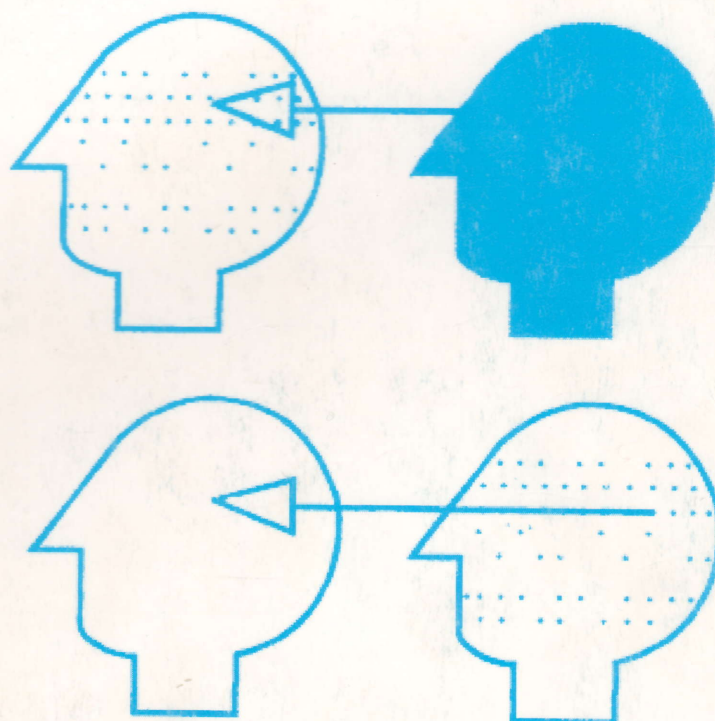


004(06)
П 48

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ISSN 0555-2656

ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ



58' 2003



735299

УДК 615.47:617-089

Т.В. НОСОВА, М.С. БЕЗНОС, В.В. СЕМЕНЕЦ, В. А. ПИСЬМЕНЕЦКИЙ

ПОИСК ОПТИМАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА

Введение.

В настоящее время в клиническую практику все шире внедряются аппаратно-программные комплексы для диагностики и коррекции параметров походки, позволяющие более эффективно проводить процесс диагностики и обучение пациентов, а следовательно, существенно сократить время реабилитации и одновременно повысить ее эффективность. Основой всех существующих методов диагностики является обработка сигналов, снимаемых с пациента, в частности, биомеханических сигналов от гониометрических датчиков. Эффективность работы аппаратно-программных комплексов во многом определяется применяемыми алгоритмами обработки сигналов, при этом отправной точкой является базовая математическая модель этих сигналов, поиску оптимального варианта которой посвящена статья.

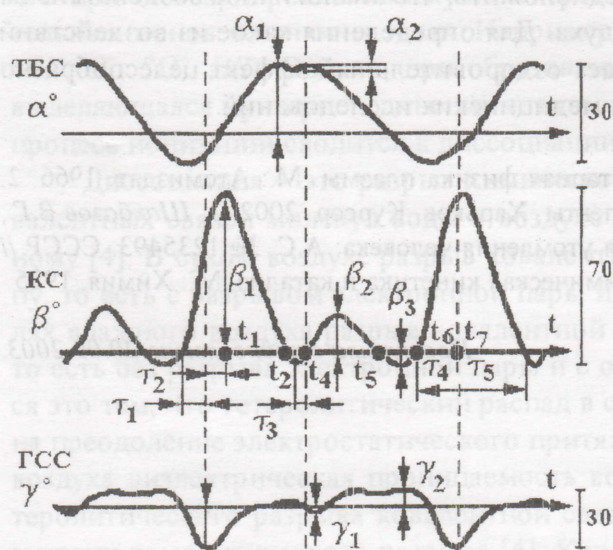


Рис. 1. Гониометрические характеристики экспериментальных данных шага человека.

квадратичной погрешностью при минимальном количестве членов разложения.

Результаты моделирования сигналов, снятых с тазобедренного (ТБС) (рис. 2), коленного (КС) (рис. 3) и голеностопного (ГСС) (рис. 4) суставов, на основе ряда Фурье [1] побудили нас провести поиск других базисных функций с целью сокращения числа членов ряда. Это связано с тем, что в предыдущей работе количество слагаемых ряда составляло 18–20, исключая математическую модель для сигнала ГСС при составлении, которой базовой являлась экспоненциальная функция.

Для решения этой задачи проанализируем особенности представления биомедицинских сигналов аналитическими моделями. Для некоторого временного интервала $[0, \tau]$ возможно описание сигнала $f(t)$, по некоторой системе функций $\{\varphi_i(t)\}$.

$$f(t) = \sum_{i=0}^n a_i \varphi_i(t), \quad t \in [0, \tau]$$

Целью данной работы является повышение достоверности модели диагностики походки человека за счет корректного определения информативных параметров: угла сгибания в тазобедренном суставе α_1 , угла попятных движений α_2 , угла сгибания в коленном суставе β_1 , угла подгибания β_2 , угла первично подошвенного сгибания γ_1 , угла первичного тыльного сгибания γ_2 (рис. 1), и соответственно поиска оптимальной модели функционирования нижних конечностей человека.

Перед нами стояла задача аналитического описания опытных данных, полученных при исследованиях кинематической системы нижних конечностей человека на основе различных аппроксимирующих функций с минимальной средне-

$$f(t) = \sum_{i=0}^n a_i \varphi_i(t)$$

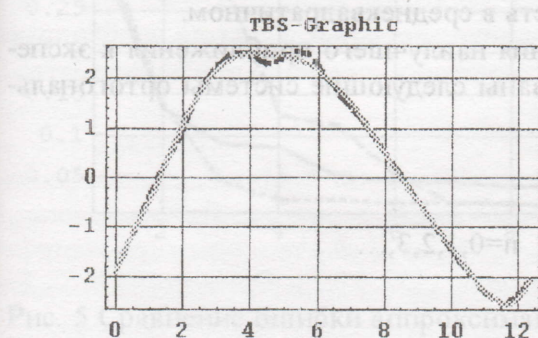


Рис. 2. Экспериментальные данные угла ТБС и их аппроксимационные модели вида (1).

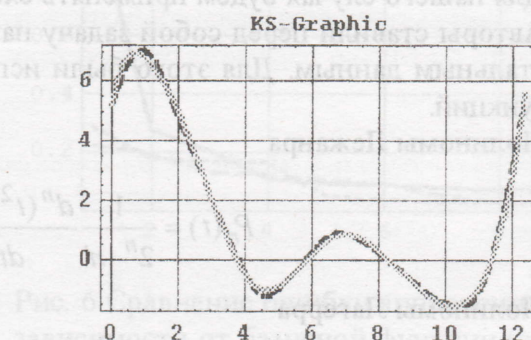


Рис. 3. Экспериментальные данные угла КС и их аппроксимационные модели вида (2).

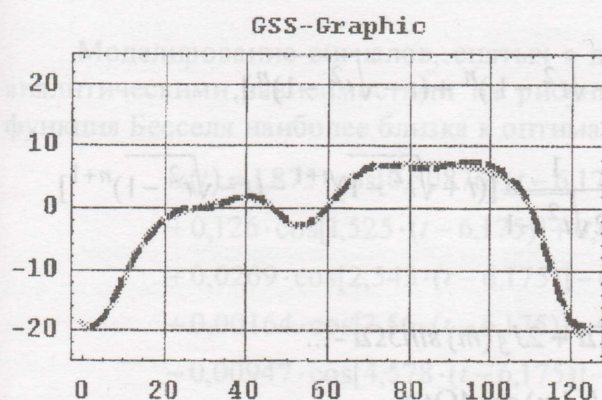


Рис. 4. Экспериментальные данные угла ГСС и их аппроксимационные модели вида (3).

Рассмотрим аналитические функции, описывающие сигнал на временном сегменте. Для выделения из исследуемого сегмента биомедицинского сигнала $f(t)$ его информативных параметров $\{a_i\}$ необходимо определить критерий близости исследуемого сигнала к его аналитическому описанию и, исходя из этого критерия, получить алгоритм нахождения унифицированного ряда значений, пропорциональных числовым коэффициентам $\{a_i\}$.

$$\sum_{i=0}^n a_i \varphi_i(x) \quad \text{на сегменте } [a, b]$$

В такой постановке задачи ее решение следует искать в теории аппроксимации функции действительной переменной $f(x)$ функциональным рядом. Критерий близости определяется видом сходимости. Известно пять видов сходимости: равномерная сходимость, сходимость в среднеквадратическом, сходимость в среднем, сходимость почти всюду и сходимость по мере. Структурно эти виды сходимости связаны между собой.

Сходимость по мере и сходимость почти всюду распространяются на функции $f(x)$, для которых не совпадают области определения и области сходимости. Функции, у которых совпадают области определения и сходимости, допускают равномерное приближение функциональным рядом, приближение в среднеквадратическом и приближение в среднем [2].

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \max_{x \in [a, b]} \left| f(x) - \sum_{i=0}^n a_i \varphi_i(x) \right| = 0,$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \int_a^b [f(x) - \sum_{i=0}^n a_i \varphi_i(x)]^2 dx = 0,$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \int_a^b \left| f(x) - \sum_{i=0}^n a_i \varphi_i(x) \right| dx = 0.$$

Для нашего случая будем применять сходимость в среднеквадратичном.

Авторы ставили перед собой задачу нахождения наилучшего приближения к экспериментальным данным. Для этого были использованы следующие системы ортогональных функций.

Полиномы Лежандра

$$P_n(t) = \frac{1}{2^n \cdot n!} \frac{d^n (t^2 - 1)^n}{dt^n}, \quad n=0, 1, 2, 3, \dots$$

Полиномы Лагерра

$$L_n^{(\alpha)}(t) = \frac{e^t t^{-\alpha}}{n!} \frac{d^n}{dt^n} (e^{-t} t^{n+\alpha}),$$

где α - произвольное комплексное число.

Полиномы Чебышева 1-го и 2-го рода

$$T_n(t) = \cos(n \arccos t) = \frac{1}{2} [(t + \sqrt{t^2 - 1})^n + (t - \sqrt{t^2 - 1})^n],$$

$$U_n(t) = \frac{\sin[(n+1) \arccos t]}{\sin t} = \frac{1}{n+1} T_{n+1}(t) = \frac{1}{2\sqrt{t^2 - 1}} [(t + \sqrt{t^2 - 1})^{n+1} - (t - \sqrt{t^2 - 1})^{n+1}]$$

Функция Бесселя

$$\sin(m \sin \Omega t) = 2J_1(m) \sin \Omega t + 2J_3(m) \sin 3\Omega t + 2J_5(m) \sin 5\Omega t - \dots$$

$$\cos(m \sin \Omega t) = J_0(m) + 2J_2(m) \cos 2\Omega t + 2J_4(m) \cos 4\Omega t + \dots$$

$$\sin(m \cos \Omega t) = 2J_1(m) \cos \Omega t - 2J_3(m) \cos 3\Omega t + 2J_5(m) \cos 5\Omega t - \dots$$

$$\cos(m \cos \Omega t) = J_0(m) - 2J_2(m) \cos 2\Omega t + 2J_4(m) \cos 4\Omega t - \dots$$

Располагая массивом точек, полученных экспериментально, был произведен поиск оптимальной системы функций по критерию минимальной среднеквадратичной погрешности.

В данной работе для математического моделирования и определения ошибок приближения использовался пакет МАТЕМАТИКА версии 4.1. Входными данными являлись массивы дискретных отсчетов сигналов, полученных экспериментально с помощью датчиков расположенных на тазобедренном, коленном и голеностопном суставах. Поиск оптимальных моделей заключался в определении коэффициентов a_i для ортогональных функций Лагерра, Лежандра, Бесселя, Чебышева, Фурье, и последующем выборе одной из них по критерию минимальной среднеквадратичной погрешности.

Результаты поиска оптимальных базисных функций для аппроксимации сигналов, снятых с датчиков расположенных на ТБС, представлены на рис. 5. Из приведенных зависимостей видно, что наилучшее приближение обеспечивает функция Лагерра (при 7 членах ряда $\sigma = \sigma_{\min} = 0.10035$). Однако, с точки зрения точности измерения информативных параметров эта модель является не состоятельной. Поэтому было принято решение применять для данной зависимости ряд Фурье.

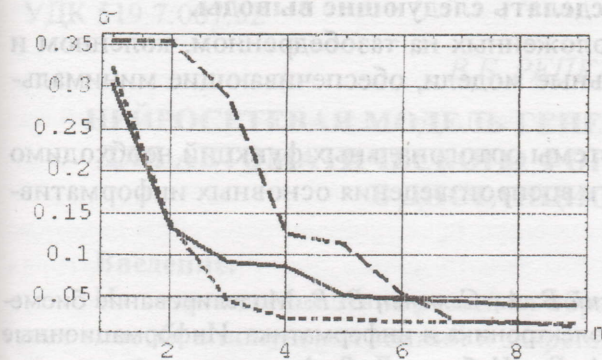


Рис. 5 Сравнение ошибки аппроксимации в зависимости от базисной функции (сплошной - линейное разложение по Фурье, пунктирной - по функциям Лагерра, штриховой - по функциям Бесселя) при моделировании сигнала ТБС.

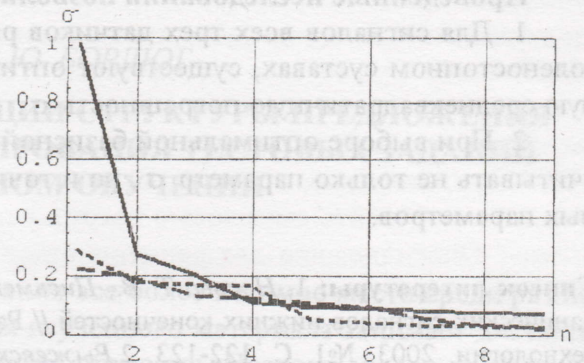


Рис. 6 Сравнение ошибки аппроксимации в зависимости от базисной функции (сплошной - линейное разложение по Фурье, пунктирной - по функциям Лагерра, штриховой - по функциям Бесселя) при моделировании сигнала КС.

Моделирование сигналов, снятых с датчиков расположенных на КС, представлено аналитическими зависимостями на рисунке 6. Как следует из приведенных графиков, функция Бесселя наиболее близка к оптимальной.

$$\begin{aligned} \alpha(t) = & 1,875 \cdot \cos[0,50876 \cdot (t - 6,175)] - 0,325 \cdot \cos[1,017 \cdot (t - 6,175)] + \\ & + 0,126 \cdot \cos[1,525 \cdot (t - 6,175)] + 0,037 \cdot \cos[2,035 \cdot (t - 6,175)] + \\ & + 0,0269 \cdot \cos[2,543 \cdot (t - 6,175)] - 0,022 \cdot \cos[3,053 \cdot (t - 6,175)] + \\ & + 0,00164 \cdot \cos[3,56 \cdot (t - 6,175)] - 0,0152 \cdot \cos[4,07 \cdot (t - 6,175)] - \\ & - 0,00947 \cdot \cos[4,578 \cdot (t - 6,175)] - 1,49 \cdot \sin[0,50876 \cdot (t - 6,175)] + \\ & + 0,225 \cdot \sin[1,017 \cdot (t - 6,175)] - 0,0496 \cdot \sin[1,525 \cdot (t - 6,175)] + \\ & + 0,029 \cdot \sin[2,035 \cdot (t - 6,175)] - 0,0911 \cdot \sin[2,543 \cdot (t - 6,175)] - \\ & - 0,00467 \cdot \sin[3,053 \cdot (t - 6,175)] - 0,0172 \cdot \sin[3,56 \cdot (t - 6,175)] - \\ & - 0,00288 \cdot \sin[4,07 \cdot (t - 6,175)] - 0,00493 \cdot \sin[4,578 \cdot (t - 6,175)] \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \beta(t) = & 5,18 \cdot J_0(t) + 12,22 \cdot J_1(t) - 49,68 \cdot J_2(t) + 240,27 \cdot J_3(t) - 782,97 \cdot J_4(t) + \\ & + 1878,81 \cdot J_5(t) - 3228,6 \cdot J_6(t) + 3818,86 \cdot J_7(t) - 2813,18 \cdot J_8(t) + 978,535 \cdot J_9(t) \end{aligned} \quad (2)$$

При этом отсутствуют потери информативных параметров.

Сигналы, поступающие с датчиков расположенных на ГСС, аппроксимируемые с помощью перечисленных ортогональных базисов, к сожалению, были синтезированы с большей погрешностью, чем с помощью пяти экспоненциальных функций вида

$\frac{(x-b)^2}{c^2} \cdot e^{ax}$. Таким образом, для зависимости $\gamma(t)$ наилучшее приближение обеспечивается рядом

$$\begin{aligned} \gamma(t) = & 11,5546 \cdot e^{-\frac{(t-85)^2}{3200}} - 23,4085 \cdot e^{-\frac{1}{98}(t-122)^2} - 6,90882 \cdot e^{-\frac{1}{98}(t-55)^2} - \\ & - 16,7265 \cdot e^{-\frac{1}{98}(t-2,5)^2} - 4,13. \end{aligned} \quad (3)$$

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Для сигналов всех трех датчиков расположенных на тазобедренном, коленном и голеностопном суставах, существуют оптимальные модели, обеспечивающие минимальную среднеквадратичную погрешность σ .

2. При выборе оптимальной базисной системы ортогональных функций необходимо учитывать не только параметр σ , но и точность воспроизведения основных информативных параметров.

Список литературы: 1. Носова Т. В., Письменецкий В. А., Семенец В. В. Моделирование биомеханических сигналов нижних конечностей // Радиоэлектроника и информатика. Информационные технологии. 2003. №1. С. 122-123. 2. Рыжовский А. Г., Шабалов Д. В. Автоматизация контроля формы моноимпульсных сигналов. Москва: Энергоатомиздат, 1967. 97с. 3. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Советское радио, 1971. 672с.

Поступила в редколлегию 6.08.2003

УДК 538.00.00

Регистрация полевого воздействия люстры Чижевского на эпителиальные клетки человека / Н.Н. Григорьева, Н.Д. Васильев, А.И. Дохов, И.И. Зима, В.И. Стрельченко // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2003. Вып. 58. С. 81-85

Приведены результаты экспериментальных исследований электромагнитных роторных излучений люстры Чижевского и их воздействия на человека на клеточном уровне.

Табл. 2. Библиогр.: 2 назв.

УДК 538.000.000

Реєстрація польового впливу люстри Чижевського на епітеліальні клітини людини

/ Н.М. Григор'єва, М.Д. Васильєв, О.І. Дохов, І.І. Зима, В.Й. Стрільченко // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2003. Вып. 58. С. 81-85.

Наведені результати експериментальних досліджень електромагнітних роторних випромінювань люстри Чижевського та їх впливу на людину на клітинному рівні.

Табл. 2. Бібліогр.: 2 назви.

UDC 538.00.00

Registration of field influence of a chandelier Chigevsky's on epithelial of a cell of the man

/ N.N.Grigoreva, N.D. Vasilev, A.I. Dohov, I.I.Zima, V.J. Strelchenko // Problems of Bionics. All-Ukr. Sci. Interdep. Mag.2003. № 58. P. 81-85.

Experimental researches of electromagnetic rotary radiations of a chandelier Chigevsky's and their influence on the man at a cell-like level are represented.

2 tab. 2 items.

УДК 615.47:617-089

Поиск оптимальной модели функционирования нижних конечностей человека / Т.В. Носова, М.С. Безнос, В.В. Семенец, В.А. Письменецкий // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2003. Вып. 58. С. 86-90.

Рассматривается задача аналитического описания опытных данных, полученных при исследованиях кинематической системы нижних конечностей человека на основе различных аппроксимирующих функций с минимальной среднеквадратичной погрешностью.

Табл. 0. Ил. 6. Библиогр.: 3 назв.

УДК 615.47:617-089

Пошук оптимальної моделі функціонування нижніх кінцівок людини / Т.В. Носова, М.С. Безнос, В.В. Семенец, В.О. Письменецкий // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2003. Вып. 58. С. 86-90.

Авторы ставили перед собою задачу аналітичного опису експериментальних даних, отриманих при дослідженнях кінематичної системи нижніх кінцівок людини на основі різних апроксимуючих функцій з мінімальною середньоквадратичною погрешністю.

Табл. 0. Ил. 6. Бібліогр.: 3 назви.

UDC 615.47:617-089

Search of optimum model of functioning of the bottom finitenesses of the person / T.V.Nosova, M.S.Beznos, V.V.Semenets, V.A.Pis'menetsky // Problems of Bionics. All-Ukr. Sci. Interdep. Mag.2003. № 58. P.86-90.

The problem of the analytical description of the skilled data received at researches of kinematic system of the bottom finitenesses of the person on the basis of various approximating functions with the minimal root-mean-square error.

0 tab. 6 fig. Ref.: 3 items.

УДК 681.518.004.912

Моделирование когнитивной функции внимания в системе технического зрения / А.Л. Ерошкин, Вал.Н. Бурцев, Вал.Н. Бурцев // Проблемы бионики. Восток. журнал. 2003. Вып. 58. С. 126-130.

Разработана модель функции внимания, основанная на оценке фактора неожиданности распознавания фактора неожиданности, изменений интенсивности и скорости движения объекта анализа в актуальном поле зрения системы технического зрения. Оперативное распознавание фактора неожиданности осуществляется в системе технического зрения с помощью волоконно-оптических детекторов угла с комбинаторной нерегулярностью.

Библиогр.: 12 назв.

Сборник научных трудов Проблемы бионики

Выпуск 58

УДК 681.518.004.912

Моделирование когнитивной функции uwagi в системі технічного зору / А.Л. Ерошкин, Вал.М. Бурцев, Вал.М. Бурцев // Проблеми біоніки. Восток. журнал. 2003. Вып. 58. С. 126-130.

Розроблено модель функції уваги, ґрунтована на оцінці фактора несподіваності розпізнавання фактора несподіваності, змінності інтенсивності та швидкості руху об'єкта аналізу в актуальному полі зору системи технічного зору. Оперативне розпізнавання фактора несподіваності здійснюється в системі технічного зору за допомогою волоконно-оптичних детекторів уваги з комбінаторною нерегулярністю.

Бібліогр.: 12 назв.

Збірник наукових праць Проблеми біоніки

Випуск 58

UDC 681.518.004.912

Modelling of attention cognitive function in vision system / A. L. Yerokhin, Val. N. Burtsev, Val. N. Burtsev // Problems of Bionics. All-Ukr. Sci. Interdep. Mag 2003. № 58. P. 126-130.

The model of T attention function based on an estimation of the unexpectedness factor for recognition of the unexpectedness factor the changes of moving intensity and speed of the object in actual visual field of the vision system are used. The operative recognition of the factor is carried out by introduction in the vision system of optical fibre detectors of angular combinatorial irregularity.

Refs: 12 items.

Підписано до друку 1.10.2003.

Формат 60/84/8. Папір офсетний. Друк ізографія.

Ум. друк арк. 21,0. Тираж 300 прим. Зам. 57/03.

Харківський національний університет радіоелектроніки (ХНУРЕ)
Україна, 61166 Харків, пр. Леніна, 14

Видавництво "Крок"с

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 621 від 22.05.2002 р.

Харків, 61183, вул. Дружби народів, 277/93
<http://medicine.itl.net.ua>, <http://medicine-and.iatp.org.ua>
medicine@online.kharkov.ua