

ЭВОЛЮЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СИСТЕМ

И.Б. ТРЕГУБЕНКО

Предложена концепция эволюционного обучения искусственных систем. Сформулировано новое понимание дискретности процесса обучения с учетом принципа ограниченности жизненного цикла искусственной системы. Предложена двухмодульная концепция моделирования искусственных систем, состоящих из двух взаимосвязанных модулей, имеющих различные свойства и жизненный цикл. Введено новое понятие V-System. Проведена формализация процесса эволюционного обучения на базе ресурсного подхода. Сформулированы принципы, позволяющие технологически упростить процесс обучения искусственных систем, понизить сложность взаимосвязей и действующих факторов взаимодействия пары «искусственная система — среда обучения».

ВВЕДЕНИЕ

Современные эволюционные методы в области искусственного интеллекта традиционно отталкиваются от физических законов и методов организации известной вселенной. Ученые концентрируют усилия на изучении физических составляющих материи, их взаимосвязях и превращениях. При моделировании и воспроизведении процессов эволюции, в самых разнообразных аспектах, в частности на базе когнитивного подхода [1, 2], исследователи в своих работах базируются на изучении и моделировании реальных физических и физиологических процессах проходящих в естественных системах. Процессы мышления, применительно к интеллектуальным системам рассматриваются как возможность использования знаний и выводов, базирующихся на этих знаниях, для формирования эффективного, рационального поведения системы [3]. При этом, процессы анализа, систематизации и хранения информации не отделяются от физической платформы системы. Существует много теорий и методов воспроизведения, протекающих в естественных системах процессов мышления [4–6], например моделирование нейронов и нейронных систем [7–10], однако задача построения полноценного искусственного разума еще не решена.

При построении искусственных систем с использованием средств интеллектуализации наиболее существенными и проблематичными являются процессы обучения интеллектуальных составляющих, в частности модулей управления [11]. Для проектирования таких подсистем могут быть использованы технологии интеллектуальных агентов, а для их адаптации к окружающей среде, наиболее эффективным и надежным представляется метод обучения с подкреплением [12], построенный на базе теории обучения

с подкреплением [13], которая в свою очередь может рассматриваться как развитие теории адаптивного поведения. Однако возникают закономерные трудности, в связи со сложностью и многокритериальностью задачи обучения.

Цель работы — предложить новую концепцию и технологию эволюционного обучения искусственных систем, сформулировать принципы, позволяющие технологически упростить процесс обучения искусственных систем, понизить сложность взаимосвязей и действующих факторов взаимодействия пары «искусственная система — среда обучения» и построить соответствующую модель искусственной системы.

ЭВОЛЮЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СИСТЕМ

При рассмотрении вопроса намеренно опускаем понятие «интеллектуальный», применительно к системам вообще и к искусственным системам в частности. Будем рассматривать любую систему как интеллектуальную имея в виду, что граничным состоянием из возможных (например, начальные или завершающие жизненный цикл системы) является полное отсутствие интеллекта. Кроме того, любую систему будем рассматривать независимо от происхождения имея в виду, что естественные системы (ЕС) отличаются от искусственных систем (ИС) только по признаку идентификации автора (творца).

Если посмотреть внимательно на ЕС, особенно системы в эволюционном развитии, можно отметить несколько общих принципов: развитие есть там, где есть разделение и возникла некая напряженность от незавершенности (неполноты); эволюционируют системы, не обладающие свойствами неделимости, самодостаточности, функциональной полноты. Таким образом, имеем два наиважнейших постулата:

- эволюционное развитие возможно только во взаимодействии;
- взаимодействие возможно только при неполной форме системы.

Далее, при внимательном рассмотрении мира, по крайней мере с точки зрения человеческого восприятия, можно увидеть, что у любого свойства есть своя противоположность, т.е. можно предположить, что мир имеет в основе бинарный принцип организации, вопрос только в уровне детализации. Например, не вызовет споров утверждение, что операционная среда Windows, по своей сути — набор бинарных кодов. Причем, практически всегда мир можно свести к рассмотрению некой бинарной или, если хотите, парной системы компонентов. Компонентами при этом могут быть любые характеристики, факты, понятия, свойства, частицы и т.д. Эти факты наталкивают на мысль, что для построения искусственной эволюции также возможно применить бинарный принцип с алгоритмическими подходами. В этом случае открывается интереснейшее и огромное поле для исследований. Но для начала будем развивать один аспект и в качестве основы искусственной эволюции примем бинарную модель любой интеллектуальной системы, а именно — рассматривать любую интеллектуальную систему как *БИ-систему (B-System)* [14], в составе которой выделяем носитель и интеллектуальную составляющую.

Рассмотрим классическую идею эволюционного развития по спирали (рис. 1, а). В нашем понимании мир изменяется от простого к сложному,

и именно это отображает эволюционная спираль, т.е. эволюционная спираль наиболее полно отражает усложнение структуры мира, однако не является однозначным отображением направления (технологий) и поступательности развития (поступательности эволюции индивида, отдельной интеллектуальной сущности). Развитие искусственной системы — процесс нелинейный. При развитии системы она может продвигаться шаг за шагом по эволюционной спирали (рис. 1, а), но может и возвращаться к определенному состоянию для повторного обучения. Если при этом сохранить интеллектуальную составляющую, то получим практически бесконечный итерационный процесс развития искусственного интеллекта.

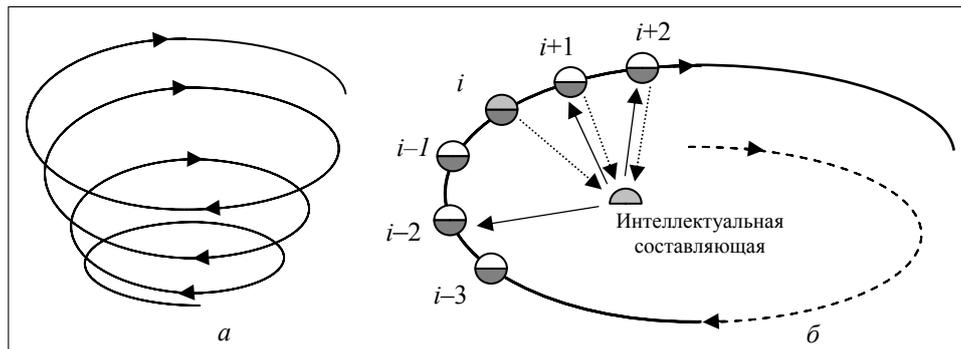


Рис. 1. Эволюционное развитие ИС: а) эволюционная спираль; б) механизм эволюционного развития искусственных систем

Далее следует пояснить наше понимание мира как дискретной структуры. Вопрос непрерывности и дискретности, представляется относительным и субъективным то есть логично предположить, что определение процесса как непрерывного или как дискретного условно и зависит от свойств наблюдателя. Еще одним важным фактором, влияющим на процесс развития ИС, является понимание агрегативности приобретаемых в процессе обучения знаний и навыков. Таким образом, в качестве основных свойств эволюции ИС можно выделить: дискретность, агрегативность, нелинейность.

Рассмотрим более подробно процесс развития ИС. Будем считать, что развитие ИС возможно только как следствие обучения или самообучения. Наиболее значимая проблема организации эффективного и результативного обучения состоит в сложности корректной постановки задачи обучения.

Существует явная корреляция между временем, необходимым на обучение системы для достижения ее устойчивого состояния и самодостаточности функционирования и сложностью системы. Обучение более сложных систем занимает больше времени, чем обучение более простых систем. Кроме этого на время обучения также влияет прикладная область, то есть для выполнения каких именно функций обучаем ИС. Нельзя рассматривать обучение вне контекста к функциям, которые должна выполнять обучаемая система. Задачу обучения можем рассматривать исключительно в контексте ограничений по определенному набору функций, который должен уметь выполнять обучаемый.

Если принять во внимание, что ставится не абстрактная задача обучения без ограничений, то возникает проблема формулировки цели обучения и построения системы критериев, подтверждающих адекватность выполненного процесса обучения. Кроме того, необходимо учитывать, что так называемые самообучающиеся системы бессмысленны и могут стать опасны-

ми в случае бесконтрольности процесса обучения со стороны внешней среды и/или субъекта обучения.

СУБЪЕКТЫ ЭВОЛЮЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СИСТЕМ

В процессе обучения ИС систем можно выделить три составляющих (рис. 2): объект, субъект и среда обучения. Под объектом обучения понимаем ИС, которая должна выполнить процесс обучения, т.е. освоить определенный объем знаний и приобрести соответствующий набор навыков. Под субъектом понимаем автора системы. Без понимания участия и функций составляющей (автор обучающейся ИС), невозможно поставить цели обучения и собственно инициировать сам процесс. Безусловно, автор также может иметь сложную структуру, быть отдельным независимым индивидом или объединением, системой, причем не существенно какой именно — ИС или ЕС.

Третья составляющая рассматриваемого процесса — среда обучения. В зависимости от соотношения автора и среды обучения, можно выделить три принципиально различных типа организации процессов обучения ИС (рис. 2). Вариант *а* на рис. 2 демонстрирует ситуацию, когда среда обучения отделена от автора. Вариант *б* на рис. 2 демонстрирует ситуацию, когда среда обучения содержит в себе автора либо полностью, либо частично. Вариант *в* на рис. 2 представляет ситуацию, когда автор идентичен среде обучения, т.е. по сути, среда обучения есть автором. Последний вариант соответствует процессам самообучения ИС.

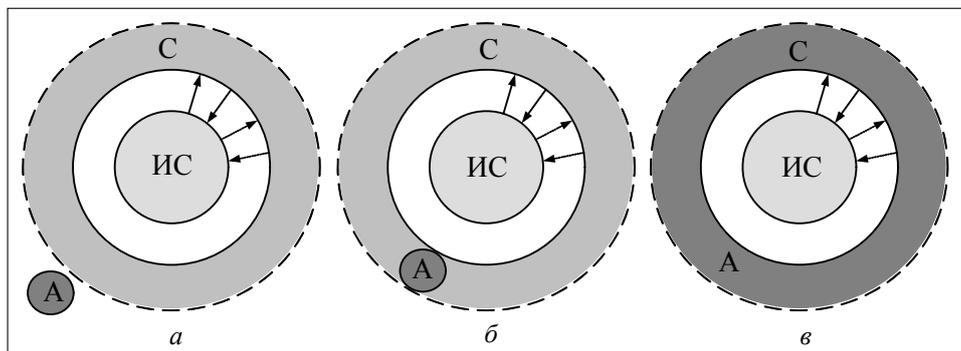


Рис. 2. Типы организации процессов обучения ИС: *а* — внешний независимый автор; *б* — автор, как часть среды обучения; *в* — автор идентичен среде обучения

В области информационных технологий и их программных реализаций видно, что технологические детали организации платформы могут быть различны для одной и той же информационной системы. Очевидным есть факт того что, один и тот же алгоритм может существовать в различных записях, синтаксически и технологически различных. При этом, однако, алгоритм, по сути, не меняется. По аналогии, отделим понятие интеллекта от конкретной физической реализации системы, которая проходит процесс обучения.

КОНЦЕПЦИЯ ЭВОЛЮЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Рассмотрим более подробно идею эволюционного обучения ИС. Современные методы обучения интеллектуальных систем разнообразны, однако обычно привязаны к физическим характеристикам, структуре и свойствам

объекта обучения и окружающей его среды. Абстрагируемся от технической платформы и физической реализации конкретной ИС. Для упрощения задачи, на первом этапе, отбрасываем внутреннюю структуру, конкретные конструкционные решения и ставим задачу представить и описать технологию обучения ИС на уровне абстракции.

Сформулируем концепцию эволюционного обучения ИС [15]. Данная концепция базируется на следующих принципах:

- ограниченность процесса обучения;
- конечность жизненного цикла;
- итерационно-иерархическая структуризация процесса обучения;
- наличие механизма «Перезагрузка»;
- специфика жизненного цикла эволюционной системы;
- модульность системы.

ОГРАНИЧЕННОСТЬ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ

За ограниченный жизненный цикл системы она может обучиться ограниченному набору функций и приобрести конечный набор знаний.

Если посмотреть на организацию естественного мира нам известного, то можно утверждать, что универсальной интеллектуальной системы не существует. Каждая из интеллектуальных систем находится на определенном уровне сознания и способна выполнять ограниченный набор функций. Можно также утверждать, что жизненный цикл любой системы ограничен и конечен. Безусловно, за ограниченный жизненный цикл ИС она может обучиться ограниченному набору функций и приобрести конечный набор знаний. Следовательно, необходимо рассмотреть вопрос увеличения жизненного цикла ИС, сделав его условно бесконечным.

КОНЕЧНОСТЬ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Невозможно построить систему с одним бесконечным жизненным циклом, т.е. условное бесконечное существование невозможно обеспечить на базе ограниченной физической реальности. Если принять за исходное утверждение, что за один жизненный цикл существования ИС она может обучиться определенному ограниченному набору функций и навыков, тогда для продолжения обучения система должна получить новые исходные данные и задачу — новый комплект осваиваемых функций. Таким образом, задача обучения ИС сводится к созданию интерактивного процесса обучения на разных иерархических уровнях функционирования с учетом необходимости сохранения части знаний и умения выполнять определенные функции при переходе на новый иерархический уровень, с потерей не нужных на следующем уровне свойств и способностей (технологических интерфейсных функций), которые ранее использовались для приобретения знаний и умения выполнять определенные функции, с приобретением новых свойств, способностей (технологических функций) и исходных данных, позволяющих оперировать с новыми навыками в новой среде.

ИТЕРАЦИОННО-ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ

Исходя из выше сказанного, проведем упрощение сложности процесса обучения. Процесс эволюционного обучения системы (рис. 3) разделяем на некоторые иерархические итерационные процессы (этапы), в рамках которых будет проходить ограниченный процесс обучения, привязанный к конкретным физическим параметрам среды и ограниченным задачам обучения, что и будет обуславливать конечность жизненного цикла системы на данном итерационно-иерархическом уровне.

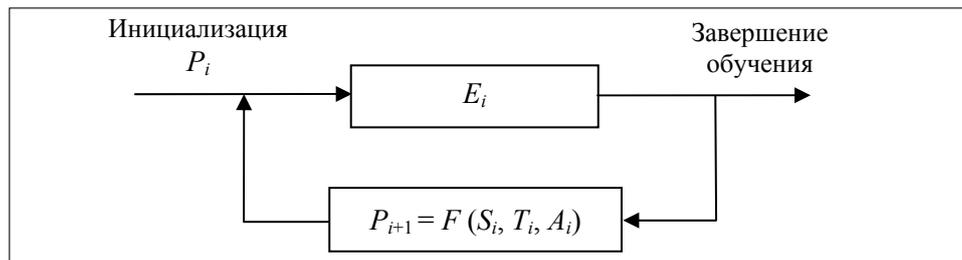


Рис. 3. i -й этап эволюционного обучения

МЕХАНИЗМ «ПЕРЕЗАГРУЗКА»

Вводим понятие механизма «перезагрузка» [15], который после окончания текущего жизненного цикла системы обеспечивает подготовку и переход системы на следующий этап эволюционного обучения. При этом проводятся: сохранение результата обучения, агрегация полученных знаний; оптимизация структуры и объема сохраняемых знаний; анализ результатов обучения на предмет соответствия поставленным целям; принятие решения о переходе на следующий уровень обучения с возможностью интерактивного моделирования этого уровня, постановкой новых задач на обучение и формированием текущих технологий адаптации к новой физической среде.

ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ИСКУССТВЕННОЙ СИСТЕМЫ

За жизненный цикл системы принимаем цепочку: инициализация (создание) — обучение – завершение (деструкция) — перезагрузка.

Во время первой процедуры инициализации (рис. 3), проводится моделирование первого эволюционного этапа, определяются задачи обучения, формируются текущие технологии адаптации к физической среде. Далее запускается процесс обучения, т.е. в общем случае выполняется i -й эволюционный этап обучения (E_i). На этой стадии вполне применимы технологии обучения с подтверждением [12].

После окончания текущего i -ого эволюционного этапа обучения (E_i) предусматривается выполнение трех основных процедур механизма «перезагрузка»:

- Сохранение результатов (S_i) обучения ИС, т.е. оптимизация и сохранность полученных в результате обучения знаний в независимой (от среды и физической платформы) форме.
- Отбрасывания ненужных технических данных и служебных функций (T_i) с помощью которых происходила адаптация системы под конкретную физическую реализацию и конкретные задачи конкретного этапа обучения.
- Анализ (A_i), т.е. оценка соответствия результатов обучения поставленным целям, принятие решения о переходе на следующий уровень обучения с возможностью интерактивного моделирования этого уровня, постановкой новых задач обучения и формированием текущих технологий адаптации к новой физической среде.

Следует обратить внимание, что следующим уровнем может быть выбран, как новый ($i+1$)-й эволюционный этап, так и текущий i -ый этап, что будет соответствовать повторному обучению. В общем случае следующим уровнем, на котором будет проводиться обучение искусственной системы, может быть выбран любой иерархический уровень.

МОДУЛЬНОСТЬ СИСТЕМЫ

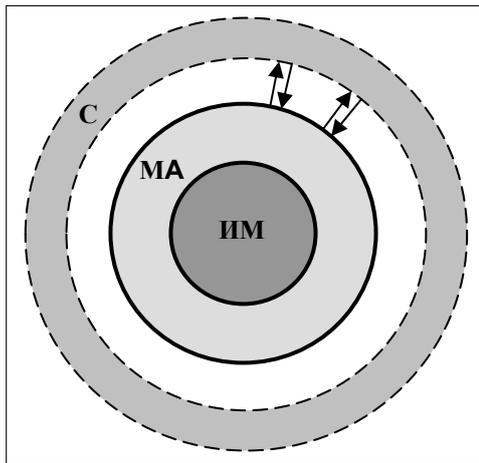


Рис. 4. Модульная структура искусственной системы

Построим модель ИС с учетом рассмотренных выше технологий эволюционного обучения. Разделим ИС на две составляющие. Одна составляющая должна нести в себе интеллектуальные функции и сохраняться как угодно долго, другая — достаточно гибкой и обеспечивать приспособляемость системы к изменяющейся окружающей среде. Эта составляющая не обязательно должна быть постоянной и вполне может быть сменной, заменяемой, с коротким периодом существования. Модель эволюционно обучающейся системы представлена в виде двух принципиально различных модулей:

интеллектуальный модуль и модуль адаптации к окружающей среде (рис. 4).

Интеллектуальный модуль (ИМ) рассматривается как постоянная составляющая и является сутью системы и собственно, самой системой в нашем понимании, время существования которой в принципе неограниченно. Модуль адаптации (МА) является изменяемой частью и обеспечивает функционирование интеллектуального модуля в текущих физических реалиях. Этот модуль должен обеспечивать адаптацию интеллектуальной составляющей к текущим свойствам окружающей среды, к текущим задачам обучения и этапам приобретения знаний ИС. Фактически этот модуль является интерфейсом между интеллектом и средой, и обеспечивает функционирование интеллектуального модуля в конкретных физических реалиях. При про-

хождении эволюционных этапов сохранения второго адаптивного модуля не предусматривается.

Время существования и модификации модуля адаптации определяется физическими свойствами окружающей среды и/или выполнением задач обучения на конкретном эволюционном этапе. Двухмодульное представление об ИС, которые называем B-System (БИ-системы) [14], соответствует эволюционному пониманию процесса обучения. Ниже представлен механизм приспособляемости таких систем к новым физическим параметрам среды при переходе на новый итерационный эволюционный этап обучения (рис. 5).

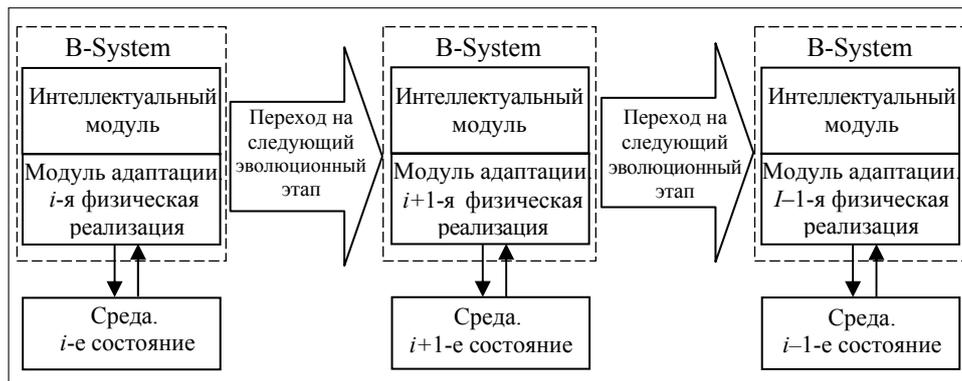


Рис. 5. Механизм приспособляемости B-System к новым физическим параметрам среды

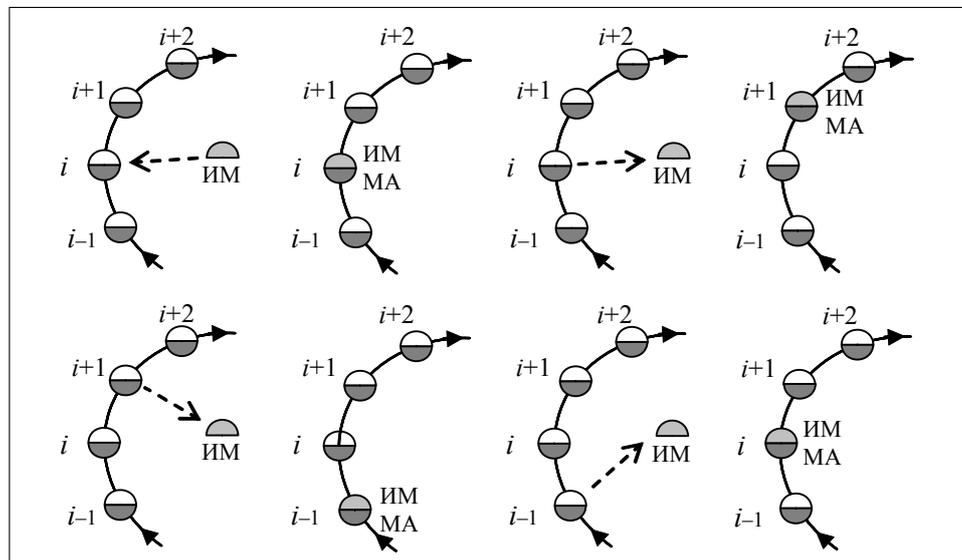


Рис. 6. B-System в процессе приспособляемости к новым параметрам среды с учетом нелинейности процессов эволюции

Такое понимание ИС обеспечивает приспособляемость систем к новым физическим параметрам среды (рис. 6). На этом рисунке представлено 8 возможных состояний ИС. При переходе на новый итерационный эволюционный этап с сохранением интеллектуальной составляющей, и как след-

ствие дает возможность провести дискретизацию процессов эволюции начиная с самых элементарных уровней и обеспечить непрерывность накопления знаний. Очевидным есть факт, что при таком представлении о системе легко реализуется нелинейный процесс эволюции.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ОБУЧЕНИЯ. РЕСУРСНЫЙ ПОДХОД

Выполним формализацию задачи обучения ИС на i -м эволюционном этапе итерационно-иерархического процесса обучения.

Во время процедуры инициализации на i -м эволюционном этапе выполняется дискретизация задач обучения, определяется конечный набор функций, которые должна освоить ИС. Таким образом, на i -м эволюционном этапе ИС должна выполнить M процессов обучения. ИС выделяется соответствующее множество ресурсов R^i для выполнения каждого процесса на i -м эволюционном этапе обучения:

$$R^i = \sum_{k=1}^M r_k^i. \quad (1)$$

Для выполнения одного k -го процесса обучения необходимо освоить ограниченное количество N_k^i ресурсов. Условие выполненного процесса обучения, можно определить через условие полного освоения выделенного ресурса R^i на i -м эволюционном этапе обучения:

$$\sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^{N_k^i} r_{kj}^i N_k^i = R^i, \quad (2)$$

где, r_{jk}^i — количество j -го ресурса переработанного k -м процессом обучения.

Целевая функция обучения на i -м эволюционном этапе обучения может быть представлена в виде:

$$F^i = \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^{N_k^i} z_{kj}^i N_k^i + \sum_{k=1}^M \varphi_{ik}(N_k^i, N_k^i), \quad (3)$$

где z_{kj}^i — затраты j -го ресурса на k -м процессе i -го эволюционного этапа обучения искусственной системе.

Понятно, что N_k^i всегда меньше чем N_k^i — максимально возможное количество реализованных процессов обучения искусственной системы, т.е. освоенных ресурсов на i -м эволюционном этапе.

φ_k^i — штрафная функция при отклонении количества выполненных процессов обучения от максимально возможного количества выполненных процессов обучения на i -м эволюционном этапе.

Таким образом, задача обучения искусственной системы на i -м эволюционном этапе может быть сформулирована следующим образом: минимизировать целевую функцию (3) при выполнении ограничения (2).

ВИВОДИ

Организація процесів навчання штучних систем на базі еволюційних методів може підвищити ефективність навчання. Розроблена ідея і технологія еволюційного навчання штучних систем. Сформульовано нове розуміння дискретності процесу навчання з урахуванням принципу обмеженості життєвого циклу штучної системи. Предложено двохмодульну концепцію моделювання штучних систем, що складається з двох взаємопов'язаних модулів, що мають різні властивості і життєвий цикл. Введено нове поняття БІ-система (B-System). Проведено формалізацію задачі еволюційного навчання штучних систем на базі ресурсного підходу. Сформульовані принципи дозволяють технологічно спростити процес навчання ІС, знизити складність взаємозв'язків і діючих факторів взаємодії пари «штучна система — середина навчання», що дозволяє в подальшому розвивати методи побудови і організації процесів еволюційного навчання штучних інтелектуальних систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Редько В.Г. Перспективи моделювання когнітивної еволюції // Третя міжнародна конференція по когнітивній науці: тези доповідей. В 2-х т., Т. 2. — М.: Художественно-видавничий центр, 2008. — С. 576–577.
2. Редько В.Г. Моделі адаптивного поведіння — підхід до дослідження когнітивної еволюції // Труды Міжнародних науково-технічних конференцій «Інтелектуальні системи» (AIS'07) і «Інтелектуальні САПР» (CAD–2007). — М.: Физматлит, 2007. — Т. 1. — С. 71–78.
3. Трегубенко І.Б. Адаптивна поведінка інтелектуальних агентів захисту на базі теорії когнітивної еволюції // 17 міжнародна конференція з автоматичного управління «Автоматика — 2010». Тези доповідей. Т. 2. — Харків: ХНУРЕ, 2010. — С. 202–203.
4. Курейчик В.М. Генетическі алгоритми і їх застосування. — Таганрог: Вид-во ТРТУ. Видання друге, доповнене, 2002. — 242 с.
5. Батищев Д.І., Неймарк Е.А., Старостин Н.В. Застосування генетических алгоритмів до розв'язання задач дискретної оптимізації. Учебне посібник. — Н. Новгород: вид-во ННГУ, 2006. — 136 с.
6. Скобцов Ю.О. Основи еволюційних обчислень: навчальний посібник. — Донецьк: ДонНТУ, 2009. — 316 с.
7. Зайченко Ю.П. Основи проектування інтелектуальних систем. — К.: Вид. дім «Слово», 2004. — 352 с.
8. Зайченко Ю.П. Нечеткі моделі і методи в інтелектуальних системах. Учебне посібник для студентів вищих навчальних закладів. — К.: Вид. дім «Слово», 2008. — 344 с.
9. Red'ko V.G. The Natural Way to Artificial Intelligence // In B. Goertzel, C. Pennachin (Eds.), Artificial General Intelligence. Springer. Berlin, Heidelberg, New York. 2007. P. 327–351. — http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-540-68677-4_10.
10. Емельянов В.В., Курейчик В.М., Курейчик В.В. Теорія і практика еволюційного моделювання. — М.: Физматлит, 2003. — 432 с.

11. *Трегубенко И.Б.* Концепція інтелектуального управління в складних розподілених системах // Матеріали ІХ міжнародної наукової конференції ім.Т.А.Таран «Інтелектуальний аналіз інформації ІАІ-2009» — К.: ПРОСВІТА, 2009. — С. 391–393.
12. *Tregubenko I.B.* Reinforcement learning intellectual agent of protection for adapting to surrounding environment // SIN,10: Proceedings of the 3rd international conference on Security of information and networks. — NY, 2010 — P. 110–112. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1854099.1854122&coll=DL&dl=GUIDE&CFID=87567568&CFTOKEN=25740824>.
13. *Richard S. Sutton, Andrew G. Barto.* Introduction to Reinforcement Learning, 1st edition, Cambridge: MIT Press, 1998. — P. 342. — <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=551283&CFID=87567568&CFTOKEN=25740824>.
14. *Трегубенко И.Б.* Концептуальная модель системы в теории эволюционного обучения. // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в освіті, науці і техніці» (ІТОНТ–2012). Черкаси, 25–27 квітня 2012. — У 2 т., Т. 1. — Черкаси: ЧДТУ, 2012. — С. 54–55.
15. *Трегубенко И.Б.* Концепция эволюционного обучения искусственных систем // Системный анализ и информационные технологии: материалы 14-й Международной научно-технической конференции SAIT 2012, Киев, 24 апреля 2012 / УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ». — К.: УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ», 2012. — 443 с.

Надійшла 24.05.2012