

Е.Е. Федоров, И. Слесорайтите

Донецкая академия автомобильного транспорта, г.Донецк
кафедра специализированных компьютерных систем,
Вильнюсский университет, г. Вильнюс
отдел «Interdisciplinary Drug Synthesis and Research»
E-mail: fee75@mail.ru, sliesoraityte@yahoo.com

МЕТОДИКА СЛП-ДИАГНОСТИКИ НА ОСНОВЕ СМЕШИВАНИЯ ЭКСПЕРТОВ

Аннотация

Федоров Е.Е., Слесорайтите И. Методика СЛП-диагностики на основе смешивания экспертов. Для повышения надежности диагностики зрительного аппарата посредством сканирующей лазерной поляриметрии в статье предлагается методика интеллектуальной СЛП-диагностики на основе смешивания экспертов, базирующаяся на формализации зависимостей между показателями сетчатки и артерий глаза; синтезе структуры нейросети; разработке процедуры прогноза, определении параметров модели на основе генетического алгоритма. Для предложенной методики проводится численное исследование.

Ключевые слова: диагностика зрительного аппарата, сканирующая лазерная поляриметрия, методика интеллектуальной СЛП-диагностики, смешивание экспертов, генетический алгоритм.

Общая постановка проблемы.

В современной отечественной и мировой практике активно ведутся разработки интеллектуальных систем, связанных с диагностикой физиологического состояния человека. Особую важность эти исследования имеют для диагностики зрительного аппарата с помощью сканирующей лазерной поляриметрии (СЛП).

Анализ исследований.

Современные исследования зрительного аппарата с помощью СЛП-диагностики [1-2] не используют модели и методы искусственного интеллекта и, в частности, нейронные сети. Существующие зависимости между показателями состояния сетчатки и артерий глаза в настоящее время формализованы неполно. Не учитывается влияние помех. Для повышения вероятности правильного диагностирования и повышения скорости принятия решения требуется разработка математической модели прогноза. С другой стороны, существующие алгоритмы обучения сетей смешивание экспертов [3] рассматривают эксперта как линейную модель, что для ряда случаев является невозможным.

Постановка задач исследования.

Разработать методику СЛП-диагностики зрительного аппарата на основе смешивания экспертов и провести численное исследование предложенной методики.

Решение задач и результаты исследований.

Предлагаемая методика включает в себя:

- формализацию показателей;
- формализацию зависимостей между показателями сетчатки и артерий глаза;
- синтез структуры нейросети;
- разработку процедуры прогноза;
- идентификацию параметров модели.

1. Формализация показателей СЛП-диагностики

Стандартные показатели СЛП-диагностика [4]:

- средняя толщина слоя зрительного нерва (TSNIT) y_1 ;
- показатель зрительного нерва (NFI) y_2 .

Состояние артерий глаз (ретробульбарная гемодинамика (RH)) оценивается на основе цветового Допплеровского изображения (CDI). Стандартные показатели CDI:

1. В глазной артерии (OA):

- пиковая систолическая скорость (OA_PSV) x_1 ;
- конечно-диастолическая скорость (OA_EDV) x_2 ;
- показатель пульсации (OA_PI) x_3 ;
- показатель удельного сопротивления (OA_RI) x_4 .

2. В центральной сетчаточной артерии (CRA):

- пиковая систолическая скорость (CRA_PSV) x_5 ;
- конечно-диастолическая скорость (CRA_EDV) x_6 ;
- показатель пульсации (CRA_PI) x_7 ;
- показатель удельного сопротивления (CRA_RI) x_8 .

3. В короткой последующей реснитчатой артерии (SPCA):

- пиковая систолическая скорость (SPCA_PSV) x_9 ;
- конечно-диастолическая скорость (SPCA_EDV) x_{10} ;
- показатель пульсации (SPCA_PI) x_{11} ;
- показатель удельного сопротивления (SPCA_RI) x_{12} .

2. Формализация зависимостей между показателями сетчатки и артерий глаза

Для формализации зависимостей между одним из показателей y и одним из показателей x используются следующие полиномы:

– линейный

$$y = b_0 + b_1x; \tag{1}$$

– квадратичный

$$y = b_0 + b_1z + b_2x^2; \tag{2}$$

– кубический

$$y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3; \tag{3}$$

– тригонометрический

$$y = b_0 + b_1 \cos(b_2 + b_3x), \tag{4}$$

– экспоненциальный

$$y = b_0 + b_1e^{b_2x}. \tag{5}$$

3. Синтез структуры нейросети

Авторская система диагностирования представляет собой нейросеть смешивания экспертов с генетическим алгоритмом, которая обладает следующими достоинствами:

- возможность использования априорной информации (знаний экспертов).
- представление знаний в виде правил, легко доступных для понимания человеком;
- возможность быстрого обучения и адаптации;
- параллельная обработка информации, которая повышает вычислительную мощность;
- отсутствуют трудности с определением структуры сети.

Для интеллектуальной СЛП-диагностики используется сеть смешивания экспертов, состоящая из пяти экспертов (рис. 1), соответствующих полиномам (1)-(5).

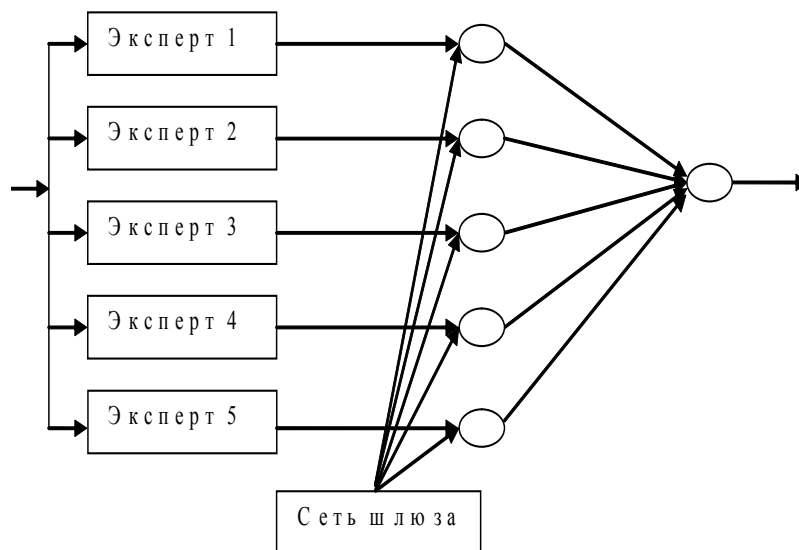


Рисунок 1 – Смешивание экспертов

4. Разработка процедуры прогноза

$$u_k = a_{k1}x_1, \quad k \in \overline{1,5},$$

$$g_k = \frac{\exp(u_k)}{\sum_{s=1}^5 \exp(u_s)}, \quad k \in \overline{1,5},$$

$$y_1 = w_{10} + w_{11}x_1, \quad y_2 = w_{20} + w_{21}x_1 + w_{22}x_1^2, \quad y_3 = w_{30} + w_{31}x_1 + w_{32}x_1^2 + w_{33}x_1^3,$$

$$y_4 = w_{40} + w_{41} \cos(w_{42} + w_{43}x_1), \quad y_5 = w_{50} + w_{51} \exp(w_{52}x_1),$$

$$y = \sum_{k=1}^5 g_k y_k,$$

где a_{k1} – параметры шлюза, w_{kj} – параметры k -го эксперта, x_1 – определенный показатель.

5. Идентификация параметров модели на основе генетического алгоритма

Обучение нейросети (например, используя алгоритм ЕМ (максимизации ожидания) или алгоритм на основе стохастического градиента) в случае близких друг другу образов имеет высокую вычислительную сложность. Исходя из этого, предлагается использовать генетический алгоритм [5].

5.1. Представление особей и создание исходной популяции

Выбраны вещественные (действительные) гены в силу следующих причин:

- возможность поиска в больших пространствах, что трудно делать в случае двоичных генов, когда увеличение пространства поиска сокращает точность решения при неизменной длине хромосомы;
- способность к локальной настройке решений;
- отсутствие операций кодирования/декодирования, которые необходимы для двоичных генов, повышает скорость работы алгоритма;
- близость к постановке большинства прикладных задач (каждый вещественный ген отвечает за одну переменную или параметр, что невозможно в случае двоичных генов).

В качестве хромосомы, которая представляет i -ю особь популяции $H = \{h_i\}$, выступает упорядоченный вектор параметров сети смешивания экспертов

$$h_i = (\widehat{w}_{i10}, \widehat{w}_{i11}, \widehat{w}_{i20}, \widehat{w}_{i21}, \widehat{w}_{i22}, \widehat{w}_{i30}, \widehat{w}_{i31}, \widehat{w}_{i32}, \widehat{w}_{i33}, \widehat{w}_{i40}, \widehat{w}_{i41}, \widehat{w}_{i42}, \widehat{w}_{i43}, \widehat{w}_{i50}, \widehat{w}_{i51}, \widehat{w}_{i52}, \widehat{a}_{i11}, \widehat{a}_{i21}, \widehat{a}_{i31}, \widehat{a}_{i41}, \widehat{a}_{i51}), i \in \overline{1, |H|},$$

$$\widehat{a}_{ik1} = la_{k1} + i * \frac{ra_{k1} - la_{k1}}{|H|}, \widehat{w}_{ikj} = lw_{kj} + i * \frac{rw_{kj} - lw_{kj}}{|H|},$$

где $|H|$ – мощность популяции, $la_{k1}, ra_{k1}, lw_{kj}, rw_{kj}$ – левая и правая границы значений параметра a_{k1} и w_{kj} , вычисленные экспериментально.

5.2. Фитнесс-функция

Поскольку для ряда методов репродукции (например, рулетки) допускается только максимизация функции, то в статье предложена следующая фитнес-функция, соответствующая вероятности правильного распознавания

$$F = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P I(y_p - d_p) \rightarrow \max_{a_{k1}, w_{kj}}, I(a) = \begin{cases} 1, & a = 0 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

где d_p – отклик, полученный с объекта (глаза), y_p – отклик, полученный по нейросети,

P – количество объектов в виде реализаций СЛП-сигнала.

5.3. Оператор репродукции (селекции)

В качестве оператора репродукции в работе используется рулетка (пропорциональный отбор). Вероятность выбора каждого i -го вектора параметров сети смешивания экспертов (хромосомы) зависит от величины ее фитнес-функции и определяется в виде

$$P(h_i) = \frac{F(h_i)}{\sum_{s=1}^{|H|} F(h_s)}, i \in \overline{1, |H|}.$$

5.4. Оператор кроссинговера (кроссовера, рекомбинации)

Используем однородную рекомбинацию. Два вектора параметров сети смешивания экспертов (хромосомы-родители) выбираются случайно. Затем для каждого гена хромосомы с равной вероятностью выбирается первый или второй родитель. Осуществляется скрещивание, и производятся два потомка. Вероятность кроссинговера – 0.5.

5.5. Оператор мутации

Случайно выбирается вектор параметров сети смешивания экспертов (хромосома). Затем случайно выбирается параметр из этого вектора (ген хромосомы), к которому добавляется шаг мутации Δ . В статье для вычисления шага мутации используется алгоритм имитации отжига

$$\Delta = \begin{cases} \left(\max h_{ij} - h_{ij} \right) \left(1 - r \left(1 - \frac{t}{T} \right)^2 \right), & r \geq 0 \\ \left(h_{ij} - \min h_{ij} \right) \left(1 - (-r) \left(1 - \frac{t}{T} \right)^2 \right), & r < 0 \end{cases},$$

где $\max h_{ij}, \min h_{ij}$ – максимальное и минимальное значение j -го гена i -й хромосомы,

t – номер итерации, T – максимальное количество итераций,

r – случайное число, $r \in [-1,1]$.

Для этого алгоритма вероятность мутации уменьшаться с количеством итераций

$$P_m = P_0 \exp(-1/t), P_0 = 0.05 \div 0.1$$

5.6. Оператор редукции

Используем селекционную схему. Старые и новые вектора параметров сети смешивания экспертов (особи) объединяются в одно множество (популяцию) и упорядочиваются по убыванию значения фитнес-функции.

Отбираются первых $|H|$ векторов (особей).

5.7. Условие останова

В статье предлагается следующее условие

$$1 - \max_i F(h_i) < \varepsilon \vee t \geq T$$

Значение ε и T вычисляются экспериментально.

6. Численное исследование

Для сопоставления сети смешивания экспертов (МЕ), имеющей предложенную архитектуру, с многослойным персептроном (MLP), радиально-базисной сетью (RBFN) вероятностной сетью (PNN) было проведено численное исследование. Длина тестовой выборки определялась как $N = 100$.

Структура MLP, RBFN, PNN была определена следующим образом:

- количество нейронов во входном слое – $N^{(0)} = 3$;
- количество нейронов во втором (выходном) слое – $N^{(2)} = 1$.
- количество нейронов в первом слое определяется согласно условию [6]

$$\left\lceil \frac{N^{(2)} \cdot N}{1 + \log_2 N} \right\rceil \leq N^{(1)} \leq \left\lfloor N^{(2)} \left(\frac{N}{N^{(2)}} + 1 \right) \left(N^{(0)} + N^{(2)} + 1 \right) + N^{(2)} \right\rfloor.$$

Качество прогноза оценивалось по функционалу

$$J = \frac{m}{n} 100\%,$$

где m – количество правильных прогнозов, n – общее количество прогнозов.

Результаты исследования приведены в табл. 1.

Как видно из табл.1, наибольшую вероятность правильного прогноза имеет авторская сеть.

Таблица 1 – Вероятность правильного прогноза

Название нейросети	Вероятность правильного прогноза, %
МЕ	99
MLP	85
RBFN	76
PNN	80

Выводы.

1. В статье предложена методика СЛП-диагностики на основе сети смешивания экспертов. Эта методика включает в себя формализации зависимостей между показателями сетчатки и артерий глаза; синтез структуры нейросети; разработку процедуры прогноза, определение параметров модели на основе генетического алгоритма.

2. Основные положения данной работы предназначены для реализации в интеллектуальных системах диагностики зрительного анализатора

Література

1. Harris A. Acute IOP elevation with scleral suction: effects on retrobulbar haemodynamics / A. Harris; K. Joos; M. Kay; D. Evans; R. Shetty; W. Sponsel; B. Martin // *British Journal of Ophthalmology*. – 1996. – Т.80. – №12. – 1055-1059.
2. Inan U.U. The Effect of Dehydration and Fasting on Ocular Blood Flow / U.U. Inan; A. Yucel; S.S. Ermis; F. Ozturk // *Journal of Glaucoma*. – 2002 – Т.11. – №5. – 411-415.
3. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
4. Слесорайтите И. Методика диагностики зрительного аппарата водителя / И. Слесорайтите, Е.Е. Федоров // *Вестник Донецкого института автомобильного транспорта*. – 2009. – №2. – С. 26-32.
5. Скобцов Ю.А. Основы эволюционных вычислений / Ю.А. Скобцов. – Донецк: ДонНТУ, 2008. – 326 с.
1. Горбань А.Н. Нейронные сети на персональном компьютере / А.Н. Горбань, Д.А. Россиев. Новосибирск: Наука, 1996. - 276 с.

Abstract

Fedorov E.E., Sliesoraityte I. Method SLP-diagnostics on the basis of mixtures of experts. For increase of reliability of diagnostics of the visual device by means of scanning laser polarimetry in article the method intellectual SLP-diagnostics on the basis of mixing of the experts, based on formalization of dependences between indicators of a retina and eye arteries is offered; synthesis of structure of a neural network; working out of procedure of the forecast, definition of parameters of model on the basis of genetic algorithm. For the offered technique numerical research is carried out.

Keywords: *diagnostics of the visual device, scanning laser polarimetry, method intellectual SLP-diagnostics, mixing of the experts, genetic algorithm.*

Анотація

Федоров Є.Є., Слесорайтите І. Методика діагностики на основі змішування експертів. Для підвищення надійності діагностики зорового апарата за допомогою лазерної поляриметрії, що сканує, у статті пропонується методика інтелектуальної СЛП-діагностики на основі змішування експертів, що базується на формалізації залежностей між показниками сітківки й артерій ока; синтезі структури нейромережі; розробці процедури прогнозу, визначенні параметрів моделі на основі генетичного алгоритму. Для запропонованої методики проводиться чисельне дослідження.

Ключові слова: *діагностика зорового апарата, лазерна поляриметрія, що сканує, методика інтелектуальної СЛП-діагностики, змішування експертів, генетичний алгоритм.*

Здано в редакцію:
1.04.10р.

Рекомендовано до друку:
к.т.н, доц. Маренич К.М.