

УДК 004:62-52:004.03

Н.О. КОМЛЕВАЯ

Одесский национальный политехнический университет

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ДИСКРИМИНАНТНОГО АНАЛИЗА В ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Приведен аналитический обзор офтальмологических исследований по оценке состояния глазодвигательной системы человека. Рассмотрена математическая модель исследуемой системы и на основании ее основных информативных параметров сформирована система диагностических признаков. Показана неполнота такой системы признаков, отмечено расхождение в значениях параметров и диагностических признаков глазодвигательной системы, полученных у разных возрастных групп. Проведена серия экспериментов, позволяющих исследовать состояния глазодвигательной системы у двух возрастных групп – детей и взрослых. Для получения комбинированной оценки наличия существенного различия в наблюдаемых объектах по величине нескольких признаков применен метод дискриминантного анализа. При помощи разграничительной функции получена количественная оценка для каждой изучаемой группы. Данные оценки обобщены и при помощи дисперсионного анализа сделан вывод о наличии видимого различия в состоянии глазодвигательной системы сравниваемых групп людей.

Ключевые слова: диагностирование, глазодвигательная система, диагностические признаки, оценка состояния системы, дискриминантный анализ.

Введение

Разработка средств автоматизированного диагностирования включает в себя решение всех вопросов, направленных на изучение и определение действительного состояния объекта диагностирования и характера его изменения во времени. Анализ принципов работы объекта диагностирования и множества его параметров позволяет сформировать набор диагностических признаков данного объекта.

Изучаемые объекты и совокупности объектов редко различаются по величине только одного признака. Обычно в этих случаях существует различие в величине нескольких признаков. Если производится оценка существенности – значимости различия только по величине отдельных признаков, характеризующих изучаемые случаи, можно получить неверные односторонние сведения.

Различие в отношении каждого из сопоставляемых признаков может быть небольшим и незначительным или один какой-либо из признаков изучаемого объекта будет выше или ниже тех же признаков в другом из объектов. При таком изучении теряется возможность целостной, полной оценки сопоставляемых объектов.

В тех случаях, когда необходимо произвести комбинированную, обобщающую оценку наличия либо отсутствия существенного различия в наблюдаемых объектах по величине нескольких

признаков, пользуются методом дискриминантного анализа [1].

Разграничение изучаемых совокупностей производится посредством наблюдения известного числа признаков и построения функции, называемой разграничительной. При помощи нее каждый из наблюдаемых случаев изучаемых совокупностей получает известную количественную оценку, при которой учитываются величины наблюдаемых признаков.

Полученные оценки обобщаются и при помощи дисперсионного анализа решают, имеется в данном случае существенное различие или нет.

В статье представлен анализ проблемы диагностирования состояния глазодвигательной системы (ГС) человека [2]. Проведены исследования принципа работы системы, приведен анализ системы диагностических признаков. Предложено расширить набор диагностических признаков по сравнению с уже имеющимся, обоснована необходимость такого расширения.

1. Описание принципа работы исследуемой системы

Анализ строения и функционирования ГС с учетом основных значимых параметров позволяет рассматривать глазодвигательную систему как систему экстремального регулирования типа «нелиней-

ная-линейная» с запоминанием экстремума [3], которая посредством серии автоколебательных движений позволяет отработать изменение входной информации путем совмещения направления взора с точкой фиксации.

При этом глазодвигательная система настраивается по минимуму своих светочувствительных рецепторов.

В общем виде система управления по отклонению описывается выражениями [4]

$$\begin{aligned} z(t) &= A [x(t), u(t)], \\ x(t) &= B [z(t), y_{\zeta}(t)], \end{aligned} \quad (1)$$

где $z(t)$ – выходные сигналы;

$x(t)$ – задающие воздействия;

$u(t)$ – возмущающие воздействия;

$y_{\zeta}(t)$ – задающий сигнал, поступающий на вход управляющей системы, которая вырабатывает задающее воздействие $x(t)$;

A и B – соответственно операторы объекта управления и управляющей системы.

Эффективным средством улучшения качества процесса регулирования является экстремальное регулирование с помощью модели нелинейного объекта.

Центральную часть в ГС занимает двигательный аппарат зрительного анализатора. Его математическая модель представляется системой уравнений:

$$\begin{cases} MU' + U = AI_0; \\ L = f(U), \end{cases} \quad (2)$$

где $U = \psi(L)$ – горизонтальное и вертикальное перемещение проекции направления взора в плоскости лица человека,

ψ – функция преобразования;

M – диагональная матрица постоянных времени T_i дифференциального уравнения, $i=1, 2, 3$;

A – вектор-столбец свободных членов;

I_0 – импульсы управления двигательным аппаратом глаза;

L – длины глазодвигательных мышц, определяемые функцией f по значениям U .

Более детально система дифференциальных уравнений представлена системой

$$\begin{cases} T_1 U_1' + U_1 = a_1 I_1, \\ T_2 U_2' + U_2 = a_2 I_2, \\ T_3 U_3' + U_3 = a_3 I_3, \end{cases} \quad (3)$$

где каждое уравнение описывает работу одной из трех пар глазодвигательных мышц.

2. Анализ диагностических признаков

Структурно-функциональный анализ ГС позволяет выделить следующие диагностические признаки для оценки ее состояния:

$$D \equiv (\Delta\varphi, \Delta L, \Delta T), \quad (4)$$

где $\Delta\varphi$, ΔL и ΔT – отклонения фактических значений параметров φ (угол отклонения глазного яблока от нормали), L (длина глазодвигательной мышцы), T (постоянная времени переходного процесса при отработке глазодвигательной мышцей изменения входного воздействия) от их нормативных значений.

Значения диагностических признаков позволяют провести диагностику модели объекта сначала по каждому элементу объекта отдельно, а потом получить интегральную оценку состояния модели и перенести результаты на физический объект.

Анализ получаемых значений параметров объекта диагностирования и диагностических признаков показал, что имеется некоторое различие в значениях, полученных у разных возрастных групп. В связи с этим была проведена серия экспериментов, позволяющих исследовать состояния ГС у двух возрастных групп: X^1 – дети, X^2 – взрослые. Состояние ГС характеризуется тремя признаками согласно (4). Для удобства вводятся следующие обозначения: $X_1 - \Delta\varphi$, $X_2 - \Delta L$, $X_3 - \Delta T$.

Чтобы оценить состояние ГС обеих изучаемых групп, наблюдались по 20 человек из первой ($n^1=20$) и второй ($n^2=20$) групп.

Возникает вопрос, существенно ли в состоянии ГС людей обеих групп различие, которое оценивается при помощи указанных выше трех признаков.

В ходе решения поставленной задачи используются следующие принятые символы: X обозначает наблюдаемую величину изучаемого признака.

Так как изучаются несколько признаков, то внизу справа обозначается, к какому из них относится указанная величина.

Так, например, через X_1 обозначается первый признак, через X_2 – второй и т. д.

Так как изучается более чем одна совокупность, то индексом сверху и справа отмечается, к какой совокупности относится наблюдаемый признак. Так, например, X_1^1 означает первый признак первой совокупности, X_1^2 означает первый признак второй совокупности, X_3^2 – третий признак второй совокупности и т. д. В соответствии с принятыми символами обозначается и число наблюдений: n^1 ,

n^2 и т. д., а средние величины обозначаются $\overline{X_1^1}$, $\overline{X_2^1}$, $\overline{X_3^1}$, $\overline{X_1^2}$, $\overline{X_2^2}$, $\overline{X_3^2}$.

Для построения разграничительной функции обрабатываются экспериментальные данные X_1^1 , X_2^1 , X_3^1 , X_1^2 , X_2^2 , X_3^2 , выбранные согласно (4); в рамках данной статьи эти, а также промежуточные значения не приводятся ввиду их громоздкости. Прежде всего, определяются промежуточные величины q_{11} , q_{12} , q_{13} , q_{22} , q_{23} и q_{33} . Для совпадающих индексов при $i=1, 2, 3$ имеем:

$$q_{ii} = \sum (X_i^1)^2 + \sum (X_i^2)^2 - \frac{[\sum (X_i^1)]^2}{n^1} - \frac{[\sum (X_i^2)]^2}{n^2}. \quad (5)$$

Для несовпадающих индексов $i \neq j$, $i=1, 2, 3$, $j=1, 2, 3$

$$q_{ij} = \sum X_i^1 X_j^1 + \sum X_i^2 X_j^2 - n^1 \overline{X_i^1 X_j^1} - n^2 \overline{X_i^2 X_j^2}. \quad (6)$$

После этого находят показатели r_{12} , r_{13} и r_{23} :

$$\begin{aligned} r_{12} &= \frac{q_{12}}{\sqrt{q_{11} * q_{22}}}, \\ r_{13} &= \frac{q_{13}}{\sqrt{q_{11} * q_{33}}}, \\ r_{23} &= \frac{q_{23}}{\sqrt{q_{22} * q_{33}}}. \end{aligned} \quad (7)$$

Затем определяются коэффициенты для системы уравнений:

$$d_i^1 = \left[\frac{\sum X_i^1}{n^1} - \frac{\sum X_i^2}{n^2} \right] : \sqrt{q_{ii}}, \quad i=1, 2, 3. \quad (8)$$

Далее составляется система из трех уравнений:

$$\begin{cases} d_1^1 = b_1^1 + r_{12} b_2^1 + r_{13} b_3^1, \\ d_2^1 = r_{12} b_1^1 + b_2^1 + r_{23} b_3^1, \\ d_3^1 = r_{13} b_1^1 + r_{23} b_2^1 + b_3^1. \end{cases} \quad (9)$$

Затем определяются коэффициенты

$$b_i = d_i^1 : \sqrt{q_{ii}}, \quad i = 1, 2, 3. \quad (10)$$

Полученные величины позволяют составить уравнение разграничительной функции:

$$X = b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3. \quad (11)$$

Далее путем подстановки в (11) значений b_i из (10) и конкретных числовых данных, соответствующих обеим исследуемым совокупностям, вместо x_1 , x_2 , x_3 , получают обобщающую количественную характеристику каждого случая – X^1 и X^2 .

Из результатов дискриминантного анализа видно, что графики обеих кривых сильно разграничены (рис. 1). Для получения ответа, существенно ли имеющееся различие или нет, применяется метод дисперсионного анализа.

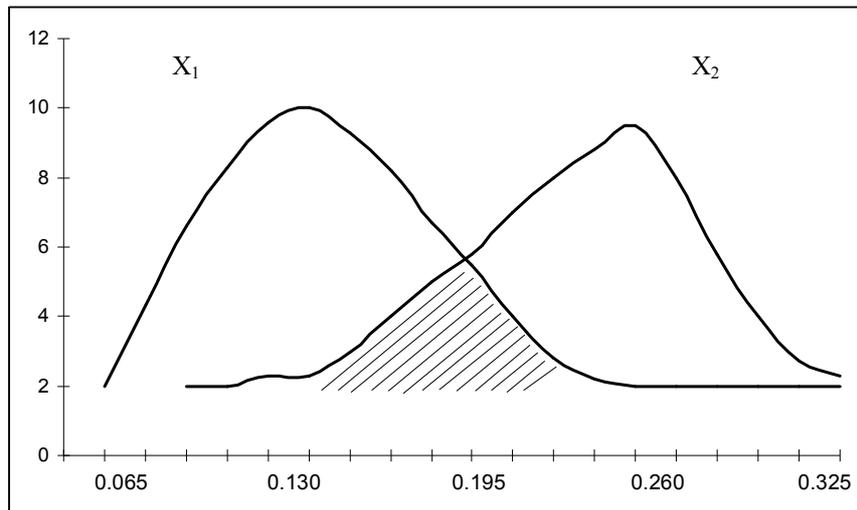


Рис. 1. Дискриминантный анализ (разграничительная функция)

Для этого вначале вычисляются коэффициенты d_i , $i=1, 2, 3$ по формулам:

$$\begin{aligned} d_1 &= b_1 q_{11} + b_2 q_{12} + b_3 q_{13}; \\ d_2 &= b_1 q_{12} + b_2 q_{22} + b_3 q_{23}; \\ d_3 &= b_1 q_{13} + b_2 q_{23} + b_3 q_{33}. \end{aligned} \quad (12)$$

Отсюда величина d определяется при помощи равенства:

$$d = \sum b_i d_i, \quad i=1, 2, 3. \quad (13)$$

При дисперсионном анализе сумму квадратических отклонений межгрупповой вариации нахо-

дят по формуле:

$$\frac{n^1 * n^2}{n^1 + n^2} * d^2, \quad (14)$$

а внутригрупповая равна d .

С использованием известных подходов [5] вычисляются соответствующие им степени свободы:

межгрупповая $K_1=3$,

внутригрупповая $K_2=32$.

Результаты дисперсионного анализа данного примера помещены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты дисперсионного анализа

| Вариация | Межгрупповая | Внутригрупповая |
|---------------------------------|--------------|------------------|
| Сумма квадратических отклонений | 0,034597 | 0,049812 |
| К | 3 | 32 |
| Дисперсия | 0,011532 | 0,001556 |
| F | — | 7,4113 |
| F_T | — | 4,46 |
| Оценка | — | Видимое различие |

В данной таблице, кроме суммы квадратических отклонений и степеней свободы, вычислены и дисперсии. Последние, как известно, являются отношением двух первых величин. Коэффициент F вычисляется как отношение межгрупповой и внутригрупповой дисперсий.

Сопоставление реального значения F и соответствующей данному примеру табличной величины F_T ($7,4113 > 4,46$) указывает, что имеется видимое различие в состоянии глазодвигательной системы сравниваемых групп людей.

Следовательно, в данном случае состояние глазодвигательной системы взрослого человека лучше, чем ребенка.

Заключение

Изучение экспериментальных данных, получаемых при обработке значений диагностических признаков у двух разновозрастных групп дает основание говорить о необходимости расширения системы признаков, по которым проводится диагностирование состояния ГС человека. К такому же заключению можно было бы прийти, если представить в виде таблицы полученные методом дискриминантного анализа величины обеих совокупностей. Разработана методика диагностирования, включающая подготовку к эксперименту, проведение эксперимента, обработку результатов и формирование диагностического заключения на базе расширенной системы признаков.

Данная методика частично опирается на известные медицинские методики, позволяющие проводить диагностику объекта по его статическим характеристикам, для которых определен набор диагностических диапазонов возможных значений.

Литература

1. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: пер. с англ. / Дж.-О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка и др.; под ред. И.С. Енюкова. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
2. Комлева Н.О. Розробка системи автоматизованої діагностики рухового апарату зорового аналізатора: Дис... канд. техн. наук: 05.13.06. / Комлева Наталья Олеговна. – Одеса, 2006. – 176 с.
3. Комлева Н.О. К вопросу о моделировании работы глазодвигательной системы на базе интеллектуального комплекса «ЕУЕСОМ» / Н.О. Комлева // Материалы XX Международной научн.-техн. конф. «Экстремальная робототехника. Нано- микро- и макророботы». – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – С. 95 – 97.
4. Верлань А.Ф. Математическое моделирование непрерывных динамических систем / А.Ф. Верлань, С.С. Москалюк. – Киев: Наукова думка, 1988. – 287 с.
5. Сепетлиев Д.А. Статистические методы в научных медицинских исследованиях / Д.А. Сепетлиев. – М.: Медицина, 1998. – 420 с.

Поступила в редакцию 4.01.2010

**ПОБУДОВА СИСТЕМИ ДІАГНОСТИЧНИХ ОЗНАК
З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ДИСКРИМИНАНТНОГО АНАЛІЗУ
В ОФТАЛЬМОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ**

Н.О. Комлева

Наведено аналітичний огляд офтальмологічних досліджень по оцінці стану рухової системи ока людини. Розглянута математична модель досліджуваної системи та на підставі її основних інформативних параметрів сформована система діагностичних ознак. Показана неповнота такої системи ознак, відзначена розбіжність у значеннях параметрів і діагностичних ознак рухової системи ока, які отримані у різних вікових групах. Проведена серія експериментів, що дозволяють досліджувати стан рухової системи ока для двох вікових груп – дітей і дорослих. Для одержання комбінованої оцінки наявності істотної відмінності в спостережуваних об'єктах по величині декількох ознак застосований метод дискримінантного аналізу. За допомогою розмежувальної функції отримана кількісна оцінка для кожної досліджуваної групи. Дані оцінки узагальнені та за допомогою дисперсійного аналізу зроблено висновок про наявність суттєвої відмінності в стані рухової системи ока порівнюваних груп людей.

Ключові слова: діагностування, рухова система ока, діагностичні ознаки, оцінка стану системи, дискримінантний аналіз.

**CONSTRUCTION OF DIAGNOSTIC ATTRIBUTES SYSTEM
WITH THE USAGE OF DISCRIMINANT ANALYSIS METHOD
IN OPHTHALMOLOGY RESEARCHES**

N.O. Komlevaya

The state-of-the-art review of ophthalmology researches on the evaluation of the state of the oculomotor system of man is given. The mathematical model of the probed system is analyzed and on the basis of its basic informing parameters the system of diagnostic attributes is formed. Incompleteness of such attributes system is shown and divergence in the values of the oculomotor system parameters and diagnostic attributes, which are got at different age-dependent groups, is marked. The series of experiments, allowing estimating the states of the oculomotor system at two age-dependent groups – children and adults are conducted. The method of discriminant analysis is applied for the combined estimation of substantial distinction of a few attributes in studied subjects. A quantitative estimation for each studied group is got with a help of dividing function. These estimations are generalized and with the dispersible analysis is made a conclusion about the visible distinction in the oculomotor system state of the compared groups.

Key words: diagnosing, oculomotor system, diagnostic attributes, evaluation of the system, discriminant analysis.

Комлевая Наталия Олеговна – канд. техн. наук, доцент, доцент системного програмного забезпечення Одеського національного політехнічного університета, Одеса, Україна, e-mail: nokoml@yandex.ru.