

**А. С. КУЦЕНКО**, д-р техн. наук, проф. каф. САиУ, НТУ «ХПИ»;  
**В. А. КОЛБАСИН**, канд. техн. наук, доц. каф. САиУ, НТУ «ХПИ»;  
**Д. В. КАЛИНИН**, магистрант каф. САиУ, НТУ «ХПИ»

## СЖАТИЕ ДАННЫХ КАРДИОГРАММ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Предлагается комбинация алгоритма сжатия звуковых данных с потерями IMA ADPCM и модификации словарного метода LZ77 для уменьшения объема записываемых данных кардиограмм во время суточного мониторинга по Холтеру. Первый алгоритм позволяет представить последовательность отсчетов в виде набора закодированных разниц между соседними элементами, а модифицированный LZ77 обеспечивает дальнейшую их компрессию за счет обработки повторяемых наборов данных. В результате, использование ADPCM приводит к сжатию данных в 4 раза, а модифицированный LZ77 улучшает этот показатель еще до 25%.

Запропонована комбінація алгоритму стиснення звукових даних із втратами IMA ADPCM та модифікації словникового методу LZ77 для зменшення об'єму записуваних даних кардіограм під час добового моніторингу за Холтером. Перший алгоритм дозволяє представити послідовність відліків у вигляді набору закодованих різниць між сусідніми елементами, а модифікований LZ77 забезпечує подальшу їх компресію за рахунок обробки повторюваних наборів даних. В результаті, використання ADPCM призводить до стиснення даних в 4 рази, а модифікований LZ77 покращує цей показник ще до 25%.

The combination of sound data lossy shrinking algorithm IMA ADPCM and dictionary technique LZ77 modification for recorded cardiogram data level reducing during Holter's diurnal monitoring is proposed. The first one allows to represent the sequence of samples as a set of coded differences between the sequential elements, and modified LZ77 provides the further compression of them for account of repeatable data sets processing. As a result, using of ADPCM leads to data compression by 4 times, and modified LZ77 enhances this rate to 25% more.

**Введение.** Несмотря на достижения диагностики, профилактики и лечения заболевания системы кровоснабжения продолжают занимать лидирующую позицию в причинах инвалидизации и смертности населения во многих странах, в частности, в Украине. Одной из причин такой тенденции является то, что самый важный орган человеческого тела склонен к многочисленным заболеваниям и скрыт от глаз врача. Что, в свою очередь, усложняет диагностику сердечнососудистых заболеваний.

В наше время, самым распространенным средством диагностики заболеваний сердца является электрокардиограф. Данный прибор позволяет записывать изменение разности электрических потенциалов сердца в процессе его сокращений, так называемую электрокардиограмму (ЭКГ). Однако для диагностики нарушений сердечного ритма часто требуется длительное, обычно суточное, наблюдение за пациентом, живущим обычным для него ритмом и образом жизни. Такой вид диагностики называется мониторингом ЭКГ по Холтеру.

Для выполнения Холтеровского мониторинга ЭКГ используются небольшие питаемые от аккумуляторов приборы, которые пациент на протяжении всего процесса мониторинга носит при себе. В этих приборах используются энергоэффективные процессоры со сравнительно низкой вычислительной производительностью. Однако результаты наблюдения в цифровом виде имеют довольно большой объем в сравнении с характеристиками подобных аппаратов, поэтому сжатие этих данных является актуальной проблемой.

Так как запись выполняется в режиме реального времени процессором с относительно низкой производительностью, выбор метода сжатия ограничен простыми методами сжатия. В данной работе исследуется возможность использования для сжатия данных кардиограмм совокупности метода сжатия с потерями IMA ADPCM и метода словарного сжатия LZ77.

**Алгоритм IMA ADPCM.** Метод компрессии звука IMA ADPCM (адаптивная дифференциальная импульсно-кодовая модуляция, АДИКМ) [1] был разработан ассоциацией изготовителей и пользователей интерактивных мультимедийных систем (Interactive Multimedia Association, IMA), как единый стандарт, описывающий компрессию аудио и видеoinформации. Он основан на разработанном компанией Intel методе компрессии DVI.

Хотя в этом стандарте много деталей осталось неописанными, все существующие на сегодняшний день реализации IMA ADPCM работают одинаково. Поток аудиоданных преобразовывается в последовательность пакетов. Каждый пакет состоит из заголовка (от 2 до 8 байт), в котором записывается информация о состоянии кодека и последовательность 4-битных сжатых отсчетов.

В IMA ADPCM для хранения каждого отсчета используются 4 бита. Кодированный модуль делит разницу между двумя отсчетами на текущий размер шага и использует полученную величину в качестве очередного сжатого 4-битного выходного значения. Декомпрессор, наоборот, умножает кодовое значение на текущий размер шага и прибавляет полученный результат к предыдущему отсчету, получая тем самым очередной отсчет.

Для сокращения объема информации сам размер шага не хранится. Вместо этого компрессор хранит индекс в таблице, которая содержит в себе 89 возможных значений размера шага. Величины размеров шага изменяются в соответствии с экспоненциальным законом.

Важным элементом IMA ADPCM является механизм управления размером шага. В 4-битный отсчет записывается, представленное в прямом коде со знаком число в диапазоне от -7 до +7. Поскольку декомпрессору неизвестна величина следующего отсчета, он должен сделать выбор, базируясь на предыдущих значениях. Если полученное в результате преобразования приращение 4-битное число велико, вероятно, что следующее будет еще большим и для его размещения не хватит 4 бит. Если 4-битное представление приращения – величина небольшая, то это значит, что

имеющиеся 4 бита информации используются не в полной мере. В результате, если величина, получаемая при делении на размер шага, приближается к нулю – размер шага уменьшается, если она растёт – шаг увеличивается.

Так как форма сигнала ЭКГ обычно мало меняется между двумя подряд идущими импульсами, можно попробовать использовать словарный метод сжатия LZ77 для кодирования повторяющихся участков сигнала.

**Словарное кодирование.** Основная идея метода LZ77 [2] состоит в использовании ранее считанных данных в качестве словаря. Кодер создает окно для входных данных и двигает его справа налево в виде строки символов, требующих сжатия, образуя скользящее окно. Оно разбивается на две части. Часть слева называется буфером поиска. Она будет служить текущим словарем, и в ней всегда содержатся символы, которые недавно пришли и были закодированы. Правая часть окна называется упреждающим буфером и содержит данные, которые будут сейчас закодированы. Обычно длина буфера поиска намного больше длины упреждающего буфера.

В ходе обработки данных кодер просматривает буфер поиска в обратном направлении (справа налево) и ищет в нем первое появление текущего символа из упреждающего буфера. Если он находит такой символ, то определяется, сколько совпадающих символов следует за ним. Запомнив позицию и длину найденной строки, кодер продолжает поиск, пытаясь найти более длинные совпадающие последовательности. Выбрав самую длинную из них, алгоритм кодирует ее в виде метки.

В общем случае, метка из LZ77 имеет три поля: смещение, длина и следующий символ в упреждающем буфере. Эта метка записывается в выходной поток, а окно сдвигается вправо (или входные данные сдвигаются влево) на количество позиций, которое соответствует длине совпадающей последовательности, а также еще на одну позицию для следующего символа. Если обратный поиск не выявил совпадение символов, то записывается метка со смещением 0 и длиной 0 [2].

Кодирование единичных символов в метки вида (0, 0, следующий символ) избыточно. Поэтому в данной работе используется идея метода LZSS [2], согласно которой к метке добавляется бит флага, указывающий на то, что находится после этого бита – закодированная последовательность, или следующий символ. Но, в отличие от оригинального метода, здесь предлагается указывать длину последовательности данных, для которых не найдено повторений, после флагового бита. Причем из-за малого размера кодов ADPCM не будут кодироваться повторения подстрок, имеющих малую длину, недостаточную чтобы окупить затраты на добавление метки повтора в поток данных. Минимальная длина повторяющейся строки, как и размер поля, определяющего число несжатых кодовых последовательностей, являются параметрами алгоритма и определяются экспериментально.

**Анализ полученных результатов.** Для определения характеристик предложенного метода сжатия было разработано специальное программное

обеспечение, реализующее методы ADPCM для первого этапа сжатия и методы LZ77 и его предложенную модификацию для второго этапа. При помощи программы был проанализирован набор из 50 записей ЭКГ длительностью порядка 60 минут с частотой дискретизации 100 Гц. Результаты приведены в таблице ниже.

Результаты сжатия ЭКГ предложенным методом

| Вариант метода LZ77      | Длина буфера поиска, бит | Коэффициент сжатия |         |              |
|--------------------------|--------------------------|--------------------|---------|--------------|
|                          |                          | Минимальная        | Средняя | Максимальная |
| Обычный LZ77             | 8                        | 3,36               | 4,21    | 4,96         |
|                          | 9                        | 3,48               | 4,36    | 5,08         |
|                          | 10                       | 3,6                | 4,49    | 5,16         |
| Предложенная модификация | 8                        | 4,01               | 4,45    | 4,88         |
|                          | 9                        | 4,02               | 4,56    | 5,02         |
|                          | 10                       | 4,04               | 4,61    | 5,08         |

Проанализировав приведенные результаты, можно сказать, что предложенная двухэтапная схема в среднем обеспечивает более высокую степень сжатия по сравнению с применением только лишь алгоритма ADPCM, обеспечивающего коэффициент сжатия 4.

Также предложенная модификация метода LZ77 в целом обеспечила более приемлемые с практической точки зрения результаты сжатия, чем обычная версия этого алгоритма. Хотя максимальный коэффициент сжатия был достигнут именно для классического алгоритма, но для него же было получено увеличение объем результирующих данных. Предложенный алгоритм обеспечил несколько меньшие показатели сжатия в наилучшем случае, но и не привел к увеличению объема данных по сравнению с использованием только метода ADPCM. Эта его особенность является удобной для практического использования во встроенных устройствах, каковыми являются регистраторы ЭКГ по Холтеру.

**Выводы.** Предложенный метод сжатия позволяет увеличить степень сжатия ЭКГ в среднем до 4,5 раз. Он требует относительно малого количества вычислительных ресурсов и может найти применение при разработке систем суточного мониторинга ЭКГ по Холтеру.

**Список литературы:** 1. Кинтцель Т. Руководство программиста по работе со звуком / Т. Кинтцель. – М. : ДМК Пресс, 2000. – 432 с, ил. (Серия "Для программистов"). 2. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэломон. – М. : Техносфера, 2004. – 368 с.

Надійшла до редколегії 08.05.2012