

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ МНОГОАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОПУЛЯЦИИ ЖИВОТНЫХ<sup>♦</sup>

И. С. СЕЛЯКОВ

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН

СПИИРАН, 14-я линия ВО, д. 39, Санкт-Петербург, 199178

<seliakov@mail.ru>

---

УДК 681.3

Селяков И. С. **Определение структуры многоагентной системы для моделирования популяции животных** // Труды СПИИРАН. Вып. 4. — СПб.: Наука, 2007.

**Аннотация.** Рассматривается пример построения многоагентной модели популяции животных, которая используется для моделирования как численности популяции, так и пространственного размещения особей. Определяется структура модели и функции отдельных агентов. Приводятся наиболее известные архитектуры интеллектуальных агентов. Определяются архитектуры агентов в модели популяции. — Библ. 16 назв.

UDC 681.3

Seliakov I. S. **Determination of the Multiagent System Structure for Animals Population Modeling** // SPIIRAS Proceedings. Issue 4. — SPb.: Nauka, 2007.

**Abstract.** An example of multiagent model for animal population is considered. As expected, it should be used for both quantitative and spatial modeling. The model structure and particular agent functions are defined. The most famous architectures for intellectual agents are presented. Architectures for agents in population model are defined. — Bibl. 16 items.

---

## 1. Введение

Моделирование мультиагентных систем является относительно новой областью знаний. Многоагентный подход на сегодняшний день рассматривается как наиболее прогрессивный для разработки и анализа сложных интеллектуальных распределенных информационных систем. Моделирование агентных систем используется для решения логистических, физических, биологических задач, мониторинга бизнес-процессов, прогнозирования состояния окружающей среды, ликвидации последствий катастроф и др.

Многоагентные системы привлекают внимание специалистов в разных областях. Изначально, в каждой отдельной дисциплине (физика, биология, логистика, экономика и т.п.) сложились свои методы и подходы к построению агентных моделей. В результате появилось множество программных продуктов (симуляторы), имеющих достаточно узкую направленность и не обладающих желаемой универсальностью. Также было создано множество высокоуровневых языков описания систем, которые разрабатывались вместе с симуляторами и требовали от разработчика временных затрат на изучение и понимание. Основная причина сложившейся ситуации заключалась в отсутствии четких правил и стандартов по архитектуре агентов и созданию агентных моделей.

Были предприняты действия по стандартизации архитектуры агента, в частности, и мультиагентных систем в целом. Существующие стандарты (OMG, FIPA [3] и др.) определяют структуру агента, протоколы взаимодействия агента с внешней средой, обмена данными. На сегодняшний день наиболее известны

---

<sup>♦</sup> Данная работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 07-01-00368а и 07-04-00328а.

такие инструментальные среды разработки агентных систем, как JADE [10,11], FIPA-OS [7], ZEUS [4], TAEMS [9], AnyLogic [2], MASDK [1] и др. В связи с многообразием пакетов моделирования и вариантов архитектур агентов, построение агентных систем представляется достаточно сложной задачей, требующей проведения предварительного анализа предметной области.

Одним из главных научных направлений современной популяционной и экосистемной экологии является исследование пространственной динамики в зависимости от внутрисистемных и внешних факторов, включая антропогенные воздействия и климат. Задачей экологического моделирования является разработка методических подходов и моделей, обеспечивающих поддержку в решении указанных задач, т.е. комплексную проверку выдвигаемых гипотез и выявление новых, и модельный анализ поведения популяций и экосистем с использованием ретроспективных данных и прогнозирования.

В качестве объекта исследований была выбрана таймырская популяция диких северных оленей. Данная популяция является крупнейшей на Севере Евразии (около 1 млн. животных по данным авиаучета 2000 г.). Популяция является важнейшим пищевым ресурсом в системах традиционного природопользования коренных народов региона, промысловым ресурсом фермерских и промысловых хозяйств, объектом спортивной охоты и экологического туризма. Популяция хорошо изучена, однако имеющиеся обширные данные по территориальному размещению и миграциям животных недостаточно обобщены и закономерности пространственно-временной динамики популяции не выявлены.

Главными задачами в рамках данного исследования являются:

- изучение динамики численности популяции с учетом естественной смертности животных и промыслового изъятия;
- определение факторов влияющих на образование и распад стад животных;
- определение закономерностей миграции животных при заданных климатических и кормовых условиях в разные времена года.

Важной особенностью такой системы является необходимость моделирования не только численности популяции, но и пространственного размещения особей, миграции животных с учетом заданных параметров распределения кормовой базы, особенностей климата и т.д. Ввиду большой сложности такой модели было принято решение разработать систему на основе многоагентного подхода как наиболее прогрессивного и эффективного для моделирования систем, состоящих из большого числа относительно независимых и сходных по своим характеристикам объектов — в данном случае множества особей популяции животных. Настройка модели в целом и ее верификация будет проведена на основе фактических данных о структуре и размерах стад, их территориальном размещении, миграционных потоках, полученных в результате многолетних наземных и авианаблюдений за таймырской популяцией диких северных оленей. Наиболее важной задачей на начальном этапе создания системы является определение ее архитектуры.

В настоящей работе предлагается общая структура многоагентной системы для моделирования популяции животных. Кроме того, приведен краткий обзор наиболее известных архитектур интеллектуальных агентов и сделана попытка определить, какая из архитектур наилучшим образом подойдет для разных агентов модели популяции. Наиболее известными являются логическая [8], реактивная [3], BDI-архитектура [12,15] и гибридная архитектура [5,13].

## 2. Структура агентной модели популяции

Модель популяции должна учитывать следующие особенности.

- Особи различаются по полу и возрасту. Всего существует 15 возрастных групп. Переход в следующую возрастную группу происходит по истечении календарного года.
  - Для каждой возрастной группы в системе задаются коэффициенты смертности, рождаемости и промыслового изъятия, которые определяют динамику изменения численности популяции.
  - Каждая особь (или группа особей) способна перемещаться по плоскости в пределах ограниченной территории. Направление и скорость перемещения зависят от кормовой базы, климата и др.
  - В системе задается общее время с шагом в один календарный месяц.
- Общая структура агентной модели популяции животных представлена на

рис. 1.

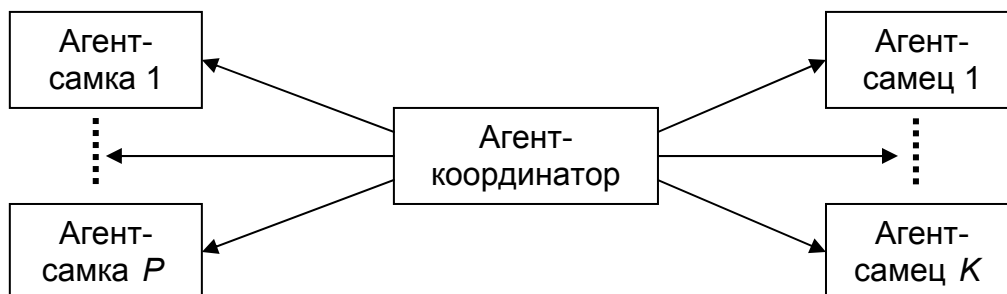


Рис. 1. Многоагентная модель популяции.

В центре модели располагается агент-координатор. В его задачи входит задание общего времени в системе для синхронизации агентов, контроль жизненного цикла отдельных агентов и предоставление определенных сервисов агентам. Кроме координатора, в системе определены агенты-самки и агенты-самцы. Каждый из них представляет отдельную особь популяции и является разновидностью агента-особи.

Агенты-особи обмениваются информацией с координатором по методу «запрос–ответ». Координатор формирует запросы для особей на совершение определенных действий и получает в ответ подтверждения. Аналогично посылаются запросы и в обратном направлении (от агентов-особей к агенту-координатору) с целью получения необходимой информации. Координатор постоянно обновляет базу данных с информацией обо всех агентах в системе, их координатах, возрасте и состоянии.

Очевидно, что для нормального функционирования системы сначала должен быть создан агент-координатор, так как без него остальные агенты действовать не могут.

После создания каждый агент-особь ищет в системе агента-координатора. Определив координатора, агент посылает запрос на регистрацию. Агент-координатор, получив запросы от нескольких агентов, подтверждает их регистрацию и отправляет всем первый синхроимпульс, благодаря которому особи совершают «шаг» в системе. При этом общее время внутри системы увеличивается на один месяц.

Получив синхроимпульс и выполнив все необходимые действия, каждый агент-особь отправляет координатору подтверждение. Координатор рассылает новый синхроимпульс, когда будут получены подтверждения ото всех агентов.

Получение синхроимпульса агентом-особью предполагает выполнение им определенных действий — выполнение «шага» в системе. Особи изменяют свои координаты и увеличивают свой возраст на один месяц. При достижении максимального года жизни животное умирает и исключается из системы. Для агентов-самок существует заданная вероятность рождения детеныша в момент совершения «шага», а для всех особей существует вероятность смерти. Эти вероятности зависят от возраста животного. Всю информацию о результатах совершения «шага» агенты-особи отправляют координатору в ответном подтверждении.

В системе предлагается ввести двумерную систему координат размерностью  $(m, n)$ . Каждый агент-особь может свободно перемещаться по плоскости в пределах координатной сетки. Особи имеют возможность распознавать друг друга, если они находятся рядом на территории.

При получении синхроимпульса от координатора каждый агент-особь совершает перемещение в произвольном направлении или остается на месте. В случае если стоит задача определить поведение животных в зависимости от кормовой базы и рельефа, то можно применять более сложный алгоритм выбора направления и скорости движения.

Агенты-самки и агенты-самцы сходны по своей архитектуре. Поэтому в данной системе мы фактически рассматриваем два вида агентов: агенты-особи и агент-координатор. Необходимо выбрать оптимальные архитектуры для этих агентов.

### 3. Архитектуры интеллектуальных агентов

Интеллектуальный агент может быть абстрактно представлен в виде схемы на рис. 2 [16].

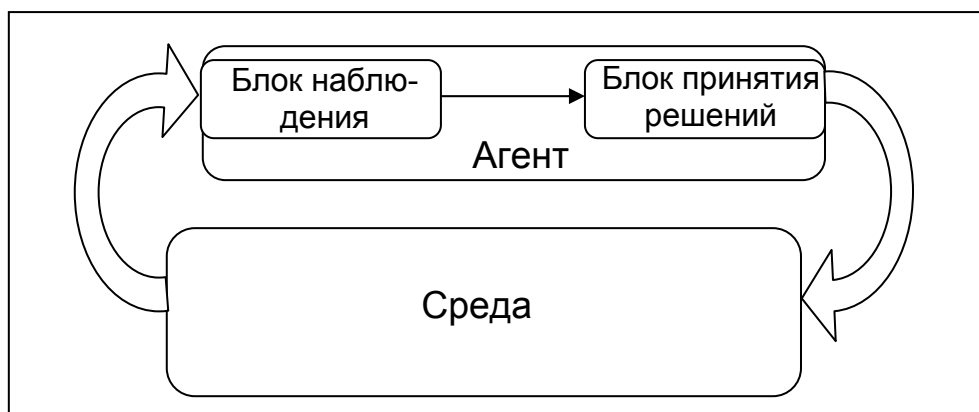


Рис. 2. Интеллектуальный агент.

Каждый агент должен иметь возможность воспринимать окружающую среду и определять ее состояние. Эту роль выполняет блок наблюдения. Восприятие окружающей среды агентом является необъективным в связи с погрешностями измерений, особенностями агента и самой среды. Блок принятия решений является одной из главных составляющих интеллектуального агента. Блок

определяет дальнейшие действия агента, исходя из данных, полученных от блока наблюдения.

На сегодняшний день выделяют четыре основные архитектуры интеллектуальных агентов [14,16]:

- *логическая архитектура*, где принятие решений реализовано на основе логических правил;
- *реактивная архитектура*, где принятие решений реализовано за счет установления прямых связей между состояниями и действиями;
- *архитектура BDI (belief-desire-intention)*, где принятие решений основано на манипуляции структурами данных, включающих представления (beliefs), цели (intentions) агента и пути достижения целей (desires);
- *гибридная архитектура*, где принятие решений реализовано через несколько программных слоев, каждый из которых представляет отдельный уровень абстракции.

Агентов, которые используют только точное представление картины мира в символической форме, а решения (например, о действиях) принимают на основе формальных рассуждений и использования методов сравнения по образцу, принято определять как *делиберативные*. Применительно к таким агентам используется термин «*логическая архитектура*» [8].

Примерами реализации агентов с логической (делиберативной) архитектурой являются следующие системы: Integrated Planning, Execution and Monitoring (IPEM), PHEONIX, HOMER, Grate и другие.

Организация агентных систем по принципу делиберативной архитектуры имеет преимущество с точки зрения удобства символического представления знаний. Но в то же время создание точной и полной модели представления мира, процессов и механизмов рассуждения в нем представляют здесь определенные трудности.

Принципы *реактивной архитектуры* возникли как альтернативный подход к делиберативной архитектуре. Идея реактивных агентов впервые возникла в работах Брукса [3] в 1986 году. Брукс выдвинул идею о том, что интеллектуальное поведение может быть реализовано без символического представления, принятого в логической архитектуре. Реактивные агенты работают по правилам типа «ситуация–действие», выбирая наиболее подходящее поведение к конкретной ситуации. При этом под ситуацией понимается потенциально сложная комбинация внутренних и внешних состояний.

Реактивный подход позволяет наилучшим образом использовать множество образцов поведения для реакции агента на определенные стимулы для конкретной предметной области. Применение этого подхода ограничивается необходимостью полного ситуационного определения всех возможных активностей агентов. Реактивные агенты довольно просты, и они взаимодействуют с другими агентами несложным образом.

*Архитектура BDI [12,15] (belief-desire-intention)* была впервые представлена в середине 1980-х годов в Стенфордском исследовательском институте. Поведение BDI-агентов напоминает итеративный процесс мышления человека, выбора нужного действия для достижения поставленных целей. Агенты с такой архитектурой способны не только оперативно реагировать на происходящее вокруг, но и анализировать свои цели и выбирать оптимальное поведение на перспективу.

В архитектуре BDI очень важен баланс между степенью изменчивости среды и частотой пересмотра целей агентом. Преимущества данной архитекту-

ры заключаются в том, что она интуитивно понятна каждому из нас, так как напоминает процесс мышления человека. Архитектура BDI представляет четкую декомпозицию агента в виде отдельных блоков, которые нужно реализовывать. Но, с другой стороны, эффективная реализация каждого из блоков — достаточно сложная задача. Логическая или реактивная архитектура выглядит более простой.

Примером успешной реализации архитектуры BDI можно назвать систему PRS (Procedural Reasoning System), которая осуществляет контроль и диагностику воздушного движения в нескольких аэропортах мира.

Попытки соединить классический делиберативный и реактивный подходы привели к появлению разнообразных *гибридных архитектур* [5,13]. Для реализации нескольких видов поведения агент делится на подсистемы (слои), каждый из которых отвечает за определенный вид поведения. Чаще всего имеется всего два слоя: реактивный и делиберативный. Но в общем случае их может быть больше. Кроме того, для нормальной работы агента необходимо обеспечивать управление несколькими подсистемами одновременно, поэтому агент должен включать блок управления.

Примерами реализации гибридных архитектур являются TouringMachines [2] (горизонтальная структура) и InterRaP [6] (вертикальная двунаправленная структура). Агенты с гибридными архитектурами хорошо подходят для сложных систем, где принятие решения зависит от многих факторов и где агент должен адаптироваться в условиях меняющейся среды. К недостаткам гибридной архитектуры можно отнести ее сложность и сравнительно меньшую производительность относительно других архитектур.

#### 4. Выбор архитектуры агентов для модели популяции

На начальном этапе разработки многоагентной системы важным моментом является определение архитектур всех агентов, представленных в системе. В предыдущем разделе данной работы были описаны архитектуры интеллектуальных агентов, которые могут быть использованы в системе моделирования популяции животных. Ранее была определена структура многоагентной системы популяции, в которой имеются агенты-особи и агент-координатор.

Агенты-особи должны иметь представление об окружающей среде: знать общее системное время, различать других особей, находящихся рядом, и определять параметры местности. Наиболее подходящей архитектурой для таких агентов будет логическая архитектура. Каждый агент-особь должен иметь базу данных, где он будет накапливать свои представления о среде, а также хранить свои индивидуальные параметры — возраст, пол, координаты. Использование реактивной архитектуры в данном случае не представляется возможным, так как для принятия решения агенту требуется проанализировать наборы данных, которые он хранит, и на основе проверки логических правил принять решение о дальнейших действиях. Использование архитектуры BDI в данном случае в принципе возможно, но для агентов-особей нет необходимости в пересмотре целей на определенном этапе. Логическая архитектура выигрывает в простоте реализации в сравнении с BDI.

Агенту-координатору отводится очень важная роль в системе. Для координации процессов в системе он должен располагать базой данных всех агентов-особей, включающей информацию о координатах, поле, возрасте и уникальном идентификаторе каждого агента. Кроме того, координатор должен иметь пред-

ставление о территории, где находятся особи, включая климатические, кормовые и рельефные особенности. Очевидно, что в данном случае также необходимо использование логической архитектуры для принятия решений на основе информации в базе данных.

При большом числе особей-агентов (в моделировании могут участвовать десятки тысяч агентов) заметно возрастает время выполнения и трудоемкость операций, осуществляемых агентом-координатором. Поэтому следует по возможности упростить принятие решений в некоторых ситуациях. Например, для обеспечения общего времени в системе координатор рассылает всем агентам синхроимпульс, а затем принимает подтверждения. Когда число подтверждений совпадет с числом отправленных синхроимпульсов, координатор мгновенно может принять решение об отправке нового синхроимпульса. В данном случае применяется реактивный подход для принятия решения. Агент не обращается к базе данных, для того чтобы узнать, от кого пришло каждое подтверждение, а действует упрощенно по принципу «ситуация–действие». Подобное упрощение имеет и негативные стороны — возрастает вероятность ошибки в системе.

Таким образом, при большом количестве агентов-особей в системе оптимальным вариантом архитектуры для агента-координатора будет горизонтальная гибридная архитектура. При этом основные действия агента будут выполняться подсистемой с логической архитектурой, а для выполнения отдельных действий будет применяться реактивная подсистема.

## 5. Заключение

Моделирование пространственно-временной динамики биосистем и популяций может решаться с использованием различных парадигм имитационного моделирования. Агентный подход интересен тем, что позволяет на основе знаний о поведении отдельных особей имитировать процесс формирования группировок и их перемещений в пределах ареала как целостных образований. Модели такого рода требуют разработки (или отбора из имеющихся программных продуктов) агентной среды и модели ареала, в котором «проживают» индивидуальные агенты.

В настоящей работе была представлена многоагентная модель популяции животных. Были определены типы агентов, особенности их поведения и взаимодействия. Каждая особь должна быть представлена самостоятельным агентом. В системе должен быть также определен агент-координатор, управляющий всеми процессами и контролирующий действия агентов-особей. Координатору отводится ключевая роль по синхронизации работы остальных агентов и ведению базы данных с характеристиками всех агентов.

В работе приведен краткий обзор наиболее известных архитектур интеллектуальных агентов. Приведены возможные области применения для каждой архитектуры.

Удалось установить, что для агента-особи наилучшим вариантом архитектуры будет логическая архитектура в связи с необходимостью анализа информации из базы данных перед принятием решения. Агент-координатор должен иметь гибридную архитектуру, включающую логическую и реактивную подсистемы. Такая схема позволит сократить время принятия решений в некоторых ситуациях, что очень важно в условиях большой численности популяции.

Главной особенностью описанной многоагентной системы является возможность моделирования динамики численности популяции наряду с пространственным расположением особей на заданной территории.

Эксперименты на модели дадут возможность проверить и уточнить гипотезы и предположения биологов о закономерностях территориального размещения и миграции животных. В дальнейшем модель может быть использована для прогнозирования пространственно-временной структуры популяции в зависимости от численности, состояния кормовой базы, возможных изменений климата.

## Литература

1. *Городецкий В. И., Карасев О. В.* Технология разработки прикладных многоагентных систем в инструментальной среде MASDK // Труды СПИИРАН. Вып. 3, т. 1. СПб.: Наука, 2006. С. 11–32.
2. *Карпов Ю. Г.* Введение в моделирование с использованием среды AnyLogic. [Электронный ресурс] // <<http://www.xjtek.com>> (по состоянию на 01.12.2006).
3. *Brooks R. A.* A robust layered control system for a mobile robot // IEEE, Journal of Robotics and Automation. 1986. P. 14–23.
4. *Collis J., Ndumu D.* Zeus Technical Manual [Электронный ресурс] // <<http://labs.bt.com/projects/agents/zeus/techmanual/TOC.html>> (по состоянию на 17.04.2006).
5. *Ferguson I. A.* TouringMachines: An Architecture for Dynamics, Rational, Mobile Agents. Cambridge, 1992. 205 p.
6. FIPA Specification [Электронный ресурс] // <<http://drogo.cselt.stet.it/fipa/>> (по состоянию на 01.02.2007).
7. FIPA-OS: A component-based Toolkit Enabling Rapid Development of FIPA Compliant Agents [Электронный ресурс] // <<http://fipa-os.sourceforge.net>> (по состоянию на 03.04.2006).
8. *Genesereth M.R., Nilsson N.* Logical Foundations of Artificial Intelligence. San Mateo, CA, 1987. 416 p.
9. *Horling B., Lesser V.* The Taems White Paper. University of Massachusetts, 2004. 50 p.
10. JADE Programmer's Guide [Электронный ресурс] // <<http://jade.tilab.com>> (по состоянию на 20.02.2007).
11. JADE Administrator's Guide [Электронный ресурс] // <<http://jade.tilab.com>> (по состоянию на 20.02.2007).
12. *Konolige K.* A deduction model of belief. San Mateo, CA, 1986. 230 p.
13. *Muller J.* A cooperation model for autonomous agents. Berlin, 1997. P. 245–260.
14. *Nwana H. S.* Software Agents: An Overview. Knowledge Engineering Review. Vol. 11, No 3. San Mateo, CA, 1996. P. 1–40.
15. *Rao A. S., Georgeff M. P.* Modeling rational agents within a BDI-architecture // Proceedings of Knowledge Representation and Reasoning. San Mateo, CA, 1991. P. 473–484.
16. *Weiss G.* Multiagent Systems. A modern approach to distributed artificial intelligence. Cambridge, Massachusetts, 2001. P. 36–61.