

И. Э. СУЛЕЙМЕНОВ, Е. Е. ЕРГОЖИН, Г. А. МУН

## ПРИНЦИПЫ ЗАПИСИ ИНФОРМАЦИИ В СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ЖИДКОФАЗНЫХ СИСТЕМ: НЕЧЕТКАЯ АДРЕСАЦИЯ

Показано [1], что на основе отдельных молекул электролита или полиэлектролита можно реализовать системы (молекулярные вычислители или нановычислители), способные выполнять логические операции за счет перемещения элементарных зарядов в пределах структур молекулярного или, по крайней мере, супрамолекулярного уровня организации. Другими словами, электролиты позволяют преодолеть вполне определенное затруднение, связанное с созданием некомпенсированного электростатического заряда, используемого в дальнейшем в вычислительных целях. В таких средах, как известно, заряд возникает самопроизвольно за счет реакций электролитической диссоциации, протекающей с участием молекул окружающей жидкофазной среды. В этом смысле жидкость имеет явное преимущество по сравнению с твердыми телами, традиционно используемыми для создания элементов вычислительных и информационных систем. Здесь нельзя не отметить, что самые эффективные из известных логико-информационные структуры (системы считывания и хранения информации живой клетки) реализуются именно на основе жидких сред. Более того, в них перемещение зарядов отдельных ионов играет определяющую роль.

В то же время использование молекул, находящихся в растворе, для компьютерных вычислений создает весьма серьезные трудности, связанные с адресацией, т.е. записью чисел, над которыми производятся действия, в заданную ячейку конкретной молекулы (макромолекулы). Данная трудность, очевидно, возникает из-за хаотического движения молекул в растворе. Частично ее можно преодолеть, существенно понизив степень свободы движения соответствующих молекул, сшив их в трехмерную или двумерную сетку, т.е. перейдя от растворов к гелям, в которых также протекают реакции диссоциации. Однако, и в этом случае остаются весьма серьезные проблемы с адресацией, так как конформация молекул, составляющих сетку, остается подверженной

значительным изменениям вследствие упомянутого выше фактора – теплового движения.

Рассмотрение возможностей для преодоления указанной трудности составляет цель данной работы. Основная идея состоит в том, чтобы отказаться от использования «четкой» адресации, предусматривающей запись информации о числах, над которыми производятся вычисления, в конкретную ячейку памяти системы. Такая постановка вопроса становится реальной, если принять во внимание основные свойства нейронных сетей, активно изучающихся последние несколько десятилетий [2, 3]. А именно, такие сети обладают ассоциативной памятью, когда информация хранится не в отдельной ячейке, а в сети в целом (это, в известном смысле, роднит нейронную сеть и голограммы).

Далее, в работах [4, 5] рассматривались возможности создания нейронных сетей на основе полиэлектролитных гидрогелей. В частности, в [6] было показано, что свойствами нейронной сети обладает даже любой электрический слой, сформированный на поверхности заряженной сетки. Такие слои могут создаваться как искусственно (например, при помощи эффекта дистанционного взаимодействия гидрогелей, связанного с переносом протонов от одного образца к другому [6]), так и образовываться естественным путем за счет теплового движения низкомолекулярных противоионов [7].

Существенно, что в таких аналогах нейронных сетей роль отдельного нейрона играет любой из элементарных зарядов, расположенных в слое. Это позволяет реализовывать сети, содержащие макроскопическое число элементов, путем **прямого химического синтеза**, что, несомненно, является важным шагом на пути реализации исследовательской программы, намеченной в [8]. (Конечной ее целью является создание нейронной сети, обладающей теми же свойствами и тем же числом элементов, что и головной мозг человека.)

Следовательно, целесообразно поставить вопрос о возможности использования **нейронных**

сетей для хранения цифровой информации. Ранее он не ставился в виду отсутствия такой необходимости, но открытие нейронных сетей на основе полизелектролитов, существенно меняет дело, так как в этом случае речь идет о возможности их непосредственного практического использования. В данной работе рассматриваются простейшие варианты схем, решающих поставленную задачу для доказательства принципиальной возможности предложенного подхода.

Нейронные сети, как известно, обладают большим разнообразием архитектуры и свойств [2, 3], поэтому в дальнейшем будем отталкиваться от использования нейронной сети, обладающей свойствами, наиболее удобными для записи цифровой информации с помощью ассоциативной памяти.

Будем отталкиваться от нейронной сети, обладающей  $2n$  входами и  $n$  выходами. Будем считать, что сеть обучена так, что выполняются следующие требования (свойства):

1. В ассоциативную память сети заложена информация о  $m$  базовых образах и  $m$  «комплементарных» образах (в самом простом случае комплементарный образ дополняет исходный до единиц на всех входах, но это не является обязательным).

2. Состояние выходов сети при любом состоянии входов отвечает либо одному из  $m$  базовых образов, либо одному из  $m$  «комплементарных».

3. Входы сети разбиты на две группы по  $n$  элементов (условно – первую и вторую), на каждую из которых поступает информация о сравниваемых образах.

4. Сеть способна идентифицировать образ как принадлежащий к множеству базовых или множеству комплементарных.

5. Сеть проводит операцию сравнения, считается, что если на первую группу входов подается информация, соответствующая одному из  $m$  базовых или  $m$  «комплементарных» образов, то на вторую группу входов может поступать информация, соответствующая либо самому этому образу, либо комплементарному к нему.

6. Сеть формирует на выходах множество сигналов, отвечающих базовому образу, при условии, то на обе группы входов поступает информация, соответствующая данному базовому образу (распознавание по совпадению)

7. Если хотя бы на одну группу входов поступает информация, отвечающая комплементарному образу, то на выходах сети формируются сигналы, также отвечающие комплементарному образу.

Очевидно, что сформулированные требования по существу означают, что рассматриваемая сеть просто выполняет операцию логического «И» по отношению к паре «образ – комплементарный образ», при условии, что в качестве аналога логической единицы рассматривается базовый образ, а в качестве логического нуля – комплементарный. Это вытекает непосредственно из табл. 1.

Таблица 1. Аналог таблицы истинности для нейронной сети, выполняющей операцию сравнения (аналог логического «И»)

Образ		$A'$	$A$
$A'$	Сопоставляемая логическая переменная	0	1
	0	$A'(0)$	$A'(0)$
$A$	1	$A'(0)$	$A(1)$

При условии, что рассматриваемая сеть способна обрабатывать несколько образов параллельно, ее функции (при выполнении сформулированных выше требований) сходны с теми, что будет выполнять совокупность параллельно включенных логических вентилей «И». Отличие состоит в том, что использование сети позволяет работать с искаженными образами, что, трактуется как толерантность нейронной сети к ошибкам. Разумеется, в описанном выше случае имеется серьезное ограничение – на первую и вторую группу входов должны подаваться сигналы, жестко связанные друг с другом. Однако, как будет ясно из дальнейшего, можно предложить варианты схем, где это требование будет выполнено автоматически.

Наряду с нейронной сетью, выполняющей операцию распознавания, и описываемой табл. 1, можно рассмотреть сеть, удовлетворяющую сходным требованиям (1) – (7) и описываемую табл. 2.

Располагая нейронной сетью, выполняющей по отношению к элементам из выделенного множества аналог операции «ИЛИ», можно составить схему, являющуюся аналогом триггера (рис. 1). В такой схеме, так же как и в триггере, на каждом выходе реализуется состояние, отвечающее

Таблица 2. Аналог таблицы истинности для нейронной сети, выполняющей операцию сравнения (аналог «ИЛИ»)

Образ		$A'$	$A$
$A'$	Сопоставляемая логическая переменная	0	1
	0	$A'(0)$	$A(1)$
$A$	1	$A(1)$	$A(1)$

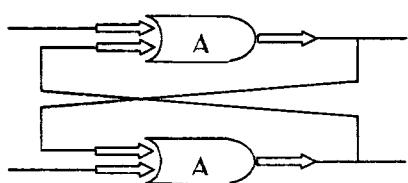


Рис. 1. Аналог триггера на нейронных сетях, проводящих операцию сравнения-распознавания

одному из элементов пары «образ – комплементарный образ», но переключение осуществляется за счет процесса распознавания образов, выполняемых сетью.

Схема рис. 1 функционирует как аналог триггера только в том случае, когда на ее входы могут поступать сигналы только из рассматриваемого множества, что, на первый взгляд, является серьезным ограничением. Однако, переходя к схеме рис. 2, к которую включено еще два анало-

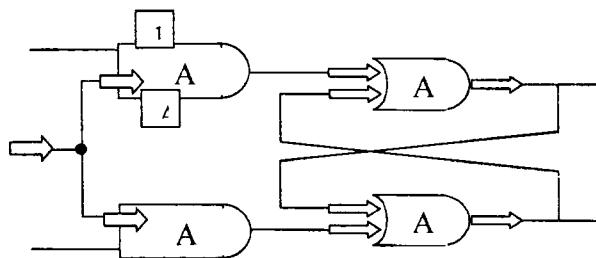


Рис. 2. Аналог триггера на нейронных сетях, проводящих операцию сравнения-распознавания

Рис. 3. Аналог D-триггера на нейронных сетях, проводящих операцию сравнения-распознавания

га логических вентилей «И» (табл. 1), можно реализовать систему, в которой возможны только такие ситуации (при условии, что множества, на которых обучались сети, были одинаковыми).

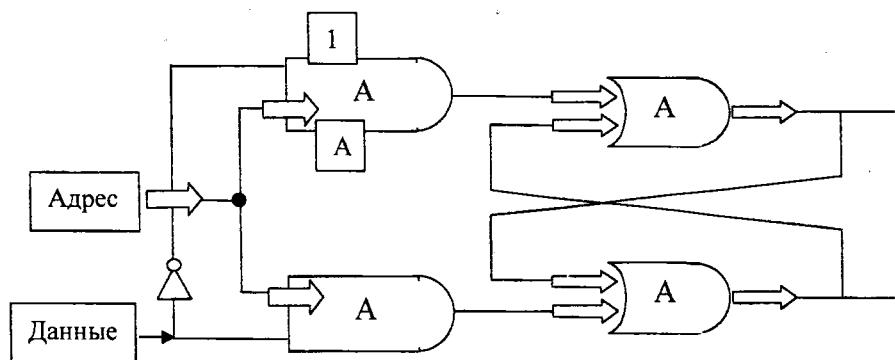
Более того, при управлении схемой рис. 2 можно использовать несколько упрощенные (по сравнению с табл. 1) аналоги логических вентилей «И» с различающимися группами входов. Состояние выходов такой упрощенной схемы дается в табл. 3. Эта схема фактически означает повторение (точнее, прямое распознавание) образа, формируемого на входах группы А при условии, что на входе «1» имеется логический 0 и инверсию комплементарного образа (с заменой на соответствующий образ из базового набора) при условии, что на входе «1» присутствует логическая единица.

Таблица 3. Аналог таблицы истинности для нейронной сети, выполняющей упрощенную операцию сравнения - распознавания (упрощенный аналог «ИЛИ»)

Входы		0	1
$A'$	Сопоставляемая логическая переменная		
	0	$A'(0)$	$A(1)$
$A$	1	$A(1)$	$A(1)$

Схему рис. 2 уже легко преобразовать в аналог D-триггера (рис. 1), причем инвертор в данной схеме является обычным инвертором, работающим с логическими переменными.

Данный аналог D-триггера также имеет две группы входов, при этом наиболее существенно, что вход данных, так же, как и в цифровом D-триггере управляется обычным цифровым сигналом. Вторая группа входов фактически представляет собой адрес, в который записывается 1-битовый сигнал, поступающий на вход данные.



Следовательно, рассматриваемая схема, в принципе, решает поставленную задачу – цифровую информацию (последовательность битов) можно хранить в ассоциативной (распределенной памяти). Разумеется, представленные схемы нуждаются в дальнейшей проработке, в частности, требуется более подробное исследование вопроса о параллельной обработке (вызове) нескольких образов, однако уже рассмотренного примера достаточно, чтобы показать разрешимость поставленной задачи. Можно предложить конкретную схему, в которой адресация будет происходить по распознаванию образа, т.е. именно этот «образ» служит своеобразным адресом, по которому хранится конкретный бит. Данный адрес, в отличие от существующих систем, вполне может вводиться с ошибками, так как нейронная сеть обеспечивает его восстановление при распознавании. Именно в этом смысле в названии статьи был использован термин «нечеткая адресация».

Упомянутые ошибки могут быть связаны не только с искажениями вводимого образа, но и с деформациями, которые претерпевает нейронная сеть вследствие теплового движения ее элементов. Поэтому такого рода системы могут быть реализованы на основе сред с частично упорядоченными молекулами, в частности, с помощью гидрогелей.

В заключение представляется необходимым подчеркнуть, что проблему теплового движения при переходе к нанокомпьютерам, по-видимому, придется решать независимо от того, на каком физическом принципе они будут основаны. Как известно, значимым фактором повышения быстродействия является снижение затрат энергии на осуществление отдельной логической операции. Поэтому при продвижении в данном направлении рано или поздно придется столкнуться с проблемой приближения указанных энергозатрат к величине теплового кванта. В этом смысле, разработка систем с нечеткой адресацией оправдана безотносительно конкретных физико-химических систем, используемых для реализации нанокомпьютеров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сулейменов И.Э., Мун Г.А. Принципы работы нанокомпьютера на основе полиэлектролитов // Химический журнал Казахстана. Спецвыпуск(21), октябрь 2008. С. 220-226.
2. Горбань А.Н., Дунин-Барковский В.Л., Миркес Е.М. Нейроинформатика. Новосибирск: Наука, 1998. 296 с.
3. Галушкин А. Теория нейронных сетей. М.: Радиотехника, 2000. 416 с.
4. Сулейменов И.Э., Мун Г.А. Триггерные системы на основе полимерных гидрогелей как основа создания искусственных нейронных сетей. Мат. междунар. конф. «Наноструктуры в полисахаридах: формирование структура, свойства, применение», Ташкент, 8-9 октября 2008 г. С. 45-47.
5. Ергожин Е.Е., Сулейменов И.Э., Мун Г.А., Джусмадилов Т.К. Нейронные сети и проблемы современной физической химии // Вестник НАН и МОН РК. 2008. №6. В печати.
6. Сулейменов И.Э., Джусмадилов Т.К., Копиев Э.Е. и др. Полимерные ИТ-материалы. Алматы, 2007.
7. Будтова Т.В., Сулейменов И.Э., Френкель С.Я. Применение диффузионного подхода для описания набухания полиэлектролитных гидрогелей // Высокомолек. соед. Б. 1995. Т. 37, №1. С. 147-153.
8. Гель вместо силикона. Интервью. Аманжол // Газета «Деловая неделя», №36 (814), 19 сентября 2008 г. С. 8.

## Резюме

Сұйық фазалық жүйелер негізіндегі ақпаратты жазу мүмкіндігі реттелген күрілымдар қарастырылады. Мұндай мүмкіндік сұйық фазалық жүйе негізінде нейронды торларды ұйымдастыру арқасында болатыны көрсетілген. Ақпаратты жазу көрсетілген жағдайда ақпаратты нақтыланбаған тасымалдаумен істеледі. Бөлек ұшықтың «мекен-жай» ролін нейрон торларымен танымал бейнесі орындаиды.

## Summary

In the work were considered the possibilities of record of the information in partially ordered structures based on liquid-phase systems. It was shown, that such possibility exists due to the organization of neuronic networks based on liquid-phase systems. Record of the information in this case is carried out with fuzzy addressing. The role of «address» of a separate cell of memory plays an image identified by a neuroinic network.

УДК 541.64:532.77-3

Институт химических наук  
им. А. Б. Бектурова, г. Алматы;  
Алматинский институт  
энергетики и связи, г. Алматы;  
Казахский национальный университет  
им. аль-Фараби, г. Алматы

Поступила 10.11.08г.