



Когнитивное ядро госпитальных и телемедицинских систем: концепция, модели, приложения

Ю.А. Прокопчук

*Днепропетровский областной центр кардиологии и кардиохирургии,
Днепропетровск, Украина*

РЕЗЮМЕ, ABSTRACT

Концепция когнитивного ядра медицинского приложения состоит в следующем: помочь врачу осмысленно (целенаправленно) выделять параметры порядка в реальных клинических, медико-социальных ситуациях и использовать найденные параметры для управления. Приводятся инструменты, с помощью которых реализуется когнитивное ядро приложения. Рассматривается практический пример построения ядра (Укр.ж.телемед.мед.телемат.-2012.-Т.10,№1.-С.40-46).

Ключевые слова: когнитивные технологии, синтетическая онтология, параметры порядка, синдромное управление

Ю.О. Прокопчук

КОГНИТИВНЕ ЯДРО ШПИТАЛЬНИХ І ТЕЛЕМЕДИЧНИХ СИСТЕМ: КОНЦЕПЦІЯ, МОДЕЛІ, ПРОГРАМИ

Дніпропетровський обласний центр кардіології і кардіохірургії, Дніпропетровськ, Україна

Концепція когнитивного ядра медичної інформаційної системи полягає в наступному: допомогти лікареві осмислено (цілеспрямовано) виділити параметри порядку в реальних клінічних, медико-соціальних ситуаціях і використати знайдені параметри для керування. Приводяться інструменти, за допомогою яких реалізується когнитивне ядро системи. Розглядається практичний приклад побудови ядра (Укр.ж.телемед.мед.телемат.-2012.-Т.10,№1.-С.40-46).

Ключові слова: когнитивні технології, синтетична онтологія, параметри порядку, синдромне керування

Ju. A. Prokopchuk

COGNITIVE KERNEL OF HOSPITAL AND TELEMEDICINE SYSTEMS: CONCEPTION, MODELS, AND APPLICATIONS

Cardiology and Cardiosurgery Center of the Dnepropetrovsk Region, Dnepropetrovsk, Ukraine

The conception of the cognitive kernel of a medical application is aimed at helping the doctor to consciously (purposefully) identify order parameters in actual clinical and medico-social situations and use them for control purposes. The paper describes tools to implement the cognitive kernel of an application and gives a practical example of its construction (Ukr.z.telemed.med.telemat.-2012.-Vol.10,№1.-P.40-46).

Keywords: cognitive technologies, synthetic ontology, order parameters, syndrome control

Эволюцию медицинских информационных систем можно представить следующим образом:

I поколение – традиционные госпитальные и телемедицинские системы [1];

II поколение – интеллектуальные медицинские системы [2, 3];

III поколение – когнитивные информационные системы [4, 5].

Под когнитивными информационными системами (КИС) будем понимать приложения, удовлетворяющие двум условиям [5, 6]:

- ядром приложения является Многоцелевой банк знаний (МБкЗ);

- в рамках приложения функционируют иерархические среды радикалов, колонии виртуальных роботов и/или мультиагентные системы, а точнее – консилиумы когнитивных агентов.

КИС ориентированы на помощь специалисту в постановке задач, на решение плохо формализованных профессиональных и творческих задач, на выявление и эффективное использование своего когнитивного потенциала. Одна из основных задач КИС – это обеспечение (повышение) функциональной устойчивости профессиональной деятельности специалиста. КИС относятся к классу истинно партнерских систем. Предшественниками КИС являются традиционные госпитальные и телемедицинские системы с когнитивным ядром.

Предпосылкой для бурного развития когнитивного подхода [7] послужила неприменимость точных моделей для анализа и моделирования проблемных ситуаций из-за необходимости учета большого числа факторов, многие из которых оказались трудно формализуемыми. Данная ситуация особенно типична для медицины. Приведем цитату из работы ведущих специалистов Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН [8]: «Другой важнейший блок когнитивных проблем, идей и достижений связан с компьютерным анализом задач медицинской диагностики. В самом деле, работа с медиками показывает, что диагностика состояния больного, судя по медицинским руководствам, требует определения от 400 до 1000 параметров. При этом разные области медицины «говорят на разных языках», вкладывая в одни и те же термины разный смысл. Однако врач в состоянии оперировать в пространстве характеристик и признаков, размерности, не превышающей 5-7. Какие же это признаки? Очевидно, опытный диагност, в отличие от начинающего, среди всего пространства параметров выделяет «главные», «нужные», «подходящие». Собственно, умение выделять подобные «параметры порядка» для разных заболеваний и состояний

организма и является результатом профессиональной деятельности. В ходе работы происходит самоорганизация в информационном пространстве врача, позволяющая отделять главное от второстепенного. Динамика этого процесса плохо понята и изучена, поэтому и не удается учить врачей быстро и хорошо».

Авторы процитированной работы делают заключение: «По-видимому, ключевая способность человека, позволившая опередить остальные виды – удивительная способность быстро выявлять параметры порядка в разных ситуациях (естественно, отбрасывая лишнее), следить за ними, а также быстро менять поведенческие стратегии в зависимости от них».

Приведенные цитаты как нельзя лучше иллюстрируют концепцию когнитивного ядра перспективных госпитальных и телемедицинских систем: помочь врачу осмысленно (целенаправленно) выделять параметры порядка в реальных клинических, медико-социальных ситуациях и использовать найденные параметры для управления.

Выделение параметров порядка в реальной жизни – творческий процесс, требующий высокой квалификации и профессионального опыта [9]. Как правило, такой процесс протекает на подсознательном уровне, что затрудняет или делает невозможной его вербализацию. Помочь врачу с помощью партнерских систем выделять параметры порядка, значит помочь быстро оценивать ситуацию и принимать качественные решения в своей профессиональной области.

Основой когнитивного ядра приложения является синтетическая телесно-феноменологическая онтология, а партнерские функции КИС реализуются, в частности, с использованием синдромного принципа управления [5, 6].

Настоящую работу следует рассматривать как продолжение публикаций [10, 11].

Задачами настоящего исследования являются: 1) Разработка формализма, позволяющего автоматически выявлять параметры порядка в сложных ситуациях

действительности; 2) Разработка синтетической телесно-феноменологической онтологии; 3) Разработка синдромного принципа управления с ориентацией на медицинские задачи; 4) Создание приложений, демонстрирующих различные аспекты предлагаемых технологий.

Приведем базовые положения разрабатываемой синтетической телесно-феноменологической онтологии [5, 6], а также пример реализации когнитивного ядра.

Синтетическая телесно-феноменологическая онтология. Методологической основой авторского подхода к моделированию когнитивных функций вообще и управления в частности является «Принцип предельных обобщений» (ППО). ППО гласит: среди всех допустимых моделей (решений) следует выбрать модели (решения), которые обладают максимальной общностью. Основная гипотеза состоит в том, что ППО олицетворяет «встроенную» оптимальность мышления. Эволюционная обоснованность гипотезы заключается в стремлении когнитивной системы к глобальному энергетическому минимуму и максимуму скорости обработки (оперативной) информации.

Предполагается, что в качестве координатной системы феноменологического пространства (ФП) наблюдателя (врача) может выступать Банк тестов $\{G(\tau)\}$. Если предположение верно, то произвольную ситуацию действительности (прецедент, систему, процесс, феномен, образ) можно описать с помощью множества элементарных тестов, представимых в виде «тест = значение». Результаты любого теста τ могут выбираться из разных доменов T (множеств значений со связями), которые образуют оргграф доменов $G(\tau) = \{T \rightarrow T\}_\tau$. В совокупности оргграфы и образуют Банк тестов. Различные комбинации доменов для всех тестов определяют различные уровни общности описания ситуаций действительности (клинических ситуаций). Банк тестов обеспечивает переход от физической к феноменологической реальности.

Для решения той или иной когнитивной задачи (например, диагностики, прогнозирования или оптимизации лечения) формируется множество прецедентов с известными исходами $\Omega = \{\alpha(\{T\}, \{Z\})\}$, где $Z = \{1, \dots, N\}$ – множество заключений. К числу важных категориальных структур, формирующихся в результате самоорганизации в рамках контекста $\langle \Omega(Z), \{G(\tau)\} \rangle$, относятся формальные синдромы, вероятностные закономерности (предвестники), (предельные) синдромные и вероятностные модели знаний.

Под формальным синдромом (или просто синдромом) понимается неизбыточная совокупность значений тестов, позволяющая однозначно установить заключение:

$$S = (\{T\} \rightarrow \{Z\}).$$

С каждым синдромом S связано «облако» предельных синдромов $\{S^*\}$, которое получается путем всех допустимых обобщений в рамках $\{G(\tau)\}$. Предельный синдром S^* является предельным в трех смыслах: его нельзя усилить, т.е. повысить ранг; его нельзя редуцировать и его нельзя обобщить ни по одному входящему тесту.

Совокупность синдромов $\{S\}$ образует синдромную модель знаний, если она позволяет определить заключение, как минимум, для любой ситуации действительности из $\Omega(\{\tau/T_0\})$ – априорного описания. Синдромная модель знаний минимальна, если из нее нельзя удалить ни один синдром без потери полноты охвата прецедентов из $\Omega(\{\tau/T_0\})$. Для любой синдромной модели знаний $\{S\}$ можно построить сопряженную предельную модель $\{S^*\}$. Можно также найти все предельные синдромы на всех уровнях общности для каждой ситуации $\alpha \in \Omega$. Их объединение представляет собой *полную предельную синдромную модель знаний* в рамках контекста $\langle \Omega, \{G(\tau)\} \rangle$, которую обозначим $\{S^*\}_{Full}$. На основе $\{S^*\}_{Full}$ могут быть построены (абсолютно) *минимальные предельные синдромные модели знаний* $\{S^*\}_{Min}$. Модель $\{S^*\}_{Full}$ доминирует все другие модели. Можно найти все $\{S^*\}_{Min}$, которые эквивалентны $\{S^*\}_{Full}$.

Помимо синдромов речь также может идти о вероятностных закономерностях $\{R\}$ и сопряженных предельных вероятностных закономерностях $\{R^*\}$, которые являются ранними предвестниками событий.

Важнейшими категориальными структурами являются *орграфы набросков* образов, ситуаций, текстов $G_s(W)$. Они формируются автоматически для любой совокупности значений тестов $W = \{T\}$. Разные слои набросков требуют разных объемов памяти (расположены в разных сегментах памяти) и, соответственно, разную скорость обработки. В процессе самоорганизации на основе $G_s(W)$ формируются экстремальные пограничные слои набросков, обладающие предельными характеристиками: они однозначно решают целевую задачу и требуют близкий к минимуму объем памяти, что обеспечивает максимум скорости обработки (оперативной) информации. Орграфы набросков также позволяют сформировать синдромные и вероятностные модели знаний, относящиеся к перцептивным категориальным структурам.

Любые математические, в частности, биофизические модели описываются с помощью системопаттернов $k = \{f/\mu: \{J_b b/B\} \rightarrow \{J_a a/A\}, \mu \in \{\mu\} \cup P_k$, где f/μ - системопаттерны; $\{b/B\}$, $\{a/A\}$ - элементарные тесты; J - оператор оценки истинности значения теста; P_k - правила композиции системопаттернов. Правила композиции позволяют реализовать потоки системопаттернов. Кorteж $\langle \Omega, \{G(\tau)\}, k \rangle$ представляет собой модель предметной области.

Телесность онтологии, т.е. ее привязку к физической основе, обеспечивают иерархические среды радикалов (функциональные системы), которые реализуют (предельные) модели знаний. Каждый радикал является элементарной функциональной системой, стремящейся установить наличие определенного синдрома. Среда радикалов позволяет реализовать разнообразные, в том числе самоорганизующиеся схемы работы когнитивной системы. Телесность тем самым обеспечивает свойство активности

знаний и самоорганизацию на физическом уровне [5, 12].

На базе синтетической телесно-феноменологической онтологии реализуется синдромный принцип управления (СПУ) [5]. СПУ можно отождествить с целенаправленным изменением управляющих параметров или параметров порядка. Параметры порядка содержатся в некоторых предельных синдромах – это значения тестов $\{T\}_S$. В ряде случаев данных для определения синдромов может оказаться недостаточно, тогда управление осуществляется на уровне вероятностных закономерностей (предвестников) из $\{R\}$. Общий вид синдромного управления (управления на основе параметров порядка):

$$U = \cup_S \{T'/T \rightarrow T''\}_S \vee \cup_R \{T''/T \rightarrow T'\}_R,$$

$$S \in \{S\}_U, R \in \{R\}_U,$$

где $\{S\}_U$ – множество целевых синдромов, а $\{R\}_U$ – множество целевых вероятностных закономерностей (предвестников).

Пример когнитивного ядра приложения

В УкрГосНИИ медико-социальных проблем инвалидности в 2009 году была сформирована база клинических наблюдений пациентов $\Omega(Z)$ (159 случаев), перенесших инфаркт миокарда (ИМ) [13]. Наблюдения фиксируют состояния пациентов в разные сроки после ИМ. Методом экспертных оценок для каждого пациента был определен характер течения заболевания: прогрессирующее – 26 случаев, стабильное – 63 случая, регрессирующее – 70 случаев, т.е. $Z = \{1, 2, 3\}$. Требовалось согласно Принципу предельных обобщений сформировать банк тестов $\{G(\tau)\}$ и построить предельную синдромную модель знаний. Далее производилось ультраоснащение модели знаний с помощью среды радикалов. На основе среды радикалов было создано когнитивное ядро приложения «Оценка и прогноз течения заболевания» с функцией синдромного управления.

Опишем более подробно основные этапы построения когнитивного ядра. Для построения Банка тестов врачами были выбраны 24 медико-социальных теста, включая клинические и функциональные

тесты: Возраст во время ИМ; Пол; Q, не Q инфаркт; Локализация инфаркта; Функциональный класс (ФК); Группа инвалидности; Сахарный диабет (СД); Сердечная недостаточность (СН); Гипертоническая болезнь (ГБ); Желудочковая экстрасистолия (ЖЭ); Мерцательная аритмия (МА); Давность ИМ; Работа в момент осмотра; Вид труда; Тяжесть/напряженность труда; Образование; Индекс массы тела (ИМТ); Индекс массы миокарда левого желудочка (ИММЛЖ); Индекс левого предсердия (Инд. ЛП); Индекс конечно-диастолического объема (Инд. КДО); ФВ_Т; ФВ_С; Тип ремоделирования ЛЖ; Рубцовые изменения в миокарде. Для указанных тестов были построены орграфы доменов (конфигураторы). Примеры конфигураторов некоторых тестов:

Индекс левого предсердия \wedge ИЛП {3 {Норма \wedge 0; Увеличение иЛП \wedge 1 2} 2 {Норма \wedge 0 [1,40; 2,10]; Умеренное увеличение иЛП \wedge 1 [2,11; 2,50]; Значительное увеличение иЛП \wedge 2 [2,51; 5,0]} 1 ([1,40; 5,0])};

Сердечная недостаточность \wedge СН {4 #1 {IIБ ст. \wedge 3; I ст. или IIA ст. \wedge 1 2} 3 #1 {IIA ст. \wedge 2; I ст. или IIБ ст. \wedge 1 3} 2 {I ст. \wedge 1; IIA - IIБ ст. \wedge 2 3} 1 {I ст. \wedge 1; IIA ст. \wedge 2; IIБ ст. \wedge 3}}

Пол {1 {М \wedge 1; Ж \wedge 2}}

Приведенные конфигураторы задают вычислительные схемы для обобщений первичных результатов тестов. Первичная

база прецедентов $\Omega(\{d1\}, Z)$ была реализована с помощью электронной таблицы Excel. Общее количество описаний определялось произведением числа доменов для всех тестов и превысило 143 млн. Общее количество найденных уникальных синдромов в рамках модели $\{S\}_{Full}$ составило: для прогрессирующего течения – 505, для стабильного течения – 1470, для регрессирующего течения – 1780. Каждый синдром включал результаты от 2 до 5 тестов (было задано ограничение на количество тестов в синдромах – не более 5). Поиск минимального количества синдромов при условии максимального процента покрытия соответствующей группы пациентов (модель знаний $\{S\}_{Min}$) дал следующие результаты: для прогрессирующего течения – 11, для стабильного течения – 16, для регрессирующего течения – 12.

На рис. 1.а приведено окно приложения, с помощью которого создается и эксплуатируется среда радикалов, соответствующая данной модели знаний. На рис. 1.б показан системоквант решения задачи диагностики (по Судакову) на базе среды радикалов (отображается состояние каждого радикала) [12].

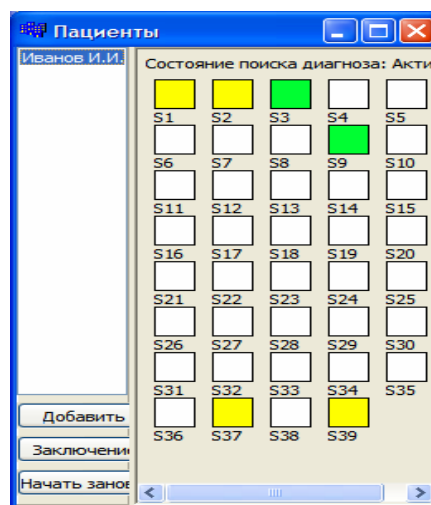
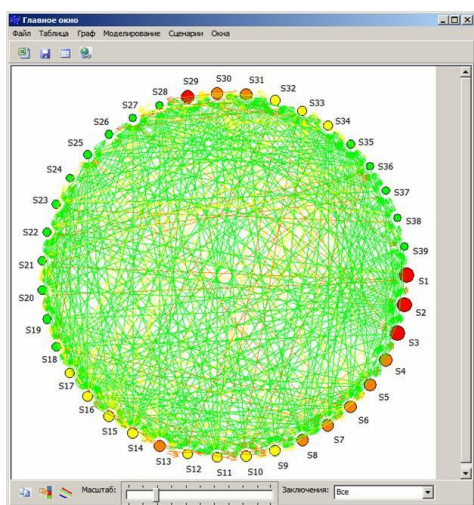


Рисунок 1. Функционирование среды радикалов

Каждый радикал представлен на рисунке закрашенным кругом. Размер и цвет круга соответствуют его весу (красный – максимальный вес). Связь (проводимость) между радикалами отражает степень пересечения множеств тестов, фигурирующих в каждом синдроме (цвет связи соответствует уровню проводимости). В режиме диагностики каждый активный радикал осуществляет поиск значений необходимых тестов. Вначале значения тестов ищутся в рабочей зоне (общая витрина данных), если там нет значения какого-либо теста, то выводится (посылается по известным каналам связи) соответствующий запрос эксперту. Если радикал отработал, но заключение не найдено, то одновременно активизируются все радикалы, проводимость которых превышает некоторый порог. В общем случае имеются разные сценарии развития активности в среде радикалов.

Радикал ведет себя, по сути, как интеллектуальный агент (биофизический агент). Данные могут запрашиваться у любых консультантов. В целом радикал

активно пытается найти нужную информацию, чтобы установить наличие синдрома (закономерности) и, соответственно, получить заключение. Отметим, что данная задача может решаться сколь угодно долго (до тех пор, пока не поступит сигнал «отбоя» или не будет найдено решение). На рис. 2 показана витрина данных когнитивного ядра приложения. Пять верхних строк (выделены желтым цветом) – текущие запрашиваемые радикалами значения тестов. Нижние две строки (выделены серым цветом) – «зависшие» тесты, на которые врач (агент) до настоящего времени не дал ответа. Эти «зависшие» тесты определяют «зависшие» радикалы, которые активированы, но не могут завершить работу без нужных данных.

Синтетическая онтология является фундаментом синдромного принципа управления. На рис. 3 показан завершающий этап помощи врачу в диагностике и планировании реабилитации в рамках задачи «Оценка и прогноз течения заболевания».

Рисунок 2. Пример витрины данных

Рисунок 3. Пример реализации синдромного управления

В процессе диалога специалист (врач) может исключить недостижимые с его точки зрения синдромы. Партнерская система предлагает те целевые синдромы (параметры порядка), которые менее затратны по ресурсам (оценки затрат берутся из базы знаний или выясняются

экспертным путем). Если наделять радикал способностью реализовывать произвольный системопаттерн вида f/μ , то среда радикалов превратится в среду (когнитивных, биофизических, интеллектуальных) агентов.

Выводы

Учитывая сложность разработки когнитивного ядра, целесообразно создавать общее ядро для многих госпитальных/телемедицинских приложений используя, например, технологию «облаков». С ядром взаимодействуют когнитивные агенты (создаются для каждого пациента). На основе ядра производятся расчеты вторичных параметров (тестов) в рамках различных документов (записей) медицинской карты. С использованием объектов ядра (орграфов доменов тестов, профессиональной лексики, алгоритмов диагностики и прогнозирования,

системопаттернов) строится интеллектуальный интерфейс медицинских приложений.

Важнейшую роль когнитивное ядро может играть в автоматизированном контроле качества медицинского обслуживания, в частности, мониторинге выполнения стандартов обслуживания. С помощью распределенного МБкЗ, опирающегося на синтетическую телеснофеноменологическую онтологию и синдромное управление, наиболее просто и естественно осуществляется передача профессиональных знаний и умений.

Литература и библиография

1. *Алпатов А.П., Прокопчук Ю.А., Костра В.В.* Госпитальные информационные системы: архитектура, модели, решения.-Днепропетровск: УГХТУ, 2005.- 257 с.
2. *Прокопчук Ю.А.* Интеллектуальные медицинские системы: формально-логический уровень. – Дн-ск: ИТМ НАНУ и НКАУ, 2007.- 259 с.
3. *Генкин А.А.* Новая информационная технология анализа медицинских данных (программный комплекс ОМИС). – СПб.: Политехника, 1999.- 191 с.
4. *Прокопчук Ю.А.* Развитие агентных технологий биомедицины как основы активизации знаний // *Философские проблемы биологии и медицины.* Вып. 5: *Нормативное и дескриптивное:* сб. ст. М.: ИФ РАН - Принтберри, 2011. С. 231-233.
5. *Прокопчук Ю.А.* Когнитивное моделирование на основе принципа предельных обобщений: методология, задачи, приложения // *Искусственный интеллект,* 2011. - №3.- С. 82 – 93.
6. *Прокопчук Ю.А.* Методология разработки интеллектуальных приложений на основе принципа предельных обобщений // *Вестник Херсонского НТУ,* 2011. - №2(41). – С. 32 – 43.
7. *Величковский Б.М.* Когнитивная наука: Основы психологии познания: в 2т.-Т.1/ Борис М. Величковский. -М.:Смысл:Издательский центр «Академия», 2006.-448 с.
8. *Малинецкий Г.Г., Маненков С.К., Митин Н.А.*

- Когнитивные центры как информационные системы для стратегического прогнозирования. М: Препринт ИПМ, № 46., 2010.
9. *Хакен Г.* Принципы работы головного мозга. - М., 2001.
10. *Прокопчук Ю.А.* Применение формального анализа понятий и метода предельных обобщений в задачах обработки медицинских данных и знаний//Укр.ж-л телемед. мед. телематики. – 2009. – Т.7, №1. – С.32-36.
11. *Прокопчук Ю.А.* Онтология клинической медицины: проблематика, задачи, решения // *Укр. ж-л телемедицины та медичної телематики.* – 2010. – Т.8, №2. – С.214 - 220.
12. *Прокопчук Ю.А., Мозолев В.Л., Чубаров С.В., Шкваря С.В.* Реализация агентных технологий и среды радикалов в развивающихся информационных системах // *Сборник докладов научной конференции «Информационные технологии в управлении сложными системами»* (Днепропетровск, ИТМ НАНУ и ГКАУ, 24 июня 2011г.). – Дн-ск: ИТМ – «Свидлер», 2011. – С. 150 – 152.
13. *Прокопчук Ю.А., Сергиени Е.В., Харченко О.А., Татьянаенко А.В., Челашеев В.А.* Оценка течения заболевания на основе метода предельных обобщений // *Сборник докладов VII – й Международной научно – практической конференции «Математическое и программное обеспечение интеллектуальных систем»* (Днепропетровск, 25-27 ноября 2009г.). – Дн-ск: Из-во ДНУ, 2009. – С. 235 – 236.

Надійшла до редакції: 05.12.2011.

© Ю.А.Прокопчук

Кореспонденція: Прокопчук Ю.А.,
вул. Плеханова, 28, 49070, Дніпропетровськ, Україна
E-mail: itk3@ukr.net