Моделирование коллективных решений виртуальным консилиумом*

С.Б. Румовская[I], А.В. Колесников[II], И.А. Кириков[I]

[I] Калининградский филиал ФГУ «ФИЦ «Информатика и управление» РАН, г.Калининград, Россия
[II] ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта» г. Калининград, Россия

Аннотация. В работе представлены результаты моделирования коллективного принятия решений в малых группах для ситуации диагностики артериальной гипертензии, а именно: анализа известных методов моделирования и интеграции знаний и средств поддержки принятия диагностических решений, разработки архитектуры исследовательского прототипа «Виртуального консилиума» и его программной реализации, а также экспериментов с консилиумом.

Ключевые слова: поддержка принятия диагностических решений, гибридная интеллектуальная система, инструментальная среда, виртуальный консилиум.

DOI 10.14357/20718594180402

Введение

Один из главных вызовов для лица, принимающего решение (ЛПР) в сложных медицинских диагностических ситуациях, – способность качественно осмысливать большой объем разнородной информации на сокращающихся временных интервалах приема пациентов, синтезируя целостное представление об объекте диагностики из нередко противоречивой мозаичной картинки диагностической ситуации. Диагностический процесс в сложных ситуациях медицинской диагностики носит коллективный характер. Именно коллективы специалистов (консилиумы) в настоящее время способны оценивать ситуации и вырабатывать адекватные диагностические решения.

Методы и средства моделирования процесса коллективной выработки решений открывают путь снижения рисков неверных диагностических заключений. Исследования в области искусственного интеллекта (ИИ) привели к возникновению технологии *гибридных интеллектуальных систем* (ГиИС). Такие системы интегрируют разнородные модели знаний (в дальнейшем – *гетерогенное модельное поле*), и тем самым моделируют взаимодействие рассуждений в коллективах, принимающих решения.

В данной работе представлены результаты исследования коллективного решения неоднородных (сложных) задач диагностики (НЗД) и разработки инструментальной среды «Виртуальный консилиум» – исследовательский прототип автоматизированной диагностики артериальной гипертензии (АГ): концептуальная модель диагностического процесса, отображающая гетерогенную, скоординированную деятельность коллективного труда экспертов в малых группах; концептуальная модель коллективного принятия диагностических решений в малых группах; функциональная структура и реализация виртуального консилиума, а также результаты экспериментального исследования

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 16-07-00272А.

✉ *Румовская София Борисовна. E-mail:sophiyabr@gmail.com*

программного продукта «Виртуальный консилиум для диагностики артериальной гипертензии» (ВКДАГ).

1. Методы моделирования и интеграции знаний и средства поддержки принятия диагностических решений

Выработка решений коллективом экспертов отличается от выработки индивидуальных решений [1]. Поставленная задача анализируется с различных точек зрения экспертами, специализирующимися в различных областях знаний. Это позволяет коллективу вырабатывать решение в задачах, непосильных для одного человека, – в неоднородных задачах, в частности, подобных ряду задач медицинской диагностики, для которых требуется интеграция знаний экспертов различной специализации. Причем взаимодействие между экспертами устанавливается не жестко, т.е. каждый раз вырабатывается новый метод, релевантный условиям решения задачи. Краткий аналитический обзор методов, моделирующих интеграцию знаний [2–4] представлен в Табл. 1. Идеи интеграции знаний для моделирования коллективной выработки решений (гетерогенный подход) проникают, в частности, в область медицинской автоматизированной диагностики. Новые разработки методов и средств для врачей-практиков, специализирующихся на сложных для решения задачах, в частности, на задаче диагностики АГ и сопутствующих сердечнососудистых заболеваниях, реализованы в широком спектре программного обеспечения [5–10].

Табл.1. Аналитический обзор основных методов моделирования интеграции знаний

Методы (авторы)	**Характеристики**				
	Деятельность ЛПР, консультанта, эксперта	**Модель деятельности субъекта**	**Разнообразие информации,**	**Сотрудничество экспертов**	**Ситуативный синтез модели**
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Методы теории принятия решений					
Рационального коллективного выбора (М.А. Айзерман и Ф.Т. Алескеров; В.С. Левченков; П. Фишберн и др.)	Постановка задачи; Выбор метода; Исполнение	Математическая	Нет	Нет	Нет
Группового многокритериального выбора (Л.Г. Евгланов, В.А. Кутузов; О.И. Ларичев; А.Б. Петровский; Дж. Александер, Т. Саати и др.)		Математическая	Нет	Нет	Нет
Междисциплинарные методы					
Гибридные системы (W. Kohn, A. Nerode; A. Puri, P. Varaija; G. Walsh; W. Witsenhausen)	Постановка задачи; Разработка метода; Исполнение	Математическая	Нет	Нет	Нет
Агрегативные системы (Н.П. Бусленко)	Постановка задачи; Разработка метода; Исполнение	Унифицированная матемодель	Есть	Нет	Нет
Интегрированные методы: многомодельные (Я.А. Гельфандбейн, А.В. Колесников, И.Д. Рудинский); систем, основанные на знаниях (Г.С. Осипов); семиотических систем распределенного интеллекта (В.Н. Вагин, А.П. Еремеев) и т.д.	Возникновение проблемной ситуации; Выявление проблемы; Постановка задачи; Разработка метода; Исполнение	Математические и эвристические	Есть	Есть	Нет
Исчисление моделей (Ю.Р. Валькман)					
Нечеткие эволюционные многоагентные системы (В.Б. Тарасов)					
Гибридные интеллектуальные системы (В.В. Емельянов, А.В. Колесников, В.Л. Стефанюк; S. Goonatilake; L. Medsker и др.)			Есть	Есть	Есть

Пример применения принципов управления сложными объектами (организм пациента) и их состояниями – гибридная трансформационная система (интеграция искусственной нейронной сети и экспертной системы) М.А. Шулаковой [5], отличающаяся применением двухуровневого алгоритма поддержки принятия решений, позволяющего объединить в единое информационное пространство отдельные модули системы.

Известны работы, рассматривающие организм человека и процесс его диагностики упрощенно, односторонне, что может явиться источником ошибочных решений. Сюда можно, в частности, отнести: 1) результаты диагностики сердечнососудистой и когнитивной подсистем человека по электрокардиограмме (ЭКГ) [6]; 2) работу О.Ю. Ребровой [7], которая применяет предобработку множества характеристик состояния здоровья пациента генетическими алгоритмами с последующей классификацией инсультов посредством ИНС (сравнительный анализ в [7] использования экспертных признаков при построении нейросетевого алгоритма, признаков, отобранных по критериям логико-статистического анализа и отобранных генетическим алгоритмом, показал наибольшую продуктивность у последнего подхода); и др. Методы интеллектуальной поддержки принятия решений в задачах диагностики и лечения хронической сердечной недостаточности (ХСН) рассмотрены Т.В. Бессоновой [8]. По имеющимся данным из БД рассчитываются коэффициенты связи, конъюнкции и дизъюнкции нечетких логических высказываний типа «Если…, то…». По суммарному коэффициенту связи определяется вероятность диагноза ХСН. Информационная истема для ранней дифференциальной диагностики осложненных форм инфаркта миокарда Д.С. Залавского [9] использует нечеткие и вероятностные процедуры анализа эмпирических данных, основанные на стратегии Байеса. Состояние больных прогнозируется по результатам ЭКГ-мониторинга первых двух суток регистрации от начала заболевания. Есть диагностические медицинские системы с рассуждениями на онтологиях [10], например, виртуальный доктор или Virtual Medical Doctor (Япония), заменяющий терапевта, когда пациент общается с «аватарой» – графическое воплощение эксперта на экране с базами знаний и данных предметной области.

Анализ основных результатов по диагностической медицинской информатике выявил три существенных недостатка: во-первых, гомогенный подход к решению задачи, «навязывается» и субъектам диагностики – врачам-практикам (опытные врачи преодолевают эту тенденцию); во-вторых, проектирование систем со статичной структурой без возможности синтеза требуемой интегрированной модели знаний в зависимости от диагностической ситуации. Указанные недостатки и анализ указанных в Табл. 1 концепций, свидетельствуют об актуальности разработки ГиИС для выработки коллективного решения, в частности при решении НЗД (на примере артериальной гипертензии). Для отображения состава, структуры, системности, неоднородности, в том числе терминологической, ГиИС используют несколько методов искусственного интеллекта: искусственные нейронные сети, нечеткие системы, генетические алгоритмы, экспертные системы и др., образующих гетерогенное модельное поле (ГМП). ГиИС динамически синтезируют интегрированную модель знаний над ГМП, что позволяет отобразить необходимые аспекты коллективной выработки решений.

2. Концептуальные модели диагностического процесса коллективного принятия решения в малых группах (консилиумах)

Медицинская диагностика или диагностический процесс в медицине (от др.-греч. διαγνωστικος, «способный распознавать») [11] – процесс распознавания болезни и оценки индивидуальных биологических особенностей и социального статуса субъекта, включающий целенаправленное медицинское обследование, истолкование результатов и их обобщение в виде установленного диагноза. Рассмотрим концептуальную модель диагностического процесса (Рис. 1) на примере Калининградской областной клинической больницы (КОКБ). Объект диагностики – система, состояние которой контролируется и анализируется субъектом диагностики. Лицо, принимающее заключительное решение о состоянии объекта диагностики (пациента), т.е. формирующее диагноз, – лечащий врач. Каждый объект характеризуется множеством значений показателей своего состояния или характеристик (множеством симптомов).

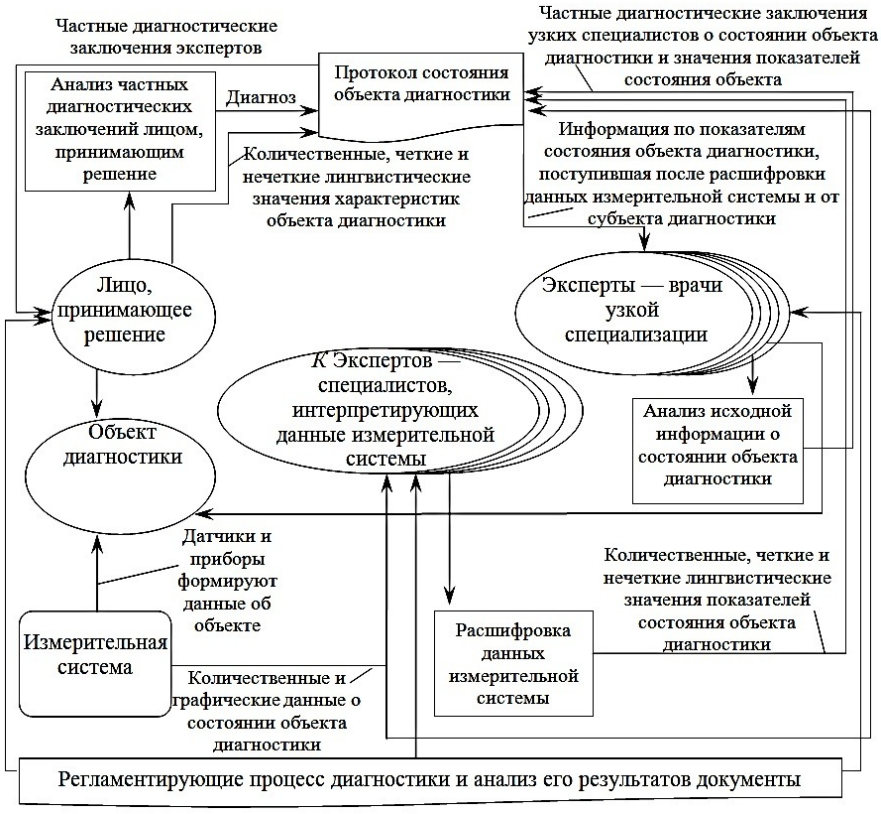

Рис. 1. Концептуальная модель диагностического процесса

Источники исходных диагностических данных разнородны: ЛПР и эксперты (субъекты диагностики), обследующие пациента и формулирующие значения показателей состояния объекта диагностики в формате количественных, лингвистических и нечетких переменных; аппаратура, снимающая значения характеристик объекта диагностики в количественном и графическом виде (детерминированные переменные). Информация с аппаратуры заносится в протокол состояния объекта диагностики и из него поступает к субъектам диагностики. В ряде случаев требуется предварительная расшифровка результатов аппаратного сканирования врачами функциональной диагностики (специалисты, интерпретирующие данные измерительной системы на Рис. 1). По способу определения диагноза [12] выделяют прямой, устанавливаемый по типичной совокупности признаков, и дифференциальный, основанный на выявлении различий в проявлениях данной болезни и заболеваний со сходной клинической картиной. Эти два диагноза дополняют друг друга. Данная концептуальная модель предполагает формирование полного дифференциального диагноза больного. Например, диагностика артериальной гипертензии [13] дифференцирует первичную артериальную гипертензию или эссенциальную от вторичных АГ, связанных с наличием патологических процессов.

Определение 1. Неоднородная задача диагностики p_D [1] – задача, включающая «однородные подзадачи» со свойствами зашумленности, нечеткости исходных данных, специфицирующихся одним из методов формализованного представления систем и включающих контроль состояния и функционирования объекта диагностирования, выявление и локализацию отклонений. Множество однородных задач обозначим как $P^h = \left\{ p_1^h, ..., p_{N_h-1}^h, p_D^h \right\}$, где $p_1^h, ..., p_{N_h-1}^h$ – однородные диагностические подзадачи, а p_D^h – однородная подзадача формирования заключительного диагноза. Введем предикатные символы: R^{st} – иметь «задача-состояние»; R^{pr} – иметь «задача-свойство»; R^{met} – «иметь метод»; R^{act} – «иметь действие»; R^{est} – «иметь оценку»; R_2 – «целое-часть»; R_3 – «влиять на»; R_4 – «есть причина».

Определение 2. Схема концептуальных моделей – средство определения классов понятий и типов отношений языка профессиональной деятельности, который используется для описания неоднородных предметной области и проблемной среды.

Тогда, используя синтаксис языка исчисления предикатов первого порядка, Определение 1, Определение 2 и схему неоднородной задачи (5.10) из [1], запишем схему концептуальных моделей неоднородной задачи диагностики (p_D) как конъюнкцию атомарных формул:

$$p_D = R^{st}\left(p_1, G\right) \wedge R^{pr}\left(p_1, D\right) \wedge R^{met}\left(p_1, MET\right) \wedge \\ \wedge R^{pr}\left(p_1, S\right) \wedge R^{pr}\left(p_1, f\right) \wedge R^{pr}\left(p_1, kp\right) \wedge \\ \wedge R^{pr}\left(p_1, kt\right) \wedge R^{act}\left(p_1, ACT\right) \wedge R^{est}\left(p_1, EV\right) \wedge \\ \wedge R_2\left(p_1, P^h\right) \wedge R_3\left(p_i^h, P_i^h\right) \wedge R_4\left(p_1, P^h\right), \quad (1)$$

где p_1 – «задача диагностики»; G, D – цель, определенная на множестве состояний, и входные данные неоднородной задачи диагностики, определенные на множестве свойств, соответственно; $\wedge$ – интерпретируется как одновременная выполнимость атомарных формул, и существуют такие значения термов, при которых атомарная формула становится фактом (если некая атомарная формула невыполнима на данном этапе исследования, то это значит, что у разработчика не хватает знаний о проблемной среде, и они будут пополнены на следующих этапах исследования); MET – метод, модель, алгоритм и программа для решения НЗД; S – спецификатор НЗД, включающий идентификатор I_D и схему неоднородной проблемной среды; I_D – «Задача диагностики < некоего аспекта, подсистемы, подструктуры или системы, структуры > у < объекта > < субъектом >»; f – фазы неоднородной задачи диагностики; kp – класс переменных; kt – класс задачи (диагностика); EV – оценка результатов операции ACT, исполняющей решение НЗД; p_i^h – i-ый элемент множества однородных подзадач; P_i^h – i-ое подмножество однородных подзадач.

Для решения неоднородной задачи диагностики в СППР используются как разнородная входная информация, так и разнородные знания субъектов диагностического процесса (Рис. 1) – профессиональные и теоретические (документы, регламентирующие процессы диагностики и формирования диагноза, например [13, 14]). Знания экспертов и ЛПР отображаются диагностическими правилами.

Определение 3. Диагностические правила – соотношения между закономерностями (симптомы и симптомокомплексы), присущими каждому из распознаваемых классов (заболеваний), описывающих то или иное состояние объекта (пациента) и извлекаемых из опыта, теоретических и профессиональных знаний экспертов.

В данной работе правила представлены в форме «Если <условие>, то <действие>» [15] – позволяют представить знания экспертов в удобном для пользователя виде на его «профессиональном» языке.

В информатике закон необходимого разнообразия У.Р. Эшби [16] трактуется так: только разнообразная, скоординированная клиническая деятельность, элементы которой в комбинации решают одну задачу, сделает результат диагностики качественно лучше. Специфике такой работы соответствует коллективный труд экспертов в малых группах. На Рис. 2 концептуальная модель консилиума расширена распределенными по

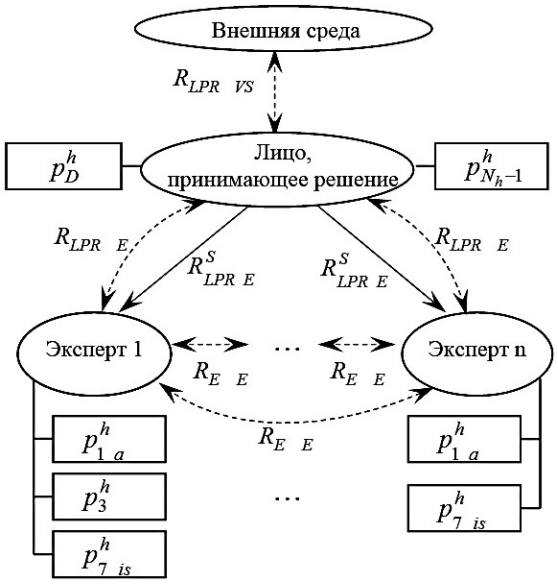

Рис. 2. Модель коллективного принятия решения в малых группах с распределением подзадач по участникам группы

$R_{LPR\ VS}$, $R_{LPR\ E}$, $R_{E\ E}$ – отношения дополнительности «внешняя среда–лицо, принимающее решение», «эксперт–лицо, принимающее решение», «эксперт–эксперт» соответственно; $R^S_{LPR\ E}$ – отношения сотрудничества «лицо, принимающее решение–эксперт»

Рис. 3. Декомпозиция неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии

– отношение «целое–часть» (R_2);
– отношения (R_3) на множестве функциональных диагностических подзадач;
85 – мощность множеств симптомов;
– отношения на множествах технологических и функциональных подзадач (R_3);
– области диагностических подзадач соответствующей болезни/множества болезней и обработки электрокардиограммы;
– области технологических элементов для построения информативного набора симптомов на входах функциональных элементов

его участникам подзадачами и подзадачей ЛПР по формированию диагностического заключения из декомпозиции P^h неоднородной задачи диагностики p_D. Одна подзадача может решаться одним экспертом (p_3^h), либо требуются знания нескольких экспертов и тогда: 1) частные заключения подзадачи можно аддитивно объединить ЛПР в одно ($p_{1\ a}^h$); 2) необходима интеграция и согласование частных заключений по соответствующей подзадаче ($p_{7\ is}^h$). Последний случай в данной работе не рассматривается. ЛПР может решать не только задачу p_D^h интеграции всех частных мнений экспертов в заключительный диагноз, но и принимать участие в решении подзадач ($p_{N_h-1}^h$). $R_3 \subseteq R_{LPR\ E}^S \bigcup R_{E\ E} \bigcup R_{LPR\ E}$ – отношения декомпозиции «подзадача–подзадача» раскрыты на Рис. 3. На принятие коллективных решений влияет внешняя среда – объединения людей с общими интересами по отношению к решаемой задаче. Организационная структура СППР формируется установлением между ЛПР и экспертами отношений сотрудничества ($R_{LPR\ E}^S$), имеющих «договорный» характер на время решения неоднородной задачи.

Определение 4. «Виртуальный консилиум» – это инструментальная среда поддержки принятия диагностических решений для синтеза и реализации метода решения НЗД, моделирующая работу системы «ЛПР – эксперты» как ГиИС, интегрирующую разнородные знания экспертов и способная моделировать как отдельные линии рассуждений, так и комбинирование частных мнений в общее решение.

3. «Виртуальный консилиум» – инструментальная среда для поддержки принятия диагностических решений

Исследование велось в рамках концепции ГиИС [2].

Определение 5. Гетерогенное модельное поле неоднородной задачи диагностики – множество разнородных моделей, отображающих теоретические, профессиональные знания и опыт экспертов, приглашенных в виртуальный консилиум поддержки принятия диагностических решений для обсуждения и для высказывания своего мнения относительно решения подзадач из состава неоднородной задачи диагностики.

Определение 6. Синтез метода решения неоднородной задачи диагностики – процесс моделирования рассуждений ЛПР, в результате которого над ГМП строится интегрированная модель, релевантная диагностической ситуации и отображающая относительность знаний.

Систему автоматизированной диагностики определим в соответствии с (5.16) из [1] и заданными в (1) понятиями как ГиИС, воспринимающую входные диагностические данные, выдающую выходные сигналы (диагноз) и находящуюся в некотором состоянии, релевантном состоянию коллективного диагностического процесса:

$$\alpha(t) = R^{met}(gis, MET^i) \wedge R^{pr}(gis, \overline{D}_D) \wedge R^{pr}(gis, \overline{G}_D) \wedge \wedge R^{st}(gis, \overline{st}) \wedge R_{f1}(\overline{st}(t), \overline{st}(t+1)) \wedge R_{f2}(\overline{D}_D(t), \overline{st}(t)) \wedge \wedge R_{f3}(\overline{st}(t), \overline{G}_D(t)) \wedge {}^{\psi\varphi}R^k_{int}(gis^n, gis^n) \wedge R_D(\overline{D}_D, D^n) \wedge \wedge R_G(G^n, \overline{G}_D), \quad (2)$$

где gis – ГиИС; MET^i – интегрированный метод; $\overline{D}_D$ – вектор исходных данных НЗД (1), передаваемый на вход одного или нескольких элементов из gis^n, решающих подзадачи из декомпозиции неоднородной задачи диагностики; $\overline{G_D}$ – вектор выходных данных НЗД; $\overline{st}$ – вектор состояния ГиИС, формирующийся из состояний элементов из gis^n; R_{f1}, R_{f2}, R_{f3} – отношения, заданные в смежные моменты времени на множестве пар вход–состояние и на множестве пар состояние–выход, соответственно; ${}^{\psi\varphi}R^k_{int}$ – отношения интеграции элементов φ и ψ, знания которых участвуют в интеграции типа k; D^n, G^n – множество свойств «вход» и «выход» элементов из gis^n, соответственно; R_D, R_G – отношения на множестве пар вход ГиИС–входы элементов и на множестве пар выходы элементов–выход ГиИС, соответственно.

Гибридная интеллектуальная система решения неоднородной задачи диагностики разработана в соответствии с проблемно-структурной методологией [1] и ее функциональная структура на примере неоднородной задачи диагностики артериальной гипертензии (НЗДАГ), декомпозиция которой представлена на Рис. 3, отражена на Рис. 4. НЗДАГ – задача, включающая функциональные подзадачи, а также технологические подзадачи при необходимости, повышающие эффективность обработки симптоматической информации о пациенте. Однородные подзадачи НЗДАГ с различными характеристическими свойствами требуют различные методы системного анализа, искусственного интеллекта и инженерии знаний. Для построения декомпозиции НЗДАГ применялась смешанная редукция [1], основанная на рекомендациях [13] и результатах извлечения экспертных знаний. Ограничения: исключены пациенты младше 18 лет и беременные; по ЭКГ распознается часть патологий; не диагностируется систолическая и ряд вторичных АГ; не предусмотрено назначение лечения.

Технологические диагностические подзадачи выделены по результатам бесед с экспертом для сокращения объема входной информации функциональных диагностических подзадач (множества симптомов).

Диагностические подзадачи представляются переменными одного класса: детерминированными, лингвистическими или лингвистическими нечеткими, а решаются одним методом из классов базисных методов [1].

Функциональная структура ГиИС для решения НЗД (Рис. 4): модульная; с гибким алгоритмом диагностики и гибким интерфейсом пользователя в зависимости от конкретной диагностической ситуации; с библиотекой функциональных и технологических модулей для организации эффективной обработки данных и знаний.

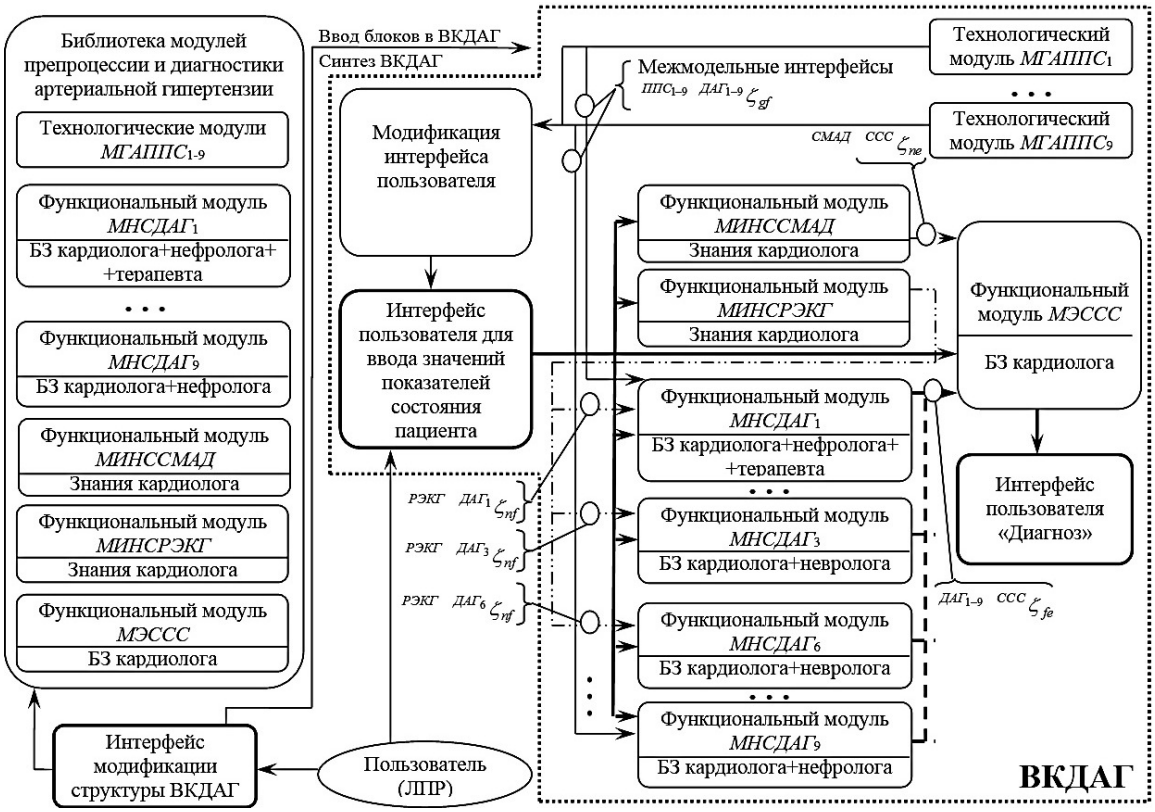

Рис. 4. Функциональная структура виртуального консилиума

БЗ – база знаний; *n* – искусственные нейронные сети, *e* – экспертные системы, *f* – нечеткие системы, *g* – генетические алгоритмы

Технологический модуль *i*-ый для *i*-ой *МГАППС*$_{1\text{-}9}$: функция – построение информативного набора признаков при диагностике заболеваний *i*-ым нечетким модулем; вход – популяция индивидуумов (размер индивидуума равен общему количеству учитываемых признаков в соответствующей подзадаче из группы *ДАГ*$_{1\text{-}9}$, причем значение гена равное 1 соответствует признаку, принадлежащему множеству «Учитываемые признаки», а 0 — признаку, не включенному в это множество), накладывающихся как маска на вход *i*-ого функционального модуля; выход – наилучший индивидуум с оптимальным набором признаков.

Функциональные модули: 1) *i*-ый для *i*-ой *МНСДАГ*$_{1\text{-}9}$: функция – определение состояния здоровья пациента в рамках *i*-ой подзадачи из декомпозиции НЗД; выбирается для включения в ГиИС; вход – подмножество *i*-ое значений показателей состояния здоровья; выход – частное *i*-ое заключение о состоянии здоровья пациента; 2) *МЭССС*: функция – формирование заключительного диагноза АГ (всегда в составе виртуального консилиума); вход – подмножество симптомов, множество выходов функциональных нечетких модулей 1–9 и модуля *МИНССМАД*; выход – заключительный диагноз артериальной гипертензии; 3) *МИНСРЭКГ*: функция – определение патологического состояния пациента по его ЭКГ; вход – ЭКГ-образ; выход – класс патологии; 4) *МИНССМАД*: функция – определение нормальных значений суточного мониторирования артериального давления (СМАД) и вычисление отклонения от них данных пациента; вход – вектора с данными по полу и возрасту пациента и с данными СМАД пациента; выход – вектора отклонения реальных значений СМАД от нормальных.

Интерфейсы: 1) модификации структуры ВКДАГ: функция – исключение из диагностики модулей, решающих не интересующие пользователя подзадачи из декомпозиции неоднородной задачи; вход – множество выбранных пользователем подзадач диагностики; выход – ГиИС; 2) «Модификация интерфейса пользователя»: функция – деактивация элементов на интерфейсе пользователя для ввода симптомов

пациента; вход – множество выходов технологических модулей. Деактивации подлежат элементы с нулевой позицией в векторе; выход – частично деактивированный интерфейс пользователя для ввода значений характеристик пациента; 3) «Диагноз»: функция – визуализация результатов диагностики и корректировка их при необходимости; вход – заключительный диагноз от функционального модуля *МЭССС*; выход – отчет, содержащий множество симптомов и диагноз; 4) для ввода значений показателей состояния здоровья пациента: функция – ввод значений показателей состояния здоровья пациента; вход – множество симптомов пациента; выход – значения характеристик пациента, распределенные по функциональным модулям и преобразованные к формату входа соответствующего модуля.

4. Реализация и экспериментальное исследование виртуального консилиума

Для моделирования ВКДАГ был выбран математический пакет MATLAB–Simulink. MATLAB – высокоуровневый язык, а также интерактивная среда для анализа данных, разработки алгоритмов и приложений, содержит инструменты базисных методов гибридных интеллектуальных систем [1], блоки которых есть и в Simulink – интерактивный инструмент для моделирования и анализа систем, предоставляющий возможность строить графические блок-диаграммы, моделировать работу систем, исследовать работоспособность и совершенствовать их.

Для разработки экспертной системы выбрана оболочка KAPPA PC (IntelliCorp, Inc.) – использует объектно-ориентированный подход к разработке базы фактов и представлению фактов в контексте задачи, позволяет организовать рассуждения с использованием правил в прямом и в обратном направлении, есть возможность связи с другими приложениями.

Разработаны метод, модели и алгоритмы, реализующие на ЭВМ виртуальное совещание, консилиум (Рис. 2), программных моделей знаний врачей различных специальностей для поддержки принятия диагностических решений в парадигме гибридных интеллектуальных систем. Консилиум интегрирует разнородные модели знаний и имитирует дополнительность и относительность коллективных рассуждений экспертов в условиях существенного разнообразия информации о состоянии здоровья пациента (результатов сбора анамнеза, физикального, лабораторного и функционального обследований) для постановки релевантного диагноза, в частности диагноза АГ. В общей сложности создано 83 файла средствами пакета MATLAB–Simulink/оболочки экспертных систем KAPPA PC. В MATLAB–Simulink были разработаны интерфейсы для ввода/вывода информации в виртуальном консилиуме для диагностики артериальной гипертензии.

В консилиуме принимают участие кардиолог (как ЛПР и эксперт), невролог, нефролог, терапевт, эндокринолог, сосудистый хирург, знания которых используются в 90% случаев диагностики АГ. В экспериментах решение задачи диагностики артериальной гипертензии моделировалось в соответствии с декомпозицией и отношениями дополнительности и сотрудничества на функциональных моделях ГМП (Рис. 3).

План проведения экспериментов: 1) инициализировать интегрированные модели ВКДАГ, включающие знания – шести врачей различной специализации, пяти выбранных врачей различной специализации, различные по составу врачей в количестве от двух до четырех; 2) тестировать все модели на тестовой выборке и рассчитать среднеквадратическую ошибку постановки диагноза пациента (Рис. 5).

***Объем тестовой выборки ВКДАГ*:** 400 наблюдений – 200 с диагнозами эссенциальной АГ и 200 с диагнозами вторичной артериальной гипертензии. *Источник формирования тестовой выборки* – архив медицинских карт пациентов первой кардиологии КОКБ. *Эталонный диагноз* – результаты деятельности лечащего врача кардиолога – дифференциальный диагноз артериальной гипертензии: степень АГ; стадия эссенциальной АГ (или гипертонической болезни); класс общего риска сердечнососудистых заболеваний; факторы риска, поражения органов-мишеней, ассоциативные клинические состояния и вторичные АГ.

***Алгоритм расчета среднеквадратической ошибки*:** 1) подсчитывается отклонение диагноза от эталонного по каждому выходу ВКДАГ для N наблюдений в тестовой выборке, т.е. N отклонений по l-ому ($l = \overline{1, N_k}$, k = 10) выходу системы

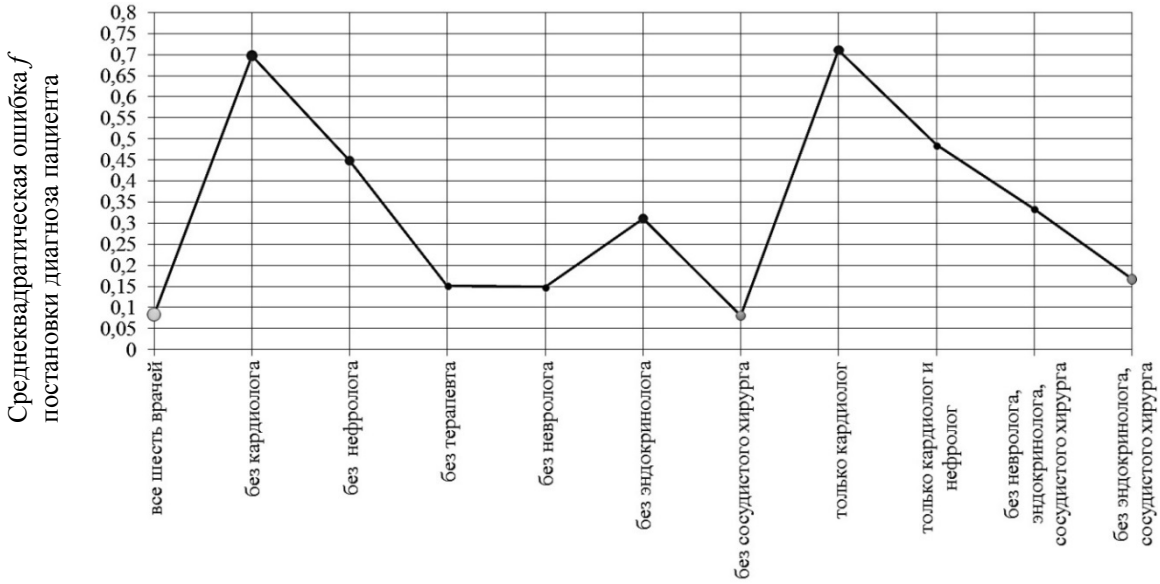

Рис. 5. Результаты тестирования консилиума

$\delta_{l\,j}$ (0, если совпадает с эталоном, и 1 или -1, если нет), которые складываются и усредняются; 2) вычисляется среднеквадратическая ошибка постановки диагноза пациента (f) по формуле ($N = 400$, $N_k = 100$):

$$f_i = \sqrt{\sum_{l=1}^{N_k}\left(\left(\sum_{j=1}^{N}\left|\delta_{l\,j}\right|\right)\Big/N\right)^2\Big/N_k}.$$

Анализ результатов тестирования (Рис. 5) показал:

1) без знаний кардиолога, нефролога или эндокринолога среднеквадратическая ошибка наибольшая – 0,697; 0,448 и 0,311 соответственно; объясняется это тем, что кардиолог играет ключевую роль в обработке информации, поступающей от других врачей и от лабораторных исследований, и в постановке заключительного диагноза, а нефролог и эндокринолог – в исключении вторичной артериальной гипертензии;

2) знания сосудистого хирурга, касающиеся диагностики АГ, не влияют на результаты работы виртуального консилиума, так как составляют только 20% базы знаний нечеткой системы, распознающей заболевания периферических артерий (ассоциативные клинические состояния), встречающиеся не более чем у 10% населения [17], и в тестовую выборку не попали карты с данными заболеваниями;

3) чем больше численный состав консилиума, тем с меньшей ошибкой он определяет состояние здоровья пациента и, соответственно, виртуальный консилиум в составе шести врачей диагностирует АГ с ошибкой $f = 0{,}0837$, т.е. дает диагноз верный в 92% случаях.

Таким образом, предварительные результаты лабораторных экспериментов с прототипом ВКДАГ таковы: верное решение получено в 92% случаев, а диагностические выводы виртуального консилиума релевантны диагностике АГ в стационаре больницы, в то время, как в амбулаторно-поликлинических учреждениях диагноз не выявляется у 70% пациентов в основном из-за недостатка опыта врачей узкой специализации и нехватки кадров.

Заключение

Полученные результаты исследования виртуального консилиума подтверждают эффективность предлагаемого подхода для разработки диагностических систем как гибридных интеллектуальных систем со свойствами дополнительности, сотрудничества и относительности знаний, синтезирующих интегрированные методы и модели. Такие системы могут быть использованы для повышения качества диагностики и снижения числа диагностических ошибок.

Литература

1. Колесников А.В., Кириков И.А. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. – М.: ИПИ РАН, 2007. 387 с.
2. Колесников А.В. Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки / под ред. А.М. Яшина. – СПб.: СПбГТУ, 2001. 711 с.
3. Петровский А.Б. Теория принятия решений: университетский учебник. – М.: Академия, 2009. 400 с.
4. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах/Учебник. 2-ое изд., перераб. и доп. – М.: Логос, 2002. 392 с.
5. Шулакова М.А. Информационная поддержка принятия решений при диагностике артериальной гипертонии на основе методов гибридного интеллекта. Автореф. дисс. … канд. техн. наук. – Воронеж, 2012. 16 с.
6. Аль Мабрук Мохаммад. Аппаратно-программные средства и алгоритмы распознавания патологий сердца на основе персептронных сетей. Дисс. … канд. техн. наук: 05.11.17. – Владимир, 2011. 203 с.
7. Реброва О.Ю. Математические алгоритмы и экспертные системы в дифференциальной диагностике инсультов. Дисс. ... докт. мед. наук: 14.01.13. – М., 2003. 325 с.
8. Бессонова Т.В. Методы интеллектуальной поддержки принятия решений в задачах диагностики и лечения хронической сердечной недостаточности. Дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.01. Воронеж, 2008. 135 с.
9. Залавский Д.С. Разработка решающих правил для дифференциальной диагностики осложненных форм инфаркта миокарда. Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. Воронеж, 2003. 159 с.
10. Загорулько Ю.А., Загорулько Г.Б. Использование онтологий в экспертных системах и системах поддержки принятия решений. Режим доступа: http://www.myshared.ru/slide/92940/
11. Малая медицинская энциклопедия в 6-ти томах. Т 2: Грудь - Куммеля болезнь / Под ред. Покровского В.И. – М.: Медицина, 1991. С. 89.
12. Боткин С.П. Первая клиническая лекция // Медицинский Вестник. 1862. № 41. С. 392.
13. Диагностика и лечение артериальной гипертензии. Российские рекомендации (четвертый пересмотр) // Системные гипертензии. 2010. №. 3. С. 5-26.
14. 2013 ESH/ESC Guidelines for the management of arterial hypertension: The Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC) // Journal of Hypertension. Vol. 31(7). P. 1281-1357.
15. Люгер Дж.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем: [пер. с англ.]. 4-е изд. М.: Вильямс, 2003. 864 с. (Luger G.F. Artificial Intelligence. Structures and Strategies for Complex Problem Solving. 4th ed. – London: Addison-Wesley Longman, 2002. 850 p.)
16. Ashby W.R. Principles of the Self-Organizing Dynamic System // Journal of General Psychology. 1947. No. 37. P. 125–128.
17. Галимзянов, Ф.В. Заболевания периферических артерий (Клиника, диагностика, лечение) // Международный журнал экспериментального образования. 2014. № 8. С. 113–114. Режим доступа: www.rae.ru/meo/?section=content&op=show_article&article_id=5913/ .

Modeling of collective decisions by the virtual council

S. B. Rumovskaya[I], A.V. Kolesnikov[II], I.A. Kirikov[I]

[I] Kaliningrad branch of Federal Research Center “Computer Science and Control” of RAS, Kaliningrad, Russia
[II] Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

The study of methods for collective problem solving and their modeling is an important area of scientific research and has great practical significance. This is especially true of complex heterogeneous problems, including subtasks, each of which must be solved by a specialist (or specialists) in the relevant field of knowledge. The paper presents the results of modeling of the collective decision–making in small groups for the diagnosis of arterial hypertension, namely the results of analysis of known modeling and integration methods of knowledge and support tools for making diagnostic decisions. There are also presented the results of the developing of the “Virtual council” and it’s experimental findings.

Keywords: support for making diagnostic decisions, hybrid intelligent system, tool environment, virtual council.

DOI 10.14357/20718594180402

References

1. Kolesnikov, A.V., and I.A. Kirikov. 2007. Metodologiya i tekhnologiya resheniya slozhnykh zadach metodami funktsional'nykh gibridnykh intellektual'nykh sistem [Methodology and technology for solving of complex problems using the methodology of functional hybrid artificial systems]. Moscow: IPI RAN. 387 p.
2. Kolesnikov, A.V. 2001. Gibridnyye intellektual’nyye sistemy. Teoriya i tekhnologiya razrabotki [Hybrid artificial systems. Theory and development technology]. St. Petersburg: SPbGTU. 711 p.

3. Petrovskiy, A.B. 2009. Teoriya prinyatiya resheniy: universitetskiy uchebnik [Decision-making theory: college textbook]. Moscow: Akademiya. 400 p.
4. Larichev, O.I. 2002. Teoriya i metody prinyatiya resheniy, a takzhe KHronika sobytiy v Volshebnykh stranakh: uchebnik [Theory and methods of decision–making and also: Event history of Fairyland]. Moscow: Logos. 392 p.
5. Shulakova, M.A. 2012. Informatsionnaya podderzhka prinyatiya resheniy pri diagnostike arterial'noy gipertonii na osnove metodov gibridnogo intellekta [Decision–making data support during diagnosing of arterial hypertension within methodology of hybrid intellegence]. PhD thesis. Voronezh. 16 p.
6. Al' Mabruk Mokhammad. 2011. Apparatno-programmnyye sredstva i algoritmy raspoznavaniya patologiy serdtsa na osnove perseptronnykh setey [Hardware, software and algorithms for recognition of heart pathology based on perceptron-type networks]. D.Sc. Diss. Vladimir. 203 p.
7. Rebrova, O.YU. 2003. Matematicheskiye algoritmy i ekspertnyye sistemy v differentsial'noy diagnostike insul'tov [Mathematical algorithms and expert systems for differential diagnostic of insult]. M.D. diss. Moscow. 325 p.
8. Bessonova, T.V. 2008. Metody intellektual'noy podderzhki prinyatiya resheniy v zadachakh diagnostiki i lecheniya khronicheskoy serdechnoy nedostatochnosti [Methods of intellectual support of decision-making in the problems of diagnosis and treatment of chronic heart failure]. PhD diss. Voronezh. 135 p.
9. Zalavskiy, D.S. 2003. Razrabotka reshayushchikh pravil dlya differentsial'noy diagnostiki oslozhnennykh form infarkta miokarda [Development of decision rules for the differential diagnosis of complicated forms of myocardial infarction]. PhD diss. Voronezh. 159 p.
10. Zagorul'ko, YU.A., and G.B. Zagorul'ko. Ispol'zovaniye ontologiy v ekspertnykh sistemakh i sistemakh podderzhki prinyatiya resheniy [Use of ontologies in expert systems and decision support systems]. Available at: http://www.myshared.ru/slide/92940/ (accessed June 7, 2018).
11. 1991. Malaya meditsinskaya entsiklopediya. Kn. 2: Grud'–Kummelya bolezn' [Small medical encyclopedia. Vol. 2: Chest'–Kymmelya disease']. Moscow: "Medicine". P. 89.
12. Botkin, S.P. 1862. Pervaya klinicheskaya lektsiya [The first clinical lecture]. Meditsinskiy Vestnik [Medical Herald]. № 41. P. 392.
13. Komitet ekspertov VNOK. 2010. Diagnostika i lechenie arterial'noy gipertenzii. Rossiyskie rekomendatsii [Diagnosing and treatment of arterial hypertension. Russian recommenation]. Sistemnye gipertenzii [Systemic hypertension]. 3: 5–26.
14. 2013. ESH/ESC. Guidelines for the management of arterial hypertension: The Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC) // Journal of Hypertension. 31(7): 1281–1357. doi: 10.1097/01.hjh.0000431740.32696.cc.
15. Luger, G.F. Artificial Intelligence. Structures and Strategies for Complex Problem Solving. 4th ed. London: Addison-Wesley Longman, 2002. 850 p.
16. Ashby, W.R. 1947. Principles of the Self–Organizing Dynamic System // Journal of General Psychology. 37: 125–128.
17. Galimzyanov, F.V. 2014. Zabolevaniya perifericheskikh arteriy (Klinika, diagnostika, lechenie) [Peripheral vascular disease (Clinic, diagnostics, treatment]. Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya – Foreign journal of research education. 8: 113–114. Available at: www.rae.ru/meo/?section=content&op=show_article&article_id=5913/ (accessed June 28, 2018).