

УДК 004.623

В.А. Радченко, Д.А. Руденко, В.Н. Ткачев, В.В. Токарев

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

## МОБИЛЬНАЯ ПОДСИСТЕМА «МУЛЬТИКОПТЕР–СЕНСОРНАЯ СЕТЬ» В КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЕ ХРАНЕНИЯ BIG DATA

*В работе рассматривается проблема хранения больших и сверхбольших объемов данных (Big Data) для их дальнейшей передачи, обработки и анализа. Источником данных является мобильная подсистема «Мультикоптер - сенсорная сеть». Проанализированы сценарии применения таких подсистем и их составляющие. Выработаны требования к системе хранения данных на основе характеристик сенсорной сети и системы передачи данных мультикоптерами. Приведено описание структуры системы хранения данных, ее основных компонент и предложен кортежный подход к хранению гетерогенных телеметрических данных. Обоснована необходимость применения трехзвенной архитектуры компьютерной системы хранения больших объемов данных, полученных из сенсорных сетей. Предложены варианты широко распространенных программных продуктов для практической реализации данной архитектуры.*

**Ключевые слова:** система хранения данных, big data, мультикоптер, сенсорная сеть, гетерогенные телеметрические данные, трехзвенная архитектура.

### Введение

На сегодняшний день синергия робототехники и информационных технологий стала результатом появления мультикоптерных систем. Такие системы обладают рядом преимуществ, например, высокая мобильность, маневренность, относительная дешевизна, способность осуществлять транспортировку грузов, вести фото- и видеосъемку и др. Наличие программно-аппаратной платформы и датчиков различного рода позволяет сказать, что возможности и сфера применения мультикоптеров ограничены только возможностью создать соответствующее программное обеспечение для реализации той или иной задачи.

Находят свое применение мультикоптеры и в создании мобильных систем передачи данных, в том числе, когда создание стабильного высокоскоростного канала связи невозможно либо сопряжено со значительными техническими трудностями, или же попросту нерентабельно. Подобные решения обусловлены задачами мониторинга природной среды, экологическим контролем водных ресурсов, отслеживанием сейсмической активности поверхности земли, выявлением лесных пожаров и т.д. [1]. Принимая во внимание, что в мировой практике при разработке мобильной системы передачи данных, основными требованиями являются: быстрая развертываемость, автономность, гарантированная доставка и хранение данных, остается актуальной тематика создания компьютерной системы хранения больших и сверхбольших объемов данных (Big Data) в мобильной подсистеме «мультикоптер-сенсорная сеть». Под сенсорной сетью в данном случае понимается набор одинаковых либо различных сенсоров (датчиков), распределенных по неко-

торой поверхности, являющейся объектом исследования. Датчики объединены между собой в единую сеть, которая позволяет фиксировать их показания одновременно. В случае отсутствия возможности периодического снятия собранных данных, они накапливаются до заполнения устройства хранения либо же перезаписываются поверх наиболее старых данных. Такой вариант используется в том случае, когда наибольшую ценность представляют только что собранные данные.

**Анализ публикаций.** На протяжении последних лет были опубликованы статьи, в которых рассматриваются вопросы передачи и обработки данных с использованием технических средств и последующим хранением Big Data. В работе [2] проводится анализ алгоритмов кластеризации датчиков в сенсорных сетях для достижения энергоэффективности и масштабирования таких сетей. В работе [3] рассматриваются текущие активные направления исследований относительно популярного направления Big Data; в частности, вопросам сбора, передачи и хранения информации уделено особое внимание, поскольку они напрямую определяют, насколько эффективной будет результирующая система. Структура хранения данных имеет фундаментальное значение для их последующей обработки и анализа, поскольку напрямую влияет на надежность хранения данных и скорость выполнения вычислительных, статистических, Data Mining алгоритмов и др. В работе [4] проводится подробный анализ эффективности передачи данных между мультикоптерами. В частности, выдвигается утверждение, что вследствие движения мультикоптеров структура компьютерной сети постоянно изменяется. Для эффективного обмена данными должно происходить постоянное обновление информации о состоянии каждого из мультикоптеров в группе, их положение относительно

друг друга и системы хранения данных. В результате исследований было проведено моделирование процессов обмена локальными данными внутри группы мультикоптеров про ее состояние и состав. Авторами сделаны предположения про возможность использования такого решения для создания комплексного решения распределенного сбора данных.

В работе [5] рассматривается архитектура комбинированной виртуально-материализованной среды интеграции неоднородных коллекций данных различного вида (структурированных, слабоструктурированных и неструктурированных). Растущая популярность использования слабоструктурированных баз данных (в различных видах NoSQL) наряду с реляционными базами, в совокупности с технологиями Hadoop и MapReduce, обеспечивающими параллельную обработку больших массивов слабоструктурированных данных, объясняется множеством фактических и потенциальных применений. Среди них - сенсорные сети, производственные и корпоративные приложения и пр. Такие компьютерные системы требуют использования данных, которые с трудом поддаются частичной структуризации. Разработка подхода к хранению больших данных с возможностью ее дальнейшей обработки является активно развивающимся направлением исследований.

### Постановка задачи исследования

Одним из основных параметров компьютерной системы является пропускная способность, то есть, соотношение объема переданных данных к времени их передачи. Если процедуру сбора данных с сенсорной сети и передача их в пункт сбора можно линейно масштабировать, увеличив количество мультикоптеров, то на конечную систему хранения данных накладываются определенные требования для минимизации задержек сохранения данных и обеспечения их целостности. Особенно критичными такие требования становятся в случае нестабильных внешних условий, которые могут нанести повреждения либо уничтожить любой из компонентов мобильной подсистемы «мультикоптер-сенсорная сеть», будь то набор датчиков, мультикоптер или интерфейс приема данных для хранения. В таком случае скорость передачи данных имеет приоритет, поскольку важно сбросить как можно больший объем данных до момента безвозвратной утери носителя. Корректно спроектированная структура данных позволяет минимизировать время, затрачиваемое на запись данных, обеспечить высокую пропускную способность благодаря возможности распараллеливания операции записи и гарантировать долговременное хранение полученных данных. В статье описывается структура компьютерной системы хранения Big Data в мобильной подсистеме «мультикоптер-сенсорная сеть».

### Короткое описание системы хранения данных в компьютерной системе

В рамках поставленной задачи возможны несколько вариантов моделей функционирования мультикоптера для такой системы:

- мультикоптер является транспортом устройства хранения данных;
- мультикоптер является носителем данных путем их сбора с сенсорной сети через проводной либо беспроводной канал связи;
- мультикоптер является носителем данных путем их сбора через беспроводной канал связи в результате перемещения вблизи устройства передачи данных в сенсорной сети.

В основе компьютерной системы хранения Big Data в мобильной подсистеме «Мультикоптер - сенсорная сеть» лежит трехзвенная архитектура:

- контроллер установления канала связи и получения данных из мультикоптера;
- подсистема буферизации;
- репозиторий данных, в качестве которого выступает база данных (БД).

Функциональная схема взаимодействия звеньев компонентов мобильной подсистемы «Мультикоптер - сенсорная сеть» в компьютерной системе хранения Big Data приведена на рис. 1.

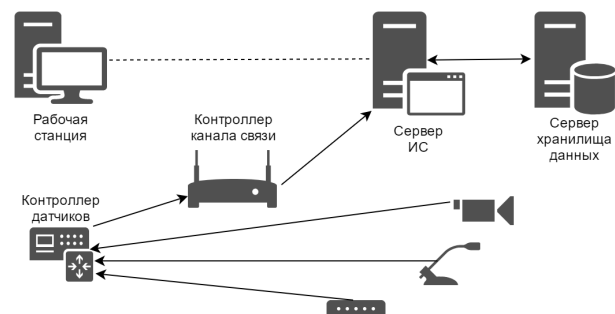


Рис. 1. Функциональная схема взаимодействия компонентов мобильной подсистемы «Мультикоптер - сенсорная сеть» в компьютерной системе хранения Big Data

Контроллер канала связи представляет собой аппаратно-программный комплекс, включающий:

- набор портов для подсоединения транспортируемого устройства хранения данных (например, твердотельного накопителя, SSD) и зарядки аккумуляторов мультикоптера;
- поддержку технологий IEEE 802.11ac, 802.11ad высокоскоростной беспроводной передачи данных.

Такой контроллер обеспечивает одновременное подключение до 5 мультикоптеров без потери скорости передачи данных по беспроводному каналу.

Подсистема буферизации представляет собой in-меморию хранилище данных, необходимое для

минимизации времени передачи данных в случае использования беспроводного канала связи. Так как подсистема долговременного хранения данных может обладать более низкой скоростью записи, чем канал связи, или же иметь низкую производительность при одновременном обслуживании нескольких потоков данных, то использование высокоскоростного буфера является обязательным условием для обеспечения высокоинтенсивного обмена данными и их целостности.

В качестве такого буфера предлагается использовать NoSQL хранилище типа «ключ-значение», поскольку подобные хранилища оптимизированы для высокоскоростного обмена данными. Дополнительными преимуществами NoSQL хранилищ является простота линейного масштабирования при увеличении нагрузки на систему, а также легкость установки и администрирования. В качестве такого хранилища было выбрано программное приложение Redis. К его недостаткам относится невозможность хранить больше данных, чем объем доступной оперативной памяти, но в данном случае это не является определяющим фактором и согласуется с поставленной задачей.

Для хранения данных, полученных из сенсорной сети, используется реляционная база данных Oracle 11g, которая сочетает в себе:

- простоту использования;
- достаточную функциональность;
- производительность для реализации больших и сверхбольших компьютерных систем.

Мультимедийные данные в виде электронных изображений или видеоданных хранятся непосредственно в файловой системе сервера.

Разработанная структура хранилища (рис. 2) поддерживает хранение следующих видов данных:

- метеорологические данные (облачность  $C$ , направление ветра  $dd$ , состояние почвы  $E$ , скорость ветра  $ff$ , порывы ветра  $G$ , давление  $P$ , осадки  $R24$ , относительная влажность  $RH$ , высота снежного покрова  $SD$ , температура  $T$ , точка росы  $Td$ , температура почвы  $Tg$ ,  $min$  - температура  $Tn$ , температура воды  $Tw$ ,  $max$  - температура  $Tx$ , видимость  $VV$ , погодные условия  $ww$ );
- сейсмические данные (время регистрации волн, сейсмограммы);
- анализ состава воздуха (концентрации газов и примесей);
- фотографии, видеозаписи, аудиозаписи.



Рис. 2. Структура хранилища данных

Облачное резервное копирование является опциональным компонентом, поскольку не для всех видов систем требуется безусловная сохранность собранных данных, по причине их невысокой ценности и нецелесообразности нести дополнительные затраты на хранилище для резервных копий. Тем не менее, поддерживается автоматическое резервирование с обязательным архивированием и шифрованием информации, передаваемой в «облако». В качестве провайдера облачного резервного копирования поддерживается Amazon Web Services S2 для регулярных копий высокой доступности и Amazon Web Services Glacier для долговременного хранения данных, имеющих наибольшую ценность.

Рассмотрим мобильную подсистему «Мультикоптер - сенсорная сеть» в компьютерной системе хранения Big Data как отображение  $M$  временного ряда  $t$  в неупорядоченное множество гетерогенных данных  $S$ , которые были собраны в каждый конкретный момент времени:

$$M=t \rightarrow S; t = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}, \quad (1)$$

где  $t_1, t_2, \dots, t_n$  - дискретное множество моментов времени с шагом  $t_s$ , в которые происходит фиксация измерений датчиков;  $S$  - множество, которое представляет собой набор кортежей разнородных данных:

$$S = \{s_i\}; s_i = \langle MT_i, SM_i, AC_i, PH_i, VD_i, SND_i \rangle, \quad (2)$$

где  $MT_i$  - кортеж метеорологических данных;  $SM_i$  - кортеж сейсмических данных;  $AC_i$  - кортеж данных о составе воздуха;  $PH_i$  - изображение;  $VD_i$  - видеофрагмент;  $SND_i$  - аудиозапись.

Следует отметить, что наличие всех элементов данных для некоторого  $s_i$  не является обязательным условием для его записи в хранилище данных (ХД).

Поддерживается хранение разреженных кортежей, т.е., таких кортежей, в которых отсутствует информация отдельных элементов, но под них выделена память. Это необходимо для поддержки узкоспециализированных сенсорных сетей, содержащих, например, лишь один тип датчиков.

Компьютерная система имеет 2 режима работы:

- штатный режим работы - данный режим является основным режимом функционирования всех подсистем. Этот режим обеспечивает использование предусмотренных средств резервирования для обеспечения балансировки нагрузки между основным и резервным комплектом программно-аппаратных средств;

- аварийный режим работы - полнофункциональная доступность сервисов базовых подсистем обеспечивается полностью за счет предусмотренных средств резервирования. Привлечение средств резервирования, в свою очередь, должно быть следствием одиночного отказа основного комплекта средств программно-аппаратного комплекса.

Предусмотрена подсистема самодиагностики и оповещения о сбоях и неполадках путем мониторинга основных параметров системы, а также сбора

статистики о режимах работы, состоянии мультикоптеров и передаваемых данных.

Для повышения надежности передачи данных рекомендуется зарезервировать внешние каналы связи на физическом уровне и произвести диверсификацию маршрутов передачи данных – рекомендуется использовать несколько независимых каналов связи. Оборудование основного и резервного каналов связи не должно иметь зависимых друг от друга источников электропитания. **Направлениями для дальнейших исследований** является расширение поддержки различных типов данных, реализация модульности системы, разработка математических моделей, методов и методик, позволяющих использовать различные сервисы хранения данных в зависимости от условий применения мобильной подсистемы «Мультикоптер - сенсорная сеть».

## Выводы

В статье описана структура мобильной подсистеме «Мультикоптер - сенсорная сеть» в компьютерной системе хранения Big Data. Приведена специфика применения и функционирования компонентов подсистемы, различные варианты передачи данных с помощью мультикоптеров, концепция хранения больших массивов данных.

Рассмотрены варианты использования существующего программного обеспечения для реализации рассмотренной архитектуры, в том числе NoSQL - решения в качестве компонента буферизации. Установлено, что облачное резервное копирование позволяет обеспечить сохранность данных в случае возможных ситуаций потери данных.

## МОБІЛЬНА ПІДСИСТЕМА «МУЛЬТИКОПТЕР - СЕНСОРНА МЕРЕЖА» КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ЗБЕРІГАННЯ BIG DATA

В.О. Радченко, Д.О. Руденко, В.М. Ткачов, В.В. Токарев

*В роботі розглядається проблема зберігання великих і надвеликих обсягів даних (Big Data) для їх подальшої передачі, обробки та аналізу. Джерелом даних є мобільна підсистема «Мультикоптер - сенсорна мережа». Проаналізовано сценарії застосування таких підсистем та їх складові. Виділені вимоги до системи зберігання даних на основі характеристик сенсорної мережі і системи передачі даних мультикоптерами. Наведено опис структури системи зберігання даних, її основних компонентів і запропонований короткезкий підхід до зберігання гетерогенних телеметричних даних. Обґрунтовано необхідність застосування триланкової архітектури комп'ютерної системи зберігання великих обсягів даних, отриманих з сенсорних мереж. Запропоновані варіанти широко поширених програмних продуктів для практичної реалізації даної архітектури.*

**Ключові слова:** система зберігання даних, big data, мультикоптер, сенсорна мережа, гетерогенна телеметрична інформація, трьохланкова архітектура.

## MOBILE SUBSYSTEM "MULTICOPTER - SENSORY NETWORK" IN BIG DATA COMPUTER STORAGE SYSTEM

V.O. Radchenko, D.O. Rudenko, V.M. Tkachov, V.V. Tokarev

*The paper discusses the problem of storing large and very large amounts of data (Big Data) for their further transfer, processing and analysis. The source of the data is the mobile sub-system "Multicopter-sensor network". Scenarios of application of such subsystems and their components are analyzed. The requirements for a data storage system based on the characteristics of a sensor network and a data transmission system by multicopters have been developed. A description of the structure of the data storage system, its main components, and a tuple approach to the storage of heterogeneous telemetry data are proposed. The necessity of using a three-tier architecture of a computer system for storing large amounts of data obtained from sensor networks is substantiated. Variants of widely distributed software products for practical realization of this architecture are offered.*

**Keywords:** data storage system, big data, multicopter, sensory network, heterogeneous telemetry information, three-link architecture.

Спектр возможных областей применения подсистемы достаточно широк, поэтому в каждом конкретном случае возможно внесение корректив и адаптация под текущие условия. Исследования проводились на базе научно- учебной лаборатории 373 кафедры Электронных вычислительных машин Харьковского национального университета радиоэлектроники.

## Список литературы

1. Токарев В.В. Проблема передачі даних типу BIG DATA у мобільній системі «мультикоптер-сенсорна мережа» / В.М. Ткачов, В.В. Токарев, В.О. Радченко, В.О. Лебедев // Системи управління, навігації та зв'язку - Полтава - 2017. - №2(42). – С.154-157.

2. M. Takizawa. A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks / International Journal of Space-Based and Situated Computing, Vol.1. DOI: 10.1504/IJSSC.2011.040339.

3. C.L. Philip Chen. Data-intensive applications, challenges, techniques and technologies: A survey on Big Data / Information Sciences 275 (2014) 314–347.

4. Саваневич В.Е. Метод передачі даних с проміжним зберіганням / В.Е. Саваневич, В.Н. Ткачев // Системи обробки інформації: збірник наукових трудов. - Х.: ХУВС ім. Івана Кожедуба, 2014. - Вып. 7 (123). - С. 99-105.

5. С. А. Ступников, А. Е. Вовченко. Комбинированная виртуально-материализованная среда интеграции больших неоднородных коллекций данных // Труды 16-й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» — RCDL-2014, Дубна, Россия, 13-16 октября 2014 г.

Надійшла до редколегії 11.04.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.О. Філатов., Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.