

УДК 681.513



О. Ф. Михаль

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, fuzzy16@pisem.net

СИНТЕЗ МОДЕЛИ КЛЕТОЧНОГО АВТОМАТА НА СЕТИ ПЕТРИ

В качестве средств моделирования элементов *вычислительной техники* (ВТ) получили распространение *клеточные автоматы* (КА) и *сети Петри* (СП). Смена состояний разметки СП подобна чередованию активности и релаксации нейронов человеческого мозга; смена поколений КА – реконфигурации структур мозга (прототипа ВТ). Этими аналогиями определяется перспективность синтеза средств моделирования на основе композиции принципов КА и СП. В качестве промежуточного этапа рассмотрено моделирование КА средствами СП.

УСИЛИТЕЛИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ИНТЕЛЛЕКТА, КЛЕТОЧНЫЕ АВТОМАТЫ, СЕТИ ПЕТРИ**Введение**

Развитие средств *вычислительной техники* (ВТ) как *усилителей человеческого интеллекта* (УЧИ) [1] проявляется в создании с их использованием прикладных имитационных моделей различных аспектов *окружающего мира* (ОМ), которые в конечном счёте (в крупном временном масштабе) способствуют повышению вероятности выживания *Homo sapiens* как вида [1]. Текущий фрагмент глобальной истории в аспекте моделирования характеризуется широким системным подходом с использованием абстрактных представлений и применением различных *формально-описательных аппаратов* (ФОА) [2, 3], в частности, *клеточных автоматов* (КА) [4] и *сетей Петри* (СП) [5]. Применительно к моделированию элементов самих средств ВТ широкое распространение КА и СП обусловлено тем, что смена состояний разметки СП подобна чередованию активности и релаксации нейронов человеческого мозга; смена поколений КА напоминает реконфигурацию зон активности структур мозга (прототипа ВТ), в частности, при проведении мысленных вычислительных операций. Этими аналогиями определяется перспективность синтеза средств моделирования на основе композиции принципов КА и СП. В настоящей работе в качестве промежуточного этапа рассмотрено моделирование КА средствами СП.

1. Ограниченность человеческого интеллекта в задачах моделирования окружающего мира

Моделирование есть базовая составляющая человеческой деятельности. Процесс познания ОМ идёт путём последовательного создания усложняющегося ряда моделей. Первоначально единственным доступным инструментом моделирования был *человеческий интеллект* (ЧИ). По мере наработки типовых приёмов моделирования и «парка моделей», а также по мере проявления и уяснения ограничений ЧИ на различных этапах истории разрабатывались различные варианты УЧИ [1], упрощающие определённые аспекты моделирования. На современном этапе развития актуальными (наиболее активно развивающимися)

УЧИ являются средства ВТ. Базовым прототипом средств ВТ был и остаётся человеческий мозг [6] – физический носитель ЧИ. Вскрытие механизмов функционирования ЧИ само по себе предполагает алгоритмизацию и построение моделей [7]. На этом пути по мере развития ВТ реализован переход от простых чисто вычислительных функций к более сложным и интеллектуально-содержательным решениям (нечёткая логика, параллельные и распределённые вычисления, искусственные нейронные сети, эволюционным алгоритмам и др.). При этом в качестве ФОА моделирования получили распространение КА [5] и СП [6].

Человек живёт в контакте (в окружении и во взаимодействии) с некомфортным ОМ, который является центром его внимания и основным объектом познания. Отслеживание изменений и корректировка (оптимизация) взаимодействий с ОМ посредством моделирования объектов ОМ обеспечивают выживание человека как биологического вида. Познание как процесс есть последовательная смена усложняющихся моделей. Моделирование (создание моделей) происходит по различным аспектам ОМ и на различных уровнях в зависимости от характера конкретных решаемых задач взаимодействия с ОМ.

Ограниченность ЧИ определяется «магическим числом» 7 ± 2 [8] ячеек оперативной памяти. В качестве следствия (интерпретации) этого закона можно рассматривать преимущественное использование при построении математических моделей ОМ *исключительно* ограниченного *малого* числа параметров. В ОМ усматриваются (интуитивно улавливаются) закономерности, которые затем описываются (взаимоувязываются) в виде систем уравнений с использованием *малого* числа обобщённых параметров. На этом принципе по существу построена и этой цели служит вся классическая математика, являющаяся ФОА классических (от Аристотеля и И. Ньютона до А. Эйнштейна и Н. Бора) физических моделей ОМ. В них изначально по умолчанию предполагалось, что все проблемы должны иметь аналитические решения, остаётся только их найти. Позднее прояснилось

типовое ограничение: аналитические решения бывают в основном только для функций *простого* (не слишком сложного) вида. В результате, в сложных вычислительных случаях в ход пошли приближённые методы вычислений, но, по-прежнему, применительно к *малому* числу параметров. В *малом* числе параметров имеется своя целесообразность. ЧИ ограничен по своей «наблюдательной способности» (возможности одновременно удерживать в поле зрения), т.е. по своему ресурсу обработки информации. Недопустимой экстраполяцией является, однако, распространение (а тем более догматизация) соответствующих модельных представлений на реальную картину ОМ в целом. В подобной «интеллектуальной ловушке» оказалась, в частности, средневековая схоластика с вопросом «о свободе воли при наличии божественной предопределённости» [9]. Философским отражением (проекцией) этого теологического вопроса является проблема познаваемости ОМ. В теологии для «выхода» из соответствующего тупика и по настоящее время используется довольно туманный тезис о «неисповедимости путей Господних». С появлением Ньютонской модели ОМ стал вычислимым, т.е. «предопределённым». Затем, с появлением квантово-механической модели ОМ снова обрёл неопределённость (вероятностный характер), т.е. как бы «свободу воли». Как известно, Эйнштейн остался не согласен с окончательностью квантово-механической интерпретации, считая её ограничением существующего ФОА.

2. Усилители человеческого интеллекта

Ситуация качественно меняется по мере совершенствования УЧИ. С их использованием существенно наращиваются вычислительные ресурсы и преодолевается закон 7 ± 2 . В результате, в описательном плане на смену ограниченному *малому* числу параметров в моделях приходят расширенные множества параметров. Также с появлением средств ВТ получили развитие системные представления и парадигмы распределённых и параллельных вычислений. Как следствие появились ФОА параллельного и распределённого функционирования систем и процессов. К таковым относятся, в частности, КА и СП. Параллельность и распределённость предполагают использование *большого* числа объектов и параметров, обрабатываемых независимо. Вместо *малого* числа параметров малыми в КА и СП остаются наборы правил, в соответствии с которыми независимо работают (видоизменяются, эволюционируют) *большие* наборы объектов и параметров.

Попутно следует отметить, что помянутая выше «неувязка» со схоластическим вопросом «о свободе воли при наличии божественной предопределённости» становится благополучно (по крайней мере

в принципе) разрешимой в системах с *большими* наборами параметров без привлечения гипотезы о наличии Творца. Как отмечалось, ОМ может быть «божественно предопределённым», т.е. детерминированным, т.е. вычислимым по Ньютону, по Эйнштейну или по какой-либо другой *малопараметрической* детерминированной модели. Но этому мешает квантовая неопределённость, вследствие чего появляется вероятностная (тоже *малопараметрическая*) модель, т.е. «свобода воли». Данных два варианта являются альтернативными, и других альтернатив не наблюдается, только в случае, если ограничиваться *малопараметрическими* моделями. Средневековая схоластика и классическая математика (зародившаяся тогда же) служили образцами и основаниями друг для друга (стимулировали и взаимно дополняли развитие друг друга, поскольку реально они создавались малым ограниченным кругом одних и тех же умных образованных людей — учёных того времени), поскольку обе базировались на тогдашних ограниченных (*малопараметрических*) возможностях ЧИ, соотносимых с законом 7 ± 2 . С переходом к *большому* числу параметров (со снятием ограничения 7 ± 2) появляется третья альтернатива. *Многopараметрический* ОМ может быть детерминированным (вычислимым), но для этого требуется наблюдаемость всех параметров и очень большие ресурсы ВТ. Т.е. поведение реального ОМ может быть «предсказано наперёд», но для этого требуется гиперкомпьютер, позволяющий учитывать все параметры каждой из мельчайших частиц ОМ. При этом его работа не должна искажать работу ОМ. Если не вводить умозрительных представлений о некотором ненаблюдаемом гиперпространстве, в котором мог бы размещаться гиперкомпьютер, то остаётся единственная возможность его реализации (реализуемости или реализованности). Этой возможностью является сам ОМ. Подобная космологическая концепция ОМ — *цифровая физика* [14] — сформулирована и развивается в нескольких вариантах. Согласно одному из вариантов (не самому радикальному) элементами гиперкомпьютера являются сами объекты ОМ, поэтому гиперкомпьютер (он же ОМ) является параллельным и распределённым, и в него уже загружена модель ОМ. В каждом из его элементов известны все соответствующие необходимые значения параметров. Там же имеются программы, реализующие необходимые законы взаимодействия между элементами. Особенностью этого гиперкомпьютера является то, что он же сам является системой, осуществляющей регулирование процессов, по которым взаимодействуют его элементы. При этом там, в его «программной среде», никакие другие средства (гиперсредства) ВТ, кроме него самого, влияния на его работу не оказывают. Можно ли и следует ли называть этот

гиперкомпьютер Богом — вопрос чисто терминологический. Но что неоспоримо: ни одна церковь и ни один религиозный культ, поддерживаемые представителями вида *Homo sapiens*, не имеют исключительного (эксклюзивного, приоритетного) выхода на терминал этого гиперкомпьютера ввиду наличия чрезвычайно большого числа ненаблюдаемых извне (точнее, изнутри ОМ) параметров. Поэтому любая попытка каким-либо образом «приобщиться к Богу» (т.е. попытаться «поставить свою программу» на этом гиперкомпьютере) по существу неотличима от упомянутого выше моделирования ОМ. Таким образом, ОМ может рассматриваться как детерминированный, но настолько сложный и содержащий так много ненаблюдаемых параметров, что только он сам может *однозначно* и надёжно предсказать и тотчас же реализовать своё поведение. Поэтому, с учётом перехода к *многопараметрическим* моделям ОМ, вопрос «о свободе воли при наличии божественной предопределённости» утрачивает корректность постановки.

3. Сопоставление клеточных автоматов и сетей Петри

Представляет интерес рассмотрение принципов моделирования одной информационной (символьной, не материальной) модельной среды средствами другой информационной модельной среды. Каждая из модельных сред является ФОА, т.е. предназначена для упрощения (облегчения, повышения эффективности выполнения) определённых человеческих мыслительных операций, т.е. в известном смысле может рассматриваться как программный (концептуальный, алгоритмический) УЧИ. Рассмотрение целесообразно провести не для обнаружения, объяснения или предсказания каких-либо явлений в самих этих ФОА (КА и СП на том уровне сложности, который затрагивается — достаточно изучены [4, 5]), а с целью выработки парадигм (принципов) будущего возможного (перспективного) объединения этих ФОА и синтеза на их основе более эффективного ФОА. Он, возможно, позволил бы более наглядно представить разнообразные функциональные особенности человеческого мышления и реализующие их конструкции мозговых структур. Подобное рассмотрение само по себе содержит элементы моделирования, поэтому общность подобного рассмотрения открывает дальнейшие перспективы возможного развития. Кратко опишем и сопоставим ФОА КА и СП.

Клеточный автомат [4] представляет собой упорядоченную структуру из регулярно расположенных клеток (ячеек) $C: \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_r, \dots, c_h\}$. Каждая из клеток c_r может находиться в одном из конечного числа состояний $Q: \{q_1, q_2, q_3, \dots, q_k, \dots, q_s\}$. Каждое фиксированное поколение (шаг, этап) f_i работы

КА ретроспективно может соотноситься с фиксированным моментом времени. При переходе от текущего этапа f_i к следующему $f_{(i+1)}$, т.е. при «смене поколений» ($f_i \rightarrow f_{(i+1)}$), изменение состояния клетки определяется композицией состояний окружающих её (соседствующих с ней) клеток. В литературе описаны различные варианты КА в зависимости от размерности и топологии пространства, функции соседства (числа соседей в окружении), числа s допустимых состояний клетки, закона композиции клеток, наличия внутренней памяти клеток и т.д. В представленной далее модели в качестве объекта моделирования рассмотрен *однородный бинарный планарный* (плоский) КА с *тетрагональной* симметрией и композицией ячеек, подобной принятой в известной игре «Жизнь» Дж. Конвея. *Однородность* есть «одинаковость» — единообразие всех клеток по расположению и по числу допустимых состояний Q и правилам перехода. *Бинарность* означает, что множество состояний клетки состоит из двух элементов: $Q: \{0, 1\}$. В клетке могут находиться «0» или «1», которые интерпретируются как «погибшая» и «живая». *Планарность* означает, что клетки упорядочены в двумерном пространстве. Чтобы избежать двумерной (двухиндексной) индексации клеток КА, полагаем, что размер поля a строк на b столбцов, т.е. $a \times b = h$ и $b = h / a$. При этом считаем, что клетки пронумерованы по строкам, слева направо и сверху вниз. Таким образом, в одномерной системе записи c_r обозначает $c_{(r-[r/b]*b), ([r/b]+1)}$ или $c_{(r-[r*a/h]*(h/a), ([r*a/h]+1))}$, где квадратные скобки обозначают операцию взятия целой части от деления. *Тетрагональность* — тип симметрии в расположении клеток и определении соседства. Окружением рассматриваемой прямоугольной клетки c_r являются 4 соседствующие с ней клетки c_{r-1} , c_{r+1} , c_{r-a} и c_{r+a} , расположенные по её сторонам. Топологические особенности плоскости (упорядочение краёв поля КА) не рассмотрены, поскольку в модели воспроизведена работа единичной клетки КА. Т.е. двумерное поле в представленной СП-модели может быть по-разному замкнуто на краях. Характер замыкания — есть конкретизация модели.

Сеть Петри [5] есть *двудольный ориентированный* граф, дополненный системой правил смены состояний вершин. *Двудольность* означает разбиение множества вершин на два непересекающихся подмножества: *места* (places) $P: \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_i, \dots, p_n\}$ и *переходы* (transitions) $T: \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_j, \dots, t_m\}$. *Ориентированность* предполагает направленность (указание направления) рёбер графа. *Двудольность* определяет запрет на связи между двумя *местами* или двумя *переходами*. Т.о. в СП разрешены два вида связей (направленных рёбер графа): из *мест* в *переходы* ($p_i \rightarrow t_j$) и из *переходов* в *места* ($t_j \rightarrow p_i$). *Места* и *переходы* функционально и

интерпретационно различны, что определяется как разметка *мест* и правила смены разметки посредством срабатывания («зарядки» и «разрядки») *переходов*. Разметка СП определяется совокупностью *меток*, размещённых в некоторых из *мест*. *Метки* являются носителями состояния. Каждая из *меток* может находиться в одном из конечного числа состояний $Q: \{q_1, q_2, q_3, \dots, q_k, \dots, q_s\}$, включая нулевое состояние — отсутствие *метки*. Состояние *мест* определяется разметкой — совокупностью состояний размещённых в них *меток*. *Места* являются носителями разметки СП на каждом фиксированном этапе f_i работы. *Переходы* реализуют логику смены разметки ($f_i \rightarrow f_{(i+1)}$) — преобразование разметки из текущего этапа f_i в следующий $f_{(i+1)}$. Таким образом, множество *мест* СП позволяет наблюдать текущие (последовательно сменяющиеся) этапы работы СП, а множество *переходов* реализует динамику процесса — аппарат смены состояний *мест*. Имеются разнообразные варианты и подвиды СП в зависимости от структурной организации и особенностей работы (правил смены разметки) [4]. В литературе описаны, в частности, «цветные» и нечёткие СП, с использованием которых *метки* посредством многообразия своих состояний Q переносят в СП-моделях некоторую дополнительную информацию, обрабатываемую в *переходах*. В представленной далее модели использована простая *бинарная безопасная СП с приоритетами*. *Бинарность* означает, что множество состояний *метки* — два элемента: $Q: \{0, 1\}$, которые интерпретируются как «метка отсутствует» и «метка имеется» соответственно. *Безопасность* (1-безопасность) предполагает, что в процессе функционирования СП не возникает ситуаций, когда разметка какого-либо *места* превышает единицу. *Приоритетность* есть введение фиксированного (предопределённого) порядка проверки срабатывания *переходов* СП.

Сопоставление КА и СП правомочно, поскольку оба они являются *формально-описательными аппаратами* (ФОА) дискретных распределённых асинхронных систем. Общими аспектами (качествами) у КА и СП как ФОА являются, в частности, дискретность, допустимость бинарного представления ключевой информации о состояниях, этапность (шаговость) работы, смена состояний, соотнесённость с временными представлениями, односторонненность и необратимость смены состояний (невозможность восстановить прежнее состояние по текущему), реализация распределённости и асинхронности в работе модели. Более обобщённо — КА и СП совпадают по области предназначения (использования) и реализуемости (в масштабах, представляющих прикладную ценность) исключительно с использованием средств ВТ.

Основные различия между КА и СП проявляются в структурной упорядоченности и соотнесении

с пространственными представлениями. В КА, в отличие от СП, имеется пространственный аспект, но динамика и логика работы по смене этапов (поколений) — не визуализируется (реализуется в свёрнутом виде, как алгоритм). В СП, в отличие от КА, — напротив: динамика смены поколений топологически прослеживается (непосредственно наблюдается), как срабатывание *переходов*, но отсутствуют пространственные представления (пространственное соподчинение), сопутствующие смене состояний объектов. Если рассматривать КА и СП как языки описания процессов, происходящих в системах, то можно сказать, что указанные различия, в известном смысле, лежат «на метафорическом плане» (как редукция языка описания мыслительного процесса). Различия связаны с изначально разными назначениями этих двух ФОА. СП отражает структуру (совокупность связей) системы и движение в ней информационных потоков. КА изображает поведение функционирующей системы как единого наблюдаемого целого, безотносительно (т.е. без непосредственного визуализирования) к информационным процессам, которые ею движут. С учётом указанных различий лишён *содержательного* смысла вопрос о формальной сводимости СП к КА или КА к СП; в связи с чем представленную далее модель нецелесообразно интерпретировать как демонстрацию сводимости определённого класса КА к определённому виду СП. С учётом указанных различий допустима (целесообразна) постановка вопроса о синтезе единой ФОА на основе КА- и СА-описаний.

Особенностью СП является реализация раздельно двух описательных сущностей системы: состояния в определённый момент времени и перехода из одного состояния в другое. Существенно, что при этом в модели может быть реализован параллельный и независимый характер работы отдельных частей системы, а также асинхронность — отсутствие централизованного управления и причинно-следственных связей. Важная черта КА — отражение в модели общей картины пространственной распределённости реализации системы. При этом процесс смены состояний (работа механизма, реализующего переход системы в новое состояние) свёрнут, не отражается в виде визуальной структуры. В связи с этой взаимной дополнительностью КА и СП представляет интерес синтез этих двух ФОА в нечто единое — аппарат, который объединял бы пространственные представления подобно КА и визуализацию (детализацию) процесса смены фаз, подобно СП.

Моделирование КА средствами СП, как этап синтеза единого ФОА, целесообразно проводить с учётом принципов автономности клеток и масштабируемости. Под *автономностью клеток* подразумевается, что модель одной (каждой) клетки КА

реализуется так, чтобы клетка содержала в себе всю логику работы КА. *Масштабируемость* — есть возможность реализации КА произвольного заданного размера сборкой из однотипных клеток. Клетка должна учитывать и реализовывать подключения к клеткам — соседям с возможностью создания различных уровней соседства и различных топологий поверхностей, на которых размещены (в которых упорядочены) соседствующие клетки.

Таковы особенности и основная направленность, в рамках которых синтезирована модель КА на СП, частный вариант которой представлен на рис. 1.

4. Описание модели

Как отмечалось, представлена модель однородного бинарного планарного КА с тетрагональной симметрией, выполненная средствами бинарной безопасной СП с приоритетами. В КА имеется поле из $a \times b = h$ клеток, каждая из которых c_r может находиться в одном из состояний (0, 1). Поле КА, не являющееся частью СП-модели, условно показано на рис. 1 в виде слоя (0). Собственно модель представлена в виде фрагмента СП, разнесённого для наглядности по четырём слоям, обозначенным на рисунке как (1), (2), (3), (4). В 1-м и 3-м слоях расположены *места*, во 2-м и 4-м — *переходы*. *Места* 1-го слоя интерпретационно соотносятся с ячейками моделируемого КА (слой (0)). Т.е. места 1-го слоя могут рассматриваться как биективное отображение $c_r \leftrightarrow p_{1\{i\}}$ поля КА.

Введены следующие обозначения. Каждая клетка КА моделируется клеткой СП-модели — типовым единообразным 4-слойным фрагментом СП, который условно выделен на рис. 1 жирными линиями. Этот типовой фрагмент h -кратно повторяется в СП-модели КА с соответствующими взаимными (межфрагментными) соединениями. В связи с этим применена двухэлементная (не двумерная) «ассоциативная» индексация *мест* и *переходов* СП. Первый элемент в индексе (цифра перед фигурными скобками) обозначает номер места или перехода в типовом фрагменте СП (в клетке СП-модели). Второй элемент (в фигурных скобках) есть номер клетки КА в одномерной системе записи (рассмотренной выше).

Переходы 2-го и *места* 3-го слоя реализуют функцию соседства. Как отмечалось, r -я клетка КА в рассматриваемом тетрагональном варианте имеет 4 соседей. В 1-м слое представлены соответствующие им образы клеток КА c_{r-1} , c_{r+1} , c_{r-a} и c_{r+a} , — *места* $p_{1\{r-1\}}$, $p_{1\{r+1\}}$, $p_{1\{r-a\}}$, $p_{1\{r+a\}}$. *Переходы* 2-го слоя передают (размножают) информацию о состоянии данной клетки всем соседствующим (определённым в качестве соседей) клеткам. *Места* 3-го слоя — есть «образы соседей», сформированные индивидуально для каждой клетки. Они показаны

в тонких линиях группы мест для соседствующих ячеек СП-модели. *Места* $p_{3\{r-1\}}$, $p_{3\{r-1\}}$, $p_{3\{r+1\}}$, $p_{3\{r-a\}}$, $p_{3\{r+a\}}$ есть проекции *мест* $p_{1\{r-1\}}$, $p_{1\{r-1\}}$, $p_{1\{r+1\}}$, $p_{1\{r-a\}}$, $p_{1\{r+a\}}$. В них поступают метки из основных *мест* $p_{1\{r-1\}}$, $p_{1\{r-1\}}$, $p_{1\{r+1\}}$, $p_{1\{r-a\}}$, $p_{1\{r+a\}}$. На рис. 1, для сохранения общей наглядности, в 3-м слое обозначения мест опущены.

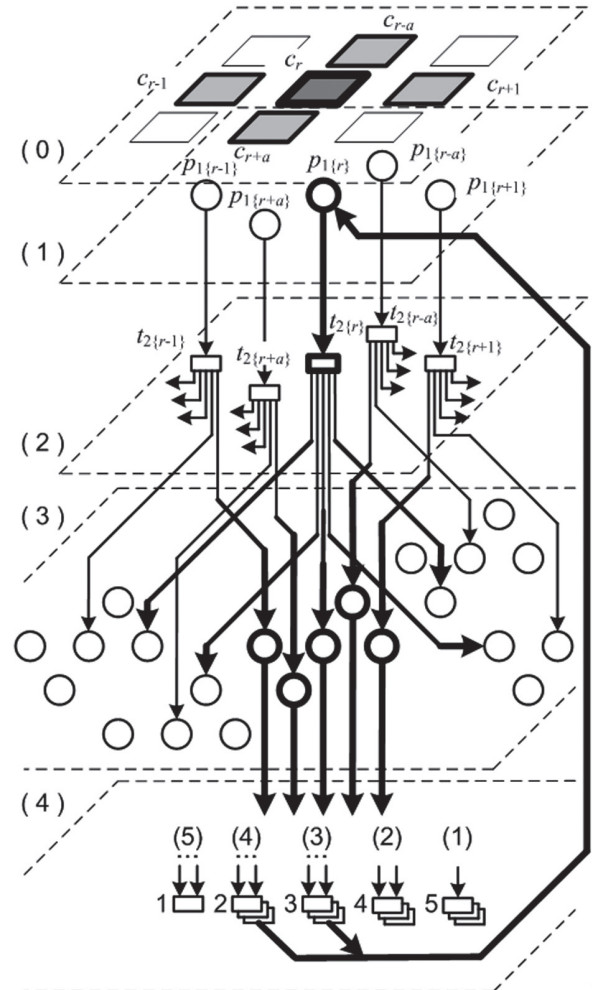


Рис. 1. Модель клеточного автомата на сети Петри

Переходы 4-го слоя есть «аналитический аппарат» модели, реализующий правила принятия решения относительно статуса («погибший» — «живой») клетки моделируемого КА в следующем цикле работы (поколении). Переходы 4-го слоя представлены в виде групп, обозначенных (1), (2), (3), (4), (5). Переходы i -той группы имеют по i входов от разных комбинаций по i мест из соответствующей группы мест 3-го слоя (выделена жирным). Для сохранения общей наглядности, на рис. 1 опущены связи между местами 3-го слоя и переходами 4-го слоя. Набором переходов 4-го слоя, подключённых к группе мест 3-го слоя полностью перекрываются все возможные варианты комбинаций «погибших» — «живых» клеток в рассматриваемой группе. Как отмечалось, СП является приоритетной. Приоритетность опроса переходов 4-го уровня обозначена цифрами 1, 2, 3, 4, 5,

стоящими слева от соответствующих групп переходов. Т.е. сначала опрашивается переход (5), имеющий 5 входов, потом группа переходов (4), имеющих по четыре входа, далее группы (3), (2) и (1), имеющие, соответственно, по 3, 2 и 1 входу.

С местом $p_{1\{n\}}$ связаны выходы только тех групп переходов, которые соответствуют логике работы КА. На рис. 1 это ситуации с 3 или 4 «живыми» клетками.

Работа модели соответствует обычным правилам приоритетной СП и в основном понятна из представленного описания связей. Очерёдность опроса переходов (при программной реализации) на 2-м уровне — произвольная, на 4-м уровне — детерминированная в пределах одной ячейки. Общесистемная общемодельная детерминированность порядка опроса переходов — отсутствует. Таким образом, ячеистая структура потенциально может быть программно организована гибко, с возможностью реконфигурации. Эта особенность представленной модели должна быть учтена, как ключевая, при синтезе ФОА, объединяющего (обобщающего) свойства и характеристики аппаратов КА и СП.

5. Обсуждение

Объекты-аналоги, в которых *нечто* может быть представлено как комбинация структур КА и СП, могут быть обнаружены в самых различных областях. Множество примеров, достойных рассмотрения в рамках концепций бионики, предоставляет мир живой природы.

Попутно отметим, что разнообразие применённых в живой природе «технических решений» наводит на мысль о чрезвычайной эффективности того «творческого процесса», в котором выполнены (и продолжают выполняться) все эти «разработки». Разумеется, термины «техническое решение», «творческий процесс», «разработка» и др. следует рассматривать лишь как проекции антропоморфных представлений на ОМ. Но следует иметь в виду также, что «эволюционный процесс» и «естественный отбор» по Ч. Дарвину тоже есть лишь текущий ограниченный временной срез человеческих представлений о движущих силах развития ОМ. Эволюция, движимая естественным отбором, разумеется, работает, но нет оснований предполагать (и сам Ч. Дарвин, разумеется, никогда такого не утверждал), что этот механизм является единственным из возможных.

Современные технические и информационные средства позволяют производить наблюдения и делать содержательные заключения будучи событийно-, ситуационно- и пространственно- удалёнными от предмета и места действия. Поэтому самые неожиданные наблюдения могут быть сделаны прямо через средства массовой информации.

При этом ничуть не ограничиваются возможности по их анализу и интерпретации. В документальном фильме [11] показан примечательный пример использования системы типа комбинации КА с СП (точнее, с нейронной сетью, которую, если требуется, можно смоделировать средствами СП), в животном мире, в «конструкциях» живой природы. Этот пример может быть рассмотрен и проанализирован. Фильм в целом посвящён жизни морских животных (рыб, моллюсков, ракообразных и др.) в экосистеме кораллового рифа. Среди прочего в фильме показаны головоногие моллюски — каракатицы — несколько эпизодов их охоты на крабов. Как известно, головоногие моллюски являются приматами в классе моллюсков. Они имеют беспрецедентный функционально богатый двигательный аппарат и демонстрируют разнообразное поведение в различных «жизненных ситуациях» «тактического взаимодействия» с ОМ (нападение, преследование, уход от преследования, оборона и др.), вплоть до применения средств постановки помех (чернильные бомбы) и посторонних предметов в качестве орудий труда и оружия. Одна из особенностей, демонстрируемая головоногими, быстродействующая развитая система смены окраски и фактуры поверхности кожи. Исполнительный механизм — кожа, способная менять окраску — «конструктивно реализован» в виде мозаики из фрагментов (типа, пикселей) различного цвета, с подкожной мускулатурой, способной сжимать-растягивать отдельные цветные кожные фрагменты, изменяя их размер на 2-3 порядка по площади. В соответствии с человеческими колориметрическими представлениями для синтеза произвольного требуемого цветового оттенка требуется по крайней мере три опорных цвета. Колориметрия — наука эмпирическая, базирующаяся на «конструктивных особенностях» человеческого зрения. В колориметрии изучаются не *собственно* цветовые оттенки (совокупности длин волн излучения), а *восприятие* цветовых оттенков человеком (установление тождественности реакций на разные комбинации наборов длин волн). «Колориметрия зрения» морских животных, как оказалось, не отличается существенно от модели, «реализованной» в человеческом зрении. Кожа головоногих моллюсков содержит необходимый базовый набор цветов пикселей. Поэтому головоногие моллюски умеют синтезировать цвета участков своей кожи, варьируя размеры отдельных пикселей *базовых* цветов, подобно тому, как синтезируется изображение на экране дисплея посредством варьирования яркости отдельных цветных пикселей.

Расширенные *динамические* возможности смены окраски кожи продемонстрированы в [11] в эпизодах охоты. Каракатица издали видит краба (свою будущую жертву) и медленно приближается

к нему. При этом, чтобы не спугнуть жертву, каракатица предпринимает некоторые действия, которые могут быть охарактеризованы как «динамическая маскировка». Каракатица широко расставляет (выбрасывает в стороны) двое щупалец; остальные шесть плотно сжимает по центру. Кожные перепонки между распределёнными таким образом щупальцами образуют некое подобие экрана в форме рыбьего хвоста. Рыб вокруг плавает в изобилии и краб (будущая жертва) их не опасается. Тем более, что «крупная виртуальная рыба», под которую маскируется каракатица, повернута к крабу хвостом, т.е. вероятно должна плыть не к нему, а от него. Чтобы усилить иллюзию удаления от жертвы и скрыть за ней фактическое реальное приближение к жертве, каракатица «показывает жертве кино»: по её хвостообразному экрану движутся цветные полосы в направлении *к жертве*. Как отмечалось, действие происходит в коралловых рифах, т.е. на малых глубинах — по видимому порядка 1-3 метра. Толща воды хорошо просвечивается; на поверхности всегда имеется волнение, блики и теневые полосы, от которого всегда имеются на грунте и морских обитателях. «Кино» из движущихся полос, прокручиваемое каракатицей на хвостообразном экране, воспроизводит картину, соответствующую движению световых бликов при удалении *от жертвы*. Под прикрытием этой иллюзии каракатица медленно приближается и при достижении критической дистанции хватает жертву. Далее экран и «кино» из цветных полос за ненадобностью сворачиваются.

Примечательна последовательность действий: обнаружение жертвы → решение об охоте → формирование экрана → запуск «кино» → приближение → захват → отключение «кино» → демонтаж экрана. В [11] показано три подобных эпизода. Сцена, разумеется, «отрепетирована»: используется «прикормленная» каракатица. Но все «актёры» настоящие и в каждом из «отснятых дублей» жертва гибнет, а каракатица не проигрывает заученную ею мизансцену, а воспроизводит имеющийся в её арсенале реальный алгоритм охоты. Составной частью алгоритма является «прокрутка кино»: включение КА в режиме движения полос. Клетками являются цветные фрагменты кожи каракатицы, а работа КА состоит в выполняемом в определённом порядке (ритме) масштабировании (растяжении или сжатии) фрагментов кожи. Разумеется, всё это (динамическая смена раскраски) есть чисто рефлекторное явление, соотносимое ситуационно, включаемое автоматически и поддерживаемое локально, автономно, периферийно. Подобные конфигурационно не слишком сложные динамические структуры допустимо организовать управлением КА с помощью СП, соизмеримой по сложности с представленной на рис. 1. Основные принципы

реализации — постоянный набор правил, элементное единообразие и масштабируемость — демонстрируются рассмотренной структурой.

В аспекте практического применения подобных структур речь может идти, в частности, об адаптивных системах с динамически меняющимся пространственно распределённым фактором, воздействующим на крупный объект или пространственно-протяжённый процесс. Таким фактором может быть, например, температура, освещённость, локальное давление и др. Для противодействия этому фактору система должна реконфигурироваться, реструктурироваться, либо как-либо иначе адаптивно расходовать некоторые свои ресурсы. В частном случае ресурсы могут быть ограничены, либо реконфигурирование может частично снижать эффективность системы. Централизованное управление (ресурсораспределение) в пространственно-распределённых системах малоэффективно, ввиду задержки распространения сигналов значительного расхода вычислительного ресурса. Системы типа рассмотренной более приемлемы, т.к. минимальны по времени срабатывания и обеспечивают адаптивность по выработке требуемой ответной реакции на локальном участке (фрагменте) распределённой структуры.

Выводы

Обработка большого числа параметров (параллельность и распределённость) есть приближение к такому новому видению (модельному пониманию) окружающего мира, в котором преодолевается «магическое» ограничение 7 ± 2 , присущее человеческому интеллекту. Возможностями подобного расширения человеческого интеллекта определяет перспективность сетей Петри и клеточных автоматов, а также целесообразность их синтеза в единый формально-описательный аппарат. На настоящий момент отсутствует единая парадигма моделирования сложных систем, которая бы объединяла пространственные представления (подобно клеточным автоматам) и визуальную детализацию смены фаз системы во времени (подобно сетям Петри). Перспективен поиск такой парадигмы, в частности, на пути синтеза формально-описательных аппаратов клеточных автоматов и сетей Петри. В качестве промежуточного этапа предложена модель клеточного автомата, выполненная на сети Петри. Намечены перспективные пути дальнейшего поиска и возможные направления использования подобных объединённых представлений.

Список литературы: 1. Михаль О.Ф. Глобальный системный контекст развития ЭВМ // Информатика, математическое моделирование, экономика: Сборник научных статей по итогам Второй Международной научно-практической конференции, г. Смоленск, 20 апреля 2012 г. В 3-х томах. Том 1 — Смоленск: Смоленский филиал АНО ВПО ЦС РФ «Российский университет кооперации»,

2012. — С. 38-47. **2. Михаль О.Ф.** Синтез модели клеточного автомата на сети Петри. Часть I. Гносеологический аспект // Информатика, математическое моделирование, экономика: Сборник научных статей по итогам Третьей Международной научно-практической конференции, г. Смоленск, 24-26 апреля 2013 г. В 3-х томах. Том 2 — Смоленск: Смоленский филиал Российского университета кооперации, 2013. — С. 89-94. **3. Михаль О.Ф.** Синтез модели клеточного автомата на сети Петри. Часть II. Масштабируемая структура // Информатика, математическое моделирование, экономика: Сборник научных статей по итогам Третьей Международной научно-практической конференции, г. Смоленск, 24-26 апреля 2013 г. В 3-х томах. Том 2 — Смоленск: Смоленский филиал Российского университета кооперации, 2013. — С. 94-103. **4. Т. Тоффолли**, Н. Маарголус. Машины клеточных автоматов. — М.: «Мир», 1991. — 280 с. **5. В.Е. Котов.** Сети Петри. — М.: Наука, 1984. — 160 с. **6. У. Росс Эшби.** Конструкция мозга. Происхождение адаптивного поведения. — М.: Изд-во иностранной литературы, 1962. — 398 с. **7. Н.М. Амосов.** Алгоритмы разума. — К.: Наукова думка, 1979. — 224 с. **8. George A. Miller.** The Magical Number Seven, Plus or Minus Two. // The Psychological Review, 1956, vol. 63, pp. 81-97. (<http://psychclassics.yorku.ca/Miller/>). **9. Б. Рассел.** История западной философии, т. 1. — М.: — «Миф», 1993. — 602 с. **10.** Цифровая физика // (http://ru.wikipedia.org/wiki/Цифровая_физика). **11.** Жак Клузо, Жак Перрен (Jacques Cluzaud, Jacques Perrin). Жители океанов. ч.3. Народ рифов (Le Peuple Des Oceans. 3. Le Peuple Des Recifs). — Galatee Films, 2011. — DVD5, 3.7 Gb.

Поступила в редколлегию 11.02.2014

УДК 681.513

Синтез моделі клітинного автомату на мережі Петрі / О.П. Міхаль // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2014. — № 1 (82). — С. 47–54.

Як засоби моделювання елементів обчислювальної техніки (ОТ) отримали розповсюдження клітинні автомати (КА) та мережі Петрі (МП). Зміна станів позначки МП подібна до чергування активності та релаксації нейронів людського мозку; зміна поколінь КА — реконфігурації структур мозку (що є прототипом ОТ). Ця аналогія визначає перспективність синтезу засобів моделювання на основі композиції принципів КА та МП. Як проміжний етап розглянуто моделювання КА засобами МП.

Лл. 1. Бібліогр.: 11 найм.

UDK 681.513

Syntheses of model of cellular automata based on the Petri nets / O.Ph. Mikhal // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2014. — № 1 (82). — P. 47–54.

Cellular automata (KA) and Petri nets (PN) are widespread for modeling of computers. Change the conditions of PN marking looks like the interleaving of activities and relaxations of neurons of human brain. Change the generations of KA — is like to the rearranging the structures of the brain (the prototype of computers). These analogy defines the prospect of syntheses of the similars on base of the composition of principles of KA and PN. The modeling of KA on base of PN is considered as intermediate stage.

Fig. 1. Ref.: 11 items.