



УДК 004.89

В.Е. СНИТЮК

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ СЛОЖНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ И ИСКУССТВЕННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТОВОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Abstract. In the paper the problem of simulate of evolution of the biological and complex technical systems is considered. Formalization of basic constituents of modeling algorithm is executed, the elements of functional loading for subjects of simulation are offered. The features of “instinctive” and “intellectual” evolution are indicated. The intellectuality of evolution subjects is realized by means teaching and using the neural networks as a tool of memory and making decisions.

Key words: artificial life, evolution modeling, neural net identification, enterprise.

Анотація. У статті розглянуто задачу моделювання еволюції біологічних і складних технічних систем. Виконана формалізація основних складових алгоритму моделювання, запропоновані елементи функціональної навантаженості суб'єктів моделювання. Вказані особливості «інстинктивної» та «інтелектуальної» еволюції. Інтелектуальність суб'єктів еволюції реалізована завдяки навчанню і використанню нейромереж як інструментарію для реалізації функції пам'яті і прийняття рішень.

Ключові слова: штучне життя, моделювання еволюції, нейромережна ідентифікація, підприємство.

Аннотация. В статье рассмотрена задача моделирования эволюции биологических и сложных технических систем. Выполнена формализация основных составляющих алгоритма моделирования, предложены элементы функциональной нагруженности субъектов моделирования. Указаны особенности “инстинктивной” и “интеллектуальной” эволюции. Интеллектуальность субъектов эволюции реализована посредством обучения и использования нейросетей как инструментария для реализации функции памяти и принятия решений.

Ключевые слова: искусственная жизнь, моделирование эволюции, нейросетевая идентификация, предприятие.

1. Введение

Современные тенденции в процессах создания искусственного интеллекта направлены на использование механизмов существования и функционирования живой природы. Элементы одной из релевантных концепций рассмотрим в настоящей статье.

Человечество издавна интересуется вопросы познания механизмов существования природы. Почему природные системы функционируют эффективно и разумно? Какие алгоритмы составляют основу их существования? Существуют ли отображения, позволяющие перенести идеи, принципы, модели и методы, свойственные живой природе, в искусственную среду обитания человека? Исследования последних десятилетий показывают, что возрастает научный интерес к решению указанных проблем. Мотивацией этого являются значительные результаты в области генетики, растущая роль информации, уменьшение объемов традиционных источников энергии и экологические проблемы.

В статье [1] выполнен анализ научных работ в двух направлениях: в первом случае исследуются закономерности и особенности биологической эволюции [1, 2], во втором – прикладного эволюционного моделирования [3–6].

Для биологической эволюции остаются открытыми вопросы приобретения знаний и адаптации к условиям внешней среды, а также организации процесса запоминания. Значительная научная проблема – использование природных механизмов для оптимизации функционирования слож-

ных технических систем, которые имеют много общих свойств с природными системами, в частности, соревновательный характер существования искусственных систем и окружающей среды.

Целью настоящей работы является разработка инициальных механизмов:

- моделирования эволюции популяции индивидов со стохастическим инстинктивным поведением;
- моделирования эволюции с обучением индивидов;
- переноса принципов эволюции на процессы существования технических систем.

2. Инициализация жизненного пространства и постановка задачи

Пусть есть некоторая прямоугольная область Ω , называемая жизненным пространством и имеющая клеточную прямоугольную структуру (рис. 1). Количество ячеек равно k . В области Ω существуют элементы пяти типов:

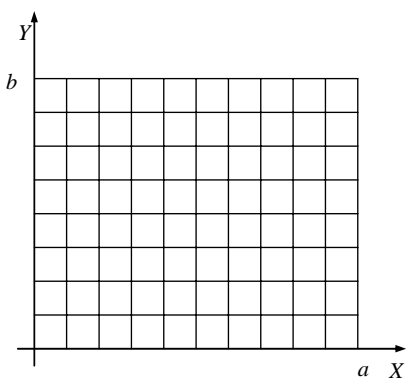


Рис. 1. Структура жизненного пространства

1. $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{n_1}\}$ – множество неподвижных элементов, обладающих способностью к самовоспроизводству.

2. $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_{n_2}\}$ – множество неподвижных элементов, являющихся источником энергии для некоторых других элементов и обладающих способностью к самовоспроизводству.

3. $R = \{r_1, r_2, \dots, r_{n_3}\}$ – множество подвижных элементов, имеющих такие свойства: для них элементы типа Q являются источником энергии; они сами являются источником энергии для элементов некоторых других типов; обладают способностью к воспроизводству.

4. $W = \{w_1, w_2, \dots, w_{n_4}\}$ – множество подвижных элементов, их свойства: источником энергии являются элементы из множества R ; они сами не являются источниками энергии; имеют способность к воспроизводству.

5. $V = \{v_1, v_2, \dots, v_{n_5}\}$ – множество индивидов, имеющих такие свойства: источники энергии для них – элементы множеств Q и R ; они сами являются источниками энергии для W ; элементы множества R осуществляют их пассивную защиту; обладают способностью к воспроизводству.

Такое жизненное пространство и его элементы составляют некоторое подобие игры “Жизнь” Джона Конвея [7]. Инициализацию Ω выполним посредством следующих шагов:

- необходимо указать значения $\{i_1, i_2, i_3, i_4, i_5\}$;
- случайным образом с использованием равномерного распределения определить местоположение на Ω элементов из множеств P, Q, R, W, V ;
- указать значение временной энергии E^t , являющейся атрибутом каждого элемента;

– определить максимальное значение энергии $E_{p_{\max}}^t, E_{q_{\max}}^t, E_{r_{\max}}^t, E_{w_{\max}}^t, E_{v_{\max}}^t$ для элементов каждого множества;

– достижение вышеуказанных значений элементом соответствующего типа означает его ликвидацию;

– указать значение жизненной энергии E^l , являющейся атрибутом R, W и V ;

– достижение нулевого значения жизненной энергии считать ликвидацией элемента;

– достижение максимального значения жизненной энергии свидетельствует о невозможности его дальнейшего возрастания.

Таким образом, в начальный момент времени ($t = 0$) элементы имеют следующие атрибуты:

1. $p_i = (\text{номер клетки по горизонтали } (x_{p_i}), \text{ номер клетки по вертикали } (y_{p_i}), \text{ значение временной энергии } (e_{p_i}^t)), i = \overline{1, n_1}$.

2. $q_i = (x_{q_i}, y_{q_i}, e_{q_i}^t, \text{ значение жизненной энергии } e_{q_i}^l), i = \overline{1, n_2}$.

3. $r_i = (x_{r_i}, y_{r_i}, e_{r_i}^t, e_{r_i}^l), i = \overline{1, n_3}$.

4. $w_i = (x_{w_i}, y_{w_i}, e_{w_i}^t, e_{w_i}^l), i = \overline{1, n_4}$.

5. $v_i = (x_{v_i}, y_{v_i}, e_{v_i}^t, e_{v_i}^l), i = \overline{1, n_5}$.

Жизненное пространство также имеет свои атрибуты. В частности, это параметры, указывающие на:

– количество клеток по горизонтали и вертикали (n_x и n_y);

– максимальное значение временной энергии для всех типов элементов $E_{p_{\max}}^t, E_{q_{\max}}^t, E_{r_{\max}}^t, E_{w_{\max}}^t, E_{v_{\max}}^t$;

– максимальное значение жизненной энергии для элементов из множеств R, W и V – $E_{r_{\max}}^l, E_{w_{\max}}^l, E_{v_{\max}}^l$.

Предположим, что элементы множеств R, W и V имеют зрение и обладают способностью к передвижению. Для упрощения моделирования будем считать, что передвижение осуществляется в моменты времени $t = 0 = t_0 < t_1 < t_2 < \dots < t_{\max}$. При этом каждый элемент множеств R, W и V может перейти в одну из 4-х соседних клеток или остаться на месте.

Задача моделирования заключается в исследовании динамики количественного и качественного состава множеств P, Q, R, W, V и его значения в момент времени t_{\max} . Имеет место важная подзадача: определение динамики элементов жизненной среды Ω в зависимости от значений ее параметров.

3. Моделирование эволюции системы разнотипных элементов в ограниченном жизненном пространстве

Рассмотрим две ситуации. В первой из них элементы множеств R, W и V не имеют памяти, сознания и интеллекта (под интеллектом будем понимать способность к анализу нетривиальных ситуаций и принятию решений). Есть только два природных инстинкта – голода и воспроизводства. После начальной инициализации перемещения осуществляются одновременно элементами из множеств R, W и V , элементы из множеств P и Q – неподвижны. Алгоритмические особенности моделирования заключаются в следующем:

- передвижение элементов R, W и V осуществляется в одну из четырех случайным образом выбранных ячеек либо элемент остается в своей ячейке;

- при попадании элементов из R или V на клетку с элементом множества Q этот элемент уничтожается, а значение жизненной энергии элемента из R или V увеличивается на значение, пропорциональное значению жизненной энергии элемента q_i ($\Delta E_{q_i}^l$);

- элементы из R и W не могут попасть в ячейку, в которой находится элемент из P ;

- элемент v_i может оказаться в ячейке, в которой уже находится p_j , если $E_{v_i}^l$ больше некоторого значения Δp ;

- при попадании на одну клетку элементов из W или V и элемента из R последний уничтожается, а жизненная энергия элементов из W или V увеличивается на значение, пропорциональное значению жизненной энергии элемента r_i ($\Delta E_{r_i}^l$);

- если элементы из W или V оказываются в одной ячейке, то возможны два случая: в первом, если значение жизненной энергии $v_i \in V$ меньше, чем значение жизненной энергии $w_j \in W$ ($e_{v_i}^l < e_{w_j}^l$), то элемент v_i уничтожается, а значение жизненной энергии $e_{w_j}^l$ увеличивается на $\Delta e_{v_i}^l$; во втором случае ($e_{v_i}^l > e_{w_j}^l$) элемент w_j уничтожается, а значение жизненной энергии $e_{v_i}^l$ остается без изменений;

- воспроизводство элементов из P и Q осуществляется при выполнении двух условий: во-первых, должно выполняться неравенство $e_{p_i}^t > e_p^{t_f}$ ($e_{q_i}^t > e_q^{t_f}$) и, во-вторых, только через заданное количество тактов Δt_p (Δt_q);

- размножение элементов из множеств R, W и V осуществляется при выполнении таких условий: $\min\{e_{r_i}^l, e_{r_j}^l\} > e_r^{l_f}$, где $e_r^{l_f}$ – минимальное значение энергии, позволяющее размножение, аналогично $\min\{e_{w_i}^l, e_{w_j}^l\} > e_w^{l_f}$ и $\min\{e_{v_i}^l, e_{v_j}^l\} > e_v^{l_f}$;

- временная энергия элементов для размножения является ограниченной:

$e_{r_i}^t$ и $e_{r_j}^t \in [e_r^{t_{\min}}, e_r^{t_{\max}}]$, $e_{w_i}^t$ и $e_{w_j}^t \in [e_w^{t_{\min}}, e_w^{t_{\max}}]$, $e_{v_i}^t$ и $e_{v_j}^t \in [e_v^{t_{\min}}, e_v^{t_{\max}}]$, где отрезки определяют значения “репродуктивной” жизненной энергии;

– промежуток времени между воспроизведением для каждого элемента должен превышать значения констант $\Delta t_r, \Delta t_w, \Delta t_v$ соответственно;

– количество потомков у элементов из множеств R, W и V являются параметрами процесса моделирования.

Заметим также, что воспроизводство потомков осуществляется двумя способами:

1. Для элементов из множеств P и Q размножение осуществляется путем воспроизводства одного потомка с минимальным значением временной энергии $e_{p_{\min}}^t = 0$ и $e_{q_{\min}}^t = 0$. При этом значение временной энергии элемента-родителя остается неизменным.

2. Размножение элементов из множеств R, W и V может быть осуществлено только при выполнении таких условий:

- один элемент-потомок появляется у двух элементов-родителей;
- родители находятся в одной ячейке;
- значение его временной энергии в этот момент времени равно нулю;
- значение его жизненной энергии является некоторой константой $e^l \in [e_{\min}^l, e_{\max}^l]$;
- значение жизненной энергии родителей уменьшается на некоторую величину Δe^l ;
- после репродукции родители и потомок переходят случайным образом в три соседние ячейки.

4. Моделирование эволюции с элементами искусственного интеллекта и нейросетевой идентификации

Результаты процесса моделирования, условия которого описаны выше, не представляют самостоятельной научной ценности, однако несут дополнительную информационную нагрузку, поскольку позволяют указать на значения параметров, соответствующие тем или иным вариантам эволюции системы.

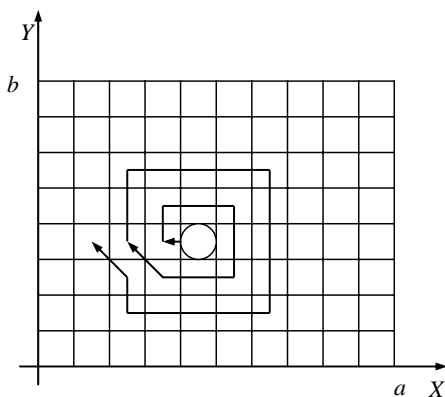


Рис. 2. Вариант нумерации «всквозную»

Для второй ситуации характерна некоторая интеллектуализация поведения элементов из множеств R, W и V , а также наличие у них памяти. Предположим, что каждый элемент обладает “минимозгом”, имеющим структуру искусственной нейронной сети. Количество входов такой нейросети определяется “глубиной” зрения, которая является обязательным атрибутом указанных множеств. Так, если “глубина” зрения равна единице, то элемент будет видеть, что находится в соседних восьми ячейках. Если “глубина” зрения равна двум, то элемент будет видеть уже 24 ячейки (рис. 2). Ячейки жизненного пространства можно

перенумеровать “всквозную” в направлении, указанном на рис. 2, но если структура жизненного пространства далека от квадратной, то будут возникать проблемы с нумерацией.

На наш взгляд, лучшим является способ, при котором жизненное пространство имеет координатную привязку и каждая клетка имеет две координаты: первая – ее номер по горизонтали, вторая – по вертикали (рис. 1).

Таким образом, количество входов нейросети h зависит от “глубины” зрения. В общем случае оно равно пятикратному количеству близлежащих клеток и включает в себя координату клетки x , координату y , тип элемента, который в ней находится, значение его жизненной и временной энергии. Нейросеть имеет один выход, значение которого указывает направление движения в следующий момент времени.



Рис. 3. Алгоритм эволюции

Если проводить исследование эволюции такой системы и предположить, что элементы из R и W имеют память, инстинкты голода, самовоспроизводства и самосохранения, а элементы из V к тому же еще и интеллект, то нейросеть необходимо обучить отдельно, формируя гипотетические примеры, и осуществлять моделирование уже с обученными нейросетями.

Предположим, что система в начальный момент времени обладает “нулевой” информацией, т.е. выполнена инициализация нейросети и элементы обладают зрением. Тогда обучение нейронной сети выполняется исходя из “собственного опыта” и “инстинктивного анализа” результатов видения. Заметим, что эволюция системы происходит по алгоритму, представленному на рис. 3. В нейросети добавим еще один вход, который будет указывать на позитивное (увеличение энергии) или негативное (уменьшение энергии или ликвидация) влияние соседнего элемента на обучаемый в соответствии с шагом обучения нейросетей алгоритма (рис. 3).

Таким образом, будет обеспечено движение элементов в направлении максимизации своей жизненной энергии и собственной безопасности. В конечном итоге необходимо ответить на вопросы: как получить равновесное состояние системы; какие параметры ему соответствуют; какие соотношения должны быть между количеством индивидов из разных множеств; к каким следствиям приведет эволюция системы?

Таким образом, будет обеспечено движение элементов в направлении максимизации своей жизненной энергии и собственной безопасности. В конечном итоге необходимо ответить на вопросы: как получить равновесное состояние системы; какие параметры ему соответствуют; какие соотношения должны быть между количеством индивидов из разных множеств; к каким следствиям приведет эволюция системы?

5. Интерпретация базовых элементов для моделирования эволюции сложных технических систем

Элементы биологической эволюции, рассмотренные в пп. 1–3, можно интерпретировать так: P – деревья, Q – капуста, R – зайцы, W – волки и V – люди. Все свойства, которые имеют элементы указанных множеств, присущи и соответствующим биологическим элементам. Каким образом

могло бы быть построено соответствие биологических и искусственных систем? Рассмотрим одну из интерпретаций.

Предположим, что элементы множеств W и V – современные конкурирующие предприятия. Их существование определяется такими аспектами (в которых без труда можно видеть описанные выше инстинкты биологических систем):

– если мощность предприятий примерно эквивалентна, то определяющим свойством поведения каждого из них является индифферентность к поведению другого или обоюдное желание к усилению своих позиций за счет объединения;

– если одно из предприятий значительно мощнее другого и они выпускают однотипную продукцию, то при конкуренции за рынки сбыта одно из предприятий становится банкротом или перепрофилируется на выпуск другой продукции;

– при насыщении рынка сбыта или невозможности дальнейшего развития происходят диверсификация ассортимента продукции и создание дочерних предприятий.

Элементами множества P являются некоторые природные образования, которые не служат источниками ресурсов или энергии и играют роль скорее экологических факторов. Их жизненный цикл является ограниченным, но в то же время они способны к самовоспроизводству.

Множество Q содержит природные ресурсы, превращающиеся при переработке в материальные и энергетические источники, которые, в свою очередь, вместе с рабочей силой (кадровым потенциалом) составляют множество R .

Таким образом, выполнены все предпосылки моделирования эволюции искусственной среды обитания человека. Очевидно, что такое представление является далеко не полным, но, как известно, любая сложная работающая система является результатом работающих простых систем, и такое представление является открытым для внесения изменений и дополнений. В то же время заметим, что адекватное моделирование возможно только при наличии оптимизированных параметров алгоритма эволюции. Для их определения можно использовать прикладные эволюционные алгоритмы, в частности, генетический алгоритм или эволюционные стратегии.

6. Выводы

В статье мы не стремились отразить все особенности процесса моделирования эволюции и не приводили результаты такого моделирования. В некоторых вариантах моделирование эволюции для заданных форм жизни уже выполнялось, и результаты позволяют делать определенные выводы. Мы же пытались показать, как происходит эволюция системы, когда знания приобретаются в результате опыта. Определенные результаты моделирования в предложенном ракурсе уже получены, однако их интерпретация еще впереди, поскольку значительную роль играют правильный или адекватный подбор и определение параметров эволюции.

Более сложный вариант моделирования соответствует процессу эволюции искусственной жизни, ее промышленной интерпретации и промышленному применению. Заметим, что такая научная проблема является особенно актуальной, учитывая гигантский скачок в развитии технологий в последнем столетии и как-то “внезапно возникшую” угрозу истощения природных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Редько В.Г. Эволюционная биокibernетика / В.Г. Редько // Вестник РАН. – 1997. – Т. 67, № 9. – С. 800 – 803.
2. Кауфман С. Антихаос и приспособление / С. Кауфман // В мире науки. – 1991. – № 10. – С. 58 – 65.
3. Букатова И.Л. Эвоинформатика: Теория и практика эволюционного моделирования / Букатова И.Л., Михасев Ю.И., Шаров А.М. – М.: Наука, 1991. – 205 с.
4. Фогель Л. Искусственный интеллект и эволюционное моделирование / Фогель Л., Оуенс А., Уолш М. – М.: Мир, 1969. – 230 с.
5. Holland J.H. Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control and artificial intelligence / Holland J.H. – London: Bradford book edition, 1994. – 211 p.
6. Rechenberg I. Evolutionsstrategie – Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution / Rechenberg I. – Stuttgart-Bad Gannstatt: Frommann-Holzboog, 1973. – 169 p.
7. Gardner M. The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life" / M. Gardner // Scientific American. – 1970. – Vol. 223. – P. 120 – 123.

Стаття надійшла до редакції 16.10.2009