

УДК 650.1

В.В. ЛИТВИНОВ*, А.А. ЗАДОРЖНИЙ*

АГЕНТНЫЕ МОДЕЛИ ОПЕРАЦИЙ

*Черниговский государственный технологический университет, Чернигов, Украина

Анотація. В роботі розглядається агентний підхід до створення імітаційних моделей операцій, а також розглядається можливість виділення із агентних моделей підмоделей для їх подальшого тестування і проведення над ними експериментів. Для усунення невизначеності властивостей агентів запропоновано використовувати абстрактні властивості, а при поступовому вивченні предметної області додавати властивості, що мають реальний фізичний зміст. Для агентних моделей операцій запропонована класифікація агентів в залежності від їх поведінки і здатності до переміщення. Для зображення взаємодії між агентами запропоновано використовувати діаграми послідовностей.

Ключові слова: агент, агентне моделювання, рятувальна операція, військова операція, план операції.

Аннотация. В статье рассматривается агентный подход к созданию имитационных моделей операций, а также рассматривается возможность выделения из агентных моделей подмоделей для их дальнейшего тестирования и проведения над ними экспериментов. Для устранения неопределенности свойств агентов предложено использовать абстрактные свойства, а при постепенном изучении предметной области добавлять свойства, имеющие реальный физический смысл. Для агентных моделей операций предложена классификация агентов в зависимости от их поведения и способности к перемещению. Для представления взаимодействий между агентами предложено использовать диаграммы последовательностей.

Ключевые слова: агент, агентное моделирование, спасательная операция, военная операция, план операции.

Abstract. An agent approach to the creation of simulation models of operations and possibility of separation simulation models on submodels in order to their further testing and experimentation on them is discussed in the article. Usage of abstract attributes has been proposed in order to resolution of uncertainty. In addition to attributes which have a real physical meaning has been proposed as well during the gradual learning of domain. Also agent classification has been proposed for agent simulation models which depend on behavior and ability to movement. Sequence diagrams have been proposed for representation of interactions between agents.

Keywords: agent, agent simulation, rescue operation, military operation, operation plan.

1. Введение

Агент [1] – это некоторая сущность, которая обладает активностью, автономным поведением, может взаимодействовать с окружением и другими агентами, принимать решения на основании некоторого набора правил. Агентные модели целесообразно применять для исследования систем, поведение которых определено не глобальными законами, а наоборот, эти законы являются результатом индивидуальной активности множества агентов.

Операция – совокупность действий разнородных сил, согласованных и связанных по цели, задачам, месту, времени, которые проводятся одновременно и последовательно в соответствии с единым замыслом и планом для решения задач на стратегическом или операционном направлении (в определенной зоне, районе) в установленный период времени. Операция проводится в соответствии с одним из нескольких планов, разработанных на

случай одной из возможных сложившихся ситуаций на поле проведения операции. При проведении операции возникает противодействие планов операций и результат операции зависит от того, насколько правильно был разработан набор планов боевых операций и насколько правильно был выбран один из планов в соответствии со сложившейся ситуацией. Если рассматривать боевую операцию, то противодействовать будут планы противников. В случае со спасательной операцией противником выступают силы природы.

2. Типы агентов в моделях операций

В качестве примеров будем рассматривать спасательную и военную операции, для которых разработаны наборы планов операции. Задачей моделирования будет определение наиболее оптимального плана по действиям и составу участников спасательной и военной операций.

Агенты модели отличаются друг от друга наборами свойств, но более важным для агентного моделирования является поведение агентов. Поведение, с точки зрения пространственного агентного моделирования, это изменение агентом местоположения в пространстве, а также взаимодействие с другими агентами. В зависимости от наличия либо отсутствия способности передвижения в пространстве будем выделять активные и пассивные агенты. Активные агенты могут свободно изменять свое расположение в пространстве, в то время как пассивные агенты лишены этой возможности. Особым типом агентов являются агенты пространства, которые, подобно пассивным агентам, не способны перемещаться в пространстве, но активно взаимодействуют с активными агентами в процессе их перемещения в пространстве. Например, при движении агента спасателя по карте разнотипные пространственные агенты, такие как реки, дороги, леса, могут влиять на свойство скорости, а также на запас энергии агента. Влияние пространственных агентов на свойство скорости приведет к изменению скорости перемещения активного агента в пространстве в зависимости от пространственного агента. Например, активный агент будет перемещаться по полю либо дороге гораздо быстрее, чем по лесу, либо при пересечении реки. Влияние пространственных агентов на запас энергии, а именно снижение значения этого параметра при движении позволит избежать бесконечного перемещения в пространстве активного агента. Пространственные агенты позволяют создавать более детальные модели взаимодействий.

Параметры активных агентов зависят от ресурсов, которые являются ограниченными, и их количество уменьшается в зависимости от действий активного агента с течением модельного времени. Ресурсы могут быть уничтожены, исчерпаны либо захвачены агентами противодействующего плана операции, в результате чего параметры активных агентов начинают стремительно уменьшаться. Например, при исчерпании ресурса «Топливо» агент «Автомобиль» прекращает свое движение, но остается цел, а исчерпание ресурса «Топливо» у летательного аппарата приводит к его уничтожению.

Если рассматривать в качестве примера модель боевой операции, то агенты можно классифицировать в зависимости от их положения в пространстве и принадлежности к одному из противодействующих планов операций. В зависимости от положения в пространстве агентов будем выделять, наземные, воздушные, водные и подводные агенты. К наземным агентам относятся, например, взводы пехоты, бронетехника, к воздушным объектам – истребители, бомбардировщики, вертолеты, в качестве водных объектов будем рассматривать военные корабли и авианосцы, в качестве подводных агентов – подводные лодки. В зависимости от принадлежности к одному из противодействующих планов будут рассматриваться агенты типа «Свой» и «Чужой».

При инициализации модели операции на карте размещаются агенты оперативных составов противодействующих сторон. У каждой из сторон есть минимум три плана операции, которые могут быть наступательными либо оборонительными. Например, при раз-

работке плана наступления разрабатываются три возможных плана наступательной операции, которые могут быть как альтернативными и применяться в зависимости от сложившихся условий, так и одни планы могут быть рабочими, а другие фиктивными и использоваться для введения противника в заблуждение. При разработке оборонительного плана в ответ на наступательный план противника эксперты из личного опыта стараются предугадать планы противника и разработать как минимум три противодействующих плана. Состав участников разных планов может значительно отличаться и необходимо формировать так называемый оперативный состав операции – такой минимальный набор сил, который позволит реализовать каждый из разработанных планов операции.

На начальном этапе прогона модели каждая из сторон владеет необходимым запасом ресурсов, количество и состав которых были определены экспертами для достижения задач операции, а также каждая из сторон обладала бы некоторыми начальными знаниями о составе и ресурсах противоположной стороны. Также эксперты прогнозируют, какой из планов с наибольшей вероятностью противник будет использовать. Эти начальные знания о противнике являются не до конца определенными и могут доопределяться в процессе боевой операции. Изменение знаний происходит в результате таких элементов боевой операции, как разведка, маскирование и обманные маневры. Разведка делает знания о противнике более точными и увеличивает точность попадания снарядов, обманные маневры и маскировка ухудшают знания, снижают точность попадания и силу взаимодействия между агентами.

3. Неопределенность атрибутов агентов

В качестве атрибутов агентов можно использовать свойства реальных объектов, которые можно измерять, либо абстрактные свойства, выделенные эмпирическим путем, либо свойства, которые являются совокупностью нескольких свойств реального объекта и связанных между собой определенным законом. Например, свойствами агента «Спасатель» могут являться запас энергии, скорость и запас жизней, а свойствами агента «Строение» – уровень пожара, уровень повреждений.

На начальных этапах создания модели тяжело определить необходимые свойства агентов и законы их изменения. В таком случае удобно использовать абстрактные свойства, а по мере изучения моделируемой системы заменять абстрактные свойства реальными. При создании моделей часто заведомо неизвестно, какие факторы моделей являются первостепенными, а какие факторы – второстепенны, также зачастую неизвестны единицы измерения и законы изменения факторов моделей. При использовании программного подхода к описанию поведения моделей параметры моделей тесно связаны с поведением и необходимо заранее знать законы, по которым эти параметры изменяются. Но процесс создания моделей еще более динамичный, чем процесс создания программных систем. Процесс создания модели не завершается на этапе полного прохождения всех модульных и интеграционных тестов в соответствии со спецификацией. Спецификация с точки зрения создания программных систем для моделей также отсутствует. Построение модели носит итерационный характер, каждая итерация завершается рядом экспериментов, на основании которых можно сделать вывод либо о дальнейшем усложнении модели, либо о завершении процесса создания модели.

4. Поведение агентов

Поведение агентов состоит из передвижения агентов в пространстве и взаимодействия активных и пассивных агентов между собой. Активный агент появляется в назначенное время в заданной точке пространства и двигается к заданной позиции для того, чтобы произвести взаимодействие с другими агентами. Во время продвижения активных агентов в

пространстве происходит их взаимодействие с пространственными агентами. Кроме взаимодействия с пространственными агентами, активные агенты могут взаимодействовать с пассивными и другими активными агентами, а пассивные агенты – с активными и другими пассивными агентами. При этом учитывается расстояние между агентами в пространстве, и чем больше это расстояние, тем меньше сила взаимодействия, а некоторые виды взаимодействия агент может выполнить, находясь только на определенном расстоянии. Например, для тушения пожара агент «Спасатель» должен занять определенное положение непосредственно возле агента «Строение». Одной из характеристик взаимодействия является сила взаимодействия. Например, пожарник будет взаимодействовать с горящим строением более эффективно, чем обычный спасатель. Также могут существовать агенты, которые взаимодействуют друг с другом с нулевой силой, и значения атрибутов таких агентов не изменяются в результате взаимодействия. Последовательность перемещений агентов в пространстве и взаимодействий этих агентов с другими агентами для достижения общей цели будем называть планом операции. Модели с несколькими группами агентов, наделенных пересекающимися планами операций, будем называть моделями с противодействующими планами операций.

5. Модели движения агента с изменением значений его свойств

В качестве примера рассмотрим один из элементов модели операции – модель движения агента в пространстве и отображение этого движения на карте с изменением свойств агента.

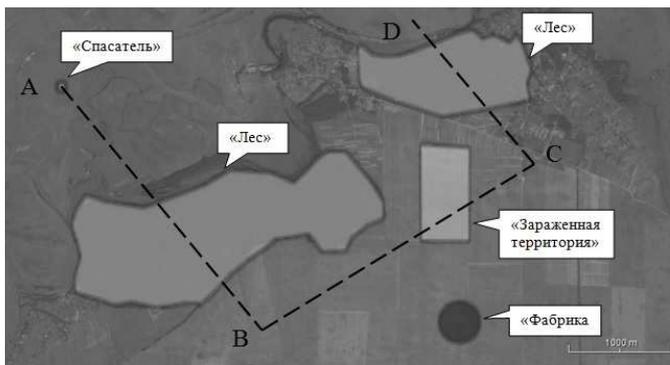


Рис. 1. Модель движения активного агента над агентами пространства с изменением значений его свойств

Результаты прогона модели представлены на рис. 2 и 3. На рис. 2 представлен график изменения свойства «Запас жизней» при движении над агентом пространства «Зараженная территория».

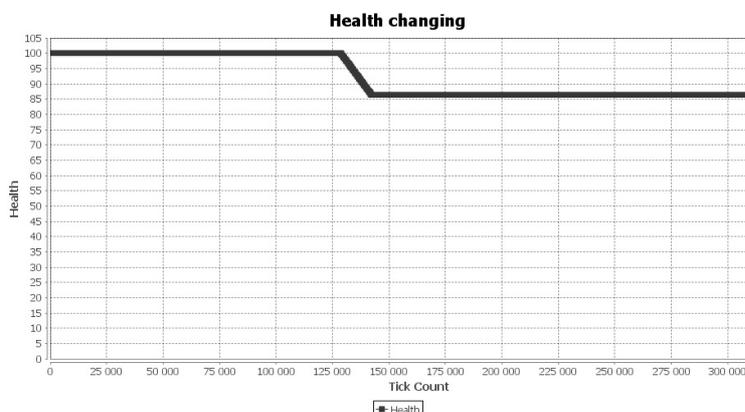


Рис. 2. Уменьшение значения свойства «Запас сил» при прохождении пространственного агента «Зараженная территория»

Например, агент может двигаться по карте с уменьшением значения его свойства «Скорость» либо двигаться по агрессивной местности со снижением значения его свойства «Запас жизней». На рис. 1 изображена модель движения активного агента «Спасатель» с уменьшением значений его свойств над агентами пространства «Лес» и «Зараженная территория». При движении над агентом пространства «Лес» у агента «Спасатель» уменьшается скорость, а при движении по агенту «Зараженная территория» – запас жизней.

Результаты прогона модели представлены на рис. 2 и 3. На рис. 2 представлен график изменения свойства «Запас жизней» при движении над агентом пространства «Зараженная территория». На рис. 3 представлен график изменения свойства «Скорость» при движении над агентом пространства «Лес».

Агент «Спасатель» начинает свое движение с начальной точки А в точку В. Маршрут пролегает через агент пространства «Лес». Скорость продвижения спасателя находится на некотором абстракт-

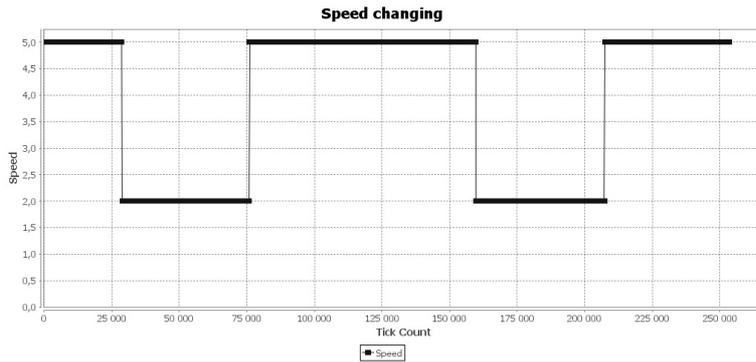


Рис. 3. Уменьшение значения свойства «Скорость» при прохождении пространственного агента «Лес»

тором абстрактном уровне 100, при движении над агентом пространства «Зараженная территория» запас жизней падает линейно с каждым тиком. При достижении края зараженной территории запас жизней останавливается на некотором абстрактном уровне 85. Дальнейший маршрут пролегает через точки С и D над агентом пространства «Лес», который уменьшает скорость движения агента до значения 2.

Параметры агента «Спасатель» изменяются либо мгновенно с одного значения на другое (скорость), либо линейно при продвижении модельного времени, но можно использовать и генераторы случайных чисел и изменять свойства случайным образом.

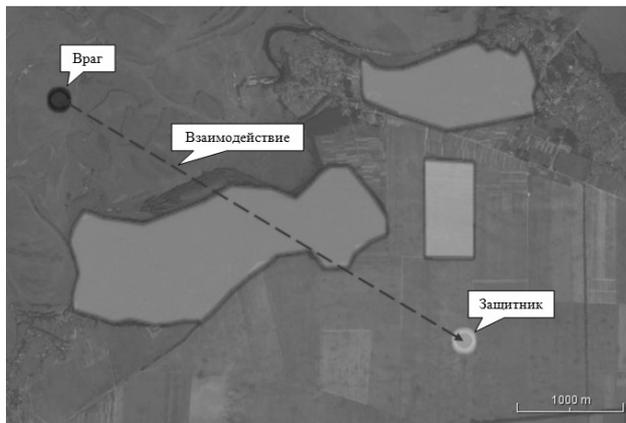


Рис. 4. Модель взаимодействия активных агентов

дом тике каждый из агентов уменьшает значение свойства «Запас сил» противника,

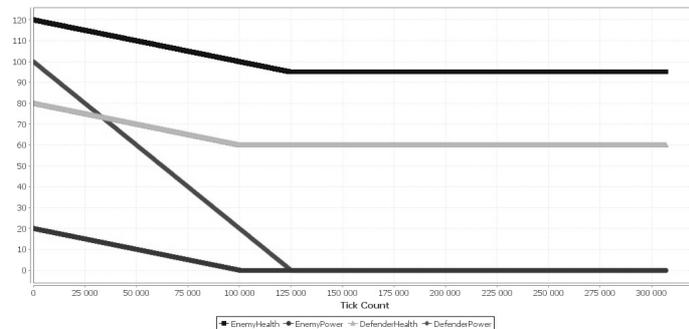


Рис. 5. График изменения атрибутов запаса сил и запаса жизней агентов при перестрелке без уничтожения противника

ном уровне 5. При достижении агента пространства «Лес» скорость продвижения уменьшается до некоторой абстрактной отметки 2. При достижении края агента пространства «Лес» скорость устанавливается на абстрактной отметке 5. Дальнейший маршрут пролегает через точки В и С над агентом пространства «Зараженная территория». Запас жизней спасателя находится на неко-

6. Модели взаимодействия активных агентов

В качестве примера рассмотрим элемент модели боевой операции – ведение огня между двумя агентами (рис. 4). Агенты, которые участвуют в ведении огня, наделены абстрактными свойствами «Запас сил» и «Запас жизней». При первом прогоне модели у агента «Враг» свойства «Запас сил» и «Запас жизней» находятся на некоторых абстрактных уровнях 20 и 120 соответственно. У агента «Защитник» свойства «Запас сил» и «Запах жизней» находятся на уровнях 100 и 80. При каждом тике каждый из агентов уменьшает значение свойства «Запас сил» противника, уменьшая при этом на некоторое значение своего параметра «Запас сил». Агент может уменьшать свойство «Запас жизней» противника только в том случае, если у него есть еще «запас сил», в противном случае агент не может наносить урон противнику. Задача агентов уничтожить друг друга, но поскольку запас сил врага мал, а защитник очень быстро тратит свой запас сил, ни один из агентов не успевает уничтожить своего про-

тивника. Результат прогона данной модели представлен на рис. 5.

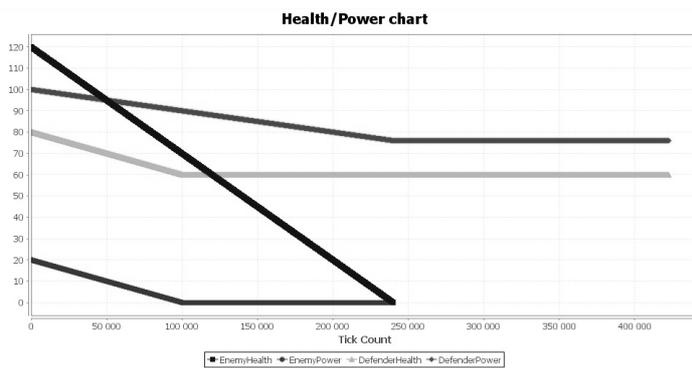


Рис. 6. График изменения атрибутов запаса сил и запаса жизни агентов при перестрелке с уничтожением противника

запас сил достигает нулевого значения и агент «Враг» не может наносить урон агенту «Защитник». Таким образом, агент «Защитник» снижает значение свойства «Запас жизни» у агента «Враг» до нулевого значения, и агент «Враг» удаляется с карты. Результат прогона данной модели представлен на рис. 6.

7. Тестирование и проведение экспериментов над частичными моделями

Современные подходы в программировании направлены на максимально высокое качество кода с использованием модульного тестирования, а также интеграционного тестирования. Разбиение системы на модули позволяет произвести тестирование каждого модуля независимо от других модулей, не задумываясь о функционировании всей системы в целом. Одной из задач, которую решает модульное тестирование, является проверка работоспособности модуля в соответствии со спецификацией при внесении изменений в модуль. Изменения могут вноситься, например, для добавления новых функций либо для улучшения уже существующего кода. Модульное тестирование позволяет отследить нарушение в функционировании модуля еще на этапе написания кода.

Имитационная модель с точки зрения разработки также является программной системой, если использовать описание поведения блоков модели в виде программного кода. В этом случае можно применить подход к разбиению имитационной модели на ряд менее простых моделей и производить тестирование и эксперименты над этими моделями независимо и это будет являться этапом модульного тестирования и модульного проведения экспериментов.

8. Представление взаимодействия между агентами

При перемещении агентов по карте активные агенты взаимодействуют с агентами пространства. При этом активные агенты не меняют свойств агентов пространства, а только агенты пространства изменяют свойства активных агентов. Такой тип взаимодействия в операции можно характеризовать как одностороннее взаимодействие с кратностью один ко многим, поскольку один агент пространства в один и тот же момент времени может изменять свойства многих активных агентов, если сила их взаимодействия не равна нулю, а агенты пространства не пересекаются.

Если брать в качестве примера военную операцию, то одним из элементов плана такой операции является ведение огня. При таком взаимодействии каждый активный либо пассивный агент может изменять свойства других активных или пассивных агентов и кратность такого взаимодействия будет многие ко многим. Такой тип взаимодействия в агентных имитационных моделях можно представлять в виде систем массового обслужи-

При втором прогоне модели запасы сил и жизни агентов установлены на тех самых абстрактных уровнях, но агент «Защитник» тратит на уменьшение запаса жизни агента «Враг» значительно меньше энергии и уменьшает запас жизни значительно интенсивнее, чем при предыдущем прогоне модели. У защитника достаточно запаса сил, чтобы уничтожить агента «Враг». С другой стороны, у агента «Враг» малый запас сил и жизни, через определенное количество тиков его

вания. Рассмотрим возможность применения систем массового обслуживания для представления и исследования группового взаимодействия между активными и пассивными агентами.



Рис. 7. Система массового обслуживания

живается. Например, система противовоздушной обороны сбивает часть налетающих самолетов, самолеты обнаруживают часть подводных лодок противника, по каждому донесению, поступающему в штаб, рано или поздно принимается определенное решение. Таким образом, на выходе системы массового обслуживания появляются два потока: поток обслуженных заявок с плотностью λ_o и поток необслуженных заявок с плотностью λ_n . В частном случае, когда каждая заявка рано или поздно обслуживается, $\lambda_n = 0$. Состояние системы массового обслуживания в любой момент времени $t \geq 0$ будем ставить в соответствие с числом заявок, так или иначе связанных с системой, и обозначать $x_0, x_1, x_2, \dots, x_k, \dots$.

Если система находится в состоянии x_0 , то это означает, что в ней нет ни одной заявки, а состояние x_k означает, что с системой связано k заявок. Например, если система ПВО в момент времени t находится в состоянии x_0 , то это означает, что в зоне ее обстрела нет ни одного самолета противника. При рассмотрении работы штаба состояние x_k означает, что в штабе имеются k необслуженных донесений.

В ходе работы система массового обслуживания может переходить из одного состояния в другое. Если новые заявки поступают на обслуживание, то индекс k будет увеличиваться, некоторые заявки могут обслуживаться, тогда индекс k будет уменьшаться. Таким образом, система массового обслуживания будет переходить из одного состояния в другое.

Следующим важным понятием является канал обслуживания. Под каналом обслуживания будем понимать комплекс всех средств, которые могут обслуживать одну заявку. Например, для системы ПВО каналом обслуживания будет станция наведения ракет ПВО с несколькими пусковыми установками. При рассмотрении работы штаба каналом обслуживания можно считать офицера штаба.

Каждый канал обеспечивает ту или иную интенсивность обслуживания поступающих заявок. Будем считать, что каждый канал генерирует поток обслуживания. В связи с тем, что мы будем рассматривать только пуассоновские системы массового обслуживания, поток обслуживания каждого канала также должен быть пуассоновским. Плотность этого потока будем обозначать буквой μ . Так, для системы ПВО потоком обслуживания канала является поток успешных выстрелов.

Таким образом, качество работы системы массового обслуживания зависит от того, как часто поступают на вход заявки, от того, как быстро обслуживаются каждым каналом, от числа каналов и от того, как организовано самообслуживание.

Организация обслуживания определяется тем, допускается ли очередь в системе или нет, ограничено ли время ожидания в очереди, возможна ли помощь при обслуживании заявок со стороны свободных каналов.

Работа любой системы массового обслуживания (рис. 7) может быть схематически представлена в виде потока заявок с некоторой интенсивностью λ .

Таковыми заявками могут быть, например, самолеты или ракеты для системы противовоздушной обороны, подводные лодки для системы самолетов-обнаружителей, донесения, поступающие для обработки в штаб соединения [2] и т.д. Часть этих заявок обслуживается.

Таким образом, есть возможность применения систем массового обслуживания для представления группового взаимодействия между активными и пассивными агентами.

Еще одним важным аспектом взаимодействия между агентами является использование UML-диаграмм для представления этого взаимодействия, поскольку поведение агентов представляется в виде программного кода, и для реализации важен временной аспект.

В каком-то смысле агент может рассматриваться как объект в объектно-ориентированном проектировании. В этом смысле при проектировании модели взаимодействие объектов хорошо представимо в виде диаграмм последовательностей UML. Как и имитационные модели, они удобно и компактно отображают взаимодействие объектов,

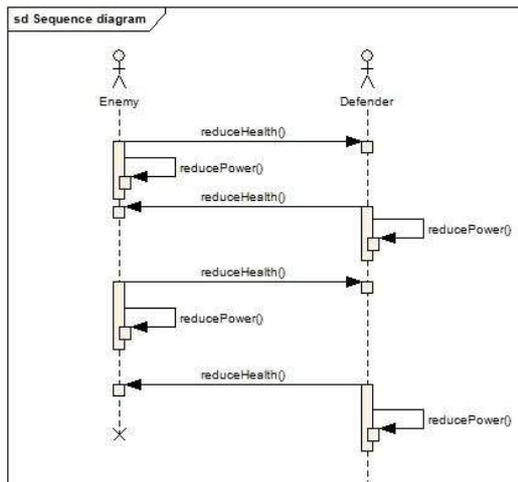


Рис. 8. Диаграмма последовательностей для взаимодействия двух агентов

однако временные аспекты сценария взаимодействия остаются на уровне комментариев и ограничений. Однако интерпретация взаимодействия агентов может быть гораздо шире взаимодействия объектов в диаграммах последовательностей UML. Здесь могут приниматься во внимание как пространственные факторы, так и сила воздействия.

Пример диаграммы последовательностей для взаимодействия двух агентов представлен на рис. 8. Актеры «Enemy» и «Defender» обмениваются между собой сообщениями `reduceHealth` и `reducePower` до тех пор, пока агент «Defender» не уничтожит агента «Enemy» одним из сообщений `reduceHealth`. Обмен сообщениями происходит до тех пор, пока запасы сил и жизнью у актеров не

станут равны нулю.

9. Выводы

В зависимости от поведения выделяют активные и пассивные агенты, а также специальный тип агентов: пространственные агенты. Агентное моделирование позволяет разделить модель на подмодели и проводить над подмоделями модульные эксперименты.

При моделировании боевых операций следует выделять типы объектов, которые будут присутствовать в модели. В связи с постановкой задачи моделирования действий противников все агенты можно разделить на три категории: противники, защитники и элементы пространства. Предполагается фиксированный набор взаимодействий между агентами: силовое воздействие, перемещение, ограничение значений параметров и т. д. Сценарии поведения модели хорошо представимы либо на карте, либо на расширенных диаграммах последовательностей. Множественное взаимодействие между агентами удобно представлять в виде систем массового обслуживания, что даст возможность произвести моделирование загрузки агентов при взаимодействии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 / Карпов Ю.Г. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 400 с.
2. Овчаров Л.А. Применение методов теории массового обслуживания при оценке эффективности боевых действий / Овчаров Л.А. – М.: Издание ВВИА, 1966. – 192 с.

Стаття надійшла до редакції 26.08.2013