцент на использование абстрактных классов как средства объединения ролей в процессе анализа системы. Это позволяет перенести окончательное определение ограничений конкретных агентов на более поздние стадии процесса проектирования.

Данная методология позволяет разработчику МАС переходить от перечисления требований к предельно детализированной разработке. Что в свою очередь, позволяет в дальнейшем образом создавать легко реализуемые модели. Происходит постепенный переход от более абстрактных к более конкретным структурам.

Таким образом, методологии разработки МАС помогают объединить в единую цепочку (сеть) различные процессы, необходимые для реализации многоагентной системы.

Методология Gaia является одной из самых детально проработанных методологий проектирования многоагентных систем [15–17]. Согласно этой методологии, многоагентную систему следует рассматривать как набор ролей, находящихся между собой в определенном отношении и взаимодействующих друг с другом. Исходя из этого, организационная модель многоагентной системы распадается на две части: модель ролей и модель взаимодействий (рис. 1).

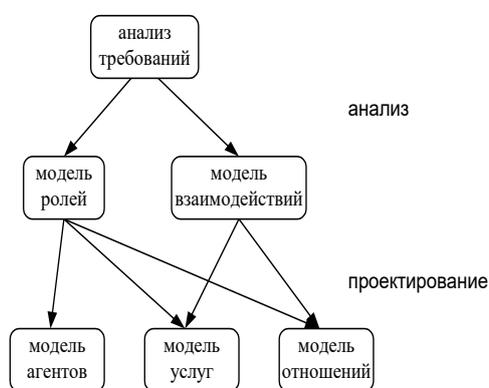


Рис. 1. Связь между моделями

Модель ролей описывает ключевые роли в системе. Здесь роль может рассматриваться как абстрактное описание функционального свойства агента. Другими словами, роль аналогична, в некотором смысле, понятию должность (например, «директор» или «старший менеджер»). Любые роли (должности) можно описать с помощью атрибутов 3-х типов:

- ◆ ответственность;
- ◆ разрешения – «права» агента, связанные с ролью;
- ◆ протоколы (рис. 2).

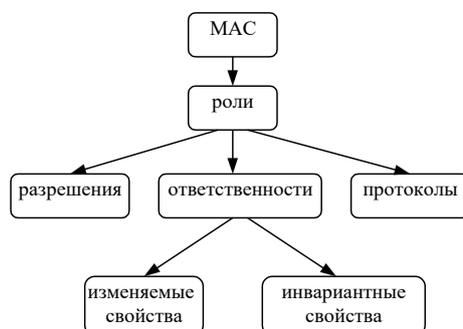


Рис. 2. Общая концепция объектно-ориентированного анализа МАС

Назначение модели агентов состоит в описании различных типов агентов, существующих в системе. Типы агентов определяются множеством ролей. Поэтому разработчик может предложить объединить несколько сходных ролей в один тип агентов. Главным критерием на этой стадии является эффективность реализации: проектировщик прежде всего стремится к оптимизации решений, и объединение нескольких ролей в один тип есть один из способов достижения этой эффективности.

Ситуация, в которой вычислительные ресурсы, требуемые для каждого агента, очень велики может служить примером, когда принимается подобное решение. В этом случае число агентов желательно сократить, поэтому принимается решение о возложении нескольких ролей на одного агента. Разумный компромисс между простотой понимания функциональных характеристик агента и эффективностью его реализации надо соблюдать здесь.

Модель взаимодействия агентов включает в себя описание услуг (сервисов), взаимосвязей и обязательств, существующих между агентами. Она состоит из множества протоколов, определяемых для каждого межролевого взаимодействия. Здесь протокол может пониматься как схема взаимодействия. Общее определение протокола состоит из следующего набора атрибутов:

- ◆ назначение: краткое описание смысла взаимодействия (например, «запрос информации», «выдача задания»);
- ◆ инициатор: роль, ответственная за инициирование взаимодействия;
- ◆ респондент: роль(и), с которой(ыми) осуществляется взаимодействие;
- ◆ входы: информация, используемая инициатором для начала взаимодействия;
- ◆ выходы: информация, предоставляемая респондентом в ходе взаимодействия.

Здесь предполагается, что реализация протокола будет вызывать серию взаимодействий.

Данная схема определяется формально, абстрагируясь от конкретной схемы реализации (непосредственной последовательности шагов). Подобное рассмотрение взаимодействий означает, что основное внимание уделяется природе и назначению взаимодействия, а не точной схеме обмена сообщениями.

Наконец, модель отношений (контактов) задает коммуникационные связи между агентами. При этом не уточняется, когда и какое сообщение проходит от одного агента к другому, а просто указывается, что существует канал коммуникации между агентами. В частности, назначение модели отношений состоит в нахождении узких мест в системе коммуникаций между агентами. Решение о возврате к стадии анализа и перепроектировании МАС для устранения этих узких мест может быть принято на основании анализа и разработки модели отношений.

Модель контактов представляет собой граф, в котором узлы соответствуют типам агентов, а дуги – коммуникационным путям (рис. 3). Обычно граф модели является ориентированным, так что  $a \rightarrow b$  означает, что агент  $a$  может связываться с агентом  $b$ , и совсем не обязательно, что при этом  $b$  может связываться с  $a$ . Модель отношений строится на основе моделей ролей, протоколов и агентов.

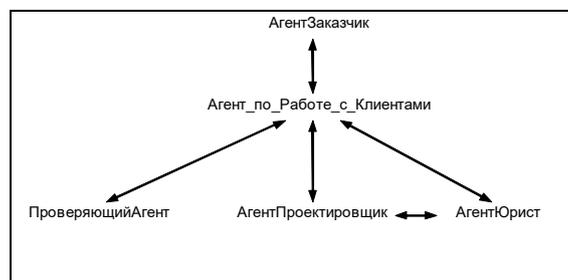


Рис. 3. Модель контактов

Итак, стадии разработки МАС включают процессы анализа и проектирования в рамках данной методологии.

Предварительная идентификация ролей происходит на стадии анализа, затем соответствующие протоколы определяются и документируются и, наконец, окончательная модель ролей строится.

Задачей процесса проектирования является преобразование абстрактных моделей высокого уровня, разработанных на стадии анализа, в модели более низкого уровня, обеспечивающих достаточно простую реализацию. Модель агента создается на стадии проектирования, т.е. роли агрегируются в типы агентов, иерархия типов формируется, примеры каждого типа документируются. Модель услуг (сервисов) и модель основных, наиболее тесных отношений (контактов) разрабатываются далее.

Агентно-ориентированный анализ приводит к пониманию того, как сообщество агентов выполняет совместные действия при решении различных задач, и какие действия требуются от конкретного агента.

Таким образом, программная технология агентов и агентно-ориентированный подход в целом понимаются как естественное развитие идей объектно-ориентированного программирования (ООП). При этом агент представляет собой самодостаточный программный процесс, включающий в себя некоторое состояние и имеющий возможность взаимодействовать с другими агентами через обмен сообщениями. Соответственно, агентно-ориентированное программирование (АОП) [17] – это новая парадигма программирования, основанная на «социальном взгляде» на вычисления.

**Эволюционное проектирование агентов.** Эволюционное проектирование агентов и мультиагентные системы находятся на стыке нескольких научных теорий и методологий проектирования. Различные подходы и модели эволюционного проектирования, по сути, реализуют «пограничную стратегию» между проектированием агентов и их самоорганизацией.

Разные подходы к эволюционному проектированию агентов и мультиагентных систем возможны на основе различных моделей эволюции [18]. Эволюционное проектирование может рассматриваться как процесс эволюционной адаптации системы к внешней среде. В этом случае внешняя среда является движущей силой эволюции системы, а главным направлением ее развития является адаптация к текущим условиям среды.

Формально проблему эволюционного проектирования (ЭП) искусственных систем можно представить в виде [19, 20]:

$$ED = \langle E, K, O, Q \rangle,$$

где  $E$  – множество моделей эволюции;  $K$  – множество критериев ЭП;  $O$  – множество объектов ЭП;  $Q$  – множество процедур ЭП.

Два вида эволюционного проектирования выделим: параметрическое и структурное. Параметрическое эволюционное проектирование является наиболее распространенным типом эволюционного проектирования. В этом случае речь идет о формировании агента – потомка на основе параметров агентов-родителей.

Структурное эволюционное проектирование включает в себя формирование структур агентств и единиц эволюционных МАС из агентов-родителей и агентов-потомков. Здесь базовым понятием является «семья» (агентство), состоящая, по крайней мере, из двух агентов-родителей и одного агента-потомка. Два этих уровня проектирования МАС тесно связаны между собой.

Эволюционная модель формирования агентов и агентств, выступает как основной компонент эволюционного проектирования [21–23]. Она предназначена для формирования агента – потомка на основе анализа возможных видов взаимо-

действия агентов – родителей. Популяция агентов рассматривается в рамках данной модели как эволюционирующая многоагентная система (ЭМАС) с определенным набором параметров. В качестве инструмента построения модели используется эволюционный алгоритм. Эволюционный алгоритм выполняет роль вышестоящего координатора, накладывающего ограничения на деятельность всей популяции агентов. Это позволяет накапливать в популяции положительные свойства и формировать наиболее подходящие под конкретные условия структуры агентств и потомков. Таким образом, использование эволюционного алгоритма направлено на создание эффективных методов взаимодействия между агентами и получение агента-потомка.

Основной проблемой при использовании эволюционных алгоритмов является подбор методики кодирования исходной информации [24]. Агент выступает в качестве исходного объекта в модели. Он представляется в виде хромосомы, состоящей из набора генов. Простейший случай, когда количество генов в хромосоме для всех агентов одинаково и равно двум. Гены принимают нормализованные числовые значения из интервала [0, 1]. Каждая позиция (локус) в хромосоме отвечает за определенную характеристику, поэтому перестановка генов внутри одной хромосомы невозможна. Таким образом, каждый агент в ЭМАС характеризуется своей хромосомой с конкретными значениями генов.

Выбор используемых генетических операторов непосредственно зависит от видов взаимодействий между агентами. В предлагаемой модели использовались четыре возможных вида операторов скрещивания [21–23]:

Ассоциация (*As*) – агенты-родители имеют примерно одинаковый общий ресурс и на паритетных началах участвуют в создании нового агента; стимуляция к скрещиванию у обоих агентов является внутренней, а ресурс вновь образованного агента-потомка меньше ресурса каждого из родителей;

Комбинация (*Comb*) – один из агентов-родителей имеет приоритет и обладает более значительным ресурсом, ресурс агента-потомка находится в диапазоне между ресурсами агентов-родителей; при этом для «слабого» родителя стимуляция к скрещиванию может являться внешней;

Селективное объединение (*SelU*) – используются элитные агенты-родители, в результате чего после формирования потомка у них остается достаточно ресурсов для выживания;

Слияние (*Mer*) – ресурс агента-потомка оказывается больше, чем у каждого из агентов-родителей в результате выполнения операции, а остаточный ресурс исходных агентов-родителей оказывается ниже прожиточного минимума; при этом стимуляция к скрещиванию является внешней.

Необходимые условия срабатывания и механизм оценки перспективности использования различных пар родителей задаются для каждого случая.

Процесс порождения потомка определяется следующими факторами:

Характер отношений между родителями, определяемый соотношением их общих ресурсов: Равноправные/Неравноправные;

Используемые при производстве потомка ресурсы: Равномерно/Неравномерно;

Выживание родителей: Да/Нет;

Тип стимуляции: Внутренняя/Внешняя.

Мы будем рассматривать относительные величины ресурсных параметров, предполагая, что конкретные показатели агента были преобразованы к виду [0,1] с помощью экспертов или путем нормализации.

Относительная величина общего ресурса определяется как,

$$a = (RES_{gmax} - RES_{gmin}) / (RES_{gmax} - RES_{gmin}),$$

где  $RES_{gtek}$  – общий ресурс агента на текущем поколении G;  $RES_{gmin}$  – минимальный общий ресурс агента для выживания (для каждого агента параметр одинаковый);  $RES_{gmax}$  – максимальный общий ресурс агента на все время его жизни (для каждого агента параметр разный).

Относительная величина «вкладываемого» ресурса определяется как

$$b = (RES_{btek} - RES_{bmin}) / (RES_{bmax} - RES_{bmin}),$$

где  $RES_{btek}$  – «вкладываемый» ресурс агента-родителя на текущем поколении G;  $RES_{bmin}$  – минимальный «вкладываемый» ресурс агента-родителя для образования агента-потомка (для каждого агента параметр одинаковый);  $RES_{bmax}$  – максимальный «вкладываемый» ресурс агента для образования агента-потомка на все время жизни агента-родителя (для каждого агента параметр разный).

Первый ген  $a$  соответствует относительной величине общего ресурса, которым обладает агент.

Второй ген  $b$  соответствует относительной величине ресурса, который агент-родитель готов отдать на создание агента-потомка. Таким образом, каждый ген может принимать значения из интервала  $[0,1]$ .

Генотип агента состоит из двух генов:  $a, b$  (табл. 1).

Таблица 1

**Структура генотипа агента**

$a$	$b$
0,7	0,6

Следующие обозначения для описания модели взаимодействия агентов-родителей введем:

- ◆  $A_i, A_j$  – агенты, участвующие в схеме (агенты - родители);
- ◆  $\{a_i, b_i\}$  – гены агента  $A_i$ ;
- ◆  $\{a_i^*, b_i^*\}$  – гены агента  $A_i$  после осуществления схемы взаимодействия;
- ◆  $A_n$  – агент, возникающий в результате осуществления схемы (потомок);
- ◆  $E$  – эффективность пары, зависящая от параметров  $e_i$ , значения которых определяются в зависимости от удовлетворения одному из условий срабатывания схемы.

Эффективность пары – это характеристика, которая показывает, насколько пара взаимодействующих агентов это характеристика, которая показывает, насколько пара взаимодействующих агентов близка к наиболее предпочтительным хромосомам для конкретной схемы.

Изменения в генах родителей в результате взаимодействия определяются следующим образом:

$$a_i^* = a_i - b_i.$$

Данное выражение показывает, что в результате взаимодействия ресурс агента-родителя уменьшается на величину  $b$ , которая является вкладываемым ресурсом для образования агента-потомка.

Далее полагаем, что ресурс агентов, идущий на размножение, уменьшается вдвое после каждого взаимодействия, т.е.

$$b_i^* = b_i / 2.$$

Генетический оператор (ГО) в модели рассматривается как черный ящик, на вход которому подается популяция родителей, а на выходе получаем популяцию потомков. В данной модели выделены 4 класса ГО:

- ◆ генетический оператор создания начальной популяции. После его выполнения создается популяция агентов (случайное создание);

◆ генетический оператор мутации. После их выполнение создаются агенты-родители, отличающиеся от исходных агентов на какую дельта-величину.

◆ генетический оператор выбора родительской пары и скрещивания. В результате их выполнения из популяции выбираются два агента – родителя, которые скрещиваются и образуют потомка.

◆ генетический оператор отбора (селекции). В результате их действия популяция потомков – это популяция, содержащая часть агентов-родителей и агентов-потомков. Отметим, что ГО данного класса действуют по стратегии  $(\mu + \lambda)$ , т.е. при селекции используются и агенты-родители и агенты-потомки.

В данной модели рассматриваются три типа условий эволюционного проектирования агентов:

1) Условия взаимодействия агентов-родителей, которые определяют различные варианты (схемы) взаимодействий – паритетные (равноправные) и иерархические. Эти условия определяются параметром общего ресурса агента (точнее соотношением между ресурсами).

◆ Если  $a_i \approx a_j$ , то отношения паритетные.

◆ Если  $a_i \gg a_j$ , то отношения иерархические.

2) Условия формирования агента – потомка

Пусть  $a_n$  – это общий ресурс потомка. Тогда:

а)  $a_n \leq T(b_i, b_j)$  – это условие образования потомка при взаимодействии родителей по сценарию «Ассоциация», где  $T$  – треугольная норма, т.е. общий ресурс агента-потомка меньше каждого из вкладываемых ресурсов родителей (наследование с «высоким налогом»), причем  $b_i + b_j \leq \min(a_i^*, a_j^*)$ ;

б)  $T(b_i, b_j) \leq a_n \leq S(b_i, b_j)$  – условие образования потомка при взаимодействии родителей по сценарию «Комбинация», где  $T$  – треугольная норма,  $S$  – треугольная конорма, т.е. общий ресурс агента-потомка меньше одного из вкладываемых ресурсов родителей и больше другого из вкладываемых ресурсов родителей (наследование со «средним налогом»), при этом  $\min(a_i^*, a_j^*) \leq b_i + b_j \leq \max(a_i^*, a_j^*)$ ;

в)  $a_n \geq S(b_i, b_j)$  – это условие образования потомка при взаимодействии по сценарию «Селективное объединение» или «Слияние», где  $S$  – треугольная конорма, т.е. общий ресурс агента-потомка больше каждого из вкладываемых ресурсов родителей (наследование с «низким налогом»), при этом  $b_i + b_j \geq \max(a_i^*, a_j^*)$ ;

3) Условия выживания агентов.

◆ оставшийся общий ресурс у родителя должен быть выше некоторого порога  $a_i^* \geq a_0$ ;

◆ образованный потомок должен иметь общий ресурс выше некоторого порога  $a_n \geq a_0$ .

**Заключение.** Общая методика эволюционного проектирования искусственных агентов и многоагентных систем построена. При ее разработке использованы понятия генотипа и фенотипа агентов: генотип связывается с наследованием ресурса агентов-родителей, а фенотип с условиями (правилами) их взаимодействия. Три типа условий нечеткого эволюционного проектирования агентов сформулированы: условия взаимодействия агентов-родителей (условия скрещивания).

Исследования предложенной модели проектирования многоагентных систем проводятся в настоящее время, определяются условия формирования агентов-потомков с использованием аппарата треугольных норм и конорм, необходимые условия выживания. Гибридные нечетко-эволюционные модели формирования агентов и агентств в контексте разработки эволюционирующих многоагентных систем предполагается сформировать в результате.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Tarasov B.B.* От многоагентных систем к интеллектуальным организациям. – М.: Эдиториал УРСС, 2002.
2. *Russel S.J., Norvig P.* Artificial Intelligence. A modern Approach. – Prentice Hall, 2003.
3. *Luger G.F.* Artificial Intelligence. Structures and Strategies for Complex Problem Solving. – 6th ed. Addison Wesley, Boston MA, 2009.
4. *Wooldridge M.* An Introduction to Multi-Agent Systems. – 2nd Ed. – New York: John Wiley and Sons, 2009.
5. *Wooldridge M., Jennings N.* Agent Theories, Architectures and Languages: a Survey // Intelligent Agents: ECAI-94 Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages / ed. by M. Wooldridge, N. Jennings. – Berlin: Springer Verlag, 1995.
6. *Brooks R.* Intelligence Without Representation // Artificial Intelligence. – 1991. – Vol. 47. – P. 139-159.
7. *Holland, J.H.* Adaptation in Natural and Artificial Systems. – Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1975.
8. *Редько В.Г.* Моделирование когнитивной эволюции. На пути к теории эволюционного происхождения мышления. – М.: Изд-во УРСС, 2015.
9. *Langton C.* (Ed.). Artificial Life. – New York: Addison-Wesley, 1988.
10. *Colomi A., Dorigo M., Maniezzo V.* Distributed Optimization by Ant Colonies // Proceedings of the First European Conference on Artificial Life, Paris, France, F. Varela and P. Bourguine (Eds.). – Elsevier Publishing, 1991. – P. 134-142.
11. *Colomi A., Dorigo M., Maniezzo V.* The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents. Tech.Rep.IRIDIA/94-28, Université Libre de Bruxelles, Belgium, 1996.
12. *Bonabeau E., Dorigo M., Theraulaz G.* Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems. – New York: Oxford University Press, 1999.
13. *Гладков Л.А., Курейчик В.М., Курейчик В.В., Сороколетов П.В.* Биоинспирированные методы в оптимизации. – М.: Физматлит, 2009.
14. *Tarasov B.B.* Агенты, многоагентные системы, виртуальные сообщества: стратегическое направление в информатике и искусственном интеллекте // Новости искусственного интеллекта. – 1998. – № 2. – С. 55-63.
15. *Tarasov B.B.* Восходящее и нисходящее проектирование многоагентных систем // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. – Самара: Самарский научный центр РАН, 1999. – С. 268-274.
16. *Wooldridge M., Jennings N.R., Kinny D.* The Gaia Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design // Autonomous Agents and Multi-Agent Systems. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000. – Vol. 3. – P. 285-312.
17. *Shoham Y.* Agent Oriented Programming // Artificial Intelligence. – 1993. – Vol. 60, No. 1. – P. 51-92.
18. *Tarasov B.B., Голубин А.В.* Эволюционное проектирование: на границе между проектированием и самоорганизацией // Известия ТРТУ. – 2006. – № 8 (63). – С. 77-82.
19. *Прангишвили И.В.* Системный подход и общесистемные закономерности. – М.: СИНТЕГ, 2000.
20. *Борисов В.В., Круглов В.В., Федюлов А.С.* Нечеткие модели и сети. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007.
21. *Gladkov L.A., Gladkova N.V., Gusev N.Y., Semushina N.S.* Integrated approach to the solution of computer-aided design problems // Proceedings of the 4th International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (ITI’19). Advances in Intelligent Systems and Computing. – Vol. 875. – Springer, Cham, 2020. – P. 246-257.
22. *Gladkov L.A., Gladkova N.V., Gromov S.A.* Hybrid models of solving optimization tasks on the basis of integrating evolutionary design and multiagent technologies // Advances in Intelligent Systems and Computing. – Vol. 985. Artificial Intelligence Methods on Intelligent Algorithms. Proceeding of 8th Computer Science On-line Conference CSOC 2019. – Vol. 2. – Springer Nature Switzerland AG 2019. – P. 381-391.
23. *Gladkov L.A., Gladkova N.V., Dmitrienko N.A.* Integrated Model for Constructing Evolving Multi-Agent Subsystems // Proceedings of International Russian Automation Conference “RusAutoCon 2019”.
24. *Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М.* Генетические алгоритмы. – М.: Физматлит, 2010.

## REFERENCES

1. *Tarasov B.B.* Ot mnogoagentnykh sistem k intellektual'nym organizatsiyam [From multi-agent systems to intelligent organizations]. Moscow: Editorial URSS, 2002.
2. *Russel S.J., Norvig P.* Artificial Intelligence. A modern Approach. Prentice Hall, 2003.
3. *Luger G.F.* Artificial Intelligence. Structures and Strategies for Complex Problem Solving. 6th ed. Addison Wesley, Boston MA, 2009.
4. *Wooldridge M.* An Introduction to Multi-Agent Systems. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons, 2009.
5. *Wooldridge M., Jennings N.* Agent Theories, Architectures and Languages: a Survey, *Intelligent Agents: ECAI-94 Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages*, ed. by M. Wooldridge, N. Jennings. Berlin: Springer Verlag, 1995.
6. *Brooks R.* Intelligence Without Representation, *Artificial Intelligence*, 1991, Vol. 47, pp. 139-159.
7. *Holland, J.H.* Adaptation in Natural and Artificial Systems. Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1975.
8. *Red'ko V.G.* Modelirovanie kognitivnoy evolyutsii. Na puti k teorii evolyutsionnogo proiskhozhdeniya myshleniya [Modeling cognitive evolution. On the way to the theory of the evolutionary origin of thinking]. Moscow: Izd-vo URSS, 2015.
9. *Langton C.* (Ed.). Artificial Life. New York: Addison-Wesley, 1988.
10. *Colomi A., Dorigo M., Maniezzo V.* Distributed Optimization by Ant Colonies, *Proceedings of the First European Conference on Artificial Life, Paris, France*, F. Varela and P. Bourgine (Eds.). Elsevier Publishing, 1991, pp. 134-142.
11. *Colomi A., Dorigo M., Maniezzo V.* The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents. Tech.Rep.IRIDIA/94-28, Université Libre de Bruxelles, Belgium, 1996.
12. *Bonabeau E., Dorigo M., Theraulaz G.* Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems. New York: Oxford University Press, 1999.
13. *Gladkov L.A., Kureychik V.M., Kureychik V.V., Sorokoletov P.V.* Bioinspirirovannye metody v optimizatsii [Bioinspired methods in optimization]. Moscow: Fizmatlit, 2009.
14. *Tarasov B.B.* Agenty, mnogoagentnye sistemy, virtual'nye soobshchestva: strategicheskoe napravlenie v informatike i iskusstvennom intellekte [Agents, multi-agent systems, virtual communities: strategic direction in computer science and artificial intelligence], *Novosti iskusstvennogo intellekta* [Artificial intelligence news], 1998, No. 2, pp. 55-63.
15. *Tarasov B.B.* Voskhodyashchee i niskhodyashchee proektirovanie mnogoagentnykh sistem [Upstream and downstream design of multi-agent systems], *Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnykh sistemakh* [Problems of management and modeling in complex systems]. Samara: Samarskiy nauchnyy tsentr RAN, 1999, pp. 268-274.
16. *Wooldridge M., Jennings N.R., Kinny D.* The Gaia Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design, *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000, Vol. 3, pp. 285-312.
17. *Shoham Y.* Agent Oriented Programming, *Artificial Intelligence*, 1993, Vol. 60, No. 1, pp. 51-92.
18. *Tarasov B.B., Golubin A.V.* Evolyutsionnoe proektirovanie: na granitse mezhdu proektirovaniem i samoorganizatsiyey [Evolutionary design: on the border between design and self-organization], *Izvestiya TRTU* [Izvestiya TSURE], 2006, No. 8 (63), pp. 77-82.
19. *Prangishvili I.V.* Sistemnyy podkhod i obshchesistmenye zakonomernosti [System approach and system-wide regularities]. Moscow: SINTEG, 2000.
20. *Borisov V.V., Kruglov V.V., Fedulov A.S.* Nechetkie modeli i seti [Fuzzy models and networks]. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 2007.
21. *Gladkov L.A., Gladkova N.V., Gusev N.Y., Semushina N.S.* Integrated approach to the solution of computer-aided design problems, *Proceedings of the 4th International Scientific Conference "Intelligent Information Technologies for Industry" (IITI'19). Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 875. Springer, Cham, 2020, pp. 246-257.
22. *Gladkov L.A., Gladkova N.V., Gromov S.A.* Hybrid models of solving optimization tasks on the basis of integrating evolutionary design and multiagent technologies, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 985. *Artificial Intelligence Methods on Intelligent Algorithms. Proceeding of 8th Computer Science On-line Conference CSOC 2019*, Vol. 2. Springer Nature Switzerland AG 2019, pp. 381-391.

23. Gladkov L.A., Gladkova N.V., Dmitrienko N.A. Integrated Model for Constructing Evolving Multi-Agent Subsystems, *Proceedings of International Russian Automation Conference "RusAutoCon 2019"*.
24. Gladkov L.A., Kureychik V.V., Kureychik V.M. Geneticheskie algoritmy [Genetic algorithm]. Moscow: Fizmatlit, 2010.

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н., профессор В.Б. Тарасов.

**Гладков Леонид Анатольевич** – Южный федеральный университет; e-mail: leo\_gladkov@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371625; кафедра САПР; доцент.

**Гладкова Надежда Викторовна** – e-mail: nadyusha.gladkova77@mail.ru; кафедра САПР; старший преподаватель.

**Gladkov Leonid Anatol'evich** – Southern Federal University; e-mail: leo\_gladkov@mail.ru; 44, Nekrasovskiy lane, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371625; CAD department; associate professor.

**Gladkova Nadezhda Viktorovna** – e-mail: nadyusha.gladkova77@mail.ru; CAD department; senior teacher.

УДК 004.932.72

DOI 10.18522/2311-3103-2020-4-59-70

**А.Н. Каркищенко, В.Б. Мнухин**

### **МЕТОД ДЕТЕКЦИИ ХАРАКТЕРНЫХ ТОЧЕК ИЗОБРАЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЗНАКОВОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ\***

*Целью исследования является разработка метода детекции характерных точек цифрового изображения, обладающего устойчивостью по отношению к определенному классу преобразований яркости. Необходимость в подобном методе обусловлена потребностями выделения ключевых точек изображений в системах видеонаблюдения и распознавания лиц, зачастую работающих в условиях меняющейся освещенности. Особенностью предлагаемого метода, отличающего его от ряда известных подходов к проблеме выделения характерных точек, является использование так называемого знакового представления изображений. В отличие от обычного задания цифрового изображения дискретной функцией яркости, при знаковом представлении изображение задается в виде ориентированного графа, соответствующего бинарному отношению увеличения яркости на множестве пикселей. Тем самым, знаковое представление определяет не единственное изображение, а множество изображений, функции яркости которых связаны строго монотонными преобразованиями яркости. Именно это свойство знакового представления определяет его эффективность для решения задач, обусловленных поставленной выше целью. Особенностью рассматриваемого метода является особый подход к интерпретации характерных точек изображения. Это понятие в теории обработки изображений не является строго определенным; можно сказать, что характерная точка отличается повышенной «сложностью» структуры изображения в её окрестности. Поскольку знаковое представление изображения может быть представлено в виде ориентированного графа, в данной работе для оценки меры сложности локальной окрестности его вершин предложено использовать известный в спектральной теории графов метод ранжирования, основанный на теореме Перрона-Фробениуса. Его суть состоит в том, что в качестве меры сложности вершины выступает значение компоненты так называемого перроновского собственного вектора матрицы смежностей данного графа. Для проведения экспериментальных исследо-*

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-07-00873.