

МОДЕЛИ КОГНИТИВНЫХ АРХИТЕКТУР И ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ПАРАДИГМЫ ПРЕДЕЛЬНЫХ ОБОБЩЕНИЙ

Ю.А. Прокопчук

Институт технической механики НАН Украины и ГКАУ

Предложена конструктивная версия механизма предельных обобщений и полимодельной дополнительной как парадигмального базиса и показана ее продуктивность при решении ряда теоретико-прикладных проблем когнитивной науки. Построены формальные модели спонтанных идеальных процессов самоорганизации и формирования имплицитного опыта.

Запропоновано конструктивну версію механізму граничних узагальнень і полімодельної додатковості як парадигмального базису та показана її продуктивність при рішенні теоретико-прикладних проблем когнітивної науки. Побудовано формальні моделі спонтанних ідеальних процесів самоорганізації та формування імпліцитного досвіду.

Введение. Несмотря на значительный прогресс в последние десятилетия в области разработки интеллектуальных информационных технологий, включая системы искусственного интеллекта, многие важные задачи и проблемы остаются открытыми [1–16]. К таким проблемам можно отнести осмысление и моделирование процессов эмпирического образного мышления [1–3], способности выделять параметры порядка развития сложных ситуаций действительности и самоорганизующейся критичности [1, 7, 11, 12, 14], формирования имплицитного и эксплицитного опыта [3, 7, 16], а также феноменов идеального [3, 7, 11, 15]. Продвижение в решении данных проблем является актуальным для разработки партнерских систем, средств анализа и управления сложными системами, интерфейсов «мозг-компьютер» и других технологий, для которых критически важно максимальное соответствие закономерностям протекания когнитивных процессов у человека («экологический» подход) [7, 10, 11, 12, 13]. *Экологичность* означает, что все причины и факторы, влияющие на истинность решений, должны быть «видны» невооруженным взглядом и эту «видимость» нельзя заменить ни на какую их формальную запись [13].

Требование экологичности неизбежно приводит к использованию когнитивного подхода как при моделировании, так и при практическом конструировании ИТ-приложений. Автором предложена и развивается [7–10] конструктивная версия механизма предельных обобщений и полимодельной дополнительной как парадигмального базиса и показана ее продуктивность в исследованиях, связанных с анализом различных познавательных ситуаций и решением теоретико-прикладных проблем когнитивной науки. Синергетический эффект использования разных формализмов в сочетании с движущей силой обобщения и самодвижения составляет основу для глубинной интеграции знаний сложных интеллектуальных систем.

Целью данной работы является построение формальных моделей спонтанной когнитивной динамики, которые демонстрируют самодвижение, процесс неосознанного выделения параметров порядка, формирования критичных (предельных) структур знаний, а также имплицитного опыта.

Подобные модели могут найти применение при создании партнерских систем и систем с распределенным интеллектом в медицине, образовании и других предметных областях.

Постановка задач исследования. Основными задачами исследования являются:

— выделение и анализ свойств базовых когнитивных и когнитивно-поведенческих сущностей;

— выделение и анализ свойств производных когнитивных сущностей, в частности таких, как «идеальные закономерности», «(предельные) модели знаний» и т.д.;

— построение моделей спонтанной когнитивной динамики, изучение свойств аттракторов данных моделей;

— изучение с помощью моделей динамики особенностей природного механизма выделения параметров порядка и формирования имплицитного опыта.

Результаты исследования

Для решения поставленных задач выдвинуто предположение о существовании единого универсального принципа структурирования информационно-энергетических потоков внутри самореферентной области, ответственной за когнитивные процессы. Следствием принципа являются декогерентные и рекогерентные модели трех взаимосвязанных базовых информационно-энергетических сущностей:

— орграфов значений, доменов, набросков (целое представляется суперпозицией набросков);

— динамических системопаттернов;

— структурной энергии.

Системопаттерны образуют каналы движения структурной энергии. Элементы-сущности находятся в постоянном движении из-за своей структурной неустойчивости (структурного разнообразия), что создает внутренние движущие силы и обеспечивает самодвижение. Трехсущностные взаимодействия порождают *виртуальную сплошную среду* [7], которая может служить моделью субъективной реальности [3].

Базовые сущности: тесты; орграфы значений, доменов, набросков.

Произвольные модальности, характеристики, категории, свойства, качества, квалиа (qualia), признаки явлений действительности и субъективной реальности обозначим одним термином *тест*. Этим же термином будем обозначать любые мономодальные орграфы на базе отношения «обобщение — детализация» (такие орграфы могут лежать в основе регулирующих сетей, например в физиологии). Любой тест может принимать определенные значения. Под значениями будем понимать как собственно значения, так и коды, метки, пейсмекеры (берущие на себя инициативу, задающие активность, стиль, ритм действий), ссылки, указатели на комплексные структуры и процессы.

Множество значений теста τ обозначим $\{\tau\}$. Множество значений теста τ с обобщающими связями назовем *орграфом значений* и обозначим $G\nu(\tau) = \{a \rightarrow_e b\}_\tau$, где a, b — значения теста (b обобщает a ; a детализирует b ;

a эквивалентно b : $a \leftrightarrow_e b$); e — структурная энергия. Фундаментальная триада ($a \rightarrow_e b$), реализуя *сильные связи*, является простейшим системопаттерном и базовым конструктом смысла. Если значение является указателем (ссылкой), то энергия активации отражает степень возбуждения подчиненной структуры.

Если на часть значений одного теста наложить ограничение целостности и проследить эволюцию данной целостности (домена) в процессе обобщения, то получим *орграф доменов теста*. Если ограничение целостности наложить на группу значений разных тестов и проследить эволюцию данной целостности (образа, наброска) в процессе обобщения, то получим *орграф набросков образа*. Дадим формальные определения данных структур.

Для фиксации того, что в качестве множества результатов теста τ используется домен T , будем использовать нотацию: τ/T . Правила пересчета значений теста из одного домена в другой задают *взвешенный орграф доменов теста* $G(\tau) = \{T \rightarrow_e T'\}_\tau$, где e — структурная энергия (проводимость связи), которая может динамически изменяться. Домен слева от стрелки в фундаментальной триаде ($T \rightarrow_e T'$) будем называть *доменом-предком (родителем)*, а справа от стрелки — *доменом-потомком*. Совокупная смысловая область элементов домена-потомка полностью совпадает с совокупной смысловой областью элементов домена-предка. Без ограничений общности положим, что домены орграфа $G(\tau)$ состоят из альтернативных элементов (точечных или атомарных элементов) и атомарный элемент любого домена однозначным образом преобразуется в атомарные элементы доменов-потомков.

С помощью структурной энергии можно моделировать такие эффекты памяти, как распространение волновой активности, «забывание», «вспоминание» и т.д. Детализация структурной энергии на уровне домена позволяет рассмотреть динамические особенности обобщения каждого элемента каждого домена, а именно: $\forall a \in T (T.a, e_a \rightarrow T'.a')$.

Орграф доменов имеет одну *базовую вершину* T_0 — базовый домен со значениями (элементами) максимально высокого уровня точности. В базовую вершину не входит ни одна дуга орграфа. Любой домен орграфа проецируется на весь базовый домен, т.е. все домены являются набросками базового домена.

Орграфы значений, доменов, набросков не имеют циклов. Если имеются разные пути перехода к какой-либо вершине, то эти пути должны приводить к одному и тому же результату (не должно быть конфликтов). *Терминальные вершины*, или вершины, из которых не выходит ни одна дуга, задают значения, домены, наброски максимальных уровней обобщенности. Орграф не может содержать двух одинаковых вершин, т.е. таких вершин, которые выдают одинаковые значения теста при одном и том же базовом значении. Помимо *восходящего* преобразования (обобщения), имеет место и обратное — *нисходящее* преобразование (от общего к частному).

Конфигуратором теста называется процедурная реализация орграфа доменов [9]. Ниже приведены примеры конфигураторов двух тестов «Возраст» и «Температура».

Возраст {B3 {Молодой ^1; Немолодой ^2 3} B2 {Молодой ^1 [1; 33]; Средних лет ^2 (33; 60); Пожилой ^3 (60; 100)} B1 {[1; 100]}}.

$$G(\text{Возраст}) = \{B1 \rightarrow B2 \rightarrow B3\}.$$

Температура \wedge Темп {Т4 {Норма \wedge 2; Отклонение \wedge 1 3} Т3 {Низкая \wedge 1; Норма \wedge 2; Повышенная \wedge 3 4} Т2 {Низкая \wedge 1 [35,0; 36,5]; Норма \wedge 2 (36,5; 36,9); Повышенная \wedge 3 (36,9; 38,0); Высокая \wedge 4 (38,0; 42,0)} Т1 {[35,0; 42,0]}.

$$G(\text{Температура}) = \{T1 \rightarrow T2 \rightarrow T3 \rightarrow T4\}.$$

Домены Т1 и В1 являются базовыми (самыми точными), домены Т4 и В3 — терминальными.

Автоматизмами среды *всегда* порождается *смысловая траектория* обобщения любого значения любого домена, в частности базового, например:

Возраст/В1? 77 \rightarrow Возраст/В2? Пожилой \rightarrow Возраст/В3? Немолодой;

Темп/Т1? 39,4 \rightarrow Темп/Т2? Высокая \rightarrow Темп/Т3? Повышенная \rightarrow Темп/Т4? Отклонение.

На основе орграфов доменов могут быть построены структурно-завершенные орграфы доменов $G^+(\tau)$ путем автоматического порождения вершин-листьев (дуад, оппозиций) вида $\{a; \neg a\}$ для каждого элемента дискретного домена [7, 9]. Графические изображения предельных структурно-завершенных орграфов доменов тестов «Возраст» и «Температура» показаны на рис. 1 (листья светлые, базовые вершины темные). Вершины Т4 и В3 совпадают с некоторыми листьями, поэтому на рисунках не обозначены.



Рис. 1. Структурно-завершенные орграфы доменов:
а — тест «Возраст»; б — тест «Температура»

Приведенные примеры показывают, каким образом в орграфах значений и доменов порождается *смысл* при движении информации от сенсориума (измерительной системы) к высшим отделам обработки и анализа информации. Следует отметить, что наличие знаков (термов) для элементов доменов не является обязательным:

Возраст {В3 { \wedge 1; \wedge 2 3} В2 { \wedge 1 [1; 33]; \wedge 2 (33; 60); \wedge 3 (60; 100)} В1 {[1; 100]}.

Все дальнейшие построения, включая модели знаний, работают и в этом случае и позволяют рассматривать когнитивные процессы у животных. Знаковая интерпретация доменных структур высокого уровня обобщения — это самое последнее приобретение эволюции, приведшее к языку. В общем случае можно сказать, что лишь малая часть тестов имеют знаковую (вербальную) интерпретацию в силу полимодальности любого образа. Это объясняет, почему традиционные лингво-логические интеллектуальные

системы не обеспечивают однозначного соответствия между когнитивным представлением и описанием в вербальной форме.

Пусть W — произвольное явление действительности или образ, тогда *орграфом набросков* назовем структуру вида $G_s(W) = \{P \rightarrow_e P'\}_W$, где P, P' — наброски; e — структурная энергия (проводимость связи). Причем $|I(P')| < |I(P)|$, где I — оператор вычисления информации (происходит диссипация информации). Любой набросок P при декогерентном рассмотрении является множеством значений тестов $\{\tau\}_P$. Для одного и того же образа W могут быть построены орграфы набросков разных типов [7]. Каждому типу соответствует свой оператор I . Орграф доменов является частным случаем орграфа набросков.

Установлено [7–9], что орграфы набросков обладают следующими существенными свойствами (при рекогерентном рассмотрении [15] с позиций когнитивного подхода).

Суперпозиция набросков в целое (образ) осуществляется на основе волновой функции с распределением по степенному закону (имеет место самоорганизующаяся критичность). Происходит квантово-семантическое запутывание орграфов набросков. Орграфы набросков формируются рекуррентным, самоподобным образом. Они структурно неустойчивы, что проявляется в постоянном спонтанном изменении структуры при постоянстве внешних условий. Тут важно отметить, что система с переменной структурой элементов может создавать внутренние движущие силы и за счет них обладать самодвижением и эволюцией. Слои набросков размещаются в разных отделах памяти (быстрые, медленные, сверхмедленные отделы), что обусловлено стремлением минимизировать структурную энергию. Волны возбуждений в орграфах значений, доменов, набросков (рис. 2) можно рассматривать в рамках осцилляторно-полевой модели, представляющей собой систему осцилляторов, взаимодействующих через единое поле. В данном аспекте можно изучать явления самоорганизации, резонанса, энергетического подкрепления и подавления.

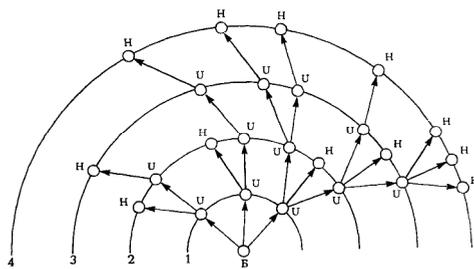


Рис. 2. Пример семантической волны, распространяющейся от базовой вершины: B — базовая вершина; H — финитные вершины; U — промежуточные вершины

В общем случае семантическую волну может генерировать любой набросок, а не только базовый. При этом волна распадается на две части: волну обобщения и волну информационной инфляции (детализации, перколяции) [7, 8].

В совокупности орграфы значений/доменов образуют *Банк тестов*: $\{Gv(\tau)\}$ или $\{G(\tau)\}$. Различные комбинации доменов для всех тестов

определяют различные уровни обобщенности описания ситуаций действительности. Банк тестов обеспечивает переход от физической реальности к феноменологическому пространству (ФП) и служит *системой координат* произвольного ментального многообразия ФП (рис. 3) [7].

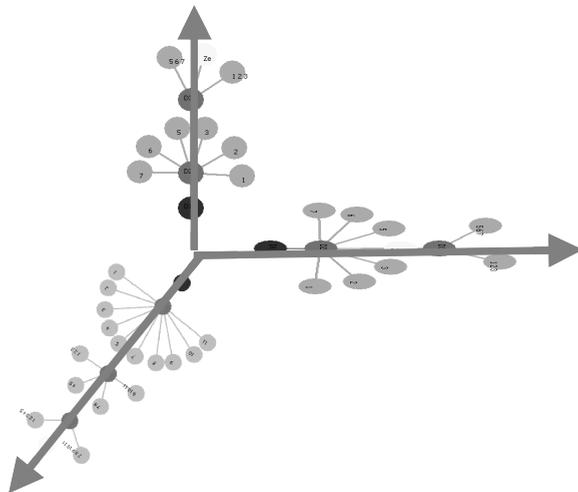


Рис. 3. Система координат ментального многообразия

ФП является объединением ментальных многообразий (ММ). Каждое ММ имеет в общем случае свою систему координат. Одно и то же явление или образ могут быть представлены в разных ММ. В общем случае в качестве системы координат ММ выступает произвольный *Банк образов* $\{G_s(W)\}$. Поскольку любой набросок P на нижнем уровне описывается с помощью $\{G_v(\tau)\}$ или $\{G(\tau)\}$, то $\{G_s(W)\}$ является системой координат более высокого уровня общности (порождение образов из образов). В этом смысле можно говорить об *иерархии систем координат* ММ по степени обобщенности, что отвечает различным способам деления целого на части. Пример системы координат $\{G_s(W)\}$: W_1 — Пациент, W_2 — Врач, W_3 — Качество (экземпляры образов принадлежат базам прецедентов). Каждый образ, в свою очередь, описывается в собственном ММ с системой координат $\{G(\tau)\}_W$. Иерархия систем координат позволяет *погружать* образ, ситуацию в расширенный контекст, который задается фиксацией ММ.

Важно отметить, что множественные описания образа, явления, ситуации существуют *одновременно*. Другими словами, имеет место неразделяемая *суперпозиция описаний* разного уровня обобщенности. Подобная суперпозиция препятствует вербализации (декогеренции). Общее количество описаний или *информационных экранов* определяется выражением

$$M = \prod_{\tau \in \{G(t)\}} |G(\tau)|, \quad (1)$$

где $|G(\tau)|$ – число доменов в орграфе $G(\tau)$.

Суперпозиция набросков в орграфе набросков при рекогерентном рассмотрении описывается так называемой *волновой функцией* ψ , которая составляется по определенному правилу из набросков:

$$\psi = C_1 \psi_1 + C_2 \psi_2 + C_3 \psi_3 + \dots \quad (2)$$

Функции ψ_1, ψ_2, ψ_3 и т. д. различных набросков входят в волновую функцию ψ с тем большими коэффициентами (с тем большим весом), чем

меньше энергия, рассчитанная для соответствующей структуры. Наименьшая энергия соответствует критическим наброскам (в активном образе из ММ), поэтому в первом приближении можно ограничиться критическими набросками [7]. Кроме суперпозиции набросков имеет место суперпозиция элементов любого наброска и суперпозиция связей. Таким образом, истинная репрезентация образа является взвешенной суперпозицией разных «предельных структур» [7, 8].

Будем говорить, что домен T доминирует домен T' в рамках орграфа $G(\tau)$, если они не совпадают и существует путь $T \rightarrow \dots \rightarrow T'$. Доминирование обозначим нотацией: $T < T'$. Нестрогое доминирование (домены могут совпадать) обозначим нотацией: $T \leq T'$. Если один домен доминирует другой, то он имеет более высокий уровень обобщения. Ясно, что все терминальные вершины орграфа $G(\tau)$ являются недоминируемыми. Между любыми двумя вершинами орграфа доменов либо существует отношение доминирования, либо нет. Примеры доминирования на базе орграфов доменов тестов «Возраст» и «Температура»: $T1 < T3$; $T2 < T3$; $T1 < T4$; $V1 < V3$. Недоминируемыми являются только вершины $V3$ и $T4$. Эти же вершины доминируют все остальные вершины в своих орграфах.

Базовые сущности: системопаттерны, радикалы, функциональные системы. Любые преобразования, движения, вывод, импульсы, вычислительные модели в системе координат ММ ФП $\{G(\tau)\}$ можно описать с помощью *динамических системопаттернов* (или просто системопаттернов) вида [7]

$$f/\mu: \{a/A\}, e/E \rightarrow \{b/B\}, \quad \mu \in \{\mu\}_f, \quad (3)$$

где $\{a/A\}$ — входные тесты; $\{b/B\}$ — выходные тесты; e/E — требуемая структурная энергия, ресурсы; μ — механизм реализации. С помощью структурной энергии, в частности, может передаваться возбуждение (активность) в вычислительной среде. Преобразования между доменами ($T \rightarrow_e T'$) или набросками ($P \rightarrow_e P'$) являются разновидностями системопаттернов. В самом общем понимании системопаттерны — это воплощенное *мыследействие*.

Для любого системопаттерна f/μ строится орграф набросков $G_s(f/\mu)$, что позволяет системно реализовать *метамоделирование* (любой набросок системопаттерна является системопаттерном). Важным свойством системопаттернов является их активность: если системопаттерн запущен, то он самостоятельно может искать значения входных тестов $\{a/A\}$. Реальная скорость выполнения системопаттерна зависит от наличной структурной энергии (ресурсов). Только выполнение автоматизмов не зависит от e/E .

К числу простейших системопаттернов относятся *радикалы*. Радикал может находиться в двух состояниях: активном и пассивном [6]. Управлять можно только переводом радикала из одного состояния в другое, при этом входные и выходные тесты извне не задаются. На основе радикалов можно строить иерархии *сред радикалов* (СР) и описывать гомеостаз любой системы [7]. СР позволяют моделировать как физиологические (гомеостатические) функциональные системы, так и «материализовавшиеся» функциональные системы когнитивно-поведенческого уровня «модель знаний — СР», что позволяет говорить о *синтетической телесно-феноменологической онтологии* [7], проливающей свет на проблему «мозг — сознание» [3].

В самом общем виде произвольный банк математических моделей k в рамках ментального многообразия с системой координат $\{G(\tau)\}$ можно

представить в виде множества системопаттернов [7]:

$$k = \{f/\mu: \{J_a a/A\}, J_e e/E \rightarrow \{J_b b/B\}, \mu \in \{\mu\}_{f_b}\} \cup P_k, \{Gs(f/\mu)\} \subset k, \quad (4)$$

где J — оператор оценки истинности, который также является тестом; P_k — правила композиции и обобщения системопаттернов и/или передачи структурной энергии. Последнее условие отражает тот факт, что орграфы набросков системопаттернов также принадлежат k . На базе (4) можно строить метамодели, формировать вычислительные потоки и потоки работ. Поскольку любые орграфы набросков могут быть представлены в квантово-семантическом формате [8], то и банк моделей имеет рекогерентное квантово-семантическое представление для $Gs(k)$.

В форме (4) можно представить произвольные *функциональные системы* (ФС), а также среды агентов. Каждый агент может реализовывать определенное подмножество системопаттернов. Модель (4) можно рассматривать и как систему осцилляторов, взаимодействующих через единое поле с явлениями резонанса, энергетического подкрепления и подавления, описывая один из каналов передачи структурной энергии (фрагмент правил P_k). Осцилляторно-полевая модель масштабируется до уровня взаимодействующих ФС, сред радикалов/агентов, позволяя рассматривать *эпифункциональные системы*, возникающие по принципам синхронизации элементов без обратной связи от адаптивного эффекта такой констелляции [1].

Следом за [6], совокупность одновременно активных системопаттернов назовем *системоквантом*. Данное понятие масштабируется до уровня ментального многообразия, ФС, среды радикалов и ФП.

Таким образом, орграфы значений, набросков, системопаттерны и структурная энергия неразрывно связаны и определяют все процессы в ФП. Подобная трактовка архитектур и процессов ФП позволяет выдвинуть важную гипотезу: на основе нервной системы (виртуальной сплошной среды) реализуются три качественно разных уровня передачи структурной энергии, регуляции и управления: нейронально-импульсный, осцилляторно-полевой и квантово-семантический (голографический). Гипотеза позволяет интегрировать ряд взаимоисключающих подходов, показавших эффективность в отдельных областях.

Производные сущности: банк прецедентов, закономерности, модели знаний. Для решения той или иной когнитивной задачи (Z -задачи, образующей ММ) формируется множество прецедентов с известными исходами $\Omega = \{\alpha(\{\underline{\tau}/T\}, \underline{z}/Z)\}$, где $Z = \{1, \dots, N\}$ — множество заключений (диагнозов, прогнозов, управлений); $\{\underline{\tau}/T\}$ — множество значений тестов.

Z -задача формирует акт различения. Акт различения — это системоквант «мыследействия» когнитивной системы, базовая функция наблюдателя, поэтому мыслительный многоконтурный процесс можно свести к замкнутым циклам трансформ различений, превращений одних различений в другие (одних Z -задач в другие). В процедурном плане любая Z -задача решается с помощью соответствующей среды радикалов.

Без потери общности примем, что каждый тест входит в описание прецедента (ситуации действительности) один раз. Кроме того, будем рассматривать описания прецедентов с полной информацией (имеются значения всех тестов из $\{G(\tau)\}$). Через $\Omega(\{\tau/T_0\})$ обозначим априорные описания прецедентов.

Зафиксируем уровень общности $\{\tau/T\}$. Описание базы прецедентов $\Omega(\{\tau/T\}, Z)$ назовем *конфликтным*, если существуют хотя бы два прецедента

$\alpha(\{\underline{\tau}/T\}_\alpha, \underline{z}_\alpha)$ и $\beta(\{\underline{\tau}/T\}_\beta, \underline{z}_\beta)$, такие, что $\{\underline{\tau}/T\}_\alpha = \{\underline{\tau}/T\}_\beta$, но $\underline{z}_\alpha \neq \underline{z}_\beta$. Будем предполагать, что априорное описание $\Omega(\{\tau/T_0\}, Z)$ бесконфликтно.

Будем говорить, что описание $\{\tau/T'\}$ доминирует описание $\{\tau/T\}$, если $\forall \tau: T \leq T'$ и $\exists \tau: T < T'$. Доминирование описаний будем обозначать нотацией: $\{\tau/T\} < \{\tau/T'\}$. Приведем пример:

$\{\text{Возраст}/B2; \text{Темп}/T2\} < \{\text{Возраст}/B2; \text{Темп}/T3\} < \{\text{Возраст}/B3; \text{Темп}/T4\}$.

Между описаниями $\{\text{Возраст}/B2; \text{Темп}/T3\}$ и $\{\text{Возраст}/B1; \text{Темп}/T4\}$ нельзя установить отношение доминирования. Нестрогое доминирование (все домены могут совпадать) обозначим нотацией $\{\tau/T\} \leq \{\tau/T'\}$. Отношение доминирования распространим на любое множество тестов $\{a/A\}$.

Предложение 1. Если описание базы прецедентов $\Omega(\{\tau/T\}, Z)$ бесконфликтно, то бесконфликтны также все описания $\Omega(\{\tau/T'\}, Z)$, такие, что $\{\tau/T'\} < \{\tau/T\}$. Если описание базы прецедентов $\Omega(\{\tau/T\}, Z)$ конфликтно, то конфликтны также все описания $\Omega(\{\tau/T'\}, Z)$, такие, что $\{\tau/T\} < \{\tau/T'\}$.

Описание базы прецедентов назовем *критическим* — $\{\tau/T\}^*$, если оно бесконфликтно, но любое доминирующее описание конфликтно. Остальные бесконфликтные описания назовем *докритическими*. Все конфликтные описания назовем *надкритическими* [7].

Множество всех описаний базы прецедентов образует оргграф набросков $\Omega(Z)$, в котором $\Omega(\{\tau/T\}, Z)$ — отдельный набросок, а множество критических описаний образует *экстремальный пограничный слой набросков* [7]. Можно также рассмотреть оргграф набросков каждого прецедента α , тогда описание $\alpha(\{\underline{\tau}/T\}, \underline{z}/Z)$ — это отдельный набросок. Для каждого прецедента можно найти критические наброски максимального уровня общности, которые позволяют отличить данный прецедент от всех остальных прецедентов из Ω . Надкритические наброски служат основой для проведения аналогий и переноса.

Контекстом Z -задачи назовем кортеж $K = \langle \Omega(Z), \{G(\tau)\} \rangle$. Заданием K любой прецедент *погружается* в контекст K . Пусть $\{\tau\}$ — полный набор тестов в рамках Банка тестов $\{G(\tau)\}$.

Идеальной закономерностью V в рамках контекста K назовем произвольную совокупность значений тестов, позволяющую однозначно установить заключение:

$$V = (\{a/A\} \rightarrow \underline{z}/Z), \quad \exists \alpha(\{\underline{\tau}/T\}_\alpha, \underline{z}/Z) \in \Omega(Z): \{a/A\} \subseteq \{\underline{\tau}/T\}_\alpha.$$

Компактная запись: $V(\{a/A\}, \underline{z}/Z)$. «Идеальность» закономерности вытекает из субъективного характера банка тестов. Закономерность является разновидностью системопаттерна и примером *слабой связи*. Ее можно трактовать как когнитивный условный рефлекс.

Закономерность может быть избыточна, что подтверждает следующее предложение.

Предложение 2. Если $V(\{a/A\}, \underline{z}/Z)$ — закономерность в рамках контекста K , то любое множество значений тестов $\{a/A\} \cup \{b/B\}$, такое, что $\{a\} \cap \{b\} = \emptyset$, образует закономерность $V'(\{a/A\} \cup \{b/B\}, \underline{z}/Z)$ в рамках контекста K при выполнении условия $\exists \alpha(\{\underline{\tau}/T\}_\alpha, \underline{z}/Z) \in \Omega(Z), \{a/A\} \cup \{b/B\} \subseteq \{\underline{\tau}/T\}_\alpha$.

Предложение 3. Закономерность $V(\{a/A\}, \underline{z}/Z)$ применима ко всем описаниям прецедентов $\{\alpha(\{a/A'\} \cup \{b/B\}, \underline{z}/Z)\}$, таким, что: 1) $\{a\} \cap \{b\} = \emptyset$, $\{a\} \cup \{b\} = \{\tau\}$; 2) $\{a/A'\} \leq \{a/A\}$.

Действительно, любой набросок $\alpha(\{a/A'\} \cup \{b/B\}, \underline{z}/Z)$ путем обобщения

переходит в набросок $\alpha(\{\underline{a}/A\} \cup \{\underline{b}/B\}, \underline{z}/Z)$, для которого применяется закономерность $V(\{\underline{a}/A\}, \underline{z}/Z)$.

Формальным синдромом S (или просто *синдромом*) в рамках контекста K назовем неизбыточную идеальную закономерность. Другими словами, ни один тест из описания $S(\{\underline{a}/A\}, \underline{z}/Z)$ убрать нельзя без потери однозначности заключения.

Будем говорить, что закономерность $V'(\{\underline{a}/A\}', \underline{z}/Z)$ *доминирует* закономерность $V(\{\underline{a}/A\}, \underline{z}/Z)$, если $\{a\}' \subseteq \{a\}$, $\forall a \in \{a\}': A \leq A'$ и выполняется хотя бы одно из условий: а) $|\{a\}'| < |\{a\}|$; б) $\exists a \in \{a\}': A < A'$.

Предложение 4. Для любого синдрома S доминирующей закономерностью может быть только синдром с тем же составом тестов.

Предельным синдромом S^* в рамках контекста K назовем синдром, у которого отсутствуют доминирующие закономерности. Некоторые предельные синдромы могут претендовать на роль параметров порядка для группы ситуаций $\{\alpha(\underline{z}/Z)\}$. Предельные синдромы, выступающие в качестве параметров порядка, используются для организации целенаправленного поведения (синдромный принцип управления) [7].

Множество всех закономерностей в рамках контекста K обозначим через $\{V\}_{Full}$, множество всех синдромов обозначим через $\{S\}_{Full}$, а множество всех предельных синдромов обозначим $\{S^*\}_{Full}$. Ясно, что $\{S^*\}_{Full} \subseteq \{S\}_{Full} \subseteq \{V\}_{Full}$.

Моделью знаний назовем произвольное множество закономерностей $\{V\}$, которое позволяет установить заключение как минимум для каждого прецедента из $\Omega(\{\tau/T_0\}, Z)$.

Будем говорить, что модель знаний $\{V'\}$ *доминирует модель знаний* $\{V\}$, если она применима к большему числу набросков прецедентов из $\Omega(Z)$, включая и те наброски, к которым применима $\{V\}$. Факт доминирования будем отражать нотацией $\{V'\} > \{V\}$. Будем говорить, что модели знаний $\{V'\}$ и $\{V\}$ *эквивалентны в плане доминирования*, если они применимы к одному и тому же множеству набросков прецедентов. Факт эквивалентности в плане доминирования будем отражать нотацией $\{V'\} \sim \{V\}$. Если для модели знаний $\{V\}$ не существует доминирующая модель, то будем говорить, что она *недоминируема*. Если между двумя моделями знаний $\{V'\}$ и $\{V\}$ не выполняется отношение доминирования и они не эквивалентны в плане доминирования, то будем говорить, что такие модели знаний *несравнимы между собой в плане доминирования*. Данный факт будем отражать нотацией $\{V'\} \succ \{V\}$.

Предложение 5. В рамках любого критического $\{\tau/T\}^*$ или докритического описания базы прецедентов можно построить модели знаний, но в рамках любого надкритического описания $\{\tau/T\} > \{\tau/T\}^*$ такой модели построить нельзя.

Предложение 6. Модели знаний $\{V\}_{Full}$, $\{S\}_{Full}$ и $\{S^*\}_{Full}$ *недоминируемы* и эквивалентны в плане доминирования.

Большой практический интерес представляет поиск всех минимальных (неизбыточных) по составу моделей знаний, которые принадлежат $\{S^*\}_{Full}$ и эквивалентны по доминированию $\{S^*\}_{Full}$. Такие модели знаний обозначим $\{S^*\}_{Full-Min}$. Их поиск может быть выполнен методом исключения части синдромов $\{S^*\}_{Full}$.

«Материализация» минимальных моделей в виде СР приводит к ФС когнитивно-поведенческого уровня: « $\{S^*\}_{Full-Min}$ – Среда радикалов» и описывает процесс формирования *имплицитного опыта*: обучение начинается

на когнитивном уровне, а результат переходит на уровень рефлекторных реакций. Развиваемый формализм помогает *осознать* имплицитный опыт и перевести его в эксплицитный опыт.

Динамика формирования моделей знаний. Пусть $V(\{\underline{a}/A\}, \underline{z}/Z)$ и $V'(\{\underline{b}/B\}, \underline{z}/Z)$ — две закономерности. Элементарной операцией обобщения Φ^1 назовем переход $V \rightarrow V'$, в котором обобщается значение лишь одного из тестов закономерности V по схеме $A @ A'$ (родитель — потомок). Верхний индекс означает тип операции (1 — операция обобщения). Состав тестов закономерности V при операции обобщения Φ^1 не изменяется. Ясно, что при данной операции происходит диссипация информации. Общее количество различных операций типа Φ^1 определяется выражением

$$|\{\Phi^1\}| = \sum_{\tau \in \{\tau\}} |\{T \rightarrow_e T'\}_\tau|. \quad (5)$$

Элементарной операцией редукции Φ^2 назовем переход $V \rightarrow V'$, при котором исключается один из тестов закономерности V . При данной операции также происходит диссипация информации. Общее количество различных операций типа Φ^2 совпадает с $|\{\tau\}|$. Операции $\{\Phi^V\}$ представляют собой элементарные *акты познания*.

Пусть фиксирован контекст K и множество операций $\{\Phi^V\}$. Тогда нелинейную дискретную хаотическую информационно-диссипативную систему будем описывать следующим рекуррентным соотношением:

$$\{V\}_{n+1} = \Phi_{\sigma_n}(\{V\}_n, \Omega(Z), \{G(\tau)\}), \quad n = 0, 1, 2, \dots, \Phi_{\sigma_n} \in \{\Phi^V\}, \quad (6)$$

$$\{V\}_0 = \{\{\underline{\tau}/T_0\}_\alpha \rightarrow (\underline{z}/Z)_\alpha \mid \alpha \in \Omega(\{\tau/T_0\}, Z)\},$$

$$|\{\Phi^V\}| = |\{\Phi^1\} \cup \{\Phi^2\}| = |\{\Phi^1\}| + |\{\Phi^2\}| = \sum_{\tau \in \{\tau\}} |\{T \rightarrow_e T'\}_\tau| + |\{\tau\}|,$$

где Φ_{σ_n} выбирается с вероятностью p_{σ_n} (сумма всех вероятностей равна единице). На каждом шаге процесса случайно выбранная операция Φ^V из множества операций $\{\Phi^V\}$ применяется к случайно выбранной закономерности из $\{V\}_n$. Если к выбранной закономерности нельзя применить Φ^V , то случайным образом выбирается другая закономерность из оставшихся и т.д. Если выбранную операцию Φ^V нельзя применить ни к одной закономерности из $\{V\}_n$, то случайным образом выбирается другая операция из оставшихся. Процесс (6) останавливается только тогда, когда к $\{V\}_n$ нельзя применить ни одну операцию из $\{\Phi^V\}$. Аттрактором процесса является неподвижная точка — некоторое множество закономерностей $\{V\}_{fin}$.

Во многом процесс (6) напоминает *систему случайных итеративных функций* (ССИФ) — сжимающих отображений, порождающих фракталы [4]. Этот процесс чаще всего происходит в диссипативных системах, траектории которых заполняют низкоразмерное инвариантное притягивающее подмножество — аттрактор в фазовом пространстве. Если W — оператор Хатчинсона СИФ, то неподвижная точка, A такая, что $W(A) = A$, называется аттрактором СИФ или фракталом [4]. В нашем случае когнитивным аналогом оператора Хатчинсона является $\{\Phi^V\}$ (сохраним обозначение W): $W(\{V\}) = \{W(V) \mid V \in \{V\}\}$.

Пусть $H(\{V\}_{Full})$ — множество непустых подмножеств $\{V\}_{Full}$, тогда в отличие от (6) когнитивный аналог оператора Хатчинсона W описывает детерминированную дискретную динамическую систему с пространством состояний $H(\{V\}_{Full})$ и преобразованием W .

Если W^n — композиция порядка n оператора W , то последовательность множеств, полученную в результате итерирования $\{V\}$, т.е. $\{\{V\}, W(\{V\}), W^2(\{V\}), \dots, W^n(\{V\}), \dots\}$, назовем *смысловой орбитой* $\{V\}$. Траекторию $\{V\}_0 \rightarrow \{V\}_1 \rightarrow \dots \rightarrow \{V\}_{fin}$ назовем *хаотической смысловой траекторией* множества закономерностей $\{V\}_0$. «Созревание» орграфов набросков происходит путем наращивания хаотических траекторий. Отметим, что множество $\{V\}_0$ является моделью знаний по определению.

Предложение 7. Любое множество закономерностей $\{V\}_n$ ($n = 0, 1, 2, \dots, fin$), порождаемое процессом (6), является моделью знаний. Справедливо также $\{V\}_0 \leq \{V\}_1 \leq \dots \leq \{V\}_{fin}$.

Важно, что, несмотря на диссипацию информации, доминирование не уменьшается, а наоборот, как правило, увеличивается.

Предложение 8. Аттрактор динамического процесса (6) принадлежит множеству предельных синдромов $\{S^*\}_{Full}$. Объединение аттракторов всех процессов (6) в точности совпадает с $\{S^*\}_{Full}$. Другими словами,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} W^n(\{V\}_0) = \{S^*\}_{Full}. \quad (7)$$

Неподвижная точка $A = \{S^*\}_{Full}$ является аттрактором множества операций $\{F^v\}$.

Модели (6), (7) описывают когнитивную эволюцию или смысловой *информогенез* предельных моделей знаний при фиксированном контексте K . Смысловая орбита образует орграф набросков первичной сенсорной информации $\Omega(\{\tau/T_0\}, Z)$, т.е. модели знаний $\{V\}_0$. Важно отметить, что орграф набросков может формироваться длительное время на основе хаотических смысловых траекторий, обуславливая структурную неустойчивость применяемых моделей знаний и спонтанное самодвижение. Ситуация усложняется, если изменяется контекст K .

Введем в рассмотрение третью элементарную операцию — Φ^3 , суть которой состоит в исключении какой-либо закономерности V из модели знаний $\{V\}$ при условии, что $\{V\}' = \{V\} \setminus V$ эквивалентна в плане доминирования $\{V\}$. Ясно, что операция Φ^3 также приводит к диссипации информации. Количество возможных операций — $|\{V\}|$.

Рассмотрим вторую фазу нелинейного хаотического процесса когнитивной эволюции, а именно:

$$\{V\}_{n+1} = \Phi_{\sigma_n}(\{V\}_n, \Omega(Z), \{G(\tau)\}), \quad n = 0, 1, 2, \dots, \quad (8)$$

$$\{V\}_0 = \{S^*\}_{Full},$$

$$\Phi_{\sigma_n} \in \{\Phi^3\}_n, \quad |\{\Phi^3\}| = |\{V\}_n|,$$

где Φ_{σ_n} выбирается из $\{\Phi^3\}_n$ с вероятностью p_{σ_n} (сумма всех вероятностей равна единице). Принцип построения процесса (8) совпадает с принципом построения процесса (6).

Предложение 9. Аттрактором динамического процесса (8) является неизбыточная предельная модель знаний $\{S^*\}_{Full-Min}$. Совокупность аттракторов всех процессов (8) совпадает с полным набором всех неизбыточных предельных моделей знаний $\{\{S^*\}_{Full-Min}\}$.

Модели динамики вида (6)–(8) могут быть построены для обработки любого образа. Состав возможных операций приведен в [7]. Хаотические смысловые траектории заканчиваются финитными набросками, а орбита образует орграф набросков.

Модели (6)–(8) должны быть дополнены динамикой контекста K (изменяется Банк тестов, включая структурную энергию, и/или база прецедентов). Так, динамику изменения базы прецедентов можно представить соотношением

$$\Omega(t + 1) = \Omega(t) \cup \{\alpha\}_t, \quad (9)$$

где $\{\alpha\}_t$ — новые ситуации. После каждого значимого изменения контекста эволюция (6)–(8) запускается заново (аналог эволюции после когнитивной катастрофы).

Биологическая аналогия вытекает из того факта, что случайная ИНС является аппроксиматором дискретной динамической системы с заданным аттрактором [4]. Примеры построения ИТ-приложений на основе предлагаемого формализма рассмотрены в [7, 10].

Заключение. С формализацией описания спонтанных идеальных процессов фактически вводится новое естественнонаучное представление о феномене идеального, лежащего в основе организации любой деятельности.

Предлагаемый подход позволяет научить осознанно (целенаправленно) выделять параметры порядка в самых разных ситуациях действительности и использовать найденные параметры для управления. Эффективным средством интенсификации обучения являются когнитивные тренажеры. Они полностью адекватны мышлению специалиста, поэтому у студентов не возникает психологического дискомфорта [7].

Важным моментом является реализация трансдисциплинарного подхода: на основе орграфов значений, доменов, набросков интегрируются все формализмы — дискретные, непрерывные, нечеткие, интервальные, фрактальные, квантовые и т.д.

Следует отметить также высокую робастность процесса формирования предельных моделей знаний. Действительно, поражение даже значительной части орграфов позволяет получить некоторые из моделей $\{\{S^*\}_{Full-Min}\}$.

1. Анохин К.В. Когнитом — теория реализованных степеней свободы мозга / К.В. Анохин // Тезисы докладов V Междунар. конф. по когнитивной науке (18–24 июня 2012 г., Калининград, Россия). — Т. 1. — Калининград : БФУ, 2012. — С. 429–430.
Anokhin K.V. Cognitom, the theory of embodied degrees of freedom of the brain. *Proc. of fifth Int. Conf. on Cognitive Science (June 18–24, 2012, Kaliningrad, Russia)*, Vol. 1, Kaliningrad, Immanuel Kant Baltic Federal University Publ., 2012, pp. 429–430.
2. Валькман Ю.Р. Модельно-параметрическое пространство — средство представления знаний исследователей сложных систем / Ю.Р. Валькман, А.Ю. Рыхальский // УСиМ. — 2009. — № 1. — С. 20–30.
Valkman Yu.R., Ryhalsky A.Yu. A Model-Parametrical Space – the Means of Representation of the Knowledge of Researchers of Complex Systems. *USiM*, 2009, no.1, pp. 20–30.
3. Дубровский Д.И. Сознание, мозг, искусственный интеллект / Д.И. Дубровский. — М. : Стратегия-Центр, 2007. — 272 с.
Dudrovsky D.M. *Consciousness, the Brain, Artificial intelligence*. Moscow, Strategy — Center Publ., 2007. 272 p.
4. Макаренков Н.Г. Фракталы, аттракторы, нейронные сети и все такое / Н.Г. Макаренков // Лекции по нейроинформатике. Ч. 2. — М. : МИФИ, 2002. — С. 121–168.
Makarenkov N.G. Fractals, attractors, neural networks and all that. *Lectures on Neuroinformatics*, Part 2, Moscow, MPhI Publ., 2002, pp. 121–168.
5. Палагин А.В. Знание-ориентированные информационные системы с обработкой естественно-языковых объектов: основы методологии и архитектурно-структурная организация / А.В. Палагин, С.Л. Кривой, Н.Г. Петренко // УСиМ. — 2009. — № 3. — С. 42–55.

- Palagin A.V., Krivoy S.L., Petrenko N.G. Knowledge-Oriented Information Systems with the Processing of Naturally-Language Objects: Bases of Methodology and the Architecturally-Structural Organization. *USiM*, 2009, no. 3, pp. 42–55.
6. Чечкин А.В. Математическая информатика / А.В. Чечкин. — М. : Наука, 1991. — 416 с.
Chechkin A.V. *Mathematical Informatics*. Moscow, Nauka Publ., 1991. 416 p.
 7. Прокопчук Ю.А. Принцип предельных обобщений: методология, задачи, приложения : монография / Ю.А. Прокопчук. — Днепропетровск : ИТМ НАНУ и НКАУ, 2012. — 384 с.
Prokopchuk Yu.A. *Principle of Limiting Generalizations: Methodology, Problems, and Applications*. Monograph. Dnepropetrovsk, Institute of Technical Mechanics of the NAS and the State Space Agency of Ukraine Publ., 2012. 384 p.
 8. Прокопчук Ю.А. Квантовая семантика: пути реализации и использования в интеллектуальных приложениях / Ю.А. Прокопчук // Проблемы інформаційних технологій. — 2011. — № 02 (010). — С.125–137.
Prokopchuk Yu.A. Quantum semantics: ways of implementation and use in intelligent applications. *Problems of Information Technology*, 2011, no. 02 (010), pp. 125–137.
 9. Прокопчук Ю.А. Индуктивная модель описания ситуаций действительности / Ю.А. Прокопчук // Збірник наукових праць Індуктивне моделювання складних систем. — К. : МННЦ ІТС НАНУ та МОНУ, 2010. — Вып. 2. — С. 161–173.
Prokopchuk Yu.A. Inductive model describing the situation really. *Inductive modeling of complex systems*. Kyiv, IRTC ITS NAS and MES of Ukraine Publ., 2010, vol. 2, pp. 161–173.
 10. Прокопчук Ю.А. Интеллектуальные медицинские системы : формально-логический уровень. / Ю.А. Прокопчук. — Днепропетровск : ИТМ НАНУ и НКАУ, 2007. — 259 с.
Prokopchuk Yu.A. *Intellectual Medical Systems: Formal and Logic Level*. Dnepropetrovsk, Institute of Technical Mechanics, NASU & NSAU Publ., 2007. 259 p.
 11. Haken H. *Information and Self-Organization. A Macroscopic Approach to Complex Systems*. New York, Springer-Verlag Publ., 2000.
 12. Heylighen F. Gershenson C. The Meaning of Self-organization in Computing. *IEEE Intelligent Systems*, 2003, Vol. 18, no. 4, pp. 72–75.
 13. Burns C.M., Hajdukiewicz J.R. *Ecological interface design*. CRS Press LLC Publ., 2004.
 14. Gros C. *Complex and Adaptive Dynamical Systems. A Primer*. 2nd ed. Springer Publ., 2011. 326 p.
 15. Beck F., Eccles J.C. Quantum aspects of brain activity and the role of consciousness. *Proc. of the National Academy of Science USA* 89, 1992, pp. 11357–11361.
 16. von Foerster H. Notes for an epistemology of living things. *Observing Systems, The Systems Inquiry Series, Intersystems*, 1981, pp. 258–271.

Yu.A. Prokopchuk

MODELS OF COGNITIVE ARCHITECTURES AND PROCESSES ON THE BASIS OF A PARADIGM OF LIMITING GENERALIZATIONS

Introduction: Complex and adaptive dynamical systems are ubiquitous in the world surrounding us and require us to adapt to new realities and the way of dealing with them. Examples of emerging phenomena are:

- Phase transitions and self-organized criticality in adaptive systems.
- Life at the edge of chaos.
- The concept of living dynamical systems within cognitive system theory.

A cognitive system is a perceiving and autonomously acting dynamical system. Its self-generated internal dynamics plays therefore a central role.

Problem statement: Among the open problems in the cognitive system theory there are the comprehension and simulation of empirical creative thinking processes, of the ability to single out order parameters in the development of complex situations of reality, of implicit and explicit experience formation, and of phenomena of ideal. The advancement in the solution of these problems is topical for the development of partner systems and complex-system analysis and control means.

Purpose: The main objectives of this study are to single out and analyze the properties of basic cognitive entities, to construct models of spontaneous cognitive dynamics and study the

properties of their attractors, and to study the features of the natural mechanism whereby order parameters are singled out and implicit experience is formed.

Results: This paper presents the author's approach to the solution of the above problems, which is based on a paradigm of limiting generalizations. The proposed models are based on three interrelated information–energy entities: meaning, domain, and sketch digraphs, dynamic system patterns, and structural energy. System patterns form structural energy transfer channels. These elemental entities are in permanent motion due to their structural instability, thus setting up intrinsic motive forces and providing self-motion. Formal models of spontaneous cognitive dynamics are constructed. These models demonstrate self-motion and the process of the unconscious recognition of order parameters and of the formation of critical (limit) knowledge structures and implicit experience. The knowledge models are based on ideal regularities, which are a sort of system patterns. The constructed models of dynamics feature high robustness.

Conclusion: In fact, the formalization of spontaneous ideal processes introduces a new scientific notion of the phenomenon of ideal, which underlies the organization of any reality. The proposed approach makes it possible to teach one to consciously (purposefully) single out order parameters in a great variety of situations of reality and use the found parameters for control.

Keywords: cognitive architectures and processes, Paradigm of Limiting Generalizations, knowledge models, models of ideal processes, order parameters

Получено 11.02.2013