

*Розглядається модель агента artificial life, де автономність досягається на основі імперативу виживання, подвійного сприйняття середовища (two-faced perception) – що формує окремо позитивний і негативний її образи, детермінованих реакцій і стохастичної реакції “вибір”, не пов’язаної з якими-небудь передумовами*

*Ключові слова: автономність, artificial life, багатозагентна, моделювання, Парето*

*Рассматривается модель агента artificial life, где автономность достигается на основе императива выживания, двойственного восприятия среды (two-faced perception) – формирующего отдельно положительный и отрицательный ее образы, детерминированных реакций и стохастической реакции “выбор”, не связанной с какими-либо предположениями*

*Ключевые слова: автономность, artificial life, многоагентная, моделирование, Парето*

*The model of agent of artificial life is examined, where a autonomy is achieved on the basis of imperative of survival, of two-faced perception - forming separately positive and negative appearances of environment, of determined reactions and stochastic reaction “choice” - non connected with any pre-assigned*

*Keywords: autonomy, artificial life, multiagent, design, Pareto*

# ФАКТОР СРЕДЫ И АЛГОРИТМИЗАЦИЯ АГЕНТОВ В МОДЕЛЯХ ARTIFICIAL LIFE

**А.И. Евшенко**

Кандидат технических наук, доцент  
Кафедра моделирования и программного обеспечения  
Криворожский национальный университет  
ул. XXII партсъезда, 11, г. Кривой Рог,  
Украина, 50027  
Контактный тел.: 067-986-17-32  
E-mail usherhouse@live.ru

## Введение

Статья относится к исследованиям автономных многоагентных систем, имеющих в основе разнообразные модели искусственной жизни (Artificial Life, AL), и посвящена анализу одной из базовых компонент такого моделирования - свойству автономности.

Актуальность указанной темы обусловлена тем, что модели AL - не только специфический инструмент исследования сложных нелинейных систем, но имеют и самостоятельное значение, как прототип их технической реализации. Счет соответствующих проектов идет на десятки. “Возраст” большинства - 5-7 лет. Назовем хотя бы AIM (Autonomous Intersection Management project, США) - управление агентами типа гобосар в пересекающихся потоках без внешнего регулирования [1] и SMAVNET (The Swarming Micro Air Vehicle Network, Швейцария) - для оперативного развертывания связи в труднодоступной местности с помощью “стаи” летательных микроаппаратов [2]. Особенность SMAV, что он является лишь позицией в программе разработки “человеко-ориентированной” робототехники, кооперирующей усилия 17 научно-исследовательских учреждений Европы.

Ввиду междисциплинарного характера исследований, теоретический фундамент AL нуждается в постоянном согласовании и результатов, и позиций самих исследователей. Так была сформулирована главная задача ESCAL 2011 (European Conference on Artificial Life): “Через 20 лет после первой всемирной конференции по искусственной жизни ... исследова-

тели автономных систем вынуждены признать, что все большая специализация направлений требует, в качестве баланса, возобновления попыток общих подходов, возможно и - переосмысления (переопределения) исходных понятий” [3]

## 1. Проблема алгоритмизации поведения агентов AL

Материалы ESCAL 2011 [4] и связанные источники, показывают, что, несмотря на очевидные успехи моделей AL, в самой основе их теоретической базы остается принципиальное противоречие между методом и объектом исследования, следующим образом сформулированное Маргарет А. Бодин (Margaret A. Boden): Как можно смоделировать (*руководя извне*), то, что по определению происходит без внешнего воздействия?.. Без “внешнего”, не в смысле, что взаимодействия со средой нет, а в том, что система самостоятельно (*по своему усмотрению*) должна приобрести качества, необходимые для реакции на это воздействие [5].

Иначе говоря, как именно, средствами компьютерного моделирования, т.е. используя детерминированный процесс, алгоритмизирующий реакцию системы на факторы среды, воспроизвести способность агента делать нечто с этой самой “средой” без понуждения извне.

Оговоримся, что возможны два подхода к моделям AL, первый, рассматривать исключительно реакцию системы в целом, и, второй, моделировать многоагентную систему через индивидуальную реакцию

агентов. Изложенное далее - основывается на втором подходе.

## 2. Состояние вопроса

Практически все исследования AI последнего десятилетия используют варианты метода Монте-Карло (стохастические модели среды) и нейросетевой или гибридный базис [6] для моделирования принятия решений и обучения агентов. В большинстве моделей "самообучение" выглядит сходно - в виде алгоритма выработки стереотипа/стереотипов поведения, отвечающих некоей целевой функции.

"Передвигаясь по пространству в случайных направлениях, робот постепенно начинает "понимать", что соударения с препятствиями вызывают "отрицательные эмоции", что ... следует обходить препятствия стороной, и постепенно сам находит способы обхода препятствий. Тем самым поведение робота самоорганизуется, и появляются целесообразные фрагменты его поведения... число соударений со временем резко снижалось, а затем и вовсе прекращалось" [7].

Не вдаваясь в детали, обратим внимание лишь на то, что: во-первых, именно "постепенно начинает понимать" - является главной проблемой любого эволюционного механизма, во-вторых, что понятие целесообразности поведения агента определяется "формулой" эксперимента, т.к. изначально задано, что столкновение - это "плохо".

Разумеется, таким способом можно "самообучить" стереотипу реакции на конкретный раздражитель (препятствие, еду и т.п.). Такая возможность поддерживает распространенную точку зрения на "особость" поведения живых объектов, как на следствие, всего лишь, сложности их устройства. Но, образно говоря, даже все более сложно устраиваемая мышеловка, вряд ли "постепенно" превратится в кошку, которая "ходит сама по себе". Поэтому нельзя исключать, что отличие (автономность-регламентированность) проявляется **прежде** достижения "суперсложности", может быть даже на элементарном уровне.

Существует ли простой метод проверки принципиальной возможности выработки у агента-механизма "поведения вообще"? Представляется, что - да.

## 3. Модель двойственного восприятия (two-faced perception)

Предположим, как условие, что агент, автономный от алгоритмической регламентации, должен отличаться, по меньшей мере, тремя свойствами:

- во-первых, иметь некую внутреннюю директиву поведения (одну!), неизменную во все время существования агента, не зависящую ни от обстоятельств (среды), ни от содержания алгоритма, навязываемого "администратором", назовем это - **императивом**;

- во-вторых, все реакции агента на факторы среды должны классифицироваться как: 1) класс, содержащий все реакции, которым агент может самообучиться или быть им обучен, и 2) класс всего с одним элементом - реакция "выбор", обучение которой

воздействием администратора (внутри пространства модели) **исключена в принципе**;

- в-третьих, агент должен иметь специального назначения блок (назовем для простоты "решателем"), который отвечал бы за управление активностью агента, причем, особенность блока в том, что с его помощью реализуется процесс своеобразной дуплекции - автотипии, с формированием двух, по разному "окрашенных", образов внешней среды.

Модель системы агентов с перечисленными свойствами обозначим как **модель двойственного восприятия** (two-faced perception model).

### 3.1. Императив выживания

Наличие императива означает, что у агента есть безусловная и безальтернативная цель его существования - оно само. Ее проявления стремление "выжить", хотя и понимаемое в самом широком смысле - как самосохранение, питание, репродукция.

В классической работе А. А. Жданова [8] это аргументируется так: "Если управляющая система автономна, то из этого следует первая из целей, которых управляющая система добивается... эта цель состоит в том, чтобы сохранить... объект управления, свое тело". Добавим, что, скорее всего, это не "первая", а **единственная** цель любой системы, не загрязненной "соображениями высшего разума".

Императив определяет направленность и качество поведенческих реакций агента. Образно говоря, придает им смысл. Отсутствие императива - относит агента, всего лишь, к программируемым инструментам, к **оборудованию**, говорить о поведенческой реакции которого можно не больше, чем о "поведении" молотка.

Очевидно, например, что "смысл жизни" ездовой собаки не в том, чтобы тянуть сани (она не трактор), а в том, чтобы **существовать, быть**, из-за чего и приходится (по обстоятельствам) тянуть эти окаянные сани. Или, цитируя тот же источник, если искусственная мышь будет неотличима от реальной, "она не станет рыть нору для нас, она захочет рыть нору для себя".

Понятие императива представляется весьма полезным.

Во-первых, для оценки степени адаптации достаточно становится одной характеристики - продолжительности индивидуального существования агента/системы агентов, во-вторых, можно снять вопрос правильности или неправильности отдельных реакций (тем самым избегнув регламентации поведения по образцу), а проверять конечный результат, соотнося его с императивом. В самом деле, в естественных условиях, живой прототип агента, не имеет иной оценки своих действий, кроме как "жить" или "умереть".

Таким образом, императив позволяет вместо проверки поведения агента на "правильно ли сделано?" использовать критерий "хорошо ли вышло?". Применительно к простейшей модели, "хорошо" может означать - как надолго агент смог продлить свое существование по сравнению с другими в сходных условиях.

Согласившись принять понятие императива, мы, автоматически теряем predeterminedность событий, возможность механического управления ими. Но тут

уж надо выбирать, какая именно "мышь" нам действительно необходима.

С другой стороны, хотя последовательность и амплитуда реакций на протяжении существования агента никак не регламентируется, каждая, **взятая в отдельности**, в контексте стандартных условий - все-таки результат обучения и самообучения.

Кроме реакции "выбор".

### 3.2. Выбор

"Выбор" это единственная произвольная реакция, которая имеет дело не с фактами внешней среды, а исключительно с их **интерпретацией**, с вариантами сценариев, представляемых агенту реакциями других классов. Оценка отдельного "выбора" с позиций императива, не может быть корректной. Лишь общий результат - длительность существования агента - является ответом.

Как следствие, содержательная часть сценариев не имеет, по существу, значения, ибо "выбор" не предполагает возможности перепроверки сценариев и всегда случайный. Если попытаться заменить "выбор" анализом, "деланием" выводов, то потом цепочку решений вновь можно разложить до системы детерминированных реакций, заканчивающихся "подбрасыванием монетки". Очевидно, что параметры этой "случайности" (ее распределения) могут отличаться от агента к агенту или от поколения к поколению.

Параметры распределения (на основе которого вычисляется "выбор") имевшие место для самых удачливых агентов, имплантируются в систему новых агентов и операция повторяется, пока "продолжительность жизни" не достигнет приемлемого уровня, что и является примитивной формой эволюционного алгоритма.

Почему бы не вычислять "подходящие" параметры распределения непосредственно в процессе случайного блуждания?.. Ведь таким методом нетрудно получить, например, "стрелка", почти безошибочно попадающего в "десятку" на мишени. Ответ, все тот же: оценки отдельных шагов не имеют большого смысла, т.к. конечное событие, относительно которого "цена" определяется, еще не состоялось.

Остается главный вопрос, между, чем и чем следует выбирать, если принято условие, что его "результативность" не может быть оценена, кроме как в контексте императива" и, скорее всего, лишь по итогу всех испытаний? Ответ, между сценариями, полученными в результате применения метода, сходного с дуплекс-автотипией - технологией печати двумя разными красками с одноцветного оригинала.

### 3.3. Дуплекс-автотипия как основа модели двойственного восприятия

Двойственное восприятие (two-faced perception, букв. *двуличное*) понимается следующим образом: два сценария реакций первого класса, предлагаемые "решателю", получаются совершенно одинаковыми методами (и, в общем, неважно как именно), но один из них — вырабатывается исходя из картины окружающей среды, составленной исключительно из факторов, **противоречащих** императиву, отрицательных к нему, а второй — получается на основе только тех факторов, которые **соответствуют** императиву выживания агента. Иначе говоря, если есть мышь, сыр и кошка, то агент "мышь" имеет два, обоснованных

расчетом или условиями, варианта действий: в одном — в расчет принимается только сыр, в другом — только кошка (рис. 1, 2).

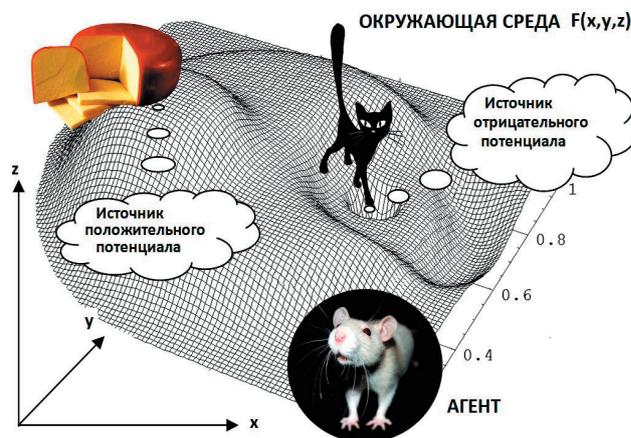


Рис. 1. Ландшафт среды с точки зрения экспериментатора

Рельеф соответствует мере участия в формировании ландшафта существ, значимых в контексте императива выживания агента.



Рис. 2. Восприятие среды агентом в модели двойственного восприятия (two-faced perception)

Сходным образом, в виде быстро сменяющейся последовательности противоположных интерпретаций, воспринимает окружающее и наш мозг. Даже если человек **точно знает** о присутствии двух образов, воспринимает все-таки один из них. В настоящем контексте "воспринимает", значит "делает выбор". Для наглядности напомним какой-либо из классических примеров такого восприятия (рис. 3). Два изображения формируют последовательность образов "дама-старушка-дама -...", которые упорно не "желают" слиться в нечто обобщенное. Эту способность (или - **неспособность**), можно рассматривать как аналогию восприятию ситуации агентом в модели two-faced perception.

Становится понятно, что суперпозиция восприятий положительных и отрицательных факторов практически невозможна. При одинаковой же силе воздействия факторов детерминированная реакция будет нулевой. Что не соответствует поведению любой, взятой наугад, биологической системы. Исключение - asinus Buridani inter duo prata, как пример абсолютного детерминизма.



Рис. 3. Классический пример двойственного восприятия

Таким образом, в настоящей модели, положительные и отрицательные факторы ни в коем случае не учитываются вместе.

Ожидается, что двойственное восприятие вместе с реакцией "выбор" сформирует **поведение** (активность закономерную, но не predetermined), а **не траекторию** (следствие регламента).

Несмотря на некоторую отвлеченность, изложенная концепция допускает иллюстрацию простым численным экспериментом. Разумеется, нужно иметь в виду, что такой эксперимент не является **доказательством**, но лишь обоснованием возможности.

#### 4. Описание эксперимента

При разработке моделей эволюционирующей системы, часто используют образы, связанные со стереотипами живых существ (например [9] и мн. др.). Если цель - исследование собственно биологических объектов или наглядность, это представляется оправданным. Но, если ставить вопрос о возникновении "автономности", глубокая детализация, с уподоблением агента живому образцу, скорее тушует проблему (У швейцарского автомата-шахматиста наверняка было больше внешнего сходства с живым игроком, кажется, он даже курил сигару, чем у любой программы для игры в шахматы). Поэтому используем для моделирования более-менее стандартный вариант, с внешней средой и агентом, подобный описанному выше [8], но еще более упрощенный. Повторимся, что далее рассматривается не модель **эволюции** многоагентной системы, а модель **поведения** ее агентов. Такую модель можно классифицировать как микроскопическую модель МАС.

Схема принятия решения в модели двойственного восприятия представлена на рис. 4.

##### 4.1. Среда моделирования

Среда неоднородна и содержит статические и/или динамические сущности, формирующие ландшафт. Функция, описывающая ландшафт -  $F=f(x,y,z)$ , где  $x, y, z$  - считаются пространственными координатами, а  $z$  - неким свойством среды  $p$ , воспринимаемым сенсорами агента.

Свойство  $p$  для удобства именуется потенциалом, и, в данной конкретной реализации, может быть рассчитано для каждой  $[x, y]$  в СКМ по зависимости вида  $p = 1/r^2$ , где  $r$  - расстояние от  $[x, y]$  до центров активных областей среды. Значение  $p$  является **объективной (наблюдаемой экспериментатором)** характеристикой среды в точке  $[x, y]$ . Это - свойство среды в смысле thing-in-itself.

Однако, агенту среда являет себя, как воспринимаемое им "притяжение" и/или "отталкивание". Притяжение - к таким активным областям, в которых возможна "подзарядка" - восстановление ресурса до первоначального. Отталкивание - в отношении областей, попадание в которые "разряжает" агента до нулевого значения, в которых агент деактивируется.

Причем,  $p$  воспринимается агентом, лишь через себя и через собственное состояние. Как пояснение, степень опасности фактора "тигр" для агента "мышь" исчезающе мала, а фактора "кошка" - достаточно велика, чтобы вызвать реакцию.

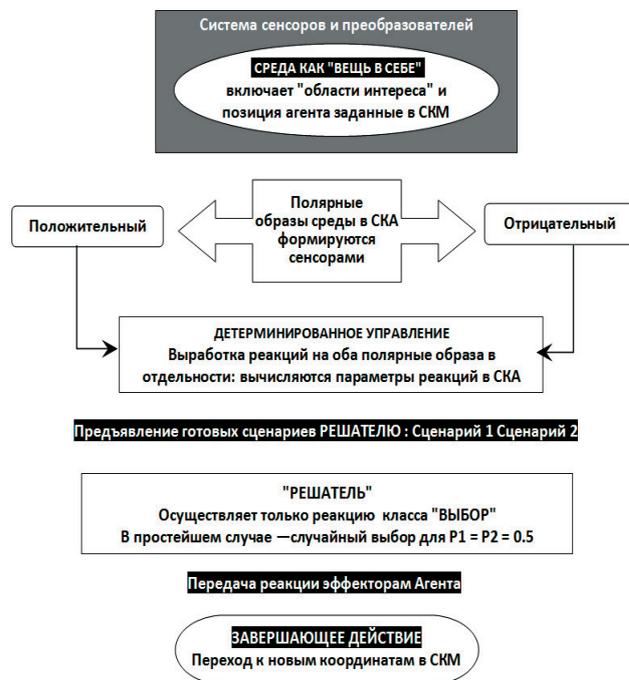


Рис. 4. Принятие решения в модели двойственного восприятия. Сокращения: СКМ - система координат модели; СКА - система координат агента

##### 4.2. Агент

Существование агента в модели (без взаимодействие со средой) определяется параметром  $T$ , выражаемым в итерациях процесса моделирования (итерация — единица дискретного времени). Текущее состояние (ресурс агента) определяется как  $T - t$ , где  $t$  - время (число итераций), прошедшее от момента активации агента.

По условиям моделирования, попадание агента в область положительного потенциала - восстанавливает агента до состояния, соответствующего моменту активации  $t = 0$ . Попадание в область отрицательного потенциала устанавливает  $t = T$ , что означает деактивацию агента, независимо от предшествующего состояния.

Если же агент оказывается в пересечении положительной и отрицательной областей — его внутреннее состояние не изменяется.

При последовательно "удачном" выборе, продолжительность "жизни" агента может значительно превысить  $T$ , что и соответствует императиву.

#### 4.3. Детерминированные реакции в эксперименте

Детерминированные реакции также моделируются стохастическими методами. То есть, "детерминированность" понимается здесь как априорное знание об ожидаемом характере реакции.

На основании этих представлений задаются параметры модели.

##### 4.3.1. Содержание детерминированных реакций

Детерминированные реакции агента, заключаются в дискретном перемещении **примерно** в сторону источника фактора или - **примерно** от источника. Так как параметризация реакций не является целью (агент и среда - абстрактны), используется случайная функция, заданная в системе координат агента (СКА). В эксперименте СКА - полярная,  $P(r, \varphi)$ , при этом радиус  $r=0$  совпадает с начальной позицией агента, а угол  $\varphi$  отсчитывается от направления на источник "притяжения" или "отталкивания", для которых, в начальной позиции агента  $\varphi = 0$ . Таким образом, начальное положение агента в СКА относительно любого/каждого фактора всегда  $P(0,0)$ .

Разумно предположить, что, если множество факторов, влияющих на детерминированную реакцию в каждом конкретном случае, в модели не рассматриваются, то все возможные реализации этой реакции образуют полную систему событий, подчиняются нормальному распределению и перемещение **прямо** на источник притяжения (или **точно** от источника отталкивания) соответствует математическому ожиданию  $\mu$  ожидаемой реакции. По условию  $\mu = 0$ , а плотность вероятности:

$$p = f(x | \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \exp \left( -\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2} \right) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \quad (1)$$

Так как потенциал  $p$  независимо вычисляется по заданным свойствам среды, то из (1)

$$\sigma(p) = \frac{1}{p \cdot \sqrt{2\pi}} \quad (2)$$

и новая позиция агента при реакции только на данный фактор среды

$$P' = A \cdot \text{RandNorm}(0, \sigma(p)), \quad (3)$$

где  $A$  - параметр, зависящий от внутреннего состояния агента, который удобно назвать **индивидуальной активностью агента**.

Назначение параметра - удобство интерпретации реакции, приближение ее к аналогичной у биологических объектов.

##### 4.3.2 Индивидуальная активность

Детерминированная реакция агента связана с уровнем его "жизненного" ресурса и зависимость эта закономерная, но - приближительная, т.к. множество факторов, влияющих на мотивацию и актив-

ность, не могут быть исчерпывающе определены. Нет смысла усложнять агента, придумывать ему дополнительные свойства, а кажется достаточной **любая** разумная гипотеза о характере распределения, которая позволит вычислять вероятное, **для данной итерации**, значение активности.

Имея в виду биологические аналоги, функцию для вычисления активности можно представить логнормальным распределением:

$$y(T-t, m, s) = (2\pi)^{-1/2} (T-t)^{-1} s^{-1} \exp \left( -\frac{(\ln(T-t) - m)^2}{2s^2} \right), \quad (4)$$

где  $y$  - активность (в модели приведена к значениям 0..1);

$m, s$  - математическое ожидание и стандартное отклонение, подбираемые по условиям согласования с другими параметрами моделирования;

$T$  - максимальный ресурс агента без пополнения, возможного в активной области среды;  $t$  - индивидуальный "возраст" (в итерациях моделирования).  $T$  и  $t$  - подробно описаны выше. При  $T - t = 0$  агент деактивируется.

Плотность вероятности для активности агента будет иметь вид (рис. 5), примерно соответствующий общепринятым представлениям о динамике активности (крайние состояния агента проявляются в торможении, временном или окончательном).

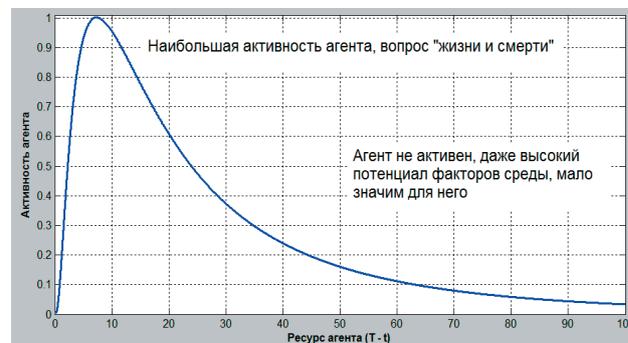


Рис. 5. Диаграмма активности агента при реакции на фактор, положительный императиву

Потенциал среды учитывается, через дисперсию распределения, используемого при вычислении направления перемещения агента

Таким образом, отношение между средой и агентом - случайная функция с параметрами, связанными со средой (как с объективной реальностью), с активностью агента (зависящей от предшествующего опыта и "возраста") и с его положением в среде на данной итерации (рис. 6). То есть, утверждение, что "размер кошки зависит от того, насколько мышь голодна" при настоящем подходе - не только метафора.

#### 4.4. Реакция "выбор"

В простейшем случае реакция сводится к бинарному равновероятному выбору между двумя сценариями действия и не связана с какими-либо внешними или внутренними факторами.

В более сложном случае результат случайного испытания сравнивается с потенциалом среды в точке, где находится агент.

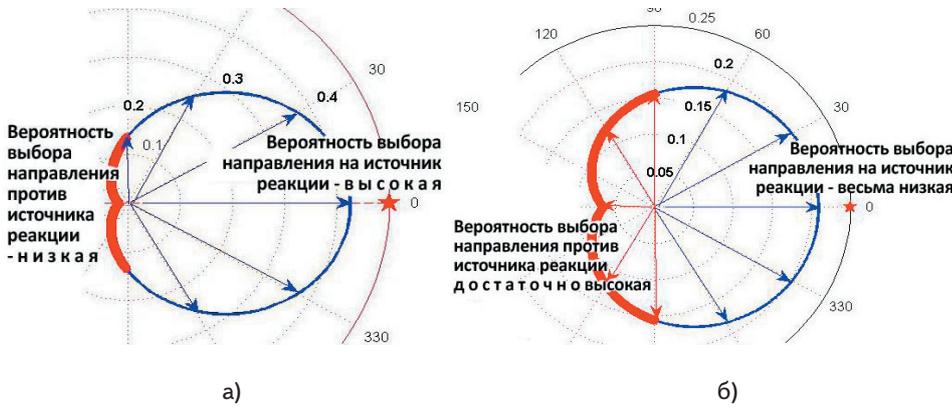


Рис. 6. Реакция на положительный источник, в зависимости от активности агента: а) активность высокая; б) активность низкая

Проще говоря, в этом случае вероятность выбора сценария бегства тем больше, чем ближе угроза. Хотя и противоположный сценарий **не исключается**. Потенциал рассчитывается:

$$p_+ = \left| \ln \frac{1}{l_+^2} \right| \quad p_- = \left| \ln \frac{1}{l_-^2} \right| \quad (5)$$

где  $p_+$ ,  $p_-$  - потенциалы источников внешних факторов - позитивного и отрицательного к императиву;  $l_+$ ,  $l_-$  - расстояния до центров активных областей среды.

Если  $p$ -script,  $n$ -script - положительный и отрицательный сценарии соответственно, то

```
fort = rand;//равномерное распределение, "монетка"
fort <= p/(p+p-)?p-script:n-script;//реакция "выбор"
```

**4.5. Рассматривавшиеся варианты моделей**

Целью эксперимента было показать, что модель случайных перемещений агента, главными компонентами которой являются двойственное восприятие факторов среды и разделение реакций на детерминированные и реакцию "выбор", позволяет, в статистически значимом количестве случаев, наблюдать такую последовательность перемещений (трек), которая формально соответствует императиву выживания.



Рис. 7. Конфигурация среды моделирования перемещений агента в системе координат модели

Наличие множества таких треков обеспечивает результативную селекцию агентов процедурами эволюционных алгоритмов.

Для корректности сравнения, все модели реализовывались в одинаково сконфигурированной среде (рис. 7), описываемой в декартовой СК модели с началом в  $[0, 0]$ . Относительное положение старта агента и источников воздействия было выбрано **наименее**

**благоприятное** - область деактивации загораживает область восстановления, а вследствие свойств потенциала и равенства силы источников, отрицательное воздействие на агента в области близкой к старту, существенно выше (хотя размеры области деактивации меньше, т.е. меньше и вероятность случайного попадания). В этих условиях простое управление по значению воспринимаемого потенциала приводит к однозначному результату - агент никогда не достигнет области восстановления.

**Планировались следующие варианты моделирования:**

**модель А** - вариант классического блуждания (для сравнения) - реакция "выбор" исключена, направления в СКА выбирается равномерно случайно т.е. потенциал источников не принимается во внимание, однако шаг перемещения (как и во всех моделях) зависит от функции активности - "возраста" агента;

**модель В** - вариант, "умного" агента, когда перемещение вычисляется, как единственно возможный сценарий, исходя из суперпозиции потенциалов источников, т.е. реакция "выбор" по прежнему отсутствует;

**модель С** (two-faced perception) - предусматривает случайный "выбор" между предлагаемыми сценариями (учитывающими потенциал источников в отдельности), который выполняется на основе простого бинарного равновероятного выбора  $P1/P2 = 50/50$ ;

**модель D** - в отличие от модели С, процедура сравнения более сложная - сравниваются не непосредственно вероятности  $P1$  и  $P2$ , а их отношения с потенциалом источников в точке выбора;

**модель E** - то же, что и модель D, но область, отрицательная к императиву, перемещается (случайным образом, не слишком удаляясь от своего начального положения центра).

Каждая из моделей реализовывалась 103 раз (увеличение повторений практически не приводит к существенным изменениям статистики). Так как поведение агентов независимое, то это соответствует эксперименту с выживанием популяции в 1000 особей. Получающиеся продолжительности существования агентов, формировали выборку, которая использовалась для частотного анализа модели. Нормативная продолжительность существования агента без взаимодействия со средой во всех моделях принималась 100 итераций. Одновременно, из реализа-

ций каждой модели отбиралась самая длительная, и для нее строился трек наиболее "успешного" агента.

**5. Фактические результаты моделирования**

Результаты реализации моделей - гистограммы "продолжительности жизни" агентов и треки самых длительных "существований" в модели, представлены в табл. 1 и на рис. 8-14.

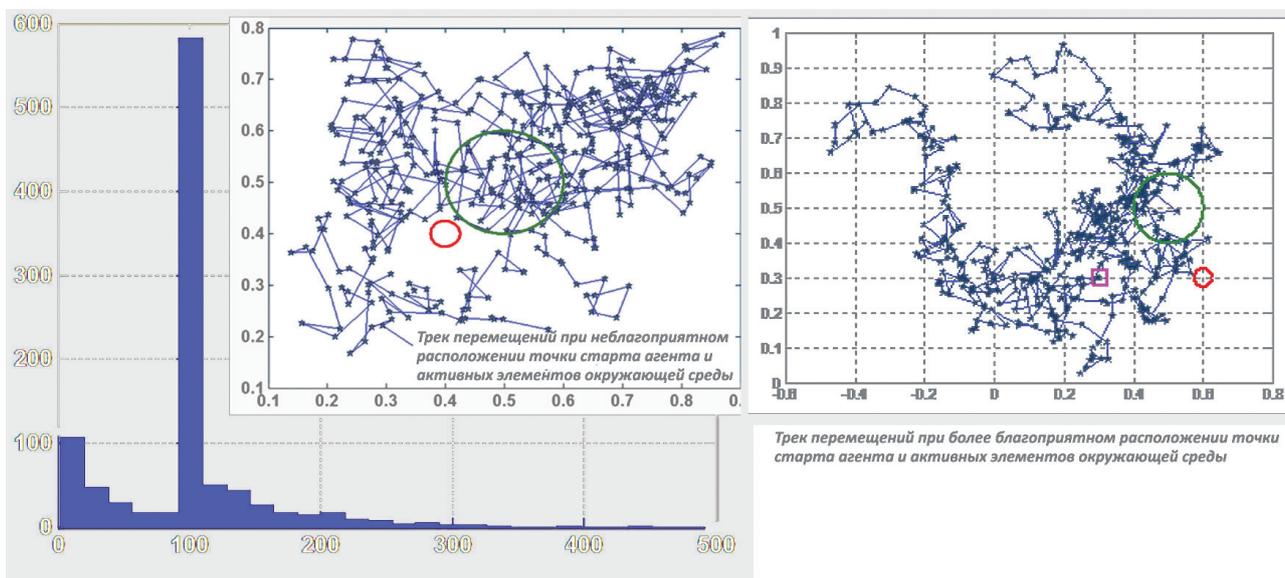
На всех рисунках: активные области указаны отрицательная — красным контуром, положительная - зеленым.

В серии дополнительных экспериментов условия реализации были **ухудшены**, для активных областей принималось  $\gamma^- = \gamma^+$  (табл. 2). Хотя проверка гипотез относительно вида распределения в настоящей

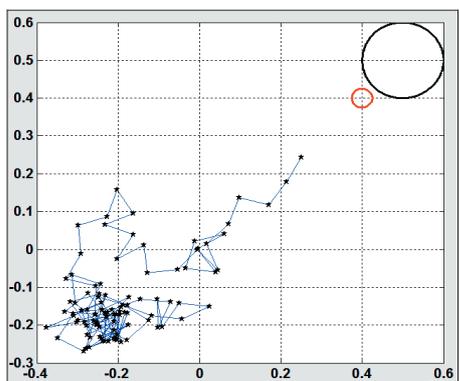
**Таблица 1**

**Результаты испытаний моделей**

№ рис	Мо-дель	Основные параметры распределения (среднее, станд. отклонение, медиана, мода)				Частотное распределение популяции агентов по продолжительности существования, t					t max
		Mean	Std	Med	Mod	t<100	t=100	100<t=200	t>200	t>400	
8	A	97.8	51.77	100	100	217	583	155	45	1	452
9	B	100	0	100	100	-	1000	0	0	0	100
10	C	163.9	138.4	122	100	268	139	299	294	59	942
11	D	229.9	227.3	137.5	100	245	146	215	394	181	1000

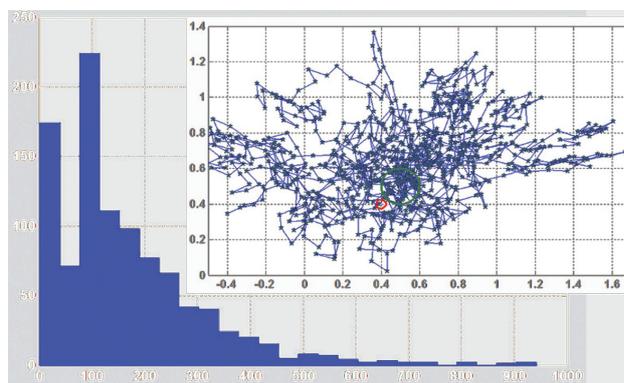


**Рис. 8. Модель А. Случайное (без выбора) перемещение "вслепую"**



**Рис. 9. Типичный трек перемещений агента в реализациях модели В. Длительность существования агента, определяется положением точки старта относительно активных областей среды. Гистограмма для этой модели -тривиальна и может быть опущена**

статье не рассматривается, для иллюстрации на рис. 14 показана аппроксимация результатов испытаний модели Е распределением Парето.



**Рис. 10. Модель С. Бинарный выбор с вероятностью 50/50**

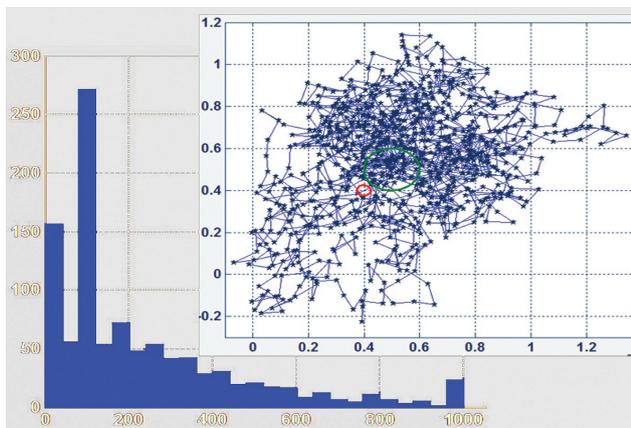


Рис. 11. Модель D. При отсутствии принципиального отличия от модели С наблюдается утяжеление "правого хвоста"

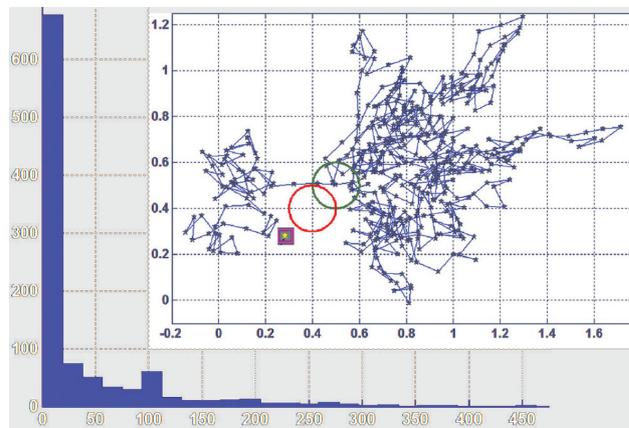


Рис. 13. Модель С (вариант 1)

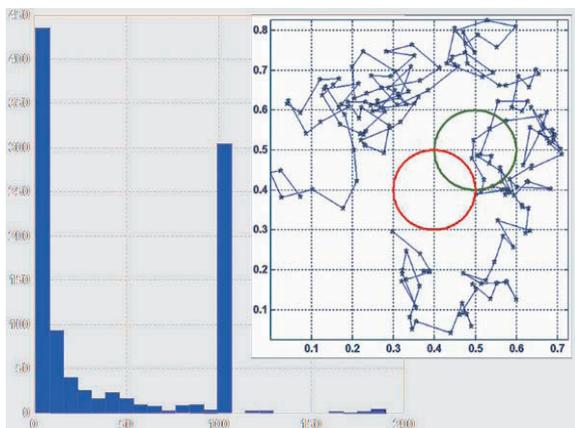


Рис. 12. Модель А при одинаковой площади активных областей

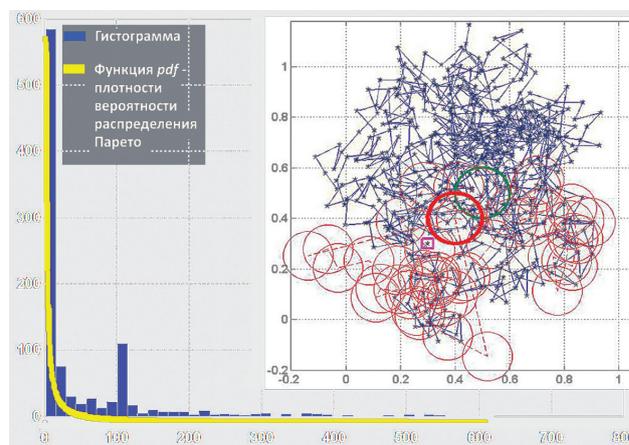


Рис. 14. Модель E. То же, что модель D, но область деактивации (выделено красным) движется по собственной случайной траектории, несинхронной с перемещениями агента

Таблица 2

Реализации моделей при  $r^- = r_+$

Модель	Основные параметры распределения (среднее, станд. отклонение, медиана, мода)				Частотное распределение популяции агентов по продолжительности существования, t					tmax
	Mean	Std	Med	Mod	t<100	t=100	100<t<=200	t>200	t>400	
A	41.11	44.50	13.5	100	686	304	10	0	0	190
С вар.1	53.5	59.4	5	1	865	46	60	29	1	463
С вар.2	31.67	56.06	6	1	866	56	56	22	1	520
E	54	97	9	2	769	1	162	68	18	708

**Выводы**

В настоящей работе было выполнено имитационное, методом Монте-Карло, моделирование "жизни" агентов (абстрактных сущностей) в некоей окружающей среде, с которой агент взаимодействует. В основе модели -императив выживания (аналог целевой функции), двойственное восприятие среды (two-faced perception) — отдельно всех положительных и отдельно всех отрицательных императиву факторов,

сценарии — детерминированные реакции агента на два противоположных образа среды, и завершающая, автономная стохастическая реакция "выбор", не связанная с предусловиями или содержанием сценариев.

1. Анализ результатов моделирования позволяет сделать вывод, что при реализации two-faced perception моделей, эмпирическое распределение популяции агентов по продолжительности "жизни" с высокой степенью надежности может быть **аппроксимирова-**

**но степенным распределением**, в частности распределением Парето, в отличие от случайных блужданий, имеющих в основе только детерминированные реакции.

2. Указанная модель позволяет, в статистически значимом числе случаев, наблюдать такую последовательность перемещений (трек), которая формально соответствует императиву выживания. Наличие множества таких треков **делает возможным селекцию агентов** в процессе реализации какого-либо эволюционного алгоритма.

3. Хотя в моделях использовались реакции простейших агентов на некие, опять же простейшие, абстрактные факторы, наблюдаемые результаты, гипотетически, можно экстраполировать на сколь угодно сложные ситуативные конструкции.

Если с этим согласиться, то известное утверждение: "Использование вероятности в модели вовсе **не означает**, что каждый индивидуум определяет свое поведение с помощью какого-то датчика случайных чисел. Оно означает только, что поведение группы выглядит так, **как будто бы** индивидуумы **действительно пользуются случайными датчиками** (выделено А. Е.)" [10, с.67], следует понимать именно так, что индивидуумы **действительно** пользуются-таки случайными числами!

В связи с этим, отметим, что алгоритмический, детерминированный механизм не способен в собственных границах получить никакую случайную последовательность чисел, для этого агент должен обратиться к явлениям, внешним, по отношению к этому механизму.

В имитационных моделях выше использовались псевдослучайные последовательности, но, при необходимости, генератором СЧ может быть почти, что угодно - оказания температурного датчика, колебания атмосферного давления, изменение освещенности в лаборатории, счетчик космических частиц и т. п. - ишь бы модель получала эти данные извне себя.

4. Адаптация агентов к факторам среды может считаться обучением. Но когда обучение завершено,

агент автоматически перестанет быть автономным, т.к. реакции становятся детерминированными.

В самом деле, обучение заключается в эволюционном отборе таких параметров функции, аппроксимирующей случайные перемещения агентов, которые обеспечивают наилучшее соответствие требованиям императива выживания в отношении тех или иных обстоятельств среды. Возможно, значения этих параметров будут стремиться к пределу и на каком-то этапе "эволюции" можно будет утверждать, что адаптация агента к данным обстоятельствам завершена. В этом случае реакция "выбор" фактически исчезает, уступая место обычным детерминированным реакциям - стереотипу, "инстинкту".

В физическом мире, флуктуации внешней среды необходимо активируют реакцию "выбор". А когда среда принципиально нестатична и/или достаточно сложна, то "выбор" и обучение являются перманентными, параллельными процессами, в сердцевине которых обнаруживается элементарное испытание Бернулли.

В конечном счете, "выбор" представляется единственным фактом автономности, ибо если заменить "выбор" анализом, **деланием выводов**, то эти процессы вновь можно разложить до системы детерминированных реакций, вновь заканчивающихся "выбором".

По-видимому, возвращаясь к начальному вопросу статьи, можно утверждать, что, во-первых, автономность, это базовое свойство активных элементов artificial life, а отнюдь, не нечто, возникающее в процессе усложнения системы. То есть, самый простой объект **может** иметь свойство автономности и наоборот; во-вторых, **объект со свойством автономности, в принципе, не может быть окончательно обучен.**

Разумным было бы и предположить, что существующие алгоритмические языки программирования, окажутся неэффективными для взаимодействия с истинно автономными объектами искусственной жизни (пока гипотетическими), и что, скорее всего, потребуется разработка языка, основанного на других базовых принципах.

## Литература

1. Autonomus Intersection Management. Project Description [Электронный ресурс] / AI Laboratory in the Department of Computer Sciences at the University of Texas at Austin. -Режим доступа : \WWW/ URL: <http://www.cs.utexas.edu/~aim/> -12.03.2012 г. -Загл. с экрана.
2. The Swarming Micro Air Vehicle Network (SMAVNET) Project [Электронный ресурс] / Laboratory of Intelligent Systems (LIS). -Режим доступа : \WWW/ URL: <http://lis.epfl.ch/smaavs> -12.03.2012 г. -Загл. с экрана.
3. Froese T. A quantum theory of biological autonomy at the macro-level [Электронный ресурс] / Tom Froese , Takashi Ikegami // Workshop on Artificial Autonomy ECAL 2011 : Twenty Years of Practice of Autonomous Systems. Book of Abstracts. August 8, 2011. Paris. -С. 29-31. -Режим доступа : \WWW/ URL : [http://autonomyworkshop.files.wordpress.com/2011/08/book\\_of\\_abstracts.pdf](http://autonomyworkshop.files.wordpress.com/2011/08/book_of_abstracts.pdf) -Загл. с экрана.
4. Advances in Artificial Life, ECAL 2011: Proceedings of the Eleventh European Conference on the Synthesis and Simulation of Living Systems, T. Lenaerts, M. Giacobini, H. Bersini, P. Bourguine, M. Dorigo and R. Doursat, eds. [Электронный ресурс] / MIT Press , 2011. -932 с. -Режим доступа : \WWW/ URL: [http://mitpress.mit.edu/books/full\\_pdfs/Advances\\_in\\_Artificial\\_Life\\_ECAL\\_2011.pdf](http://mitpress.mit.edu/books/full_pdfs/Advances_in_Artificial_Life_ECAL_2011.pdf).
5. Boden, Margaret A. Autonomy: What is it? [Электронный ресурс] / Margaret A. Boden // Workshop on Artificial Autonomy ECAL 2011 : Twenty Years of Practice of Autonomous Systems. Book of Abstracts. August 8, 2011. Paris. -С. 29-31. -Режим доступа : \WWW/ URL : [http://autonomyworkshop.files.wordpress.com/2011/08/book\\_of\\_abstracts.pdf](http://autonomyworkshop.files.wordpress.com/2011/08/book_of_abstracts.pdf) -Загл. с экрана.

6. Афонин, П. В. Гибридные системы интеллектуального имитационного моделирования на основе бионических подходов и многоагентных моделей [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.17 / П. В. Афонин. -М., 2005. — 209 с.
7. Крыжановский М. В. Метод построения систем "автономного адаптивного управления" [Текст] / М. В. Крыжановский, Б. М. Магомедов // Искусственный интеллект. -2005. -№4 -С. 342-353.
8. Жданов, А. А. Автономный искусственный интеллект [Текст] / А. А. Жданов. -М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. -359 с.
9. Бурцев, М. С. Исследование новых типов самоорганизации и возникновения поведенческих стратегий [Текст] : дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.18 / М. С. Бурцев. -М., 2005. -120 с.
10. Айвазян С.А. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных. Справочное пособие. [Текст] / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Ф. Мешалкин -М.: Финансы и статистика, 1983 – 471 с.

*Розглянуті практичні особливості застосування методів оптимізації з урахуванням сукупності показників якості для вибору оптимальних проектних варіантів на номінальному етапі планування мереж мобільного зв'язку третього покоління*

*Ключові слова: СММЗ, 3G, планування, оптимізація, показник якості*

*Рассмотрены практические особенности применения методов оптимизации с учетом совокупности показателей качества для выбора оптимальных проектных вариантов на номинальном этапе планирования сетей мобильной связи третьего поколения*

*Ключевые слова: ССМС, 3G, планирование, оптимизация, показатель качества*

*The practical features of optimization methods application are considered with taking into account of the sum total of quality parameters for selection of the optimal project variants on the nominal planning stage of the third generation mobile connection networks*

*Keywords: ССМС, 3G, planning, optimization, quality parameter*

УДК 381.324:621.394.79

# ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ НА НОМИНАЛЬНОМ ЭТАПЕ ПЛАНИРОВАНИЯ

**Д. В. Чеботарёва**

Аспирант, ассистент

Кафедра «Сети связи»

Харьковский национальный университет

радиоэлектроники

пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

Контактный тел.: 063-380-02-63

E-mail: dasha-che@ukr.net

## 1. Введение

В настоящее время всё большее распространение в мире получают сети мобильной связи третьего поколения (3G), функционирующие на основе множественного абонентского доступа с кодовым разделением каналов.

Сети поколения 3G отличаются высокой скоростью передачи данных, а также широким и более высоким качеством предоставления услуг. Поэтому оптимальное планирование таких сетей мобильной связи является актуальной задачей.

Процесс планирования сотовой сети мобильной связи 3G, также как и сетей второго поколения, состоит из двух этапов:

- номинальный этап (предварительное планирование);
- этап детального планирования.

Номинальный этап планирования сети связан с выбором стратегии [1] - заданием ключевых параметров сети (таких как покрытие, емкость и др.) Во время предварительного планирования оцениваются компоновку сети и предполагаемое размещение элементов сети радиодоступа; количество базовых станций, необходимое для выбранного покрытия. Также оцениваются возможности базовых станций, их конфигурация и другие элементы сети с учетом требований оператора.

Как правило, на номинальном этапе планирования используют гипотетические данные о параметрах и инфраструктуре сети, которые уточняются на следующем этапе планирования.

На этапе детального планирования осуществляется [1]:

- планирование конфигурации сети (определение типа и размещения базовых станций, типа и разме-