

# КОГНИТИВНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА КАК СРЕДСТВО ИНТЕРПРЕТАЦИИ БИОЦИКЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОРГАНИЗМА

В.И.Скурихин, Л.С.Файнзильберг, Т.П.Потапова

## 1. Введение.

Известно, что функциональная деятельность многих жизненно важных биологических систем организма имеет циклический характер. Типичными представителями подобных систем являются система кровообращения - работа сердца и сосудов, а также тесно связанная с ней система органов дыхания.

Для исследования функций сердечно-сосудистой системы и органов дыхания в медицинской практике и физиологии получили широкое распространение различные инструментальные методы - электрокардиография [1], реография [2], сфигмография [3], эхокардиография [4], сейсмокардиография [5], тремография [6], пневмография [6] и многие другие.

Безусловно каждый из этих методов обладает своими специфическими особенностями, обусловленными, главным образом, физической природой регистрируемого сигнала. В то же время все эти методы обладают общей характеристикой - они сводятся к анализу и последующей интерпретации сигналов, порожденных циклическим процессом биологических систем организма. Будем в дальнейшем называть такие сигналы биоциклическими.

В последнее время внимание специалистов привлекают компьютерные системы обработки биоциклических сигналов, о чем свидетельствует значительное число публикаций в отечественных и зарубежных изданиях. В общем случае такие системы должны обладать "интеллектом", достаточным для автоматического решения следующих задач :

*Задача 1.* Ввод и предварительная обработка биосигналов (фильтрация, удаление тренда и т.п.);

*Задача 2.* Анализ своеобразных информативных фрагментов биосигнала (распознавание характерных зубцов, сегментов и комплексов) и измерение их параметров;

*Задача 3.* Интерпретация биосигналов, под которой понимается принятие определенного решения (в частности, постановка диагноза) на основе измеренных параметров обрабатываемого биосигнала.

Вместе с тем, по мнению специалистов, существующие системы компьютерной обработки биоциклических сигналов не обеспечивают требуемую достоверность принимаемых решений. Согласно [7], одной из основных причин такой ситуации являются ошибки, возникающие еще на стадии автоматического распознавания информативных фрагментов электрокардиосигналов. Эти ошибки обусловлены в первую очередь сложностью и недостаточной изученностью процессов порождения самих биоциклических сигналов, что затрудняет построение адекватных математических моделей.

Следует также иметь в виду, что в реальных электрокардиосигналах (ЭКС), как правило, нет четких границ между отдельными фрагментами, подлежащими распознаванию. Поэтому маловероятно, что и в будущем могут быть построены относительно простые и эффективные алгоритмы анализа и интерпретации таких сигналов при их традиционном представлении в виде временных функций  $u = u(t)$  .

К тому же ряд последних исследований показывает [8], что даже у здоровых людей в состоянии покоя сердечный ритм подвержен значительным колебаниям, которые обусловлены не столько реакцией организма на внешние возмущения, сколько фрактальной природой самого ЭКС. Другими словами, в отличие от ранее существовавших теорий, в частности, концепции У.Кеннона, частота сердечных сокращений вовсе не стремится к гомеостатичной (стабильной) величине, а постоянно претерпевает значительные флуктуации даже при отсутствии внешних возмущений, и эти флуктуации не обязательно являются предвестником каких либо патологий организма.

Именно поэтому в последнее время получили развитие альтернативные подходы к решению задач анализа и интерпретации биоциклических сигналов, основанные на использовании методов искусственного интеллекта. Одним из перспективных направлений в данной области является привлечение идей когнитивной компьютерной графики [9-12].

Применение когнитивной компьютерной графики позволяет перенести “центр тяжести” от сложной и пока еще плохо поддающейся формализации проблемы изучения природы биоциклических процессов к исследованию когнитивных образов, порожденных этими процессами. При этом, согласно [9], сами когнитивные образы неизбежно порождают ряд новых гипотез и интеллектуальных подсказок, облегчающих познание объекта исследований.

## 2. Когнитивные образы биоциклических процессов

Когнитивное представление биоциклического сигнала, в отличие от традиционного, предполагает его преобразование к некоторому пространственному графическому образу, удобному для последующей интерпретации. По-видимому, идея такого представления порождена известными векторкардиографическими системами [14], в которых осуществляется формирование специфической замкнутой графической фигуры за счет одновременной регистрации электрокардиосигналов, поступающих от нескольких ортогональных отделений организма.

В настоящей работе рассматривается новый подход к формированию когнитивных графических образов биоциклических процессов [12,13], который, в отличие от методов векторкардиографии, позволяет получать пространственные графические структуры на основе обработки скалярных биоциклических сигналов.

Суть предлагаемого подхода состоит в том, что биоциклический сигнал  $u = u(t)$ , представляющий собой скалярную функцию времени  $t$ , подвергается преобразованию на основе интегральных операторов свертки

$$x(t) = \int_{-\alpha}^{\alpha} \omega_x(t - \tau) u(\tau) d\tau, \quad (1)$$

$$y(t) = \int_{-\alpha}^{\alpha} \omega_y(t - \tau) u(\tau) d\tau, \quad (2)$$

$$z(t) = \int_{-\alpha}^{\alpha} \omega_z(t - \tau) u(\tau) d\tau, \quad (3)$$

в которых специальным образом выбираются ядра  $\omega_x$ ,  $\omega_y$  и  $\omega_z$ . В частности, как показано в [15,16], при определенной структуре этих ядер каждому моменту времени  $t$  может быть поставлен в соответствии вектор  $(x(t), y(t), z(t))$ , компоненты которого представляют собой соответствующие координаты 3-х мерного фазового пространства. Необходимо отметить,

что идея исследования сердечной деятельности в фазовом пространстве предложена в свое время в работе [17].

Последовательность векторов  $P^{(N)} = \{(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), \dots, (x_N, y_N, z_N)\}$ , оцененных для дискретных моментов времени  $n = 1, 2, \dots, N$ , описывает годограф в фазовом пространстве X-Y-Z в виде характерного когнитивного графического образа. Тем самым удается “свернуть” в общем случае неограниченно протяженную во времени последовательность повторяющихся биоциклов в ограниченную в фазовом пространстве X-Y-Z графическую структуру с пространственной периодичностью.

Для иллюстрации предлагаемого подхода на рис. 1 приведены графики электрокардиосигналов в традиционном представлении, а на рис. 2 - одна из проекций когнитивных графических образов этих сигналов, сформированных в соответствии с (1) – (3). Все исходные ЭКС, показанные на рис. 1, получены для одного испытуемого от 12 традиционных в электрокардиографии отведений - трех стандартных отведений по Эйнтохофену (отведения I, II, III), три усиленных отведения по Гольдбергеру (отведения  $aVR$ ,  $aVL$ ,  $aVF$ ) и шесть грудных отведений по Уилсону (отведения  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ ,  $V_4$ ,  $V_5$ ,  $V_6$ ). При этом каждому участку ЭКС, в том числе, информативным фрагментам  $P$ ,  $Q$ ,  $R$ ,  $S$ ,  $T$ ,  $V$ , соответствует вполне определенные участки когнитивного графического образа и наоборот.

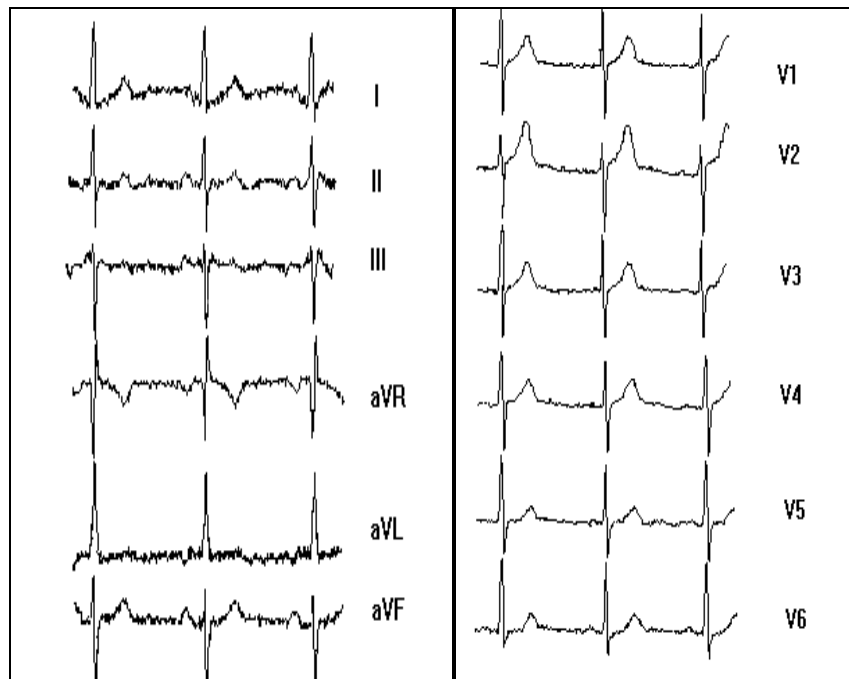
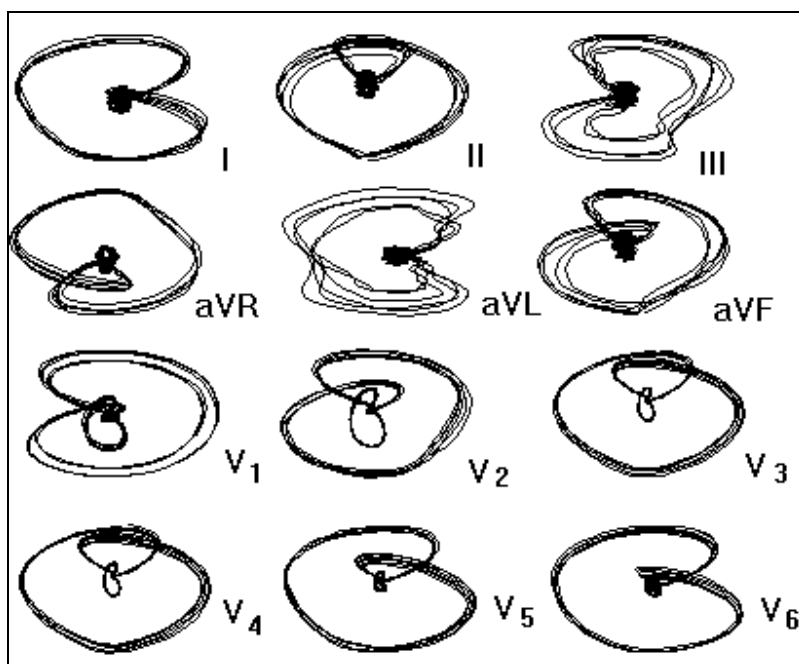
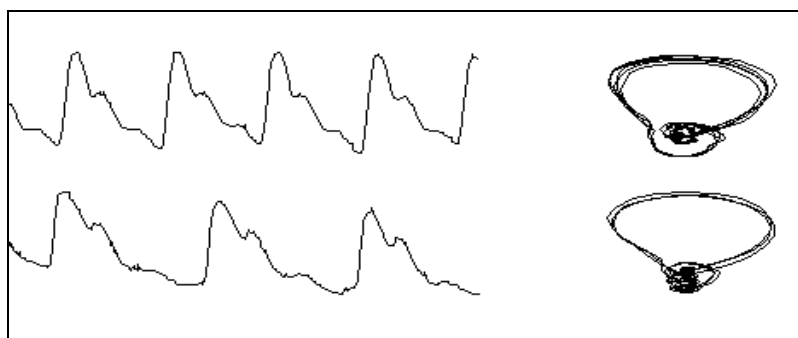


Рис.1. Традиционное представление ЭКС от 12 отведений испытуемого А

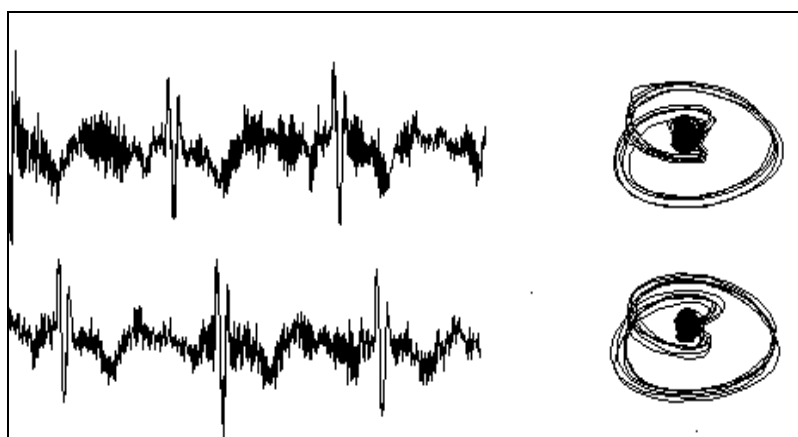


**Рис. 2. Когнитивные образы ЭКС от 12 отведений испытуемого А**

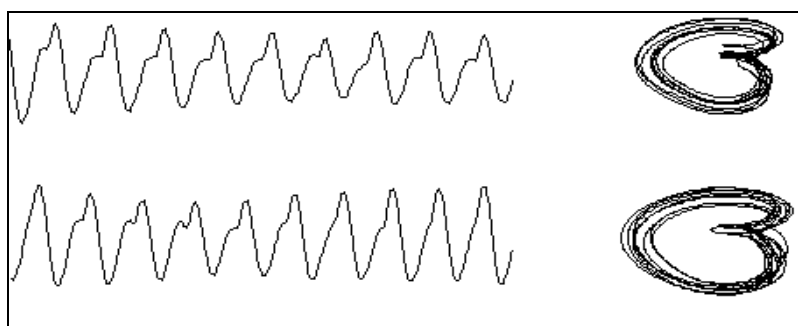
Аналогичные когнитивные образы порождаются и другими биоциклическими сигналами - реограммами (рис. 3), магнитограммами (рис. 4) и пульсограммами (рис. 5).



**Рис.3. Примеры реальных реограмм и их когнитивные образы**



**Рис.4. Примеры реальных магнитограмм и их когнитивные образы**



**Рис.5. Примеры реальных пульсограмм и их когнитивные образы**

Любопытно, что для некоторых отведений (см., например, рис. 2, отведения  $I$ ,  $V_6$ ) порождаемый когнитивный образ внешне напоминает известную в математике кривую - кардиоиду, название которой вызвано сходством ее графика с формой сердца человека. Естественно, авторы далеки от мысли приписывать данное совпадение “интеллектуальным” свойствам когнитивной компьютерной графики, а лишь хотят присоединиться к мысли, высказанной в работе [10] о том, что когнитивный образ, демонстрирующий некую тайну Природы, - это всегда интересно, красиво и ... н е о ж и д а н н о !

### **3. Результаты наблюдений и гипотезы**

Что же неожиданного несут порожденные компьютером когнитивные графические образы биоциклических процессов ? Для ответа на этот вопрос нами проведены многочисленные наблюдения, на основе которых удалось обнаружить ряд интересных свойств этих образов.

Рассмотрим когнитивные образы ЭКС от 12 различных отведений трех испытуемых, приведенные на рис. 2, 6 и 7. Из сравнения этих рисунков легко видно, что для одних и тех же отведений когнитивные образы различны для разных испытуемых.

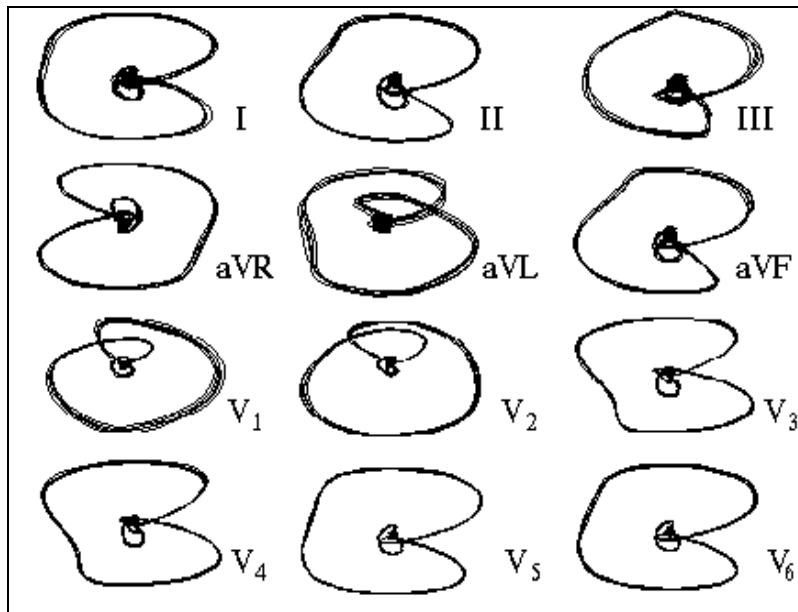


Рис. 6. Когнитивные образы ЭКС от 12 отведений испытуемого Б

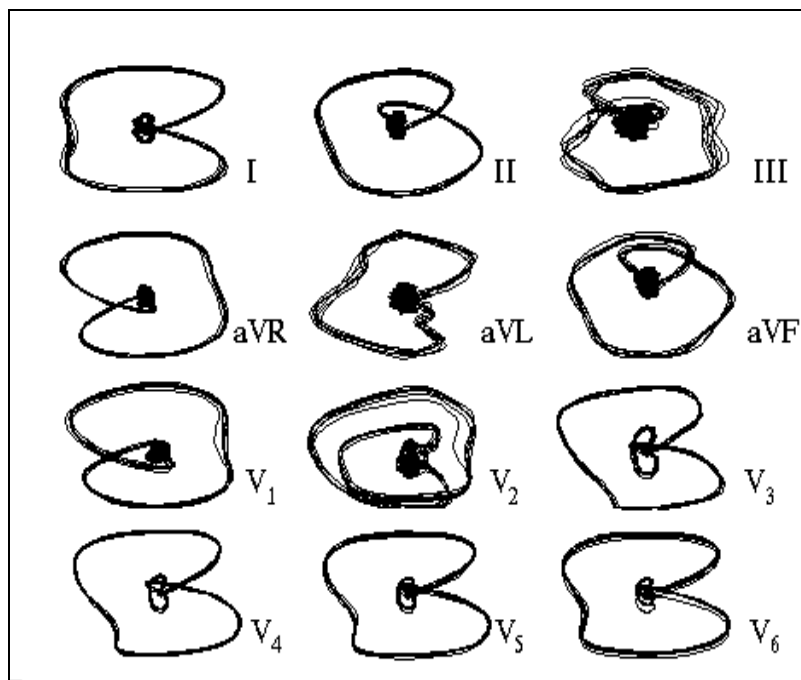


Рис. 7. Когнитивные образы ЭКС от 12 отведений испытуемого В

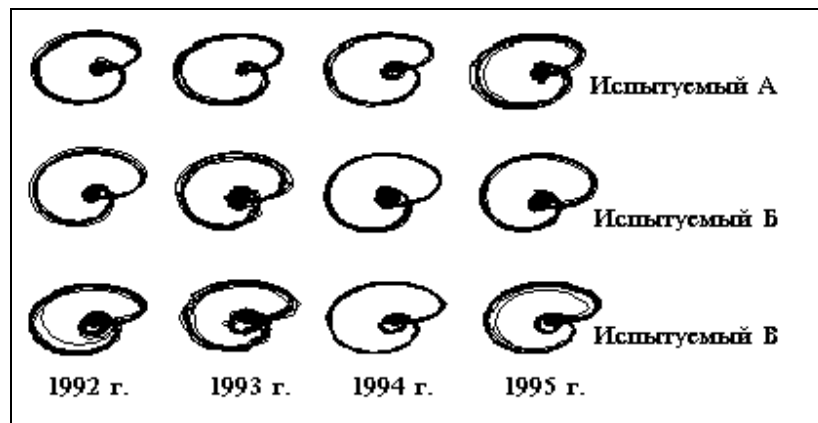
Естественно, что отмеченный факт сразу же породил следующую гипотезу :

**Гипотеза 1.** Когнитивный графический образ биоциклического процесса обладает рядом характерных для испытуемого особенностей (признаков), что может служить основой для идентификации его личности.

Разумеется, для проверки этой заманчивой гипотезы потребовалось провести серию дополнительных экспериментов. При этом прежде всего необходимо было исключить целый ряд “мешающих” факторов, в частности, устранить возможные влияния на когнитивные образы точек расположения электродов на поверхности тела испытуемого.

Оказалось, что для традиционных электрокардиографических систем, в которых применяются точечные электроды, затруднительно добиться стабильности в установке этих электродов при многократных экспериментах, особенно для грудных отведений. Поэтому был разработан специальный датчик, обеспечивающий надежную регистрацию ЭКС с поверхностей кистей рук испытуемого.

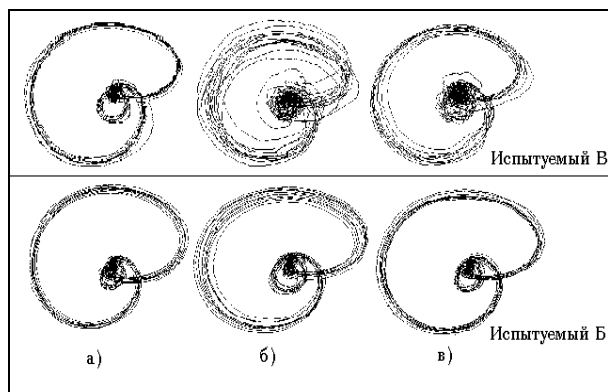
На рис. 8 приведены результаты экспериментов, проводимых с 1992 г. над тремя испытуемыми с использованием разработанного датчика. На первый взгляд различия когнитивных образов этих испытуемых не столь разительны, как те, что наблюдались на рис. 2, 6 и 7. В тоже время при более тщательном анализе этих рисунков нетрудно заметить, что даже для таких “близких” когнитивных образов можно все же указать целый ряд особенностей, свойственных конкретному испытуемому и, что самое главное, эти особенности сохраняются практически неизменными в течение достаточно большого периода наблюдений!



**Рис. 8.** Когнитивные образы трех испытуемых в период 1992-1995 г.г.

В период наблюдений был обнаружен также еще один не менее любопытный факт, иллюстрируемый рис. 9, который послужил основой следующей гипотезы:

**Гипотеза 2.** Под действием физических и/или эмоциональных нагрузок происходит “деформация” когнитивного образа, которая, чаще всего, выражается в изменении дисперсии точек этого образа относительно некоторой средней линии - среднего цикла в фазовом пространстве. При этом сам средний цикл не претерпевает под нагрузкой существенных изменений и сохраняет индивидуальные особенности испытуемого. После снятия нагрузок по истечению определенного промежутка времени, зависящего от функционального состояния испытуемого, происходит восстановление исходного когнитивного образа.



**Рис.9. Изменение когнитивного образа ЭКС под нагрузкой**  
 а) состояние покоя ; б) под нагрузкой ; в) через 5 минут

#### 4. Распознавание когнитивных образов

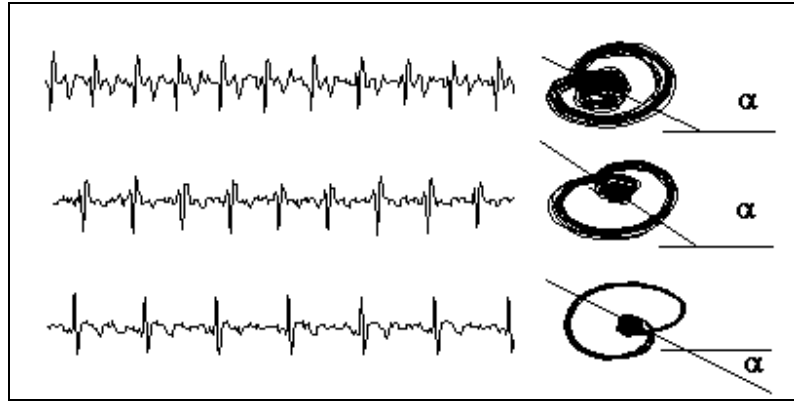
После экспериментального подтверждения гипотезы 1 естественным образом ставится актуальная в практическом плане задача создания компьютерных средств автоматического распознавания когнитивных образов с целью идентификации личности испытуемого. Для решения этой задачи привлекается аппарат теории распознавания образов.

Одной из центральных проблем распознавания является проблема отбора признаков, подходящих для целей распознавания. Хорошо известно, что до сих пор не существует формальных методов выбора исходной совокупности таких признаков : при выборе исходных признаков чаще всего приходится полагаться на здравый смысл и интуицию. Но после того, как априорный словарь признаков (исходное описание) так или иначе выбран, возникает не менее важная проблема селекции этих признаков, позволяющая выбрать лучшие в некотором смысле признаки и тем самым минимизировать исходное описание. В отличие от первой, эта задача уже поддается строгой формализации.

Естественно, что при формировании априорного словаря признаков, подходящих для распознавания когнитивных образов биоциклических процессов, мы руководствовались и собственными теоретическими результатами [18,19], в которых доказано, что неинформативные в отдельности признаки могут быть полезными в совокупности с другими признаками (с точки зрения уменьшения вероятности ошибочных решений) и даже в некоторых случаях обеспечить безошибочное распознавание.

Для иллюстрации на рис. 10 показан один из удачных “претендентов” в априорный словарь признаков, представляющий собой угол  $\alpha$  “поворота” когнитивного образа в фазовом пространстве. Как оказалось, угол  $\alpha$  для некоторых испытуемых отличался почти на 180 град.





**Рис. 10. Примеры когнитивных образов с различными значениями угла поворота  $\alpha$**

Естественно, столь существенные отличия когнитивных образов порождены отличиями исходных ЭКС этих испытуемых, которые также приведены на рис. 10. Однако, именно в когнитивных образах эти отличия намного более выразительны и, если эти различия достаточно велики, то даже по одному такому признаку можно провести идентификацию испытуемого.

В общем случае для идентификации испытуемых предлагается использовать следующую *двухстадийную схему распознавания*.

На первой стадии по совокупности простейших признаков, в том числе по признаку  $\alpha$ , наблюдаемые когнитивные образы относятся к одному из  $D$  классов конечного множества  $W = \{W_1, \dots, W_D\}$ . Если на этой стадии оказывается, что распознанный класс  $W_d$  ( $1 \leq d \leq D$ ) включает когнитивные образы только одного испытуемого, то принимается решение в пользу этого испытуемого.

В тех же случаях, когда распознанный класс  $W_d$  объединяет близкие по форме когнитивные образы для нескольких испытуемых, окончательное решение принимается на второй стадии распознавания. При этом для распознавания используется уже не сам когнитивный образ (вернее, признаки этого образа), а так называемый предельный (средний) цикл  $Q^{(N)}$  когнитивного образа полученный в результате обработки последовательности векторов  $P^{(N)} = \{(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), \dots, (x_N, y_N, z_N)\}$ . Схема построения вычислительной процедуры для оценки предельного цикла  $Q^{(N)}$  последовательности  $P^{(N)}$  приведена в работе [20].

Рассмотрим более подробно предложенную нами в [13] формальную схему обучения распознаванию на второй стадии.

Предположим, что распознанный на первой стадии класс  $W_d$  объединяет конечное множество  $\{Q_1^{(N)}, \dots, Q_G^{(N)}\}$  предельных циклов когнитивных образов, соответствующих  $K \geq 2$  различным испытуемым  $V_1, \dots, V_K$ . При этом каждый  $i$ -й образ  $Q_i^{(N)}$  принадлежит одному из  $K$  испытуемых и, кроме того, существуют такие  $i = 1, \dots, G$  и  $j = 1, \dots, G$  ( $i \neq j$ ), что  $Q_i^{(N)}$  и  $Q_j^{(N)}$  принадлежат  $V_k$  для каждого  $k = 1, \dots, K$ .

Предположим далее, что известна скалярная функция  $l_i = l(Q_i^{(N)})$ , зависящая только от номера  $i$ , которая определяется следующим образом:

$$l_i = k, \text{ если } Q_i^{(N)} \in V_k, 1 \leq i \leq G, 1 \leq k \leq K.$$

Множество  $\{Q_1^{(N)}, \dots, Q_G^{(N)}\}$  вместе с  $\{l_1, \dots, l_G\}$  представляет собой обучающую выборку наблюдений, имеющуюся в нашем распоряжении.

Для построения оптимального решающего правила по этой обучающей выборке введем в рассмотрение  $M \gg 2$  различных мер близости  $S_p = S_p(Q_i^{(N)}, Q_j^{(N)})$ ,  $p = 1, \dots, M$  между любыми двумя образами  $Q_i^{(N)}$  и  $Q_j^{(N)}$ . Тогда  $p$ -ое решающее правило, соответствующее  $p$ -й мере можно записать в виде

$$Q_i^{(N)} \in V_{l_{r(p)}},$$

где номер  $r(p)$  удовлетворяет условию

$$S_p(Q_i^{(N)}, Q_{r(p)}^{(N)}) = \mathop{\text{extr}}_{1 \leq j \leq G, j \neq i} S_p(Q_i^{(N)}, Q_j^{(N)}), \quad (4)$$

В зависимости от выбора меры  $S_p(\cdot)$  символ  $\text{extr}$ , фигурирующий в условии (4), обозначает минимум расхождения или максимум близости образов  $Q_i^{(N)}$  и  $Q_j^{(N)}$ . Таким образом может быть построено  $M$  различных решающих правил (4).

В соответствии с каждым из этих решающих правил введем в рассмотрение функцию потерь  $L_p(i)$

$$L_p(i) = \begin{cases} 0, & \text{если } l_{r(p)} = l_i \\ 1, & \text{если } l_{r(p)} \neq l_i \end{cases} \quad (5)$$

которая определяет потери от ошибочного решения, принимаемого по образу  $Q_i^{(N)}$ . Это позволяет оценить качество каждого  $p$ -го решающего правила следующим образом

$$J_p = \sum_{i=1}^G L_p(i). \quad (6)$$

Из (6) с учетом (5) следует, что решающее правило (4), имеющее номер  $p = p^*$

$$p^* = \mathop{\text{arg min}}_{1 \leq p \leq M} \sum_{i=1}^G L_p(i), \quad (7)$$

является оптимальным в указанном выше смысле.

Таким образом, соотношение (7) позволяет по имеющейся обучающей выборке осуществить выбор наилучшей из мер  $S_p(\cdot)$ , которую предлагается использовать на этапе распознавания личности испытуемого по предъявленному когнитивному графическому образу.

Предложенная процедура обучения распознаванию была экспериментально апробирована на выборке, содержащей  $G = 41$  когнитивных образа ЭКС испытуемых А, Б и В. После обучения на этапе распознавания была допущена всего одна ошибка - один из когнитивных образов испытуемого Б был ошибочно отнесен к классу В.

## 5. Возможные приложения

На наш взгляд, предложенный подход к формированию и анализу когнитивных компьютерных образов биоциклических процессов, помимо чисто познавательного интереса, расширяющего знания в рассматриваемой предметной области, может найти применение и для решения ряда актуальных в практическом плане задач.

Первая из таких задач, вытекающая из правомерности гипотезы 1, это, конечно, идентификация личности по его когнитивному образу. Разумеется, для этого потребуется выполнить значительный объем экспериментов, подобных тем, которые в свое время были проведены для подтверждения идеи дактилоскопии (идентификации личности по отпечаткам пальцев). На основе предлагаемого метода могут быть построены различные технические средства защиты от несанкционированного доступа ограниченного круга лиц к оборудованию или информации, содержащейся в компьютерах коллективного пользования.

Следует также отметить, что отработанный на этапе экспериментов датчик для ввода ЭКС легко может быть модифицирован для установки на различных технических средствах, в частности, на руле автомобиля. Подключив такой датчик к бортовому компьютеру, в котором реализуется программа идентификации личности владельца автомобиля, можно надежно защитить автомобиль от угона.

Второй не менее актуальной областью приложения может явиться применение когнитивных образов биоциклических процессов в задачах оценки функционального состояния операторов различных технических средств, а также, с учетом отмеченных выше конструктивных особенностей датчика, для самоконтроля и дозирования нагрузок лиц на велоэргометрах или других аналогичных системах. Для этого достаточно снабдить велоэргометр специализированной компьютерной системой, которая обеспечивает визуализацию когнитивного образа тренирующегося в его нормальном функциональном состоянии и дополнительно визуализировать вокруг этого образа некоторую зону допустимых деформаций образа под действием нагрузок.

Привлекает внимание также заманчивая идея обнаружить в когнитивных образах биоциклических процессов ряд характерных особенностей, отражающих те или иные патологические изменения организма. Это открыло бы путь к созданию нетрадиционных методов диагностики заболеваний и существенно бы расширило наши знания в медицине и физиологии.

Стоит также напомнить, что на этапе экспериментов была обнаружена высокая “чувствительность” порождаемых когнитивных образов к местам установки электродов для съема ЭКС стандартных кардиографических систем. Этот эффект, поначалу помешавший нам на этапе экспериментов и побудивший заняться разработкой нестандартного датчика, по-видимому, может оказаться полезным и в традиционной кардиологии. Ведь и для медиков важно сохранить идентичность установок электродов при повторных регистрациях ЭКГ, а это легче будет сделать, если добиться визуального совпадения соответствующих когнитивных образов.

И, наконец, еще об одном достоинстве когнитивных образов биоциклических сигналов. В отличие от традиционного представления ЭКС, когнитивные образы занимают ограниченную область на экране монитора. Поэтому даже на основе их визуального анализа открываются новые возможности при проведении длительного мониторинга за состоянием больного: несомненно проще наблюдать и оперативно реагировать на недопустимые нарушения в форме ограниченной графической структуры, чем постоянно следить за соответствующими изменениями на бесконечно бегущей по экрану монитора кривой ЭКС как функции времени.

В заключении авторы хотели бы выразить благодарность своим коллегам Т.И.Аксеновой, В.Ю.Шелеховой, Г.А.Глушаускене, О.К.Чибировой, В.Н.Мамаеву,

Д.А.Улыбышеву и И.Н.Долгополову, принимавших участие на различных стадиях выполнения данной работы.

1. Мурашко В.В., Струтынский А.В. Электрокардиография.– М.: Медицина, 1991.–288 с.
2. Кривицкий Н.М. Количественная оценка пульсового кровотока конечностей реографическими методами.– Медицинская техника.– 1986.– № 1.– С 11-15.
3. Терехова Л.Г. Практические вопросы сфигмографии.– Л.: Медицина, 1968.– 119 с.
4. Кольченко В.В., Паничкин Ю.В. Ультразвук и сердце.– К.: Здоровье, 1988.–48 с.
5. Антонец В.А., Баевский Р.М. Спектральная сейсмокардиография // :Теоретические и прикладные аспекты анализа биосистем.– М.: Здоровье, 1976.– С 162-173.
6. Логвинов В.С. Метод диагностики по параметрам колебательных и волновых процессов в сердечно-сосудистой системе // Пульсовая диагностика тибетской медицины.– Новосибирск: Наука, 1988.– С. 90-108.
7. Валужис А.К., Рашимас А.П. Статистический алгоритм структурного анализа электрокардиосигнала // Кибернетика.– 1979.– № 3.– С. 91-95.
8. Гольдбергер Э.Л., Ригни Д.Р., Уэст Б.Д. Хаос и фракталы в физиологии человека // В мире науки.– 1990.– № 4.– С. 25-32
9. Поспелов Д.А. Когнитивная графика - окно в новый мир // Программные продукты и системы.– 1992.– № 2.– С. 4-6.
10. Зенкин А.Л. Когнитивная компьютерная графика.– М.: Наука, 1991.– 187 с.
11. Ракчеева Т.А. Когнитивное представление ритмической структуры ЭКГ // Программные продукты и системы.– 1992.– № 2.– С. 38-47.
12. Fainzilberg L.S., Aksenjva T.I., Potapova T.P., Shelekhova V.J. Cognitive Graphic Image of Electrocardiosignal as Means for Functional Human State Interpretation.–Abstracts of the Second International Workshop “Information Theories and Applications” (4-8 april, 1994, Sandansky, Bulgaria), FOI-Commerce, Sofia, 1994.– P. 12.
13. Fainzilberg L., Potapova T. Computer Analysis and Recognition of Cognitive Phase Spase Electro-Cardio Graphic Image.- Proceedings of the 6-th International Conference on Computer analysis of Images and Patterns (Prague, Czech Republic, Sept, 1995), Prague, 1995.
14. Reddy C.V.R., Gould L.A. Correlative Atlas of Vector-Cardiograms and Electrocardiograms.- New York, Futura, 1977.- 295 p.
15. Аксенова Т.І., Файнзілберг Л.С., Шелехова В.Ю. Аналіз та інтерпретація випадкових сигналів на основі обчислення похідних з використанням операторів згорстки // Інформаційні технології та розпізнавання образів. Збірка наукових праць міжнародного симпозіуму “Імовірносні моделі обробки випадкових сигналів і полів”, т. 3, част. 2.– Львів-Харків-Тернопіль, 1993.– С.50-55.
16. Aksenova T., Shelekhova V. The Fast Algorithms of Derivatives Estimation on Noise Observations // System Analysis Modelling Simulation.– 1995.– V.18-19.– P.159- 163.
17. Амосов Н.М., Агапов Б.Т., Паничкин Ю.В. Исследование сократительной функции миокарда методом фазовых координат // Доклады АН СССР.– 1972.– 202.– № 1.– С. 245 - 247.
18. Файнзілберг Л.С. К вопросу о безошибочном распознавании двух классов по совокупности пересекающихся признаков // Кибернетика.– 1982.– № 4.– С. 104-109.
19. Fainzilberg L.S. Interconnection Between Features Properties and Probability of Error in Statistical Recognition of Two Classes // Proc. of the 12-th IAPR International Conference on Pattern Recognition (Oktober 9-13, 1994, Jerusalem, Israel).– 2.– Conference B: Pattern Recognition and Neural Networks.– P. 544-546.
20. Aksenova T., Shelekhova V. The Mean Cycle Estimation Based on Non Parametric Models of Cyclical Signals, EUFIT'95, Aichen, Germany, 1995.

Поступила 2.08.95