

На правах рукописи

Алюшин Сергей Александрович

**МОДЕЛИ, МЕТОДЫ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ПОСТРОЕНИЯ
СЛОЖНЫХ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ**

05.13.11 – математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

05.13.01 – системный анализ, управление и обработка информации
(в информационных системах)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Автор:



Москва - 2011 г.

Работа выполнена в Национальном исследовательском ядерном университете «МИФИ».

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Ильинский Николай Иванович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Хорошевский Владимир Фёдорович,
Учреждение Российской академии наук
Вычислительный центр им А.А. Дородницына
РАН

кандидат технических наук, доцент
Тарасов Валерий Борисович,
Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное
предприятие «Государственный научно-
исследовательский институт авиационных
систем»

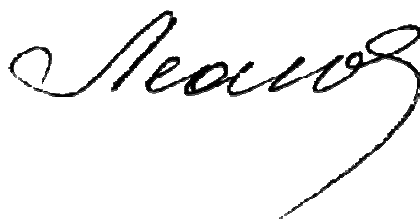
Защита диссертации состоится “21” февраля 2011 г. в 15 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.130.03 в Национальном исследовательском ядерном университете «МИФИ» по адресу: 115409, г. Москва, Каширское шоссе, 31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НИЯУ МИФИ.

Отзывы на автореферат, заверенные гербовой печатью организации, просьба направлять по указанному адресу в двух экземплярах не позднее, чем за две недели до защиты.

Автореферат разослан “___” января 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.т.н., профессор



Леонова Н.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В настоящее время во всех экономически развитых странах, в том числе и в России, интенсивно развивается индустрия по разработке компьютерных тренажеров для самых различных областей промышленности и техники. Не стало исключением и автомобильное направление, что отражается в Федеральной целевой программе по повышению безопасности дорожного движения в 2006-2012. Эта программа предлагает следующие мероприятия, так или иначе связанные с компьютерными тренажерами: разработка тренажеров для образовательных учреждений, оснащение современным оборудованием федеральных образовательных учреждений, оснащение тренажерной техникой для профессионального тренинга водителей и др. Дополнительным стимулом к развитию отрасли является программа, разработанная ГИБДД и Минобрнауки РФ, по увеличению числа часов обучения на тренажерах при подготовке водителей легковых автомобилей. Все это связано с дорожным движением, характеризующимся растущей сложностью дорожной обстановки, возросшей стоимостью дорожно-транспортных происшествий и недостаточным уровнем подготовки водителей.

Системы имитации, в которых дорожное движение присутствует в качестве объекта моделирования, варьируются по применяемым подходам и парадигмам, лежащим в основе разрабатываемых моделей. При этом выбор последних напрямую зависит от области применения получаемых результатов моделирования.

К настоящему моменту разработано множество моделей для решения различных задач в области имитации дорожного движения. Традиционно модели дорожного движения классифицируются по уровню детализации на макроскопические, микроскопические и мезоскопические. Отнесение модели к одному из классов определяет возможные области ее применения. В *макроскопических моделях* дорожное движение представляется в виде потока частиц. Такие модели оперируют агрегированными данными и позволяют исследовать характеристики дорожного потока на участках большой площади. В *микроскопических моделях* транспортные потоки образуются в результате взаимодействия отдельно моделируемых участников дорожного движения. Эти модели обеспечивают детальную имитацию передвижений и поведения участников движения. В *мезоскопических моделях* отдельные участники дорожного движения представляются на высоком уровне детализации, а их поведение и взаимодействия описываются на низком уровне. Основным применением таких моделей служат области, требующие микроскопического представления участников движения на территориях с большой площадью.

Применение микроскопических моделей обеспечивает в высокой степени точную имитацию динамики и поведения участников дорожного движения. Основной областью применения детальной имитации отдельных участников движения с их последующей визуализацией являются тренажеры вождения.

Проведенные в данной работе исследования показывают, что на применение микроскопических моделей в обучающих системах реального времени накладываются дополнительные требования по реалистичности. Существующие методы имитации динамической дорожной обстановки позволяют эффективно решать только отдельные задачи данной области, не принимая во внимание необходимость одновременного удовлетворения двум взаимосвязанным критериям производительности и реалистичности.

Представление имитируемой системы реального мира в виде сложной адаптивной системы (САС) позволяет разработчику применить агентно-ориентированный подход (АОП). Поведение полученной многоагентной системы определяется свойствами САС и имитируется с помощью компьютерного моделирования на основе построенных агентных моделей.

В работе для решения поставленной задачи дорожное движение рассматривается как САС, а агентно-ориентированный подход и клеточные автоматы (КА) используются для построения микроскопических и мезоскопических моделей соответственно. Данный подход направлен на обеспечение моделирования, удовлетворяющего ключевым показателям реалистичности и производительности.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является построение сложных адаптивных систем дорожного движения. Предметом исследования являются модели автономных адаптивных агентов, их архитектура и методы взаимодействия, применяемые для построения имитационных систем. Построение моделей и методов рассматривается с точки зрения их применения в тренажерных системах с визуализацией в режиме реального времени.

Целью диссертационной работы является разработка моделей, методов и программных средств построения сложных адаптивных систем дорожного движения. Использование результатов исследования должно обеспечить моделирование поведения самоорганизующихся систем (дорожного движения) при применении в приложениях, критичных с точки зрения вычислительных ресурсов и реалистичности моделируемого поведения.

Для достижения цели в работе решены **следующие задачи:**

- исследованы современные методы и средства имитации поведения САС, существующие системы моделирования поведения дорожного движения в тренажерных системах и их характеристики;
- предложены требования для оценки пригодности системы имитации поведения САС в тренажерных системах;

- разработана модель представления адаптивного агента и среды его функционирования, удовлетворяющие определенным выше требованиям;
- разработаны методы взаимодействия агентов и методы разрешения конфликтов при имитации дорожного движения;
- разработана имитационная система, осуществляющая компьютерное моделирование поведения САС при имитации дорожного движения в тренажерах вождения;
- экспериментально проверены разработанные модели, методы и программные средства.

Методы исследования. При разработке математического обеспечения в работе использованы методы искусственного интеллекта в теории агентов, имитационного моделирования, теории графов, теории клеточных автоматов и теории сложных систем. При разработке программного обеспечения используются методы объектно-ориентированного программирования, методы программирования в распределенных вычислительных системах, функционирующих в режиме реального времени, технология разработки программного обеспечения и шаблоны проектирования.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Предложена оригинальная модель автономного адаптивного агента, удовлетворяющая предложенным требованиям применимости в тренажерах вождения.
2. Предложен комплексный подход к построению системы имитации сложной адаптивной системы, основанный на интеграции агентно-ориентированного подхода и моделей на основе клеточных автоматов.
3. Разработаны модели поведения агента при имитации системы дорожного движения.
4. Предложен метод определения и разрешения конфликтов на основе прогнозируемых пространственно-временных характеристик агентов.
5. Разработано программное обеспечение на базе предложенных моделей, позволяющее имитировать дорожное движение с реалистичными характеристиками.

Достоверность результатов обеспечивается подтверждением теоретических результатов экспериментальными данными, разработанной и практически реализованной системой имитации дорожной обстановки, публикацией результатов в печати, апробацией на научно-технических конференциях и семинарах, а также внедрением результатов в практическую деятельность организаций, занимающихся подготовкой водителей транспортных средств.

Практическая значимость. Разработанные модели и методы построения сложных адаптивных систем со свойством самоорганизации позволяют моделировать поведение сложных систем реального мира при использовании в приложениях, критичных к вычислительной сложности и реалистичности восприятия.

Реализация результатов диссертации. Результаты, полученные в работе, были реализованы в виде “Системы моделирования дорожного движения” (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008610186). Внедрение данной системы производилось в ряде тренажерных систем, таких как:

- комплекс тренажеров ЛиАЗ-5256/6212, установленный в ГУП “Мосгортранс” (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008610185 и патент на полезную модель №70981);
- тренажеры ВАЗ-2110 (РОСТО (ДОСААФ));
- тренажеры Урал-4320, (минская военная академия Республики Беларусь);
- тренажеры КАМАЗ-4350/5350 (РОСТО (ДОСААФ), свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2008615052);
- комплекс тренажеров ВАЗ-2110 (Федеральной службы охраны РФ).

Основные научные результаты, выносимые на защиту:

1. Обобщенная архитектура автономного адаптивного агента, удовлетворяющая сформулированным требованиям в части спецификации агента как составного элемента системы имитации.
2. Комплексный подход к имитации дорожного движения на основе интеграции агентно-ориентированного подхода и моделей на основе клеточного автомата.
3. Модели поведения агента в рамках предложенной абстрактной архитектуры агента при имитации поведения системы дорожного движения.
4. Метод определения и разрешения конфликтов на основе прогнозируемых пространственно-временных характеристик агентов.
5. Программная реализация системы моделирования реалистичного дорожного движения в режиме реального времени.

Апробация результатов. По теме диссертации сделаны доклады на следующих семинарах и конференциях:

- Научные сессии МИФИ 2005-2010 (г. Москва, 2005-2010 гг.).
- XV-XVIII Международные научно-технические семинары “Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации” (г. Алушта, 2006-2009 гг.).
- III Международная научно-практическая конференция “Информационные технологии в образовании, науке и производстве” (г. Серпухов, 2009 г.).
- VII Курчатовская молодежная научная школа (г. Москва, 2009 г.).
- IV Научно-практическая конференция “Совершенствование системы подготовки и допуска водителей к участию в дорожном движении – важнейшая составная часть в обеспечении безопасности дорожного движения” (г. Москва, 2009 г.).

- Научно-практическая конференция на тему “Новые требования к автошколам и совершенствование системы подготовки водителей” (НИИАТ, г. Москва, 2009 г.).
- I Всероссийский молодежный инновационный конвент (г. Москва, 2008 г.).

Практические результаты исследований были представлены на следующих выставках:

- XI-XII Международный салон промышленной собственности “Архимед” (Москва, 2008-2009 гг.).
- IX-X Международная выставка “Высокие технологии XXI века” (Москва, 2008-2009 гг.).
- Международный салон вооружения и военной техники (Москва, 2008г.).
- XIV Московская промышленная выставка (Москва, 2008г.).
- Международный автотранспортный форум 2008 (Москва, 2008г.).
- Дни Москвы в республике Башкортостан (Уфа, 2008г.).
- I Всероссийский молодежный инновационный конвент (Москва, 2008г.).
- Проект “Фабрика мысли” телеканал “ТВ Центр” (Москва, 2009г.).
- IX Московский международный салон инноваций и инвестиций (Москва, 2009г.).
- Выставка “Инновационный потенциал южного административного округа г. Москвы” (Москва, 2009г.).
- Выставка Всероссийской научно-практической конференции АНО “Научно-методический центр подготовки водителей” (Москва, 2009г.).
- IX Всероссийская выставка научно-технического творчества молодежи НТТМ-2009 (Москва, 2009г.).

Публикации. Основные научные результаты диссертации опубликованы в 27 научных работах, в том числе 7 работ в журналах, включенных ВАК РФ в перечень ведущих рецензируемых изданий.

Структура и объем работы. Диссертация содержит четыре главы, введение и заключение, 93 рисунка, 7 таблиц, 2 приложения. Общий объем без приложений: 145 с. Список использованных источников содержит 150 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности, определены цели и задачи работы.

В первой главе поставлена задача имитации системы дорожного движения в тренажерах вождения. Показано, что одним из основных факторов, влияющим на реалистичность восприятия дорожного движения является поведение компьютерно-управляемых объектов, в частности, их взаимодействие друг с другом. Обоснованы и сформулированы основные

требования, которым должны удовлетворять системы имитации дорожного движения, показано покрытие существующими моделями и системами сформулированных требований, выявлены недостатки существующих моделей и систем.

Из проведенного анализа следует, что существующие в настоящее время системы моделирования дорожного движения не в полной мере удовлетворяют сформулированным требованиям. Реализация указанных требований должна основываться на новых подходах, эффективных вычислительных процессах, которые позволили бы моделировать большое количество разнородных объектов с детализированным представлением агентов в реальном масштабе времени и повышали бы реалистичность поведения (взаимодействия), в частности, в случаях неформального поведения и адаптивности к действиям обучаемого.

Показано, что дорожное движение является САС и предложено при его моделировании использовать аппарат теории САС. Из анализа свойств САС следует, что внутренняя структура элемента САС и правила взаимодействия элементов САС между собой являются основными для определения поведения САС, реализации реалистического поведения имитируемого дорожного движения, в частности самоорганизации движения.

Эффективный вычислительный процесс при моделировании поведения САС целесообразнее организовать с использованием агентно-ориентированного подхода. Данный подход позволяет использовать компьютерные системы и распределенные вычислительные сети различной конфигурации и вычислительной мощности в зависимости от уровня сложности моделируемой САС. Для оценки уровня сложности САС в работе введена относительная мера сложности $C_{\text{sys1}} = f(n(E_1), n(I_1), \sum_{i=0}^{n(E_1)} C_i, \sum_{i=0}^{n(I_1)} Cr_i)$, где $n(E)$ – количество элементов системы; $n(I)$ – количество связей между элементами системы; C_i – сложность i -го элемента системы; Cr_i – сложность i -ой связи системы.

В качестве примера для САС дорожного движения микрорайона Северное Чертаново и г. Москвы полученные оценки сложности составляют соответственно: $C_{\text{sys1}} = f(10^4, 10^6, 10^5, 10^7)$, $C_{\text{sys2}} = f(10^6, 10^8, 10^7, 10^9)$.

Предложено использовать также термодинамическую меру сложности, как величину обрабатываемой системой информации в каждый момент времени.

Выделены основные свойства, которыми должен обладать агент дорожного движения, как элемент САС:

- Взаимодействие со средой. Восприятие среды при помощи сенсоров и воздействие на нее посредством своих исполнительных механизмов.

- Мотивация на основе целей. При функционировании в среде агент пытается достичь поставленные цели. Эти цели могут выглядеть различным

образом: достижение локальных или конечных состояний, максимизация своей полезности или удержание своего состояния в желаемых рамках.

- Интеллект агента. Возможность агента обрабатывать информацию и вырабатывать действия на основе локальной информации.

- Адаптивная динамика. Способность агента адаптироваться к изменяющейся среде посредством умения ассоциировать действия с текущей ситуацией и/или посредством прогнозирования будущих состояний.

Выделены свойства системы дорожного движения как среды функционирования агентов: частично наблюдаемая, стохастическая, последовательная, динамическая, непрерывная, многоагентная. В частности показано, что дорожное движение является распределенной в пространстве и времени САС.

Анализ известных BDI (Belief-Desire-Intension), гибридных и реактивных архитектур агентов показал, что выделенные свойства агента могут быть реализованы на основе реактивной модели при соответствующей доработке последней.

Наиболее значимыми для агентов являются локальные связи и локальные взаимодействия как в текущий момент времени, так и в ближайший будущий интервал времени. На основе данного утверждения предложен эффективный подход к организации вычислений в рамках агентно-ориентированного подхода, основанного на применении модели клеточного автомата.

Рассмотрены методы взаимодействия агентов в САС. Метод неявного взаимодействия агентов обеспечивает высокую с точки зрения вычислительных ресурсов производительность системы. Проанализированы известные методы разрешения конфликтов в многоагентной системе имитации дорожного движения.

Во второй главе описаны теоретические основы построения системы имитации САС дорожного движения.

Предложена модель обобщенной архитектуры агента как составного элемента САС (см. рис. 1). Данная модель агента отличается от известных дополнительными функциональными блоками для реализации основных требований, предъявляемых к имитации САС в режиме реального времени. Данная модель включает следующие основные функции.

Функция наблюдения за средой **see** учитывает выработанные предположения при следующей итерации наблюдения: $see: E \times Fut \rightarrow Per$, где E – множество состояний среды, Fut – множество будущих состояний агента, Per – множество перцепций.

Функцию **next**, которая отображает внутреннее состояние I и перцепции Per на внутреннее состояние: $next: I \times Per \rightarrow I$.

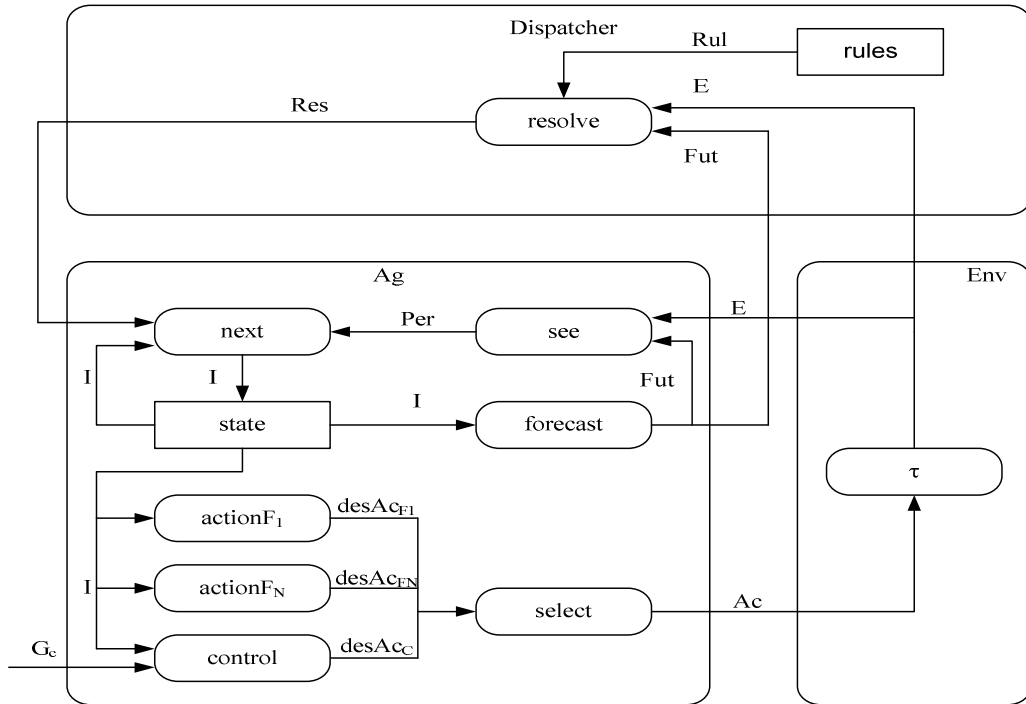


Рис. 1. Обобщенные архитектуры агента Ag, среды функционирования Env, централизованного объекта Dispatcher.

Функцию **forecast**, которая на основе текущего состояния объекта строит предположение о его будущих пространственно-временных характеристиках: $\text{forecast}: I \rightarrow \text{Fut}$.

Введено понятие **фактора** среды $F_i = \langle O_{F_i}, P_{F_i} \rangle$, где F_i – фактор i -го поведения агента, $O_{F_i} \subseteq O$ – объекты i -го фактора, $P_{F_i} \subseteq P$ – свойства объектов i -го фактора.

Поведение агента на фактор F_i будет записываться в виде: $\text{action}F_i: I_{F_i} \rightarrow \text{desAc}_{F_i}$, где $I_{F_i} \subseteq I$ – внутренние состояния агента, содержащие информацию об i -ом факторе; desAc_{F_i} – желаемое действие агента на фактор F_i .

Функция **control** вырабатывает желаемое контролируемое действие desAc_c на основе текущего состояния агента I и множества желаемых состояний G_c : $\text{control}: I \times G_c \rightarrow \text{desAc}_c$.

Функция выбора текущего действия **select**: $\bigcup_{i=0}^N \text{desAc}_{F_i} \rightarrow \text{Ac}$.

Пробег агента в среде r – есть последовательность чередующихся состояний среды и действий агента. Множество всех возможных пробегов агента Ag в среде Env есть $R(\text{Ag}, \text{Env})$. Ψ – предикатная спецификация. $\Psi(r)$ обозначает, что пробег $r \in R$ удовлетворяет Ψ .

Задача функционирования агента в среде формулируется как задача достижения цели при условии соблюдения ограничений и записывается в

виде: существуют множества $G \subseteq E$ и $B \subseteq E$ такие, что $\Psi(r)$ истинно тогда и только тогда, когда существует $e \in G$ такое, что $e \in r$ и для любого $b \subset B$ мы имеем $b \not\subset r$ для любого $r \in R(Ag, Env)$.

На основе предложенной модели разработан механизм неявного взаимодействия двух агентов. В рассматриваемом случае действия, выполняемые одним агентом над внешней средой, становятся доступны для восприятия второму агенту.

Предложенная обобщенная архитектура агента для решения задачи имитации дорожного движения позволяет реализовать множество различных поведений агента (следования, перестроения, обгона по встречной, соблюдения управляющих сигналов, соблюдения разметки, следования по маршруту). Выбор результирующего воздействия осуществляется на основе приоритетов, вырабатываемых каждым поведением. Для определения приоритетов в конфликтных ситуациях предложен метод разрешения конфликтов в многоагентной системе имитации дорожного движения, основанный на имеющихся прогнозируемых пространственно-временных характеристиках, построенных с помощью линейной интерполяции и который характеризуется сложностью $O(n^2)$, где n – количество агентов, участвующих в конфликте. Данный подход является предпочтительнее известных методов со сложностью $O(n^3)$.

Реализация механизма разрешения конфликтов в многоагентной системе, основанной на предложенной обобщенной архитектуре агента с неявным взаимодействием, определяет необходимость использования централизованного управления для координации действий участников дорожного движения в конфликтных ситуациях. Предлагается в многоагентной системе внести централизованный объект - диспетчер, доступный для взаимодействия со всеми агентами (см. рис. 1). При определении возникновения конфликтной ситуации на основе пересечения будущих пространственно-временных характеристик агент запрашивает разрешение конфликта у диспетчера. Основной функцией диспетчера является *resolve*, которая на основе текущего состояния среды E , множества правил Rul и будущей пространственно-временной характеристики агента Fut вырабатывает множество Res , задающее относительные приоритеты агентов друг над другом: $resolve: E \times Fut \times Rul \rightarrow Res$.

Выработанные приоритеты используются агентом при пересчете своего состояния: $next: I \times Per \times Res \rightarrow I$.

Проведена оценка сложности C_{sys} функционирования разработанной системы в режиме реального времени: $f_{C_{sys}}(m, \bar{v}, \Delta t, R, q) = O\left(\frac{\sum_{i=1}^m w_i \cdot \bar{v} \cdot R^2 \cdot q}{\Delta t}\right)$, где

m – количество значимых поведений агента; w_i – алгоритмическая сложность

обработки одного объекта i -м поведением; \bar{v} - средняя скорость движения потока участников дорожного движения для всех зон интереса; Δt – время пересчета одного агента; R – радиус зоны интереса; q – количество зон интереса.

Показано, что изменение любого из параметров не позволяет сократить сложность системы, без потери реалистичности системы. Это определяет необходимость разработки новых подходов к моделированию, позволяющих имитировать большое количество динамических объектов в режиме реального времени в условиях ограниченных вычислительных ресурсов.

Предлагается комплексный подход к имитации САС, основанный на интеграции микроскопических и мезоскопических моделей на основе клеточного автомата. Он позволяет осуществить моделирование большего числа компьютерно-управляемых объектов при одних и тех же вычислительных ресурсах.

В качестве модели для имитации пешеходных потоков на основе клеточного автомата предлагается использовать одноклеточную модель на основе регулярной шестиугольной решетки. Это позволяет обеспечить большее число возможных направлений движения пешеходов и как следствие более естественные перемещение агентов на плоскости.

Оценкой динамической сложности клеточного автомата C_{CA} является:

$$f_{C_{CA}}(m, r, \Delta t) = O\left(\frac{\sum_{i=1}^m y_i \cdot r^2}{\Delta t}\right), \text{ где } m - \text{ количество локальных правил перехода; } y_i -$$

алгоритмическая сложность i -го правила; Δt – такт работы автомата; $r = R_v - R^*$, где R_v – радиус зоны интереса; $R^* \leq R_v$ – радиус зоны моделирования на основе КА. График зависимости сложности моделирования комплексной системы в зависимости от радиуса зоны интереса представлен на рисунке 2.

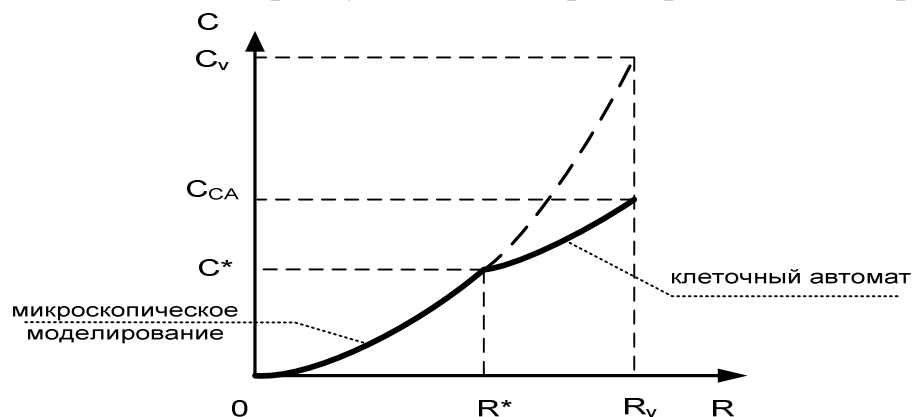


Рис. 2. График зависимости сложности моделирования комплексной системы в зоне интереса от радиуса этой зоны.

В третьей главе описана разработка программной реализации системы имитационного моделирования дорожного движения.

Разработана модель данных для представления дорожной обстановки на основе ориентированного графа. Граф состоит из двух слоев: топологического – для представления пространственных характеристик дорожной сети и логического – для представления семантических свойств.

Первый слой задается в виде ориентированного графа: $G_t = \langle V_t, R_t \rangle$, где V_t – множество топологических вершин, соответствующих пространственным точкам виртуального мира; R_t – множество топологических ребер, определяющих наличие проезжей части между топологическими узлами.

Второй слой задается в виде ориентированного графа: $G_l = \langle V_l, R_l \rangle$, где $V_l \subseteq V_t$ – множество логических вершин, базирующихся на топологических вершинах; R_l – множество логических ребер, определяющих наличие логического участка дороги между логическими узлами.

На основе последнего введены модели представления перекрестков (см. рис. 3): $C_i = \langle V_{li}, R_{li} \rangle$, где $V_{li} \subseteq V_l$ – множество логических вершин, образующих i -ый перекресток; $R_{li} \subseteq R_l$ – множество логических ребер, соединяющих узлы перекрестка.

Описана модель представления таких объектов правил дорожного движения, как дорожные знаки, разметка и светофоры.

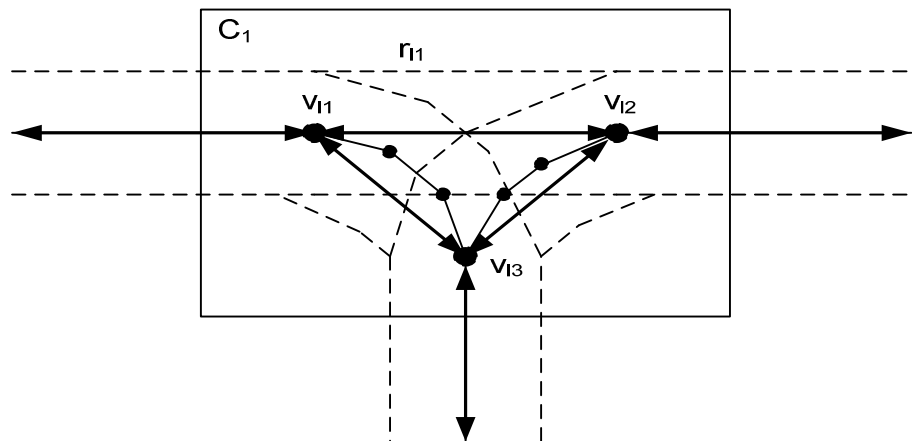


Рис. 3. Представление Т-образного перекрестка в виде двухслойного ориентированного графа.

Разработан метод представления синтетического окружения в виде клеточного автомата. Данный метод использует в качестве основы существующую модель дорожной сети. К ребрам графа осуществляется привязка одного клеточного автомата, а для их связи используется узел обработки, который содержит буферный клеточный автомат. В целях

повышения реалистичности модель клеточного автомата использует шестигранные ячейки (см. рис. 4).

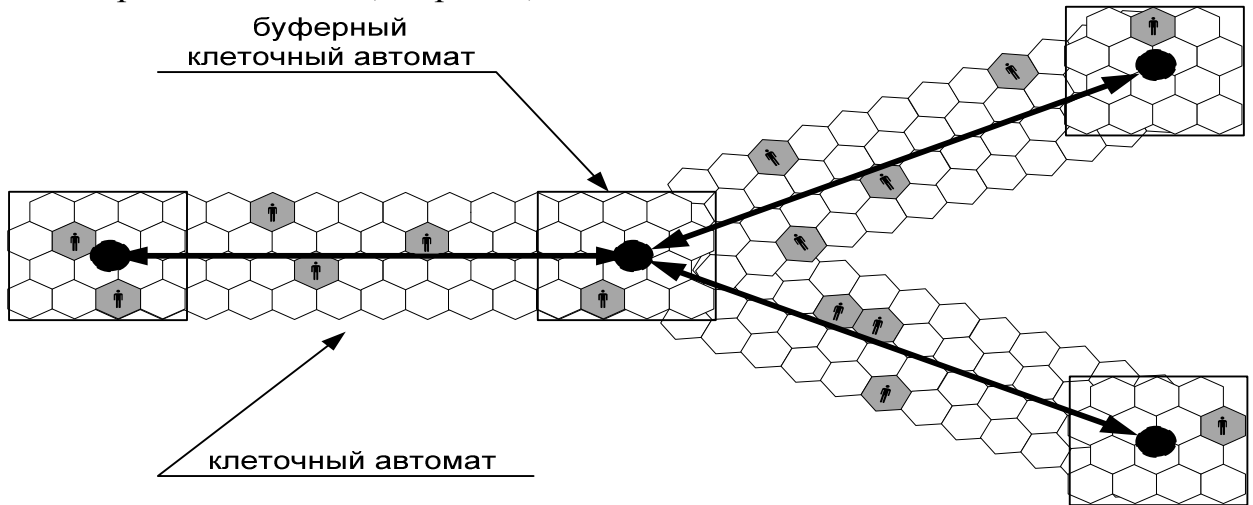


Рис. 4. Сеть клеточного автомата при представлении дорожной сети города.

Поскольку разработанный агент обладает возможностью выполнения контролируемого поведения, была разработана модель представления обучающих упражнений, которые содержат сценарии поведения агентов. Сценарий представляется в виде последовательности условие-действие, где каждый последующий акт сценария выполняется только в случае удовлетворения заданным условиям.

Разработанные модели представления дорожной сети, объектов правил дорожного движения и упражнений в масштабах города содержат достаточно большое число элементов. В соответствии с предложенными моделями была разработана схема базы данных.

Разработана модель представления агента в двумерном пространстве на основе капсульного представления (рис.5). Данная модель упрощает расчеты по определению расстояния между агентами.

Из предложенной обобщенной архитектуры агента следует, что восприятие осуществляется через сенсоры с учетом прогнозируемых пространственно-временных характеристик. В качестве представления подобных характеристик предлагается использовать поликапсулы – упорядоченное множество взаимосвязанных капсул. При реализации модели агента в дорожном движении были использованы передний сенсор, задний сенсор и боковые сенсоры (рис. 5).

Описана структура реализации агента, состоящая из трех основных компонент. Логический компонент реализует предложенную обобщенную архитектуру агента. Физический компонент реализует физическую модель динамики агента. Визуальный компонент – реализует визуальный образ представления агента в виртуальном окружении.

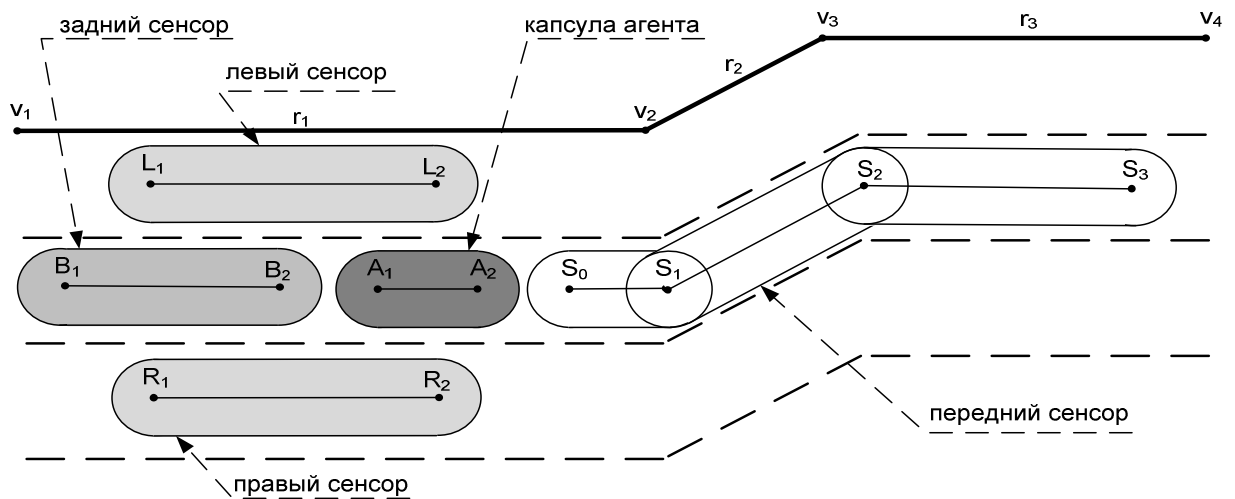


Рис. 5. Восприятие среды агентом с помощью логической карты.

Разработанная система моделирования дорожного движения написана и скомпилирована с использованием среды Microsoft Visual Studio 2005 на языке C++. Исходники системы включают более 2,5 мегабайт программного кода. При разработке системы использовались основные принципы объектно-ориентированного подхода. В частности активно использовались концепция наследования для построения древообразной структуры используемых классов, а так же многочисленные шаблоны проектирования.

Ядро системы, осуществляющее обработку потока событий, использует чередуемую интерпретацию времени, при которой поток событий обрабатывается последовательно, даже если несколько событий имеют одинаковое время получения.

Особенностью построения системы является работа в распределенной системе моделирования, использующей методы формирования общего виртуального пространства и совместного использования нескольких тренажеров для обучения.

Подготовка данных для проведения компьютерного моделирования осуществляется с помощью разработанного инструментального средства визуального редактирования дорожной сети города – “Дорожный редактор”. Основными функциями разработанного инструментального средства являются: визуализация и редактирование топологии дорожной сети, расположения и свойств дорожных знаков, расположения и сценариев работы светофоров, дорожной разметки, вспомогательных элементов дорожной сети, логической информации о дорожной карте, обучающих упражнений и их сценариев, базы данных дорожной сети, генерация дорожной сети города по данным GPS-карт, VRML-сцены дорожной сети города, визуализация трехмерного представления местности города.

В четвертой главе приведены результаты апробации и внедрения предлагаемых моделей, методов и программных средств.

Реализованная система моделирования использована в ряде тренажеров для обучения вождению, таких как: комплексный тренажер вождения легкового автомобиля ВАЗ-2110, тренажер вождения грузовых автомобилей КАМАЗ-5350 и УРАЛ-4320, комплексный тренажер вождения автобуса ЛиАЗ-5256, о чем свидетельствуют полученные акты о внедрении, свидетельства о регистрации программы для ЭВМ и патенты на полезные модели. Полученные результаты демонстрировались на многих профильных выставочных мероприятиях.

Проведенный анализ свойств микроскопического поведения системы показал, что поведение агентов в различных динамических ситуациях соответствует заложенным правилам. В качестве эксперимента агент помещался в такие дорожные условия, где на первое место выходили различные факторы его поведения.

Экспериментальная оценка метода разрешения конфликтов проводилась в определенных типовых ситуациях проезда регулируемых и нерегулируемых перекрестков. Полученные результаты показывают отсутствие заторов на дорогах в течение длительных промежутков времени, что говорит о том, что агенты выходят из конфликтов, сохраняя транспортный поток.

Проведенный сбор статистической информации о ходе функционирования системы показал незначительные отклонения в теоретических и экспериментальных данных для общей (суммарной) сложности агента и для динамической сложности функционирования агента. В рассматриваемых случаях расхождения вызваны топологическими особенностями дорожных участков проведения экспериментов.

Анализ свойств высокоуровневого поведения системы проводился на основе сопоставления экспериментальных данных с теоретическими зависимостями такими, как фундаментальная диаграмма транспортного потока (рис. 6) и диаграмма процесса следования за лидером (рис. 7). Полученные результаты показывают наличие метастабильных состояний при переходе между состоянием свободного дорожного движения и состоянием движения с заторами.

С целью выявления свойства самоорганизации в системе имитации поведения сложной адаптивной системы проведен ряд экспериментов с различным набором правил поведения агентов. Было показано, что система агентов с более широким набором правил на участках с неравномерным движением, таких как перекрестки и участки с препятствиями на дороге, демонстрирует лучшие показатели производительности. В частности это характеризуется повышенной величиной транспортного потока, что свидетельствует о наличии свойства самоорганизации в этой системе.

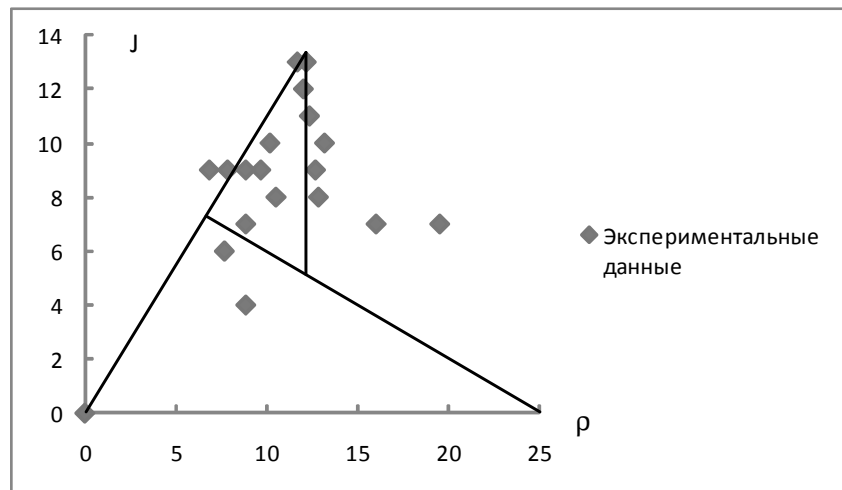


Рис. 6. Фундаментальная диаграмма (J -величина транспортного потока, машин/сек.; ρ - плотность движения машин, машин/площадь участка)

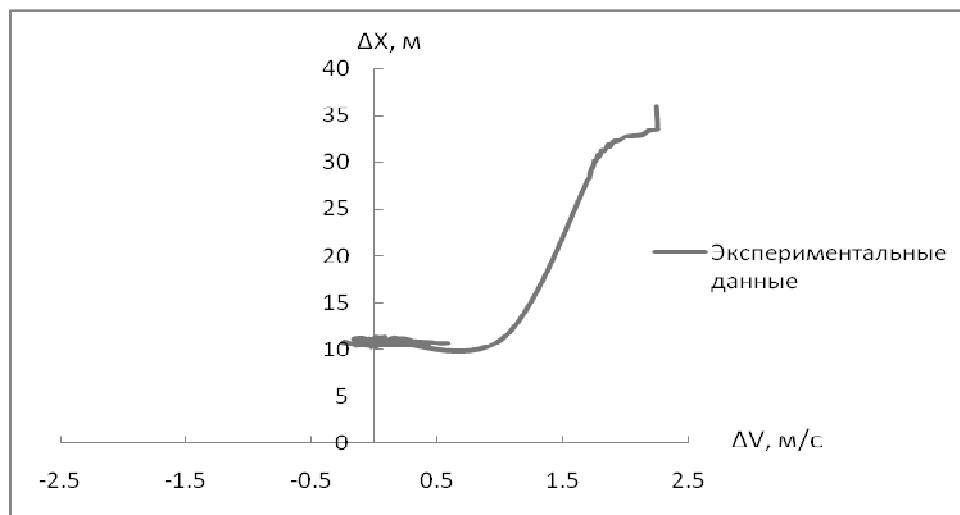


Рис. 7. График зависимости разницы координат машин от разницы их скоростей при следовании за лидером.

Выполненная оценка сложности показала эффективность предложенного комплексного подхода к построению систем имитации поведения САС. В определенных условиях выигрыш в производительности составляет 42% при выполнении высоких требований к реалистичности поведения системы (рис. 8).

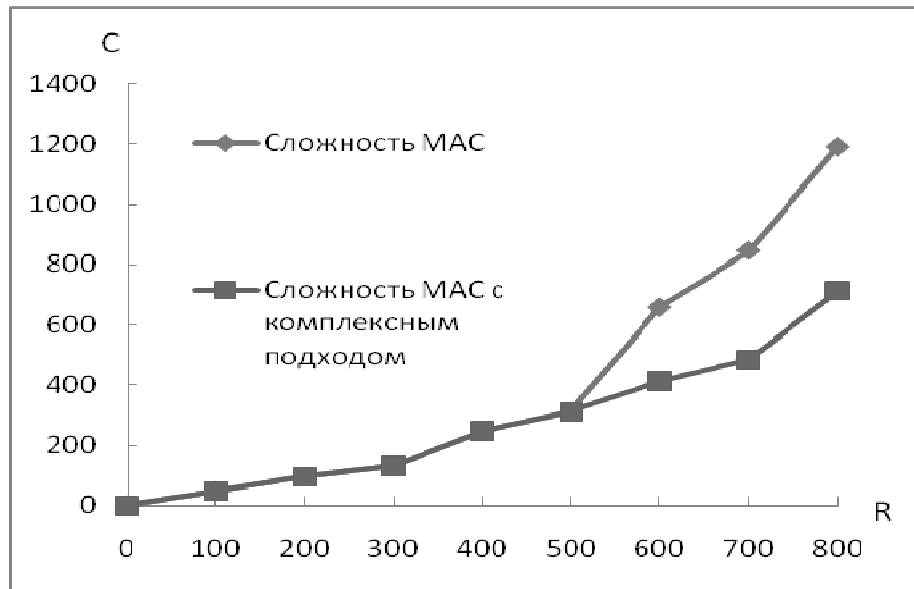


Рис. 8. Зависимость сложности MAC от радиуса зоны моделирования.

Таким образом, было показано, что разработанная система имитации сложных адаптивных систем удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к подобным системам и сформулированным в первой главе.

В заключении отражены основные результаты, полученные в данной работе.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В представленном исследовании решена задача разработки моделей, методов и программных средств построения сложных адаптивных систем дорожного движения. В результате работы:

1. Проведено исследование САС дорожного движения и существующих систем, осуществляющих их моделирование. Сформирован перечень требований, предъявляемых к системам имитации САС в тренажерах вождения реального времени. В результате анализа показано, что в настоящий момент не существует систем, которые полностью удовлетворяют заявленным требованиям. Показана целесообразность построения САС дорожного движения на основе АОП с использованием компьютерного моделирования.
2. Предложена обобщенная архитектура автономного адаптивного агента, удовлетворяющая требованиям, предъявляемым к системам имитации САС в тренажерах вождения реального времени. Обоснован метод неявного взаимодействия агентов, повышающий эффективность работы системы.

3. Разработаны модели поведения агента, используемые для наполнения предложенной обобщенной архитектуры при моделировании САС дорожного движения. Реализованы такие поведения агента как: следование за лидером, перестроение, обгон по встречной полосе, соблюдение управляющих сигналов, соблюдение разметки, следование по маршруту.
4. Предложен метод определения и разрешения конфликтов на основе прогнозируемых пространственно-временных характеристик агентов.
5. Предложен комплексный подход к построению САС дорожного движения на основе интеграции микроскопических и мезоскопических моделей, позволяющий осуществлять моделирование большого числа компьютерно-управляемых объектов при одних и тех же вычислительных ресурсах. Данный подход позволяет разрабатывать модели, одновременно удовлетворяющие ключевым показателям эффективности и реалистичности.
6. Созданы программные средства, реализующие разработанные модели и методы для построения САС дорожного движения, что подтверждается свидетельствами о государственной регистрации программы для ЭВМ и патентом на полезную модель. Компоненты полученной архитектуры инвариантны по отношению к предметной области и могут быть использованы при построении различных САС.
7. Работоспособность предложенных моделей и методов подтверждена при внедрении тренажеров вождения с использованием разработанных программных средств в таких организациях, занимающихся подготовкой водителей, как ГУП «Мосгортранс», РОСТО (ДОСААФ), минская военная академия Республики Беларусь, Федеральная служба охраны РФ, что подтверждается соответствующими актами. Результаты внедрения и эксплуатации показали, что использование разработанных средств позволяет осуществлять моделирование САС в приложениях, критичных с точки зрения вычислительных ресурсов и реалистичности восприятия.

Результаты работы показывают, что поставленную цель разработки моделей, методов и программных средств построения сложных адаптивных систем дорожного движения можно считать выполненной. Практическое внедрение разработанных программных средств подтвердило теоретические разработки, предложенные в данной работе, и показало их применимость к решению поставленной задачи.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Алюшин С. А. Система управления движением транспортных средств в городском потоке // Научная сессия МИФИ-2006. Сборник научных трудов. – М.: МИФИ, 2006. – Т. 2. – С. 64-65.
2. Алюшин С. А. Методология принятия решений для управления движением автономных объектов при моделировании городского движения // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: Труды XV Международного научно-технического семинара (Алушта, 2006 г.). – М.: МИФИ, 2006. – С. 24.
3. Алюшин С. А. Моделирование динамической дорожной обстановки на основе мультиагентного подхода // Научная сессия МИФИ-2007. Сборник научных трудов. – М.: МИФИ, 2007. – Т. 2. – С. 14-15.
4. Алюшин С. А. Построение системы управления движением транспортных средств на основе гибридной модели принятия решений // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: Труды XVI Международного научно-технического семинара (Алушта, 2007 г.). – М.: МИФИ, 2007. – С. 5-6.
5. Алюшин С. А. Неявное взаимодействие в системе гетерогенных агентов при имитации динамической дорожной обстановки // Научная сессия МИФИ-2008. Сборник научных трудов. – М.: МИФИ, 2008. – Т. 11. – С. 94-95.
6. Алюшин С. А. Ситуационное моделирование динамической дорожной обстановки в тренажерах вождения // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: Труды XVII Международного научно-технического семинара (Алушта, 2008 г.). – СПб.: ГУАП, 2008. – С. 109.
7. Алюшин С. А. Синтез адаптивного поведения группы гетерогенных объектов на примере имитации динамики транспортного потока // Научная сессия МИФИ-2009. – М.: МИФИ, 2009. – Ч.2. – С. 111-112.
8. Алюшин С. А. Построение логической карты местности на основе данных векторных карт / С. А. Алюшин, Н. В. Хасанов // Научная сессия МИФИ-2009. – М.: МИФИ, 2009. – Ч. 2. – С. 113-114.
9. Алюшин С. А. Применение модели клеточного автомата для моделирования пешеходного движения с гетерогенными участниками / С. А. Алюшин, Д. А. Козловцев // Научная сессия МИФИ-2009. – М.: МИФИ, 2009. – Ч. 2 – С. 115-116.

10. Алюшин С. А. Комплексный подход к имитации дорожного движения / С. А. Алюшин, Н. И. Ильинский // В мире научных открытий. – Красноярск, 2009. – №2 – С. 31-43.
11. Алюшин С. А. Интеграция микроскопических и мезоскопических моделей при имитации дорожного движения / С. А. Алюшин, Н. И. Ильинский // Программные продукты и системы. – Тверь, 2009. – №2. – С. 190-193.
12. Алюшин С. А. Применение современных информационных технологий при обучении вождению / С. А. Алюшин, Н. И. Ильинский // Сборник трудов III Международной научно-практической конференции “Информационные технологии в образовании, науке и производстве”. – Серпухов, 2009. – Ч. 1. – С. 219-221.
13. Алюшин С. А. Автоматическое размещение динамических объектов на логической дорожной карте в режиме реального времени / С. А. Алюшин, Н. В. Хасанов // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: Труды XVIII Международного научно-технического семинара (Алушта, 2009 г.) – М.: МИРЭА, 2009. – С. 225.
14. Алюшин С. А. Моделирование дорожного движения как сложной адаптивной системы при разработке компьютерных тренажеров обучения вождению / С. А. Алюшин, Н. И. Ильинский // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2009. – № 4. – С. 92-95.
15. Алюшин С. А. Моделирование дорожного движения на основе многоагентного подхода при разработке тренажеров для обучения вождению // Сборник аннотаций работ 7-ой Курчатовской молодежной научной школы. – 2009. – С. 98.
16. Алюшин С. А. Особенности моделирования поведения компьютерно-управляемых объектов в обучающих системах реального времени // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2010. Аннотации докладов. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – Т.3. – С. 35.
17. Алюшин С. А. Моделирование городского движения на основе сети клеточных автоматов / С. А. Алюшин, Д. А. Козловцев // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2010. Аннотации докладов. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – Т.3. – С. 36.
18. Алюшин С. А. Графический редактор базы данных дорожной сети для поддержки процесса разработки системы имитации дорожного движения

- / С. А. Алюшин, Е. С. Биятов // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2010. Аннотации докладов. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – Т. 3. – С. 41.
19. Алюшин С. А. Разработка системы выполнения динамических сценариев упражнений в тренажерах вождения / С. А. Алюшин, Н. В. Хасанов // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2010. Аннотации докладов. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – Т. 3. – С. 41.
 20. Алюшин С. А. Анализ работы голосового детектора стресса в акустических шумах / С. А. Алюшин, А. В. Алюшин, М. В. Алюшин // Естественные и технические науки. – 2010. – №1. – С. 283-288.
 21. Алюшин С. А. Многоагентный подход к анализу нейросетей большой размерности / С.А. Алюшин, А.В. Алюшин // Естественные и технические науки. – 2010. – №1. – С. 313-315.
 22. Алюшин С. А. Клеточный автомат для управления многоагентной нейросетью / С. А. Алюшин, А. В. Алюшин // Естественные и технические науки. – 2010. – №3. – С. 370-372.
 23. Алюшин С. А. Синхронизация агентов в системе с двумерной топологией / С. А. Алюшин, А. В. Алюшин // Естественные и технические науки. – 2010. – №3. – С. 373-375.
 24. Алюшин С. А. Структура дорожной сети при агентно-ориентированном моделировании дорожного движения / С. А. Алюшин, Н. И. Ильинский // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2010. – № 2. – С. 100-104.
 25. Алюшин С. А. Особенности моделирования поведения компьютерно-управляемых объектов в обучающих системах реального времени // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2010. Аннотации докладов. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – Т.3. – С. 35.
 26. Алюшин С. А. Синхронизация агентов в сложной адаптивной системе с двумерной топологией / С. А. Алюшин, А. В. Алюшин // Материалы VII Всероссийской школы-конференции молодых ученых «Управление большими системами» (Пермь, 2010 г.). – 2010. – С. 203-207.
 27. Алюшин С. А. Управление многоагентной нейросетью на основе клеточного автомата // Материалы VII Всероссийской школы-конференции молодых ученых «Управление большими системами». – Пермь, 2010. – С. 208-210.