

УДК 681.3, 004.85, 004.89



К. А. Ручкин

ДонНТУ, г. Донецк, Украина, c\_ruchkin@mail.ru

## ГИБРИДНАЯ СТРАТЕГИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АГЕНТОВ В МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

В работе рассмотрена задача поведения коллектива агентов в мультиагентной системе прогнозирования нелинейной динамической системы в режиме реального времени. Подробно изучено поведение основных агентов системы (интерфейсного агента, информационного агента, агента-распознавателя), их роль и взаимодействие друг с другом. Проанализированы существующие стратегии взаимодействия интеллектуальных агентов. Применительно к рассматриваемой мультиагентной системе разработана гибридная стратегия взаимодействия агентов. Для оценки результата работы агентов вводятся критерии эффективности и адекватности поведения агентов.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ, МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ, РАСПРЕДЕЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ, ЗАДАЧА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ, НЕЛИНЕЙНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

### Введение

Задача прогнозирования поведения нелинейной динамической системы в режиме реального времени является одной из сложных и трудно формализуемых исследовательских задач, для решения которой в последнее время успешно используются методы распределенного искусственного интеллекта [1–3]. Практическая реализация этих методов представляет собой мультиагентную систему с множеством интеллектуальных агентов с индивидуальным поведением. При этом важным аспектом функционирования мультиагентной системы остаётся задача организации коллективного взаимодействия агентов между собой. В данной работе три основных вида взаимодействия агентов – кооперативное, конкурирующие и гибридное – рассмотрены в рамках организации взаимодействия агентов в мультиагентной системе прогнозирования поведения нелинейных динамических систем в режиме реального времени.

### 1. Анализ литературы

В настоящее время исследователи уделяют достаточно много внимания задачам организации коллективного взаимодействия в мультиагентных системах различного предназначения. Наиболее актуальными среди них, являются системы субоптимального поиска информации, принятия нетривиальных решений, распределенного решения задач распознавания и обработки изображений. Так, например, можно отметить работы [4–16]. Однако проблема взаимодействия между агентами остаётся по-прежнему актуальной задачей, поскольку напрямую зависит от предметной области. Наиболее используемыми являются стратегии кооперативного, конкурирующего и гибридного взаимодействия. Вопросы кооперативного взаимодействия агентов рассмотрены в работах [5, 6, 7, 10], конкурирующего взаимодействия в работах [6, 9], а гибридное взаимодействие в [6, 8, 9]. Рассмотрим некоторые из этих работ более подробно.

В работе [4] проанализированы особенности применения технологий распределённого искусственного интеллекта к согласованию интересов исполнителей работ. Построены модель, архитектура и алгоритмы функционирования мультиагентной системы поддержки принятия решений, основанной на распределенном взаимодействии интеллектуальных агентов.

В работе [5] рассмотрены огромные многоагентные системы с кооперативным эмерджентным глобальным поведением, которые представляют собой новую парадигму в проектировании и разработке программных систем для решения сложных задач. С одной стороны, свойства эмерджентности, нелинейности глобального поведения лежат в основе глобальной устойчивости, гибкости и самоорганизации многоагентных систем. С другой стороны, эти свойства делают традиционный подход к проектированию достаточно сложным и трудоёмким. В работе идет речь о разработке кооперативного поведения в реактивных многоагентных системах с использованием эволюционных вычислений. В работе показано, как свойство эмерджентности может быть использовано для разработки глобального поведения.

Статья [6] посвящена вопросам кооперации и конкуренции агентов в мультиагентной среде. Часто в природе несколько агентов в командах сотрудничают и конкурируют друг с другом одновременно, например, в сообществе хищник-жертва. В данной работе рассмотрено одновременное кооперативное и соревновательное сосуществование в системе хищник-жертва; впервые предлагается использовать расширенные ESP архитектуры, состоящие из нескольких взаимодействующих растущих нейронных сетей для управления поведением хищника и жертвы. Эти архитектуры успешно реализуют иерархическое сотрудничество и конкуренцию в командах жертв и хищников и приводят их к устойчивому сосуществованию.

В статье [7] обсуждается методология проектирования кооперативного планирования пути динамических многоагентных систем с пространственными и временными ограничениями. Кооперативное поведение многоагентных систем изложено в терминах теории оптимизации. Способы решения задачи кооперации построены на основе дифференциального подхода. В рамках задачи планирования сотрудничества предлагается рассмотреть три сценария поведения агентов, учитывающих динамику агента, пространственные и временные ограничения.

Автоматизированные интеллектуальные агенты, населяющие общую среду, должны сотрудничать и координировать свою деятельность друг с другом [8]. Совместное сотрудничество (а не только координация) может улучшить производительность отдельных агентов и общее поведение системы. Исследования в области распределенного искусственного интеллекта решают проблему создания автоматизированных интеллектуальных систем, которые могут эффективно взаимодействовать друг с другом. В работе показано, что для того чтобы спроектировать поведение скоординированных интеллектуальных агентов, необходимо объединить методы искусственного интеллекта с методами теории игр, исследования операций, физики и философии, так называемая multi-entity методология. В работе продемонстрированы преимущества в применении multi-entity методологии и адаптация, модификация и расширения, необходимые для решения проблемы распределенного искусственного интеллекта.

В статье [9] описывается процедура проведения автоматизированных переговоров, основанная на подходе агрегации – дисагрегации. Агрегация или агрегирование – процесс объединения элементов в одну систему, укрупнение системы. Переговоры проводятся на основе ориентированного графа, называемого графом переговоров. На этом графе узлы представляют некоторые предложения (состояние переговоров), а дуги представляют некоторые действия привлеченных агентов. Агенты оснащены многокритериальной моделью принятия решений. На основании графа переговоров агент может сделать предложение, используя свои строго индивидуальные модели проведения переговоров (агрегации нескольких критериев), в то время как тот же агент может получить встречное предложение коллеги. В этой статье такая модель принимает форму функции добавки с множеством атрибутов. На этом основании и с помощью множественной линейной регрессионной модели агенты способны произвести первые оценки для параметров модели, которую предпочитает их коллега (шаг дисагрегации – шаг разукрупнения). Используя такие оценки, агенты создают усовершенствованную модель предпочтения, включая в нее модель предпочтения их коллегами. Затем они

вычисляют новое предложение на основе усовершенствованной модели. Процедура повторяется, пока не будет достигнут консенсус, то есть для всех переговорных агентов нужно сделать то же самое предложение.

Научные исследования и практика мультиагентных систем фокусируется на построении вычислительных структур, принципов и моделей того, чтобы и малые и большие интеллектуальные общества полуавтономных агентов смогли эффективно взаимодействовать для достижения своих целей [10]. В данной статье представлен личный взгляд автора на ключевые области приложения для таких кооперативных мультиагентных систем, на основные интеллектуальные проблемы в создании таких систем, на основные принципы, регулирующие их дизайн, и на основные направления и задачи будущих разработок в этой области.

Таким образом, проведенный анализ показывает актуальность и эффективность применения кооперативных, конкурирующих и гибридных стратегий взаимодействия агентов в мультиагентной среде.

## 2. Постановка задачи

В работе рассматривается задача поведения коллектива агентов в мультиагентной системе прогнозирования нелинейной динамической системы в режиме реального времени (МАС ПНДСРВ) [1]. Мультиагентную систему прогнозирования можно рассматривать как систему поддержки принятия решений при выборе стратегии для оптимизации поиска, детектирования и распознавания точных решений рассматриваемой динамической системы на специальных графических изображениях. В дополнение к работе [2] будет подробно изучено поведение каждого из семнадцати агентов системы прогнозирования, их роль и взаимодействие друг с другом. Проанализированы существующие стратегии взаимодействия интеллектуальных агентов. Проектирование общего поведения коллектива агентов будет основано на трех основных стратегиях взаимодействия в мультиагентной системе – кооперативной, конкурентной и гибридной.

Таким образом, целью работы является построение общей стратегии поведения коллектива агентов в мультиагентной системе.

Объектом исследования является мультиагентная система прогнозирования.

Предметом исследования являются стратегии поведения коллектива агентов.

В работе планируется рассмотреть следующие задачи:

- исследовать поведение агентов мультиагентной системы прогнозирования;
- изучить существующие стратегии взаимодействия агентов в мультиагентных системах;
- разработать стратегию поведения агентов в системе прогнозирования.

### 3. Коллективное поведение агентов

К основным видам взаимодействия между агентами относятся: *кооперация* (сотрудничество); *конкуренция* (конфронтация, конфликт); *компромисс* (учет интересов других агентов); *конформизм* (отказ от своих интересов в пользу других); *уклонение от взаимодействия*. Возможны гибридные формы взаимодействия агентов.

Рассмотрим основные виды и типы коллективного взаимодействия агентов более подробно. Самыми общими видами взаимодействия агентов являются – содействие, противодействие или бездействие. Так, содействие агентов друг другу означает их взаимопомощь, при этом действия одних агентов направлены на оказание помощи другим агентам. В этом случае обязательно происходит согласование индивидуальных действий в интересах усиления конечного эффекта. Содействие перерастает в кооперацию при наличии общей цели, взаимной адаптации и использовании возможностей друг друга. Наоборот, в случае противодействия агенты мешают друг другу, препятствуют достижению индивидуальных целей каждого агента. Также возможны и другие промежуточные ситуации. Наиболее очевидной является ситуация взаимного уклонения от взаимодействия, например, ввиду антипатии агентов. Кроме того, содействие может быть не только двунаправленным, но и однонаправленным (вырожденный случай). При этом один агент способствует достижению целей другого, а второй уклоняется от взаимодействия. Иногда встречается и обратная ситуация однонаправленного противодействия, когда один агент препятствует действиям другого, а тот, в свою очередь, уклоняется от встречи с первым. Наконец, при контрастном взаимодействии получаем противоречие: один агент старается содействовать другому, а тот активно ему противодействует.

Наиболее типичными являются такие виды взаимодействия как кооперация и конкуренция. Выделяются две разновидности кооперативных отношений: союзничество (аддитивный эффект объединения агентов) и партнерство (мультипликативный эффект объединения агентов). Важным показателем степени кооперации служит количество включенных в нее агентов. Конкуренция характеризуется отрицательным эффектом объединения агентов. Интеллектуальные агенты сотрудничают с другими агентами, преследуя при этом определенные цели. Кооперацию в сообществе реактивных агентов можно назвать непреднамеренной, если она базируется на естественных реакциях отдельных агентов, направленных на выживание вида. Показатели выживания отражают способность агента сохранять свою целостность при воздействиях факторов, которые могут ее разрушить. Кооперация между агентами может

возникать на принудительных началах (директивная кооперация) или на основе добровольных отношений (ситуативная кооперация). Эти два вида сотрудничества часто представлены так называемой контрактной формой кооперации, когда взаимодействие агентов регламентируется набором формальных или неформальных соглашений между ними.

Также основными характеристиками отношений между агентами являются направленность, избирательность, интенсивность и динамичность. Направленность взаимодействия указывает на положительное или отрицательное взаимодействие агентов. Примером направленности взаимодействия агентов является кооперация или конкуренция; сотрудничество или конфронтация; координация или субординация и т. п. Избирательность проявляется между агентами, которые каким-либо образом соответствуют друг другу. При этом агенты могут быть связаны в одном отношении и независимы – в другом отношении. Интенсивность отношений между агентами характеризуется определенной силой. Динамичность отношений проявляется, если наличие, сила и направленность взаимодействий изменяются с течением времени

Взаимодействие агентов также обусловлено целым рядом факторов, среди которых выделим: совместимость целей, взаимные обязательства, отношение к ресурсам, привлечение опыта.

Первый фактор обычно порождает взаимодействие по типу кооперации или сотрудничества. При этом следует выяснить, не ведет ли взаимодействие к снижению жизнеспособности отдельных агентов. Несовместимость целей или убеждений обычно порождает конфликты, позитивная роль которых заключается в стимулировании процессов развития.

Обязательства являются одним из факторов, которые позволяют упорядочить хаотические взаимодействия агентов. С их помощью можно предвидеть поведение других агентов, прогнозировать будущее и планировать собственные действия. Можно выделить следующие группы обязательств: обязательства перед другими агентами; обязательства агента перед группой; обязательства группы перед агентом; обязательства агента перед самим собой.

Задачи распределения долей рынка, затрат и прибылей совместных предприятий можно рассматривать как примеры взаимодействия, обусловленного общими ресурсами. Ограниченность ресурсов, которые используются многими агентами, обычно порождает конфликты. Одним из самых простых и эффективных способов разрешения подобных конфликтов является право сильного – сильный агент отбирает ресурсы у слабых. Более тонкие способы разрешения конфликтов обеспечивают переговоры, направленные на достижение

компромиссов, в которых учитываются интересы всех агентов.

Каждый агент обладает ограниченным набором знаний, необходимых ему для реализации собственных и общих целей. В связи с этим ему приходится взаимодействовать с другими агентами. При этом возможны различные ситуации: агент способен выполнить задачу самостоятельно; агент может обойтись без посторонней помощи, но кооперация позволит решить задачу более эффективным способом; агент не способен решить задачу в одиночку. В зависимости от ситуации агенты выбирают тип взаимодействия и могут проявлять разную степень заинтересованности в сотрудничестве.

Перечисленные факторы могут приводить к разным формам взаимодействия между агентами. Например, простое сотрудничество, которое предполагает интеграцию опыта отдельных агентов (распределение задач, обмен знаниями и т.п.) без специальных мер по координации их действий; координируемое сотрудничество, когда агенты вынуждены согласовывать свои действия (иногда привлекая специального агента-координатора) для того, чтобы эффективно использовать ресурсы и собственный опыт; непродуктивное сотрудничество, когда агенты совместно используют ресурсы или решают общую проблему, не обмениваясь опытом и мешая друг другу.

Таким образом, при построении взаимодействия между агентами необходимо решить следующие задачи: провести идентификацию ситуации взаимодействия агентов; выделить основные роли и их распределение между агентами; определить число и типы взаимодействующих агентов; построить формальную модель взаимодействия; определить набор возможных стратегий поведения агентов; сформировать множество коммуникативных действий.

#### 4. Интерфейсный агент

Для проектирования разрабатываемой мультиагентной системы выбран язык UML, который благодаря включению в последние версии некоторых специфических понятий подходит не только для объектно-ориентированного, а и для агентно-ориентированного подхода к проектированию.

Формальное представление целей, обязательств, желаний и намерений, а также всех остальных характеристик составляет основу ментальной модели интеллектуального агента, которая обеспечивает его мотивированное поведение в автономном режиме.

Первым звеном в цепи функционирования проектируемой МАС есть взаимодействие с системой моделирования Modeler [3], которое осуществляется с помощью интерфейсного агента.

Схема работы интерфейсного агента приведена на рис. 1. Она показывает, что данный агент

функционирует в цикле обработки запросов от других агентов — заказчиков. По сути, интерфейсный агент является сервисом, который предоставляет клиентам ресурсы Modeler.

Все запросы по отношению к Modeler можно разделить на два типа: запросы на данные и управляющие запросы. Управляющие запросы предусматривают передачу Modeler некоторой простой команды (например, команды для начала просчета новой траектории) и не требуют обратной связи. Запросы на данные предусматривают получение текущих графических отображений исследуемой модели от Modeler.

Предполагается, что Modeler передает свои данные в «сыром», неструктурированном виде для упрощения и ускорения коммуникации между Modeler и многоагентной системой. Таким образом, интерфейсному агенту также необходимо верифицировать полученные данные (проверить на соответствие указанного формата передачи) и структурировать данные (представить совокупность точек полученного изображения в виде двумерной матрицы) для удобства дальнейшей обработки другими агентами.

При возникновении ошибки коммуникации вдоль взаимодействия с Modeler (а также ошибки в формате передачи данных) интерфейсный агент извещает о ней блок управления (для прекращения работы системы), идентифицирует ошибку и сообщает о ней пользователю через графический интерфейс.

При прекращении своей работы интерфейсный агент должен завершить сессию работы с Modeler и корректно закрыть канал связи с ним.

#### 5. Информационный агент

Следующим звеном в цепи обработки данных является информационный агент, который предоставляет высокоуровневый интерфейс доступа к данным Modeler и выполняет их предобработку.

Схема работы информационного агента приведена на рис. 2. Как и интерфейсный агент, информационный агент работает в цикле обработки запросов других агентов. При этом интерфейсный агент используется ими в качестве ресурсной базы.

Основная задача информационного агента — выполнение запросов на доступ к графическим отображениям исследуемой модели. При этом главными клиентами информационного агента являются агенты, которые непосредственно выполняют распознавание траекторий.

Визуальные отображения модели содержат не только изображение текущей траектории, но и точки предыдущих траекторий, сетку и другие графические элементы. Для упрощения работы агентов, которые занимаются распознаванием траекторий, информационный агент проводит обработку

изображений, убирая из них лишние элементы. Для этого каждое изображения сравнивается с другим изображением этого же графического отображения (внешняя или внутренняя секция, сфера или поверхность), полученным к началу просчета текущей траектории. Другими словами, из текущего изображения «отнимается» начальное, и в результате на изображении остаются лишь точки траектории, расчет которой длится в данный момент.

Таким же образом можно получить, например, только те точки текущей траектории, которые появились с момента получения предыдущего «снимка» графического отображения.

Для анализа трехмерных моделей (сферы и поверхности) необходимо получить несколько изображений (проекций), сделанных из разных точек

наблюдения. В этих случаях информационный агент должен выполнить несколько запросов к интерфейсному агенту для сбора всех необходимых данных. Количество таких изображений может быть изменено в зависимости от необходимой эффективности распознавания и имеющегося лимита времени: с повышением количества «снимков» достоверность успешного распознавания может расти, но неизбежно увеличатся и затраты на его проведение.

Кроме того, информационный агент может также осуществлять конвертирование запрашиваемых изображений в формат, требуемый клиентом (в случае, если разные агенты могут требовать изображения в разных форматах), и выполнять другую вспомогательную работу, указанную клиентом.

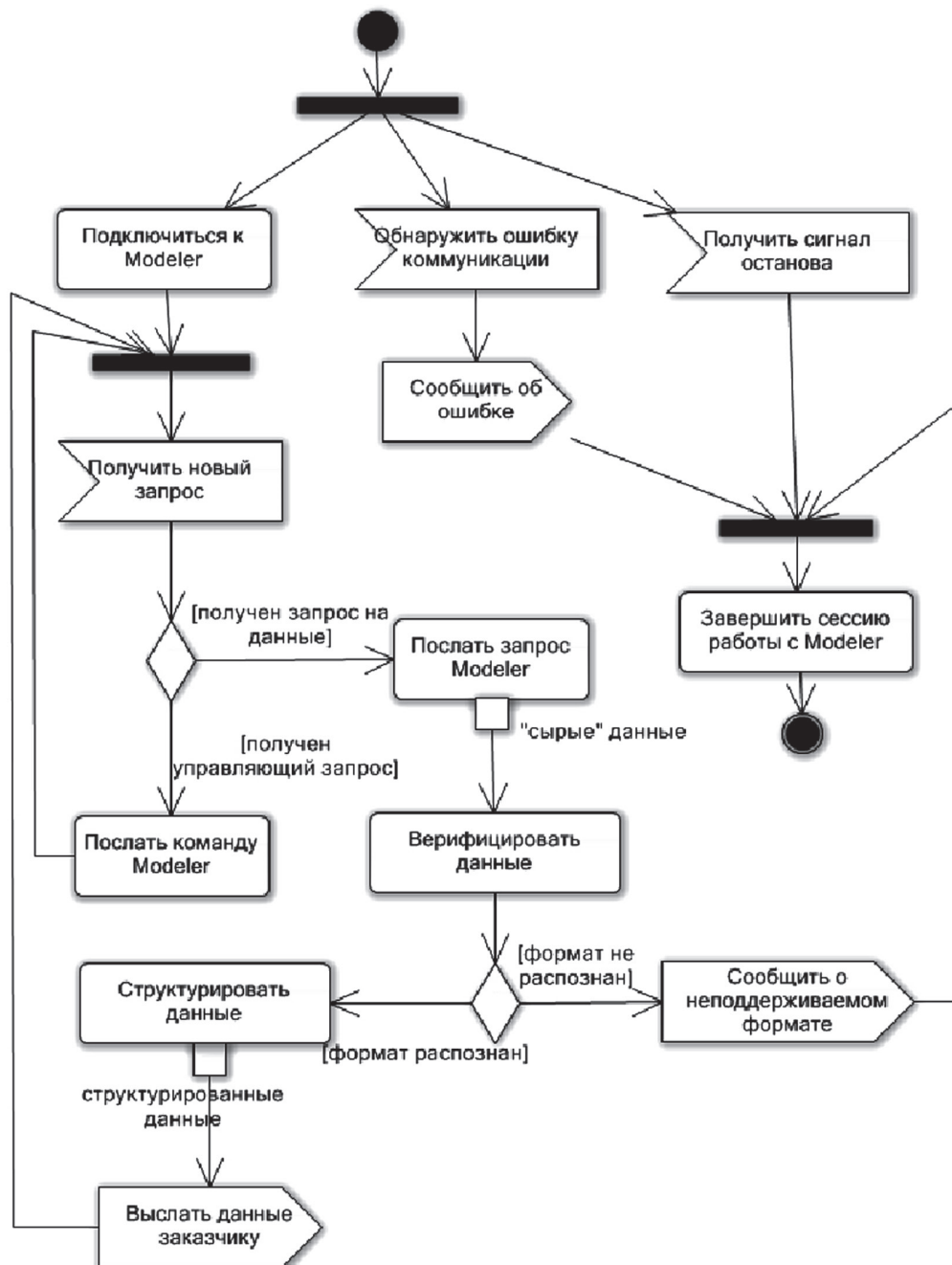


Рис. 1. Диаграмма деятельности интерфейсного агента

Перед началом просчета новой траектории необходимо обновить начальные изображения, которые используются в процессе обработки (т.е. включить в них точки последней просчитанной траектории). Эту работу информационный агент должен выполнять при получении соответствующего сигнала из блока управления.

Так как разные агенты могут потребовать одни и те же самые графические данные на протяжении сравнительно малого промежутка времени, имеет смысл кэшировать данные, обработанные информационным агентом. Т.е. результаты каждого запроса могут некоторое время сохраняться в агенте для сокращения числа возможных обращений к интерфейсному агенту и, соответственно, к Modeler.

Для оптимального кэширования информационный агент может учитывать скорость прироста новых точек на каждом изображении отдельно и в

зависимости от этого регулировать срок хранения соответствующих данных. Если любые изображения мало изменяются со временем в рамках просчета текущей траектории, можно снизить частоту их обновления, и наоборот.

### 6. Агент-распознаватель

Распознавание траекторий выполняется в блоке распознавания, который состоит из четырех групп агентов – по одной на каждое графическое отображение исследуемой модели. Каждая группа включает в себя три агента-распознавателя – по одному на каждый тип траекторий (регулярная, с малой хаотичностью, хаотичная).

Схема работы агента-распознавателя приведена на рис. 3. В общем случае она представляет собой проведение периодических попыток распознавания заданного типа траектории на подконтрольных изображениях исследуемой модели.

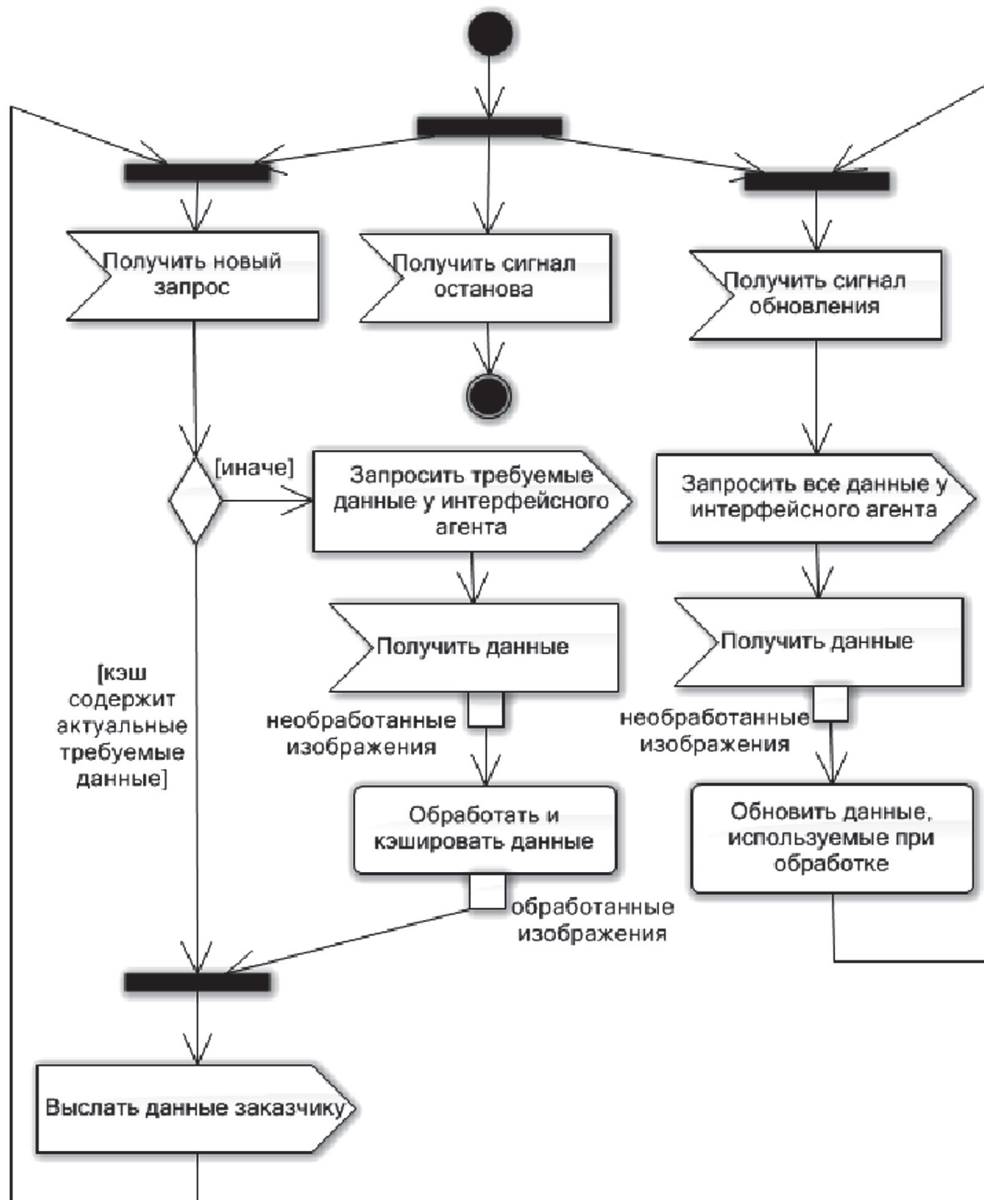


Рис. 2. Диаграмма деятельности информационного агента

Количество конкретных типов агентов-распознавателей зависит от используемых методов распознавания для разных типов траекторий на разных графических отображениях модели. В частности, для распознавания траекторий на двумерных отображениях необходимо обработать только одно изображение, тогда как для трехмерных отображений нужно последовательно обработать несколько «снимков» (проекций) объемной фигуры, сделанных из разных точек наблюдения.

Предполагается, что в результате работы агента-распознавателя вычисляется значение вероятности того, что текущая траектория принадлежит к типу, который распознается данными агентом.

Сначала агент-распознаватель находится в режиме ожидания, который прерывается сигналом блока управления и информирует агента о начале расчета новой траектории. Тогда агент-распознаватель переходит в активный режим, периодически обновляя изображение подконтрольного отображения модели с помощью информационного агента и

стараясь распознать на них заданный тип траектории. Как только блок управления сообщает о том, что расчет текущей траектории завершен, агент-распознаватель снова переходит в режим ожидания.

Скорость появления новых точек траектории на изображении может изменяться в зависимости от характеристик исследуемой модели и параметров расчета. Поэтому частоту проведения попыток распознавания имеет смысл регулировать – это позволяет снизить потребление процессорного времени для медленно протекающего расчета и повысить отклик системы (и, соответственно, ее быстродействие) для быстро протекающего расчета.

Частота работы агента-распознавателя регулируется индивидуально для каждого отдельного графического отображения модели. Получив соответствующий сигнал, агент изменяет интервал срабатывания внутреннего таймера на указанный в сигнале.

В случае, если результат очередной попытки распознавания существенно отличается от

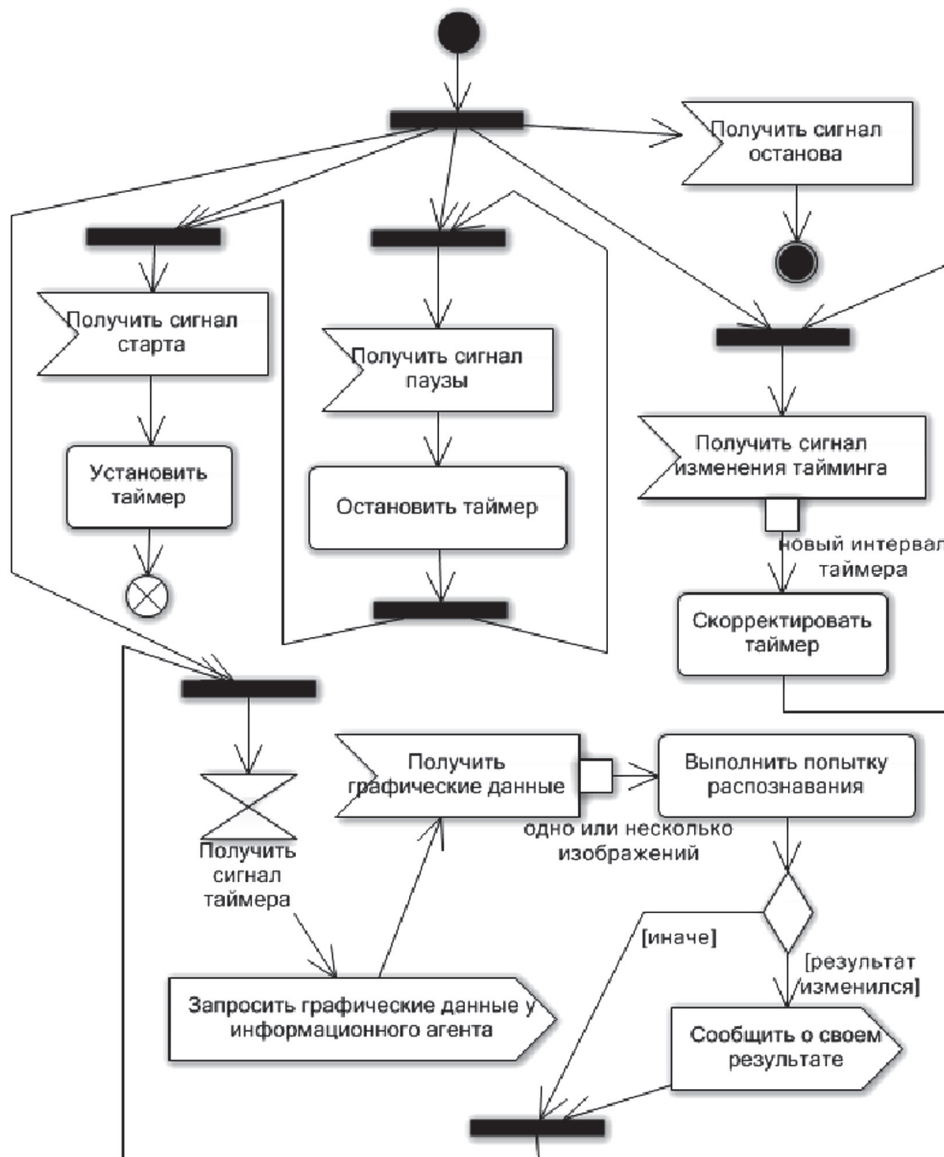


Рис. 3. Диаграмма деятельности агента-распознавателя

полученного прежде результата (что определяется агентом индивидуально), агент-распознаватель генерирует соответствующий сигнал, предназначенный блоку управления. Сначала принимается, что у агента нет определенной мысли по поводу того, принадлежит ли текущая траектория заданному в агенте типу. Поэтому начальное значение результата (вероятности соответствия) режима устанавливается равным 0,5.

Таким образом, на протяжении расчета очередной траектории активная группа агентов-распознавателей периодически обновляет свои намерения по поводу данной траектории и информирует об этом блок управления. На основании полученных результатов блок управления регулирует время просчета траектории и принимает решение относительно ее классификации. В этом блоке также регулируется и количество активных в данный момент групп агентов-распознавателей: сокращение их числа уменьшает потребление процессорного времени, а увеличение разрешает добиться большей эффективности распознавания в сложных случаях.

### 7. Критерии гибридного взаимодействия агентов

Обычно многоагентная система (МАС) состоит из множества агентов  $A$ , способных функционировать в некоторых средах  $E$ , находящихся в определенных отношениях  $R$  и взаимодействующих друг с другом, формируя некоторую организацию  $ORG$ , обладающую набором индивидуальных и совместных действий  $ACT$  (стратегий поведения и поступков), включая возможные коммуникативные действия  $SOM$ , и характеризуется возможностями эволюции  $EV$ .

Общая стратегия коллективного взаимодействия агентов в мультиагентной системе может быть сформулирована так. Группа интеллектуальных агентов первого типа решает задачу о принятии решения, взаимодействуя со средой и базой знаний. Если за приемлемое время агент не вырабатывает решение, то он посредством агента координатора обращается к другой группе агентов и передает данные и знания об уже проведенной работе. Другая (наименее загруженная) группа агентов формирует намерения в оказании помощи для решения поставленной задачи и сообщает об этом агенту-координатору. Также группа агентов сообщает о своей текущей эффективности. Исходя из этих значений, агент — координатор выбирает подходящую группу и передает ей задание на выполнение. Как только значение эффективности становится меньше заданного значения, группа перестает выполнять текущую задачу.

В данной системе агенты, реализующие свои собственные стратегии, обладают и коммуникативными свойствами. Т.е. в одной ситуации агенты

могут конкурировать друг с другом, а в другой — могут вступать в кооперацию. Поэтому целесообразно рассмотреть гибридную стратегию поведения агентов, учитывающую их конкурентные и кооперативные свойства.

Для оценки гибридных свойств агентов в мультиагентной системе введем два критерия (по аналогии с функцией полезности): эффективность работы агента и адекватность поведения (принимаемого им решения). Данные критерии позволят организовать общую стратегию взаимодействия агентов — распознавателей в мультиагентной системе прогнозирования. Как было уже отмечено выше, для распознавания характера траектории используются различные типы агентов-распознавателей.

Эффективностью работы агента считается его способность или возможность принять решение самостоятельно за приемлемое время. В начале расчетов, эффективность полагается равной единице, и с течением времени (с увеличением количества шагов) эффективность агента уменьшается и стремится к нулю. Если эффективность агента становится меньше определенного заданного значения, то работа такого агента считается неэффективной и останавливается. Эффективность группы агентов вычисляется как среднее значение эффективности каждого агента в группе. При выборе запуска агента — запускается тот агент, чья эффективность выше (больше).

Адекватностью работы агента называется правильность принятых самостоятельно решений. Вначале адекватность полагается равной единице, и изменяется от единицы до нуля вместе с изменением количества правильно принятых самостоятельно решений. Если адекватность равна нулю, это означает, что агент не смог принять правильно ни одного решения, а если адекватность равна единице, то все его решения правильные. Если агент не может самостоятельно принять решение, то он обращается за помощью к остальным агентам. При этом необходимо учитывать адекватность работы других агентов.

Эффективность работы агента позволяет оценить его конкурентные качества, а адекватность работы — его коллективные качества.

### Выводы

В работе рассмотрена задача поведения коллектива агентов мультиагентной системы прогнозирования поведения нелинейной динамической системы в режиме реального времени. Изучено поведение основных агентов системы (интерфейсного агента, информационного агента, агента-распознавателя), их роль и взаимодействие с другими агентами. Применительно к рассматриваемой системе исследованы существующие стратегии

взаимодействия специальных интеллектуальных агентов-распознавателей в мультиагентной системе – кооперативная, конкурентная и гибридная. Разработана гибридная стратегия взаимодействия агентов. Для оценки результата работы агентов введены критерии эффективности и адекватности поведения агентов.

Использование гибридной стратегии взаимодействия агентов является преимуществом в данной мультиагентной системе, поскольку в таком случае их поведение будет более гибким и адаптируемым под различные ситуации, т.к. весомую роль в задаче играет время проводимых исследований (время функционирования агента), которое определяется для каждого конкретного случая отдельно.

Дальнейшие исследования будут направлены на анализ функционирования вспомогательных агентов: тактового агента, управляющего агента, координирующего агента и на оценку их влияния на общую стратегию поведения системы, на описание общей стратегии с помощью математического аппарата.

**Список литературы:** 1. Ручкин К.А. Анализ и проектирование многоагентной системы прогнозирования поведения нелинейной динамической системы в режиме реального времени / К.А. Ручкин // Бионика интеллекта. – 2013. – №1(80). – С. 117–127. 2. Ручкин К.А. Разработка мультиагентной системы для прогнозирования поведения динамической системы в режиме реального времени / К.А. Ручкин, А.В. Данилов // Искусственный интеллект. – 2011. – №4. – С. 192–199. 3. Ручкин К.А. Разработка компьютерной системы для построения и анализа сечений Пуанкаре / К.А. Ручкин // Искусственный интеллект. – 2009. – №1. – С. 300–304. 4. Мультиагентная система поддержки принятия решений «Координатор» [Текст] / П. А. Паршиков, В. Ю. Гулаков, А. К. Буйвал // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2011. – N 1. – С. 71-78. – Библиогр.: с. 78 (8 назв.). 5. Marko Privosnik. Construction of Cooperative Behavior in Multi-Agent Systems / Marko Privosnik, Matija Marolt, Alenka Kavcic, Sasa Divjak // Proceedings of the WSEAS International Conferences, Skiathos, GREECE, September 25-28, 2002. 6. Rawal A. Constructing competitive and cooperative agent behavior using coevolution / Rawal A., Rajagopalan P.; Miikkulainen R. // IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games (CIG), Date 18-21, Aug. 2010, – pp. 107-114. 7. Feng-Li Lian. Cooperative Path Planning of Dynamical Multi-Agent Systems Using Differential Flatness Approach // Feng-Li Lian / International Journal of Control, Automation, and Systems, June 2008, vol. 6, no. 3, – pp. 401-412. 8. Sarit Kraus. Negotiation and cooperation in multi-agent environments / Sarit Kraus // Artificial Intelligence, – № 94, – 1997, – pp. 79-97. 9. Amal El Fallah Seghrouchni / An Aggregation-Disaggregation Approach for Automated Negotiation in Multi-Agent Systems / Amal El Fallah Seghrouchni, Pavlos Moraïtis, Alexis Tsoukiàs // International ICSC Symposium on Multi-Agents and Mobile Agents in Virtual Organizations and E-Commerce (MAMA'2).

10. Cooperative Multiagent Systems: A Personal View of the State of the Art / Victor R. Lesser // To appear in IEEE Trans. Knowledge and Data Engineering, Jan.-Feb. Special Issue.

11. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям / В.Б. Тарасов. Серия «Науки об искусственном». – 2002. 352 с. 12. Приходько М.А. Взаимодействие конкурирующих интеллектуальных агентов в распределенных мультиагентных системах / М.А. Приходько. – Программные продукты и системы. – 2011. – № 3. – С. 25-32. 13. Поспелов Д.А. От моделей коллективного поведения к многоагентным системам / Д.А. Поспелов. – Программные продукты и системы. – 2003. – № 2. – С. 39-44. 14. Multi-agent cooperative transaction method and system. Qiming Chen, Umeshwar Dayal, Patent N.: US 6983395 B2, Jan. 3, 2006. 15. Коллективные решения в мультиагентных системах корпоративного типа. В.В. Баранов, Н.А. Махутов. Материалы конференции «Управление в технических, эргатических, организационных и сетевых системах» (УТЭОСС-2012). С. 878-881. 16. John Korah, Eunice E. Santos, Eugene Santos, Jr., Multi-agent framework for real-time processing of large and dynamic search spaces, Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on Applied Computing, March 26-30, 2012, Trento, Italy.

Поступила в редколлегию 31.07.2013

УДК 681.3, 004.85, 004.89

**Гибридна стратегія взаємодії агентів в мультиагентній системі прогнозування** / К.А. Ручкін // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2013. – № 2 (81). – С. 121-129.

У роботі розроблена гібридна стратегія поведінки колективу агентів мультиагентної системи прогнозування поведінки нелінійної динамічної системи в режимі реального часу. На додаток до роботи детально описано поведінку основних агентів системи: інтерфейсного агента, інформаційного агента, агента – розпізнавача, їх роль та взаємодію з іншими агентами. Запропонована гібридна стратегія взаємодії включає елементи корпоративної і конкурентної взаємодії агентів, які регулюються за допомогою критеріїв ефективності та адекватності. Використання гібридної стратегії взаємодії агентів є перевагою в даній мультиагентній системі, оскільки в такому випадку поведінка агентів буде більш гнучкою та адаптованою під різні ситуації.

Л. 3. Бібліогр.: 16 найм.

UDC 681.3, 004.85, 004.89

**Ruchkin KA. A hybrid strategy of agents' interaction in multi-agent system prediction** / K.A. Ruchkin // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2013. – № 2 (81). – P. 121-129.

In this paper we developed a hybrid strategy collective behaviors of agents in multi-agent system predict the behavior of a nonlinear dynamical system in real time. In addition to the work of we described in detail the behavior of the main agents of the system: the interface agent, information agent, agent – resolver, their role and interaction with other agents. The proposed hybrid strategy includes elements of corporate interaction and competitive interactions of agents are regulated by the criteria of effectiveness and adequacy of behavior. Using hybrid strategy of agent interaction is an advantage in this multi-agent system, because in this case the behavior of the agents will be more flexible and adaptable to different situations.

Fig. 3. Ref.: 16 items.