

УДК 681.3.16

Л.Д. ГРЕКОВ

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ
ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА**

Предложено применение мультиагентных моделей для описания функционирования нефтетранспортной системы в реальных условиях. Построение модели базируется на использовании агентного подхода, позволяющего инкапсулировать свойства отдельных узлов системы, внешних факторов и установить их взаимодействие. В качестве модели взаимодействия предложено использование модальной логики Крипке. Предлагаемый подход позволяет также сформулировать задачу построения оптимального маршрута нефтетранспортной системы в условиях неопределенности и противоречивых критериях, обусловленных внешней средой.

агентная модель, мультиагентное представление сложных процессов и систем, модальная логика**Введение**

Развитие вычислительных возможностей современных ЭВМ привело к появлению принципиально новых математических моделей, позволяющих исследовать сложные процессы и системы на основе их независимого описания и установления непосредственных взаимосвязей между объектами системы. Применение таких моделей вызвано отчасти невозможностью аналитического описания физической системы ввиду большой размерности. К большим системам, без сомнения, можно отнести и распределенные транспортные системы.

Одним из таких подходов является мультиагентное моделирование. Термин «агент» в настоящее время настолько широко используется, что лучше описать его как «зонтичный» термин для разнородных объектов исследования [1].

Различные научные сообщества относятся к агентам по-разному. Некоторые ученые характеризуют агенты как иницирующие и реагирующие объекты, другие подчеркивают самообучение и способности коммуникации, и т.д. Однако наиболее общим свойством агентных моделей является их *децентрализация*. В отличие от системно-динамических или событийных моделей мультиагентная система не содержит места централизации, где жестко определена динамика системы. Кроме того, глобальное поведение всей системы в целом опре-

деляется индивидуальным поведением тысяч или миллионов агентов, которые следуют их собственным правилам поведения, существуют в общей среде и взаимодействуют со средой и другими агентами.

Агентные модели состоят из агентов, построенных на динамически взаимодействующих правилах. Эти агенты:

- интеллектуальны и целеустремленны, но они не столь умны, чтобы достигнуть замкнутого решения, подразумеваемого, например, теорией игр;
- расположены в пространстве и времени.

Они постоянно находятся во взаимодействии друг с другом и окружающей средой. Перемещения агентов и их поведение могут быть определены в алгоритмической форме.

**1. Структура агентной модели в задаче
транспортной логистики**

Предлагаемая в работе мультиагентная модель имеет следующую структуру:

$$Ag = \langle shm P, M \rangle, \quad (1)$$

где $shm P$ – схема агента, определяющая его базовую структуру; M – методы агента, описывающие его поведение.

Метод агентов включает три подфункции – восприятие, решения и преобразование. Подфункция восприятия – это отображение

$$Per : E \rightarrow A_{in}, \quad (2)$$

обеспечивающее получение информации от внешней среды и установку значений входных атрибутов агента.

Подфункция решений – это отображение

$$Dec : A_{in} \rightarrow A_{out}, \quad (3)$$

определяющее значения выходных переменных по значениям входов.

Подфункция преобразования – это отображение

$$Tran : A_{out} \rightarrow E', \quad (4)$$

изменяющее среду.

Variables:
<input type="checkbox"/> State variables
<input type="checkbox"/> Auxiliary variables
Functions:
<input type="checkbox"/> Service to commitment
<input type="checkbox"/> Functions of negotiation
Knowledge base

Рис. 1. Обобщенная структура агента

Обобщенная структура агента представлена на рис. 1. Идея мультиагентной системы очень проста. Агент – структура, которая способна к независимому действию от имени ее пользователя или владельца.

Мультиагентная система распределенной транспортной системы состоит из множества агентов, определенных структурой системы, которые взаимодействуют друг с другом, обмениваясь сообщениями. Чтобы успешно взаимодействовать, эти агенты будут нуждаться в способности сотрудничать, координировать свое поведение, вести переговоры друг с другом [2]. Чтобы понимать взаимодействие агентов, необходимо формализовать мультиагентные модели более точно.

Рассмотрим случай, когда окружающая среда может находиться в конечном дискретном множестве E мгновенных состояний

$$E = \{e, e', \dots\}. \quad (5)$$

Предполагается, что агенты имеют набор возможных для них действий, которые изменяют состояние окружающей среды. Пусть

$$Ac = \{\alpha, \alpha', \dots\} \quad (6)$$

конечный набор действий.

2. Модели взаимодействия агентов в распределенной системе

Рассмотрим систему агентов, взаимодействующих с их окружающей средой. В начале окружающая

среда находится в некотором состоянии, и агент начинает с выбора действия, соответствующего этому состоянию. В результате этого действия окружающая среда может перейти во множество возможных состояний. Однако, только одно состояние фактически будет достигнуто, хотя конечно, агент заранее не знает, каким будет это состояние из-за действий других агентов системы. На основе этого нового состояния агент снова выбирает действие для выполнения. Окружающая среда реагирует одним из множества возможных состояний, и агент снова выбирает действие, и так далее.

Таким образом, *деятельность r* агента в окружающей среде – это последовательность чередования состояний окружающей среды и действий агента:

$$r : e_0 \xrightarrow{\alpha_0} e_1 \xrightarrow{\alpha_1} e_2 \xrightarrow{\alpha_2} \dots e_{n-1} \xrightarrow{\alpha_{n-1}} e_n. \quad (7)$$

Пусть R – это множество всех возможных последовательностей деятельности агента.

Формально, поведение реагирующего агента может быть представлено функцией

$$Ag : E \rightarrow Ac. \quad (8)$$

Два агента Ag_1 и Ag_2 являются эквивалентными по поведению относительно среды Env тогда и только тогда, когда

$$R(Ag_1, Env) = R(Ag_2, Env).$$

Чтобы «заставить» агента делать что-либо (выполнять задание), необходимо задать некоторый критерий качества его деятельности, например, посредством оценки его полезности для состояния окружающей среды. Предположим, что задача агента состоит в приведении системы в такое состояние, которое максимизирует некоторую полезность, хотя мы явно не сообщаем агенту, как он должен это сделать.

При таком подходе задачу можно определить функцией

$$u : E \rightarrow \mathfrak{R}, \quad (9)$$

которая связывает реальную переменную с каждым состоянием окружающей среды.

Выбрав такой критерий полезности, можно определить полную полезность агента в некоторой частной окружающей среде несколькими различными

ми способами. Один (пессимистический) путь состоит в том, чтобы определить полезность агента как полезность худшего состояния, с которым возможно столкнуться при развитии данного агента в рассматриваемой среде; другой – определить полную полезность как среднюю полезность всех состояний, в которых пребывает среда.

Определим глобальную функцию полезности агента как функцию, которая присваивает полезность не частным состояниям, а последовательностям изменения системы:

$$u : R \rightarrow \mathfrak{R}. \quad (10)$$

Предполагая, что функция полезности u имеет некоторый верхний предел на множестве аргументов (т.е. что существует $k \in \mathfrak{R}$ такой, что для всех $r \in R$ выполняется $u(r) < k$), можно говорить об оптимальных агентах: оптимальный агент – тот, который максимизирует ожидаемую полезность (10).

Помимо выполнения автономных действий в распределенных транспортных системах могут присутствовать функции **взаимодействия агентов**. С этой целью в мультиагентную модель следует включить процедуры обеспечения взаимодействия агентов на основе модальной логики Крипке [3].

Обычно агентная система содержит множество одновременно функционирующих агентов, каждый из которых в состоянии общаться через асинхронные широкополосные сообщения. Каждый агент запрограммирован передавать их в виде временной логической спецификации поведения. Спецификация агента непосредственно реализует его поведение. Выполнение программы агента соответствует итерационному построению логической модели временной спецификации агента.

Каждый агент имеет два главных компонента:

- интерфейс, который определяет, как агент может взаимодействовать с его окружающей средой (то есть другими агентами);
- вычислительный двигатель (computational engine), который определяет, как агент будет действовать, основываясь на парадигме выполнимой временной логики.

Интерфейс агента состоит из трех компонентов:

- уникальный идентификатор агента (id агента), который называет агента;

- множество знаков, определяющих, какого вида сообщения будут приняты агентом – их называют предложениями окружающей среды (environment propositions);

- множество знаков, определяющих вид сообщения, которое агент может послать – их называют составляющими предложениями (component propositions).

Вычислительный двигатель каждого агента основан на парадигме выполнимых временных логик. Идея состоит в непосредственном выполнении спецификации агента, где спецификация является множеством программных правил, которые являются формулами временной логики вида:

ANTECEDENT about past \Rightarrow
CONSEQUENT about present and future

Левая часть – формула временной логики, ссылающаяся на прошлое; правая часть ссылается на настоящее и будущее. Интуитивная интерпретация такого правила – «на основе прошлого, строить будущее», которая дает название парадигме: декларативное прошлое и императивное будущее. Правила, которые определяют поведение агента, могут быть реализованы на основе известной модальной логики Крипке (рис. 2).

Operator	Meaning
$\bigcirc \varphi$	φ is true 'tomorrow'
$\bigodot \varphi$	φ was true 'yesterday'
$\diamond \varphi$	at some time in the future, φ
$\square \varphi$	always in the future, φ
$\blacklozenge \varphi$	at some time in the past, φ
$\blacksquare \varphi$	always in the past, φ
$\varphi U \psi$	φ will be true until ψ
$\varphi S \psi$	φ has been true since ψ
$\varphi W \psi$	φ is true unless ψ
$\varphi Z \psi$	φ is true since ψ

Рис. 2. Временные операторы модальной логики

Приведем пример правила коммуникационного взаимодействия агентов:

```
COMMIT (
(agent, REQUEST, DO (time, action)), ;;; msg condition
(B,
[now, Friend agent] AND
CAN(self, action) AND
NOT [time, CMT(self, anyaction)]), ;;; mental condition
self,
DO(time, action)).
```

Это правило можно перефразировать следующим образом: если я получаю сообщение от агента, который просит меня сделать действие в определенное время, и я убежден в этом:

- агент в настоящее время друг;
- я могу сделать это действие;
- в данное время я не совершаю любого другого действия,

тогда выполняю действие в назначенное время.

3. Применение среды моделирования NetLogo для представления распределенной транспортной системы

Мультиагентную модель распределенной транспортной системы можно представить в виде системы агентов древовидного типа (рис. 3).

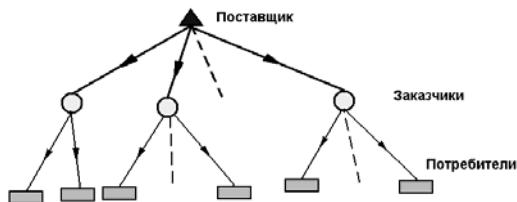


Рис.3. Структура взаимодействия агентов транспортной сети

Кроме агентов типа «поставщик», «заказчик», «потребитель», в систему вводится агент «трубопровод», обеспечивающий передачу нефти.

Мультиагентное взаимодействие и исследование распределенной системы предлагается осуществить в среде NetLogo. Экранная форма приведена на рис. 4.

С помощью данной имитационной модели можно решить задачи оптимального планирования ресурсов, определения необходимого и достаточного количества поставщиков, и другие логистические задачи.

На рис. 5 представлен результат имитационного моделирования плана загрузки сети при изменении программы закупок.

Заключение

В данной работе рассматриваются основные принципы формального математического описания агентов, их поведения, взаимодействия, а также описание агентных моделей в целом. Данное

описание позволяет четко описывать различные по свойствам модели, легко переходить к реализации модели на ЭВМ. Также рассмотрены различные постановки задач моделирования.

В работе решена также задача формализации описанию созданной мультиагентной модели распределенной транспортной системы.

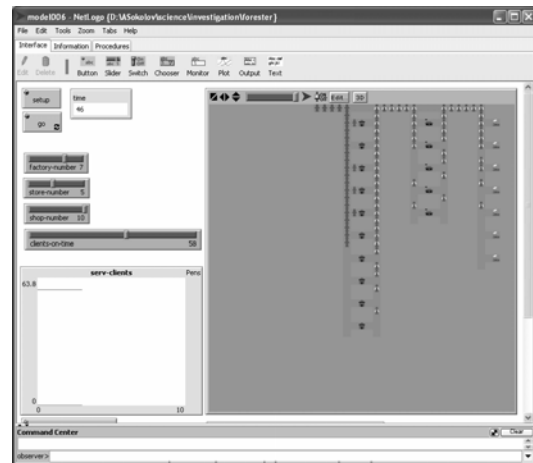


Рис. 4. Модель транспортной системы в среде NetLogo

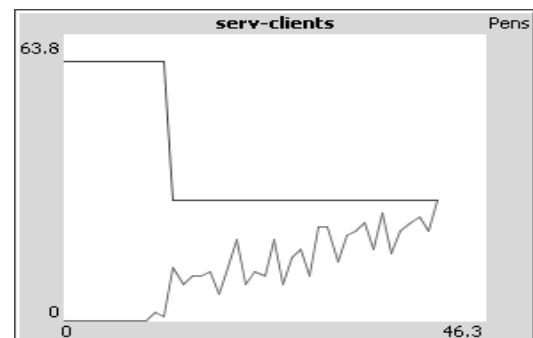


Рис. 5. Результаты имитационного моделирования

Литература

1. Wooldridge M. An introduction to multiagent systems. – John Wiley&Sons, 2001. – 220 p.
2. Halpern J.Y., Moses Y. Knowledge and Common knowledge in a Distributed Environment // J. A.C.M. – 1990. – 37 (3). – P. 549-587.
3. NetLogo User Manual version 3.1.2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ccl.northwestern.edu>.

Поступила в редакцию 8.10.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Харьков.