

Среда обитания интеллектуальных агентов

Вадим Кузнецов

Волгоград, февраль-2009

VKuznetcov@Mail.ru

Дано описание мультиагентной среды обитания для экспериментов по формированию зачатков интеллекта у агентов с примитивной искусственной нервной системой. Среда разработана в рамках направления Artificial Life. Отличается минимальной сложностью и наличием активных элементов, способных ставить перед агентами (особями) задачи разной сложности. Рассчитана на проверку тезиса, что интеллект особей формируется средой в процессе решения ими задач на выживание.

Для реализации данной среды автором разрабатывается соответствующая программа-эмулятор.

Обсуждение на форуме <http://www.gotai.net/forum/Default.aspx?postid=5104#5104>.

Содержание

ПОЛИГОН	Рецепторы
ЯЧЕЙКИ	- зрения
ТАКТЫ	- обоняния
ТИПЫ	- цели
ОБЪЕКТЫ	- компас
Общие свойства объектов	- самочувствия
РЕЛЬЕФ	- боли
Атрибуты рельефа	- удовольствия
ФЕРОМОНЫ	- родства
Атрибуты феромона	- белого шума
ПРЕПЯТСТВИЯ	Эффекторы
Атрибуты препятствия	- движения
ДВИЖИМОСТЬ	- поворота
Атрибуты подвижности	- позы
Правила транспортировки	- феромона
ПИЩА	- захвата
Режимы питания	- клыков
Атрибуты пищи	- размножения
Параметры пополнения	Такт жизни особи
Тактика замены съеденного	Размножение
ДЕМОНЫ	Генетика
Атрибуты демона	Части генома
ОСОБИ	Набор генов
Варианты реализации	Способы размножения
Атрибуты особи	Перестройка генома
	Порядок модификаций
	Влияние мутаций
	Виды мутаций
	Коррекция порогов

ПОЛИГОН

Под этим термином понимается вариант среды обитания, отличающийся от других настройками, составом объектов, логикой особей и прочими особенностями, вытекающими из поставленных задач. Каждый полигон имеет индивидуальную историю, отдельные моменты которой зафиксированы в контрольных точках, хранящихся в папке с именем полигона.

Количество полигонов не ограничено.

Пространство полигона представляет собой прямоугольник с попарно замкнутыми краями (эквивалентен поверхности тора), разделенный *на квадратные ячейки*. Размеры полигона задаются при его создании в диапазоне от 16 до 10000 на каждую из сторон и возможной площадью от 256 до 10 млн. ячеек.

На этой площади располагаются:

- участки с разным рельефом;
- распыленные феромоны;
- до 16000 объектов (препятствия, подвижность, пища, демоны и особи).

Для небольших полигонов (меньших, чем 500x500) количество объектов ограничено 1/16 от общего количества ячеек.

Время полигона также дискретно и состоит *из тактов*, в котором каждой из особей предоставляется возможность обдумать и выполнить элементарные действия, а среде обитания – внести в свое состояние связанные с этим изменения. Запуск/останов жизни особей и запуск/останов времени – синонимы. Вмешательство экспериментатора в жизнь на полигоне всегда происходит *между* двумя тактами.

ЯЧЕЙКИ

Дискретные элементы поверхности, локализованные в узлах координатной сетки с началом в левом верхнем углу полигона. Каждая из ячеек:

- может быть раскрашена в один из 15 типов рельефа или оставаться в исходном (фоновом) варианте;
- может некоторое время сохранять запах одного из 15 оставленных там феромонов;
- может содержать один объект целиком, фрагмент линейного объекта или быть свободной;
- имеет 8 соседних ячеек, для перемещения в которые достаточно единичного шага (4 с общей стороной + 4 по диагонали).

ТАКТЫ

В каждом такте жизни

1. В цикле перебираются все демоны. Для каждого:
 - выполняется алгоритм его работы;
 - результаты реализуются в среде.
 2. В цикле перебираются все особи. Для каждой:
 - в зависимости от запаса жизни решается вопрос размножения или ликвидации;
 - на рецепторы подаются данные об обстановке вокруг особи;
 - дается возможность обдумать свой ход;
 - действия особи реализуются в среде.
 3. Выполняются общие изменения:
 - перемещаются транспортируемые объекты и несущие их особи;
 - добавляется пища для сохранения энергетического баланса;
 - происходит испарение феромонов.
- Запуск жизни означает повторение таких тактов до вмешательства экспериментатора.

Т И П Ы

В среде обитания нет predetermined типов рельефа, феромонов или объектов, и пользователю самому предоставляется возможность задать в настройках:

- до 15 типов рельефа;
- до 15 типов феромонов;
- до 216 типов объектов (препятствий, подвижности, пищи, демонов и особей).

После этого созданные типы появятся на палитре объектов и станут доступными для размещения в автоматическом режиме или с помощью инструментов.

ОБЪЕКТЫ

Различаются объекты:

- стационарные – препятствия;
- перемещаемые – подвижность и пища;
- активные – особи и демоны.

Препятствия и подвижность – линейные объекты, и могут занимать как одну, так и несколько (до 255) смежных по вертикали или горизонтали ячеек.

Пища, демоны и особи – «одноклеточные» и занимают всегда только одну определенную ячейку.

Общие свойства объектов

Экспериментатор может передвигать любые объекты в любое время и на любое свободное место.

Особи, способные передвигаться более чем на 1 клетку за шаг, вполне могут «перепрыгивать» через любой объект.

Все объекты прозрачны для зрения, обоняния, ориентации и прочих чувств, т.е. особи вполне видят и чувствуют все, что могут, из расположенного по другую сторону от близлежащего объекта.

Все объекты имеют *код зрительного представления (1-255)*, который подается на зрительные рецепторы особей. Уникальность кода не требуется, но рекомендуется присваивать объектам разных типов разные коды из диапазонов:

- 0 – 15 – коды пустой ячейки (фон или код рельефа);
- 20 – 99 – пища всех типов (у каждого типа – свой поддиапазон);
- 100 – 149 – подвижность;
- 150 – 199 – особи всех типов;
- 200 – 229 – препятствия;
- 230 – 254 – демоны.

РЕЛЬЕФ

Одна из основных характеристик ячейки. Позволяет:

- выделить на поверхности полигона зоны, имеющие особый смысл («тропа», «болото»);
- задать области, в которых появляется пища или подвижность («огород», «рудник»);
- сделать эти зоны различимыми для особей;
- превратить эти зоны в более или менее желательные с точки зрения нахождения в них особей.

Рельеф задается раскрашиванием с помощью специальных инструментов и остается неизменным до следующей раскраски или стирания. Особи видят рельеф, но изменять его не могут.

Атрибуты рельефа

Название и *Цвет* – выбираются по вкусу экспериментатора, особям недоступны.

Код (1-15) – подается на рецепторы зрения особи, если ячейка пуста. Отсутствие рельефа (фон) имеет код 0. Для занятой ячейки вместо рельефа или фона на рецепторы попадает код зрительного представления объекта (его следует делать всегда >15).

Уровень опасности (от 0 до 99) – определяет, на сколько единиц в каждом такте уменьшается запас жизни особи, находящейся в ячейке с данным рельефом. Для основного фона это значение равно 1. Уровень опасности для особей доступен лишь косвенно - через изменение уровня жизни («рецепторов опасности» пока нет).

ФЕРОМОНЫ

Наличие до 15 типов феромонов позволяет наладить обмен информацией между особями:

- особь может оставить в ячейке своего текущего расположения «каплю» феромона. Начальная концентрация всегда максимальна и равна 15. Превысивший феромон, если таковой был в ячейке, полностью заменяется новым.
- любая ячейка среды способна некоторое время сохранять запах оставленного там феромона, равномерно снижая его концентрацию с $t_{max}=15$ до 0. Наличие у ячейки рельефа или занятости объектом никак не влияют на эту возможность, скорость испарения определяется только типом феромона.
- особь может рецепторами обоняния чувствовать феромоны. Запах на каждый рецептор подается от одной ячейки в виде суммы

$$\text{Код феромона} \times 16 + \text{Концентрация феромона}$$

Экспериментатор может в любой момент окропить феромонами любую часть полигона, используя тот же набор инструментов, что и для раскраски рельефа. К тому же, в отличие от особей, он может еще и очистить от феромонов нужную область.

Атрибуты феромона

Название и *Цвет* – выбираются произвольно, особям недоступны.

Код (1-15) – подается на рецепторы обоняния особи (вместе с текущей концентрацией). Отсутствие феромона кодируется нулем.

Период полного испарения (от 15 до 9990) – определяет, на сколько тактов растянется процесс испарения.

ПРЕПЯТСТВИЯ

Объекты, используемые для построения оград, лабиринтов и прочей недвижимости. Основные свойства:

- линейные объекты, занимают одну или несколько смежных ячеек по вертикали или горизонтали;
- недоступны для перемещения особями.

Атрибуты препятствия

Название, Цвет и Внешний вид – задаются произвольно, особям безразличны.

Код представления – подается на рецепторы зрения особей.

Длина – определяет количество занимаемых ячеек.

ДВИЖИМОСТЬ

Дает возможность особям активно воздействовать на среду своего обитания. Основные свойства:

- линейные объекты, могут занимать одну или несколько смежных ячеек по вертикали или горизонтали;
- доступны для перемещения особями, имеющими эффекторы захвата и обладающими достаточной грузоподъемностью.

Атрибуты подвижности

Название, Цвет и Внешний вид – выбираются произвольно, особям недоступны.

Код представления – подается на рецепторы зрения особей.

Привязка к рельефу – определяет область автоматического размещения подвижности. Без привязки - это любая свободная ячейка, в противном случае среда размещает новые объекты (по мере возможности) в областях с заданным рельефом.

Длина – определяет количество занимаемых ячеек и вместе с кодом - вес объекта:

$$\text{Вес объекта} = \text{Код представления} \times \text{Длина объекта}$$

Гладкость – если включена, то особи могут только «толкать» такой объект перед собой.

Правила транспортировки

1. Объект (подвижность или пища) сдвигается, если:

- ничто не мешает ни объекту, ни самим особям изменить положение;
- алгебраическая сумма проекций усилий всех особей, «вцепившихся» в объект, хотя бы по одному из направлений превышает вес объекта.

2. Сумма сил, достаточная для движения и по вертикали, и по горизонтали, вызывает перемещение сразу по диагонали.

3. Все вцепившиеся особи перемещаются синхронно с объектом вне зависимости от направления индивидуальных усилий.

4. «Прыжки» (шаги на дистанцию > 1) с грузом недопустимы, перемещение всегда идет только единичными шагами.

5. Поворот с грузом возможен, но только в случае захвата одной особью негладкого одноклеточного объекта.

6. «Гладкий» объект особи могут только «толкать», шагая вперед. Шаги в других направлениях считаются шагами без захвата. В случае с обычным грузом в зачет усилий идут движения, направленные под любым углом к объекту.

П И Щ А

Объекты, используемые для поддержания запаса жизни у особей. Свойства пищевых объектов:

- занимают одну ячейку;
- пища может быть съедена особью, если соответствует ее пищевому диапазону и запас жизни особи меньше максимального;
- особь в результате приема пищи увеличивает свой запас жизни на величину, равную калорийности съеденного (если точнее, то еще умноженной на процент усвоения пищи особью);
- убыль еды обычно восполняется автоматической генерацией новых пищевых объектов;
- пища, как и подвижность, доступна для транспортировки особями. Причем, захваченный для переноса объект, не может быть съеден до его освобождения.

Режимы питания

Автокормление - переместившись в ячейку с едой, особь полностью поглощает ее.

Самостоятельный – особи с эффикторами клыков могут есть пищу из ячейки перед собой, причем, не обязательно сразу целиком, возможно «откусывание» отдельными порциями.

Атрибуты пищи

Название, Цвет и Внешний вид – выбираются на вкус экспериментатора.

Код представления – подается на рецепторы зрения особей. В отличие от других объектов, код каждого нового элемента генерируется случайным образом из диапазона кодов, определенного для пищи данного типа.

Калорийность (от 1 до 255x255) – определяет, на сколько может увеличить свой запас жизни особь, поглотившая еду. Косвенно калорийность особям видна через изменение запаса жизни или через код пищи:

$$\text{Калорийность объекта} = \text{Код представления} \times \text{Калорийность на единицу значения}$$

Параметры пополнения

Привязка к рельефу – определяет ареал возникновения новой пищи. Без привязки - это любая свободная ячейка, в противном случае среда размещает новую пищу по мере возможности в областях с заданным рельефом.

Автозамена – обеспечивает сохранение количества еды данного типа.

Хранить баланс – появление новой еды подчинено условию поддержки энергетического баланса.

Период и **Мах количество** – задают поступление еды с постоянной скоростью.

Тактика замены съеденного

1. Сохранение количества

С включенной автозаменой пища возобновляется с сохранением количества: вместо съеденного немедленно генерируется новый объект того же типа.

2. Сохранение баланса

Для этого один, и только один тип пищи объявляется «хранителем баланса». Объекты этого типа будут добавляться в каждом такте времени в количестве, достаточном для компенсации текущей убыли жизни особей. Другими словами, среда будет поддерживать энергетический баланс:

$$\text{Сумма жизни всех особей} + \text{Сумма калорийности всей еды} = \text{Const}$$

Приоритет энергетического баланса выше автозамены, и генерация новой пищи блокируется, если это вредит балансу.

3. Постоянное поступление

Раз в несколько тактов (это определяется **периодом**) генерируется пищевая единица. **Мах количество** задается, чтобы предотвратить чрезмерное накопление пищи. Вариант постоянного поступления, разумеется, не совместим ни с автозаменой, ни с поддержкой баланса.

Во всех вариантах новая пища размещается в случайном месте (в любом или в области с заданным рельефом) и со случайным кодом (в пределах диапазона для своего типа).

ДЕМОНЫ

Своеобразные автоматы с расширенными возможностями воздействия на все прочие объекты на полигоне и действующие по заданному экспериментатором алгоритму.

Наличие демонов существенно обогащает среду обитания возможностями и позволяет сделать ее достаточно сложной для выращивания особей с «продвинутым» интеллектом. Могут применяться в роли наставников, способных раз за разом создавать для особей проблемную ситуацию, поощрять успехи на промежуточных этапах ее решения и выдавать "Большой приз" в финале.

Основные свойства демонов:

- доступ к характеристикам ячеек полигона и объектов;
- возможность создавать, перемещать и уничтожать любые объекты;
- собственный алгоритм работы;
- занимают одну ячейку;
- могут самоперемещаться согласно своему алгоритму;
- могут быть доступными для перемещения особями;
- влияние демона локально: зона его ответственности обычно ограничена несколькими близлежащими ячейками.

Атрибуты демона

Название, Цвет и Внешний вид – на усмотрение экспериментатора, особям недоступны.

Код представления – подается на рецепторы зрения особей.

Период срабатывания – регулирует темп работы демона.

Предназначение – произвольное описание функции демона.

Демона можно передвигать – разрешает особям транспортировку демона.

Алгоритм действий – задается на специальном языке в момент создания нового типа демонов. Выполняется раз за N тактов жизни полигона (N – период срабатывания). Именно алгоритмом определяется то, на какой территории и на какие события реагирует демон, как именно и на какие объекты на полигоне он воздействует.

ОСОБИ

Активные объекты, реализующие в среде обитания логику своего поведения. Основные свойства:

- занимают одну ячейку;
- не перемещаемые (но перемещающиеся) объекты;
- имеют явно выраженную ориентацию («перед»);
- имеют набор рецепторов для получения текущей информации от среды обитания;
- имеют набор эффекторов для реализации своих действий;
- имеют внутреннюю логику, ведущую в каждом такте анализ данных с рецепторов и вывод решений на эффекторы;
- способны размножаться, передавая потомству свои характеристики и структуру.

Количество и состав рецепторов и эффекторов, а также логическая структура могут быть не только сугубо индивидуальными, но и меняться (при необходимости) на протяжении жизни одной особи.

Варианты реализации

Внутренняя логика особей может быть реализована двумя разными путями:

I. *На базе нейросети.* В поддержку предоставляются:

- а) средства для создания начальной логической структуры особи в виде сети формальных нейронов;
- б) набор правил размножения и наследования с возможностью задать развитие нейросети через:
 - партеногенез или половое размножение;
 - гаплоидный или диплоидный набор генов;
 - интенсивность рекомбинаций и мутаций.

II. *В виде DLL* - на одном из доступных языков программируются модули dll, реализующие любые алгоритмы работы и поддерживающие *интерфейс со средой обитания*

Атрибуты особи

Имя – присваивается при рождении, составлено из имени типа и уникального идентификатора.

Цвет и Внешний вид – выбираются произвольно.

Код представления – как особь выглядит на рецепторах зрения других особей. Формируется из **базового кода представления** и значений, задаваемых **эффекторами позы**. Такая способность (менять на время свое видимое представление) может использоваться для целей маскировки или коммуникации.

Запас жизни – показатель успешности и благополучия особи. Его текущее значение определяют такие процессы:

- в каждом такте запас уменьшается на 1 (для фона) или на величину опасности рельефа (для ячейки с рельефом);
- поглощая еду, особь увеличивает запас жизни на величину её калорийности;
- «хищная» особь, съевшая другую, добавляет запас жизни «жертвы» к своему запасу;
- при размножении особи-родители делят свой запас жизни с потомками.

Максимальный запас жизни – верхняя граница запаса жизни. Достигнувшие ее особи временно (до снижения жизни ниже максимума) лишаются возможности поглощать пищу и других особей. Если параметр равен 0, то аппетит особи не ограничен.

Начальный запас жизни – определяет запас жизни новой особи. Имеет смысл только для особей с порогом размножения > 0 и не должен превышать этого порога.

Источники начального запаса жизни новорожденной особи:

- если партеногенез, то родитель передает ей соответствующую часть своей жизни;
- если рождена от двух родителей, то от каждого берется доля, пропорциональная его запасу жизни.

Порог размножения – если равен 0, то особь не умирает и не размножается. Если порог > 0 , судьбу особи определяет запас жизненных сил:

- если он опустился до 0, особь ликвидируется;
- если он превысил порог размножения, особь получает шанс произвести потомство.

Рождение и ликвидация происходят в пределах, заданных **Максимальным** и **Минимальным** количеством особей для данного типа.

Порог половой зрелости – количество тактов, которое должна прожить особь в состоянии готовности к размножению до момента рождения дочерней особи. Если равен 0, то размножение происходит без задержки, в противном случае – когда накопится достаточно таких тактов, для которых запас жизни был не меньше порога размножения.

Грузоподъемность – какой вес может поднять особь при транспортировке.

Активность особи – какую долю тактов среды обитания использует особь для своей жизни. Если активность не 100%, то особь пропускает случайно выбранные такты жизни и, таким образом, снижает темп своей жизни относительно других особей.

Процент усвоения пищи – эффективность преобразования съеденных калорий в запас жизни особи. При 100% каждая полученная калория обеспечивает запас жизни на 1 такт, при 50% пищи нужно поглощать вдвое больше, и т.д.

Диапазон пищи – задает пищевой рацион особи. Позволяет управлять пищевой конкуренцией.

Автокормление – задает упрощенный режим поглощения пищи. Особи достаточно просто переместиться в ячейку с едой. Альтернатива автокормлению – использование пищевых эффекторов.

Запретный рельеф – если задан, то особи запрещено перемещаться в ячейку с таким рельефом. В отличие от препятствий, позволяет избирательно ограничить доступ особей к определенным фрагментам полигона.

Рецепторы

Нужны особи для получения информации о себе и об окружающей обстановке. Представляют собой интерфейсную структуру с двумя параметрами и однобайтовым регистром, в который среда обитания в каждом такте помещает данные, соответствующие типу и параметрам рецептора. Количество рецепторов каждого типа у одной особи может быть произвольным.

Рецепторы зрения - позволяют видеть объекты и рельеф вокруг особи. На один рецептор поступают данные из одной ячейки полигона. Если ячейка пуста, то это код рельефа или 0 (фон). Если занята - код зрительного представления объекта. В параметрах задается положение относительно особи той ячейки среды, которую «видит» данный рецептор. Обычно набор рецепторов зрения перекрывает ближайшие к особи окрестности в передней полусфере.

Рецепторы обоняния - позволяют чувствовать феромоны. На каждый подается код и концентрация феромона с одной ячейки среды, относительное положение которой задано в параметрах. Если феромона в ячейке нет, то это 0. Если феромон есть, то на рецепторе будет сумма

$$\text{Код феромона} \times 16 + \text{Концентрация феромона}$$

Рецептор цели - помогает особи ориентироваться. В параметрах задаются абсолютные координаты цели на полигоне (ею может считаться любая ячейка). На рецептор подается количество шагов до цели (но не более 255), если особь направлена так, что шаг вперед приведет к сближению с целью. Если особь направлена не на цель, то на рецепторе будет 0.

Рецептор -компас - на него подается число от 0 до 112, отражающее ориентацию особи на полигоне.

Рецептор самочувствия - на него подается текущий запас жизненных сил особи, приведенный к диапазону 0 – 255 (используется логарифмическая шкала).

Рецептор боли - на него подаются данные об ухудшении самочувствия особи:

- 0, если запас жизни увеличился или не изменился;
- разность жизненных сил особи в предыдущем и текущем тактах, если запас жизни уменьшился.

Величина, превышающая 255, выдается на рецептор несколько тактов подряд частями по 255 единиц + остаток.

Рецептор удовольствия - на него подаются данные об улучшении самочувствия:

- 0, если запас жизни у особи не вырос;
- разность жизненных сил особи между текущим и предыдущим тактами, если запас жизни увеличился.

Величина, превышающая 255, выдается на рецептор несколько тактов подряд частями по 255 единиц + остаток.

Рецептор родства данной особи и особи, расположенной непосредственно перед ней.

На него подается:

- 0, если впереди нет особи или там особь другого типа;
- число от 10 до 100, отражающее примерный процент общности генома двух особей.

Рецептор «белого шума» - на него подается случайное значение в диапазоне 0 - 255.

Эффекторы

Нужны для передачи решения особи о своих действиях в среду обитания. Разумеется, среда не всегда может выполнить запрашиваемое действие (например, шаг на занятое место), но альтернатив не ищется, а особь о неудаче не уведомляется.

Эффектор представляет собой интерфейсную структуру с двумя параметрами и однобайтовым регистром, в который особь помещает число > 0 , если хочет выполнить действие, соответствующее типу и параметрам эффектора. Если выставлен 0 - действие не требуется. Количество эффекторов каждого типа у одной особи может быть произвольным.

Не все эффекторы совместимы друг с другом. Например, особь либо двигается вперед, либо поворачивается. При срабатывании двух и более противоречивых эффекторов действует тот, который среди эффекторов данной особи встретился первым, остальные - блокируются.

Эффектор движения - по его сигналу особь переместится в ячейку, относительное положение которой задано параметрами. Допустимы шаги на 1-4 клетки в любом направлении. Перемещение происходит без поворота (это отдельное движение). Для успешного выполнения шага, если он не связан с переносом груза, достаточно свободной конечной ячейки. Это означает, что при шаге на 2-4 клетки можно «перепрыгивать» через любые объекты. При занятой конечной ячейке особь остается на месте.

Движение блокирует другое движение, поворот, смену позы, применение клыков и размножение.

Эффекторы поворота (Left u Right) - позволяют особи повернуться в соседнюю позицию (на $\pm 45^\circ$). Попытка всегда успешна, если она не связана с транспортировкой.

Поворот блокирует движение, другой поворот, смену позы, применение клыков и размножение.

Эффекторы позы - дают возможность особи изменить код своего представления на величину, заданную в параметре эффектора. Это может служить целям маскировки или обмена сигналами. Если одновременно возбуждены более одного эффектора позы, то к основному коду особи добавляется сумма их параметров, что позволяет задавать десятки поз, как комбинацию срабатываний всего 4-6 эффекторов. Временный код ограничен диапазоном 0-255 и действует до следующего такта.

Смена позы блокирует движение, поворот и захват.

Эффекторы феромона - позволяют особи оставить в текущей ячейке полигона каплю феромона с кодом, заданным в параметре эффектора. Если одновременно возбуждено более одного эффектора, то код оставленного в ячейке феромона будет логической суммой кодов возбужденных эффекторов. Это правило позволяет задавать любой из 15 феромонов, как комбинацию срабатываний всего 4-х эффекторов. При выделении особью феромона необъявленного типа, действие блокируется, в остальном – всегда успешно. Уже имеющиеся в ячейке остатки феромона замещаются новым, начальная концентрация которого всегда максимальна (равна 15).

Выделение феромонов вполне совместимо с любыми другими действиями.

Следующие далее эффекторы воздействуют на объект, расположенный *непосредственно перед особью*. Срабатывание эффектора без подходящего объекта игнорируется и не вызывает никаких блокировок.

Эффектор захвата - позволяет особи переносить пищу и движимость. Параметры не нужны, так как захватывается только тот объект, что расположен прямо перед особью. По этой причине создавать у особи больше одного захвата нет смысла.

Для транспортировки объекта одновременно включается захват и один из эффекторов движения или поворота, что фиксируется средой обитания как попытка перемещения. Успех попытки зависит от ряда факторов, изложенных *в правилах транспортировки*.

Захват блокирует смену позы, применение клыков и размножение.

Эффекторы клыков - дают самостоятельность в питании, в том числе возможность стать хищником. Атакует объект (другая особь или пища), оказавшийся непосредственно перед охотником с активированным эффектором, если код объекта попадает в границы пищевого рациона. В параметре задается, какая часть жизни жертвы (или калорийной ценности пищи) переходит к нападшему хищнику. Если остаток жизни (калорийности) положителен, то жертва остается жить (а еда - существовать). В противном случае – объект считается съеденным полностью.

Если у особи имеется и одновременно возбуждено несколько эффекторов клыков, их действие суммируется.

Особи с исходным нулевым запасом жизни для хищников неприкосновенны.

Применение клыков блокирует движение, поворот, захват и размножение.

Эффектор размножения - позволяет особи самостоятельно выбирать полового партнера и производить потомство, не дожидаясь наступления зрелости. Если эффектор активирован, то рождение отпрыска происходит при условии:

а) особь готова к размножению: *Запас жизненных сил > Порог размножения;*

б) непосредственно перед ней находится подходящий партнер - готовая к размножению особь такого же типа;

в) у партнера тоже возбужден эффектор размножения.

Срабатывание данного эффектора задает только момент размножения и конкретного партнера. В остальном ход процесса (в том числе, будет ли он половым или партеногенетическим), определяется *геномом особи и правилами рождения*.

Действие двух и более активных эффекторов независимы и могут (при благоприятных условиях) приводить к рождению более многочисленного потомства.

Размножение блокирует движение, поворот, захват и применение клыков.

Такт жизни особи

В такте жизни в цикле перебираются все особи. Для каждой:

а) решаются вопросы рождения и смерти

- запас жизни особи уменьшается на 1 (или согласно опасности рельефа);

- «смертные» особи, исчерпавшие запас жизни, ликвидируются;

- особи, способные размножиться и с достаточным запасом жизни, производят потомство;

б) обеспечивается возможность сделать свой ход

- на рецепторы каждой особи подаются данные из среды обитания;

- просчитывается прохождение сигналов по нейронной сети особи или вызывается процедура размышления над ходом (для dll-реализации);

- с эффекторов снимаются выходные данные – решения о действиях;

в) действия особи реализуются в среде

- производится перемещение особи, выделение феромонов и др.;

- генерируется пища взамен съеденной;

- фиксируется попытка перемещения объектов.

Для особей с не 100% активностью возможность сделать свой ход реализуется не всегда. В случайно выбранных тактах пункты б) и в) для них пропускаются.

Кроме цикла по всем особям в такте выполняются и общие изменения:

- перемещаются транспортируемые объекты и несущие их особи;

- добавляется пища для сохранения энергетического баланса;

- происходит испарение феромонов;

- согласно своим алгоритмам выполняют действия демоны.

Запуск жизни означает повторение таких тактов до вмешательства экспериментатора.

Размножение

За один раз рождается одна дочерняя особь от одного или двух родителей. Новорожденная помещается в ближайшую свободную ячейку и получает в наследство начальный запас жизни, набор признаков и, если это НС-особь, персональную нейросеть, сформированную из родительской и частично модифицированную мутациями.

Для производства потомства требуется:

- способность особи к размножению – задается порогом размножения > 0 ;
- готовность к рождению – состояние, когда текущий запас жизни превышает порог размножения;
- иногда нужно достижение половой зрелости. Если задан порог зрелости, особь должна прожить в состоянии готовности к рождению заданное этим порогом количество тактов или найти партнера и инициировать процесс посредством эффектора размножения.
- наличие свободной ячейки рядом с родителем;
- текущее количество особей данного типа должно быть меньше максимально допустимого;
- не должен быть нарушен предел на количество всех объектов на полигоне.

Следующие далее темы ([Генетика](#) и [Перестройка генома](#)) уже не относятся напрямую к описанию среды обитания и имеют смысл только для особей с логикой на базе встроенных возможностей. Для особей, реализованных в виде DLL, все вопросы наследования при размножении решаются внутри DLL.

Нелишне подчеркнуть также, что, несмотря на обилие удобной биологической терминологии в изложении, содержание понятий в данном контексте может быть весьма далеким от исходно биологического. Прежде всего, это объясняется отсутствием такой цели, как моделирование реальных биологических механизмов наследственности.

Генетика

Части генома

Структурные гены – представляют собой составные элементы нейросети особи - нейроны. Другими словами, структурный ген = нейрон вместе с входными синапсами. В отличие от остальных частей генома, они могут быть объектом мутаций или рекомбинаций.

Гены-регуляторы – действуют при размножении и управляют формированием нейросети дочерней особи. Отдельный ген представляет собой числовой параметр, задающий, как правило, вероятность определенных изменений.

Наследуемые параметры – ряд характеристик, которые могут быть установлены для особи индивидуально и передаваться ее потомкам.

Набор генов

Может включать одинарный или двойной комплект структурных генов. Гены-регуляторы и наследуемые параметры всегда представлены у особи одним комплектом.

Гаплоидный – нейросеть содержит только основные экземпляры нейронов.

Диплоидный – каждый нейрон (включая рецепторы и эффекторы) представлен двумя экземплярами: основным и теневым. Причем, в работе нейросети участвует только основной нейрон, теневой пассивен и ждет шанса, быть переданным потомству. Это аналогично паре доминантный - рецессивный ген, но с возможностью смены ролей при рекомбинации.

Способы размножения

Партеногенез – дочерняя особь получается из родительской клонированием. В нейросеть потомка вносятся модификации согласно генам-регуляторам.

Половое размножение – дочерняя особь формируется из двух родительских. Причем, наследуемые параметры и гены-регуляторы потомок получает от особи-инициатора, а в нейросети сочетаются нейроны обоих родителей.

Поиск партнера для размножения:

1. В период до достижения зрелости, его может найти сама особь и инициировать процесс, используя эффектор размножения;
2. Когда зрелость достигнута, партнера подбирает среда обитания из числа особей такого же типа по лучшему запасу жизни.

Перестройка генома

Для формирования дочерней особи над геномом родителей выполняется ряд манипуляций, контролируемых генами-регуляторами особи-инициатора размножения. Перестройке подвержены только структурные гены (т.е. нейросеть). Наследуемые параметры и гены-регуляторы передаются потомку неизменными и от единственного или одного родителя (в последнем случае – от особи-инициатора).

Порядок модификаций

Последовательность и суть действий, преобразующих родительскую НС в дочернюю, такова.

Гаплоид \Leftrightarrow **диплоид** – для преобразования особи из гаплоидной в диплоидную ее основные нейроны дублируются и 2-е экземпляры считаются теньвыми.

Диплоид \Leftrightarrow **гаплоид** – переход выполняется простым отбрасыванием теньвых нейронов.

Оба процесса регулируются **долей диплоидного потомства**. Реализуется в конкретном случае одно из двух преобразований.

Рекомбинации – часть теньвых нейронов становится основными, и наоборот. Имеют смысл только для диплоидных особей и регулируются **вероятностью рекомбинаций**.

Кроссовер – сборка дочернего генома из двух родительских. Доля каждого из родителей пропорциональна его запасу жизни. Процесс регулируется **долей полового размножения**.

Выбор нейронов для рекомбинации и кроссовера случаен, но может быть организован «поштучно» или «поблочно». Во втором варианте в блок берется несколько соседних нейронов. Степень фрагментации определяется **Min-Max размерами блока**.

Мутации – внесение случайных изменений в сформированную нейросеть новой особи. Мутации затрагивают только основные нейроны и, в отличие от других перестроек генома, действуют не только при размножении, но и на вновь создаваемых особей.

Влияние мутаций

1. На вновь создаваемых особей:

- если **доля потомства с мутациями** > 0 , часть особей создаются немного разными
нейросеть новой особи = нейросеть типа + мутации;
- в противном случае, все созданные особи будут идентичны
нейросеть новой особи = нейросеть типа.

2. Для новорожденных особей различие с родителями не ограничивается мутациями, поэтому их отсутствие еще не равнозначно клонированию. Для такового требуется отключить еще рекомбинации и половое размножение (кроссовер).

Действие мутаций регулируется, прежде всего, **долей потомства с мутациями**, а также набором параметров, задающих вероятность применения и масштабы каждого из 4-х ее видов.

Виды мутаций

Дублирование нейронов – основное средство роста нейросети. Случайно выбранные нейроны (кроме рецепторов и эффекторов) «раздваиваются». Второй экземпляр нейрона снабжается тем же набором входных основных и теньвых синапсов, что и прототип. Выходные связи (основные и теньвые) тоже дублируются, но их веса делятся пополам между старым и новым нейронами с тем, чтобы суммарный выход остался прежним.

Добавка новых синапсов – к имеющимся в НС нейронам случайным образом добавляются новые синапсы.

Модификация синапсов – изменяет вес случайно выбранных синапсов.

Удаление синапсов – удаляются случайно выбранные синапсы.

Виды мутаций перечислены в порядке их выполнения на НС новой особи.

Коррекция порогов

При добавке, модификации или удалении синапса существенно меняется возбудимость нейрона, к которому ведет измененная связь, поэтому существует управляемый механизм коррекции порога выходного нейрона. Если в результате мутации нейрон стал более возбудимым за счет роста влияния активирующих синапсов или уменьшения тормозных, то его порог можно поднять, а в противном случае – снизить. Величина изменения порога выбирается случайно в интервале от 0 до величины изменения веса синапса.

Ограничение роста НС

Меры по ограничению роста нейросети в результате мутаций:

1. *Жесткие* — в виде *Мах количества нейронов* и *Мах кол-ва основных синапсов*, которые задают пределы увеличения НС при мутациях. Для диплоидов контролируется только основной набор нейронов и синапсов, поскольку теневой набор объектом мутаций не является. Любая мутация, ведущая к нарушению границ, блокируется.

2. *Мягкие* — в виде планомерного ухудшения характеристик особи с ростом ее нейросети, чтобы тем самым стимулировать только такой рост НС, польза от которого явно выражена. В качестве подобного рычага можно использовать снижение активности особи и эффективности ее питания (вместе или по отдельности) в линейной зависимости от размеров нейросети.
