

УДК 616.1.039.11.07 : 681.31

В. Р. Шустерман, М. Б. Штарк

(Новосибирск)

ДИНАМИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ И ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ

Излагаются взгляды на особенности конструирования новой ветви — динамических экспертных систем (ЭС), которые имеют более высокую степень независимости от пользователя и объективности получения информации и могут самостоятельно наблюдать за реальными процессами. Одно из новых интересных направлений связано с включением методов искусственного интеллекта в организацию биологической обратной связи, что открывает новые перспективы как в развитии экспертных систем, так и в организации обратной связи на качественно ином уровне.

I. Динамические экспертные системы. Новым этапом развития экспертных систем является попытка включения их в естественно протекающие процессы в режиме реального времени. Такое включение позволяет использовать экспертные системы не только для отдельных консультаций, но и для наблюдения (мониторинга) состояния объекта [1—14].

Очевидно, что задача включения экспертных систем в реальное время предъявляет новые требования к их структурной организации по сравнению с традиционными системами, работающими в режиме "off line". Прежде всего, это касается обработки информации и построения базы знаний. Рассмотрим последовательно каждое из этих требований.

1. *Обработка информации в экспертных системах реального времени.* Основным требованием к использованию информации является достаточная скорость ее анализа. Система должна иметь возможность осуществлять обработку двух типов информации. Первый — это данные автоматического анализа физических сигналов, регистрируемых с объекта (например, ЭКГ-сигналов). Так как регистрация ведется непрерывно, сброс данных в базу данных экспертной системы для последующего анализа может проводиться отдельными порциями за небольшие интервалы времени. Чем меньше времени будет проходить между такими сбросами, тем точнее будут результаты анализа. Однако ограничения для уменьшения интервалов между отдельными квантами такого анализа будут время обработки и возможности памяти для временного хранения информации. Поэтому режим реального времени может использоваться только для несложных видов обработки, например проверки на соответствие граничным значениям. Более сложные виды анализа, требующие использования большого количества правил, возможны только в режиме псевдореального времени. Может также использоваться двухступенчатая схема, когда первичный, несложный анализ в реальном времени играет роль фильтра. При выходе результатов такого анализа за пороговый уровень включается более сложный анализ, который проводится уже в псевдореальном времени (рис. 1).

Второй тип информации — данные, получаемые периодически. Они могут регистрироваться автоматически либо вводиться пользователем в диалоговом режиме. Так как интервалы времени между получением данных в этом случае достаточно большие, обработка также может проводиться в псевдореальном времени.

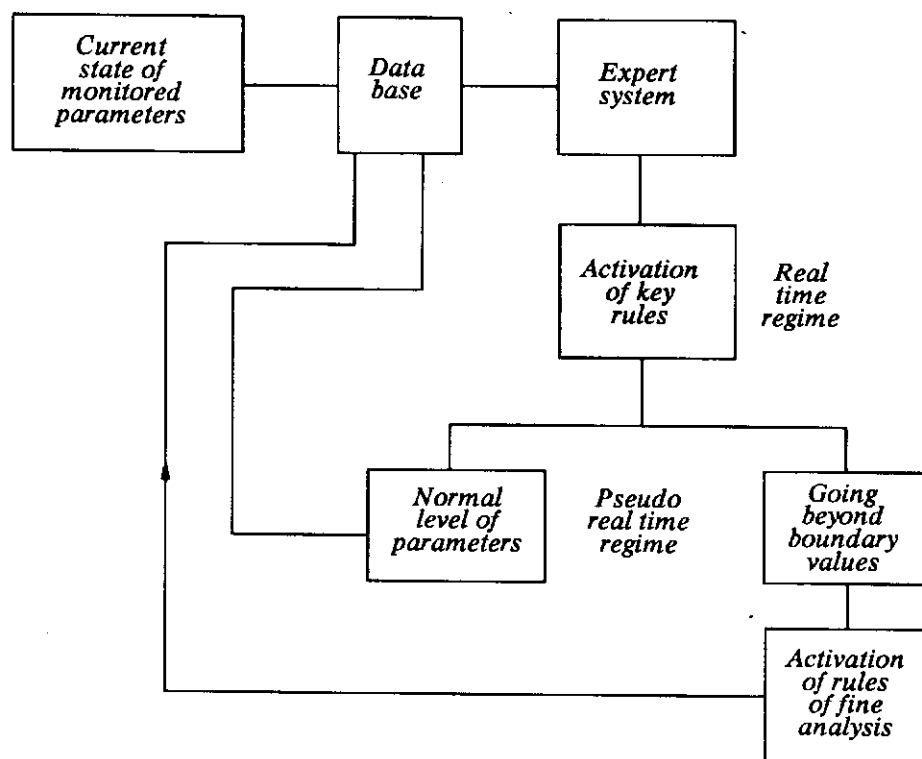


Рис. 1

2. Способы построения базы знаний динамических экспертных систем. Можно выделить, по крайней мере, две особенности, отличающие архитектуру базы знаний динамических экспертных систем от традиционных (статических): во-первых, это получение информации с различной периодичностью для последующей интегральной обработки с учетом времени получения, во-вторых, сравнительный анализ данных, полученных в различные моменты времени.

Нами предложена [8] следующая схема организации базы знаний для адекватного представления динамики длительно текущего процесса (хронического заболевания). Все признаки, вводимые в базу знаний, могут быть разделены на три обобщенные группы по длительности соответствующих им временных интервалов. В первую группу (рис. 2) вошли признаки с наименьшим временем фиксации, которое может условно приниматься за единицу измерения. Для анализа таких признаков абсолютного статического типа достаточно двух градаций (есть—нет). Появление таких признаков при диагностике может свидетельствовать об остром либо впервые возникшем патологическом процессе (например, впервые появившаяся боль за грудиной).

Признаки второй группы имеют более пролонгированный характер. При хроническом течении заболевания, когда требуется определить степень изменения ранее наблюдавшегося симптома (например, выявить усиление или учащение болевых приступов), признаков этого типа уже недостаточно для диагностики обострения патологического процесса. В таких случаях используются характеристики второй группы. Они отражают относительные изменения симптомов во время последнего на момент обследования обострения как в качественном (усиление—ослабление), так и в количественном виде (например, учащение приступов в N раз).

Наконец, для получения интегральной оценки состояния больного при длительно хроническом течении заболевания применяются признаки

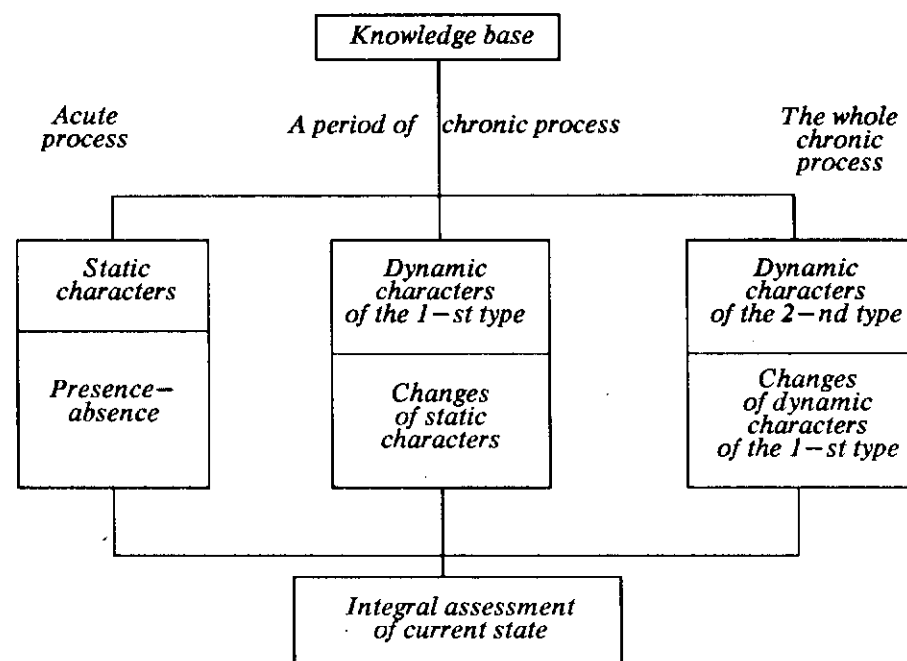


Fig. 2

третьей группы с наибольшим временным интервалом. Их использование позволяет определить динамику развития процесса (заболевания) в целом, от момента его начальных проявлений, и, таким образом, более точно установить его фазу (обострение—ремиссия) и прогноз для данного пациента. Используемые признаки образуются путем сопоставления признаков второй группы за весь период наблюдения и объединения (укрупнения) динамики отдельных признаков в динамические группы.

Для визуализации информации третьей группы может использоваться построение графических функций течения процесса (заболевания) на протяжении длительного периода наблюдения. Построение графических характеристик у больных различных возрастных групп не только повышает достоверность диагностики, но и создает возможность построения логических моделей, объясняющих взаимовлияние различных механизмов наблюдаемых процессов. Так, было проведено уточнение роли изменений сосудистого тонуса коронарных артерий в возникновении разных вариантов течения ишемической болезни сердца [9].

Таким образом, предложенная структура базы знаний диагностической экспертной системы состоит из трех уровней:

- а) статические признаки с двумя градациями (есть—нет);
- б) динамические признаки первого типа, характеризующие развитие процесса (заболевания) за небольшой промежуток времени, предшествующий моменту наблюдения;
- в) динамические признаки второго типа, отражающие развитие процесса (заболевания) в целом.

Представление знаний в таком виде, помимо удобной формализации в рамках псевдофизической логики времени, имеет и другие преимущества. Так, известно, что в условиях клинической практики анализируются только две первые из вышеназванных групп признаков без учета их взаимосвязей. Возможность как провести раздельный анализ всех трех групп симптомов, так

и получить их интегральную характеристику существенно повышает точность диагноза и прогноза заболевания.

Выяснению закономерностей развития диагностируемого процесса способствует определение математической зависимости вида

$$M = \frac{ax}{by} kL, \quad (1)$$

где M — функция, позволяющая количественно оценить изменения в состоянии объекта; x, y — статические признаки при состояниях a, b соответственно; L — показатель связанной с a, b и влияющей на их проявление функции организма; k — коэффициент пропорциональности, $k = \text{const} > 0$.

Частное ax/by представляет собой динамический признак первого типа, отражающий течение заболевания во время последнего (на момент обследования) обострения. Учет функции L , на значение которой влияют возраст пациента, длительность течения заболевания, тяжесть состояния и другие факторы, позволяет более точно определить величину M . Для нахождения динамических признаков второго типа необходимо провести сравнение величины M и построить график ее изменений в разные фазы течения заболевания на протяжении длительного времени, охватывающего несколько таких периодов.

С помощью такого подхода были выявлены возрастные отличия в характере нестабильной стенокардии, которые выражались относительным учащением болевых приступов и снижением их интенсивности. Анализ этих динамических признаков второго типа позволил уточнить формы течения этой патологии, выделить различные клинико-патогенетические типы и наметить принципы их направленного лечения.

Описанная организация базы знаний использована в разработанной нами экспертной системе для диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы. В результате было достигнуто увеличение числа правильно установленных системой диагнозов и более точное распознавание фазы течения заболевания. Такая структура базы знаний отражает общие закономерности состава диагностической информации и в связи с этим может быть распространена для диагностики других состояний.

II. Интеллектуальные системы с обратной связью. Одной из основных проблем конструирования ЭС на протяжении 10—15 лет их развития является стремление повысить объективность поступающей в них информации. В связи с этим семейство традиционных консультирующих систем, работающих в режиме "off line" и получающих информацию исключительно в диалоге с пользователем, постепенно дополняется системами, акцентирующими данные из других источников. Это активно развиваемые в настоящее время направления, связывающие ЭС с базами данных [2], и описанные в предыдущей главе динамические системы. Синтез этих технологий позволяет работать над созданием гибридных систем, анализирующих различные типы информации.

Наименьшей степенью достоверности среди всех остальных источников информации характеризуются сведения, получаемые в диалоге с пользователем. Для того чтобы оценить достоверность полученной таким образом информации, как было показано выше, используются различные методы теории вероятности, возможностей, распознавания образов, статистического анализа. Однако все эти методы пользуются в основном оценками конкретных фактов, получаемых из общего источника информации (пользователя). При этом никак не оценивается степень объективности самого источника, что существенно снижает точность последующего анализа каждого конкретного факта.

Анализ степени объективности пользователя как основного источника информации является наименее развитым на сегодняшний день направлением и, по сути, не претерпел значительных изменений со времен появления первых систем искусственного интеллекта.

Нами предложена организация обратной связи с пользователем (экспертом) как средство оценки его реакций, влияющих на качество вводимой информации [7]. Таким образом, впервые система получает возможность

оценивать источник информации, получаемой в диалоге с пользователем, сравнивая субъективные данные с объективно оцениваемыми физиологическими реакциями. Возможны несколько аспектов использования данного метода (рис. 3).

Прежде всего, биологическая обратная связь ЭС с пациентом становится принципиально новым способом организации тренинга с целью выработки желаемых управляющих и контролируемых навыков. Такой способ организации БОС в дополнение к традиционным аудиовизуальным средствам позволяет, направленно воздействуя на сознание пациента, повышать эффективность тренинга и быстрее добиваться желаемых результатов.

Второй способ касается интерфейса между ЭС и пользователем (экспертом). Очевидно, что системы с обратной связью, помимо традиционных средств, имеют возможность организации интерфейса с учетом физиологических особенностей и поведения пользователя.

В качестве исходной информации для организации обратной связи используются данные, получаемые с датчиков регистрации физиологических сигналов пользователя. Эти данные о физиологических функциях и поведении пользователя показывают его исходный статус и реакции в процессе взаимодействия с системой. ЭС работает в режиме реального времени со средствами мониторинга физиологических сигналов, обработка информации проводится в режиме "of time interruption".

Какую дополнительную информацию об источнике (пользователе или эксперте) можно получить посредством организации такой обратной связи?

1. Исходное состояние пациента. Благодаря анализу физиологических сигналов (частота сердечных сокращений, частота дыхательных движений грудной клетки, кожная температура, напряжение мышц) система может идентифицировать тип пользователя, с которым имеет дело, и настроиться на его индивидуальный ритм. Речь идет об особенностях нервной системы, кото-

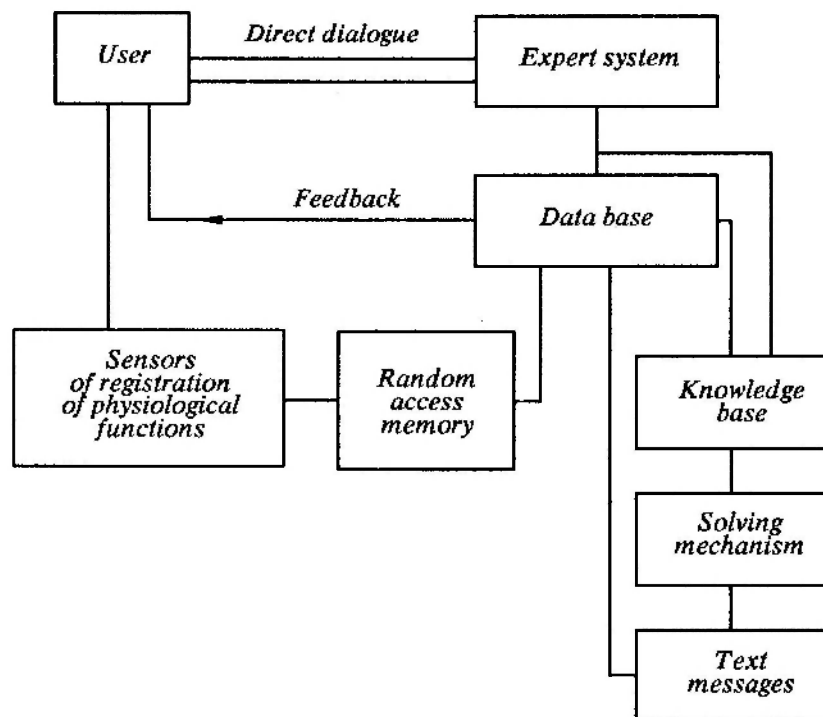


Рис. 3

рые могут быть определены посредством однократных измерений данных параметров. По степени мышечного напряжения, температуре кожи, частоте сердечных сокращений и дыхательных движений грудной клетки можно определить степень напряженности человека, ведущего диалог с экспертной системой. От этого будет зависеть характер выдаваемых системой тестовых сообщений, скорость и объем запрашиваемой и выводимой информации. Уровень напряженности человека также оказывает влияние на достоверность представляемой им информации.

2. Степень и характер влияния ЭС на состояние пользователя. Уровень изменений мониторируемых физиологических параметров достаточно объективно отражает влияние системы на поведение пользователя. Организация данной связи с системой позволяет контролировать изменение степени напряженности и усталости, возникающих в процессе общения. Нарастание степени напряженности может потребовать изменения характера диалога (скорости и количества запросов и выдачи сообщений, их содержания). Контроль этой функции важен также при работе эксперта с системой, на этапе заполнения базы знаний. Наблюдение системой за состоянием человека в процессе диалога позволяет организовать его наиболее комфортным способом, с настройкой на особенности индивидуального пользователя.

3. Оценка реакции пользователя в процессе диалога. Наблюдение за скоростью и характером изменений физиологических функций в сочетании с быстротой и характером реакций пользователя в ответ на те или иные запросы системы, возникающие в процессе диалога, позволяет отслеживать степень его реакций в каждой конкретной ситуации. Таким образом, можно определить субъективную важность и сложность для человека конкретных вопросов и ответов, возникающих в процессе диалога. Задание пороговых величин стандартных физиологических реакций пользователя в процессе диалога с ЭС позволяет определить и классифицировать его тип реакций. Очевидно, что для повышения объективности задаваемой пользователем информации важно учитывать индивидуальный тип его реагирования (нормо-, гипер- или гипореакторный тип). Объективная оценка выраженности психологических реакций может включаться в систему уточнения вероятностей вводимых пользователем данных (в качестве поправочных коэффициентов).

В Институте медицинской и биологической кибернетики СО РАМН ведутся работы по созданию ЭС с обратной связью [13]. Система находится на этапе демонстрационного прототипа. Она дает возможность оценивать следующие показатели:

1. Исходное состояние и прогноз поведения пациента (пользователя) при первичном знакомстве с системой.
2. Изменение психоэмоционального состояния пользователя в процессе общения с системой.
3. Изменение физиологических параметров, мониторируемых в ходе взаимодействия с ЭС.
4. Изменение баланса вегетативной нервной системы.
5. Оценка результатов (выраженности) произошедших изменений в состоянии пользователя (пациента) после завершения курса общения с системой.

Системы с обратной связью являются на сегодняшний день принципиально новым направлением развития идей искусственного интеллекта. Конструирование таких систем позволит организовать более гибкий диалог с конкретным пользователем с учетом его индивидуальных реакций, повысить точность оценки достоверности получаемой информации и, таким образом, получить более качественные результаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бохуа Н. К., Геловани В. А., Ковригин О. В. Экспертные системы: опыт проектирования. — М., 1990.
2. Гринберг С. Я., Смола В. В., Яхно Т. М. Интеграция баз данных и баз знаний в оболочке ДИ-ГЕН // Экспертные системы базы знаний и данных: Мат. сем. — М., 1992.
3. Гублер Е. В. Информатика в патологии, клинической медицине и педиатрии. — Л., 1990.

4. Искусственный интеллект. Кн. 3. Программные и аппаратные средства: Справочник /Под ред. В. Н. Захарова, В. Ф. Хорошевского.—М., 1990.
5. Коростышевский М. А., Шустерман В. Р., Якобсон И. Р. Принципы построения диагностических экспертных систем в области медицины и других областях с плохо формализованными знаниями // Интеллектуальные системы и творчество: Тез. докл. и сообщ. к 5 Всесоюз. конф. по проблемам интеллектуальных систем.—Новосибирск, 1990.
6. Трофимов О. Е., Шустерман В. Р. Рейтинговая экспертная система для дифференциальной диагностики заболеваний, сопровождающихся кардиалгическим синдромом.—Новосибирск, 1991.—(Препр. /ИАиЭ СО АН СССР; 465).
7. Шустерман В. Р. Медицинские экспертные системы. Некоторые проблемы построения и применения.—Новосибирск, 1992.—(Препр. /ИМБК СО РАМН; 31).
8. Шустерман В. Р., Якобсон И. Р. Опыт создания базы знаний дифференциально-диагностической экспертной системы // Проблемы интеллектуального развития организационных систем: Тез. докл. и сообщ. к VII Всесоюз. конф.—Новосибирск, 1991.
9. Шустерман В. Р. К вопросу о дифференциальной диагностике нестабильной стенокардии и стабильной стенокардии напряжения.—Новосибирск, 1991.—(Препр. /ИКЭМ СО АМН; 1).
10. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам.—М., 1989.
11. Хейес-Рот Ф., Уотермен Д., Ленет Д. Построение экспертных систем.—М., 1987.
12. Gusev A. M., Matveev M. A., Murzin A. V. et al. Medical expert system: displaying probabilities of diagnoses in graphics // International Symposium on Visual Analysis and Interface: Theses.—Novosibirsk, 1991.—P. 11.
13. Matveev M. A., Murzin A. V., Shusterman V. R. Application of computer dynamic expert systems for evaluation of changes in state of the patients with cardiovascular disorders in biofeedback process // Mathematical Modelling in Biofeedback Training.—Novosibirsk, 1992.—(Prepr. /IMBC).
14. Pople H. E. Heuristic methods for imposing structure on ill-structured problems: the structuring of medical diagnostics // Artificial Intelligence in Medicine /Ed. P. Szolovitz.—Boulder, Colorado, 1982.

Поступила в редакцию 14 декабря 1992 г.