

УДК 680.3

В.А. Яценко

Институт проблем математических машин и систем НАНУ,
Донецкий государственный институт искусственного интеллекта НАН и МОН Украины,
mis@immsp.kiev.ua

Вторичные автоматизмы в интеллектуальных системах

В статье рассматривается новая концепция создания систем искусственного интеллекта на основе моделирования нейрофизиологических свойств мозга – безусловных и условных рефлексов с использованием нейроподобных растущих сетей. Формируется совокупность устойчивых связей описываемого понятия, объекта или ситуации, обеспечивающих его целостность и тождественность самому себе. Запоминание описаний объектов и ситуаций сопровождается вводом в сеть новых нейроподобных элементов и связей при переходе какой-либо группы рецепторов и нейроподобных элементов в состояние возбуждения, то есть в процессе восприятия информации и обучения сеть перестраивает свою структуру и таким образом формируется внутренний (виртуальный) мир, адекватный физическому.*

Введение

В настоящее время потребности в автоматизированных интеллектуальных системах, способных выполнять различные виды работ как в мирных, так и в военных целях, возрастают в геометрической прогрессии.

В предшествующие годы развитие средств вычислительной техники во всем мире находилось под влиянием программы «ЭВМ пятого поколения». В основу этой программы была положена концепция развития систем искусственного интеллекта на основе алгоритмических языков. Программа полностью не была завершена, и ее сменила программа «Вычисления в реальном мире» (Real World Computing (RWC)). В этой программе речь уже идет о том, чтобы дать вычислительным системам возможность самостоятельно воспринимать воздействия внешнего мира и действовать в нем. Авторы программы до 30 – 40 % ее содержания отводят исследованию естественных и созданию искусственных нейронных систем.

Уже сейчас искусственные нейронные сети применяются для решения очень многих практических задач – обработки изображений, управления роботами и непрерывными производствами, для понимания и синтеза речи, для диагностики заболеваний людей и технических неполадок в машинах и приборах, для предсказания курсов валют и пр.

К наиболее изученному классу сетей относят перцептроны. Перцептрон применяется для задач автоматической классификации, которые в общем случае состоят в разделении пространства признаков между заданным количеством классов [1].

* Нейроподобные растущие сети – это новый класс нейронных сетей, которые представляют собой растущую, динамическую структуру, изменяющуюся в зависимости от значения и времени поступления информации на рецепторы, а также предыдущего состояния сети. В ней информация о понятиях, объектах и ситуациях внешнего (физического) мира представляется ансамблями возбужденных нейроподобных элементов сети и связями между ними.

Карты Кохонена обладают свойством сохранения топологии, которое воспроизводит важный аспект карт признаков в коре головного мозга высокоорганизованных животных. Сеть успешно применяется для распознавания речи, обработки изображений, в робототехнике и в задачах управления [2].

В сети Хопфилда используется одноуровневая структура ассоциативной памяти, в которой выходной вектор появляется на выходе тех же нейронов, на которые поступает входной вектор [3].

В нейронной сети ART (Artificial Resonance Theory) моделируются механизмы кратковременной и долговременной памяти [4]. Различными типами сетей ART решаются задачи распознавания зрительных образов, обработки потоков звуковой информации, распознавания речи, моделирования управления движением глаз и представления информации в соматосенсорной коре.

В настоящее время вполне очевидно, что для решения проблемы создания обучающихся интеллектуальных систем моделирование отдельных психофизиологических свойств мозга как отдельных компонент системы не эффективно. Необходимо, опираясь на исследования нейрофизиологов, разработать аппарат реализации «безусловных рефлексов» (первичных автоматизмов интеллектуальной системы), который позволит формировать приобретаемые «условные рефлексы» (вторичные автоматизмы интеллектуальной системы), обеспечивающие «жизнедеятельность» искусственного интеллекта.

Автором предложена новая технология обработки информации – нейроподобные растущие сети. Предложена также новая концепция создания систем искусственного интеллекта на основе моделирования нейрофизиологических свойств мозга с использованием нейроподобных растущих сетей. Нейроподобная растущая сеть в процессе восприятия информации и обучения перестраивает свою структуру, и таким образом в ней формируется внутренний (виртуальный) мир, адекватный физическому. Предлагаемая концепция, которая объединяет физический и виртуальный миры, имеет универсальный характер. Такой подход дает новое основание для развития и массового производства продвинутых самообучающихся компьютеров, интеллектуальных систем и роботов. Последние могут иметь разнообразные важные применения в гражданской и военной областях, особенно для выполнения действий в непредсказуемых ситуациях и опасных окружающих средах.

Обучение и приобретение навыков в биологических объектах. Первичные и вторичные автоматизмы биологических объектов

Изучая поведение ребенка, нейрофизиологи установили, что его организм обладает *врожденными реакциями, которые рефлекторно возникают в ответ на специфическое воздействие раздражителя, и дали название этим процессам – безусловные рефлексы, или первичные автоматизмы.*

Известный нейрофизиолог И.М. Сеченов показал, как врожденные рефлексы с возрастом усложняются, вступают в разнообразные связи друг с другом и создают всю сложность человеческого поведения. Произвольные движения формируются в процессе индивидуального развития организма, путем повторных ассоциированных элементарных рефлексов. В результате организм обучается множеству таких действий, для которых ни плана, ни способа организации в его генетическом фонде нет.

При помощи индивидуального опыта и повторения формируются простые и сложные навыки, приобретаются знания, возникают представления, речь и сознание [5].

Развивая идеи Сеченова, И.П. Павлов открыл новый класс рефлексов, названных *условными рефлексами, или вторичными автоматизмами*, которые являются механизмом пластической перестройки поведения организма в соответствии с изменениями среды. Таким образом, *безусловный рефлекс определяется как врожденная реакция организма, рефлекторно возникающая в ответ на специфическое воздействие раздражителя, а условный рефлекс – это индивидуально приобретенная реакция организма на ранее индифферентный раздражитель, воспроизводящая безусловный рефлекс*. Безусловные рефлексы составляют основу механизма уравнивания влияний внешней среды на организм [6]. В основе *условного рефлекса лежит формирование новых или модификация существующих нервных связей, происходящие под влиянием изменения внешней и внутренней среды*. Условный рефлекс представляет собой не одну из многочисленных способностей мозга, а *универсальный принцип функционирования высшей нервной деятельности человека*.

Моделирование первичных и вторичных автоматизмов биологических объектов в интеллектуальных системах

Для моделирования первичных и вторичных автоматизмов биологических объектов мы используем многомерные рецепторно-эффекторные нейроподобные растущие сети.

Нейроподобные растущие сети – это новый класс нейронных сетей, которые разработаны в рамках бионического подхода на основе интеграции технологий обработки информации в биологических объектах [5], [6], растущих семантических [7] и нейронных сетях [1-4].

Нейроподобная растущая сеть (н-РС) представляется как ациклический ориентированный граф со взвешенными связями, в котором нейроподобные элементы являются вершинами. Вершины, не имеющие заходящих дуг, называются рецепторами, остальные вершины – нейроподобные элементы. Рецепторы могут представлять симптомы, параметры, значения физических или экономических показателей, буквы, элементарный факт из описания ситуации и т.п. Ансамбли возбужденных нейроподобных элементов соответствуют описаниям слов, фраз, предметов, объектов, процессов, ситуаций или явлений.

Класс нейроподобных растущих сетей состоит из собственно нейроподобных растущих (рецепторных) сетей, многомерных нейроподобных растущих (рецепторных) сетей, рецепторно-эффекторных нейроподобных растущих сетей и многомерных рецепторно-эффекторных нейроподобных растущих сетей. Для моделирования безусловных и условных рефлексов биологических объектов используются многомерные рецепторно-эффекторные нейроподобные растущие сети. Кратко рассмотрим многомерные рецепторно-эффекторные нейроподобные растущие сети (мрэн-РС).

Формально они задаются следующим образом:

$$S = (R, A_r, D_r, P_r, M_r, N_r, A_e, D_e, P_e, M_e, E, N_e),$$

$$R \supset R_v, R_s, R_t, A \supset A_v, A_s, A_t, D \supset D_v, D_s, D_t, P \supset P_v, P_s, P_t, M \supset M_v, M_s,$$

$$M_t, N \supset N_v, N_s, N_t, E \supset E_r, E_{dl}, E_{dn}, A \supset A_r, A_{dl}, A_{dn}, D \supset D_r, D_{dl}, D_{dn}, \\ P \supset P_r, P_{dl}, P_{dn}, M \supset M_r, M_{dl}, M_{dn}, N \supset N_r, N_{dl}, N_{dn},$$

здесь R_v, R_s, R_t – конечное подмножество рецепторов, A_v, A_s, A_t – конечное подмножество нейроподобных элементов рецепторной зоны, D_v, D_s, D_t – конечное подмножество дуг рецепторной зоны, P_v, P_s, P_t – конечное множество порогов возбуждения нейроподобных элементов рецепторной зоны, принадлежащих, например, визуальному, звуковому, тактильному информационным пространствам, N_r – конечное множество переменных коэффициентов связности рецепторной зоны, E_r, E_{dl}, E_{dn} – конечное подмножество эффекторов, A_r, A_{dl}, A_{dn} – конечное подмножество нейроподобных элементов эффекторной зоны, D_r, D_{dl}, D_{dn} – конечное подмножество дуг эффекторной зоны, P_r, P_{dl}, P_{dn} – конечное множество порогов возбуждения нейроподобных элементов эффекторной зоны, принадлежащих, например, речевому информационному пространству и пространству действий, N_e – конечное множество переменных коэффициентов связности эффекторной зоны.

Нейроподобные растущие сети являются динамической структурой, которая изменяется в зависимости от значения и времени поступления информации на рецепторы, а также предыдущего состояния сети. В н-РС информация о понятиях, объектах и ситуациях представляется ансамблями возбужденных нейроподобных элементов и связями между ними. Формируется совокупность устойчивых связей описываемого объекта, обеспечивающих его целостность и тождественность самому себе. Восприятие описаний объектов и ситуаций сопровождается вводом в сеть новых нейроподобных элементов и дуг при переходе какой-либо группы рецепторов и нейроподобных элементов в состояние возбуждения, то есть в процессе восприятия информации сеть перестраивает свою структуру, запоминая, классифицируя и обобщая эту информацию. Рецепторно-эффекторные н-РС, содержащие рецепторные и эффекторные зоны, позволяют на соответствующие условия (восприятие информации) вырабатывать управляющие воздействия во внешний мир и формировать поведение системы. В рецепторной зоне осуществляется накопление и реорганизация уже существующих моделей (нейронных ансамблей), адекватных условиям, возникающим во внешней среде, а в эффекторной зоне вырабатываются, накапливаются и реорганизуются модели действий, адекватных внешним условиям, и таким образом осуществляется активное взаимодействие с окружающей средой.

В многомерных рецепторно-эффекторных нейроподобных растущих сетях вышеописанные процессы происходят одновременно во всех информационных пространствах, запоминая, классифицируя и обобщая воспринимаемую информацию в визуальном, звуковом, тактильном и других представлениях [8-10]. Бэндлер и Гриндер заметили, что мышление целесообразно разделить на отдельные сенсорные модальности, которые характеризуют процессы обработки информации различного рода. Когда человек внутренне обрабатывает информацию, он делает это визуально (зрительно), аудиально (по слуховому каналу), кинестетически и т.д. Когда вы слышите произнесенное слово, например, «театр», вы можете представить себе его значение, мысленно увидеть образы театральной сцены, декораций, артистов, мысленно услышать музыку, почувствовать волнение и возбуждение. Доступ к значению слова возможен по одному из этих пяти сенсорных каналов, а также в любой их комбинации. Поэтому мрэн-РС могут использоваться для моделирования мышления.

Однако для того чтобы ЭВМ могла на основе индивидуального опыта приобретать знания, формировать простые и сложные навыки, представления, речь, сознание и мышление, необходимо дать ей возможность формировать вторичные автоматизмы.

Как показали проведенные нами опыты, в структуре рэн-РС успешно моделируются безусловные рефлексы (первичные автоматизмы системы), которые обеспечивают связь с объектами внешней среды, и условные рефлексы (вторичные автоматизмы системы), которые обладают способностью к «изменчивости» (адаптации) в зависимости от состояния внешней среды. Эти свойства сети лежат в основе индивидуального опыта, научения, приобретения знаний интеллектуальной системой.

Для всех видов безусловного рефлекса характерен один общий принцип: определенный стимул вызывает одну и ту же определенную реакцию. Типичный пример безусловного рефлекса – коленный (сухожильный рефлекс – непроизвольное подергивание свободно висящей ноги при ударе резиновым молоточком по сухожилию, находящемуся ниже коленной чашечки) или отдергивание руки, неожиданно прикоснувшейся к горячему предмету. Простейшая модель такого безусловного рефлекса, построенная с использованием рецепторно-эффекторной нейроподобной растущей сети, изображена на рис. 2. Эта модель точно отражает существо безусловного рефлекса, однако модель реального безусловного рефлекса значительно сложнее. Многомерные рецепторно-эффекторные нейроподобные сети позволяют построить усложненную модель реального безусловного рефлекса (рис. 3).



Рисунок 2 – Простейшая модель безусловного рефлекса с использованием рэн-РС

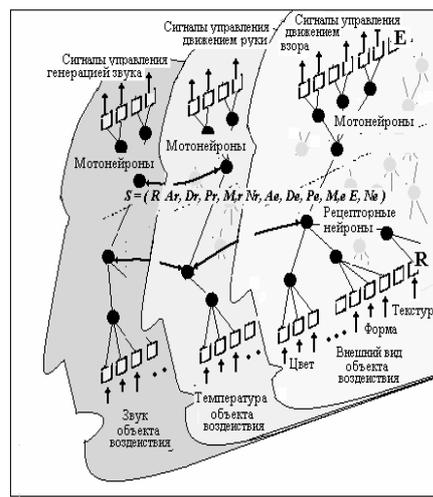


Рисунок 3 – Модель безусловного рефлекса с использованием мрэн-РС

В момент своего рождения ребенок наиболее беспомощен. У него нет ни единой сложившейся формы поведения. В ходе антропогенеза практически исчезли инстинктивные функциональные системы. К моменту рождения у ребенка нет ни одного заранее сформированного поведенческого акта. Все складывается при жизни.

В раннем возрасте ребенок целиком поглощен изучением предметов и действий с ними. Это проявляется, например, в том, как ребенок садится на стульчик или возит за собой машину – ребенок все время смотрит на этот предмет, фиксирует на нем внимание (рефлекс внимания). В процессе обучения, например, написанию букв ребенок внимательно следит за движением кончика пера. Ребенок отслеживает свои действия. На основе этой идеи на базе мрэн-РС мы создали программную модель формирования вторичных автоматизмов интеллектуальной системы обработки визуальной информации на примере написания, запоминания и распознавания букв русского алфавита.

В системе при возникновении визуальной информации в поле зрения видеокамеры возбуждаются рецепторы R_v мрэн-РС и через ансамбль возбужденных нейронов безусловного «рефлекса внимания» (безусловный «рефлекс внимания» формируется заранее при проектировании системы) передают возбуждение на эффекторы E_v , которые посылают управляющие сигналы на систему управления «взором» – полем внимания видеокамеры. Информация о перемещении «взора» поступает на рецепторное поле R_v и по нейронам рецепторной и эффекторной зон передается на эффекторы. В результате в системе, на основе вырабатываемых условных рефлексов, запоминаются буквы или слова. Если одновременно озвучить букву или слово, то в сети запоминается звуковой образ буквы или слова, который объединяется с их визуальными образами. Теперь по звуковому образу система может воспроизвести его визуальное представление и наоборот.

Таким образом, этот механизм позволяет запоминать последовательность действий, необходимых для выполнения заданий, например, запоминания и написания букв алфавита, цифр и других понятий и образов. Очевидно, что этот механизм универсален и система может копировать поведение наблюдаемого объекта, запоминать, например, последовательность действий робота для нахождения пути в лабиринте и пр.

Проводя исследования системы, мы убедились в правильности своих теоретических посылок о необходимости использования моделей первичных и вторичных автоматизмов в решении проблемы приобретения знаний и обучения систем искусственного интеллекта.

Выводы

Анализ современных работ в области искусственного интеллекта и проведенные нами опыты показали, что для того, чтобы вычислительные системы могли самостоятельно воспринимать воздействия внешнего мира и действовать в нем, конструкторы ЭВМ, интеллектуальных систем и роботов должны обеспечить их способностью к образованию вторичных автоматизмов.

Необходимо создать такую архитектуру и программное обеспечение, которые позволили бы ЭВМ на базе заложенных в ней безусловных рефлексов формировать условные рефлексы. С этой целью нами разработаны н-РС и теоретические основы их представления в матричном виде. Аппаратная реализация систем на базе нейроподобных растущих сетей предполагает массовый параллелизм выполнения опера-

ций и тем самым необыкновенно высокое быстродействие. Кроме того, предлагаемая концепция, которая объединяет физический и виртуальный миры, имеет универсальный характер. Такой подход дает новое основание для развития и массового производства продвинутых, самообучаемых интеллектуальных систем и роботов. Последние могут иметь разнообразные важные применения в гражданской и военной областях, особенно для выполнения действий в непредсказуемых ситуациях и опасных окружающих средах.

Литература

1. Rosenblatt R. Principles of Neurodynamics. – New York: Spartan Books, 1962.
2. Kohonen T. SelfOrganization and Associative Memory. – Third Edition, New York: Springer-Verlag, 1989.
3. Анил К. Джейн, Жианчанг Мао, Моиуддин К.М. Введение в искусственные нейронные сети // Открытые системы. – 1997. – № 4. – С. 16-24.
4. Гроссберг С. Внимательный мозг // Открытые системы. – 1997. – № 4. – С. 29-33.
5. Сеченов И.М. Рефлексы головного мозга. – М., 1961.
6. Данилова Н.Н., Крылова А.Л. Физиология высшей нервной деятельности. – М., 1989. – 398 с.
7. Гладун В.П. Процессы формирования новых знаний. – София: СД «Педагог 6», 1994. – 192 с.
8. Яценко В. Рецепторно-эффektorные нейроподобные растущие сети – эффективное средство моделирования интеллекта. II // Кибернетика и сист. анализ. – 1995. – № 5. – С. 48-57.
9. Yashchenko V. Receptor-effector neural-like growing network – an efficient tool for building intelligence systems // Proceedings of the second international conference on information fusion, July 6-8, 1999, Sunnyvale Hilton Inn, Sunnyvale, California, USA. – Vol. II. – P. 1113-1118.
10. Яценко В., Морозов А. Интеллектуализация ЭВМ на базе нового класса нейроподобных растущих сетей. – Киев: Тираж, 1997. – 125 с.

В.О. Яценко

Вторинні автоматизми в інтелектуальних системах

У статті розглядається нова концепція створення систем штучного інтелекту на основі моделювання нейрофізіологічних властивостей мозку – безумовних та умовних рефлексів з використанням нейроподібних зростаючих мереж. Формується сукупність стійких зв'язків поняття, що описується, об'єкта або ситуації, що забезпечують його цілісність і тотожність самому собі. Запам'ятовування описів об'єктів і ситуацій супроводжується введенням у мережу нових нейроподібних елементів і зв'язків при переході якої-небудь групи рецепторів і нейроподібних елементів у стан збудження, тобто у процесі сприйняття інформації та навчання мережа перебудовує свою структуру. Таким чином формується внутрішній (виртуальний) світ, адекватний фізичному.

V.A Yashchenko.

Secondary Automatism in th Intellectual Systems

In the paper the new conception of creating self – training intelligent system and robots on the base of modeling neuro – physiological properties of the brain with using neural – like networks is discussed.

Статья поступила в редакцию 05.08.2005.