

УДК 004.89

Н.М. Кораблёв, И.В. Сорокина, А.Э. Макогон

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА АЛЛЕРГОДЕРМАТОЗОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДАПТИВНОЙ МОДЕЛИ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА

В данной работе рассматривается разработка интеллектуальной системы дифференциальной диагностики аллергодерматозов на основе адаптивной модели нечеткого вывода. Параметры базы данных и базы знаний настраиваются в данной модели по экспериментальным данным с использованием искусственных иммунных систем.

Ключевые слова: дифференциальная диагностика, искусственные иммунные системы, функция принадлежности, экспертная система, адаптивная система нечеткого вывода.

Введение

В диагностике аллергодерматозов широко используют как аллергологические исследования с применением кожных проб, так и диагностические иммунологические исследования, которые не вызывают реакций обострения заболевания, нередко наблюдаемых при аллергологическом исследовании с применением кожных проб [1]. Преимущество диагностических иммунологических исследований, по сравнению с кожными тестами, состоит в возможности установления диагноза аллергического дерматоза еще при клинически мало выраженных проявлениях заболевания. Однако построение экспертом зависимости диагноза больного от данных иммунологического исследования (клеточного и гуморального иммунитета) является затруднительным вследствие большого количества анализируемых данных.

Поэтому для диагностирования больных, предлагается разработка интеллектуальной системы дифференциальной диагностики аллергодерматозов на основе клинического анализа крови, данных клеточного и гуморального иммунитета по статистическим данным, полученным в результате обследования больных в Институте дерматологии и венерологии АМН Украины (г. Харьков). Суть работы интеллектуальной системы состоит в отнесении больного с заданными параметрами состояния к одному из трех классов диагноза – атопический дерматит, аллергический дерматит, экзема. Принимая во внимание, что проявления аллергодерматозов у разных больных различаются, а выводы врачей по поводу развития болезни несут в себе элементы субъективности, построение интеллектуальной системы дифференциальной диагностики аллергодерматозов, которая полностью отображала бы реальную действительность, является сложной задачей. Разработка интеллектуальной системы дифференциальной диагностики требует использования эволюционных подходов на основе нечеткой логики и искусственных иммунных систем для обработки статистических данных, полученных в результате обследования больных с уста-

новленным диагнозом, а также создания соответствующего программного обеспечения.

Постановка задачи. В работе ставится задача разработки интеллектуальной системы дифференциальной диагностики аллергодерматозов на основе клинического анализа крови, данных клеточного и гуморального иммунитета по экспериментальным данным. Данную задачу можно рассматривать как задачу идентификации объекта с дискретным выходом, следовательно, интеллектуальную систему дифференциальной диагностики аллергодерматозов можно реализовать в виде экспертной системы, в которой идентификация выполняется с использованием адаптивной модели нечеткого вывода [2]. Настройка базы данных системы нечеткого вывода выполняется с использованием алгоритмов на основе искусственных иммунных систем [3].

1. Экспертная система дифференциальной диагностики аллергодерматозов

Дифференциальная диагностика аллергодерматозов предполагает создание экспертной системы на базе адаптивной системы нечеткого вывода по данным иммунологического обследования больных. В качестве входных данных экспертной системы выступают лингвистические переменные, соответствующие клиническому анализу крови, данным клеточного и гуморального иммунитета больных. В качестве выходных данных – прогнозируемый диагноз больного. Структура адаптивной системы нечеткого вывода приведена на рис. 1. База знаний адаптивной системы нечеткого вывода представляет собой совокупность информации о множестве лингвистических переменных в виде соответствующих функций принадлежности (ФП) и о множестве правил нечеткого вывода [4]. База знаний в такой системе строится не на основе экспертных выводов, а на основе данных, полученных в результате обследования больных. Обучение адаптивной системы нечеткого вывода (настройка правил нечеткого вывода) выполняется с использованием алгоритмов на основе искусственных иммунных систем, которые позволяют настраивать нечеткие правила и ФП по экспериментальным данным.

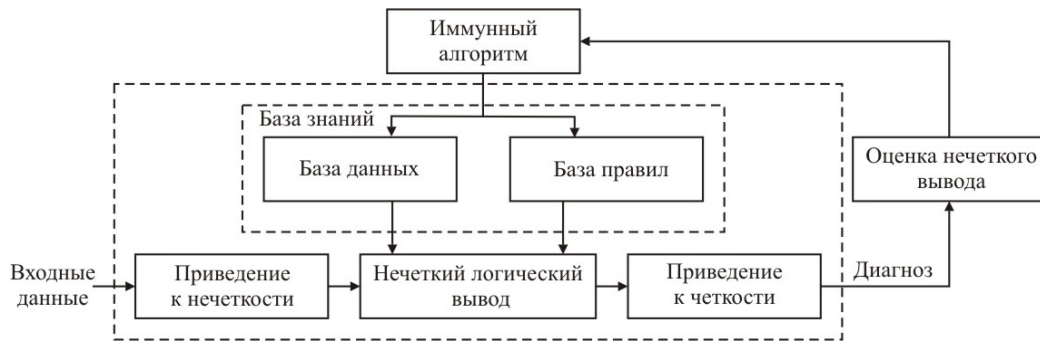


Рис. 1. Структура адаптивной системы нечеткого вывода

Работу системы нечеткого вывода можно описать следующей последовательностью этапов:

1. Определение степени истинности каждой предпосылки каждого правила для заданных значений входной переменной $\mu_{A_{ji}}(x_j)$, $j = \overline{1, m}$; $i = \overline{1, t}$.

2. Агрегирование степеней истинности предпосылок по каждому из правил, определение веса каждого правила. Для каждого k -го правила $w_k = T(\mu_{A_{1i}}(x_1), \mu_{A_{2i}}(x_2), \dots, \mu_{A_{mi}}(x_m))$, где в качестве T -нормы используется \min -конъюнкция.

3. Определение отношения веса k -го правила к сумме весов всех правил: $\bar{w}_k = \frac{w_k}{\sum w_k}$,

4. Определение суммарного нормированного значения веса правил по всем правилам для каждого класса. В качестве решения выбирается класс с максимальной степенью принадлежности.

2. Создание базы знаний экспертной системы дифференциальной диагностики аллергодерматозов

Входными значениями для системы нечеткого вывода являются лингвистические переменные x_1, x_2, \dots, x_m , $m = \overline{1, 10}$, описывающие иммунный статус больного: относительное количество лимфоцитов, Т- и В-лимфоцитов, содержание Т-хелперов и Т-супрессоров, концентрация иммуноглобулинов основных классов (М, G, А, Е). Входные переменные являются количественными. Диапазон изменения значений каждой входной переменной получен по данным из обучающей выборки (табл. 1). Обучающая выборка содержит данные по иммунологическим исследованиям 91 больного.

Выходная переменная (объект идентификации) является качественной переменной «ДИАГНОЗ». Наиболее распространенными аллергиями являются аллергический дерматит, атопический дерматит, экзема, которые рассматриваются как диагнозы, подлежащие распознаванию. Выделяется 3 класса выходной переменной «ДИАГНОЗ»: {атопический дерматит, аллергический дерматит, экзема}.

Таблица 1

Диапазон изменения входных переменных

| Входная переменная | Диапазон |
|----------------------|-------------|
| Лимфоциты(%) | [19; 56] |
| Т-РОК(%) | [48; 80] |
| В-РОК(%) | [6; 20] |
| Теофиллин-хелперы | [30; 60] |
| Теофиллин-супрессоры | [10; 27] |
| Индекс х/с | [1.7; 4.8] |
| Иммуноглобулин А | [0.1; 4300] |
| Иммуноглобулин М | [0.5; 2.6] |
| Иммуноглобулин G | [0.9; 22.3] |
| Иммуноглобулин Е | [2.9; 789] |

Задача дифференциальной диагностики состоит в том, чтобы каждому сочетанию значений параметров x_1, x_2, \dots, x_m , $m = \overline{1, 10}$ поставить в соответствие один из диагнозов. Создание базы знаний выполняется в несколько этапов [4]:

1. Разбиение пространства входных переменных.

Для каждой i входной переменной определяют 3 нечетких множества с лингвистическими значениями $\{L_i - \text{низкое}, M_i - \text{среднее}, H_i - \text{высокое}\}$. Разбиение пространства входных переменных выполняется путем нечеткой кластеризации на основе FCM-алгоритма (Fuzzy Classifier Means) [5]. Целью FCM-алгоритма кластеризации является автоматическая классификация множества объектов, которые являются векторами признаков в пространстве признаков. Кластеры представляются нечеткими множествами и границы между ними являются нечеткими. Алгоритм предполагает, что объекты принадлежат всем кластерам с определенной функцией принадлежности. Степень принадлежности определяется расстоянием от объекта. В результате выполнения данного алгоритма определяются центры 3 нечетких кластеров для каждого входного параметра.

Для каждой входной переменной задаются гауссовы функции принадлежности, которые описываются формулой:

$$\mu(x) = \exp \left[- \left(\frac{x - c}{\sigma} \right)^2 \right], \quad (1)$$

где c – центр нечеткого множества; σ отвечает за крутизну функции.

Значения центров σ соответствуют центрам нечетких кластеров, определенных в результате выполнения нечеткой кластеризации, а начальные значения параметров σ подбираются таким образом, чтобы ФП были равномерно распределены в пространстве входных переменных (табл. 2).

Таблица 2

Исходные ФП входных переменных

| Входная переменная | Исходные ФП |
|---------------------|-------------|
| Лимфоциты(%) | |
| T-РОК(%) | |
| B-РОК(%) | |
| Теофилин-хелперы | |
| Теофилин-супрессоры | |
| Индекс х/с | |
| Иммуноглобулин А | |
| Иммуноглобулин М | |
| Иммуноглобулин G | |
| Иммуноглобулин E | |

2. Формирование начальной базы правил

Каждому примеру из обучающей выборки ставится в соответствие отдельное правило вида:

$$P_i : \text{ЕСЛИ } x_1 \text{ есть } A_{1i} \text{ И } \dots \text{ И } x_j \text{ есть } A_{ji} \text{ И } \dots$$

$$\text{И } x_m \text{ есть } A_{mi}, \text{ ТО диагноз} = D_k,$$

где A_{ij} – это нечеткие множества с лингвистическими значениями $\{L_i - \text{низкое}, M_i - \text{среднее}, H_i - \text{высокое}\}$, построенные в пространстве входных $x_j, j = 1, m$ значений переменных.

Для каждого примера определяются степени принадлежности заданных значений переменных к

соответствующим нечетким множествам. После этого каждому обучающему примеру ставятся в соответствие те нечеткие множества, степени принадлежности к которым у соответствующих значений переменных являются максимальными.

3. Определение рейтингов правил по данным обучающей выборке.

Все примеры из обучающей выборки предъявляются каждому правилу, и для каждого правила определяется его рейтинг. После подсчета рейтингов правил из базы правил исключаются правила с наименьшим рейтингом, имеющие одинаковые предпосылки и разные заключения.

Созданная таким образом по данным из обучающей выборки база знаний содержит 89 нечетких правил. Фрагмент базы знаний, связывающей диагноз с параметрами состояния больного, выглядит следующим образом:

Если уровень Лимфоцитов (%) – высокий И уровень T-РОК(%) – низкий И уровень B-РОК(%) – низкий И уровень Теофилин-хелперов – низкий И уровень Теофилин-супрессоров – низкий И Индекс х/с – средний И уровень Иммуноглобулина А – низкий И уровень Иммуноглобулина М – низкий И уровень Иммуноглобулина G – низкий И уровень Иммуноглобулина E – низкий ТО Диагноз – Аллергический дерматит.

Дальнейшая оптимизация параметров нечетких правил в базе знаний выполняется с использованием искусственных иммунных систем.

3. Иммунный алгоритм параметрической адаптации базы знаний адаптивной системы нечеткого вывода

Параметрическая адаптация базы знаний адаптивной системы нечеткого вывода сводится к задаче глобальной оптимизации, решение которой представляет собой трудную задачу вследствие большой размерности вектора параметров системы. Большая размерность пространства поиска также тесно связана с проблемой многоэкстремальности целевой функции. Преимуществом использования ИИС для решения данной задачи является возможность работы с большим количеством переменных и нахождения глобального экстремума [3]. В ИИС используется способность естественной иммунной системы вырабатывать новые типы антител и отбирать наиболее подходящие из них для взаимодействия с попавшими в организм антигенами. Образование антител основывается на теории клонального отбора при распознавании антигенов, являющихся целью [3].

В задаче параметрической адаптации системы нечеткого вывода в роли антигена выступает обучающая выборка – вектор фиксированной длины, содержащий данные по иммунному статусу больного и диагноз; в роли антител – параметры функций принадлежности вида (1) для входных переменных. Антитело представляет собой вектор фиксированной длины:

$$Ab = \langle c_{11}, c_{12}, \dots, c_{1t}, \dots, c_{m1}, c_{m2}, \dots, c_{mt}, \sigma_{11}, \sigma_{12}, \dots, \sigma_{1t}, \dots, \sigma_{m1}, \sigma_{m2}, \dots, \sigma_{mt} \rangle, \quad (2)$$

где c_{ij}, σ_{ij} , $i = 1, m$; $j = 1, t$ – параметры гауссовых ФП вида (1) для m входных переменных, каждая из которых имеет t термов.

Предлагается вещественное кодирование антител и антигенов, что позволяет повысить точность найденных решений.

На вход адаптивной нечеткой системы подается вектор значений входных переменных $\langle x_1, x_2, \dots, x_{10} \rangle$ из обучающей выборки. На основании ФП, соответствующих каждому из антител, и созданной базы правил, выполняется нечеткий вывод. По результатам нечеткого вывода и значениям выходной переменной в обучающей выборке вычисляется аффинность каждого антитела популяции в соответствии со следующей целевой функцией:

$$Aff(Ab_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |F(X, Ab_i) - y|, \quad (3)$$

где $F(X, Ab_i)$ – полученное на основе нечеткого вывода значение выходной переменной; y – фактическое значение выходной переменной.

Иммунный алгоритм параметрической адаптации основан на принципе клонального отбора, в соответствии с которым антитела с лучшей аффинностью подвергаются клонированию и мутации; антитела с худшим значением аффинности удаляются из популяции и заменяются новыми. Работа иммунного алгоритма прекращается при достижении критерия останова.

Иммунный алгоритм параметрической адаптации можно представить в виде следующей последовательности шагов [6, 7]:

1. Генерация начальной популяции антител Ab .
2. Цикл для каждого антитела Ab_i :
 - 2.1. В систему нечеткого вывода с полученной базой нечетких правил подставляются параметры функций принадлежности из антитела Ab_i , вычисляется аффинность антитела к популяции антигенов Ag .
 - 2.2. Выбор n лучших антител для клонирования N раз.
 - 2.3. Клонирование, формирование популяции клонов C .
 - 2.4. Мутация популяции C , формирование популяции C^* .
 - 2.5. Вычисление аффинности популяции C^* к популяции антигенов Ag .
 - 2.6. Редактирование популяции антител.
 - 2.7. Замена d худших антител новыми антителями в популяции антител Ab .

3. Проверка критерия останова. Если не достигнут – переход к шагу 2, в противном случае – переход к шагу 4.

4. Конец.

После выполнения алгоритма в базу знаний системы нечеткого вывода подставляются параметры ФП, содержащиеся в антителе с лучшей по популяции аффинностью.

Работа экспертной системы дифференциальной диагностики аллергодерматозов после иммунной настройки базы знаний системы нечеткого вывода была проверена на тестовой выборке, содержащей данные больных с верифицированными диагнозами.

По предложенным алгоритмам разработано программное обеспечение на языке C++ в среде Microsoft Visual Studio 2005. Интерфейс пользователя в интерактивном режиме позволяет вводить данные иммунологического исследования больных и выводит результаты дифференциальной диагностики на основе имеющейся базы знаний.

Выводы

Разработана интеллектуальная система дифференциальной диагностики аллергодерматозов по данным иммунологического обследования больных г. Харькова. Разработка интеллектуальной системы включает в себя предварительную обработку и интеллектуальный анализ входных данных (клинического анализа крови, данных клеточного и гуморального иммунитета), разработку методов и алгоритмов описания этиологии и патогенеза кожных заболеваний, а также разработку структурного и системного подхода к классификации клинических проявлений кожных заболеваний.

Интеллектуальная система дифференциальной диагностики реализована в виде экспертной системы, входными данными которой являются показатели клеточного и гуморального иммунитета больного, а выходными данными – прогнозируемый диагноз больного.

Основой экспертной системы является адаптивная система нечеткого вывода, база знаний которой построена по статистическим данным обследования больных с диагнозами атопический дерматит, аллергический дерматит, экзема, полученными при обследовании больных в Институте дерматологии и венерологии АМН Украины. Настройка адаптивной модели нечеткого вывода для достижения максимальной эффективности по всем правилам нечеткого вывода реализована с использованием искусственных иммунных систем.

Разработанная интеллектуальная система позволяет проводить дифференциальную диагностику аллергодерматозов и предназначена для использования в дерматологических лабораториях в помощь врачу дерматологу.

Список литературы

1. Коган Б.Г. Современная терапия аллергических дерматозов / Б.Г. Коган, В.Б. Терлецкий, Р.В. Терлецкий // Укр. журн. дерматол., венерол., косметол. – 2005. – № 3 (8). – С. 22-24.

2. Кораблев Н.М. Адаптивные нечеткие модели идентификации нелинейных объектов на основе искусственных иммунных систем / Н.М. Кораблев, И.В. Сорокина // Бионика интеллекта. – 2008. – № 2 (69). – С. 125-131.

3. An Overview of Artificial Immune Systems / J.I. Timmis, T. Knight, L.N. De Castro, E. Hart // *Computation in Cells and Tissues: Perspectives and Tools for Thought, Natural Computation Series*, Springer, 2004. – P. 51-86.

4. Борисов В.В. Нечеткие модели и сети / В.В. Борисов, В.В. Круглов, Ф.С. Федюлов. – М: Горячая линия. – Телеком, 2007. – 284 с.

5. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.: ил.

6. Korablyov M.M. Adaptation of fuzzy inference models

using artificial immune systems / M.M. Korablyov, I.V. Ovcharenko // *Advanced Computer Systems and Networks: Design and Application: Proceedings of the 3-rd International Conference ACSN-2007*. Lviv, September 20-22, 2007 – Lviv: Publishing Housing of Lviv Polytechnic National University, 2007. – P. 89-91.

7. Кораблев М.М. Адаптація моделей нечіткого виводу з використанням штучних імунних систем / М.М. Кораблев, І.В. Овчаренко // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2007. – № 603. – С. 73-76.

Поступила в редакцію 8.042006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. кафедри С.Г. Удовенко, Харьковський національний університет радіоелектроніки, Харків.

ДИФЕРЕНЦІЙНА ДІАГНОСТИКА АЛЕРГОДЕРМАТОЗІВ З ВИКОРИСТАННЯМ АДАПТИВНОЇ МОДЕЛІ НЕЧІТКОГО ВИВОДУ

М.М. Кораблев, І.В. Сорокіна, А.Е. Макогон

В роботі розглядається розробка інтелектуальної системи диференційної діагностики алергодерматозів, реалізованої на базі адаптивної моделі нечіткого виводу. База даних та база знань даної системи формуються по експериментальним даним з використанням штучних імунних систем.

Ключові слова: диференційна діагностика, штучні імунні системи, функція належності, експертна система, адаптивна система нечіткого виводу.

DIFFERENTIAL DIAGNOSTICS OF ALLERGIC DERMATOSES USING ADAPTIVE FUZZY INFERENCE MODEL

N.M. Korablyov, I.V. Sorokina, A.E. Makogon

The given work is devoted to the designing of the expert system for differential diagnostics of allergic dermatoses based on the adaptive fuzzy inference system. Parameters of the fuzzy rule base and the knowledge base of the adaptive fuzzy inference system are adjusted from the experimental data set using artificial immune systems.

Keywords: differential diagnostics, artificial immune systems, membership function, expert system, adaptive fuzzy inference system.