

**БИБЛИОТЕКА ДЛЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ЛОГИСТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ****В. Е. Черненко, А. А. Малыханов (Ульяновск)****Актуальность имитационного моделирования логистических сетей**

Возрастающая конкуренция на рынке потребительских товаров и логистических услуг обуславливает необходимость повышения эффективности работы коммерческих компаний. Проблемы логистики в основном связаны с низким качеством выполнения транспортных, складских и организационных функций [5].

Разумеется, проблемы, связанные с управлением логистикой, не новы, и многие из них успешно решаются, в том числе и с применением методов математического моделирования. Так, существует целый класс инструментов [1, 3], основанных на решении оптимизационных задач с помощью методов линейного, целочисленного и смешанного программирования.

Однако в практике выполнения консультационных проектов в сфере транспортной логистики встречаются задачи, которые не укладываются в классические концепции оптимизационных моделей. В частности, одной из таких задач является повышение эффективности управления парком транспортных средств. Решение этой задачи требует учета алгоритмов диспетчеризации транспорта, формирования сборных грузов и т.п. Имитационные модели способны учитывать подобные детали за счет возможности выбирать уровень декомпозиции каждого элемента модели. Но следует помнить, что в случае использования имитационных моделей от полноценной оптимизации приходится отказываться в пользу сценарного анализа.

Специальный инструментальный для имитационного моделирования логистических сетей не сложился [6], и поэтому используются средства имитационного моделирования общего назначения, такие как Arena, ProModel, AnyLogic и другие.

**Потребность в разработке библиотеки**

Опыт создания имитационных моделей логистических сетей показывает, что разработчикам часто приходится решать задачи, которые, во-первых, не связаны напрямую с логикой моделирования, и, во-вторых, достаточно трудоемки в реализации. К таким задачам, «кочующим» из проекта в проект, относятся:

- загрузка и хранение информации о географических объектах (населенных пунктах, административно-территориальных единицах, автомобильных и железных дорогах и т. п.) в виде структурированного набора данных с возможностью произвольного доступа к ним, например, при реализации каких-либо алгоритмов имитационной модели;
- получение и использование дополнительной информации о географических объектах, хранящейся в виде их атрибутов. Например, для городов иногда важно использовать в логике модели такие атрибуты, как численность населения, площадь и принадлежность региону;
- представление информации о транспортных сетях в виде графа с возможностью, например, выполнять поиск кратчайшего пути между населенными пунктами, расчета расстояния и моделирования объезда недоступных участков дорог;
- динамическое отображение элементов карты в зависимости от состояния модели (раскраска регионов по объемам поставок, отображение интенсивности использования дорог и т. п.)

Потребность во всех этих функциях обуславливает целесообразность совмещения разнородных данных, полученных из нескольких источников, о некотором участке

территории. Поэтому для поддержки имитационного моделирования логистических сетей было предложено объединить в единую объектную модель и совместить следующие данные:

- графическое изображение карты местности,
- иерархию географических и административных объектов, расположенных на местности, с указанием некоторых важных для моделирования свойств объектов,
- сведения о транспортных путях в виде графа, пригодного, например, для вычисления оптимальных маршрутов и определения циклов.

Некоторое подобие такой интеграции данных можно наблюдать в GPS-навигаторах, однако эти данные недоступны для использования в имитационных моделях.

### Реализация библиотеки

Комплекс средств поддержки имитационного моделирования логистических сетей был реализован в виде библиотеки для среды AnyLogic 6 [4], так как эта среда обладает следующими особенностями, существенными для реализации библиотеки:

- возможность расширения с помощью создания библиотек для последующего использования при создании моделей;
- поддержка применения нескольких подходов к имитационному моделированию в рамках одной модели;
- гибкая система визуализации моделей.

Исходя из требований к библиотеке, а также с учетом особенностей среды AnyLogic была разработана структура библиотеки моделирования логистических сетей, изображенная на рис. 1.

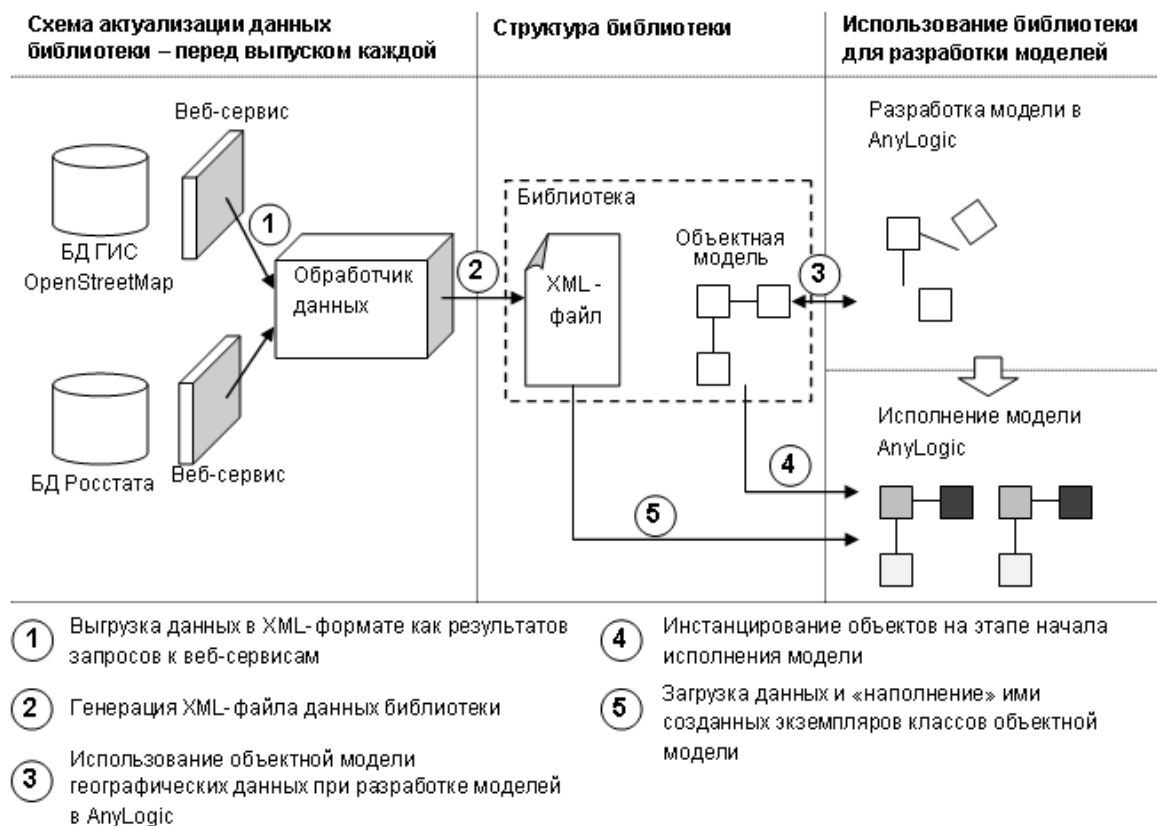


Рис. 1

Географические данные для библиотеки (контуры регионов, координаты городов и т.п.) были взяты из открытой геоинформационной системы OpenStreetMap [2]. Дополнительная информация о географических объектах (численность населения городов, площади регионов и т.п.) была взята с официального сайта Росстата [7]. Сопоставление объектов с координатами на карте производилось автоматизировано с помощью веб-сервиса геокодирования Google. Результатом обработки этих данных стало их структурированное представление в XML-файле.

На этапе разработки модели библиотека предоставляет разработчикам объектную модель, позволяющую оперировать с элементами карты. Пример использования объектной модели, предоставляемой библиотекой, показан на листинге 1 на языке программирования Java – внутреннем языке среды AnyLogic. В этом примере определяется ближайший к текущей точке **p** город с населением более 200 тыс. человек и прокладывается маршрут **r** из текущей точки к этому городу.

#### *Листинг 1. Пример использования объектной модели библиотеки*

```
Point p = agent.getCurrentPoint();
City foundCity = null;
for( City city : map.getAllCities() ) {
    if( foundCity == null
        || city.getPopulation() > 200000
        && p.distanceTo( city.getPoint() ) < p.distanceTo( foundCity.getPoint() ) ) {
        foundCity = city;
    }
}
Polyline r = map.getRoadGraph().findMinRoute( agent.getCurrentPoint(), foundCity.getPoint() );
```

На этапе исполнения моделей библиотека загружает данные о географических объектах из XML-файла, «населяя» этими данными экземпляры классов объектной модели.

Отдельным модулем библиотеки является множество классов для работы с графами, которые реализуют наиболее часто используемые алгоритмы (например, поиск кратчайшего пути и поиск циклов). Особенностью библиотеки является то, что она предоставляет гибкий программный интерфейс для задания весов вершин и ребер графов. По умолчанию веса ребер равны длинам соответствующих участков маршрутов. Однако при необходимости можно задавать любые значения весов, зависящие, например, от типа дорожного покрытия, времени года, количества транспортных средств на данном участке и других моделируемых факторов.

#### **Пример использования библиотеки**

Для иллюстрации задач, на решение которых ориентирована разработанная библиотека, приведем пример, который является упрощенным вариантом модели, разработанной в рамках одного из консультационных проектов.

Задача проекта – сравнить эффективность стратегий управления парком грузовых машин в транспортно-экспедиционной компании. В рамках проекта также необходимо выбрать стратегию, обеспечивающую лучшие финансовые и операционные показатели для компании. Методология решения поставленной задачи состоит в сравнительном анализе эффективности стратегий управления автопарком на основе имитационного моделирования конкуренции двух компаний: «красной» и «синей». Грузовики синей компании дожидаются очередного заказа в городе, в котором они находятся. Грузовики красной компании могут ездить за заказами в другие ближайшие города.

В модели производится расчет суммарного общего и порожнего пробега всех грузовиков первой и второй компании. Для прокладки маршрута выбирается кратчайший путь по существующим автомобильным дорогам федерального и регионального

значения. Процесс моделирования визуализируется на карте европейской территории России. Визуализация модели является интерактивной и позволяет просматривать информацию о транспортных средствах и заявках на перемещение грузов. Внешний вид пользовательского интерфейса модели показан на рис. 2.

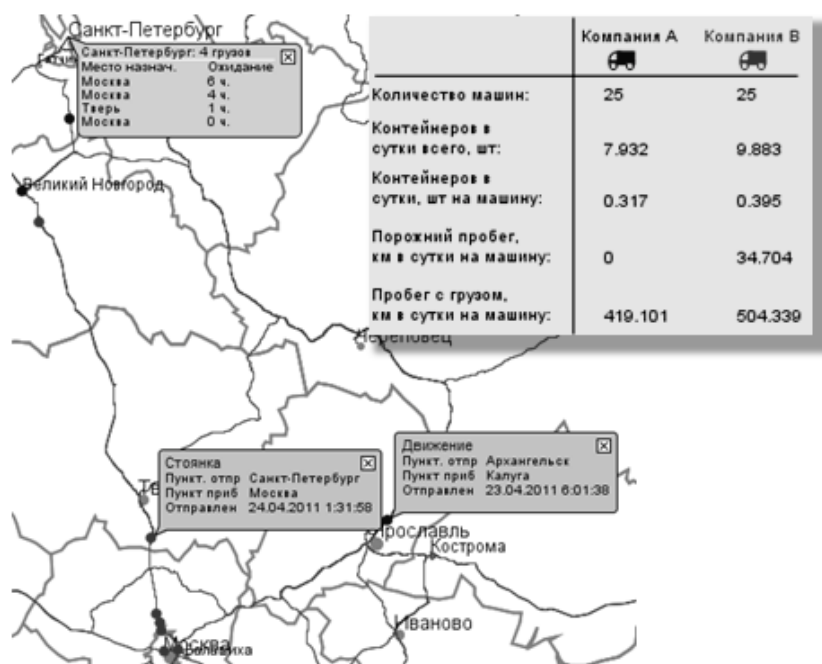


Рис. 2

Так, видно, что после моделирования периода длительностью 30 дней порожний пробег грузовиков красной компании составляет 34704 километра, что составляет 6,9% от общего пробега. В то же время политика красной компании позволяет перевести на 24% больше грузов, располагая тем же количеством грузовиков.

В выполненном коммерческом проекте разработанная библиотека позволила реализовать в модели следующие возможности, необходимые для решения поставленной заказчиком задачи:

- учет типов дорог (трассы, местные, региональные и т.п.) при прокладке маршрута;
- моделирование более сложных политик управления автотранспортом;
- добавление любых дополнительных точек (порты, аэропорты и т.п.) и маршрутов (планируемые дороги) в транспортную сеть;
- расчет финансовых показателей работы (с учетом стоимости бензина, ночевки, ремонта, поломок и т.п.)

### Заключение

Разработанная на платформе AnyLogic библиотека для имитационного моделирования логистических сетей упрощает создание и визуализацию моделей за счет предоставления разработчикам единой объектной модели, объединяющей многие аспекты географических данных. База данных библиотеки содержит информацию о транспортной инфраструктуре (дорогах, населенных пунктах, железных дорогах и станциях) России.

Планируется развивать работу по следующим основным направлениям:

- реализация автоматизированного обновления базы данных с помощью геоинформационных веб-сервисов;

- дополнение библиотеки информации о транспортной инфраструктуре зарубежных стран;
- добавление в объектную модель и базу данных новых типов инфраструктурных объектов (в первую очередь, морских портов и аэропортов);
- проработка возможности добавления существующих судоходных маршрутов и авиационных коридоров.

### Литература

1. Cast – Supply chain software // Barloworld URL:  
<http://www.barloworldscs.com/home/solutions/cast-supply-chain-modelling/cast-software.aspx> (дата обращения: 09.09.2011)
2. OpenStreetMap URL: <http://www.openstreetmap.org> (дата обращения: 09.09.2011).
3. Oracle Strategic Network Optimization // Oracle URL:  
<http://www.oracle.com/us/products/applications/056991.pdf> (дата обращения: 09.09.2011)
4. Имитационное моделирование с AnyLogic // XJ Technologies URL:  
[http://www.xjtek.ru/anylogic/why\\_anylogic/](http://www.xjtek.ru/anylogic/why_anylogic/) (дата обращения: 09.09.2011)
5. **Никифоров В. В. Логистика.** Транспорт и склад в цепи поставок. М.: ГроссМедиа, 2008.
6. **Толуев Ю. И.** Имитационное моделирование логистических сетей. Магдебург: Университет им. Отто фон Герике, 2008.
7. Численность постоянного населения. База данных // Росстат URL:  
<http://www.gks.ru/dbscripts/Cbsd/DBInet.cgi?pl=2409019> (дата обращения: 09.09.2011)