УДК 612.172.4 (07)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА АНАЛИЗА ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ СТРУКТУРЫ ЭКГ-СИГНАЛОВ

А.В.Максимов
Технологический институт
Южного федерального университета в г. Таганроге

Рассмотрен комбинированный метод анализа ЭКГ-сигналов с использованием сплайн-аппроксимации.

Для распознавания структуры ЭКГ-сигнала (ЭКС) активно используют структурно-лингвистические методы, когда дискретизированный ЭКС заменяется символьной строкой, составленной из некоторого представительного алфавита. Использование таких методов позволяет значительно сократить объем, который необходим для хранения ЭКС и, таким образом увеличить скорость анализа сигнала.

Исходя из проведенного анализа, известных алгоритмов аппроксимации и свойств ЭКС, предлагается использовать комбинированный алгоритм аппроксимации ЭКС. Так, как ЭКС предварительно сегментирован, то мы заранее знаем в каких зонах следует ожидать успешного применения сплайн аппроксимации или кусочно-линейной интерполяции 1-го порядка (ИПП). Для сплайнов такими зонами являются зоны ЭКС: P-комплекса, ST-T-комплекс и диастолический интервал, т. е. интервал T-P. Для QRS-комнлекса используем ИПП аппроксимацию и для конечных элементов QRS, в случае большой ошибки ИПП (эту ситуацию легко заметить по возрастанию интервалов аппроксимации свыше 10), применяем аппроксимацию квадратичными параболами. Аппарат сплайнов здесь плохо пригоден ввиду небольших участков QRS, имеющих сглаженную форму.

В результате аппроксимации получаем представление ЭКС в виде набора участков, каждый из которых характеризуется типом аппроксимирующей функции: линейная, квадратичная, кубическая, и соответственно набором коэффициентов: два коэффициента в случае линейной функции, три— квадратичной, четыре — кубической функции. В дальнейшем удобно рассматривать все функции как кубические с нулевыми значениями первых одного или двух коэффициентов. Для формирования алфавита необходимо построить четырехмерное пространство, где осями являются четыре коэффициента аппроксимирующей функции, тогда каждый участок ЭКС даст точку в этом про-

странстве. Близкие по виду участки группируются в кластеры, которые можно обозначить символами некоторого алфавита. Для разделения кластеров удобно применять метод разделения по Евклидову расстоянию Dm_k точек в четырехмерном пространстве. Начальную группировку кластеров желательно сформировать при формировании обучающей выборки ЭКС. Для этого алгоритму анализа необходимо предоставить определенный набор ЭКС и графически воспроизвести представление того же ЭКС с использованием наиболее близких кластеров. Полученное представление сравнивается с исходным ЭКС. Если интегральная погрешность представления из кластеров превышает заданный порог погрешности, то делается попытка улучшить его, определив, какой кластер вносит наибольшую погрешность. Для этого поочередно каждый кластер заменяется аппроксимирующей функцией соответствующего участка и вычисляется погрешность. Эта операция повторяется для всех участков. Максимум погрешности указывает на участок, который должен образовать новый кластер. Процесс создания нового кластера должен проводиться осторожно, поскольку велика вероятность создания «артефактных» кластеров. Реальный кластер, соответствующий некоторому новому варианту сигнала обычно занимает некоторое промежуточное или несильно удаленное мести среди ему подобных. Меру этого подобия (расстояние Dm_k) следует рассчитывать отдельно для линейных, квадратичных и кубических кластеров. В результате данной процедуры одномерный ЭКС заменяется последовательностью символов, каждый из которых представляет собой кластер в 4-х мерном пространстве и имеет некоторые характеристики (атрибуты): 1—длительность, 2—тип, 3—массив коэффициентов. Данная информация может быть использована при проведении синтаксического разбора сигнала. К недостаткам этого метода следует отнести оторванность такого разбора от векторной природы ЭКС. При этом длины цепочек в соседних отведениях получаются разными, т. к. разная сложность сигналов в этих отведениях. Символы, при независимом анализе ЭКС несинхронны, что не позволяет при синтаксическом анализе учесть одновременно происхождение процесса в разных отведениях. Данный недостаток приводит к существенным диагностическим ошибкам и является одной из тех причин, в силу которых структурно-лингвистический метод находит ограниченное применение в системах автоматического анализа ЭКС, поэтому предлагается модифицированный метод, свободный от указанных недостатков.

Основой для согласованного символьного представления является понятие мультисимвола, т. е. символа, представляющего элемент

N-сигналов, синхронных по времени и имеющих идентичную длительность. Можно предложить два варианта формирования такого символа. Первый вариант заключается в прореживании символьных цепочек, предварительно обработанных вышеописанным алгоритмом. Рассмотрим подробнее алгоритм прореживания. Для данного алгоритма входом является N-символьных цепочек с атрибутами Sm, m=l…N. Каждая цепочка имеет длину Lm-символов. Введем массив Cm, где каждый элемент массива отслеживает текущую позицию разбора в строке Cm. В результате алгоритма, формируется массив из N-строк, одинаковой длины Pm.

Полученный массив строк Pm образован из символов, синхронных во времени, т.е. обладающих сходным первым атрибутом (длительностью). Остальные атрибуты могут быть, и обычно бывают, различными. Дальнейший шаг по формированию единой цепочки — объединение групп символов, синхронных во времени, в единый символ из нового алфавита. Комбинаторный метод здесь не подходит, т. к. обычно число символов в исходном алфавите порядка 200, и число сочетаний из 200 по N получается достаточно большим.

Поэтому формирование мультисимвола из N-символов одномерного алфавита будем производить с помощью специальной грамматики, учитывающей амплитудные и скоростные характеристики входящих символов. Поскольку длина строки фиксирована и физически понятны особенности разделяемых классов (изоэлектрическая линия, плавный склон, закругленная вершина, крутой склон, острая вершина), можно построить достаточно простую грамматику для получения набора из не более 1000-1500 символов. Если при построении такой грамматики воспользоваться атрибутом <тип сегмента> из алгоритма сегментации, процесс формирования алфавита еще более упростится. Например, в сегменте <P-комплекс> априорно не может быть никаких острых вершин и острых склонов, и если таковые встретились, то они являются следствием помех или артефактов, и соответствующее правило должно сводить их к существующим (разрешенным) вариантам P-комплекса. Метод быстро работает, в совокупности с независимым представлением достаточно компактен, но обладает одним недостатком — дает длинные символьные строки, часто состоящие из мало различающихся (по смыслу) мультисимволов. Поэтому, для устранения этих недостатков, при наличии достаточных вычислительных ресурсов, можно воспользоваться вторым способом построения мультисимвольной строки. Для этого алгоритм аппроксимации, например, первого порядка (или сплайн), работает синхронно во всех N-отведениях. Получающиеся коэффициенты образуют 4-N-

мерное пространство, в котором и происходит процесс разделения кластеров. Основная проблема здесь — выбор критериев разделения, которую можно решить путем поиска: сначала отведение, дающее максимальный вклад и погрешность, а затем кластера, который следует разбить на два подкластера (т. е. образовать новый). Поскольку процесс аппроксимации происходит синхронно, результирующая строка во всех отведениях получается одной длины, а мультисимвол имеет следующие атрибуты: длительность, массив из N-типов аппроксимирующих функций, массив из 4N-коэффициентов. Дальнейший ход синтаксического разбора будем строить исходя из того, что мультисимвольная цепочка тем или иным методом уже создана.

Дальнейшее распознавание ЭКС, представленных в виде мультисимвольной строки, производится методом грамматического разбора. Грамматический разбор в общем случае позволяет определить: принадлежит ли данная цепочка символов множеству всех цепочек, порождаемых грамматикой языка, или не принадлежит, т. е. с точки зрения теории формальных грамматик и языков, результатом синтаксического разбора является величина логического типа — «Да/Нет». Для нас более важен побочный продукт разбора, а именно, какие конкретно нетерминалы и в каком порядке встретились при разборе цепочки. Собственно последовательность нетерминалов и представляет собой результат разбора, т. е. структуру сигнала, описанного понятиями более высокого порядка, чем мультисимвол. Факт же принадлежности цепочки к языку, означает либо наличие артефактов цепочке, либо необходимость расширения множества правил в грамматике. Для отлаженной системы такие случаи должны быть исключены. Это означает, что при неуспешном разборе цепочки должен производиться анализ того нетерминала, для которого оказались неуспешными попытки применения всех его образующих грамматических правил. После нахождения такого нетерминала необходимо попытаться расширить грамматику путем создания нового правила. Данный процесс желательно выполнять в интерактивном режиме, иначе возможно неконтролируемое возрастание грамматики, что приведет к росту времени анализа и большому количеству ошибочных заключений. Данную процедуру далее будем называть — нейтрализацией ошибки разбора.

В теории грамматического разбора известно два основных метода разбора — сверху вниз и снизу вверх. Алгоритм снизу вверх предопределяет движение от строки терминалов к основному символу грамматики. Обычно подобный разбор осуществляется с помощью матриц предшествования. Для случая анализа сигналов, когда число

нетерминалов порядка 200—300, размер матриц вырастает до 40—90 тыс. элементов, что является неприемлемым. Поэтому, значительно удобнее использовать алгоритм сверху вниз, когда используется рекурсивная процедура для вывода строки терминалов из основного символа грамматики. При этом чрезвычайно важно, чтобы наиболее вероятные правила стояли первыми, а редко используемые альтернативы правил будут задействованы реже. При несоблюдении этого условия начинает расти количество возвратов с признаком неуспешного анализа.

Данный алгоритм позволяет решить формальную часть синтаксического разбора, т. е. ответить на вопрос: принадлежит ли входная строка множеству строк данного языка. Однако для практических целей важен ответ на вопрос — из каких крупных элементов состоит фрагмент анализируемого сигнала, т. е. какова его морфология. Для решения этой задачи используем понятие атрибутов.

Атрибутом называется некоторое поле данных, связанное с терминалом или нетерминалом. Атрибутов может быть несколько, и их тип может различный. Кроме атрибутов в атрибутной грамматике вводятся понятия атрибутных правил.

Синтезируемый атрибут получает свое значение исходя из значений атрибутов терминалов и нетерминалов, находящихся в правой части правила. Он является атрибутом нетерминала.

Наследуемый атрибут — это атрибут нетерминала, находящегося в правой части правила и получающий свое значение на основании атрибутов нетерминалов, находящихся в левой части правила.

Таким образом, синтезируемые атрибуты позволяют организовать движение вверх по дереву разбора, а наследуемые— вниз по дереву разбора. Атрибутные правила могут иметь достаточно сложный вид и структуру, в частности в качестве результатов работы атрибутных правил могут быть словесные заключения о характера ЭКГ. В принципе, подход с использованием атрибутных грамматик позволяет полностью формализовать обработку сигнала, от распознавания его структуры до формирования заключения.

Библиографический список

1. Браверман Э.М., Мучник И.Б. Структурные методы обработки эмпирических данных. М.: Наука, 1983. 463с.
2. Кнут Д.Э. Искусство программирования для ЭВМ. Получисленные алгоритмы, т2, М.: Мир, 1977. 723с.

Получено 01.06.07