

УДК 616-71: 681.518.2

В. П. ОЛЕЙНИК, А. Ю. ЧЕРНЫШЕВА

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ ЭЛЕКТРОПУНКТУРНОЙ ДИАГНОСТИКИ

Предложен нетрадиционный подход получения и обработки данных, получаемых при электропунктурной диагностике. Поверхностное распределение электрических сопротивлений в биологически активной точке определяется при помощи матричного измерительного электрода. Для обработки полученных данных применен метод весовой аппроксимации. Предложены схемы расположения элементов матричного измерительного электрода. Предполагается, что использование матричного измерительного электрода позволит повысить точность измерений и получить дополнительную информацию о направлении перемещения электрода для нахождения точки экстремума.

Ключевые слова: электропунктурная диагностика, весовая аппроксимация, матричный измерительный электрод, коэффициенты регрессионной зависимости, точка экстремума.

Введение

Электропунктурная диагностика (ЭПД) представляет собой достаточно универсальный метод оценки состояния здоровья человека, в то же время вопрос об эффективности ее аппаратной реализации является актуальным и не до конца решенным [1]. Как известно, исходной информационной компонентой ЭПД является совокупность измерений электрического сопротивления организма человека в биологически активных точках (БАТ). Традиционная методика ЭПД предполагает использование двух электродов, к которым прикладывается тестирующее напряжение, а измеряемый ток, пропорциональный сопротивлению в БАТ масштабируется к условной 100 единичной шкале. Один из электродов (общий) имеет большую площадь контакта с поверхностью кожного покрова, другой - измерительный, имеет площадь близкую к размерам БАТ. На практике, применяют измерительный электрод, имеющий сферическую поверхность с радиусом закругления 1...3 мм. Как отмечается в работе [2] диагностический результат существенно зависит от точности установки измерительного электрода в БАТ. Поэтому недостаточная квалификация оператора, индивидуальный рельеф БАТ пациента приводят к ошибкам исследования.

1. Постановка задачи исследования

Согласно основным положениям ЭПД, электрическое сопротивление в биологически активных точках существенно меньше (от двух до десяти раз) по отношению к сопротивлению соседних участков

кожного покрова. Это свойство БАТ эффективно используется для их поиска. Однако точность диагностического измерения зависит от того насколько удачно найден минимальный экстремум в области самой БАТ. Таким образом, целью данной работы является повышение эффективности диагностики электропунктурных исследований.

Предлагается заменить сплошную контактную поверхность измерительного электрода матрицей из некоторого количества точечных электродов. Современные технологии микроэлектроники позволяют создать такой матричный измерительный электрод.

Последовательные измерения с точек контактной матрицы формируют массив данных электрических сопротивлений. Анализ поверхностного распределения сопротивления позволит оперативно определить местоположение БАТ и вычислить виртуальную точку экстремума.

Для обработки информации массива данных применим метод весовой (локальной) аппроксимации [3].

2. Варианты конструкций

Для начала рассмотрим структуру измерительного тракта устройства для электропунктурной диагностики. Она представлена на рис. 1.

Рассмотрим наиболее простой вариант расположения элементов матричного измерительного электрода. Пусть контактная поверхность электрода состоит из пяти точек, равноудаленных друг от друга. Расстояние между ними примем равным одной условной единице. В каждой из этих точек прово-

дим измерение (рис. 2). В качестве регрессионной функции выберем квадратичную. Построим параболу, максимально приближенную к этим точкам таким образом, чтобы сумма квадратов отклонений от соответствующих точек параболы измерений была минимальной. Эта процедура является стандартной.



Рис. 1. Структура измерительного тракта устройства для электропунктурной диагностики

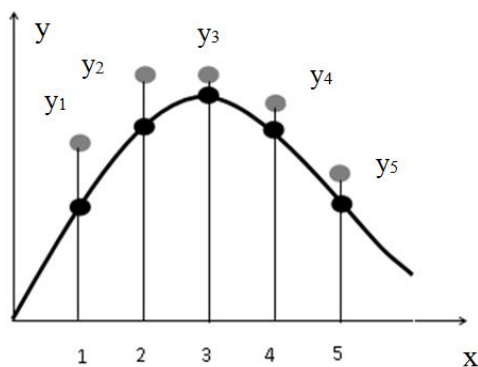


Рис. 2. Иллюстративный чертеж для вывода «пятиточечной формулы»

Построим Q-суммарную среднеквадратичную ошибку:

$$Q(a, b, c) = \sum_{i=1}^5 \left(y_i - \left(a + b(x_i - \bar{x}) + c(x_i - \bar{x})^2 \right) \right)^2, \quad (1)$$

где x_i – точки, в которых производятся измерения, y_i – результаты измерений в узловых точках, \bar{x} – точка, в которой предполагается восстановить регрессионную функцию, \bar{y} – приближенное значение измеряемой величины в точке \bar{x} , a, b, c – коэффициенты регрессионного многочлена.

После решения системы нормальных уравнений, получаемых приравнением нулю частных производных, приходим к следующим результатам:

$$\begin{aligned} a &= \frac{-3y_1 + 12y_2 + 17y_3 + 12y_4 - 3y_5}{35}, \\ b &= \frac{-2y_1 - y_2 + y_4 + 2y_5}{10}, \\ c &= \frac{(4y_1 + y_2 + y_4 + 4y_5) - 10a}{34}. \end{aligned} \quad (2)$$

Коэффициент a равен приближению результата измерений в заданном наборе точек квадратичной регрессионной функцией в центральной из этих точек: $a = P(\bar{x})$ и совпадает с хорошо известной так называемой «пятиточечной формулой», рассмотренной в работе [4].

3. Весовая аппроксимация в одномерном случае

Некоторое усложнение приносит рассмотрение весов для учета повышения ценности результатов измерения в точках, близких к центральной. В качестве весовых функций обычно выбирают потенциальную функцию Коши:

$$\rho(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{H} \right)^2}, \quad \text{где } H -$$

так называемый параметр локальности [4]. В этом случае формула (1) приобретает следующий вид:

$$Q(\bar{a}) = \sum_{i=1}^n (y_i - P(x_i))^2 \cdot \rho(x_i - \bar{x}), \quad (3)$$

где $P_m(x_i) = \sum_{k=0}^m a_k \cdot (x_i - \bar{x})^k$ – аппроксимирующий многочлен.

В рассматриваемом пятиточечном случае, принимая $H=1$, получаем уточненные формулы для аппроксимации измеряемой величины и ее производной в центральной точке.

$$\begin{aligned} a_0 &= P_2(\bar{x}) = \frac{1}{55}(-3y_1 + 12y_2 + 37y_3 + 12y_4 - 3y_5), \\ a_1 &= P_2'(\bar{x}) = \frac{5}{13} \left(\frac{1}{2}(y_4 - y_2) + \frac{2}{5}(y_5 - y_1) \right). \end{aligned} \quad (4)$$

Пусть $\bar{x} = x_3$, тогда использование весовой функции в виде $\rho(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{H} \right)^2}$ приводит к полу-

чению следующих значений весов:

$$\rho(x_1 - \bar{x}) = \rho(x_5 - \bar{x}) = \frac{1}{5};$$

$$\rho(x_2 - \bar{x}) = \rho(x_4 - \bar{x}) = \frac{1}{2};$$

$$\rho(x_3 - \bar{x}) = 1.$$

Простейшее расположение элементов линейного многоточечного электрода имеет следующий вид:

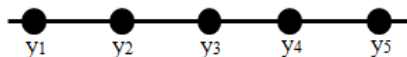


Рис. 3. Расположение элементов линейного многоточечного электрода

4. Весовая аппроксимация в применении к матричным измерительным схемам

Возможности повышения точности измерений заключаются в рассмотрении усреднений не только временных, но и пространственных. В связи с этим актуальным является вопрос о математической обоснованности обработки результатов измерений по плоскостно или пространственно расположенным элементам.

Рассмотрим следующую схему расположения элементов матричного электрода на плоскости (рис.4)

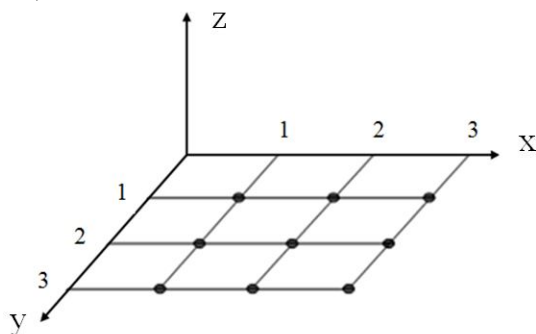


Рис. 4. Схематическое изображение расположения элементов матричного электрода на плоскости (выделены жирными точками)

Выберем в качестве аппроксимирующей функции многочлен второй степени:

$$P_m(x, y) = \sum_{0 \leq k+l \leq 2} a_{k,l} \cdot (x - \bar{x})^k (y - \bar{y})^l, \quad (5)$$

где $m=2$.

Сумма квадратов отклонений в тензорных обозначениях имеет вид:

$$Q(a) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (z_{i,j} - P_2(x_i, y_j))^2 \cdot \rho(dx_i, dy_j), \quad (6)$$

где $dx_i = x_i - \bar{x}$, $dy_j = y_j - \bar{y}$, $i, j = 1, 2, 3$ – координаты точек измерения, $z_{i,j}$ – результаты измерения в заданных точках.

Для того чтобы найти значение в центральной точке примем $\bar{x} = 2$, $\bar{y} = 2$.

$$\text{Тогда } \rho_{11} = \rho_{13} = \rho_{31} = \rho_{33} = \frac{1}{3},$$

$$\rho_{12} = \rho_{21} = \rho_{32} = \rho_{23} = \frac{1}{2}, \rho_{22} = 1.$$

Метод наименьших квадратов в данном случае приводит к системе нормальных уравнений для шести неизвестных коэффициентов, которая распадается на две независимые системы для четных и нечетных степеней.

В результате приходим к следующим выражениям:

$$\begin{aligned} a_{00} &= P_2(\bar{x}, \bar{y}) = \frac{1}{15} (2 \cdot (z_{12} + z_{21} + z_{23} + z_{32}) - \\ &\quad - z_{11} - z_{13} - z_{31} - z_{33} + 11 \cdot z_{22}); \\ a_{10} &= \frac{\partial}{\partial x} P_2(\bar{x}, \bar{y}) = \frac{3}{7} \left(\frac{1}{2} (z_{32} - z_{12}) + \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{3} (z_{31} - z_{11} + z_{33} - z_{13}) \right); \\ a_{01} &= \frac{\partial}{\partial y} P_2(\bar{x}, \bar{y}) = \frac{3}{7} \left(\frac{1}{2} (z_{23} - z_{21}) + \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{3} (z_{33} - z_{31} + z_{13} - z_{11}) \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Расположение элементов матричного измерительного электрода для электропунктурной диагностики показано на рис.5

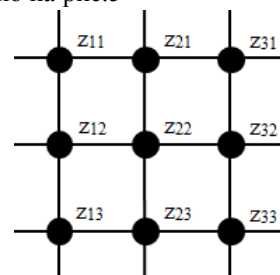


Рис. 5. Расположение элементов матричного электрода

Таким образом, можно сделать вывод, что матричная конструкция электрода позволяет получать дополнительно информацию о направлении перемещения, для достижения наибольшего (наименьшего) измеряемого параметра с учетом знака и величины коэффициентов a_{10} и a_{01} .

Заключение

Матричные электроды в целом позволяют извлечь дополнительную информацию из результатов измерений. К ней, например, относится возможность выбора направления перемещения измерительного электрода, для нахождения точки экстремума.

В результате проведенных вычислений в данной работе найдены числовые значения коэффици-

ентов регрессионной зависимости. Показано, что увеличение количества элементов электрода облегчает процесс поиска экстремума измеряемой величины за счет оценивания производных.

В дальнейшем предполагается оценить эффективность применения матричного электрода, а также произвести моделирование работы предложенного алгоритма обработки данных.

В случае успешного решения проблемы повышения точности ЭПД открываются перспективы для решения важной социальной задачи: обеспечение полноценного мониторинга уровня заболеваний различной природы для населения в целом [5].

Таким образом, практическая перспектива применения ЭПД предполагает продолжение теоретических и экспериментальных исследований в этой области.

Литература

1. Самохин, А. В. *Электропунктурная диагностика и терапия по методу Р. Фолля [Текст] / А. В. Самохин, Ю. В. Готовский. – 5-е изд. – М. : ИМЕДИС, 2006. – 528 с.*
2. Жуков, В. В. *Метрологические основы электропунктурной диагностики [Электронный ресурс] / В. В. Жуков. – Режим доступа: <http://www.medem.kiev.ua/page.php?pid=1799>. – 10.10.2012.*
3. Катковник, В. Я. *Непараметрическая идентификация и сглаживание данных. Метод локальной аппроксимации [Текст] / В. Я. Катковник. – М. : Глав.ред. физ.-мат. лит., 1985. – 306 с.*
4. Кендалл, М. *Многомерный статистический анализ и временные ряды [Текст] / М. Кендалл, А. Стьюарт. – М. : Наука, 1976. – 736 с.*
5. Чернышева, А. Ю. *Использование метода электропунктуры как элемента системы мониторинга состояния здоровья населения [Текст] / А. Ю. Чернышева // Интегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні: тез. доп. Всеукраїнська науково-технічна конференція, листопад 2012 р. – Харків, 2012. – С. 189.*

Поступила в редакцію 12.11.2013, рассмотрена на редколлегии 11.12.2013

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф., зав. отделом Ф. В. Кивва, Институт радиопрофики и электроники НАН Украины им. А. Я. Усикова, г. Харьков.

ПРО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ ЕЛЕКТРОПУНКТУРНОЇ ДІАГНОСТИКИ

В. П. Олійник, Г. Ю. Чернишова

Запропоновано нетрадиційний підхід отримання та обробки даних, одержуваних при електропунктурній діагностиці. Поверхневий розподіл електричних опорів в біологічно активній точці визначається за допомогою матричного вимірювального електроду. Для обробки отриманих даних застосовано метод вагової апроксимації. Запропоновано схеми розташування елементів матричного вимірювального електроду. Передбачається, що використання матричного вимірювального електроду дозволить підвищити точність та отримати додаткову інформацію про напрямок переміщення електроду для знаходження точки екстремуму.

Ключові слова: електропунктурна діагностика, вагова апроксимація, матричний вимірювальний електрод, коефіцієнти регресійної залежності, точка екстремуму.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF APPLICATION OF ELECTROPUNCTURE DIAGNOSTICS HARDWARE

V. P. Oliynuk, A. Y. Chernyshova

An unconventional approach of obtaining and processing of data obtained from the electropuncture diagnostics was proposed. Surface distribution of electrical resistance in a biologically active point is determined using a matrix measuring electrode. For processing the data the method of weighted approximation was applied. Schemes of arrangement of the elements of the matrix measuring electrode were proposed. It is assumed that the use of a matrix measuring electrode can help to increase the accuracy and to get more information about the direction of movement of the electrode to find the point of extreme.

Keywords: electropuncture diagnostics, weighted approximation, matrix measuring electrode, coefficients of the regression dependence, an extreme point.

Олейник Владимир Петрович - канд. техн. наук, доцент, проф. каф. производства радиоэлектронных систем летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков, Украина, e-mail: oliynuk@xai.edu.ua.

Чернышева Анна Юрьевна – магистрант каф. производства радиоэлектронных систем летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков, Украина, e-mail: AnnaChernyshova1@yandex.ua.