

The software has been written using MatLab and investigates the array of data by applying statistical and geometrical methods. The brief analysis of results has also been carried out.

Keywords: heart rate variability, statistical methods, geometrical methods, RR-interval.

Надійшла до редакції
10 березня 2017 року

Рецензовано
24 березня 2017 року

© Худякова Л. А., Багатенкова А. И., Гончарова Д. М., 2017

УДК 612.171.1+004.852

МОДИФИКАЦИИ ПРОЦЕДУР ОТБОРА ПРИЗНАКОВ ЦИКЛИЧЕСКИХ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ИХ РАСПОЗНАВАНИЯ

^{1, 2)}Шачиков А. Д., ²⁾Шелофаст В. А., ²⁾Шуляк А. П.

¹⁾Университет Лотарингии-INRIA-CNRS F-54506 Нанси, Франция,

²⁾Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского", г. Киев, Украина

E-mail: Andrii.shachykov@gmail.com, vitalyshelofast@gmail.com, shulyak.alex@mail.ru

Продуктивным направлением повышения качества распознавания сигналов в системах, обучаемых с учителем, является формальный статистический отбор для использования наиболее информативных признаков. В статье раскрываются формирование модификаций процедур отбора признаков при корреляционном походе к распознаванию сигналов и возможность отыскания среди этих процедур наиболее адекватно обеспечивающих выбор состава признаков в соответствии с особенностями этих сигналов и составом используемого программного инструментария.

Исследования иллюстрируются примерами обработки сигналов для задачи распознавания QRS-комплексов двух типов в записи одного отведения электрокардиограммы пациента, взятой в качестве обучающей выборки из базы данных. Представленные процедуры позволяют вскрыть и реализовать резервы повышения качества распознавания сигналов за счет отбора для использования рационального состава их признаков.

Ключевые слова: медико-биологические сигналы, распознавание, модификации процедур отбора информативных признаков, обучение с учителем.

Введение

Одним из продуктивных направлений повышения качества распознавания сигналов является формальный статистический отбор для использования наиболее информативных признаков по схеме обучения с учителем [1, 2]. В то же время, вопрос о систематизации подходов к формированию модификаций таких процедур отбора признаков и их исследованию можно считать не полностью решенным.

Целью работы является раскрытие возможностей формирования целого ряда модификаций указанных процедур при корреляционном подходе к принятию решений [3 - 7], подтверждению нетождественности получаемых с их помощью результатов, а также возможности отыскания среди них таких модификаций, которые, по фактическим оценкам достигаемого качества распознавания сигналов, наиболее адекватно отвечают особенно-

стям этих сигналов и составу используемых программных инструментов их анализа.

В качестве признаков сигналов для их распознавания рассматриваются характеристики их формы, вводимые специальным образом [6, 7].

Реализуется общий подход к отбору признаков [1, 6, 7], который состоит в том, что на обучающих выборках вскрывается наличие резервов в повышении указанного качества за счет изменения состава используемых признаков и эти резервы реализуются путем использования признаков найденного состава в дальнейшем при распознавании сигналов.

Процедуры отбора признаков – комплексные, составленные из ряда блоков решения отдельных частных задач в общей схеме [6, 7] осуществляемого отбора (рис. 1), а они, в свою очередь, могут быть представлены в некоторых разновидностях, что является предпосылкой к возникновению модификаций процедур отбора признаков.

Под циклическими в данной работе понимаются повторяющиеся сигналы, не имеющие во времени перекрытия друг с другом. Исследования иллюстрируются примерами обработки сигналов для задачи распознавания двух типов QRS-комплексов в записи одного отведения электрокардиограммы пациента, взятой в качестве обучающей выборки из базы данных [5].

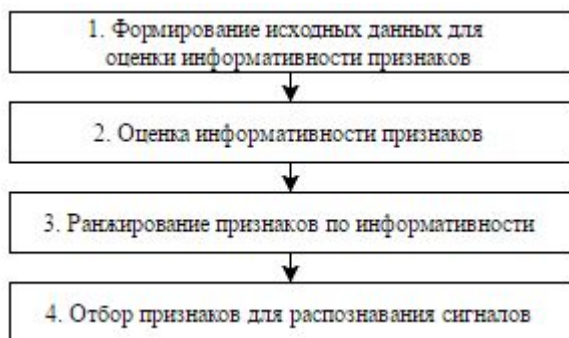


Рис. 1. Общая схема отбора признаков в распознающей системе, обучаемой с учителем

Принцип отбора признаков, в соответствии с приведенной схемой, состоит в следующем. Первый блок преобразует равнодискретные во времени исходные отсчеты сигналов в едином окне наблюдения данных [6, 7] в отсчеты характеристики их формы [6, 7] и обеспечивает формирование эталонов – среднего вида этой характеристики для сигналов распознаваемых классов.

Во втором блоке формируются совместные гистограммы встречаемости разных значений признаков для этих классов для обеспечения оценки информативности признаков. По статистическим критериям дается формальная оценка информативности каждого признака.

Третий блок ранжирует признаки по оценкам их информативности в порядке убывания.

Четвертый блок определяет зависимость оценок качества распознавания сигналов [1, 3] по назначенному исследователем показателю от изменения номенклатуры признаков, – при ее изменении от полного состава в процессе поочередного отбрасывания наименее информативных признаков.

Целесообразный состав признаков фиксируется при достижении показателем качества в полученной зависимости наибольшего значения.

При анализе содержания процедуры отбора признаков обнаруживается ряд предпосылок (рис. 2) к получению ее модификаций.

Изменчивость и различимость одних и тех же признаков для разных классов сигналов, по которым формально оценивается их информативность, действительно может проследиваться на разных этапах формирования критерия принятия решений, как для признаков в их исходном виде, так и по данным для составляющих корреляционных инте-

гралов, рассчитываемых для принятия решений, а также по изменчивости и различимости значений самих корреляционных интегралов.

Среди вариантов реализации одного и того (корреляционного) критерия отметим возможность принятия решений и по значениям этого критерия, и по рельефам значений его составляющих, формируемых в процессе расчетов.

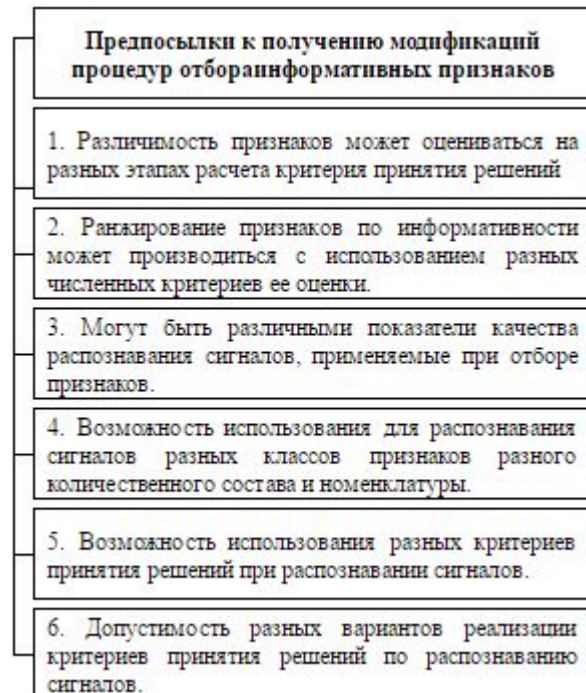


Рис. 2. Предпосылки к получению модификаций процедур отбора информативных признаков

Раздельное и синхронное изменение состава признаков при поиске их целесообразных сочетаний для распознавания сигналов приводит к получению дополнительных модификаций способа отбора признаков.

При рассмотрении процедур отбора признаков используем следующие обозначения: $x_i = (\vec{x})_i$

– отдельные исходные признаки, отсчеты характеристики формы сигналов, представляемое совокупно вектором \vec{x} , $z_i = \varepsilon_i \cdot x_i$ – составляющие (слагаемые) критерия принятия решений $z = \sum_i z_i$,

полученного по правилу расчета скалярного произведения сравниваемых векторов \vec{x} сигнала и $\vec{\varepsilon}$ эталона, $f_z(i) = z_i$ – рельеф значений слагаемых критерия принятия решений.

Особенность используемого в работе корреляционного критерия принятия решений состоит в том, что он обеспечивает сравнение только формы сигналов, выражая их сходство.

Энергии сигналов должны быть одинаковыми, иначе результаты сравнения будут некоррект-

ними. В розглянутих процедурах енергії порівнюваних сигналів урівнюються і приводяться до нормировки до одиничного значення.

Зміна постійної складової сигналу змінює його форму, розуміючи як співвідношення значень їх відліків. Тому до порівняння сигналів з них спочатку видаляються постійні складові. Отриманий результат перетворення сигналів іменується характеристикою їх форми [6, 7]. Для ілюстративного прикладу вид 128 відліків $x(i)$ характеристики форми еталонів QRS-комплексів N і V типів, отриманих з навчальної вибірки, представлено на рис. 3.

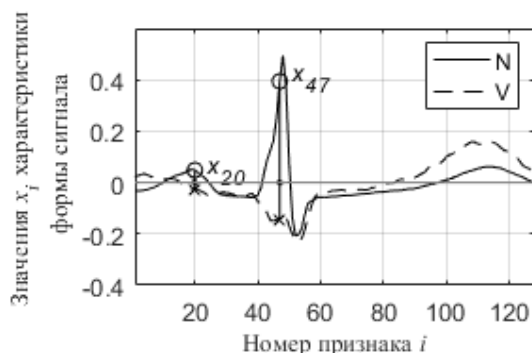


Рис. 3. Характеристики форми еталонів QRS-комплексів N і V типів

З визначення характеристики форми сигналів і властивостей кореляційних інтегралів, застосовуваних при їх порівнянні, слід, що зміна будь-якого відліку в вихідному сигналі вимагає повного перерахунку знову всієї характеристики його форми і це враховано в процедурах обробки даних.

Формування вихідних даних для оцінки інформативності ознак

Вихідні дані для оцінки інформативності ознак формуються на початковому етапі аналізу даних навчальної вибірки:

- сигнали перетворюються в їх первинні портрети в формі характеристики форми;
- формуються еталонні портрети для розпізнаваних класів – середній вигляд характеристики форми в цих класах з навчальної вибірки;
- формуються суміщені гистограми розподілу частот зустрічальності різних значень кожного ознаки для розпізнаваних класів.

При формуванні первинних портретів і гистограм виникає ряд особливостей, для розкриття яких використано ілюстративний приклад (рис. 3). Для нього серед 128 ознак (відліків x_i характеристики форми) відмічено два ознаки (x_{47} і x_{20}) і вони відрізняються в N і V

класах не тільки своїми значеннями, але й змінливістю і різноманітністю, відображеними на гистограмах (рис. 4). Формальні критерії оцінки змінливості і різноманітності ознаки x_{47} , використовувані для ранжування ознак за інформативністю, набувають значення $J_z(x_{47}) = 11.1314$, $\alpha_z(x_{47}) = 0.6230$, в той час, як для x_{20} вони будуть рівними тільки $J(x_{20}) = 3.2981$, $\alpha_z(x_{20}) = 0.3471$. В цілому, на всьому множині ознак для розглянутих сигналів відзначається широкий діапазон значень кожного критерію.

Гистограми побудовані з використанням єдиних шкал при спільному їх розгляді, хоча в кожному класі своя шкала. Шкали діляться на одну і ту ж кількість дискретів. На графіках їх 64 і по горизонтальній осі приводяться їх номери.

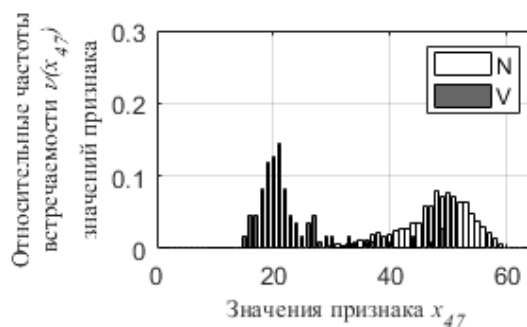


Рис. 4. Гистограми змінливості і різноманітності вихідного ознаки x_{47} розпізнаваних сигналів

Гистограми побудовані тут окремо для різних класів сигналів з використанням загальної шкали значень ознак.

Разом з тим, для оцінки інформативності тих же самих первинних ознак по проміжним даним гистограми будуються для відповідних складових кореляційних критеріїв.

Для того ж ознаки, що і в попередньому випадку, окремо в різних класах сигналів побудовані гистограми для складових z_{47N} , z_{47V} (рис. 5, 6). Їх вигляд трохи інший і результати ранжування і відбору ознак будуть відрізнятися.

Друга гистограма в кожній парі отримується при порівнянні сигналів з еталоном альтернативного класу. Відмінність отриманих результатів чітко прослідковується по формальним ознакам: для N реалізацій $J(x_{47}) = 15.4903$, $\alpha_z(x_{47}) = 0.6141$, для V – $J(x_{47}) = 7.7256$, $\alpha_z(x_{47}) = 0.5191$. Відбір ознак в цьому випадку може вироблятися окремо і по-різному в

разных классах. Принятие решений осуществимо при использовании признаков разного состава.

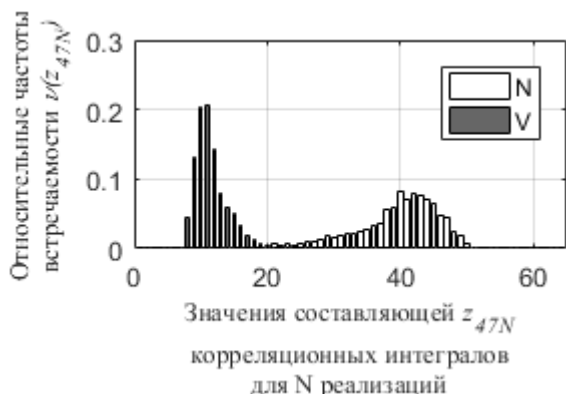


Рис. 5. Изменчивость и различимость составляющей z_{47N} корреляционных интегралов для N реализаций

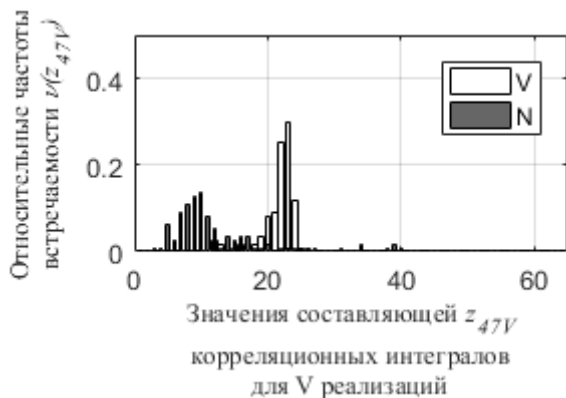


Рис. 6. Изменчивость и различимость составляющей z_{47V} корреляционных интегралов для V реализаций

Для ранжирования первичных признаков по информативности с оценкой их раздельного влияния на полные значения критерия z принятия решений производилась поочередная замена признаков ε_i из состава эталонов на признаки x_i из реализаций в своих классах сигналов. Измененные таким образом эталоны пересчитывались в характеристики их формы. К ним применялся критерий принятия решения в пользу одного и второго классов. Получались пары чисел и для них в каждом множестве реализаций строились пары гистограмм встречаемости разных значений критерия принятия решений (рис. 7, 8).

Получен другой вид гистограмм, что выражается изменившимися значениями $J[z_V(x_{47})] = 15.8906$, и $\alpha_z[z_V(x_{47})] = 0.5224$ формальных критериев и, соответственно, $J[z_N(x_{47})] = 22.3513$, $\alpha_z[z_N(x_{47})] = 0.5209$.

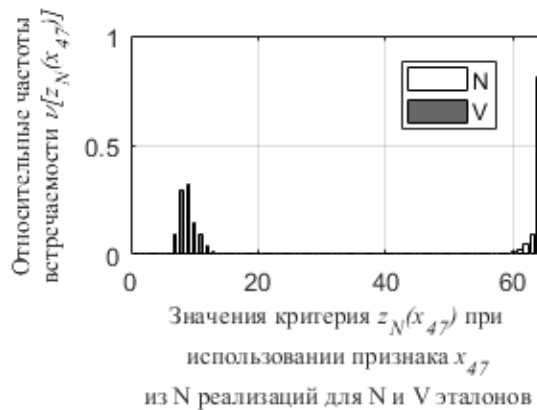


Рис. 7. Разброс значений $z_N(x_{47})$ корреляционных интегралов относительно N и V эталонов из-за разброса признака x_{47} в N реализациях

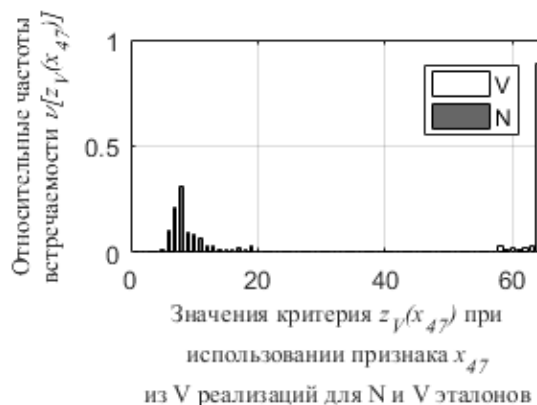


Рис. 8. Разброс значений $z_V(x_{47})$ корреляционных интегралов относительно V и N эталонов из-за разброса признака x_{47} в V реализациях

Подтверждается возможность получения очередной модификации процедур отбора информативных признаков для распознавания сигналов.

Сам отбор признаков при таком подходе допустим в двух вариантах – раздельном и совмещенном (синхронном). Во втором случае при отборе состава признаков из рассмотрения в разных классах исключаются признаки с одними и теми же номерами. В первом – различимость признаков разных классов рассматривается в общем списке. Малоинформативные признаки отбрасываются по очереди общего ранжирования, не зависимо от того, к какому классу сигналов они принадлежат. Целесообразный состав признаков для разных классов в этом случае может быть разным.

Для реализации синхронного отбора признаков можно воспользоваться гистограммами для раздельного подхода, оставив для каждого (по номеру) признака гистограммы, отражающие сравнение реализаций с эталонами своих классов.

Таким образом, все рассмотренные варианты оценки информативности признаков при распо-

знаванні сигналів, можуть бути використані для їх ранжирования с дальнейшим выбором среди них целесообразного состава наиболее информативных признаков для повышения качества распознавания сигналов.

Модификации процедур ранжирования признаков и их отбора для распознавания сигналов

В каждой модификации используется один из двух критериев (Кульбака или α_z), применяемый к полученным гистограммам. Решения принимаются по числовым значениям самого критерия принятия решений или по рельефам его составляющих.

Примеры раскрытия содержания процессов и результаты исследований рассматриваемых модификаций отражены для иллюстративного примера на рисунках.

Показан случай синхронного отбора признаков в их исходном виде (рис. 9, 10).

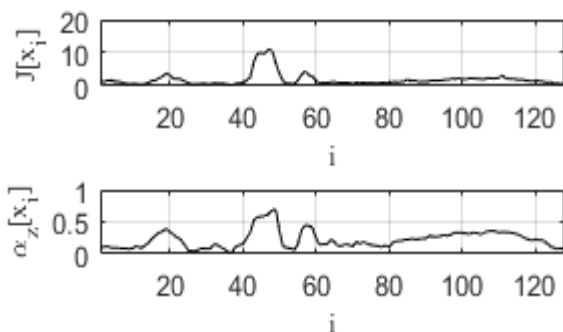


Рис. 9. Информативность признаков в их исходном виде

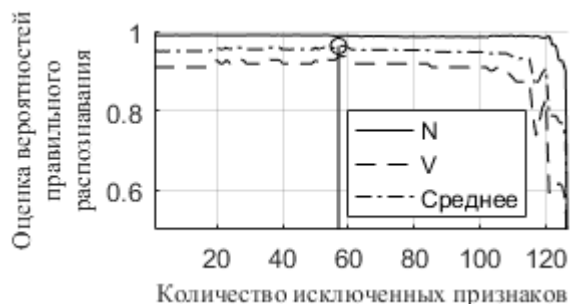


Рис. 10. Отбор признаков. Критерий Кульбака, Показатели: 0.9625, 57

Здесь отмечается высокий уровень качества распознавания сигналов и его повышение при исключении из рассмотрения ряда малоинформативных признаков.

Рассмотрен также вариант синхронного отбора признаков по проявлению их различимости в составляющих критерия принятия решений (рис. 11, 12).

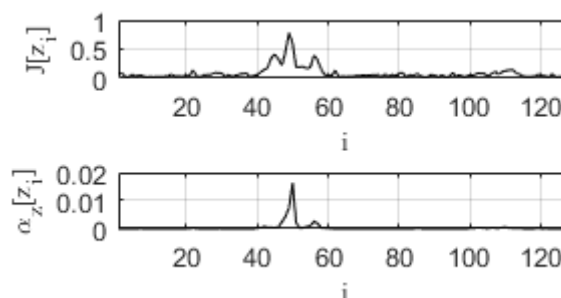


Рис. 11. Информативность признаков по различимости составляющих корреляционных интегралов

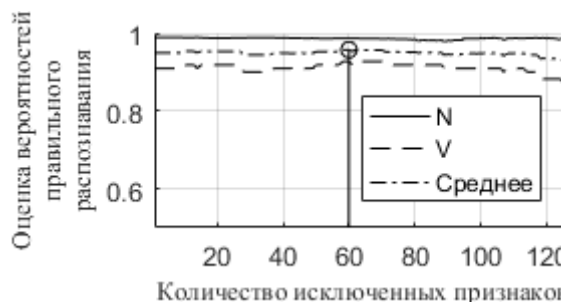


Рис. 12. Отбор признаков. Критерий Кульбака, Показатели: 0.9571, 60

Полученные результаты – положительные.

Для модификации с отдельным отбором признаков по составляющим корреляционных интегралов (рис. 13, 14) результаты аналогичны.



Рис. 13. Отбор признаков для N реализаций: критерий Кульбака, 0.9560, 75

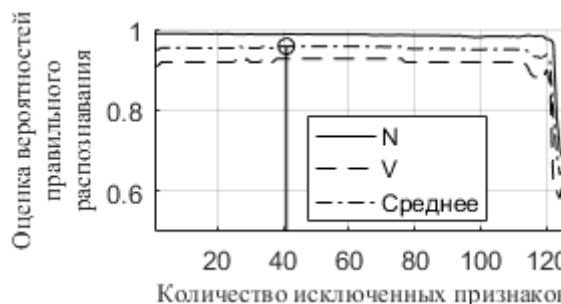


Рис. 14. Отбор признаков для V реализаций: критерий α_z , 0.9575, 41

Портрети сигналів в виде рельєфів складають кореляційні інтегралів забезпечують достаточну їх різноманітність. Високий рівень якості розпізнавання сигналів зберігається. Исходний рівень якості розпізнавання сигналів також можна підвищити, виключаючи малоінформативні ознаки.

Висновки

Основні результати роботи складаються в наступному.

1. Відкриття ряду підходів до отримання модифікацій процедури відбору ознак сигналів в системах, навчаних з учителем, для підвищення якості розпізнавання сигналів за рахунок виключення малоінформативних ознак з використання при застосуванні кореляційного критерію прийняття рішень.

2. Отримані модифікації процедур аналізу сигналів забезпечують отримання близьких результатів відбору ознак, - по їх кількісному складу і номенклатурі при високому якості розпізнавання сигналів.

3. Використання подібних модифікацій дозволяє по оцінках фактичного рівня якості розпізнавання сигналів вибрати найбільш цільову модифікацію процедури відбору ознак в відповідності з особливостями розглянутих сигналів, конкретним складом навчальної вибірки і використовуваним програмним інструментарієм аналізу даних.

4. Для зручності обробки і оцінки процедур відбору ознак розроблений програмний продукт забезпечений інструментами візуалізації результатів аналізу сигналів і відбору їх ознак, а також ілюстративним прикладом аналізу реальних даних пацієнта в задачі розпізнавання двох типів QRS-комплексів в годинній записі відведення ЕКГ з бази даних, використаної в якості навчальної вибірки.

УДК 612.171.1+004.852

^{1, 2)} А. Д. Шачиков, ²⁾ В. А. Шелофаст, ²⁾ О. П. Шуляк

¹⁾ Університет Лотарингії-INRIA-CNRS F-54506 Нансі, Франція;

²⁾ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

МОДИФІКАЦІЇ ПРОЦЕДУР ВІДБОРУ ОЗНАК ЦИКЛІЧНИХ МЕДИКО-БІОЛОГІЧНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ЇХ РОЗПІЗНАВАННЯ

Продуктивним напрямом підвищення якості розпізнавання сигналів в системах, що навчаються з учителем, є формальний статистичний відбір для використання найбільш інформативних ознак. В статті розкриваються формування модифікацій процедур відбору ознак при кореляційному поході до розпізнавання сигналів і можливість визначення серед цих процедур тих, що найбільш адекватно забезпечують вибір складу ознак відповідно до особливостей цих сигналів та складу програмного інструментарію, що використовується.

Дослідження ілюструються прикладами обробки сигналів для задачі розпізнавання QRS-комплексів двох типів в запису одного відведення електрокардіограми пацієнта з бази даних, який був використаний в якості навчальної вибірки. Представлені процедури дозволяють розкрити і реалізувати резерви підвищення якості розпізнавання сигналів за рахунок відбору раціонального складу їх ознак для використання.

Література

1. Генкин, А. А. Новая информационная технология анализа медицинских данных.
2. Коростелев, А. А. Теоретические основы радиолокации: учебн. пособие для вузов / А. А. Коростелев, Н. Ф. Клюев, Ю. А. Мельник, А. А. Веgetягин, В. А. Губин, В. Е. Дулевич и др. – М.: Сов. радио, 1978. – 608 с.
3. Мінцер, О. П. Інформаційні технології в охороні здоров'я і практичній медицині: У 10 кн. Кн. 5. Оброблення клінічних і експериментальних даних у медицині: навч. посіб. / О. П. Мінцер, Ю. В. Вороненко, В. В. Власов. – К.: Вища школа, 2003. – 350 с.: іл.
4. PhysioNet. St.-Petersburg Institute of Cardiological Technics 12-lead Arrhythmia Database. <http://physionet.org/physiobank/database/incartdb>
5. Шуляк А. П. Обработка принципов анализа структуры циклических медико-биологических сигналов для их обнаружения, распознавания и классификации / А. Д. Шачиков, А. П. Шуляк // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2015. – Вип. 49(1). – С. 169 – 179.
6. Шуляк А. П. Особливості використання характеристики форми медико-біологічних сигналів при їх розпізнаванні / А. Д. Шачиков, А. П. Шуляк // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2016. – Вип. 51(1). – С. 131 – 139.
7. Шуляк А. П. Критерії та процедури оцінки інформативності та відбору ознак медико-біологічних сигналів для їх розпізнавання / А. Д. Шачиков, А. П. Шуляк // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – № 66. – С. 79 – 86.

Ключові слова: медико-біологічні сигнали, розпізнавання, модифікації процедур відбору інформативних ознак, навчання з вчителем.

^{1, 2)} **A. Shachikov, ²⁾V. Shelofast, ²⁾A. Shulyak**

¹⁾ *University of Lorraine-INRIA-CNRS F-54506 Nancy, France;*

²⁾ *National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",
Kyiv, Ukraine*

MODIFICATION OF SELECTION PROCEDURES CYCLIC CHARACTERISTICS OF BIOMEDICAL SIGNALS FOR THEIR RECOGNITION

A formal statistical selection of the most informative features for usage during recognition is a productive direction of improving the quality of signal recognition in supervised learning systems. The article reveals the formation of modifications of feature selecting procedures under the correlation approach to signal recognition and the possibility of finding among these procedures ones that most adequately provide the decision regarding the feature set in accordance with the peculiarities of these signals and the composition of the software tools used.

The studies are illustrated by examples of signal processing for the problem of recognition of QRS complexes of two types in the one-lead record of the patient's electrocardiogram taken as a training sample from the database. The presented procedures allow to reveal and realize the reserves of quality improvement of signal recognition by selecting the rational feature set for further usage.

Keywords: biomedical signals, recognition, modification of procedures of informative features selection, supervised learning.

*Надійшла до редакції
10 квітня 2017 року*

*Рецензовано
22 квітня 2017 року*

© Шачиков А. Д., Шелофаст В. А., Шуляк О. П., 2017

УДК 621.384.4

ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ ОПРОМІНЕННЯ ПРИСТРОЮ СВІТЛОТЕРАПІЇ

¹⁾ *Яненко О. П., ²⁾Кузь В. І.*

¹⁾ *Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

²⁾ *Національний технічний університет ім. І. Пулюя, м. Тернопіль, Україна
E-mail: OP291@meta.ua*

Проаналізовано основні фотобіологічні методи впливу оптичного випромінювання ультрафіолетового діапазону хвиль (250-400 нм), які використовуються для опромінення ураженого шкірного покриву людини, виявлено значне непропорційне розміщення джерел світла, що призводить до нерівномірного формування світлового потоку на біологічному об'єкті і знижує ефективність світлотерапії.

Розроблена та запропонована методика розрахунку для створення рівномірного розподілу освітленості на поверхні опромінення та наведено рекомендації щодо отримання оптимального світлового поля оптико-електронної системи пристрою для світлотерапії. Наводяться відомості про нові сучасні напівпровідникові джерела ультрафіолетового випромінювання (250-350 нм). На відміну від ртутних ламп розглянуті світлодіодні елементи забезпечують можливість побудови компактних комп'ютерних регульованих світлотерапевтичних пристроїв для застосування в фотомедичних технологіях.

Ключові слова: *оптичне випромінювання, оптико-електронна система, біооб'єкт, світлодіодна матриця, джерело випромінювання, пристрій світлотерапії.*

Вступ

Широкого розвитку та застосування набула світлотерапія, особливо, технологія біологічної дії ультрафіолетового випромінювання, яка передбачає опромінення визначеної області

біооб'єкта й зумовлена властивістю молекул речовин, що входять до складу клітин живих організмів, поглинати кванти випромінювання та спричиняти фотохімічні реакції, які змінюють їхню структуру і функції [1-5]. Ультрафіолетове