

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ НЕРВНОЙ СИСТЕМОЙ И ТЕХНИЧЕСКИМИ УСТРОЙСТВАМИ

Ю.Ф. Тюлюпов (Чита)

Аннотация. С целью выявления технологических закономерностей обработки информации проводится сравнительный анализ информационных процессов в технических устройствах и нервной системе. В результате проведенного анализа предложены обобщенные формулировки технологических принципов обработки информации, представленной не только в цифровой, но и в аналоговой форме.

Ключевые слова: обработка информации; биологические и технические информационные системы; процессы; иерархическая структура.

В соответствии с позицией материалистической теории познания свойство информативности в его элементарной форме – запечатлении взаимодействия – присуще всем видам материи (и неорганической природе и элементарным частицам). Более сложными формами отражения являются раздражимость (начиная с растений и простейших организмов) и психика (у животных и человека). Высшая, специфическая форма отражения – сознание – присутствует только у человека [1. С. 9].

В настоящее время информационные процессы (различные последовательности действий, выполняемые с информацией) высокого уровня реализуются не только биологическими объектами (человеком и животными), но и техническими – информационными системами. Принципы работы технических средств, задействованных в процессах информатизации общества, подробно изучены и описаны, тем не менее это не привело к пониманию того, каким образом информация обрабатывается непосредственно мозгом человека.

Хотя информационные процессы в технических устройствах и в нервной системе осуществляются на основе различных физических явлений, структурные схемы этих процессов во многом аналогичны [4. С. 27]. Независимо друг от друга специалисты в области интеллекта биологических организмов и конструкторы, проектирующие искусственный интеллект и микропроцессорные системы, работающие в реальном масштабе времени, начали описывать или создавать системы с адекватной структурой [5. С. 8]. Эти обстоятельства позволяют провести сравнительный анализ функционирования наиболее типичных информационных систем: электронных (цифровых) вычислительных машин (ЭВМ) и искусственных нейронных сетей (ИНС), составляющих основу нейрокомпьютеров, а затем сопоставить полученные результаты с технологией обработки информации нервной системой живых организмов.

Анализ структуры является одной из основных процедур системного анализа – междисциплинарного курса, обобщающего методологию исследования сложных технических, природных и социальных систем [2]. Сравнительный анализ проведем, имея в виду структуры не информационных систем, достаточно подробно описанные, а технологические структуры информационных процессов, которые также могут быть представлены в виде сложных систем. Провести декомпозицию и установление взаимосвязей в системах, не имеющих геометрических границ между своими составляющими, возможно только в представлении этих систем иерархической структурой (таблица).

Иерархическая структура информационных процессов

Структурно-технологические уровни информационных процессов	Содержание уровней		
	Цифровые вычислительные машины (ЦВМ)	Нейрокомпьютеры (НК)	Нервная система живых организмов
Уровень 3: Использование результатов обработки информации	Решение интеллектуальных задач, поставленных человеком (программистом, пользователем)	Функции управления, распознавания и классификации образов, ассоциации, прогнозирования, аппроксимации и интерполяции и т.д.	Активная реакция организмов на воздействия внешней и внутренней среды
2–3: Согласование 2-го и 3-го уровней	Преобразование результатов к виду, пригодному для использования (интерпретация, визуализация и т.д.)		
Уровень 2: Операции обработки информации + материальная основа	Реализация принципов фон Неймана + программное обеспечение	Трансформация входного сигнала в выходной + результаты обучения ИНС	?
1–2: Согласование 1-го и 2-го уровней	Дискретизация, квантование по уровню, кодирование и т.п.		
Уровень 1: Физические процессы + аппаратные средства	Электрический ток + элементная база, электронные схемы	Электрический ток + структура искусственной нейронной сети (ИНС)	Электрохимические сигналы в форме потока нервных импульсов + биологическая нейронная сеть (БНС)

В результате технологических процессов происходит качественное изменение обрабатываемых объектов (в данном случае – информационных), предполагающее воздействие соответствующих физических процессов, а также наличие средств выполнения различных технологических операций.

В соответствии с таблицей в технологической структуре информационных процессов выделены три основных уровня и два промежуточных. К уровню 1 отнесена материальная основа (физические процессы и аппаратные средства), обеспечивающая протекание информационных процессов; к уровню 2 – операции обработки информации, заключающиеся в преобразовании одних «информационных объектов» в другие путем выполнения некоторых алгоритмов [1. С. 13, 222]; к этому же уровню относят материальную составляющую, обеспечивающую функционирование 2-го уровня (за исключением отнесенной к уровню 1), – программное обеспечение ЭВМ либо результаты обучения ИНС.

К уровню 3 отнесена информационная составляющая процессов использования результатов, полученных на уровне 2.

К промежуточным уровням (1–2; 2–3) отнесены операции, обеспечивающие согласование процессов, находящихся на разных (основных) уровнях.

Процессы на всех структурных уровнях протекают одновременно, а соподчиненность уровней в иерархической структуре переплетена сложными взаимосвязями. Если цели и задачи информационных процессов определяются наиболее высоким уровнем иерархии (уровень 3, см. таблицу), возможность существования информационных процессов обусловлена наличием материальной базы наиболее низкого уровня (уровень 1), то сущность информационных процессов заключается в операциях обработки информации (уровень 2, таблица).

С точки зрения получения новых знаний об обработке информации непосредственно мозгом человека нас в первую очередь должны интересовать составляющие информационных процессов, относящиеся к уровню 2 (см. таблицу), наименее изученному у биологических объектов. Для этого уровня проведем развернутый анализ, а составляющие информационных процессов в дальнейшем будем называть процессами обработки информации.

Наибольшую сложность в проведении этого анализа представляет то обстоятельство, что процессы обработки информации невозможно отследить непосредственно (с помощью органов чувств или приборов, поскольку у нас нет ни соответствующего органа чувств, ни приборов, способных их зарегистрировать).

С учетом этого обстоятельства выдвигается гипотеза: отслеживание и изучение процессов обработки информации может быть основано только на учете взаимосвязей между всеми уровнями и компонентами информационных процессов, представленных в таблице. Эта гипотеза

согласуется с популярным в нейронауках предположением о том, что интеллектуальное поведение технических объектов, как и биологических, в первую очередь определяется их структурой, архитектурой и свойствами систем управления этими объектами [5. С. 10], однако переносит исследования на другой уровень информационных систем.

Принципиальными особенностями работы ЭВМ являются цифровое кодирование информации и последовательный характер организации вычислительного процесса, обусловленные общими принципами функционирования универсальных вычислительных устройств, сформулированными в 1945 г. американским ученым Джоном фон Нейманом. Принципы фон Неймана по сути являются принципами технологической реализации процессов обработки информации, представленной в цифровой форме. В соответствии с этими принципами информация кодируется в двоичной форме: обычно электрическим импульсам с большей амплитудой напряжения присваивается цифровое значение «1», с меньшей амплитудой (или отсутствием напряжения) – «0». Комбинации двоичных символов, представляющие собой числа, команды и прочие объекты, рассматриваются как самостоятельные информационные объекты и называются словами. Слово обрабатывается в ЭВМ как одно целое – как машинный элемент информации. Слова информации размещаются в ячейках памяти машины и идентифицируются номерами ячеек (адресами слов). Требуемый порядок вычислений предопределяется алгоритмом и описывается последовательностью команд, образующих программу вычислений [1. С. 280–282].

Многоуровневое программное обеспечение ЭВМ (команда – операция – пользовательская программа – операционная система и т.д.) соответствует многоуровневой (иерархической) организации процессов обработки информации. Рост количества уровней программного обеспечения позволяет не только увеличить уровни сложности решаемых задач, но и создает дополнительные удобства работы в программной среде, добавляет сервисные и другие функции. В то же время усложнение программного обеспечения приводит к так называемому семантическому разрыву, заключающемуся в различии принципов, лежащих в основе языков программирования высокого уровня, и принципов, определяющих архитектуру ЭВМ.

Особенности организации информационных процессов в нейрокомпьютерах и нервной системе – аналоговое представление и параллельная обработка информации одновременно многими (для ИНС – всеми) нейронами. Аналоговое представление сигналов основано на подобии (аналогичности) характеристик электрических сигналов (изменений тока и напряжения) представленным ими исходным сигналам (звуковому или механическому давлению, температуре и т.п.).

Благодаря параллельной организации работы нейронов при большом количестве межнейронных связей достигается значительное

ускорение обработки информации, во многих случаях возможна обработка сигналов в реальном масштабе времени. Искусственная нейронная сеть не производит вычислений, она трансформирует входной сигнал (входной образ) в выходной в соответствии со своей топологией и значениями коэффициентов межнейронной связи, которые могут настраиваться в процессе обучения [4. С. 38]. Ответ, выдаваемый ИНС, является вещественным числовым вектором, поэтому для понимания его человеком требуется соответствующая интерпретация [4. С. 85]. Недостаток нейрокомпьютеров заключается в невозможности, как правило, извлечения алгоритма решаемой задачи из обученной нейронной сети [4. С. 101]. Следствие этого недостатка: технологическую организацию решения поставленных задач нейрокомпьютерами невозможно подразделить на иерархические уровни.

Сопоставим полученные результаты сравнительного анализа технических информационных систем с содержанием информационных процессов в нервной системе человека (или животных). Установить принципы взаимосвязи потока нервных импульсов с результатами обработки информации нервной системой до настоящего времени не удастся. Предлагается моделировать процессы обработки информации нервной системой, устанавливая их взаимосвязи с процессами уровня 3 – информационной составляющей активной реакции организмов на воздействия среды и проводя технологические аналогии с соответствующими процессами технических устройств.

Наиболее просто и наглядно эти взаимосвязи проявляются в процессе коррекции движений (человеком или животными). В процессе любого физического движения центральная нервная система непрерывно получает исчерпывающую информацию о ходе этого движения и тут же вносит в него корректировки. Процесс управления движением является многоуровневым с иерархической структурой – ведущий уровень, адекватный смысловой структуре двигательного акта, реализует только самые основные, решающие в смысловом отношении коррекции. В выполнении движения участвует также ряд фоновых уровней, которые обслуживают фоновые или технические компоненты движения. При этом во всяком движении, какова бы ни была его абсолютная уровневая высота, осознаются один только его ведущий уровень и только те из коррекций, которые ведутся непосредственно на нем самом [3. С. 43].

Сопоставив процессы коррекции движений с процессами обработки информации, приходим к следующему выводу: многоуровневый процесс управления движением возможен только в случае существования многоуровневой (иерархической) организации обработки информации центральной нервной системой (причем для этого совершенно не обязательно осознание получаемой информации на всех уровнях).

Различные исследования функций нервной системы также приводят к необходимости формулировок, которые включали бы иерархический принцип организации мозга [5. С. 80].

Таким образом, природе удалось сделать то, что для человека остается пока неразрешимой задачей, – для информации, представленной в аналоговой форме, создать технологические процессы обработки с иерархической организационной структурой. Биологическая нейронная сеть, являющаяся прототипом искусственной нейронной сети, по сложности технологической структуры обработки информации оказывается ближе к ЦВМ, чем к нейрокомпьютерам.

Это возможно только в случае, если в организации функционирования биологических нейронных сетей заложены принципы, аналогичные принципам фон Неймана.

Поясним на наглядном примере, что имеется в виду. При работе на компьютере в графических программах «проведенная» курсором на мониторе линия тут же находит свое воплощение в электрических сигналах, «рисующих» отображение этой линии на экране. Команда на выполнение этой операции, безусловно, выдается в виде электрических импульсов, однако задача, целенаправленно формирующая последовательность электрических импульсов, может быть задана только в информационной форме.

На первый взгляд, здесь предполагается наличие парадокса: информационный код, формирующий задачу выполнения информационной технологической операции, должен существовать раньше, чем его материальный носитель – соответствующая ему последовательность электрических импульсов.

Одним из принципов фон Неймана этот мнимый парадокс разрешается достаточно просто: адрес каждой следующей команды задается в процессе выполнения текущей команды. Обобщив этот принцип (т.е. перенеся его на более высокий системный уровень) таким образом, чтобы он охватывал не только цифровые, но и аналоговые устройства, получим следующее его выражение: информационная постановка задачи текущей команды соответствует последовательности электрических (электрохимических) импульсов, формируемой предыдущей информационной командой.

Аналогично проведем обобщение и других принципов фон Неймана. Для аналоговой формы представления информации, как и для цифровой, должны существовать машинные элементы информации – самостоятельные информационные объекты, соответствующие некоторому количеству электрических (электрохимических) сигналов. Для нейрокомпьютеров информационное содержание соответствует только входным и выходным сигналам; видимо, именно их и надо признать элементами информации. В нервных системах живых организмов информационное содержание определяется психическим отражением,

соответствующим некоторой последовательности афферентных электрохимических импульсов. Для них машинный элемент информации должен определяться минимальным набором импульсов, приводящим к появлению соответствующего психического отражения.

Для нервной системы человека (животных) установленным фактом считается, что получаемая информация подразделяется на отдельные части и хранится как отдельные наборы. Любое распознавание объектов определяется цепочкой наборов нейронов – кортикальных колонок, при воспоминании эти наборы связываются в единое целое [5. С. 80]. По технологическим функциям хранения информации кортикальные колонки соответствуют ячейкам памяти ЭВМ.

Каким же образом изложенные технологические принципы позволяют обосновать многоуровневую (иерархическую) организацию процессов обработки информации?

При цифровом кодировании информации формирование иерархического уровня каждой следующей технологической задачи задается количественно – кодом ячейки, запускающей решение задачи.

Совершенно иное положение для аналоговых устройств: структурный уровень информационной задачи должен быть задан качественно в момент ее формирования. Это возможно, например, в следующих случаях:

– структурный уровень формирования информационной задачи соответствует структурному уровню решения этой задачи (в наиболее простом случае – предыдущая команда, формирующая эту задачу, относится к тому же структурному уровню);

– должна существовать промежуточная команда, переводящая ставящуюся информационную задачу на другой структурный уровень.

Так, структурные уровни построения коррекции движений предопределяются качественным различием ведущих афферентаций (с различными компонентами и стилем) на каждом из уровней.

Результаты проведенного анализа позволяют сделать вывод о том, что независимо от способа представления информации (цифрового или аналогового) в технических устройствах или биологических объектах технологические принципы обработки информации могут быть сформулированы аналогично для цифрового и аналогового представления, различаются только методы и средства воплощения этих принципов.

Одним из направлений использования выявленных закономерностей могут стать нейрокомпьютерные технологии. Однако, по мнению автора, наибольший интерес представляет открывающаяся возможность объяснения (методом технологического моделирования) процессов обработки информации нервной системой животных на высшей стадии развития психического отражения (на стадии перцептивной психики), а в перспективе, возможно, и мышления человека.

Литература

1. *Акулов О.А., Медведев Н.В.* Информатика: базовый курс: Учеб. для вузов. 4-е изд. М.: Омега-Л, 2007. 560 с.
2. *Антонов А.В.* Системный анализ: Учеб. для вузов. 2-е изд. М.: Высш. шк., 2006. 454 с.
3. *Бернштейн Н.А.* Физиология движений и активность. М.: Наука, 1990. 497 с.
4. *Комарцова Л.Г., Максимов А.В.* Нейрокомпьютеры: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 400 с.
5. *Рапопорт Г.Н., Герц А.Г.* Искусственный и биологический интеллекты. Общность структуры, эволюция и процессы познания. М.: КомКнига, 2005. 312 с.

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF TECHNOLOGIES OF INFORMATION PROCESSING BY NERVOUS SYSTEM AND TECHNICAL DEVICES

Tyulyupov Y.F. (Chita)

Summary. With the purpose of the detection of the technological regularities of information processing is conducted the comparative analysis of information processes in technical devices and the nervous system. As a result carried out analysis are proposed the generalized wordings of the technological principles of information processing presented not only in digital but also in analog form.

Key words: information processing; biologic and technical information system; processes; hierarchical structure.