DOI: 10.17117/na.2014.02.159

Поступило в редакцию: 02.12.2014

<http://ucom.ru/doc/na.2014.02.159.pdf>

Прокопчук Ю.А.

ППО-набросок «Коннектома» когнитивной системы

Prokopchuk Yu.A.

Cognitive system “Connectome” PLG-sketch

Рассматриваются вопросы адаптации биологического концепта «коннектом» применительно к информационным технологиям. Методологией построения искусственного «коннектома» служит парадигма предельных обобщений. Основой функционирования аналога являются банк прецедентов и банк тестов, а также воплощенный механизм авто/гетеро-ассоциирования, опирающийся на самоорганизованную критичность

Ключевые слова: коннектом, парадигма предельных обобщений, автоассоциативная память, когнитивные вычисления

In the paper, the biological concept “connectome” is adapted to information technologies. An artificial “connectome” is based on a paradigm of limiting generalizations. The functioning of the analog is based on a bank of precedents, a bank of tests, and the embodied mechanism of auto/hetero-association

Key words: connectome, paradigm of limiting generalizations, autoassociative memory, cognitive computing

Прокопчук Юрий Александрович

Кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник
Институт технической механики НАНУ и ГКАУ
Украина, г. Днепрпетровск, ул. Лешко-Попеля, 15

Prokopchuk Yuri Aleksandrovich

Candidate of Physico-mathematical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher
Institute of Technical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Ukraine, Dnipropetrovsk, Leshko-Popel st., 15

Вступление. Приступая к моделированию памяти, невозможно обойти проблему консолидации фрагментов, зафиксированных в пространственно-временном континууме мозга. Такая консолидация в рамках целостного образа, по-видимому, обусловлена наличием функциональных контактов (ассоциативностью) фрагментов. Коммутационная концепция, объясняющая обучение и возникновение ассоциаций только за счет формирования (или трансформации) контактов между нейронными структурами, уступает место теории, основанной на системно-информационном подходе. Соответственно, субстратом ассоциативной памяти служит не просто комплекс контактов нейронов, а система тех фрагментов, которые входят в состав ряда образов. Консолидация фрагментов памяти в процессе принятия решения происходит под контролем регуляторов, которые ответственны за целостность взаимодействия и ассоциативность образов [1 – 5].

Различные концептуальные наброски ассоциативной памяти можно строить на основе парадигмы предельных обобщений (ППО) [4]. ППО – это ме-

тодология системной реконструкции концептуальных набросков когнитивной сферы на основе синергетической концепции критичности и ее применение для создания интеллектуальных приложений. Важно подчеркнуть, что формальных набросков разной степени обобщенности любой сущности, явления может быть сколь угодно много. Пример – суррогатные модели.

Термин «коннектом» (connectome) родился в 2005 году. Им обозначили полное описание структуры связей в нервной системе человека [1, 2]. С тех пор коннектомикой называют компьютерный анализ строения естественных нейронных сетей, своего рода картографирование нейронных связей. Коннектом объясняет, почему мозг обладает такой потрясающей автоассоциативностью. Многие когнитивные функции есть производные от его сетевой топологии. Концепция коннектома позволяет выявить ключевые свойства естественных нервных сетей, важные для создания искусственных когнитивных систем (ИКС), включая агентные (Ag) и интеллектуальные среды. Возникает проблема инженерии «ИКС-коннектомов».

Задачей исследования является разработка концепции «ИКС-коннектома» (Ag-connectome) и его программная реализация на основе парадигмы предельных обобщений.

Результаты исследования. В рамках ППО предполагается, что произвольную ситуацию действительности (прецедент, систему, процесс) можно описать с помощью множества элементарных тестов (квалиа), представимых в виде «тест = значение». Результаты любого теста τ могут выбираться из разных доменов T (множеств значений), которые образуют оргграф доменов $G(\tau) = \{T \rightarrow T'\} \tau$. В совокупности оргграфы формируют Банк тестов. Для решения той или иной когнитивной задачи (Z -задачи) формируется множество прецедентов с известными исходами $\Omega = \{\alpha(\{\tau/T\}, z/Z)\}$, где $Z = \{1, \dots, N\}$ – множество заключений (различий, диагнозов, прогнозов, управлений); $\{\tau/T\}$ – множество значений тестов. Множество Z является одним из доменов оргграфа $G(z)$. Z -задачи вместе с другими тестами формализуют акты различения (дифференциации). Акт различения – это системоквант «мысле-действия» когнитивной системы, базовая функция наблюдателя [4, 5].

Поскольку любой дискретный домен любого теста может образовать Z -задачу различения, для которой имплицитно формируется базис собственных форм (моделей знаний), то оргграф доменов теста τ можно представить в виде:

$$G(\tau) = \{T \{ \{V\} T \} \rightarrow_e T' \{ \{V\} T' \} \} \tau, \quad (1)$$

где $\{ \{V\} T \}$ – инвариантный базис моделей знаний T -задачи, основанный на всех тестах (квалиа) банка $\{G(\tau)\}$ и базе прецедентов $\Omega(\alpha(\{\tau\}, T))$. Примеры лингвистических оргграфов доменов (из медицины):

Уровень гемоглобина $\wedge \text{Hb}$ (Пол?) {

D4 {норма $\wedge 0$; отклонение $\wedge 1 \ 4$ } $\{ \{S\} D4 \}$

D3 {анемия $\wedge 1 \ 2 \ 3$; норма $\wedge 0$; повышен $\wedge 4 \ 5 \ 6$ } $\{ \{S\} D3 \}$

D2 {Резко выраж. анемия $\wedge 3 \ M$ [80; 110] Ж [80; 102]; Выраж. анемия $\wedge 2 \ M$ [110; 120] Ж [102; 110]; Умеренная анемия $\wedge 1 \ M$ [120; 133] Ж [110; 114]; Норм.уровень Hb $\wedge 0 \ M$ [133; 185] Ж [114; 168]; Уровень Hb умеренно пов. $\wedge 4 \ M$

(185; 190] Ж (168; 170]; Повыш.уровень Нв ^5 М (190; 200] Ж (170; 172]; Резко повыш. уровень Нв ^6 М (200; 250] Ж (172; 250]} {{S}D2}

D1 {[80; 250]};

$$G(Hb) = \{D1 \rightarrow D2 \rightarrow D3 \rightarrow D4\};$$

Степень выраженности воспалительного процесса ^СВВП {

D2 {в.п. отсутствует ^1; в.п. имеется ^2 3 4} {{V}D2}

D1 {в.п. отсутствует ^1; незначительная ^2; средняя ^3; выраженная ^4} {{S}D1}};

$$G(CBB\Pi) = \{D1 \rightarrow D2\}.$$

Тест «СВВП» определяется на основе анализа крови, включающего тест «Hb», и в первичных данных не содержится. Рис.1 иллюстрирует автоматическую генерацию новых Z-задач-доменов, т.е. продуктивность и креативность когнитивной системы [4]. Инвариантные модели знаний $\{V\}D2$ и $\{S\}D1$ формируются автоматически и имплицитно на основе процессов авто/гетеро-ассоциативности в рамках банка тестов $\{G(\tau)\}$ и базы прецедентов. Орграфы доменов тестов (орграфы значений) реализуют «физику» ИКС (рис. 1, 2; G++ – структурно-завершенные орграфы доменов [5]).

Фиксация орграфа доменов $G(\tau)$ – это фактически постановки $|G(\tau)|$ задач (кроме непрерывного домена). Вместе с автоассоциативностью $\{G(\tau)\}$ формирует транзитивно-индукторное пространство или основу ИКС-коннектома. Полный ИКС-коннектом формируется с учетом орграфов набросков образов $G_s(W) = \{P \rightarrow_e P'\}W$ [3] или в развернутом виде:

$$Gs(W) = \{P \{ \{V\}P \} \rightarrow_e P' \{ \{V\}P' \} \} W, \quad (2)$$

где P, P' – наброски образа W , $\{\{V\}P\}$ – инвариантные модели знаний (базисы собственных форм), а также иерархий-гетерархий собственных форм.

Опишем процесс автоматического и имплицитного формирования базиса моделей знаний $\{\{V\}T\}$ на основе банка тестов $\{G(\tau)\}$. Пусть имеется кадр данных $\{\tau/T_0\}$ и банк тестов $\{G(\tau)\}$. Без потери общности примем, что каждый тест входит в кадр не более одного раза. Поток данных представляет собой текущую совокупность всех кадров $\cup t\{\tau/T_0\}t$. Пример потока данных в рамках госпитальной системы (ГИС) показан на рис. 3.

Рис. 1. G++ – Орграф доменов теста «Hb»

**Рис. 2. «Физика» ИКС:
орграфы значений**

Дата	Время	Доктор	Состояние
28.02.15	13:40	Полан ОБСЛЕДОВАНИЯ	Хорошо
	15:40	Полан ВПЕЧАТЕНИЕ	Хорошо
28.02.15	09:10	СОВЕЩАНИЕ АНАЛИЗ МОЗГИ	Всего хорошего
	10:20	Диагностика	Хорошо
	11:35	Коллекторизация	Всего хорошего
	11:44	ПЕЧЕНОЧНЫЙ КОМПЛЕКС	Всего хорошего
	11:55	ПОЧЕЧНЫЙ КОМПЛЕКС	Всего хорошего
	11:55	ВЯЖУЩИЙ КОМПЛЕКС	Всего хорошего
	11:55	УРОВЕНЬ ТРИГЛИЦЕРИДОВ И ЛИПОПРОТЕИНЫ	Всего хорошего
	12:05	УРОВЕНЬ ГЛЮКОЗЫ КРОВИ	Всего хорошего
	14:13	СОВЕЩАНИЕ АНАЛИЗ КРОВИ	Хорошо
28.02.15	09:25	Диагностика	Хорошо
	11:08	ДИАГ	Хорошо
	16:55	Диагностика	Хорошо
	18:40	Диагностика, дождливый врач	Хорошо
27.02.15	13:25	Препаративный анализ	Хорошо
	16:15	Диагностика	Хорошо
02.03.15	10:40	Диагностика	Хорошо
	11:20	КАРДИОГРАФИЯ	Хорошо
	11:40	Анализ работы почечных артерий	Хорошо
	15:51	Диагностика	Хорошо
	20:10	Диагностика	Хорошо
03.03.15	09:00	Коллекторизация	Хорошо
	11:33	Диагностика	Хорошо
04.03.15	11:27	Препаративный анализ	Хорошо
	12:04	Диагностика	Хорошо
05.03.15	09:00	Диагностика	Хорошо
	11:30	Стеатозирование коронарных артерий	Хорошо
	11:40	Стеатозирование почечных артерий	Хорошо

**Рис. 3. База данных ГИС:
поток первичных данных**

Имплицитное обучение без учителя на основе потока данных с кадром $\{\tau/T0\}$ означает следующее:

- 1) фиксируется текущее множество данных;
- 2) фиксируется произвольный тест $z \in \{\tau\}$;
- 3) фиксируется произвольный домен Z из $G(z)$;
- 4) все данные z -теста в потоке $\cup \{\tau/T0\}t$ преобразуются к домену Z , следовательно, возникает Z -задача с базой прецедентов $\Omega = \cup \{\tau/T0\}t$;

5) для возникшей Z -задачи формируются базисы моделей знаний [3]. Процедура повторяется для всех $z \in \{\tau\}$ и всех доменов Z из $G(z)$. После добавления нового кадра весь процесс повторяется заново. В результате обновляются все авто/гетеро-ассоциативные модели знаний «ИКС-коннектома» (рис. 4: сетевое отображение связности «мозга» агента или когнитивного ядра интеллектуальной среды).

а) конус причинности и конус эффекта произвольного теста τ ;
б) «Коннектом» госпитальной информационной системы; в) Z -коннектом

Рис. 4. Иллюстрации ИКС-коннектома (Relationship Viewer)

Возбуждение части тестов через тысячи связей с другими тестами ИКС-коннектома способно почти моментально вызвать богатейшую сеть ассоциаций (решений задач). Задачи «вшиты» в «коннектом», поэтому решения возникают автоматически (аналог «подсознательной» активности мозга). ИКС-коннектом, как и био-коннектом, иллюстрирует авто/гетеро-ассоциативность, распределенность, робастность и активность памяти. ИКС-коннектом – это фракталоподобная, постоянно растущая и изменяющаяся структура. Он задает первичную структуризацию ПрО (семантическую сеть предметной области). Можно говорить о глобальном ИКС-коннектоме интеллектуальной среды (инструмент: web based connectom viewer), ПрО-коннектомах, Z -коннектомах (рис. 4в). В совокупности они образуют масштабируемую систему опыта конкретной ИКС (когнитивного агента, интеллектуальной среды).

Приведем простые расчеты. Если $|\{\tau\}| > 100$ и $|\{G(\tau)\}| > 10$, то общее количество Z -задач и, соответственно, Z -базисов моделей знаний превышает 10100, т.е. гугол (а также гугол процессов самоорганизации). При этом каждый базис содержит большое количество конкурирующих собственных форм (СФ), а каждая СФ содержит большое количество конкурирующих собственных значений

(радикалов). Возможно, отчасти в этом кроется причина непостижимости работы мозга, его продуктивности и креативности.

ИКС-коннектом позволяет создавать когнитивные надстройки над СУБД, включая: семантический язык запросов, интерактивный транслятор с естественного языка в SQL/XML (семантический и лексический процессоры [6]); встроенные индуктивные и дедуктивные системы [5, 6]. Подобный инструментарий позволяет преодолеть семантический разрыв между моделями создаваемыми специалистом предметной области и программистом. Примеры запросов: «СВВП/D2?» «Дать прогноз послеоперационных осложнений».

Выводы. ИКС-коннектом является важнейшей компонентой когнитивного ядра интеллектуальной среды, реализуя модельные и сервисные функции, включая когнитивные вычисления.

Список литературы:

1. Sporns O., Tononi G., Kötter R. *The Human Connectome: A Structural Description of the Human Brain*. PLoS Comput Biol. 2005.
2. Сеунг С. Коннектом. Как мозг делает нас тем, что мы есть. М.: Бином, 2014. 440 с.
3. Лавров В.В., Вальцев В.Б. Целесообразное фрагментирование информации на входе в мозг // Информационные технологии. 2006, № 2. С. 22-29.
4. Прокопчук Ю.А. Парадигма предельных обобщений: модели когнитивных архитектур и процессов. Saarbrücken, Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 204 p.
5. Прокопчук Ю.А. Принцип предельных обобщений: методология, задачи, приложения. Монография // Днепрпетровск: ИТМ НАНУ и НКАУ, 2012. 384 с.
6. Прокопчук Ю.А. Интеллектуальные медицинские системы: формально-логический уровень. Днепрпетровск: ИТМ НАНУ и НКАУ, 2007. 259 с.

© 2014, Прокопчук Ю.А.

ППО-набросок «Коннектома» когнитивной системы

© 2014, Prokopchuk Yu.A.

Cognitive system "Connectome" PLG-sketch