

УДК 004.627+004.75

**Е.Г. Краморенко, М.В. Привалов**

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк  
кафедра автоматизированных систем управления

## **ПОНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ ЗА СЧЕТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ КОМПРЕССИИ ДАННЫХ**

### *Аннотация*

*Краморенко Е.Г., Привалов М.В. Понижение энергопотребления сенсорных сетей за счет предварительной обработки данных.* Выполнен анализ методов предварительной обработки и компрессии числовых данных. Произведен анализ результатов их применения в сенсорных сетях для понижения энергопотребления. Выбраны наиболее перспективные алгоритмы.

**Ключевые слова:** *алгоритмы компрессии числовых данных, энергопотребление, сенсорные сети.*

**Постановка проблемы.** Сенсорная сеть, представляет собой совокупность взаимодействующих узлов, связанных с внешней средой датчиками (сенсорами). В каждом узле имеется вычислительное устройство (процессор) и премопередатчик. После первичной обработки информация передается узлом по (беспроводной) коммуникационной сети в центральный пункт, где поступающая от всех узлов информация анализируется и обрабатывается в совокупности [1]. Одним из главных требований к таким сетям является автономность, выполнить которое можно уменьшив энергопотребление каждого узла. Для решения данной проблемы используют следующие методы:

- определение времени включения передачи;
- многозвенная передача, т.е. отправка сообщений через промежуточные узлы вместо прямой дальней передачи;
- предварительная обработка и сокращение объема данных, необходимых для передачи [2]. Одним из способов такой обработки может стать компрессия.

Также стоит отметить, что большинство мобильных устройств, выполняющих функции узлов сенсорной сети, не имеет сопроцессора для выполнения операций с вещественными числами.

**Анализ литературы.** Проведен анализ методов сжатия числовых данных. Основными подходами в этом направлении являются:

- словарное сжатие;
- статистическое кодирование;
- различные методы предварительной обработки данных[3].

Для решения нашей задачи не применимы словарные методы, т.к. они потребляют довольно много ресурсов. Среди оставшихся необходимо выбрать алгоритмы, которые гарантируют быструю обработку в любых случаях и дают хоть какой то коэффициент сжатия. К таковым относятся методы упаковки бит, аппроксимации, а также методы предварительной обработки данных с помощью различных фильтров.

**Цель работы** – определить алгоритмы предварительной компрессии сенсорных данных, обеспечивающих максимальную экономию энергопотребления.

**Постановка задачи исследования.** Пусть дана исходная последовательность вида

$$A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}, \quad (1)$$

где  $a_i$  - некоторое число. Необходимо определить функционал  $F$ , преобразующий исходную последовательность в последовательность байтов  $B = F(A)$ , а также функционал  $F'$ , выполняющий обратное преобразование  $A' = F(B)$ , где  $A'$  - также числовая последовательность вида

$$A' = \{a'_1, a'_2, a'_3, \dots, a'_n\}, \quad (2)$$

причем максимальная погрешность такого преобразования не должна превышать некоторый заданный порог  $E$ :

$$\max_{1 \leq i \leq n} (|a_i - a'_i|) < E. \quad (3)$$

На первом этапе необходимо определить такие методы, которые бы выполняли описанные выше условия, и в тоже время позволяли бы сократить энергопотребление узлов за счет уменьшения затрат на передачу данных. На втором этапе необходимо разработать автоматизированную систему, которая на основании предварительной информации о данных будет определять наилучшие параметры алгоритмов для их сжатия. В данной работе будет рассматриваться только первый этап.

**Варианты решения.** Для решения поставленной задачи были исследованы следующие методы:

– упаковка бит. Основная идея заключается в том, что для кодирования значений последовательности (1) можно использовать меньшее количество бит. Новая битовая длина для каждого значения вычисляется по следующей формуле:

$$l = \log_2 \frac{(max-min)}{dx}, \quad (4)$$

где  $max$  – максимальное значение в последовательности,  $min$  – минимальное значение в последовательности,  $dx$  – шаг изменения элементов;

– целочисленное вейвлетное преобразование 5/3. Был выбран конкретно этот вид вейвлетных преобразований, так как он позволяет оперировать только целыми числами, а также хорошо работает в большинстве

случаев[4]. Исходная последовательность (1) разделяется на две:  $D = \{d_1, d_2, d_3, \dots\}$  – содержащую нечетные элементы;  $S = \{s_1, s_2, s_3, \dots\}$  – содержащую четные. После этого формируются две новых последовательности  $D' = \{d'_1, d'_2, d'_3, \dots\}$  и  $S' = \{s'_1, s'_2, s'_3, \dots\}$  по следующим формулам:

$$d'_i = d_i - 1/2 (s_i + s_{i+1}), \quad (5)$$

$$s'_i = s_i - 1/4 (d'_i + d'_{i-1}). \quad (6)$$

На следующем шаге в качестве исходной последовательности принимается  $S'$  и алгоритм повторяется рекурсивно[4];

– алгоритм Рамера-Дугласа-Пеккера. Суть алгоритма заключается в том, чтобы уменьшить число точек кривой, аппроксимированной большой серией точек. Сжатие данных достигается за счет отбрасывания точек, которые могут быть восстановлены с заданной точностью  $E[5]$ .

Проблема работы с вещественными числами решилась следующим образом: все вещественные числа предварительно приводятся к целочисленному виду, и только потом к ним применяются описанные выше методы обработки.

**Структура входных данных.** Одной из компаний, внедряющих сенсорные сети, является Modular Mining Systems. На рисунке 1 приведена структура данных и протоколов, которые применяются этой компанией. Как можно заметить, данные представлены в двух измерениях: временной отчет и идентификатор датчика, которому принадлежит данное значение. Поэтому входные последовательности(1) для алгоритмов компрессии можно генерировать двумя способами: отдельно по каждому датчику и по каждому временному отчету.

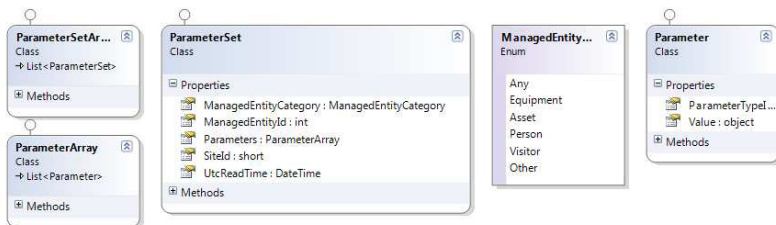


Рисунок 1 – структура данных сенсорных сетей в Modular Mining Systems

**Экспериментальное исследование.** Для проведения экспериментального сравнения работы алгоритмов был разработан генератор исходных данных, который создает структуру данных Modular Mining Systems, содержащую информацию от указанного количества датчиков. Данные измерений генерируются по нормальному закону распределения с указанными параметрами. Также реализована возможность внесения постоянного и

импульсного шумов. Для выполнения непосредственно исследования было разработано приложение, позволяющее измерить время компрессии и декомпрессии, среднюю и максимальную ошибку алгоритма, коэффициент сжатия, а также визуально отобразить исходную и восстановленную последовательности. Интерфейс приложения можно увидеть на рисунке 2. Непосредственно для проведения тестов были сгенерированы данные со следующими параметрами: математическое ожидание – 50; стандартное отклонение – 10. Зашумление исходных данных почти не влияло на результаты работы и поэтому в данной статье не представлено. Параметры методов с потерями подбирались таким образом, чтобы максимальная ошибка не превышала 10%. Алгоритмы тестировались в ситуациях с различным количеством измерений и различным количеством датчиков. Также была протестирована работа алгоритмов в случаях построения последовательностей по временным отсчетам и по отдельным датчикам. Непосредственно результаты работы алгоритмов представлены в таблицах 1-4.

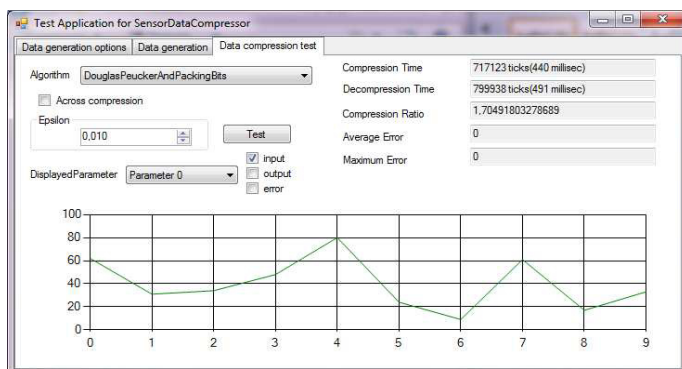


Рисунок 2 – экранная форма приложения для тестирования алгоритмов.

Таблица 1 – Результаты исследования для случая мало параметров(10), много измерений(10), построение последовательностей отдельно по каждому датчику

Алгоритм	Коэффициент сжатия	Время компрессии	Время декомпрессии
Упаковка бит	1,8857	208	346
Вейвлетное преобразование	1,0775	226	398
Рамер-Дуглас-Пеккер	1,0153	692	1011
Вейвлетное преобразование + упаковка бит	1,8144	291	489
Рамер-Дуглас-Пеккер+упаковка бит	1,8992	735	897

Таблица 2 – Результаты исследования для случая мало параметров(10), много измерений(10), построение последовательностей по временным отсчетам

Алгоритм	Коэффициент сжатия	Время компрессии	Время декомпрессии
Упаковка бит	1,8857	210	353
Вейвлетное преобразование	1,1629	237	411
Рамер-Дуглас-Пеккер	0,9981	746	901
Вейвлетное преобразование + упаковка бит	1,8657	303	535
Рамер-Дуглас-Пеккер+упаковка бит	1,8790	798	986

Как видно из таблиц 1 и 2 при достаточном количестве измерений алгоритмы работают лучше, если строить последовательности отдельно по каждому датчику. При дальнейшем увеличении количества измерений эта тенденция проявляется все ярче.

Таблица 3 – Результаты исследования для случая много параметров(50), мало измерений(3), построение последовательностей отдельно по каждому датчику

Алгоритм	Коэффициент сжатия	Время компрессии	Время декомпрессии
Упаковка бит	0,8077	418	665
Вейвлетное преобразование	0,7247	487	791
Рамер-Дуглас-Пеккер	0,6904	697	941
Вейвлетное преобразование + упаковка бит	0,7775	682	1062
Рамер-Дуглас-Пеккер+упаковка бит	0,8062	818	1102

Таблица 4 – Результаты исследования для случая много параметров(50), мало измерений(3), построение последовательностей по временным отсчетам

Алгоритм	Коэффициент сжатия	Время компрессии	Время декомпрессии
Упаковка бит	2,1780	210	373
Вейвлетное преобразование	1,1475	221	442
Рамер-Дуглас-Пеккер	1,1034	1426	1573
Вейвлетное преобразование + упаковка бит	2,1498	269	475
Рамер-Дуглас-Пеккер+упаковка бит	2,1894	1454	1642

При уменьшении количества измерений становится более эффективно формировать последовательности для временных отсчетов. В целом можно

отметить, что коэффициент сжатия алгоритмов находится в прямой зависимости от длины входящей последовательности. Но даже на таких небольших тестах мы видим, что алгоритмы эффективны и их применение не бесполезно. С точки зрения коэффициента сжатия конечно же выделяется последовательное применение алгоритма Рамера-Дугласа-Пеккера и упаковки бит. В тоже время вариант вейвлетного преобразования и упаковки бит хоть и проигрывает в отношении коэффициента сжатия, но зато выигрывает в скорости работы. Конечный выбор алгоритма должен главным образом зависеть от конкретных характеристик узлов сенсорной сети, а именно энергозатрат на работу процессора и передачу данных[6], так как в некоторых случаях дополнительное сжатие не покрывает затраты на работу процессора мобильного устройства.

**Выводы.** Проведен анализ методов компрессии сенсорных данных для понижения энергопотребления сенсорных сетей. Экспериментальный анализ показал эффективность данного подхода. Выбраны два наиболее перспективных алгоритма. В дальнейшем можно провести оптимизацию выбранных алгоритмов. Получены исходные данные для разработки системы, которая по предварительному анализу данных будет выбирать алгоритм, который с высокой вероятностью покажет лучший результат в данном конкретном случае.

### Список литературы

1. А.С. Дмитриев, Л.В. Кузьмин, А.И. Панас «Применение теории динамического хаоса в современных проблемах сверхширокополосной радиосвязи», 2011 г.
2. П.В. Галкин, Д.В. Карловский «Особенности реализации беспроводных сенсорных сетей на основе технологии zigbee», 2010 г.
3. М.А. Смирнов, «Обзор применения методов безущербного сжатия данных в СУБД», 2003 г.
4. Michael D. Adams, Faouzi Kossentini « Reversible Integer-to-Integer Wavelet Transforms for Image Compression: Performance Evaluation and Analysis», 1999г
5. Википедия/ Интернет-ресурс. - Режим доступа: [www/ URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Алгоритм\\_Рамера\\_–\\_Дугласа\\_–\\_Пеккера](http://ru.wikipedia.org/wiki/Алгоритм_Рамера_–_Дугласа_–_Пеккера) - Загл. с экрана.
6. Ranganathan Vidhyapriya, Ponnusamy Vanathi «Energy Efficient Data Compression in Wireless Sensor Networks», 2008 г.