

УДК 617.55-089-002:519.711.2

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ХИРУРГА ПО ВЫБОРУ СПОСОБА ЗАВЕРШЕНИЯ ОПЕРАЦИИ

Дарвин В.В., Егоров А.А., Микшина В.С., Суоров А.А.

Сургутский государственный университет ХМАО-Югра, Сургут, Россия, e-mail: MikshinaVS@gmail.com

В статье описываются этапы проектирования интеллектуальной информационной системы поддержки принятия решения хирурга при завершении оперативного вмешательства по причине перитонита. Описаны этапы концептуализации, идентификации, формализации и реализации ИИС ППР. Приведена функциональная структура модели принятия решения. Описана созданная на этапе реализации структура ИИС ППР. Дано функциональное описание представленных в структуре ИИС ППР элементов. Представлена математическая модель решателей ИИС ППР. Решатели ИИС ППР базируются на бинарной логистической регрессии и вероятностных нейронных сетях на основе радиально базисной функции. Описаны алгоритмы приобретения знаний подсистемой обучения. Приведен подробный алгоритм взаимодействия подсистемы приобретения знаний и подсистемы обучения. Приведена полная диаграмма потоков данных системы. Приведены результаты тестирования работы системы.

INTELLIGENT INFORMATION SYSTEM DECISION SUPPORT SURGEONSELECTION METHOD OF COMPLETION OPERATIONS

Darvin V.V., Egorov A.A., Mikshina V.S., Surovov A.A.

Surgut State University, Khanty-Ugra Surgut, Russia, e-mail: MikshinaVS@gmail.com

The article describes the stages of designing intelligent information systems to support decision-making surgeon at the completion of surgery because of peritonitis. We describe the stages of conceptualization, identification, formalization and implementation of IIS SDM. Shows the functional structure of the model of decision making. Described created during the implementation phase structure of IIS SDM. Given the functional description provided in the structure of IIS SDM elements. A mathematical model solvers IIS SDM. Solvers based on the IIS SDM binary logistic regression and probabilistic neural networks based on radial basis function. Algorithms are described knowledge acquisition subsystem training. A detailed algorithm for the interaction of the subsystem to acquire knowledge and training subsystems. Shows the complete data flow diagram of the system. The results of testing of the system.

Введение

Наиболее актуальными областями применения информационных технологий являются те, в которых необходимо обрабатывать большие объемы информации за короткое время, а также требуется решение нетривиальных задач, не имеющих стандартных алгоритмов решения. Такие задачи, как правило, решаются высококвалифицированными экспертами и специалистами.

Перитонит – воспаление брюшины, сопровождающееся как местными, так и общими симптомами. Перитонит занимает высокое место в структуре экстренной хирургии, и часто врачу хирургу приходится в своей практике сталкиваться с данным заболеванием. Перитонит лечится только при помощи хирургической операции, и проблема выживаемости при перитонитах остается достаточно острой. Перитонит – это одна из ведущих причин смертности от острой хирургической патологии. Такая смертность составляет по разным источникам (Савельев В.С., Шляпников С.А., Ефимова И.С., Корерна Т, Shultz F.) от 25–30% до 85–90%. При лечении перитонита перед хирургом во время операции встает вопрос о выборе способа завершения операции, так как от этого зависят как сроки выздоровления, так и жизнь пациента.

Для решения задачи выбора хирургом способа завершения операции по причине перитонита была разработана интеллектуальная информационная система поддержки принятия решения (ИИС ППР), предназначенная для обобщения и анализа накопленных данных, для определения наиболее значимых факторов для принятия решения о способе завершения, для классификации способов и исходов завершения операции.

В настоящее время сложилась определенная технология разработки интеллектуальных информационных систем, которая включает следующие шесть этапов: идентификация, концептуализация, формализация, конструирование и реализация, тестирование и опытная эксплуатация.

Этап идентификации связан с осмыслением тех задач, которые предстоит решить в будущей ИИС. Результатом данного этапа является идентификация задачи: общие характеристики задачи, формулировка проблемы, определение целей и формирование требований к будущей ИИС, ключевые понятия, предположительный вид решения.

Проблема исследуемой предметной области была определена следующим образом. Большие объемы исходной информации, поступающей накануне и во время операции по причине перитонита, и малое время обработки данных, имеющиеся в распоряжении хирурга, из-за невозможности проведения качественного анализа и обдумывания могут привести к ошибкам в принятии решения о выборе способа завершения операции.

Целью исследования является выбор одного из трех способов завершения хирургического вмешательства по причине перитонита с ориентацией на благоприятный исход с использованием методов бинарной логистической регрессии и метода вероятностных нейронных сетей [1; 2]. Для ИИС ППР были определены эксперты – хирурги Сургутской окружной клинической больницы и один инженер по знаниям. Этап идентификации подробно описан в работах.

Огромное значение для разработки интеллектуальных систем имеет этап концептуализации знаний о предметной области. Этап концептуализации предполагает содержательный анализ предметной области, выявление значимых факторов и их взаимосвязи, определение методов решения задач. Этот этап завершается созданием модели предметной области. Этап концептуализации включает решение следующих задач: определение входной и выходной информации; определение видов информации (тестовая, числовая, битовая); определение шкал измерения переменных; определение логических взаимоотношений между элементами входной и выходной информации (иерархия, причина – следствие, часть – целое и т.п.); используемые математические модели; процессы принятия решений, исследуемые в предметной области; типы ограничений, накладываемых на процессы. Подробнее об этапе концептуализации было описано в работах [3; 4].

Этапы проектирования ИИС ППР

На этапе формализации все ключевые понятия и отношения, выявленные на этапе концептуализации, выражаются на некотором формальном языке, предложенном (выбранном) инженером по знаниям. Модель предметной области была сформирована на основании формулировки математической постановки задачи выбора способа завершения операции по причине перитонита.

Пусть Y – множество альтернатив (способов завершения операции по причине перитонита), Z – множество возможных исходов, L – множество состояний неопределенности природы. Y, Z, L – произвольные абстрактные множества. Предполагается существование причинной связи между выбором некоторой альтернативы $y_i \in Y$ в условиях неопределенности $l_i \in L$ и наступлением некоторого исхода $z_i \in Z$. Кроме того, предполагается наличие механизма оценки качества выбора. Качество выбора оценивается качеством результата [1].

Постановка задачи принятия решения врачом хирургом о способе завершения операции по причине перитонита как задачи выбора альтернатив из некоторого множества сформулирована следующим образом:

$$Z = F(y, l), \quad F : Y \times L \rightarrow Z, \quad (1)$$

$$\forall i, y_i = \varphi_i(x), \quad x_i \in X, \quad y_i \in Y, \quad \xi : Y \rightarrow K, \quad (2)$$

$$p(l_j) = \prod_{i=1}^n p_j(Z_i(\varphi_i(x))), \quad j = 1, \dots, m, \quad (3)$$

где:

$x \in X$ – состояние пациента, определенное на множестве состояний; $y \in Y$ – возможные альтернативы способов завершения операции по причине перитонита; $z \in Z$ – возможные исходы после оперативного вмешательства по причине перитонита; $l \in L$ – множество состояний неопределенности природы при оперативном вмешательстве по причине перитонита; f – функция оценки оптимальности принимаемого решения; $y = \varphi(x)$ – множество математических моделей альтернатив – способов завершения операции; $Z = F(y, l)$ – множество функций реализации.

На рис. 1 представлена функциональная структура модели принятия решений. Модель определена, если определены все элементы, из которых она состоит.



Рис. 1. Функциональная структура модели принятия решения.

Данная модель состоит из пяти элементов: модель состояния пациента, модель оценки альтернативы, модель оценки исхода выбора альтернативы, модель анализа результатов, модель оценки результатов.

Требуется определить функцию реализации, которая ставит каждой паре «способ завершения операции – неопределенность» в соответствие исход. Для решения поставленной задачи требуется выбрать альтернативу (способ завершения операции), которая ведет к наилучшему исходу оперативного вмешательства (выздоровлению пациента) [5].

Таким образом, построение модели принятия решения о выборе способа завершения оперативного вмешательства по причине перитонита требует решения следующих задач:

- определение множества признаков X для построения математической модели способа завершения операции;
- определение множества альтернатив Y и множества исходов Z для построения модели исхода (результаты хирургического вмешательства);

- выбор и обоснование математических методов построения моделей $y = \varphi(x)$ «Способ завершения операции»;
- построение прогностических моделей $Z = F(y, l)$, позволяющих классифицировать исход того или иного метода завершения хирургического вмешательства;
- определение адекватности полученных моделей $\forall i, y_i = \varphi_i(x), \xi: Y \rightarrow K$ на выборках данных пациентов хирургических отделений больниц г. Сургута;
- разработка информационного, алгоритмического, программного обеспечения ИИС поддержки принятия решений прогнозирования исхода при завершении хирургического вмешательства по причине перитонита.

На этапе конструирования и реализации были разработаны модели и алгоритмы ИИС ППР. Модульная организация интеллектуальной системы поддержки принятия решения составляет важную часть разработки прикладной системы. Структура интеллектуальной системы поддержки принятия решения хирурга представляет собой совокупность объектов (рис. 2).

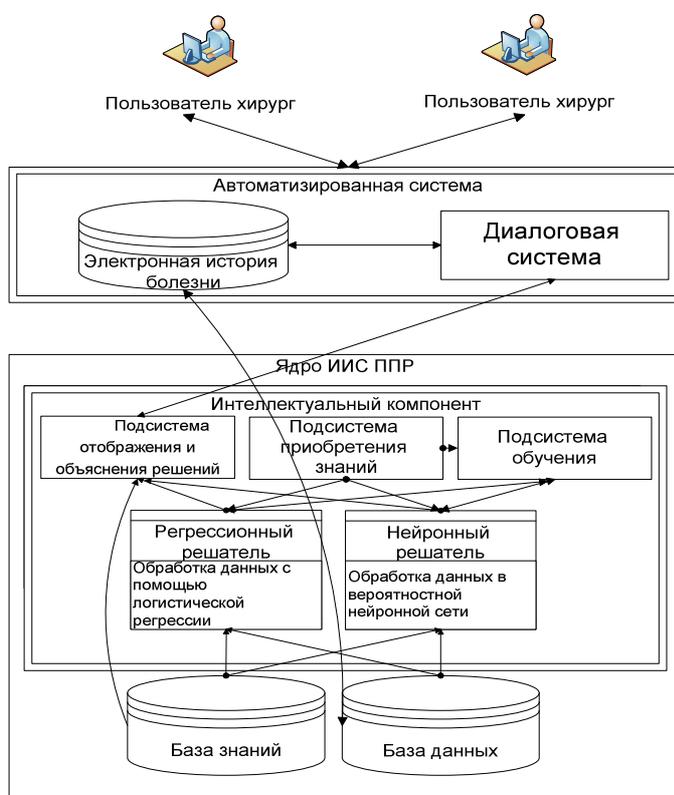


Рис. 2. Структура интеллектуальной информационной системы поддержки принятия решений хирурга по завершению операции по причине перитонита.

База данных на рисунке 2 предназначена для хранения исходных и промежуточных данных решаемой в текущий момент задачи. В базе данных содержится информация по всем историям болезней, информация о параметрах ИИС ППР, а также информация о ранее предложенных решениях с учетом прежних параметров моделей. Также база данных содержит справочную информацию по предметной области.

База знаний содержит информацию о моделях бинарной логистической регрессии (ЛР) и вероятностной нейронной сети (ВНС). В базе знаний содержится информация о коэффициентах уравнений логистической регрессии, об адекватности уравнений ЛР, о значимых факторах, параметрах ВНС (веса, ошибки обучения, коэффициенты сглаживания и т.д.). Также база знаний содержит информацию о статистической выборке, используемой для отбора значимых факторов, обучения ВНС и расчета уравнений ЛР.

В ИИС ППР «Лада» модуль решателя состоит из двух частей. Одна часть представляет собой регрессионный решатель, вторая часть – это вероятностная нейронная сеть. Использование двух решателей обусловлено желанием предоставить хирургу возможность выбора математического аппарата обработки данных. Решатели, используя исходные данные об объекте из базы данных (диагноз, анамнез, результаты анализов, общее состояние пациента), классифицируют на принадлежность к классам: способам завершения операции и исходам операции [3; 4].

Регрессионный решатель представляет собой многомерную модель бинарной логистической регрессии:

$$Y_{lk} = \beta_i^0 + \sum_{j=1}^m \beta_{ij} X_{ij} + \varepsilon, \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m; l = 1, 2, \dots, o; k = 1, 2, \dots, p), \quad (4)$$

где Y_{lk} – зависимая переменная; X_{ij} – независимая переменная; β_i^0 – свободный коэффициент модели; β_{ij} – параметры модели; ε – случайная составляющая; n – количество параметров состояния больного, определенных из тематической карты; m – количество параметров состояния больного в уравнении; o – количество способов завершения операции; p – количество исходов операции.

Решатель на основе ВНС представляет собой двенадцать независимых нейронных сетей, классифицирующих объект. Описание ВНС подробно представлено в работе [4].

Подсистема приобретения и пополнения знаний автоматизирует процесс наполнения и адаптации базы знаний системы к изменяющимся результатам моделирования принятия решений. Адаптация ИИС ППР к изменениям в предметной области заключается в переопределении набора факторов в регрессионных моделях и их значимостей, с последующим за этим перестроением всех уравнений ЛР и всех ВНС. Изменения в предметной области возникают при добавлении или изменении ранее неизвестных системе знаний [6]. Знания в систему будут передаваться в виде завершённых историй болезни пациентов хирургического и др. отделений Сургутской окружной клинической больницы. Кроме исходной информации о больном, в историях болезни указывается, каким образом была завершена операция, какое состояние пациента при этом наблюдалось, было ли однократным хирургическое вмешательство или это была серия операций и, наконец, каким был исход лечения больного. Все эти факты фиксируются подсистемой приобретения знаний для использования их в подсистеме обучения математических аппаратов: регрессионного и нейронного решателей [7]. Подсистема приобретения знаний тесно связана с подсистемой обучения. Алгоритм взаимодействия двух этих систем представлен на рис. 3.

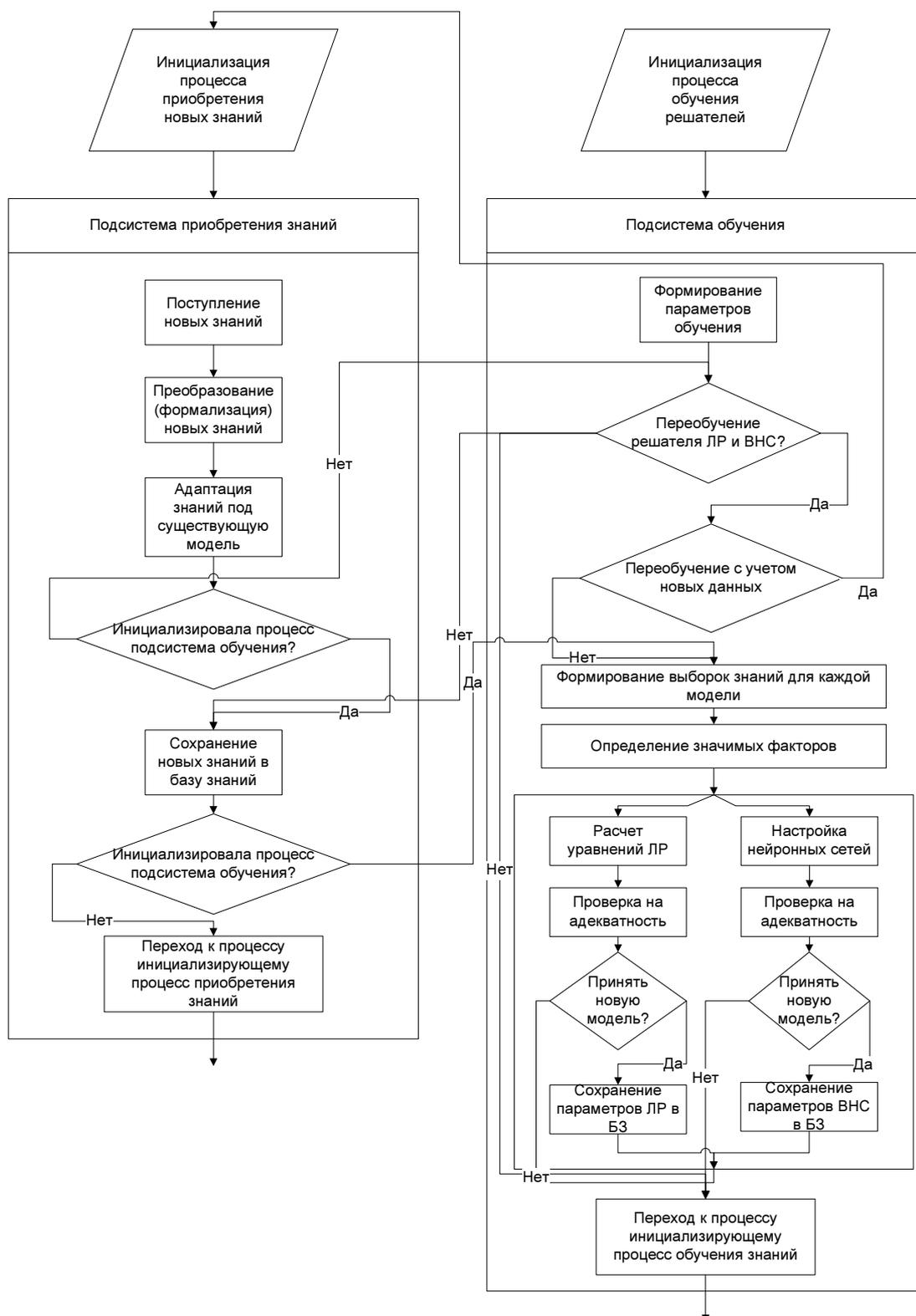


Рис. 3. Алгоритм взаимодействия подсистемы приобретения знаний и подсистемы обучения.

Подсистема обучения отвечает за перенастройку математических моделей, реализованных в решателе. Появление новых данных требует перерасчета моделей, что приводит к повышению адекватности моделей, т.е. уменьшению ошибок классификации. Функция переопределения значимых факторов, выполненная в подсистеме обучения, позволяет поддерживать постоянную актуальность ИИС ППР. Функция обучения реализует приспособляемость системы к изменяющейся со временем предметной области.

Интеллектуальность системы проявляется в её способности обучаться на вновь поступающих данных.

Подсистема отображения и объяснения решений отражает, каким образом системой были получены представленные результаты. Она отражает результаты статистического анализа, результаты расчетов решателей на основе логистической регрессии и на основе вероятностной нейронной сети. В качестве советующей информации о выборе решения выступают обработанные с помощью теоремы Байеса результаты расчетов по двум моделям.

На этапе реализации ИИС ППР были применены следующие инструментальные средства: Microsoft SQL Server 2008, Microsoft Visual Studio 2008.

Функционирование всей системы начинается с создания выборки, состоящей из записей историй болезни в базу данных. После формирования выборки, удовлетворяющей критериям размерности и однородности данных, иницируется подсистема приобретения знаний (модуль обучения НС и модуль настройки ЛР). Результатом работы подсистемы приобретения знаний и подсистемы обучения является заполнение базы знаний. Подсистема отображения и объяснения решений задействуется с помощью диалогового окна, она же инициализирует и запускает подсистемы решателей.

Полная диаграмма потоков данных системы, разработанной ИИС ППР, представлена на рис. 4.

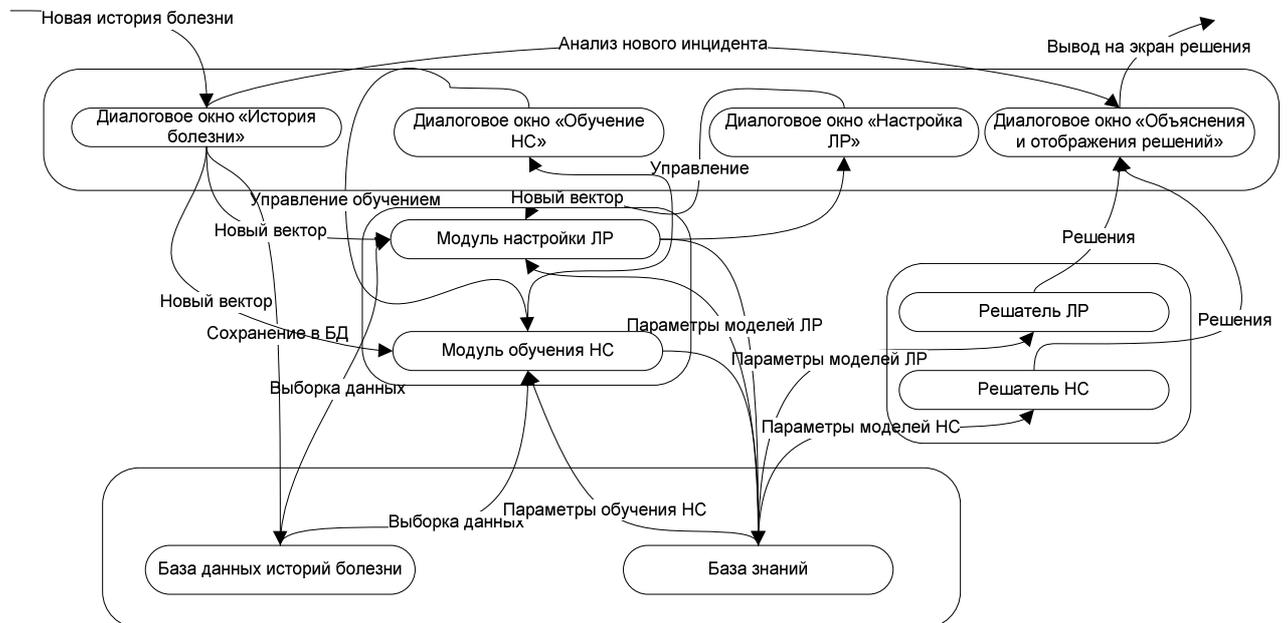


Рис. 4. Диаграмма потоков данных системы.

На основе предложенных на рис. 4 потоков данных была построена объектно-ориентированная модель (ООМ) разрабатываемой ИИС ППР. В основе проектирования объектно-ориентированной модели (ООМ) лежат определения ключевых абстракций, характеризующих предметную область. В качестве примеров таких абстракций выступают: нейронная сеть, слой, нейрон, модель на основе логистической регрессии, входы, выходы, выборка данных и т.д.

В диаграмме потоков данных, а также и в ООМ выделяется четыре области.

Область интерфейсов. В данной области описаны все классы диалоговых окон (форм) ИИС ППР. Каждый класс обладает определенным набором полей, свойств, методов и событий, реализующих в совокупности функционал класса – формы.

Область решателей. В данной области описаны классы, реализующие весь математический аппарат разрабатываемой ИИС ППР, включая: класс вероятностной нейронной сети (РБФ сети); алгоритм обучения вероятностной нейронной сети (алгоритм настройки ω – весов сети ВНС, алгоритм настройки σ^2 – ширины функции Гаусса, алгоритм настройки c – центров функции Гаусса); алгоритм классификации входного

вектора вероятностной нейронной сетью; алгоритм отбора значимых факторов – метод пошагового отбора; алгоритм отбора значимых факторов – метод генетических алгоритмов; алгоритм расчета коэффициентов уравнений логистической регрессии – метод максимального правдоподобия.

Область базы данных представлена набором классов, отвечающих за приведение реляционной модели данных к объектно-ориентированной и обратно.

Область базы знаний определена набором классов, реализующих функции обработки знаний с последующим представлением в подсистемы обучения и приобретения знаний и в подсистеме решателей. Также эти классы отвечают за формирование базы знаний.

Опытная эксплуатация ИИС ППР начинается с ввода данных по вновь прибывшему пациенту (диагноз, анамнез, данные анализов) после создания исходной выборки и формирования моделей бинарной логистической регрессии и вероятностной нейронной сети. Форма ввода данных представляет собой электронную копию «Тематической карты больного», использующейся в Сургутской окружной клинической больнице.

После того как все данные о вновь поступившем пациенте введены и успешно сохранены, введенный инцидент классифицируется на принадлежность к классам, в качестве которых выступают способы завершения операции и исходы операции. Отнесение инцидента к тому или иному классу отражено в табл. 1 и 2. Таблицы «Способы завершения операции» и «Исходы операции» рассчитываются на основе бинарной логистической регрессии или на основе вероятностных нейронных сетей (выбором специальной опции по желанию хирурга).

Таблица 1 – Результаты классификации объекта на принадлежность к классу «Способ завершения операции»

Способы	Благоприятный исход	Повторное вмешательство
Наглухо	0,8948	0
Релапаратомия	0,9997	0,0247
Лапорастомия	0	0,4138

Таблица 2 – Результаты классификации объекта на принадлежность к классу «Исход операции»

Способы	Благоприятный исход	Повторное вмешательство
Наглухо	0,8948	0
Релапаратомия	0,9997	0,0247
Лапорастомия	0	0,4138

В табл. 1 и 2 строки являются альтернативами способа завершения операции, а столбцы – возможными исходами операции. На пересечении строк и столбцов отражены вероятности исходов операции при выбранном способе завершения операции.

Таблица 3 («Вероятности применения способов»), рассчитывается на основе предыдущих таблиц по формуле условной вероятности Байеса:

$$P(B_i | A) = \frac{P(B_i)P(A/B_i)}{\sum_{j=1}^n P(B_j)P(A/B_j)}, (i,j=1,2,\dots,n), \quad (5)$$

где n – количество способов завершения операции;

$P(B_i/A)$ – вероятность использования некоторого способа B_i для наблюдения некоторого события – исхода A ;

$P(B_i)$ – расчетные значения вероятностей по моделям ВНС или по моделям бинарной логистической регрессии;

$P(A/B_i)$ – условная вероятность исхода A , от события B_i .

Таблица 3 – Результаты расчета вероятности способа завершения операции

Способы	Вероятность способа
Наглухо	0,384
Релапаратомия	0,616
Лапорастомия	0

Принятие решения о способе завершения операции осуществляется на основе расчетов, представленных в таблице «Вероятности применения способов». Исходя из примера, максимальная вероятность, равная 0.616, принадлежит альтернативе – релапаратомии. То есть ИИС ППР подсказывает хирургу выбрать в качестве способов завершения операции релапаратомию.

В том случае, если хирург сомневается в предлагаемом ему ИИС ППР решении, он может рассмотреть результаты проведенного анализа более детально. Во-первых, в ИИС ППР существует возможность просмотреть корреляционную матрицу с уровнями значимости для всех факторов больного, участвующих в анализе. Во-вторых, хирург может просмотреть результаты регрессионного анализа, увидеть наиболее значимые факторы, выбранные в процессе моделирования на основе бинарной логистической регрессии, убедиться в адекватности полученных моделей.

Тестирование ИИС ППР проводилось на основе данных хирургического отделения Сургутской окружной клинической больницы. В базе данных ИИС ППР была сформирована выборка, состоящая из параметров тематических карт 178 пациентов с диагнозом перитонит. На основе выборки были получены уравнения модели бинарной логистической регрессии и произведено обучение нейронных сетей. Далее испытания проводились следующим образом. В форму ввода данных вносились факторы вновь поступившего больного из его тематической карты и проводились расчеты по выбору способа завершения операции. Таким образом, были произведены расчеты по выбору способа завершения операции для 20 вновь поступивших больных. Факторы вновь поступившего больного и результаты расчетов по каждому из 20 новых случаев каждый раз пополняли и видоизменяли базу данных и базу знаний ИИС ППР, заставляя её «обучаться» с приобретением нового «опыта». Процент верной классификации для всех моделей, в результате, превысил 90%, с чувствительностью и специфичностью выше 0.9.

Заключение

Разработанная ИИС ППР хирурга при завершении операции по причине перитонита может использоваться в хирургических отделениях больниц РФ. Это позволит хирургам иметь в наличии дополнительный инструмент, помогающий принимать решение. Так, математический аппарат решателя ИИС ППР позволит хирургу не только получить совет по выбору способа завершения операции с благоприятным исходом, но и выявить наиболее значимые факторы, влияющие на способы завершения и исходы операции; определить вероятностные характеристики наступления рассматриваемого наблюдения относительно способов завершения и исходов; позволит просмотреть статистику по ранее проведенным операциям.

Список литературы

1. Микшина В.С., Егоров А.А., Дарвин В.В. Интеллектуальная информационная система поддержки принятия решения хирурга при завершении оперативного вмешательства по поводу Перитонита // ИНФО 2008. Сочи. – 2008. – С. 157–159.
2. Нейлор К. Как построить свою экспертную систему. – М. : ЭнергоАтомИздат, 1991. – 286 с.

3. Егоров А.А., Микшина В.С. Модель принятия решений врача-хирурга в условиях риска и неопределенности. Международная научно-практическая конференция / ИНФО 2010. Сочи. – 2010. – С. 157–159.

4. Егоров А.А. Микшина В.С. Применение вероятностных нейронных сетей для решения задач классификации в хирургии. Научно практическая конференция / НЕЙРОИНФОРМАТИКА 2011. Москва. – 2011. – С. 152–163.

5. Назаренко Г.И., Гулиев Я.И., Ермаков Д.Е. Медицинские информационные системы: теория и практика. – М. : Физматлит. – 2005. – С. 320.

6. Структура экспертной системы [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aiportal.ru/articles/expert-systems/structure.html> (дата обращения 21.05.2011).

7. Режимы работы экспертных систем [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aiportal.ru/articles/expert-systems/modes-work.html> (дата обращения 21.05.2011).

Рецензенты:

Бахарев М.С., д.т.н., профессор, директор Сургутского института нефти и газа ФГБОУ ВПО «ТюмГНГУ», г. Сургут.

Антонов А.В., д.т.н., профессор, Российский институт атомной энергетики филиал ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ».

Работа получена 10.11.2011