

УДК 62.506.2

Г. Ф. КРИВУЛЯ, канд. техн. наук, Е. В. БАБКИН

**ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО НЕЛИНЕЙНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ РАДИОНЕФРОГРАММ**

Развитие науки и техники вооружило современную медицину новейшими методами исследований. Но в то же время обработка результатов исследований представляет собой довольно тру-

доемкую задачу. Одной из актуальных задач радиоизотопной диагностики является на основе применения ЭВМ повышение эффективности использования тех методов исследования, которые в силу простоты и безопасности уже получили широкое распространение в клинической практике. К таким методам относится радионейфрoграфия с меченым гиппураном [1]. Метод прост, однако имеется несоответствие простоты метода и трудоемкости анализа радионейфрoграмм (т. е. функции активности от времени). Упрощение же анализа путем сведения его к расчету минимального числа линейных параметров кривой (например, T_{\max} , $T_{1/2}$ и т. п.) делает диагностическое заключение неопределенным. Поэтому возникает задача проведения на ЭВМ анализа и интерпретации первичной диагностической информации. Такой подход ускоряет принятие правильного клинического решения по результатам радиоизотопного динамического исследования.

Нами поставлена цель разработать и апробировать систему дифференциальной диагностики состояний почек по функциональным кривым — радионейфрoграммам.

Так как функциональные кривые представляют собой зависимость вида активность — время и являются аналоговыми, то для обработки на ЦВМ необходимо преобразовать их из аналогового вида в цифровой. В настоящее время существует множество методов преобразования — спектральный анализ, преобразование Фурье, выявление скрытых периодичностей, амплитудно-временное преобразование, замена исходного сигнала ломаными, экспонентами и т. д. Все эти методы отличаются относительной сложностью их использования для преобразования сигналов.

Выбор нами метода цифрового нелинейного преобразования сигнала (ЦНПС) обусловлен такими его преимуществами, как помехозащищенность от высокочастотной составляющей шума сигнала, экономия памяти ЦВМ, простота преобразования и дальнейшей обработки преобразованного сигнала [2].

Пусть аналоговый сигнал задан в двумерном пространстве как функция активности от времени $y=f(t)$. Суть преобразования заключается в отображении площади, заключенной под кривой сигнала, в двоичную последовательность единичных импульсов, частота которых изменяется как функция площади.

Если в каждый текущий момент времени t_i будет формироваться выходной импульсный сигнал, то исходный аналоговый сигнал $y=f(t)$ можно представить импульсной последовательностью

$$x(t) = \sum_{i=1}^n \delta(t - t_i),$$

где

$$\delta(t - t_i) = \begin{cases} 0 & \text{при } t \neq t_i, \\ 1 & \text{при } t = t_i. \end{cases}$$

Таким образом, расстояние $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$ между двумя соседними импульсами соответствует приращению аналогового сигнала по оси абсцисс, и очередной импульс возникает в момент времени, когда выполняется условие

$$\left| \int_t^{t+\Delta t} (t) dt \right| \geq \Delta S.$$

Рассмотрим применение ЦНПС для распознавания кривых. При этом исходный сигнал будем преобразовывать не в последовательность 0 и 1, а в двумерное пространство признаков $(\tau, \Delta\tau)$, где τ — количество квантов времени между соседними единичными импульсами, а $\Delta\tau_i = \tau_{i+1} - \tau_i$. При таком преобразовании сигнала в совокупности точек пространства $(\tau, \Delta\tau)$ в общем случае теряется возможность восстановить исходный сигнал, но это несущественно, так как целью преобразования является классификация сигналов.

При создании данной системы дифференциальной диагностики в качестве признаков выбрана не сама последовательность точек пространства $(\tau, \Delta\tau)$, а ее усредненные значения $\tau_{\text{ср}}$ и $\Delta\tau_{\text{ср}}$:

$$\tau_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n \tau_i \quad \text{и} \quad \Delta\tau_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n \Delta\tau_i,$$

где n — число единичных импульсов сигнала.

Чтобы частично компенсировать ошибку, вносимую такой заменой, для описания преобразуемой кривой введен коэффициент кривизны

$$k_{\text{кр}} = \sum_{i=1}^n \Delta\tau_i^2 - n\Delta\tau_{\text{ср}}^2.$$

Анализ показал, что вносимая ошибка при формировании пространства признаков несущественна в сравнении с ошибками измерения активности и вариабельности кривых.

В данной системе диагностика осуществляется на основе анализа трех кривых: кривой клиренса крови; кривой правой почки; кривой левой почки.

Кривая клиренса крови является монотонно убывающей функцией. Кривые же правой и левой почек, в общем случае, являются функциями с экстремумом, и для них можно выделить участки возрастания и убывания.

Таким образом, исходные три кривые мы разбиваем на пять участков: 1 — кривая импульса; 2 — восходящий участок II кривой; 3 — нисходящий II кривой; 4 — восходящий III кривой; 5 — нисходящий III кривой.

Каждый из этих участков характеризуется параметрами $\tau_{\text{ср}}$, $\Delta\tau_{\text{ср}}$ и $k_{\text{кр}}$. Если кривая правой или левой почки не имеют

экстремума, значит, у них отсутствует либо восходящий, либо нисходящий участок кривой. Параметры, характеризующие отсутствующий участок, принимаем равными 0.

В результате преобразования исходных кривых получаем точку в пятнадцатимерном пространстве признаков.

При проектировании системы диагностирования были приняты во внимание следующие исходные условия: 1) коэффициенты усиления кривых произвольны, но для кривых обеих почек этот коэффициент одинаков, т. е.

$$f_{ij}(t) = k_{ij} \varphi_{ij}(t) \quad (i = 1, 2), \quad k_{i1} \neq k_{i2} = k_{i3} \quad (j = 1, 2, 3),$$

где φ_{ij} — значение сигнала до усиления; 2) количество точек, которыми задается каждая кривая ≤ 120 (время регистрации кривой ≤ 40 мин при суммировании импульсов за 20-секундные интервалы); 3) в сигнале присутствует фон; 4) кривые имеют для каждого случая свой фазовый сдвиг.

Эти условия требуют предварительного преобразования сигнала (ППС), которые осуществляются по следующему алгоритму.

1. Чтение служебной информации (номер случая, фамилия больного, дата получения радионейрограммы и т. д.).
2. Чтение информации о количестве точек, которыми задана каждая из трех кривых.
3. Считывание точек, задающих кривые.
4. Выделение постоянной составляющей фона и вычитание ее.
5. Нормировка кривых.
6. Расчет промежуточных точек. Так как кривые регистрируются суммацией точек за относительно большие промежутки времени (20 с), то кривые представляются сравнительно небольшим числом точек. Чтобы избежать искажения формы кривых при ЦНПС, рассчитывают промежуточные точки, лежащие на прямых и соединяющие две последовательно расположенные исходные точки.

Разработанная система распознавания состоит из трех основных программ и ряда сервисных. Данная система является системой распознавания, обучаемой с учителем. Обучение происходит с использованием обучающей выборки и с указанием, к какому классу относится каждый случай. Обучение системы осуществляется двумя программами: FORMIR и SIGMA.

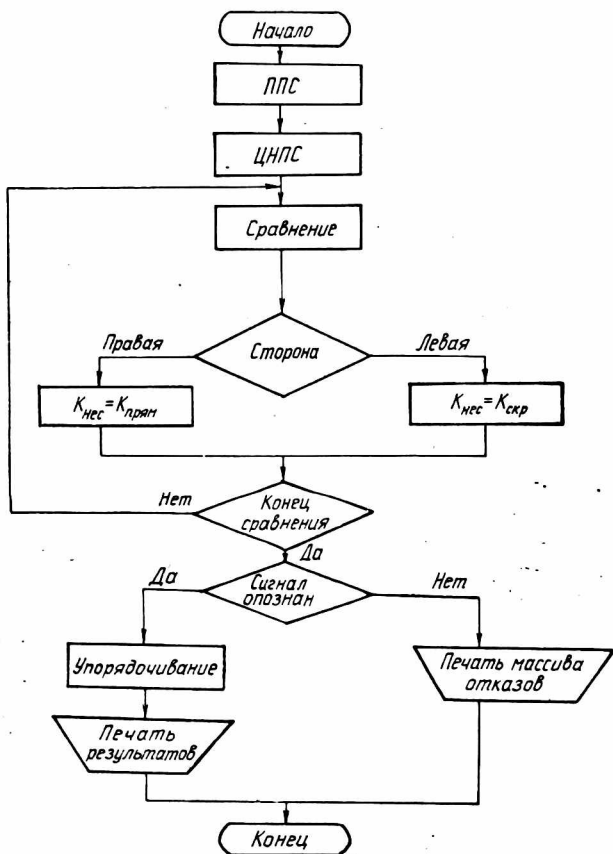
Программа FORMIR обеспечивает создание эталонов каждого класса. Алгоритм состоит из следующих этапов.

1. Чтение номера класса.
2. ППС.
3. ЦНПС.
4. Если заболевание принадлежит к классу односторонних заболеваний, то перейти к следующему пункту, в противном случае — к пункту 6.
5. Если заболевание правостороннее, то перейти к следующему пункту, в противном случае — к пункту 7.
6. Информация о данном случае дополняет классы эталонов. Так как очередной шаг формирования эталона выполнен, то переход к следующему пункту не осуществляется.
7. Информация о данном сигнале

добавляется к эталону скрестно. Очередной шаг формирования эталона выполнен.

Для односторонних заболеваний почек формируются не эталоны правой и левой почек, а эталоны здоровой и больной почек. Это позволяет уменьшить количество эталонов классов и лучше использовать обучающий верифицированный материал.

Для случаев одностороннего поражения почек эталон второй (правой почки) является эталоном пораженной почки, а третьей (левой почки) — эталоном здоровой почки.



Распознавание осуществляется вычислением геометрического расстояния в пространстве признаков между анализируемым сигналом и эталонами. Эти расстояния назовем коэффициентами несовпадения ($k_{нес}$). Программа SIGMA обеспечивает вычисление предельных коэффициентов несовпадения для каждого из классов на основании обучающей выборки. Значение предель-

ных коэффициентов несовпадения храним совместно с эталонами.

В результате обработки обучающей последовательности программами FORMIR и SIGMA сформированы эталоны классов и предельные значения коэффициентов несовпадения. Программа ДОКТОР на основании этой информации производит диагностику анализируемых радионепрограмм. Диагностика осуществляется по следующему алгоритму (рисунок):

1. ППС. 2. ЦНПС. 3. Вычисление для данного эталона коэффициентов несовпадения прямого (вторую кривую сигнала сравниваем со второй кривой эталона, третью — с третьей) и скрестного (вторую кривую сигнала сравниваем с третьей кривой эталона, и наоборот). 4. Определяем сторону поражения. Если $k_{\text{нес. прямой}} \leq k_{\text{нес. скрестной}}$, то поражена правая почка, в противном случае — левая. Определение стороны производится только при сравнении с эталонами классов одностороннего поражения почек. Для случая двустороннего поражения выбирается меньший из коэффициентов несовпадения. 5. Сравнивается $k_{\text{нес}}$ с предельным коэффициентом несовпадения. Если $k_{\text{нес.}} \leq k_{\text{нес. пред.}}$, то информация о классе, стороне и $k_{\text{нес}}$ заносится в массив результатов. Иначе — в массив отказов. 6. Проверяем, со всеми ли эталонами сравнили анализируемый сигнал. Если нет — возвращаемся к пункту 3 и повторяем сравнение со следующим эталоном. Если да — переходим к следующему пункту. 7. Проверяем, был ли сигнал опознан хотя бы одним эталоном. Если да, то упорядочиваем массив результатов по возрастанию $k_{\text{нес}}$ и печатаем результаты распознавания. Если нет, то распечатывается массив отказов, где хранится информация о сравнении анализируемого сигнала со всеми эталонами.

Полученные материалы по применению разработанной системы дифференциальной диагностики радионепрограмм показали его высокую эффективность. При испытаниях системы на контрольной выборке в 58,4% случаев диагноз признан испытанным, в 34,0% — неопределенным и в 7,6% — ложным. Затраты машинного времени для диагностирования одного случая составили в среднем 3 с для ЕС-1033.

Список литературы: 1. *Диагностическая модель почки*/Г. Ф. Кривуля, Н. И. Пилипенко, Л. К. Штец и др. — Пробл. бионики, 1982, вып. 29, с. 53—60.
2. А. С. № 830521 (СССР). Устройство для распознавания речевых сигналов/Г. Ф. Кривуля, С. Л. Кирьяков. — Оpubл. в Б. И., 1981, № 18, с. 40.

Поступила в редколлегию 24.12.82.