

МЕДИЦИНСКАЯ ТЕХНИКА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

Выходит 6 раз в год

№ 4 (280) 2013

ИЮЛЬ–АВГУСТ

Издается с 1967 г., г. Москва

В настоящем выпуске журнала «Медицинская техника» представлены двенадцать статей, посвященных вкладу ученых кафедры биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета в развитие медицинской техники и биотехнических систем.

В настоящее время основным направлением научной работы кафедры является исследовательская деятельность, связанная с развитием информационных технологий и систем искусственного интеллекта, предназначенных для поддержки принятия решений практикующих врачей при прогнозировании, ранней и дифференциальной диагностике, профилактике и лечении социально-значимых заболеваний. При этом основное внимание уделяется развитию гибридных технологий принятия решений, позволяющих путем интеграции и гибридизации различных методов и технологий искусственного интеллекта решать сложные задачи, которые невозможно решить на основе каких-либо отдельных методов или технологий.

К наиболее востребованным технологиям искусственного интеллекта относятся нейросетевые технологии. Основной проблемой использования нейронных сетей в медицинских экспертных системах является, на наш взгляд, отсутствие возможности включить в формирование принимаемого нейронной сетью решения опыт специалиста, решающего аналогичные задачи в своей повседневной практике. В процессе принятия диагностических решений и управления терапевтическими процедурами используются механизмы синтеза нейросетевых структур, объединяющих модели многослойных нейронных сетей с нейронами сигмоидального типа и нечеткие решающие модели. В качестве развития этого метода исследуются гибридные интеллектуальные системы, объединяющие достоинства этих двух парадигм.

В представленных работах показана эффективность такого подхода при решении широкого класса задач медицинской практики. Практически все предлагаемые способы и алгоритмы принятия решений прошли апробацию в клинических условиях и (или) были промоделированы в наиболее широко известных пакетах математической обработки данных Matlab 7.10 и Mathcad 14.

Начиная с 1998 г. ежегодно в мае месяце основные результаты деятельности сотрудников кафедры докладываются и обсуждаются на международной научно-технической конференции по проблемам медико-экологических информационных технологий, в работе которой мы предлагаем принять участие и читателям журнала «Медицинская техника».

*Николай Алексеевич Корневский,
профессор, заведующий кафедрой биомедицинской
инженерии ЮЗГУ, г. Курск,
заслуженный деятель науки и техники РФ*

ТЕОРИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ

Н.А. Корневский, С.В. Дегтярев, С.П. Серегин, А.В. Новиков

Интерактивный метод классификации в задачах медицинской диагностики

Аннотация

Описывается метод распознавания образов, основанный на отображении многомерных объектов в двумерные пространства, где строятся разделяющие границы классов с последующей классификацией неизвестных объектов.

Для решения задач медицинской диагностики наиболее часто привлекается аппарат теории распознавания образов (ТРО) в его геометрической интерпретации. При этом многие практически важные задачи в пространстве информативных признаков имеют сложную геометрическую структуру классов. Кроме того, решение задач медицинской диагностики классическими методами ТРО осложняется отсутствием полного статистического материала, одновременно охватывающего различные стороны функционирования исследуемого объекта; наличием казуистических ситуаций; присутствием в обучающем материале объектов с неточными или ошибочными описаниями; часто «учитель» не имеет возможности точно указать класс объекта на обучающей выборке и не дает информации о наличии переходных зон между классами, хотя в обучающей выборке эти объекты имеются; объекты одного и того же класса в исходном пространстве могут быть представлены различными группами, которые, в свою очередь, распределены среди групп других классов и т. д. [1], [2].

В этих условиях для успешного решения задач принятия диагностических решений необходимо иметь аппарат, обеспечивающий изучение структуры классов с выдвиганием соответствующих гипотез на языке специалистов исследуемой пред-

метной области. В анализе данных таким аппаратом является вычислительный эксперимент. Для решения задач классификации и диагностики вычислительный эксперимент реализуется с помощью диалоговых интерактивных систем распознавания образов (ДСР) [1], [3].

В предлагаемой работе рассматривается один из вариантов построения ДСР – метод интерактивного конструирования двумерных классификационных пространств (ИКДКП), который способен сохранять работоспособность при плохо формализованной структуре классов с нарушениями гипотезы о компактности, при большом количестве артефактов в обучающей выборке, в условиях не полностью определенных «учителем» классов, возможной «вложенности» их друг в друга и пр. [1], [2].

Метод

Основная идея предлагаемого метода заключается в том, что обучение и классификация ведутся в двумерном отображающем пространстве $\Phi = Y_1 \times Y_2$, куда многомерные объекты $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ отображаются с помощью пары отображающих функций $Y_1 = \varphi_1(A, X)$; $Y_2 = \varphi_2(B, X)$, где $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ и $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ – векторы настраиваемых параметров. За-

дача обучения состоит в нахождении таких значений параметров векторов A и B и видов функциональных зависимостей Φ_1 и Φ_2 , при которых непересекающиеся образы в многомерном пространстве N при отображении в Φ будут разделены или будут иметь минимальное (допустимое) наложение классов W . С математической точки зрения задача обучения заключается в минимизации функционала качества вида

$$R(A, B) = \int_{x\Omega} S(X, A, B, \Omega) P(\Omega) P(\Omega/X) L(X, \Omega) dX d\Omega, \quad (1)$$

где $P(\Omega)$ – априорная вероятность появления класса; $P(\Omega/X)$ – условная вероятность появления X ; $L(X, \Omega)$ – функция потерь от ошибочной классификации, например, из-за недостаточной классификации «учителя»; $S(X, A, B, \Omega)$ – площадь наложения классов в Φ .

Задача классификации заключается в определении местоположения отображения объектов $X = (x_1, \dots, x_n)$ относительно границ различных классов, полученных в Φ .

В предлагаемом подходе отображение исходной информации в двумерное пространство обеспечивает непосредственное достижение конечной цели – разделение классов состояний. То есть, по сравнению с традиционными ДСР, два различных этапа – отображение данных с целью анализа их структуры и решение задачи классификации – объединяются в единую процедуру.

Для реализации процесса обучения разработаны специальный алгоритм и пакет прикладных программ, состоящий из формальных и неформальных процедур, обеспечивающих режим диалога человека с ЭВМ [1], [2].

Формальные процедуры, ориентированные в основном на минимизацию функционалов качества в соответствии с выражением (1), позволяют отыскивать их локальные и, при простых структурах классов, глобальные экстремумы.

Переход к неформальным и частично формализованным процедурам оправдан там, где строгая формализация сопряжена со значительными трудностями и временными затратами, а специфика задач позволяет эффективно использовать пространственные представления и интеллектуальные возможности человека.

Одним из инструментов, позволяющим подключить человека к анализу многомерных данных, является разведочный анализ, ориентированный на метод ИКДКП.

Для реализации разведочного анализа нами разработан специальный пакет прикладных программ, описание которого можно найти в работе [2].

В качестве функций отображения могут применяться как простейшие линейные формы, так и нелинейные модели.

Один из разработанных способов динамического конструирования отображающего пространства основывается на том, что в исходном пространстве признаков выбирается эталонная структура, например многомерная точка, и создается механизм ее скольжения по некоторой средней (в смысле выбранного критерия усреднения) линии, представляющей собой каждый из исследуемых классов. Назовем получающуюся в результате такого скольжения линию «скелетной», поскольку она является основой, вокруг которой формируется вся гиперконфигурация класса подобно тому, как вокруг скелета формируется конфигурация тела.

Для классов, в геометрической структуре которых присутствуют различные «гиперответвления», нарушающие их компактность, «скелетная» линия строится для каждого «гиперответвления». Известная многомерная траектория скольжения по средней линии класса легко отображается в траекторию скольжения в пространстве Φ .

Конкретные механизмы отображения скелетных линий и границ исследуемых классов в двумерные отображающие пространства описаны в работах [1], [2].

Использование на этапе классификации двумерного отображающего пространства позволяет строить простые и эффективные алгоритмы динамической оценки состояния объекта путем анализа перемещения точки, отображающей состояние объекта среди отображений границ классов, полученных на этапе обучения.

Прогнозируемое время перехода из одного класса в другой может быть определено по формуле

$$t = \beta \left(\sqrt{V^2 - 2ad} - V \right) / a, \quad (2)$$

где $\beta = (0..1)$ – коэффициент, уменьшающий риск пропуска перехода объекта в исследуемый класс состояний; V – скорость изменения состояния объекта (по скорости перемещения отображения исследуемой точки) в направлении границ исследуемого класса; a – первая производная по скорости перемещения, позволяющая учитывать возможную неравномерность перемещения объекта в отображающем пространстве; d – текущее расстояние от объекта до ближайших границ исследуемого класса состояний.

В практических приложениях исследуемые классы состояний, особенно в задачах донозологической диагностики, достаточно сильно пересекаются и имеют размытые границы в исходном пространстве признаков, что, естественно, передается в отображающее пространство. В таком варианте целесообразно использовать нечеткое описание отображений классов с выделением соответствующих областей уверенности в классификации, коэффициентов уверенности и (или) функций принадлежности [4]–[6].

Для изображения в Φ зон с различной уверенностью в классификации удобно использовать линии равных значений коэффициентов уверенности (значений функций принадлежности) или соответствующие цветовые гаммы. Для отображающего пространства Φ функция принадлежности к классу ω_k может быть определена на базовой переменной, соответствующей расстоянию d_k от отображения исследуемого объекта с координатами $\{Y_1^0, Y_2^0\}$ до опорных конфигураций L_k класса ω_k .

В качестве опорных конфигураций в зависимости от целей и типов решаемых задач могут быть выбраны координаты центра отображений классов, опорные точки с координатами $\{Y_1^S, Y_2^S\}$ внутри или вне классов, скелетные (усредняющие) линии классов, эталоны различных конфигураций (круги, квадраты, прямоугольники), собственно границы классов.

На этапе обучения специальная компьютерная программа или группа экспертов определяют семейство функций принадлежности $m_k(d_k)$. Далее уверенность в принятии решения определяется по отношению к ближайшей L_k .

Результаты

Предложенный метод интерактивного конструирования двумерных классификационных пространств был опробован на решении задач различных классов: классификации функциональных состояний человека и оценки уровня психоэмоционального напряжения, утомления и активации [7], прогнозирования послеоперационных осложнений в урологии [8] и т. д.

В качестве примера рассмотрим задачу нечеткой классификации вибрационной болезни по трем классам: здоров (ω_0); ранняя (доклиническая, донозологическая) стадия (класс ω_p); клиническая стадия (класс ω_c) вибрационной болезни.

Для решения классификационной задачи было выбрано 24 признака x_i : x_1 – профтаж работы с инструментом не менее 8 лет; x_2 – парастезия рук после работы и ночью; x_3 – боли в руках после работы и ночью; x_4 – зябкость рук; x_5 – тугоподвижность пальцев рук по утрам; x_6 – судорожные стягивания пальцев рук; x_7 – прерывистость сна из-за болей и парастезий в руках; x_8 – побеление или посинение пальцев; x_9 – гиперемированный акроцианоз с мраморностью; x_{10} – акрогипотермия; x_{11} – акрогипергидроз; x_{12} – трофическое изменение кистей; x_{13} – гипалгезия (гипералгезия) по типу «перчаток»; x_{14} – снижение вибрационной чувствительности; x_{15} – спастический или спастикоатонический тип капилляров; x_{16} – термоасимметрия на кистях и груди более $0,5^\circ\text{C}$; x_{17} – акроцианоз при холодной пробе; x_{18} – акроспазмы (синдром Рейно); x_{19} – замедленное восстановление кожной температуры после холодной пробы; x_{20} – снижение силы рук; x_{21} – преобладание периферических сосудистых нарушений над церебральными по данным РЭГ, ПРГ; x_{22} – костные нарушения кистей и позвоночника; x_{23} – наличие неврита лучевого, локтевого нервов; x_{24} – хроническая коронарная недостаточность.

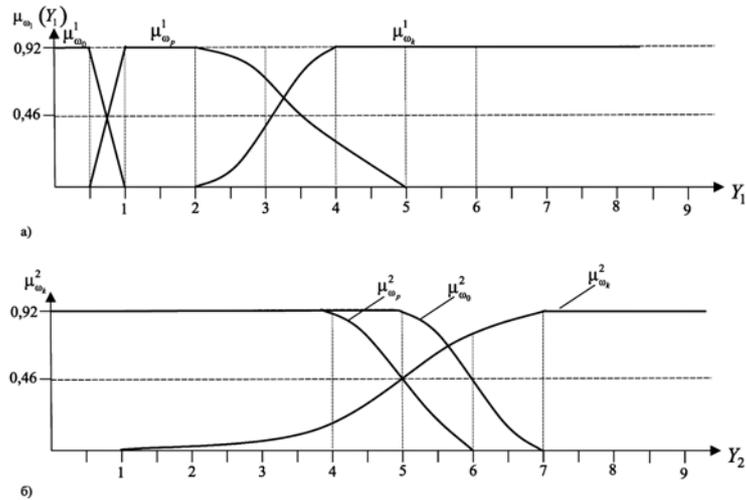


Рис. 1. Графики функций принадлежности к классам вибрационной болезни по шкалам: а) Y_1 ; б) Y_2

В ходе обучения была получена пара отображающих функций вида

$$Y_1 = 1,3x_1 + 0,13x_2 + 0,13x_4 + 0,13x_6 + 1,3x_7 + 1,3x_{11} + 1,3x_{14} + 0,13x_{15} + 0,13x_{16} + 1,3x_{17} + 0,13x_{18} + 0,13x_{22} + 0,13x_{23} + 0,13x_{24};$$

$$Y_2 = x_1 + 0,7x_2 + 0,03x_3 + 0,1x_4 + 0,03x_5 + 0,1x_6 + x_7 + 0,03x_8 + 0,03x_9 + 0,03x_{10} + x_{11} + 0,03x_{12} + 0,03x_{13} + x_{14} + 0,1x_{15} + 0,7x_{16} + x_{17} + x_{18} + 0,1x_{19} + 0,1x_{20} + 0,03x_{21} + 0,1x_{22} + 0,1x_{23} + 0,1x_{24}.$$

Относительно выделенных экспертами границ классов в пространстве Φ согласно рекомендациям [4]-[6] получены функции принадлежности, графики которых приведены на рис. 1.

Решение о принадлежности к каждому из классов ω_l ($l = 0, p, k$) принимаются в соответствии с выражениями

$$\mu_{\omega_0} = \min(\mu_{\omega_0}^1, \mu_{\omega_0}^2); \mu_{\omega_p} = \min(\mu_{\omega_p}^1, \mu_{\omega_p}^2); \mu_{\omega_k} = \min(\mu_{\omega_k}^1, \mu_{\omega_k}^2).$$

Решение о классификации принимается по максимальной величине функций принадлежности. При равных значениях функций принадлежности предпочтения отдаются в следующем порядке: $\omega_k, \omega_p, \omega_0$, начиная с ω_k .

Проверка качества классификации на контрольной выборке объемом 50 человек на каждый класс показала, что полученная диагностическая эффективность решающих правил превышает 0,9, что позволяет рекомендовать их к использованию в медицинской практике.

Аналогичные результаты были получены в задаче диагностики профессиональных заболеваний сварщиков с уверенностью в дифференциальной диагностике таких заболеваний, как интоксикация, пневмокониоз и хронический бронхит на уровне 0,9 при диагностической эффективности не ниже 0,88.

Заключение

Рассматриваемый метод интерактивного конструирования двумерных классификационных пространств позволяет решать задачи ранней и дифференциальной диагностики заболеваний в условиях плохой формализации, недостаточной статистики, различной структуры классов и признакового описания, при наличии казуистических ситуаций, отсутствии информации об объективно существующих переходных зонах между классами и отсутствии априорной информации о структуре классов.

Практическая апробация метода интерактивного конструирования двумерных классификационных пространств показывает приемлемые для практической медицины результаты по качеству классификации.

Список литературы:

1. Корневский Н.А., Бунаев В.В. Метод синтеза двумерных классификационных пространств // Известия ВУЗов. Приборостроение. 2005. Т. 48. № 2. С. 35-38.
2. Корневский Н.А., Титов В.С., Чернецкая И.Е. Проектирование систем поддержки принятия решений для медико-экологических приложений. Монография. – Курск: Курск. гос. техн. ун-т, 2004. 180 с.
3. Кэнал Л. Обзор систем для анализа структуры образов и разработки алгоритмов классификации в режиме диалога / В кн.: Распознавание образов при помощи ЭВМ. – М.: Мир, 1974. С. 67-82.
4. Корневский Н.А. Синтез нечетких сетевых моделей, обучаемых по структуре данных, для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2008. № 2. С. 18-24.
5. Корневский Н.А., Рябкова Е.Б. Метод синтеза нечетких решающих правил для оценки состояния сложных систем по информации о геометрической структуре многомерных данных // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 8. С. 128-137.
6. Корневский Н.А., Филист С.А., Устинов А.Г., Рябкова Е.Б. Геометрический подход к синтезу нечетких решающих правил для решения задач прогнозирования и медицинской диагностики // Биомедицинская радиоэлектроника. 2012. № 4. С. 9-16.
7. Титов В.С., Саитонов Т.Н. Классификация функциональных состояний человека и нечеткая оценка их уровня // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия «Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение». 2012. № 2. Ч. 3. С. 320-324.
8. Серегин С.П., Долженков С.Д., Корневская С.Н., Саитонов Т.Н. Синтез комбинированных нечетких решающих правил для прогнозирования послеоперационных осложнений в урологии // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия «Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение». 2012. № 2. Ч. 3. С. 293-297.

Николай Алексеевич Корневский,
д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой биомедицинской инженерии,
Сергей Викторович Дегтярев,
д-р техн. наук, профессор,
декан факультета информатики и вычислительной техники,
Станислав Петрович Серегин,
д-р мед. наук, профессор,
Алексей Викторович Новиков,
д-р мед. наук, профессор,
кафедра биомедицинской инженерии,
ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет»,
г. Курск, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru