

**СРЕДА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ****А. А. Малыханов, К. В. Кумунжиев, В. Е. Черненко (Ульяновск)**

Низкоуровневое агентное моделирование транспортных потоков – эффективное средство анализа транспортных систем. Существующие инструменты являются слишком сложными для использования инженерами-транспортниками либо не предоставляют необходимых возможностей расширения. Разработанная среда рассчитана на два типа использования: (1) транспортные инженеры создают модели систем и экспериментируют с ними; (2) программисты-имитационщики расширяют среду путем добавления новых элементов. Графический конструктор упрощает процесс моделирования. В основе среды положена модель поведения участника движения.

Возрастающие автотранспортные потоки больших городов диктуют необходимость в реконструкции существующих и создании новых транспортных узлов [2]. Низкоуровневое имитационное моделирование – эффективный способ анализа пропускной способности и других характеристик небольших и средних транспортных систем [3].

В настоящее время существуют несколько средств низкоуровневого моделирования транспортных систем. Все рассмотренные системы, кроме Transport Library AnyLogic 5, являются зарубежными разработками и имеют высокую стоимость, часто неприемлемую для отечественных проектных организаций и муниципальных образований. Моделирование во многих средах (VISSIM, Transmodeler) предоставляет богатый набор возможностей, но часто является неоправданно сложным и недоступным специалистам в предметной области, так как предполагает глубокое знание технологий имитационного моделирования. В Transport Library AnyLogic 5 необходимо детально указывать возможные траектории движения автомобилей, что делает невозможным, например, адекватно моделировать перестроения автомобилей при движении по многополосному участку дороги. Некоторые (SIDRA Intersection) средства позволяют моделировать только отдельные типы объектов транспортной инфраструктуры.

В этих условиях представляется целесообразным создание новой среды, обладающей следующими свойствами:

- простота создания моделей, ориентированность на специалистов предметной области, а не на инженеров-имитационщиков;
- наглядность моделирования, максимальное визуальное сходство модели и моделируемой системы;
- наличие удобных средств калибровки моделей, обеспечивающих возможность повышения адекватности моделирования;
- расширяемость моделей, предоставление возможности инженерам-программистам обогащать набор средств разработки моделей.

Среду низкоуровневого моделирования транспортных систем было решено создавать на платформе AnyLogic 6, приняв за основу агентный подход. Богатые возможности визуализации AnyLogic 6 обеспечивают наглядность как на этапе создания модели, так и при проведении экспериментов. Разработана общая структура среды моделирования транспортных систем, показанная на рис. 1.

Среда мелкомасштабного моделирования транспортных систем (ММТС) состоит из двух подсистем – конструктора моделей и исполняющего модуля. Разработчики моделей имеют возможность в визуальном режиме создавать модели и сохранять их в XML-файлы. Эксперименты проводятся с помощью исполняющего модуля, отображающего анимацию по ходу моделирования. Результаты экспериментов могут быть выведены в базы данных или в файлы Microsoft Excel. Программист-имитационщик имеет

возможность дополнить функциональность среды, разработав необходимые компоненты в виде подключаемых библиотек AnyLogic.

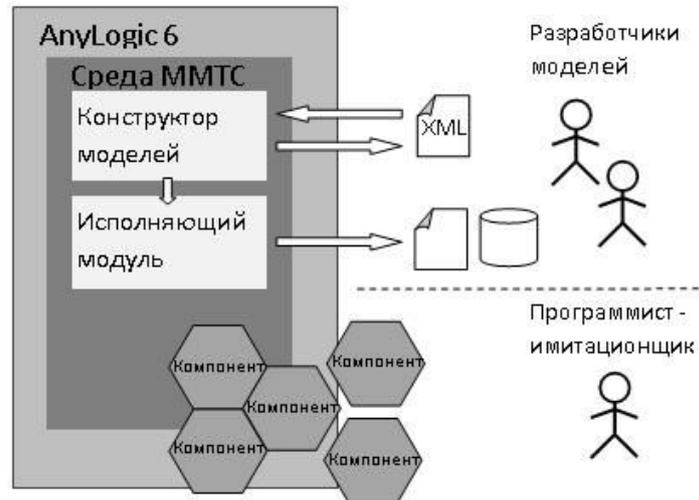


Рис. 1. Общая структура среды моделирования транспортных систем

В основе разработанной среды лежит алгоритм поведения агента – участника дорожного движения. Предложена трехуровневая модель поведения участника движения, изображенная на рис. 2.

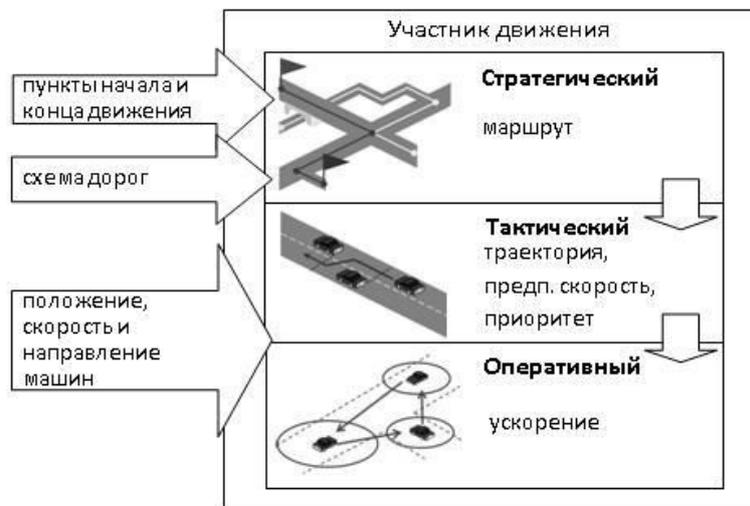


Рис. 2. Структура модели поведения участника движения

Верхний, стратегический, уровень модели отражает выбор водителем последовательности участков дороги, перекрестков и развязок при движении. Реакция водителя на окружающую транспортную обстановку моделируется на тактическом и оперативном уровнях. На тактическом уровне определяется траектория движения автомобиля, его приоритет в текущей ситуации и предпочтительная скорость движения по участку. При этом поведение водителя в значительной степени зависит от типа объекта транспортной инфраструктуры, по которому осуществляется движение. Известные алгоритмы следования и смены полос, хорошо исследованные, например, в [1], также реализованы на тактическом уровне. Оперативный уровень модели поведения участника движения отвечает за выбор ускорения. Агенты стремятся двигаться по своей траектории, уступая путь более приоритетным агентам, не допуская столкновений с впереди

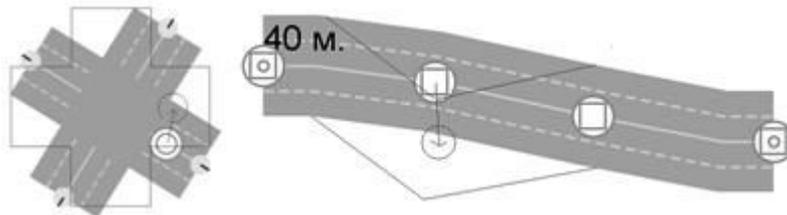
идущими агентами и придерживаясь скорости, по возможности близкой к предпочтительной.

Задание структуры моделируемой транспортной системы осуществляется с помощью разработанного языка описания транспортных систем. Язык представляет собой совокупность классов элементов  $C = \{C_1, \dots, C_N\}$  и правил композиции элементов  $R = \{R_1, \dots, R_M\}$ . Выделено два типа классов элементов: основные (соответствующие реальным объектам транспортной инфраструктуры) и вспомогательные (служащие для задания параметров модели). Примером основного класса элементов являются классы «перекресток», «прямой участок дороги», «парковка» и др. Вспомогательным классом элементов является класс «граница моделируемого участка», позволяющий задавать интенсивность транспортного потока на въезде в моделируемую транспортную систему. Каждому классу  $C_i$  соответствует набор  $P_i$  из  $K_i$  свойств  $P_i = \{P_{i1}, \dots, P_{iK_i}\}$ . Правило композиции  $R_j$  элементов классов  $C_p$  и  $C_q$  представляет собой матрицу вида (1), в которой элементы вида  $R_{jxy}$  принимают значения «истина», если для композиции элементов классов  $C_p$  и  $C_q$  требуется совпадение значений соответствующих свойств  $P_{px}$  и  $P_{qy}$ , «ложь» – в противном случае.

$$R_j = \begin{vmatrix} R_{j_{11}} & \dots & R_{j_{1K_p}} \\ \vdots & \ddots & \\ R_{j_{K_q1}} & \dots & R_{j_{K_qK_p}} \end{vmatrix} \quad (1)$$

Для построения конструкций языка описания транспортных систем создан графический редактор, каждому конструкционному элементу которого соответствует элемент созданного языка. Редактор поддерживает стандартные приемы взаимодействия пользователя с графическими средами, следование которым позволяет повысить интуитивность разработки моделей транспортных систем [4]. Кроме того, созданный редактор имеет ряд особенностей, позволяющих упростить создание моделей:

- автоматическая настройка параметров объектов при их композиции избавляет пользователя от необходимости ручной настройки соединяемых элементов;
- проверка синтаксической корректности конструкций и указание мест нарушения синтаксиса позволяет легко обнаруживать ошибки;
- широкое использование служебных маркеров для изменения свойств элементов в режиме графического редактирования (рис.3). Служебный маркер – это участок экрана, позволяющий посредством манипуляций мыши изменить некоторое свойство конструкционного элемента.



**Рис. 3. Применение служебных маркеров для редактирования формы и положения конструкционных элементов**

Важным фактором полезности среды имитационного моделирования является ее производительность при экспериментировании с моделями больших систем. Агенты в предложенной модели принимают решения на каждом из уровней с различной интенсивностью. Сложности алгоритмов принятия решений представлены в таблице.

## Сложности алгоритмов принятия решений в модели участника движения

Уровень принятия решения	Интенсивность принятия решения	Сложность алгоритмов принятия решений
стратегический	от 1 до нескольких раз за период жизни агента	$O(n^2 \cdot \ln(n))$ , где $n$ – число вершин в графе, представляющем схему дорог моделируемого участка.
тактический	от 1 до 15 раз за минуту модельного времени	$O(n \cdot \ln(n))$ , где $n$ – количество агентов на том же участке дороги, что и рассматриваемый агент.
оперативный	от 1 до 5 раз за секунду модельного времени	$O(n^2)$ , где $n$ – количество агентов в круге внимания рассматриваемого агента.

На рис. 4 показано отношение скорости моделирования к количеству агентов при моделировании средней транспортной системы с 10 перекрестками и 18 сегментами дорог. Видно, что среда способна обеспечивать режим реального времени моделирования при 715 агентах.

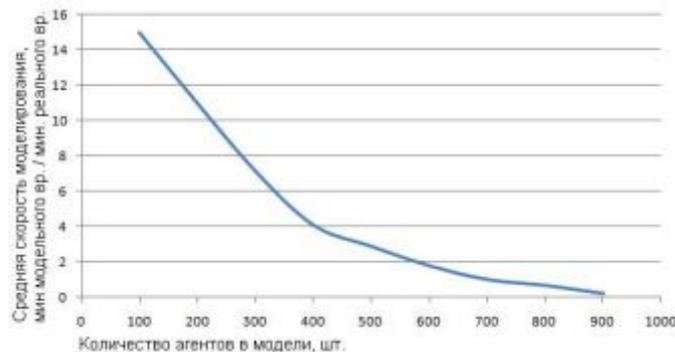


Рис. 4. Соотношение скорости моделирования и количества агентов

Результатом исследования стала среда агентного имитационного моделирования транспортных систем на платформе AnyLogic. Предложена модель поведения участника дорожного движения, отражающая многие аспекты поведения водителей на дорогах. Традиционные алгоритмы следования и смены полос адаптированы для случаев движения по различным участкам дорожной инфраструктуры. Модель положена в основу разработанной среды. Структура среды моделирования обеспечивает ее расширяемость за счет возможности добавления новых компонентов. Разработанный графический редактор моделей транспортных систем представляет собой удобный и интуитивно понятный инструмент описания моделируемой дорожно-транспортной инфраструктуры.

## Литература

1. **Ahmed K. I.** Modeling Drivers' Acceleration and Lane Changing Behavior, Massachusetts Institute of Technology, 1999.
2. **Arem B., van de Vos A. P., Vanderschuren M. J. W. A.** The Microscopic Traffic Simulation Model, MIXIC 1.3, Report TNO, The Netherlands, 1997.
3. **Choudhury C. F.** Modeling Lane-changing Behavior in Presence of Exclusive Lanes, Massachusetts Institute of Technology, 2005.
4. **Sarkans Ugis, Barzdins Janis, Kalnins Audris, Podnieks Karlis, Towards** Metamodel-Based Universal Graphical Editor, Institute of Mathematics and Computer Science, University of Latvia.