



ISSN 2071-2898 (Print)  
ISSN 2071-2901 (Online)

**Балута В.И., Яковенко О.Ю.**

Формализация описания  
сложного поведения  
объектов в задачах  
имитационного  
моделирования систем  
физической защиты

**Рекомендуемая форма библиографической ссылки:** Балута В.И., Яковенко О.Ю. Формализация описания сложного поведения объектов в задачах имитационного моделирования систем физической защиты // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2016. № 3. 32 с. doi:[10.20948/prepr-2016-3](https://doi.org/10.20948/prepr-2016-3)  
URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2016-3>

**Ордена Ленина  
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ  
имени М.В.Келдыша  
Российской академии наук**

**В.И. Балута, О.Ю. Яковенко**

**Формализация описания  
сложного поведения объектов  
в задачах имитационного моделирования  
систем физической защиты**

**Москва — 2016**

***Балута В.И., Яковенко О.Ю.***

**Формализация описания сложного поведения объектов в задачах имитационного моделирования систем физической защиты**

Работа посвящена вопросам имитационного моделирования процессов функционирования элементов и комплексов систем физической защиты и охраны. Предлагаются способы формализации описания сложного поведения объектов на основе агрегатного подхода. Под сложным поведением объектов понимается необходимость выбора ряда конкретных действий по изменению их внутреннего состояния в зависимости от складывающейся ситуации. Схема принятия решения по изменению состояния объекта включает распознавание текущей ситуации, обработку альтернативных целей, разрешение целевых противоречий, планирование дальнейших действий в решаемой задаче.

Проведена декомпозиция и предложены способы формализации процессов пошагового моделирования выработки решений объектами со сложным поведением для определения их фазовых траекторий в ситуационном пространстве. Обсуждены способы описания объектов сложной структуры, для чего введено представление объектов в форме последовательного синтеза структур из составных элементов – конструктивов, агрегатов, систем. Показано, как учитывать по мере усложнения объекта снижение числа степеней свободы входящих в него элементов. Детально описаны примеры применения предлагаемых инструментов в различных условиях решаемых задач.

***Ключевые слова:*** имитационное моделирование, сложное поведение, система, агрегат, конструктив, выработка целей, принятие решений.

***Victor Ivanovich Baluta, Oleg Yurevich Yakovenko***

**Formalization of the description of the complex behavior of objects in tasks of simulation of physical security systems**

The work is devoted to questions of simulation modeling of interaction conflict systems. The ways of formalizing the description of models of objects with complex behavior, based on an aggregate approach. Under the complex behavior we understand to the need for the choice of specific actions to change the state of an object based on its internal model of the current situation. Driving the decision to change the state of an object includes the recognition of the situation and the development of alternative targets, the target resolution of contradictions, planning further action.

Decomposition and ways of formalizing the processes of step modeling decision-making objects with complex behavior to determine their trajectories in the phase space are proposed. Representation of objects in the form of successive synthesis of structures of the constituents is introduced. It is shown how to deal with the complexity of the object decrease in the number of degrees of freedom of its constituent elements. Examples of application of the proposed instruments in the different conditions of tasks are described in detail.

***Key words:*** simulation modeling, complex behavior, a system, an aggregate, an element, development goals, decision-making

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 16-01-00571-а

## Введение

Тема этой работы появилась в связи с необходимостью решения задач повышения эффективности противодействия терроризму, в числе которых присутствует такое направление, как исследование форм конфликтного противостояния сторон методами имитационного моделирования.

Проблема противодействия терроризму является одной из наиболее актуальных проблем сегодняшней повестки дня. Поскольку одним из наиболее заметных проявлений терроризма является совершение диверсионных актов, на уровне местных органов управления повышенное внимание уделяется обеспечению защищенности критически важных объектов с помощью комплексных систем охраны и средств физической защиты.

В нашей стране вопросы обоснования правильной организации и создания комплексных систем охраны критически важных объектов всегда находились в сфере внимания специализированных организаций, поэтому публикации носили локальный характер (см., например, [1]) и практически не находили широкого отражения в открытой научно-технической литературе. Поэтому одним из основополагающих трудов в этой области считается монография американского автора М. Гарсия [3], переведенная и опубликованная издательством «Мир». Автор книги – преподавательница, читавшая в различных университетах США курс лекций по безопасности, базирующихся на разработках Национальной лаборатории "Сандия". В этой книге систематизированы подходы к решению задач, связанных с организацией систем физической защиты, выделены базовые направления и этапы, требующие детального рассмотрения. В самом общем случае эти направления включают: многоплановый анализ информации об объекте защиты, предположения о целях и возможных способах действия злоумышленников, способы противодействия предполагаемым угрозам с учетом потенциальных возможностей технических средств и оснащения сил охраны. Подчеркивается, что проектное решение необходимо основывать на принципах рациональности или разумного компромисса: исходя из рамок целесообразного бюджета, меры по охране объекта должны обеспечивать предотвращение неприемлемого ущерба, однако они не должны быть чрезмерными, чтобы не затруднять функционирование охраняемого объекта.

После выхода упомянутой книги в нашей стране появилось достаточно много публикаций, уточняющих, дополняющих или детализирующих отдельные аспекты работ по созданию систем физической защиты объектов.

Для примера в ряду многочисленных публикаций можно упомянуть работы по детализации: методов анализа спектра угроз и использования экспертных оценок для оптимизации проектных решений [4], методических вопросов применения технических средств охраны в различных условиях [5], способов моделирования для выявления вероятных маршрутов злоумышленника, оптимальных путей выдвижения сил охраны, направлений эвакуации персонала и посетителей [6].

Теоретические разработки, а также опыт практической эксплуатации внедренных систем положены в основу подготовки методических рекомендаций и ведомственных указаний по организации работ, касающихся проектирования, создания и применения комплексных систем охраны объектов, включая и антитеррористические мероприятия (например, [7]). На рис. 1 представлена обобщенная схема процесса проектирования системы физической защиты объекта, описание которой приведено в [8].

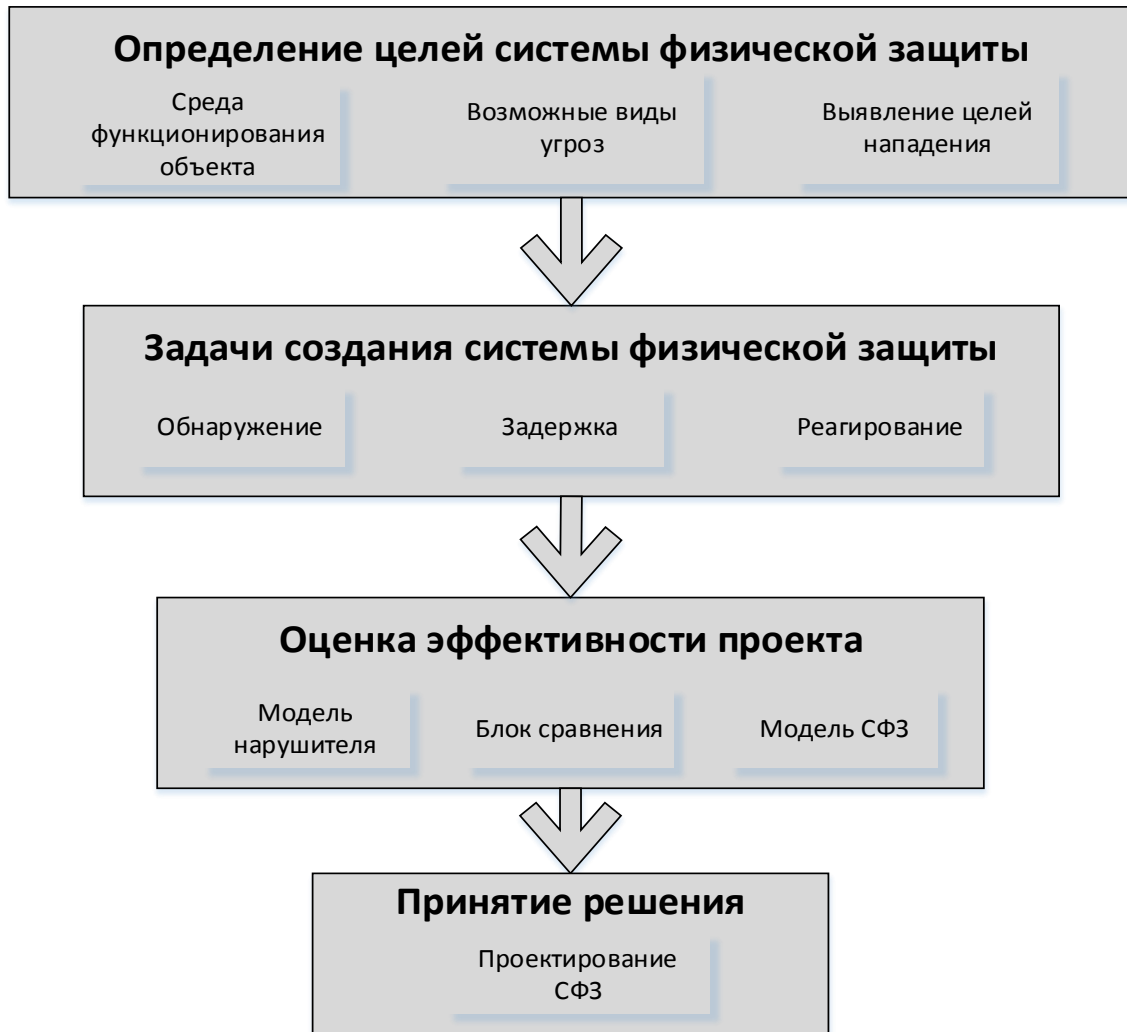


Рис. 1. Обобщенный алгоритм проектирования системы физической защиты

Несомненно, одним из самых важных и значимых в ряду обязательных этапов работ является оценка эффективности проектируемой системы охраны объекта, когда необходимо определить, насколько качественно с помощью создаваемой системы решаются задачи по пресечению угроз функционированию объекта со стороны потенциальных злоумышленников. По своей содержательной сути этот этап можно отнести к области задач синтеза, когда проверяется структура системы и настраиваются параметры для получения требуемых значений функциональных характеристик. Значимость этих работ обусловлена тем, что именно в этот период не просто

оценивается качество предлагаемых решений, но и существует возможность их корректировки и доработки для получения наилучшего результата. Оценка эффективности сводится к необходимости сопоставления различных вариантов возможных действий вероятного злоумышленника по преодолению рубежей охраны, к выявлению уровня надежности своевременного обнаружения таких действий в различных условиях обстановки, к проверке оптимальности реагирования сил охраны.

Полная постановка такой задачи имеет достаточно сложный характер ввиду необходимости рассмотрения в многомерном параметрическом пространстве противоборства двух сторон, имеющих конфликт интересов.

В применяемых на практике методиках решение этой задачи проводится в значительно упрощенной постановке. Как правило, большинство из них ориентированы на рассмотрение и сравнительную оценку некоторого ограниченного набора априори заданных вариантов с экспертно-оцениваемыми вероятностями тех или иных входящих в них событий. В краткой форме применяемые подходы систематизированы, например, в [9].

Наиболее перспективным, хотя и не самым простым, на наш взгляд, способом поиска квазиоптимального решения таких задач является метод имитационного моделирования. В настоящее время такие подходы получили широкое распространение и, наряду с другими методами математического моделирования, позволяют всесторонне изучать поведение той или иной системы (и протекающих в ней процессов) в интересах выработки рекомендаций по повышению эффективности их функционирования.

Задача оценки эффективности систем физической защиты в постановке имитационного моделирования сводится к построению комплексной модели объекта, разработке правил функционирования тех или иных элементов исследуемых систем и выполнению вариативного множества расчетов их возможного взаимодействия, включая антагонистическое противостояние, с целью выявления наиболее рискованных сценариев развития событий и поиска путей их предупреждения, локализации или пресечения. Поскольку многие из элементов-прототипов модельной обстановки обладают вариативностью реакции на складывающуюся ситуацию, большой проблемой является адекватность отражения особенностей их поведения в имитационной модели.

В работе рассматривается один из возможных подходов к разработке моделей со сложным поведением объектов для решения задач методами имитационного моделирования.

## **Технология построения инструментов имитационного моделирования**

В настоящей работе предлагается рассмотреть один из технологических подходов к созданию моделей интеллектуальных агентов со сложным поведением, базирующийся на агрегатном подходе, основные

положения которого были предложены в [10]. Под сложным поведением здесь и далее понимается поведение некоторого объекта, имеющего собственную (внутреннюю) модель мира с возможностью позиционирования себя в этом мире, на основе которой он вырабатывает решения о совершении каких-то действий. В работе обобщен определенный опыт имитационного моделирования сложных организационно-технических систем.

В числе требований, предъявляемых к разрабатываемым моделям и принятых в качестве основополагающих в предлагаемой технологии, основной упор предлагается сделать на следующих аспектах:

- адекватность;
- расширяемость;
- масштабируемость;
- компактность описания;
- интерпретируемость описания неспециалистом.

Под *адекватностью* в данном случае понимается возможность создаваемых в рамках этой технологии инструментов адекватно описывать предметную область, не принося в такое описание какой-либо системной ошибки.

В понятие *расширяемости* включена возможность пополнения функциональности создаваемого инструментария.

Под *масштабируемостью* подразумевается свойство, обеспечивающее возможность описания разных типов поведения для одного агента, при этом допускается итерационный процесс создания поведенческой модели с постоянным ее уточнением и дополнением.

Под *компактностью описания* понимается такое описание, в котором минимизируется количество рассматриваемых сущностей.

*Интерпретируемость неспециалистом* подразумевает, что технология должна быть проста настолько, чтобы ее можно было освоить без длительной подготовки. Для этого в технологии должны прослеживаться явные аналогии с реальным миром, чтобы можно было легко найти некоторую метафору процессу, описываемому с помощью предлагаемых инструментов. Возможность использования метафор, как показывает практика, упрощает восприятие представления прикладной задачи в терминах предлагаемого формализма.

*Интерпретируемость* в части, касающейся представления технологии в инструментальных средствах, подразумевает то, что объекты, которыми должен с их помощью оперировать пользователь, должны иметь простое и наглядное визуальное отображение – в виде схем, таблиц и т.п.

Безусловно, возможные требования к технологии не ограничиваются только перечисленными здесь, однако прочие в большей степени относятся к формам реализации на уровне программных продуктов.

## **Декомпозиция поведения сложных систем**

Как уже говорилось, предлагаемая технология предназначена для обеспечения возможности компактного описания любых объектов, поведение которых обусловлено построением собственной внутренней модели мира.

Естественно, что в качестве примера поведенческих моделей используются представления о модели поведения человека. Поведенческую модель в плане решения прикладных задач можно декомпозировать на следующие составные части:

- создание и поддержание модели мира;
- выработка и принятие решений;
- исполнение решений.

Кратко опишем содержательное наполнение каждой из этих частей.

### **Создание и поддержание модели мира**

Обобщающее понятие «создание и поддержание внутренней модели мира» отражает то обстоятельство, что человек в процессе познания окружающего мира строит в своем сознании модель действительности, которая пополняется и детализируется в течении всего периода существования носителя этой модели. Внутренняя модель мира включает в себя информацию об окружающих объектах, их изменении во времени, их взаимодействиях и т.д. В поддержание модели включен и процесс ее постоянной актуализации по отношению к внешнему миру. Исходная модель мира конкретного моделируемого объекта связана с предполагаемым уровнем его знаний об условиях функционирования этого мира, а также обуславливается его опытом, умениями и т.д. (например, либо в исходной модели мира злоумышленника может присутствовать с какой-то степенью детализации схема охраняемого объекта, которая позволяет ему ориентироваться в пространстве, либо он вынужден будет сам ее формировать в процессе перемещения по незнакомой территории).

### **Выработка и принятие решений**

Процесс выработки решений связан с анализом имеющейся в сознании человека совокупности представлений об окружающем мире. То есть, принимая решения, человек оперирует именно сущностями модели действительности (модели мира) в своем сознании, а не объектами реального мира. Очевидно, что таким же образом принимаются решения в любых системах (которые можно рассматривать как отдельные самостоятельные сущности), если в их контур управления включен человек.

Сам по себе процесс «выработки и принятия решений» при его модельном представлении может быть декомпозирован на более мелкие составляющие. Для решения прикладных задач его можно представить состоящим из следующих подпроцессов:

- распознавание ситуации;
- формирование текущей цели;



- построение плана достижения цели.

### **Распознавание ситуации**

Любой объект существует в некотором окружении. В качестве окружения объекта выступают другие объекты, события, происходящие вокруг объекта, законы, которым подчиняются те и другие. Однако для описания модели поведения описания только окружения недостаточно, поскольку и сам объект определенным образом влияет на свое окружение. Поэтому при описании поведения объекта необходимо учитывать факт наличия и характеристики самого объекта. Более того, представлять его следует не просто как фактор непосредственного влияния на окружение, но и как сущность, обладающую собственной моделью окружающего мира, к тому же учитывающую в своей модели мира другие локальные модели мира, «носителями» которых являются другие объекты.

В процессе функционирования взаимодействующих систем изменяется их состояние через изменение состояния и положения составляющих их объектов. Другими словами, внешний по отношению к объекту мир постоянно изменяется. Изменяясь, он переходит от одного состояния к другому, и различные его состояния выступают в виде ситуаций. Некоторые из ситуаций представляются незначимыми в обозримом интервале времени, если их влиянием на состояние объекта можно пренебречь. Более важны те ситуации, которые влияют на объект или связаны с возможностью такого влияния. Важны также ситуации, в которых объект имеет возможность влиять на окружающий его мир.

Собственно, общее количество таких ситуаций определяется нашими возможностями по их осознанию и описанию. Понятно, что для задач моделирования таких ситуаций не может быть слишком много. С одной стороны, как уже отмечено, ограничения на число распознаваемых ситуаций накладываются уровнем знаний о моделируемых системах, с другой – имеющимися возможностями вычислительной техники.

Множество известных состояний, в которых могут находиться исследуемые системы, назовем стереотипными ситуациями. Из всего множества стереотипных ситуаций интересны только те, в которых необходимо и/или возможно изменение поведения каждого отдельного объекта. Поэтому в модели такого объекта для оценки текущей обстановки необходимо заложить умение распознавать подобные ситуации.

Под распознаванием ситуации здесь понимается сопоставление двух вариантов состояния окружающей объект обстановки, находящей отражение в его модели мира. В качестве первой выступает текущее, ретроспективное или прогнозируемое состояние его модели мира (как вариант – их произвольная комбинация), в качестве второго закладывается некоторый предварительно сформированный шаблон, описывающий некоторое подмножество мира в каких-то границах его параметрического пространства. В качестве такого шаблона может задаваться пространственное положение объекта относительно положения каких-то других объектов (например,

попадание в поле зрения камер видеонаблюдения), какие-то характеристики окружающего его пространства (например, степень освещенности или предельная зона видимости) и т.п. Причем такие шаблоны не обязательно являются продуктом описания модели, некоторые из них могут формироваться самим объектом в ходе накопления им опыта решения тех или иных задач в процессе модельного функционирования.

Распознавание стереотипных ситуаций необходимо для воспроизводства адекватности поведения объекта в виртуальной среде в ходе моделирования, в частности, для:

- выявления угрозы;
- выявления потенциальной возможности;
- выработки цели;
- определения факта достижения цели;
- и т.д.

При этом выявление угроз и возможностей формирует преимущественные ориентиры для определения цели и условий выбора пути в сложившейся текущей ситуации.

### **Формирование текущей цели**

Под целью понимается некоторое желаемое положение (состояние) объекта, управляющего своим состоянием в пространстве возможных состояний.

Цели могут подразделяться на уровни, они могут быть главными или промежуточными. Главная цель модельного объекта – достижение такого состояния его модели мира, для которого он предназначен (естественно, в рамках моделируемых процессов). Промежуточная цель – это цель, через достижение которой (и только через нее) возможно или наиболее эффективно в текущей ситуации достижение главной цели.

Выработка объектом цели заключается в определении того, какие из совокупности возможных целей в текущий момент для него актуальны. Одновременно у объекта может быть несколько целей. Эти цели могут иметь разный приоритет и даже могут быть противоречивы. Поэтому главная задача процесса выработки целей – определить, какие из множества целей могут быть отобраны для реализации в текущий момент времени.

### **Построение плана достижения цели**

После определения требующихся для реализации целей необходимо определить их последовательность, то есть через какую последовательность состояний должен пройти объект, чтобы достичь заданного состояния в направлении движения к главной цели. Множество согласованных последовательностей состояний, которые гарантированно переводят объект в целевое состояние, задается формируемым планом.

В математическом смысле построение плана сводится к минимизации (или максимизации) некоторого условного параметра, называемого стоимостью плана. С помощью этой процедуры из всего множества

возможных планов достижения цели выбирается некоторое наиболее предпочтительное подмножество.

Если все пространство состояний объекта выразить в виде направленного графа, где узлы графа – разные состояния объекта, а дуги – возможности перехода из одного состояния в другое, причем дугам присвоены значения стоимости переходов между узлами, тогда построение оптимального плана сведется к поиску множества оптимальных (по сумме стоимостей дуг) путей достижения целевого состояния. (Например, быстро спуститься с какого-то этажа здания можно несколькими путями: прыгнув в окно, спустившись на лифте, последовательно сбегая с этажа на этаж по лестнице. В параметр стоимости может входить не просто время перемещения, но и степень изменения параметров объекта в интересах дальнейшего выполнения задачи. Спуститься прыжком – наиболее быстро, но, если нет специального снаряжения, безопасно сделать это можно только с первого этажа. Спускаться по лестнице – долго, но при отключенном электричестве, а значит, неработающем лифте, такой путь будет и быстрее, и безопаснее всего.)

### **Исполнение решений**

Этот этап сводится к выполнению объектом каких-то операций, которые изменяют его текущее состояние в соответствии с выработанным им планом.

Поскольку в процессе моделирования мы имеем дело со взаимодействующими системами, две из которых представляют стороны конфликтного противодействия, то обстановка, окружающая каждый объект, изменяется в процессе моделирования поведения всех других объектов, имеющих свои собственные цели. Соответственно, актуализируется и обновляется его собственная модель окружающего мира, что приводит к необходимости повторения цикла выработки следующей цели и плана ее достижения в каждый момент модельного времени.

Изложенный подход к описанию сложного поведения объектов, используемый в комплексе средств имитационного моделирования, позволяет описывать достаточно широкий спектр моделей поведения, включаемых в имитационные модели сложных организационно-технических систем. Основное достоинство такого подхода – его универсальность, которая позволяет использовать его как основу для комплекса инструментальных средств описания сложного поведения систем различного назначения.

### **Исходные понятия и определения**

Для практической реализации изложенного выше подхода необходимо ввести несколько дополнительных понятий: модели, конструктива, агрегата, системы.

Под *моделью* будем понимать некий инструмент, позволяющий посредством логических умозаключений спрогнозировать последствия

каких-то действий, чтобы выбрать наиболее предпочтительное в сложившейся ситуации с точки зрения достижения поставленных целей. Другими словами, модель представляет собой некоторое отображение части мира, в котором функционируют объекты обстановки. Любой объект реального мира обладает набором свойств, часть из которых, являющаяся важной с точки зрения рассматриваемой задачи моделирования, реализуется в модели.

Под *конструктивом* понимается модельный образ компонентов описываемого фрагмента предметной области, который в рамках построения конкретной модели можно рассматривать как элементарный.

*Агрегат* состоит из совокупности нескольких конструктивов, связанных определенным образом, который придает агрегату системные свойства эмерджентности. Агрегат не является простой суммой входящих в него конструктивов, поскольку при объединении конструктивов в агрегат вступают в действие ограничения их степеней свободы.

Взаимодействующие в интересах достижения общих целей или решения совместных задач агрегаты или отдельные конструктивы могут рассматриваться как *системы*.

Для пояснения можно привести следующие наглядные примеры.

Если представить в качестве отдельных конструктивов подготовленного в военном отношении человека, его личное оружие, индивидуальные средства связи, то в совокупности эти элементы могут составить бойца (агрегат). А из группы таких бойцов формируется система караульной охраны объекта, все элементы которой призваны согласованно действовать в интересах пресечения проникновения злоумышленников на объект.

Конструктивами могут выступать, например, камера видеонаблюдения, сервер для управления и записи данных и соединяющий их кабель для передачи сигнала. Вместе они образуют агрегат регистрации видеоинформации о состоянии окружающего мира в зоне установки камеры. Совокупность всех таких агрегатов на объекте формирует комплексную систему видеонаблюдения.

При необходимости решения каких-то специальных задач, например, для расчета расстояния, на котором может быть идентифицирован движущийся объект в зоне действия конкретной камеры, включая учет погодных условий, уже сама камера, которая в предыдущей задаче представлялась в виде конструктива, может быть представлена в виде агрегата, который состоит из защитного кожуха, корпуса, проекционного объектива, матрицы преобразования свет-сигнал, процессора с каналом обработки и формирования телевизионного сигнала. Каждый из этих элементов характеризуется параметрами, необходимыми для определения характеристик получения, прохождения и преобразования сигналов. Описанный технический агрегат вместе с системой расчета характеристик сигналов является моделью системы формирования телевизионного изображения участка местности.

Последний пример, когда в зависимости от решаемой задачи один и тот же предмет (здесь – видеокамера) может быть представлен в виде элементарного конструктива или сложного агрегата, показывает, что представление некоторой предметной области в виде модели, выделение и описание конструктивов и агрегатов – сложный процесс, требующий определенной квалификации, хорошего знания предметной области, глубокого понимания решаемых задач. Уровень сложности моделирующего программного комплекса и степень адекватности представления исследуемых систем при моделировании их взаимодействия напрямую обуславливаются наличием и применением этих качеств.

Набор свойств, которыми характеризуются конструктив, агрегат, система в определенный момент времени, определяют их *состояние*. Изменение состояния происходит в результате протекания каких-то внутренних или внешних процессов.

Алгоритмически процесс взаимодействия конструктивов в ходе моделирования описывается с помощью *информационных пакетов* (далее – пакет) и *реакторов*. Каждый конструктив содержит некие расчетные блоки, в которых формируются или обрабатываются поступающие информационные пакеты. Конструктив формирует и рассылает информационные пакеты об изменении своего состояния. Эти пакеты проходят обработку в реакторах других конструктивов и инициируют какие-то действия, которые могут побудить, изменить или прекратить выполнение тех или иных внутренних процессов, изменяющих состояние этих конструктивов. Изменение состояния отдельного конструктива отражается на изменении состояния агрегата или системы, элементом которых он является.

Иначе говоря, пакет – это некоторая абстрактная сущность, предназначенная для уведомления элементов модели о состоянии конкретного конструктива. В свою очередь реактор – абстрактная сущность, назначение которой состоит в анализе полученных конструктивом пакетов и инициировании отвечающих им процессов в самом конструктиве.

Приведем пример. Допустим, моделируется действие системы контроля и управления доступом персонала в различных помещениях объекта. При пересечении каким-то агентом модели автоматизированного пункта пропуска (элемент), установленного на переходе между какими-то помещениями, он должен сформировать пакет об этом событии. В результате обработки этого пакета в моделях этих помещений произойдут изменения: в предыдущей зоне количество находящихся там лиц будет уменьшено на единицу, а в следующей – увеличено на ту же величину.

Подводя итог изложенному выше, можно сказать, что функционирование модели – это последовательное воспроизведение во времени состояний ее элементов. То есть на каждом такте моделирования осуществляются следующие операции: оценка текущего состояния элементов модели, определение следующего состояния на основании некоторых правил и перевод элементов модели из одного состояния в другое. Далее цикл повторяется.

Совокупность состояний элементов модели в дальнейшем будем называть модельной ситуацией. Именно на основании текущей модельной ситуации осуществляется определение следующего состояния каждого элемента модели.

Для большинства прикладных задач алгоритмы анализа текущей модельной ситуации и расчета состояний элементов на следующем такте моделирования достаточно просты и не требуют реализации каких-либо дополнительных функций.

Однако формализация действий человека, функционирования человеко-машинных систем и особенно алгоритмизация конфликтных взаимодействий являются достаточно сложными научно-техническими задачами в силу необходимости учета большого количества факторов различной природы, использования элементов нечеткой логики и других причин, а также слабой изученности механизма принятия решений человеком.

Представляется, что для проектирования таких моделей и их эффективного использования средство моделирования должно иметь инструменты описания и построения алгоритмов, имитирующих поведение интеллектуальных систем. Такой инструментарий в дальнейшем будем называть «системой управления поведением».

Под поведением в данном случае понимается способность некоторого объекта реального или модельного мира вырабатывать и достигать некоторую цель на основании информации о текущей ситуации.

Используемое здесь понятие цели - ключевой элемент системы управления поведением и поведения вообще. Вот как трактует понятие цели Философская энциклопедия [11] (в интернет-доступе):

«Цель – один из элементов поведения и сознательной деятельности человека, который характеризует предвосхищение в мышлении результата деятельности и пути его реализации с помощью определенных средств. Цель выступает как способ интеграции различных действий человека в некоторую последовательность или систему. Анализ деятельности как целенаправленной предполагает выявление несоответствия между наличной жизненной ситуацией и целью; осуществление цели является процессом преодоления этого несоответствия».

Из приведенного определения видно, что умение вырабатывать цель, планировать ее достижение и реализовывать запланированное – суть поведения, складывающегося из ряда стадий (этапов).

В общем, говоря о некоторой конкретной цели, мы достаточно определенно в большинстве случаев можем сформулировать свое состояние (или состояния окружающих нас людей и предметов), соответствующее данной цели. Такое состояние обычно определяется как «целевое состояние».

В системе управления поведением необходимо реализовать подход, когда каждой цели однозначно соответствует некоторое целевое состояние объекта. То есть под утверждением «выработана определенная цель» будет

подразумеваться, что для объекта определено некоторое соответствующее этой цели конкретное состояние.

## Управление сложным поведением

Как уже отмечалось выше, основные этапы управления сложным поведением включают (рис. 2):

- распознавание ситуации и выработку целей;
- разрешение целевых противоречий;
- планирование действий.

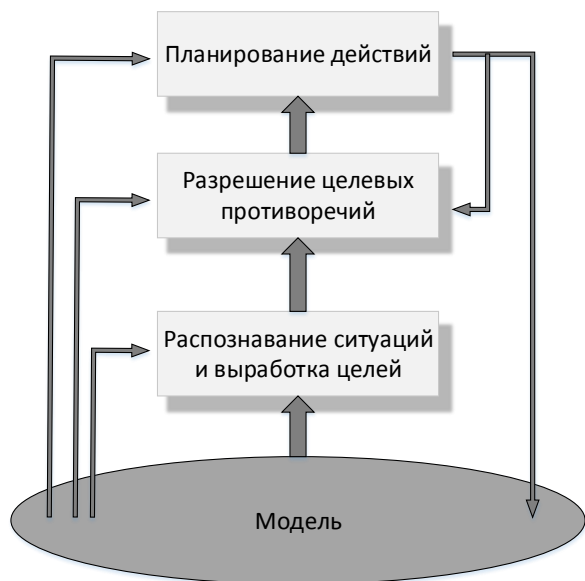


Рис. 2. Этапы управления поведением

Задачи каждого этапа управления поведением могут быть реализованы как функции отдельных подсистем.

Подсистема распознавания ситуации и выработки целей предназначена для получения из модели параметров о текущей модельной обстановке, анализа этих параметров (распознавания ситуации) и выработки на основании результатов анализа некоторых целей. То есть объект, для которого реализована система управления поведением, получает информацию о текущей ситуации, на основании ее анализа находит для себя ответ на вопрос «Что

сделать?». Поскольку каждой цели однозначно соответствует некоторое целевое состояние, то результатом функционирования подсистемы распознавания ситуации и выработки целей является целевое состояние или, как иногда бывает, равнозначный набор состояний объекта.

В последнем случае необходимо использовать какие-то механизмы выбора одной цели из полученного набора. К сожалению, даже в реальном мире, имея достаточный опыт в той или иной области, не всегда можно однозначно ответить на вопрос «что делать?» в конкретной ситуации по причине существования множества возможных путей разрешения этой ситуации. Трудно определиться с выбором определенной цели из множества и, соответственно, с переходом в то или иное целевое состояние. Как правило, в таких случаях приходится прибегать к поиску дополнительной информации о проблеме, консультациям, а порой отдавать решение на волю случая – прибегать к «подбрасыванию монетки». Сходная идеология может быть положена в основу подсистемы разрешения целевых противоречий, основное назначение которой – выбор одной цели из множества посредством соблюдения определенных правил.

Приведем пример для пояснения сказанного. Допустим, что нужно построить имитационную модель, описывающую проведение соревнований по бегу на 400 м. Каждый спортсмен начинает бег до финиша по выстрелу из стартового пистолета. Однако если вслед звучит еще один выстрел, то это означает фальстарт, и спортсмену необходимо остановиться и вернуться на старт. Известно, что во время прохождения спортсменом дистанции возможно начало старта другого забега. В этом случае спортсмен должен игнорировать выстрел и продолжать бег. И, наконец, после завершения старта спортсмен не должен реагировать на выстрелы. Человеку в жизни это не сложно, но условная математическая модель должна обладать подобными же свойствами.

Прежде всего, очевидно, что модель спортсмена может находиться в одном из трех состояний: «старт», «дистанция», «финиш». Сигналом для выполнения каких-то действий служит звук выстрела. В состоянии «старт» звук выстрела служит сигналом перехода в следующее состояние «дистанция». В состоянии «финиш» звук выстрела не выполняет никакой функции и должен игнорироваться. Но при нахождении в состоянии «дистанция» звук выстрела может приводить к необходимости выбора из двух возможных целей: возвращение в состояние «старт» или продолжение движения к финишу. Именно в этом случае возникает коллизия, которая требует разрешения целевых противоречий. Поэтому целесообразно ввести еще какой-то параметр, который поможет разрешить эту ситуацию. Таким параметром может быть информация о начале другого старта, но реализация ее получения достаточно сложна, поэтому более простым вариантом будет введение интервала времени между выстрелами. При его значении ниже какой-то заданной величины выбирается первая цель (возврат на старт), иначе – вторая.

Когда при помощи каких-то дополнительных средств этап выбора цели завершен и цель (а значит, и целевое состояние) определена, то необходимо сформировать ответ на следующий вопрос «Как?». Другими словами, через какие промежуточные состояния должен пройти объект по пути движения к выбранной цели. Это вопрос из серии «Какой путь лучше: сразу побежать по дороге или пока час переждать и доехать на рейсовом автобусе?». Определение пути достижения целевого состояния на основании некоторого выбранного критерия и есть основное предназначение подсистемы планирования действий.

Остановимся более подробно на реализации механизмов управления поведением.

## **Распознавание ситуации и выработка целей**

Подсистема распознавания ситуации и выработки целей предназначена для получения из модели параметров о текущей модельной обстановке, анализа этих параметров (распознавания ситуации) и выработки на основании результатов анализа некоторых целей.



Иными словами, предназначение подсистемы распознавания ситуации и выработки цели состоит в определении принадлежности некоторой сложившейся в имитационной модели ситуации одной из множества ситуаций, продекларированных как распознаваемые (стереотипные).

Под стереотипной мы в дальнейшем понимаем ситуацию, на основании которой однозначно можно определить вектор дальнейшего поведения объекта, то есть ответить на вопросы: «Что делать дальше?» или «Каков выход?». Такой подход к определению стереотипной ситуации предполагает, что каждой стереотипной ситуации может быть приведена в соответствие определенная цель.

### *Сенсор*

Основным компонентом подсистемы распознавания ситуации и выработки цели является сенсор – абстрактный элемент, получающий определенную информацию из модели или других сенсоров и преобразовывающий ее в соответствии с заложенным алгоритмом (рис. 3).

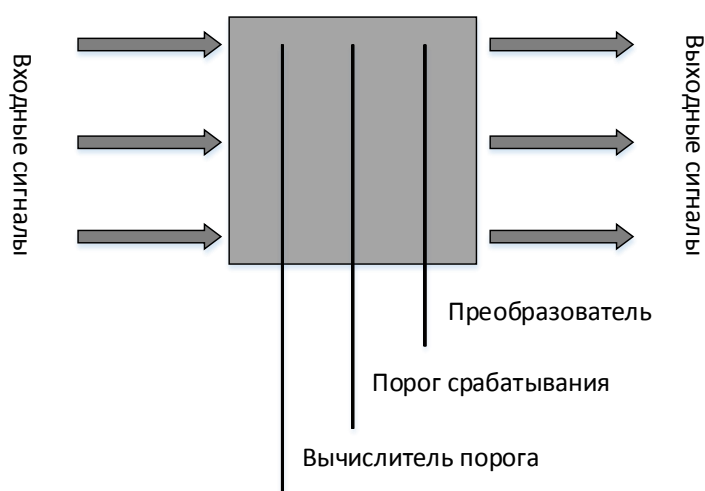


Рис. 3. Представление модели сенсора

В простейшем случае подсистема распознавания ситуации и выработки цели может быть смоделирована в виде одного сенсора, выходом которого сразу является цель. На рис. 4 представлена система распознавания ситуации и выработки цели, состоящая из одного сенсора. Сенсор получает информацию из модели обстановки о текущих значениях параметров 1 и 2 (например, из примера выше: состояние спортсмена и звук выстрела), вычисляет по заложенному в него алгоритму цель дальнейшего поведения.

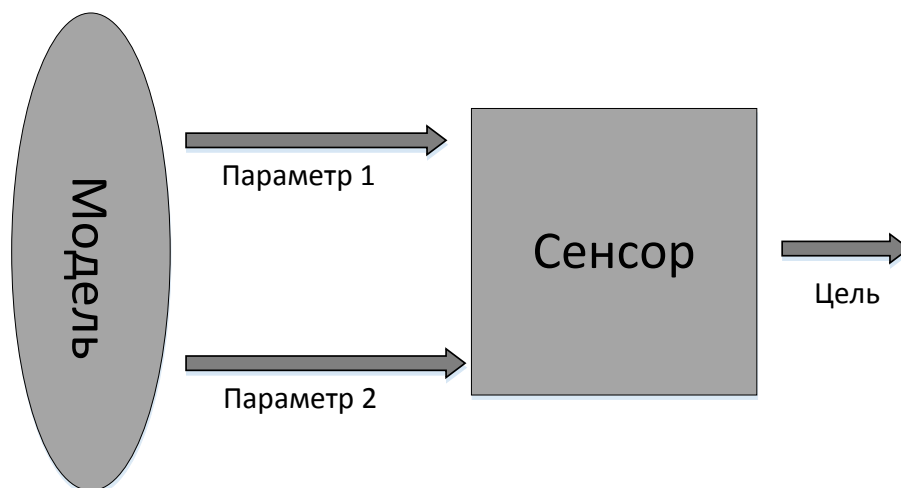


Рис. 4. Подсистема распознавания ситуации и выработки целей в виде одного сенсора

### Каскад сенсоров

В общем случае система распознавания ситуации и выработки цели может состоять из множества сенсоров, соединенных между собой входами и выходами. Такую совокупность сенсоров будем называть каскадом сенсоров (рис. 5).

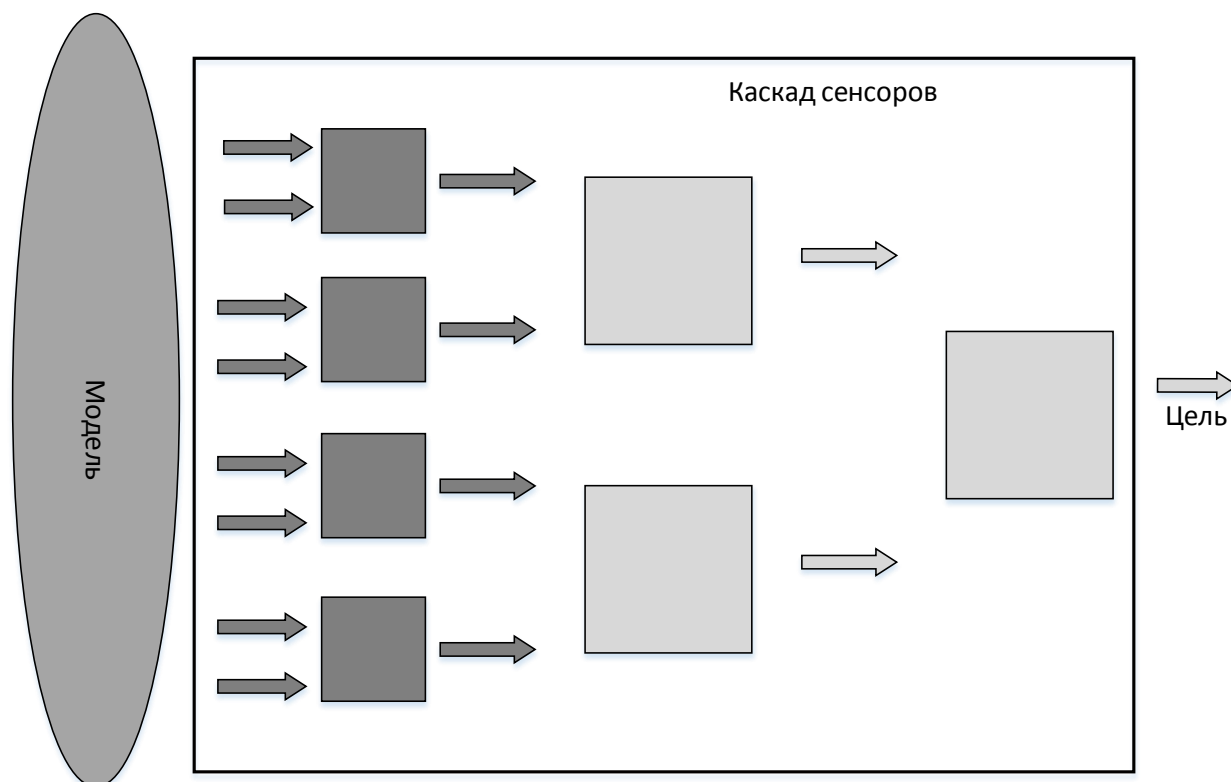


Рис. 5. Подсистема распознавания ситуации и выработки целей в виде каскада сенсоров

## Каскад сенсоров

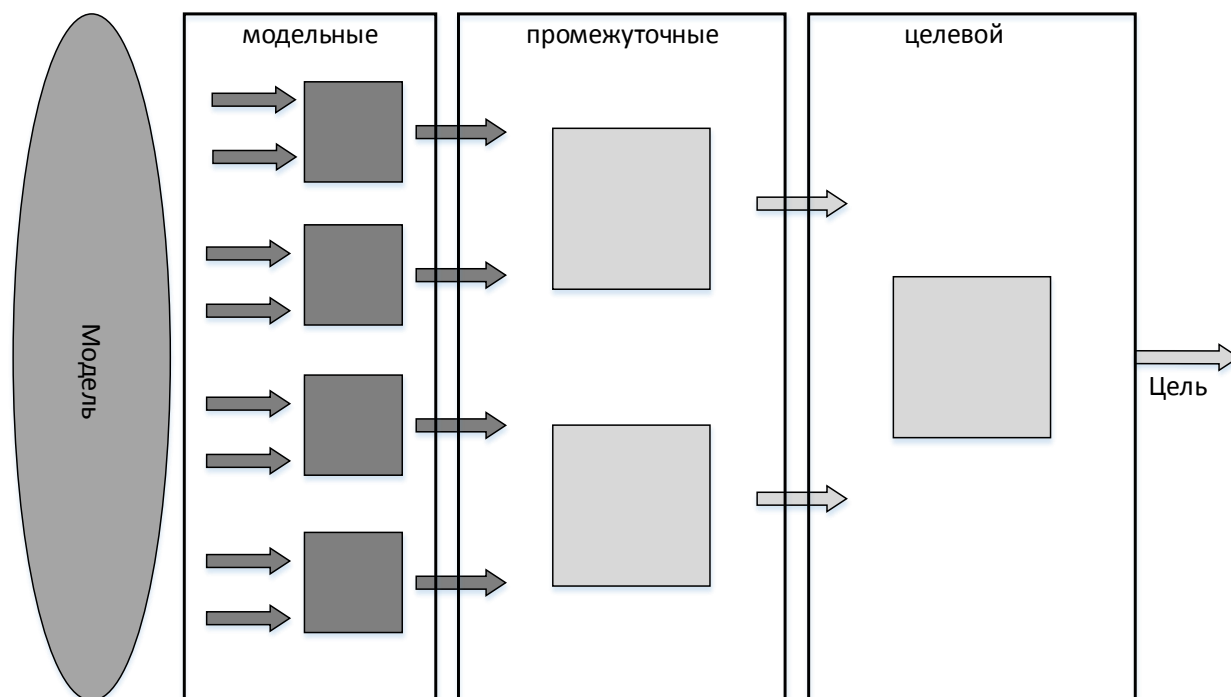


Рис. 6. Целесообразные типы сенсоров

*Типы сенсоров*

По своему назначению и источникам получения информации сенсоры могут быть следующих типов (рис. 6):

- модельные сенсоры;
- промежуточные сенсоры;
- целевые сенсоры.

В частности, модельные сенсоры не должны нести никакой алгоритмической нагрузки, и их основная функция – получение модельных параметров. То есть в модельных сенсорах должны быть реализованы методы доступа к различным базам данных, файлам ГИС, переменным – членам классов основных объектов модели и т.п.

Промежуточные сенсоры, напротив, предназначены для реализации логики распознавания ситуации. Их основная функция – преобразование информации модельных сенсоров в соответствии с заложенным алгоритмом. Именно в промежуточных сенсорах реализуются логические операции и выполняются математические расчеты.

Выделение целевых сенсоров в качестве отдельного класса (здесь имеется в виду класс как элемент классификации) обусловлено ограничением на выходной сигнал таких сенсоров, который должен представлять собой совокупность параметров, определяющих состояние объекта.

### Способы получения информации модельными сенсорами

Модельные сенсоры могут получать данные из различных срезов среды, описывающих сцену, в рамках которой осуществляется имитационное моделирование (рис. 7).

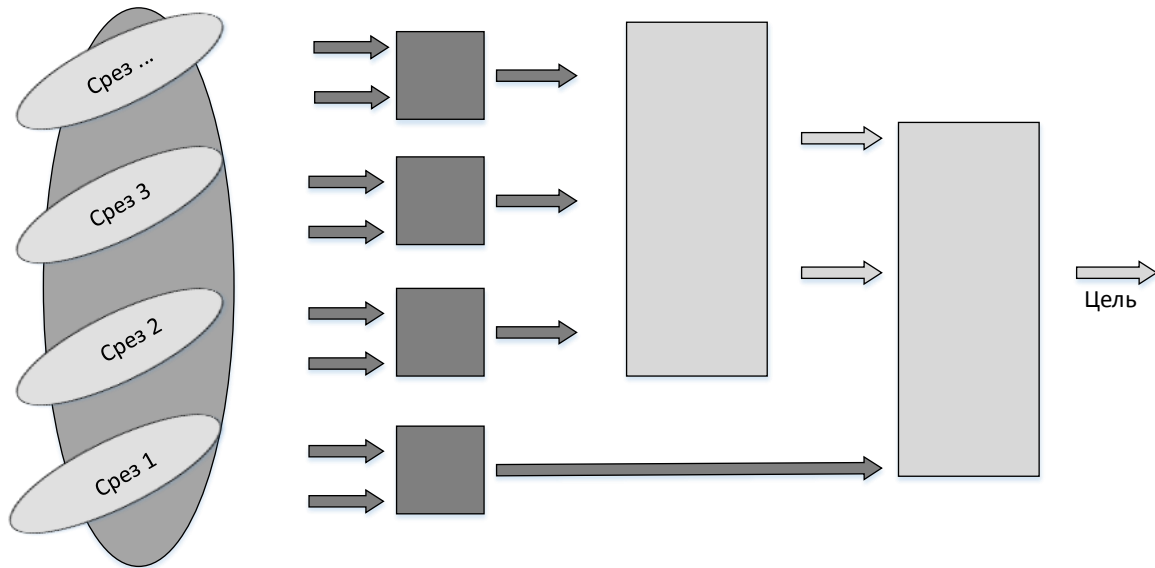


Рис. 7. Получение информации модельными сенсорами и ее использование

К примеру, это может быть информация о рельефе местности, о погодных условиях, о характеристиках освещенности, зонах видимости и т.п. Получаемые данные могут использоваться сенсорами различных уровней.

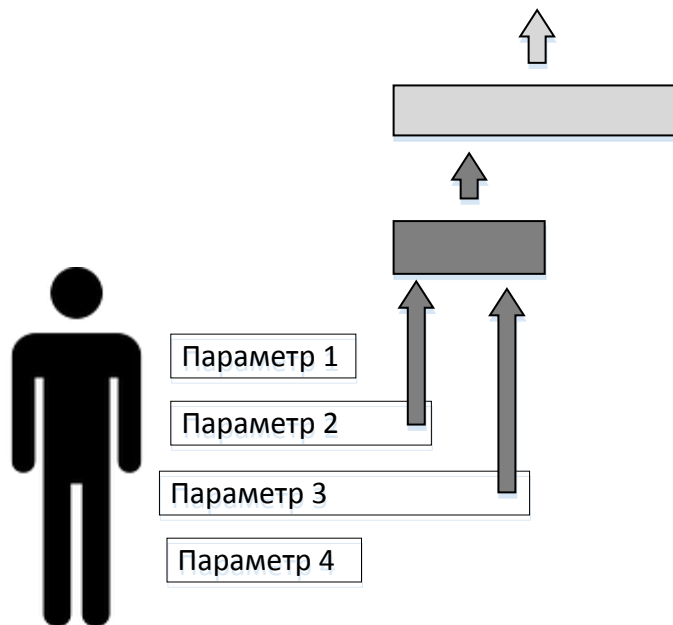


Рис. 8. Получение данных из параметров конструктива

Вторым способом получения информации модельными сенсорами является считывание параметров конструктивов. В качестве параметров конструктива, используемых модельными сенсорами, например, могут быть его скорость, текущие координаты и т.п.

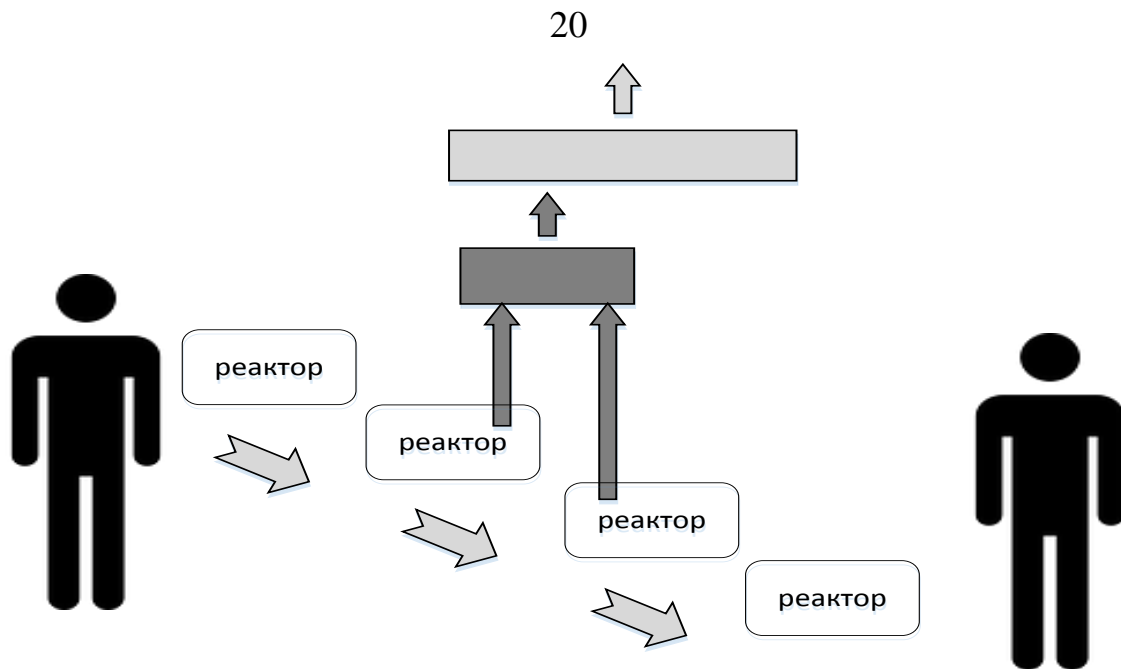


Рис. 9. Получение данных из каскада реакторов

Третий способ – получение данных непосредственно из каскада реакторов, через который конструктивы обмениваются сообщениями между собой (рис. 9).

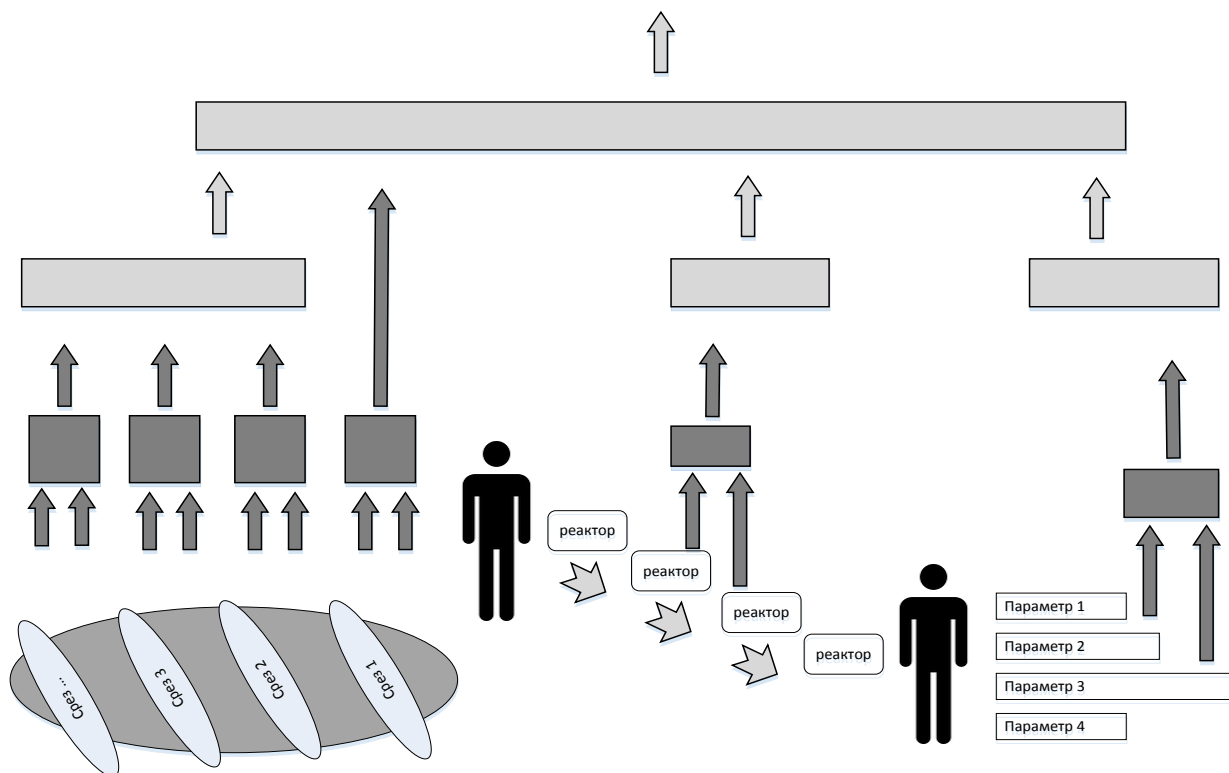


Рис. 10. Комбинация способов получения данных модельными сенсорами

В реальных приложениях для получения данных о ситуации могут использоваться также комбинации перечисленных выше способов (рис. 10). Думается, что приведенный здесь список способов получения данных модельными сенсорами не является исчерпывающим. Вполне возможно, что

разработчику модели потребуется использование своих специфических способов получения данных при моделировании взаимодействия объектов.

### **Распознавание ситуации с учетом времени**

Как уже упоминалось выше, модельные сенсоры формируют поток данных, которые должны обрабатываться промежуточными сенсорами с учетом условий решаемой задачи. Алгоритмы обработки должны предполагать возможность воспроизведения и адекватного отражения модельной ситуации. Модель должна различать особенности обстановки. Например, в поле зрения камеры появляется некий объект, пересекает его и скрывается. Затем в том же направлении это поле пересекает второй подобный объект. Система должна зафиксировать, что на охраняемую территорию проникли два объекта. В то же время, если появившийся объект скрылся за каким-то препятствием, а потом появился вновь, он не должен идентифицироваться как второй. В первом случае логика обработки сигнала должна базироваться на интегрировании входного сигнала по времени, во втором случае – на пролонгации по времени выходного сигнала относительно входного.

### **Распознавание поведения**

Особый класс ситуаций представляют собой ситуации, определяемые не только некоторыми состояниями моделируемых объектов в некоторый конкретный момент времени, но и последовательностью смены этих состояний. Распознавание таких ситуаций будем называть распознаванием поведения. Как уже отмечалось, под поведением моделируемого объекта понимается последовательность смены его состояний. Распознавание поведения происходит путем анализа этой последовательности.

Для распознавания поведения необходимо использовать сенсоры, настроенные и срабатывающие на последовательность состояний, то есть выходной сигнал этих сенсоров зависит от комбинации значений и времени поступления входных сигналов (рис. 11).

На рис. 11 модельные сенсоры А, В, С срабатывают при переходе объекта в одно из обозначенных этими знаками состояний. Допустим, что выходной сигнал сенсоров имеет логический тип данных, то есть срабатывание одного из устройств означает, что его выходной сигнал принимает значение TRUE. Выходной сигнал сенсора D также логический и он должен принимать значение TRUE только в случае срабатывания модельных сенсоров в определенной последовательности, а именно: А-В-С. Модель, в которой реализована логика сенсора D, настроенного на распознавание описываемого поведения, представлена на рис. 12. В данном случае сенсор D состоит из трех связанных между собой блоков-переключателей (далее – с обозначением «latch») и блока логического умножения.

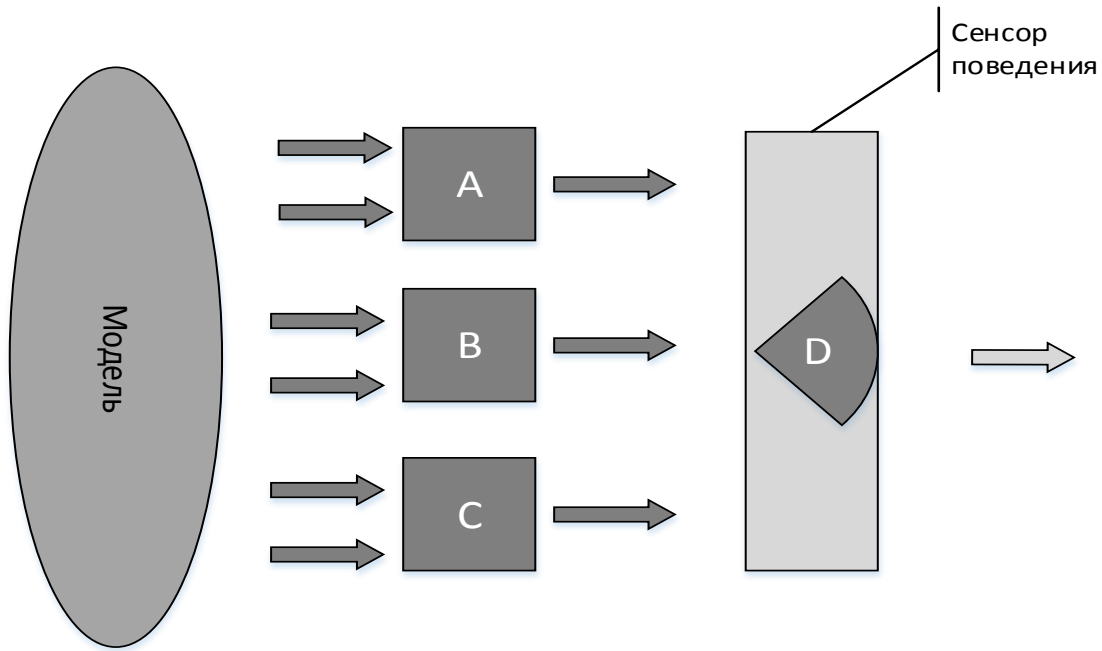


Рис. 11. Принципиальная схема блока сенсоров распознавания поведения

Логическая схема переключателя «latch» включает следующие операции. Переключатель имеет два входа: S (Set) и R (Reset), на которые поступают сигналы логического типа. Выходной сигнал – O (Output) – также логического типа. Если выходной сигнал переключателя имеет значение FALSE (переключатель выключен) и на вход S подается сигнал со значением TRUE, то происходит включение переключателя (выходной сигнал – TRUE). В дальнейшем переключатель остается во включенном состоянии независимо от значения сигнала S. Выключение переключателя производится подачей на вход R значения TRUE, после чего переключатель остается выключенным независимо от значения на входе R до момента поступления сигнала S со значением TRUE.

Рассмотрим работу логической схемы, представленной на рис.12. Поскольку объект может находиться в определенный момент времени только в одном из состояний, то только один из входных сигналов A, B или C может иметь значение TRUE в один и тот же момент времени. Когда объект переходит в состояние A, срабатывает переключатель latchA. Одновременно с его срабатыванием происходит выключение latchB, который включается при переходе объекта в состояние B. Аналогично, latchC включается только тогда, когда объект переходит из состояния B в состояние C. Таким образом, выходной сигнал O будет иметь значение TRUE только в том случае, когда одновременно включены все три переключателя latchA, latchB и latchC, то есть только в том случае, если объект последовательно побывал в состояниях A-B-C.

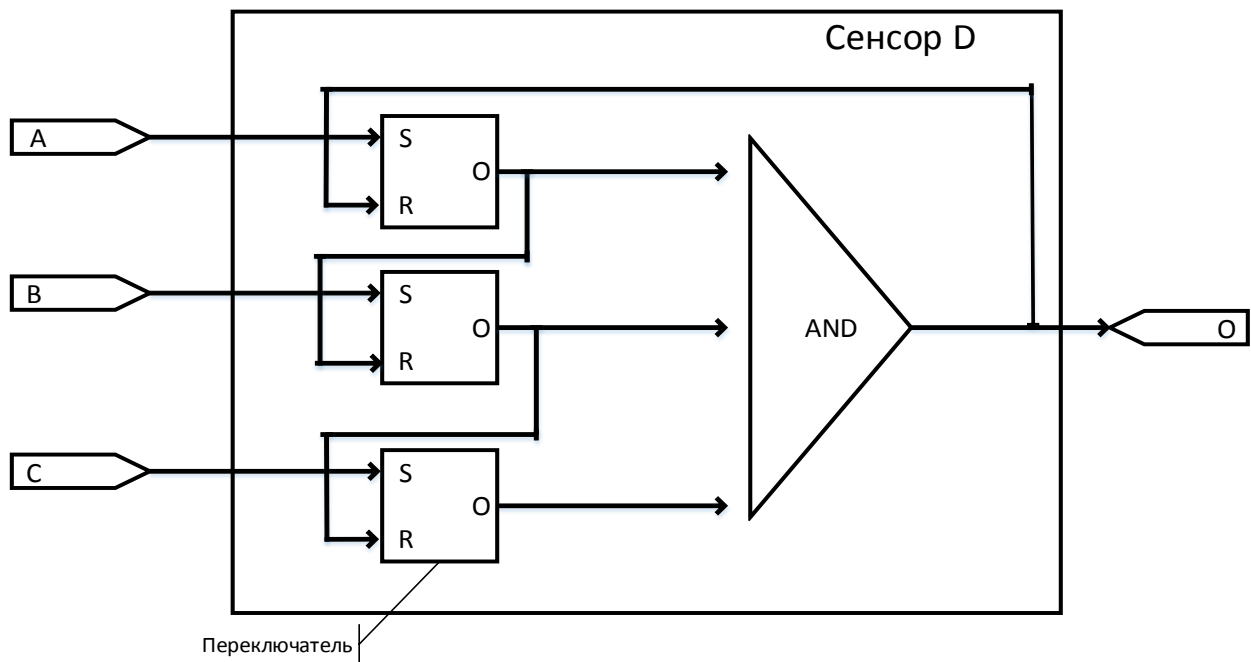


Рис. 12. Логическая схема распознавания последовательности состояний

## Разрешение целевых противоречий

### Общие положения

Результатом функционирования подсистемы распознавания ситуации и выработки целей является цель, а соответственно – некоторое целевое состояние управляемого объекта, который может иметь сложный состав и структуру поведения.

При разработке сложных поведенческих моделей объектов практически невозможно ограничиться небольшим количеством целевых сенсоров – как невозможно добиться и того, чтобы подсистема распознавания ситуации и выработки целей в каждый момент времени могла формировать на выходе сигнал, соответствующий единственной цели. Стремление добиться такой «идеальной» работы алгоритмов при моделировании сложных систем может привести к существенному «утяжелению» подсистемы распознавания ситуации и выработки целей, увеличению сроков разработки моделирующего комплекса, но в большинстве случаев, как показывает опыт, такие усилия могут оказаться бесполезными, поскольку сама реализация «идеальной» подсистемы оказывается недостижимой (как это бывает и в реальной жизни).

Таким образом, необходимо исходить из того положения, что при разработке подсистемы распознавания ситуации и выработки целей не соблюдается жесткое условие существования в определенный момент времени единственной цели. Другими словами, в какие-то моменты времени управляемому объекту может быть поставлено множество несогласованных, в том числе противоречивых, целей. Цели, входящие в данное множество, будем называть целями-кандидатами.



Для выбора из множества целей единственной предназначена подсистема разрешения целевых противоречий. Определение предпочтительной цели осуществляется на основании дополнительной модельной информации и задаваемого способа разрешения целевых противоречий. Выбранную подсистемой разрешения целевых противоречий из множества целей-кандидатов предпочтительную цель будем называть мажор-цель.

Поясним возможность противоречивости целей на примере. Допустим, что осуществляется взлет пассажирского авиалайнера с двумя силовыми установками. Пусть в какой-то момент разбега по взлетно-посадочной полосе осуществлен теракт, в результате которого выходит из строя одна из силовых установок. Подсистема распознавания ситуации и выработки целей, контролирующая состояние авиалайнера, в данном случае может распознать сложившуюся ситуацию как «угрозу безопасности пассажиров», которой поставлена в соответствие цель «прекратить взлет». Подсистема, контролирующая параметры взлета, распознает ситуацию, как «невозможность прерывания взлета» также из-за «угрозы безопасности пассажиров», поскольку авиалайнер набрал определенную скорость и для безопасного торможения ему не хватит длины ВПП. Такой ситуации соответствует цель «продолжить взлет», противоположная предыдущей. Очевидно, что для разрешения целевого противоречия необходимо как-то ранжировать эти цели. В данном конкретном случае можно привлечь дополнительную информацию и оценить, возможен ли взлет на одной силовой установке с имеющимися параметрами загрузки лайнера. Если возможен, то необходимо взлететь, сделать круг и осуществить посадку. Если же взлет невозможен, то необходимо начинать экстренное торможение, вне зависимости от положения на ВПП, поскольку при таком сценарии возможный ущерб потенциально может оказаться меньше.

Еще раз обратим внимание на то обстоятельство, что в приведенном примере подсистема распознавания ситуации и выработки целей может быть реализована таким образом, что на выходе из нее будет существовать единственная цель. Для этого нужно априори предусмотреть возможность такой ситуации и заложить в расчетную модель дополнительный оценочный параметр. Но в случае реализации более сложных поведенческих моделей невозможно предусмотреть и перебрать все возможные сочетания противоречивых ситуаций, поэтому затраты на построение «идеальной» подсистемы распознавания ситуации и выработки целей могут заметно превысить имеющиеся ресурсы. Более рациональным путем является создание инструментов разрешения целевых противоречий.

Способы разрешения целевых противоречий условно можно разбить на две группы: функциональные и приоритетные.

К группе функциональных относятся способы разрешения целевых противоречий:

- по критерию удаленности от главной цели;
- по критерию полезности (важности);

- случайным образом.

Среди приоритетных можно выделить следующие:

- по уровню цели;
- по значимости (весу).

### **Разрешение целевых противоречий по критерию удаленности цели-кандидата от главной цели**

Напомним, что каждой выработанной цели соответствует некоторое целевое состояние объекта.

В большинстве случаев для объектов моделирования имеется возможность сформулировать конечную цель, которую он должен достичь или обеспечить. В таких случаях можно говорить, что объект имеет главную цель. Как и для других целей, главной цели ставится в соответствие некоторое состояние объекта или определенная совокупность состояний объектов.

Суть способа разрешения целевых противоречий по критерию удаленности цели-кандидата от главной цели состоит в определении расстояния от целевых состояний, соответствующих целям-кандидатам, до состояния, соответствующего главной цели. Предпочтение отдается цели-кандидату с меньшим расстоянием до главной цели. Понятно, что в зависимости от объекта моделирования и параметров, описывающих его целевое «состояние», для определения этих расстояний в многопараметрическом пространстве необходимо вводить специальные метрики. Выбор такой метрики может существенно влиять на принимаемые решения.

Так, например, при осуществлении пешего перехода из одной точки в другую время на преодоление более короткого, но более сложного пути, может оказаться больше, чем время, потраченное на длинный обходной путь. Если в качестве меры принять пройденное расстояние, то будет выбран первый путь, требующий больших усилий, однако, если в качестве меры удаленности принять затрачиваемое на дорогу время, то второй путь окажется более предпочтительным.

Разрешение целевых противоречий по условному расстоянию от цели-кандидата до главной цели представляется наиболее практичным способом выбора промежуточных целей. Однако такой подход не всегда возможен, особенно в обстановке, когда достаточно сложно определить главную цель объекта.

### **Разрешение целевых противоречий случайным образом**

В обычной жизни бывают случаи, когда решение принимается на основании «воли случая» – броска монетки. Аналогом такого подхода при моделировании ситуаций и разрешении целевых противоречий является выбор мажор-цели на основании работы алгоритма генерации случайных чисел. Как правило, этот способ применяется, когда нет возможности оценить преимущества одной из целей перед другими: либо цели

равнозначны с точки зрения применяемых критериев, либо нет требующейся для оценки дополнительной информации.

### **Разрешение целевых противоречий по критерию полезности (важности)**

Использование данного способа разрешения целевых противоречий предполагает, что в случае выработки подсистемой распознавания ситуации и выработки целей нескольких противоречивых ориентиров для каждого из них рассчитывается значение некоторого критерия полезности (или важности). Предпочтение отдается цели-кандидату с лучшим значением (меньшим или большим) критерия полезности (важности).

Например, при построении модели действий злоумышленника, который не знает детального плана объекта или которому для достижения его конечной цели требуется больше времени, чем охране на его блокирование при его обнаружении в начале пути. Можно считать, что его критерием важности будет максимальное обеспечение скрытности передвижения по объекту.

Нетрудно заметить, что первые два из рассмотренных функциональных способов разрешения целевых противоречий можно трактовать как частные случаи третьего способа. В первом случае в качестве критерия полезности (важности) выступает условное расстояние от цели-кандидата до главной цели, а во втором случае значение критерия полезности вырабатывается случайным образом.

### **Разрешение целевых противоречий по уровню цели-кандидата**

Рассматриваемые ниже способы разрешения целевых противоречий относятся к классу приоритетных. Их основное отличие от функциональных – априорное разрешение целевых противоречий, закладываемое на стадии проектирования подсистемы, путем разбиения множества целей на подмножества с определенными приоритетами (весами). Выбор цели-мажора производится на основании ее веса относительно альтернативных.

В случае разрешения целевых противоречий по уровню цели все множество целей разбивается на подмножества – уровни значимости. В случае выработки нескольких целей выбирается цель с более высоким уровнем значимости. Однако применение такого подхода требует введения дополнительного ограничения: проектирование подсистемы распознавания ситуации должно осуществляться таким образом, чтобы в каждый конкретный момент времени существовала единственная цель определенного уровня. В качестве примера можно назвать градацию различных приказов, распоряжений, инструкций по уровням значимости для персонала охраны объекта. Так, охранник (боец) должен действовать по Инструкции, но обязан выполнить Приказ своего начальника, даже если тот противоречит Инструкции, так как априори понятно, что в Инструкции невозможно предусмотреть все ситуации и решения могут приниматься руководством по условиям обстановки.

## **Разрешение целевых противоречий по значимости (весу) цели-кандидата**

В определенных случаях существует возможность однозначного ранжирования всех возможных целей, когда каждой цели можно присвоить определенную значимость (вес). Тогда мажор-цель легко выделить на основании установленного для нее приоритета.

Использование данного способа разрешения целевых противоречий снимает ограничение на единственную цель одного уровня, присущее предыдущему способу. Однако реализация такого способа требует достаточно кропотливой проработки вопросов ранжирования целей на стадии проектирования модели. Поскольку необходимо при проектировании модели практически «вручную» перебрать и оценить все возможные сочетания ситуаций принятия решений каждым элементом модели, для которого вводится такое правило выбора целей. Применять этот подход целесообразно для тех элементов, у которых незначительный спектр выбора возможных альтернатив поведения и приоритеты их достаточно явны. Например, оставить ли часовому свой пост по истечении времени его смены или только после прибытия сменяющего его нового часового.

В принципе, для различных элементов модели могут использоваться и различные правила или критерии выработки и выбора главенствующих целей (мажор-целей).

## **Планирование действий**

### **Общие положения**

Как уже отмечалось выше, планирование действий сводится к определению порядка последовательной смены состояний объекта для достижения требуемого целевого состояния. Введем традиционный термин «путь» как некоторую совокупность состояний и переходов между ними, связанных определенной последовательностью, реализующей перевод объекта из некоторого начального состояния в конечное.

Очевидно, что в большинстве реальных случаев может существовать несколько путей перевода объекта из текущего состояния в целевое (множество возможных путей). При составлении плана целесообразно выбирать такую последовательность переходов между состояниями, которая является наилучшей с точки зрения какого-то критерия. В такой трактовке составление плана сводится к построению оптимального пути, реализация которого соответствует наилучшему значению выбранного критерия.

В качестве критерия оптимальности при выборе пути может выступать расстояние, которое необходимо преодолеть объекту между двумя точками на местности, время, требующееся на реализацию переходов между заданными состояниями, затраты энергоресурсов на совершение этих действий и т.п.

Таким образом, назначение подсистемы планирования действий – это определение оптимального пути перевода объекта из текущего состояния в целевое. И задача планирования поведения моделируемого объекта сводится

к задаче поиска оптимального пути на графе, вершинами которого являются его состояния, а дугами – переходы между этими состояниями.

Если каждому переходу из одного состояния в другое поставить в соответствие некоторую величину, называемую стоимостью перехода, то критерий оптимальности  $K$  может быть выражен как некоторая функция от суммарной стоимости переходов, включаемых в рассматриваемый путь:

$$K_k = f(c_{ij});$$

$$i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, N; k = 1, \dots, M.$$

Здесь:  $c_{ij}$  – стоимость перехода моделируемого объекта из состояния  $i$  в состояние  $j$ ,  $N$  – размерность множества состояний на графе состояний объекта, а  $M$  – размерность множества возможных путей перевода объекта из начального состояния в конечное. Говоря иначе, задача нахождения оптимального пути заключается в поиске такого пути  $z$ , который удовлетворяет следующему условию:

$$K_z = \text{opt}(K_k) \text{ при } k=1, \dots, M.$$

Понятно, что выбор оптимального пути зависит от выбранного критерия оптимальности и разным критериям могут удовлетворять различные пути достижения целевого состояния.

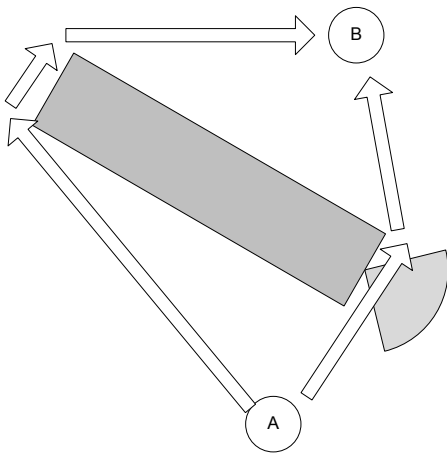


Рис. 12. Выбор маршрута

Представим ситуацию (рис.12), когда злоумышленник должен попасть из точки А, в которой он находится в данный момент, в целевую точку В, огибая здание, на одной из сторон которого – ближней к нему – установлена видеочамера. Пусть он может оценить время, необходимое охранникам для пресечения его перемещения. Если он уверен, что сможет попасть в нужную точку быстрее, чем его задержат после обнаружения в поле видимости

видеочамеры, он может выбрать кратчайший путь к цели. Если реакция охраны предполагается более оперативной, то оптимальным путем для него будет более длинный путь с огибанием здания с другой стороны. В данном случае стоимость пути перехода может быть задана как комбинация параметров «время перемещения» и «вероятность перехвата силами охраны».

Критерий для расчета стоимости перехода из состояния в состояние может быть постоянным или переменным. Реализация процесса определения переменных стоимостей нуждается в проектировании некоторого механизма их расчета. Для этого, например, можно использовать каскад сенсоров аналогично подсистеме распознавания ситуации и выработки целей. Иногда может быть целесообразным применение одного и того же каскада сенсоров подсистемы распознавания ситуации и выработки цели в том числе и в подсистеме планирования действий.

## Планирование действий агрегатов

При отображении в модели некоторых объектов действительности в форме агрегатов возникает вопрос определения цели (а соответственно, и целевого состояния) агрегата для конструктивов, входящих в него. Ведь любое состояние агрегата есть не что иное, как совокупность состояний конструктивов.

В большинстве случаев реализация полноценных систем управления поведением каждого конструктива, входящего в агрегат, чревата существенным «утяжелением» модели. Учитывая, что вхождение конструктива в состав агрегата уменьшает число степеней его свободы, ограничивая тем самым количество его возможных состояний, целесообразно в таком случае проводить проектирование подсистемы распознавания ситуации и выработки цели каждого конструктива в комплексе с подсистемой разрешения целевых противоречий для агрегата в целом. Целевое состояние агрегата однозначно определяет целевые состояния входящих в него конструктивов. Таким образом, имея начальное и целевое состояния каждого конструктива, принимаем возможным осуществлять планирование его действий независимо от других конструктивов, но с учетом ограничений, возникающих вследствие того, что конструктив является частью агрегата. Графически это можно представить в виде следующей схемы (рис.13).

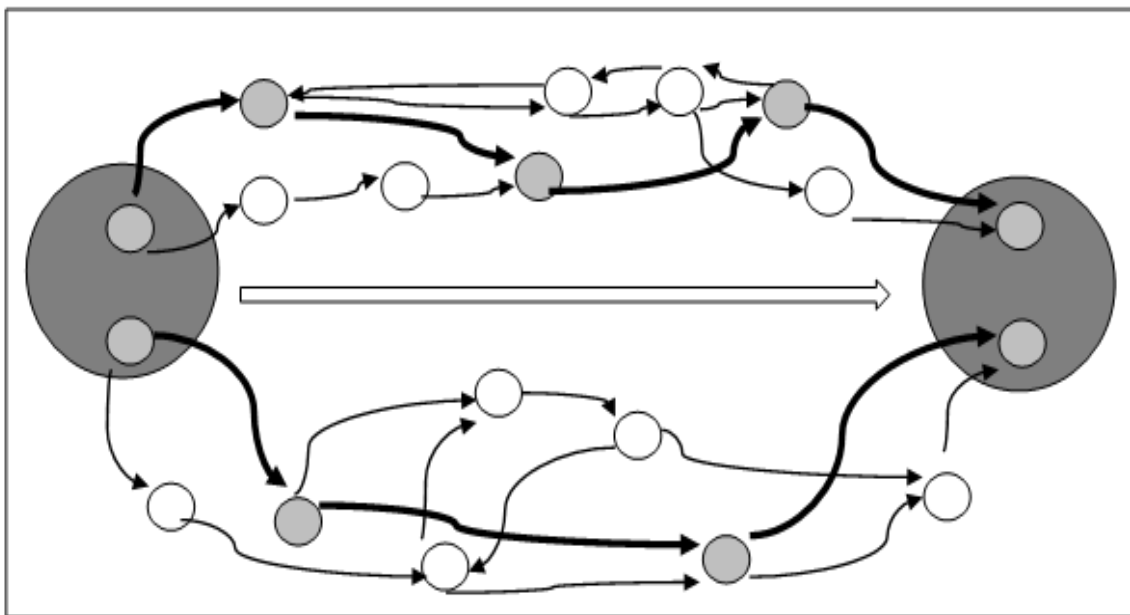


Рис. 13. Схематичное представление формирования плана конструктивов в составе агрегата

На рисунке в форме большого круга представлены начальное и конечное состояния агрегата, малыми кружками – промежуточные состояния входящих в агрегат конструктивов, тонкими стрелками – возможные

переходы между их состояниями, утолщенными стрелками и затененными кружками выделена траектория оптимального пути.

Поясним эту схему на модельном примере. Предположим, что необходимо промоделировать дистанционное выполнение визуального контроля состояния внешнего периметра с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА), оборудованного подвижной камерой фотосъемки. С точки зрения разработки модели, БПЛА с камерой – это агрегат для решения поставленной задачи, состоящий из двух конструктивов. Задача, стоящая перед агрегатом, – произвести последовательную съемку участков ограждения периметра. Задача, стоящая перед летательным аппаратом, – облететь на некотором удалении зону внешнего периметра с огибанием рельефа и встречающихся препятствий. Задача камеры – фиксировать изображение ограждения. Для выполнения общей задачи, стоящей перед агрегатом, угловые параметры камеры должны подстраиваться так, чтобы в поле обзора всегда находилось ограждение внешнего периметра. Пусть пространственное положение (состояние) беспилотника характеризуется картографическими координатами точки местности  $(x, y)$ , где он пролетает, и высотой над поверхностью  $(h)$ , положение камеры – угловыми отклонениями  $(\alpha, \beta)$  относительно вертикальной и продольной оси летательного аппарата. После фиксации изображения одного участка аппарат должен переместиться к следующему. При этом БПЛА должен оценить рельеф и наличие препятствий, выбрать маршрут и следующую точку наблюдения с учетом длины участка, а затем осуществить перелет. При перемещении БПЛА из текущей точки  $(x_1, y_1, h_1)$  в следующую точку  $(x_2, y_2, h_2)$  текущие угловые параметры камеры  $(\alpha_1, \beta_1)$  должны быть пересчитаны в целевые  $(\alpha_2, \beta_2)$  с учетом нового расположения БПЛА относительно следующего участка обследуемого периметра, после чего должны быть последовательно выполнены повороты в каждой угловой плоскости с переходом камеры в новые состояния, сначала с  $(\alpha_1, \beta_1)$  в промежуточное  $(\alpha_2, \beta_1)$ , а затем – в конечное  $(\alpha_2, \beta_2)$ . Таким образом, при общем плане агрегата, который заключается в переходе от съемки предыдущего участка к следующему, план действий конструктива «БПЛА» включает два состояния: расчет траектории и перелет – а план действий конструктива «камера» при перемещении БПЛА из одного положения в следующее включает три функциональных состояния: расчет угловых координат оси наблюдения, поворот в одной плоскости, поворот во второй плоскости. Аналогичный подход вложенных последовательных операций планирования может быть применен при моделировании объектов (систем) с иерархической структурой управления (иерархическим подчинением элементов).

## Заключение

Одним из методов оценки эффективности антитеррористической защиты объектов является метод расчетного имитационного моделирования на средствах вычислительной техники процессов взаимодействия в форме игрового противодействия сил охраны и злоумышленника с учетом технического оснащения той и другой стороны. Представлена общая архитектура и технология практического построения имитационно-моделирующего комплекса на основе принципов агрегатного подхода для моделирования сложного поведения объектов. Основной упор сделан на описании способов создания моделей элементов различных уровней, отличающихся сложным поведением. Для наглядности представлений рассмотрены поясняющие примеры.

Резюмируя, можно отметить, что в настоящей работе:

- сформулированы основные принципы моделирования в задачах взаимодействия систем, содержащих в себе элементы со сложным поведением;
- описаны подходы к реализации подсистем распознавания ситуации и выработки целей;
- изложены основы построения подсистем разрешения целевых противоречий;
- рассмотрены ключевые положения планирования действий модельных объектов;
- показана технология формирования оптимального плана достижения целевого состояния, в том числе для модельных объектов сложной составной структуры.

Предлагаемая технология моделирования на базе агрегатного подхода отличается простотой реализации, что позволяет расширить области применения имитационного моделирования, снизить стоимость разработки имитационных моделей и их последующего использования, упростить их освоение персоналом потребителя.

Предложенный подход может быть интересен для практического применения не только в задачах имитационного моделирования конфликтного противодействия сторон при оценке эффективности систем физической защиты критически важных объектов, где он апробирован.

Моделирование сложного поведения различных объектов может быть востребовано при решении задач управления транспортными потоками, повышения координации сложных организационно-технических производственных комплексов, при создании робототехнических средств и систем и в других приложениях.



## Список источников

1. Гордин Г.Т., Алаухов С.Ф., Оленин Ю.А. О методах оценки эффективности систем физической защиты объектов. Проблемы объектовой охраны: Сборник научных трудов. – Вып.2 – Пенза: Изд-во ИИЦ ПГУ, 2001.
2. Измайлов А.В. Методы проектирования и анализа эффективности систем физической защиты ядерных материалов и установок. Учебное пособие. М.: МИФИ, 2002.
3. Гарсия М. Проектирование и оценка систем физической защиты. Перевод с англ. М.: МИР; ООО «Издательство АСТ», 2002. – 386 с.
4. Бояринцев А.В., Ничиков А.В. Использование перечней угроз и моделей нарушителя при формировании облика систем физической защиты объектов. // «Мир и безопасность», № 4, 2008.
5. Рыкунов В.Д. Охранные системы и технические средства физической защиты объектов, М.: Security Focus, 2011, 288 с.
6. Леус А.В. Оценка эффективности систем безопасности с помощью моделирования перемещения субъектов движения по охраняемому объекту: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.01 / [Место защиты: Моск. гос. ин-т электроники и математики].- Москва, 2011.- 129 с.
7. Методические рекомендации по проведению оценки состояния системы физической защиты на ядерном объекте, утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 мая 2013 года №199.
8. Петров В.Р., Дураковский А.П. Системный подход к проектированию систем физической защиты. Доклад на XVII Международной научно-практической конференции «Комплексная защита информации», г. Суздаль, 15-18 мая 2012 г.
9. Панин О.А. Анализ эффективности интегрированных систем безопасности: принципы, критерии, методы. // Системы безопасности, №2, 2006.
10. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: «Наука», 1978 г., 400 с.
11. Философский энциклопедический словарь. - М.: Сов. Энциклопедия, 1983.

## Оглавление

Введение .....	3
Технология построения инструментов имитационного моделирования .....	5
Декомпозиция поведения сложных систем.....	7
Исходные понятия и определения.....	10
Управление сложным поведением .....	14
Распознавание ситуации и выработка целей.....	15
Разрешение целевых противоречий .....	23
Планирование действий .....	27
Заключение .....	31
Список источников .....	32