



ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ: СЕТИ И ТЕХНОЛОГИИ,

**АЛГЕБРАИЧЕСКОЕ КОДИРОВАНИЕ
И БЕЗОПАСНОСТЬ ДАННЫХ**

МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОГО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СЕМИНАРА

(Минск, апрель – декабрь 2017 г.)



Министерство образования Республики Беларусь
учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники»

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ: СЕТИ И ТЕХНОЛОГИИ,
АЛГЕБРАИЧЕСКОЕ КОДИРОВАНИЕ
И БЕЗОПАСНОСТЬ ДАННЫХ

МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОГО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СЕМИНАРА
(Минск, апрель – декабрь 2017 г.)

TELECOMMUNICATIONS: NETWORKS AND TECHNOLOGIES,
ALGEBRAIC CODING AND DATA SECURITY

Минск, 2017

УДК 621.391:004.056.55
ББК 32.811+32.973.26-018.2
Т31

Руководитель семинара В.К. Конопелько

Редакционная коллегия:

М.Н. Бобов, А.А. Борискевич, Т.В. Борботько, В.Ф. Голиков
В.А. Лабунюв, Л.М. Лыньков, В.Ю. Цветков, Л.А. Шичко

Т31 **Телекоммуникации:** сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных : материалы Международного научно-технического семинара (Минск, апрель – декабрь 2017 г.) Telecommunications: Networks and Technologies, Algebraic Coding and Data Security – Минск : БГУИР, 2017. – 96 с.

ISBN 978-985-543-312-6.

Сборник содержит статьи по телекоммуникациям: сетям телекоммуникаций и информационной безопасности в области научно-теоретических разработок и прикладных применений, алгебраическому кодированию и обработке изображений, программно-аппаратным и защитным средствам обеспечения в телекоммуникационных сетях.

Для научных сотрудников в области телекоммуникаций, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов технических вузов.

Научное издание

Корректор *О.В. Бойправ*

Ответственный за выпуск *В.К. Конопелько*

Компьютерный дизайн и верстка *Е.Г. Макейчик*

Подписано в печать 08.12.2012. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс». Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 10,46. Уч.-изд. л. 8,9. Тираж 115 экз. Заказ 760.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,

распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,

№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.

ЛП №02330/264 от 14.04.2014.

220013, Минск, П. Бровки, 6

ISBN 978-985-543-312-6
ISBN 978-985-543-243-3

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Шевчук О.Г., Зеленин А.С. Система геометрических признаков антропогенных объектов	5
Новицкий В.В., Сороговец Е.В., Конопелько В.К. Оценка эффективности вложенного кодирования изображений с предварительным квантованием.....	10
Лукашевич С.А., Урядов В.Н., Подлужный А.И. Измерение индикатрисы излучения беспилотных летательных аппаратов в статическом режиме	14
Макейчик Е.Г., Королёв А.И., Исакович М.Д., Ковалевский А.С. Мажоритарное декодирование циклических кодов при мягком принятии решения на выходе дискретного канала связи	19
Волков К.А., Кириллук Д.И., Настин А.А., Степанов Н.В., Цихуэй Ч., Аль-Рифаи А.Р. Сопровождение объектов на видеоизображениях с помехами.....	25
Бурш Ю.С. Синтез испытательных сигналов для ускоренных измерений амплитудно-частотной характеристики тракта радиовещания	30
Рабцевич В.В., Цветков В.Ю. Алгоритм нормализации яркости изображений атомно-силовой микроскопии	34
Зайцев А.С., Коротченя О.Н., Цветков В.Ю. Разработка комплекса мероприятий для обеспечения защиты SSL-сервера.....	40
Сиротко И.И., Горбуков А.Д., Галкин А.И., Котов М.Н., Черниченко А.А. Оценка влияния вибраций летательного аппарата на форму спектра интерферограммы с выхода бортового Фурье-видеоспектрометра.....	45
Алисеенко М.А., Кочеткова А.А., Никульшин Б.В. Качество обслуживания в мультисервисных сетях	50
Пархомик С.Ю., Семак А.Д., Селезнев И.Л. Автоматизация и масштабирование локальных вычислительных сетей с использованием SDN.....	57
Борискевич И.А., Аль Хашими Я.Э., Наиф Н.М.Н., Зябкин Д.М., Щерба Д.С. QR-алгоритм для вычисления обобщенных собственных значений матриц коэффициентов ковариации.....	64
Ловшенко И.Ю., Волчэк В.С., Дао Динь Ха, Ханько В.Т., Джамаль Саад А. Омер, Стемпицкий В.Р Технологические и конструктивные решения высокочастотных, мощных и оптоэлектронных приборов на основе нитрида галлия	70
Аврамов В.В., Герасимович В.Ю. Применение нейросетевого квантователя в аудиоречевом кодере на основе разреженной аппроксимации и исследование его эффективности	77
Синкевич И.В. Концепция терабитных суперканалов в DWDM-системах с большой пропускной способностью	83
Попов А.Н. Модель экспертной системы управления многоцелевыми работами.....	86
Чистобаев Д.В. Реализация десерилайзера TMDS-сигналов встроенными средствами ПЛИС фирмы Xilinx Spartan-6	89

CONTENTS

Shevchuk O.G., Zelenin A.S. System of geometric signs of anthropogenic objects	5
Navitski V.U., Saragavets E.U., Kanapelka V.K. Estimation of efficiency of images embedded coding with preliminary quantization	10
Lukashevich S.A., Urjadov V.N., Podluzhniy A.N. Measurement of ir radiation indicatrix of drones	14
Makeichik E.G., Korolev A.I., Isakovich M.D., Kovalevsky A.S. Correction of modular errors by block codes, built on the basis of composite self-ordogonal construction codes.....	19
Volkov K.A., Kiryluk D.I., Nastin A.A., Stepanov N.V., Qlhu Z., Al-Rifai A.R. Object tracking on video images with interference.....	25
Bursh Y.S. Synthesis of test signals for accelerated measurements of amplitude-frequency characteristics of the broadcasting track	30
Rabtsevich V.V., Tsviatkou V.Yu. Algorithm of normalization of brightness of images atomic-power microscopy	34
Zaitsev A.S., Korotchenja O.N., Tsviatkou V.Yu. Development of the complex of activities for protection of SSL-server	40
Sirotko I.I., Harbukou A.D., Galkin A.I., Kotau M.N., Chernichenko A.A. Evaluation of influence of aircraft vibrations on the form of interferogram spectrum from output of Fourier-videospectrometer	45
Aliseyenko M.A., Kachatkova A.A., Nykulshyn B.V. Quality of service in multiservice networks.....	50
Parkhomik S.U., Siamak A.D., Seleznev I.L. Automation and scaling of local networks with using SDN	57
Baryskiev I.A., Al Hashimi Ya.E., Naif N.M.N., Ziabkin D.M., Shcherba D.S. QR-algorithm for calculation of generalized eigenvalues of covariance matrices	64
Lovshenko I.Yu., Volcheck V.S., Khanko V.T., Dao Dinh Ha, Jamal Saad, Stempitsky V.R. Echnological and constructive solutions for high-frequency, powerful and optoelectronic devices based on gallium nitrideqr.....	70
Avramov V.V., Herasimovich V.Y. Application of the neural network quantizer in the audiospeech coder based on the sparse approximation and studying of its effectiveness.....	77
Sinkevich I.V. The concept of therapic supercannals in dwdm systems with large capacity	83
Papou A.M. Model of the expert system for management concurrent tasks.....	86
Chistobaev D.V. Deserialization of TMDS signals using embedded devices in FPGA Xilinx Spartan-6.....	89

**ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ: СЕТИ И ТЕХНОЛОГИИ,
АЛГЕБРАИЧЕСКОЕ КОДИРОВАНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ ДАННЫХ**

УДК 621.391

**СИСТЕМА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ
АНТРОПОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

О.Г. ШЕВЧУК, А.С. ЗЕЛЕНИН

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь**Поступила в редакцию 10 ноября 2017*

Предлагается система геометрических признаков антропогенного объекта аэроизображения на основе нескольких типов ключевых объектов и их характеристик в пространственной области. Показано, что использование данной системы приводит к приемлемым ошибкам первого и второго рода.

Ключевые слова: антропогенный объект, геометрические признаки, аэроизображение.

Введение

Основными задачами систем видеонаблюдения на базе беспилотного летательного аппарата (БЛА) являются идентификация, параметризация и поиск различных объектов. Особый интерес представляют рукотворные (антропогенные) объекты, которые созданы человеком для обеспечения его социальных потребностей и не обладают свойствами природных объектов [1]. В этой связи актуальна задача автоматического детектирования антропогенных объектов на кадрах видеопотока с борта БЛА. Существующие методы поиска антропогенных объектов можно разделить на четыре типа.

1. Методы на основе искусственных нейронных сетей [2]. Их основным недостатком является высокая вычислительная сложность, связанная с необходимостью предварительного обучения.

2. Методы на основе анализа периодических текстур [3]. Основным недостатком данных методов является узкая ориентация на распределенные антропогенные объекты (например, городские кварталы), что не позволяет их эффективно использовать для поиска сосредоточенных антропогенных объектов (дорог, отдельных строений).

3. Методы на основе спектральных признаков (вегетационный индекс, индекс влагосодержания, индикатор теней) [4]. Основной недостаток данных методов заключается в необходимости использования мультиспектральных камер для формирования аэроизображений.

4. Методы на основе пространственных признаков (характеристики окрестностей ключевых точек изображений) [5]. Данные методы используют, в основном, поиск аномалий (отклонений) распределения яркостей на аэроизображениях, что приводит во многих случаях к принятию неоднозначных решений и низкому быстродействию.

Для устранения представленных недостатков предлагается для поиска антропогенных объектов использовать систему их геометрических признаков, которая позволит произвести их выборку на аэроизображениях в условиях реального масштаба времени.

Система геометрических признаков антропогенных объектов

Предлагается система геометрических признаков антропогенного объекта аэроизображения на основе нескольких типов ключевых объектов и их характеристик в пространственной области. В качестве ключевых объектов использованы линии и углы, детектированные с использованием высокочастотных фильтров [6] (Кэни, Робертса и др.), и алгоритмы масочного поиска [7], соответственно.

На основе анализа детектированных краев выделенного сегмента аэроизображения сформированы следующие характеристики антропогенных объектов:

- наличие относительно ровного геометрического контура, состоящего из небольшого количества сегментов;

- отсутствие скопления мелких сегментов в контуре;

- отсутствие большого количества углов и концевых точек контура.

Исходя из предложенных характеристик антропогенных объектов, сформированы следующие их геометрические признаки для аэроизображений.

1. Количество выделенных линий сегмента $K_0 \in [1, 50]$. Из них количество длинных линий сегмента должно удовлетворять условию $K_{L_b} \in [1, 50]$. При этом под длинной линией понимается линия края, размер которой превышает 10 пикселей.

2. Отношения суммарного пиксельного размера длинных линий сегмента L_b к общему количеству пикселей в крае сегмента L_0 должно удовлетворять условию: $L_b/L_0 > 0,8$.

3. Для антропогенного объекта должно выполняться следующее условие:

$$\left\{ \begin{array}{l} O_E \leq 3; \text{ при } K_{L_b} > 0, \\ O_C \leq 0,1; \text{ при } K_{L_b} = 1 \cup O_E \neq 0, \\ \overline{O_C} \leq 0,1; \text{ при } K_{L_b} > 1, \\ O_L \in [0,6;1,7]; \text{ при } K_{L_b} = 2, \end{array} \right.$$

где $O_E = E_b/K_{L_b}$ – отношение общего числа концевых точек длинных линий E_b сегмента к их количеству K_{L_b} ; $O_C = C_{b_1}/L_{b_1}$ – отношение количества точек излома длинной линии C_{b_1} к ее

пиксельной длине L_{b_1} , $\overline{O_C} = \frac{\sum_{i=1}^{K_{L_b}} C_{b_i}/L_{b_i}}{K_{L_b}}$ – среднее арифметическое стека значений C_{b_i}/L_{b_i} , для

которых $O_E \neq 0$; $O_L = L_{b_1}/L_{b_2}$ – отношение пиксельного размера двух длинных линий относительно друг друга.

На основе представленной системы геометрических признаков антропогенных объектов сформирован следующий дескриптор:

$$\left\{ \begin{array}{l} D = \{K_0, L_0, K_{L_b}, L_b, O_E, O_C\}; \text{ при } K_{L_b} = 1 \cup O_E \neq 0, \\ D = \{K_0, L_0, K_{L_b}, L_b, O_E\}; \text{ при } K_{L_b} = 1 \cup O_E = 0, \\ D = \{K_0, L_0, K_{L_b}, L_b, O_E, \overline{O_C}, O_L\}; \text{ при } K_{L_b} = 2, \\ D = \{K_0, L_0, K_{L_b}, L_b, O_E, \overline{O_C}\}; \text{ при } K_{L_b} > 2. \end{array} \right.$$

Оценка эффективности системы геометрических признаков антропогенных объектов

Оценка эффективности разработанной системы проводилась в рамках ее использования в алгоритме поиска антропогенных объектов на аэроизображениях [8]. Данный алгоритм реализован на языке C++ с использованием библиотеки OpenCV 3.0. Эксперимент проведен на

ЭВМ со следующими техническими характеристиками: процессор Intel(R) Core(TM) i5-2320 CPU @ 3,0 ГГц; ОЗУ – 4 ГБ; тип системы – 64-разрядная операционная система Windows 7.

Пример работы системы геометрических признаков для поиска антропогенных объектов представлен на рис. 1.



Рис. 1. Детектирование антропогенных объектов на основе системы геометрических признаков: *а, в* – исходные аэроизображения; *б, г* – выделенные антропогенные объекты

Для первичного тестирования были сформированы 4 выборки аэроизображений, сделанных в разное время года и при различных погодных условиях, со следующими выделенными видами антропогенных объектов:

- строения различного назначения (рис. 2, *а*);
- коммуникации различного вида (рис. 2, *б*);
- измененная почва (рис. 2, *в*);
- транспортные средства различного вида (рис. 2, *г*).

Для вторичного тестирования была сформированная выборка аэроизображений без антропогенных объектов (рис. 2, *д*).

В качестве критериев эффективности системы геометрических признаков для поиска антропогенных объектов на аэроизображениях использованы ошибки первого и второго рода.

Ошибка первого рода для каждого вида антропогенного объекта определялась с помощью выражения:

$$N_1 = \frac{I_e}{I_0},$$

где I_e – количество изображений с пропущенными антропогенными объектами, I_0 – общее количество изображений выборки с заданным видом антропогенного объекта.

Ошибка второго рода определялась с помощью выражения:

$$N_2 = \frac{I_e}{I_0},$$

где I_e – количество изображений с детектированными ложными антропогенными объектами, I_0 – общее количество изображений выборки без антропогенных объектов.



Рис. 1. Тестовые изображения: *a* – строения различного назначения; *б* – коммуникации различного вида; *в* – измененная почва *г* – транспортные средства различного вида; *д* – аэроизображение без антропогенных объектов

Установлено, что применение представленной системы позволяет детектировать антропогенные объекты различного типа с ошибкой первого рода от 0,13 до 0,87 в зависимости от вида объекта и ошибкой второго рода равной 0,47 (см. таблицу).

Значения ошибок первого и второго рода при поиске антропогенных объектов

Алгоритм поиска антропогенных объектов на основе их геометрических признаков	N_1				N_2
	Объекты вида 1	Объекты вида 2	Объекты вида 3	Объекты вида 4	
	0,47	0,13	0,87	0,13	0,47

Заключение

Разработана система геометрических признаков антропогенного объекта аэроизображения, которая позволяет детектировать антропогенные объекты с приемлемыми ошибками первого и второго рода. К недостаткам предложенной системы следует отнести зависимость результатов формирования дескриптора от предобработки изображения и невозможность применения для детектирования небольших (5–7 пикселей) антропогенных объектов.

SYSTEM OF GEOMETRIC SIGNS OF ANTHROPOGENIC OBJECTS

O.G. SHAUCHUK, A.S. ZELENIN

Abstract

A system of geometric features of an anthropogenic aerial image object is proposed based on several types of key objects and their characteristics in the spatial domain is proposed. It is shown that the use of this system leads to acceptable errors of the first and second kind.

Keywords: anthropogenic object, geometrical characteristics, aerial-image.

Список литературы

1. Ст. 1 Закон РБ Об охране окружающей среды от 26 ноября 1992 г. №1982-ХП
2. Международная конференция компьютерной графики и зрения. Новосибирск, 2006. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://graphicon.ru/html/2006/proceedings/papers/fr10_34_VezhnevetsA.pdf
3. Старовойтов В.В. Локальные геометрические методы цифровой обработки и анализа изображений. Минск, 1997.
4. Борзов С.М., Потатуркин О.И. // Автометрия. 2012. №5. С. 104–111.
5. Борзов С.М., Потатуркин А.О. // Вест. НГУ. Сер.: Информ. технологии. 2012. №3. С. 58–65.
6. Sanny J. // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. Vol. 8, №6. P. 679–698.
7. Шевчук О.Г. // Докл. БГУИР. 2016. №7(101). С. 221–225.
8. Шевчук О.Г., Цветков В.Ю. // Докл. БГУИР. 2016. №8(110). С. 6–11.

УДК 621.391

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЛОЖЕННОГО КОДИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ КВАНТОВАНИЕМ

В.В. НОВИЦКИЙ, Е.В. СОРОГОВЕЦ, В.К. КОНОПЕЛЬКО

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 16 ноября 2017

Приведены результаты сравнения эффективности кодеков НВСТ и MQ при сжатии с потерями.

Ключевые слова: сжатие изображений, квантование, эффективное кодирование.

Введение

Ограничение пропускной способности каналов передачи данных не позволяет передавать видеoinформацию без сжатия. Для сжатия изображений используется, как правило, их квантование в пространственной области или области преобразования, а также эффективное кодирование квантованных значений. В такой схеме сжатие достигается в основном за счет потери и ухудшения локального контраста мелких деталей изображения и реализуется с помощью квантования. Широкое распространение получил алгоритм MQ эффективного кодирования, реализованный в кодере JPEG2000 [1]. Его основным недостатком является высокая вычислительная сложность, затрудняющая аппаратную реализацию. В [2] предложен алгоритм НВСТ (Hardware Block Cluster Tree) эффективного кодирования, основанный на иерархической кластеризации сегмента битовой плоскости фиксированного размера и построении оптимального кода на основе оценки компактности кластеризованного сегмента. Этот алгоритм реализует быстрое кодирование вейвлет-коэффициентов исходного полутонового изображения и предполагает множественное распараллеливание и аппаратную реализацию с низкими вычислительными затратами. Прототипами данного алгоритма являются алгоритмы вложенного кодирования SPECK [3] и МЕСТ [4].

Целью работы является оценка эффективности алгоритма НВСТ для сжатия полутоновых изображений с потерями в сравнении с алгоритмом MQ при использовании различных алгоритмов и параметров квантования.

Особенности алгоритма НВСТ

Алгоритм НВСТ использует Z -перестановку вейвлет-коэффициентов. На рис. 1 приведены траектории рекурсивной развертки (Z -развертки), описывающей Z -перестановку. При этом формируются двухмерный массив координат Z -развертки $Z = z(i, j)_{(i=0, \overline{1}, j=0, \overline{N-1})}$ (пример приведен на рис. 2), матрица вейвлет-коэффициентов $C = c(i, j)_{(i=0, \overline{\sqrt{N}-1}, j=0, \overline{\sqrt{N}-1})}$ размерностью $\sqrt{N} \times \sqrt{N}$ преобразуется в одномерный массив $C_Z = c_Z(i)_{(i=0, \overline{N-1})}$. Такая перестановка вейвлет-коэффициентов позволяет учитывать пространственное масштабирование вейвлет-дерева и структуры выходного потока, сохранить корреляцию значений соседних вейвлет-коэффициентов, а также существенно снижает вычислительную сложность их кодирования.

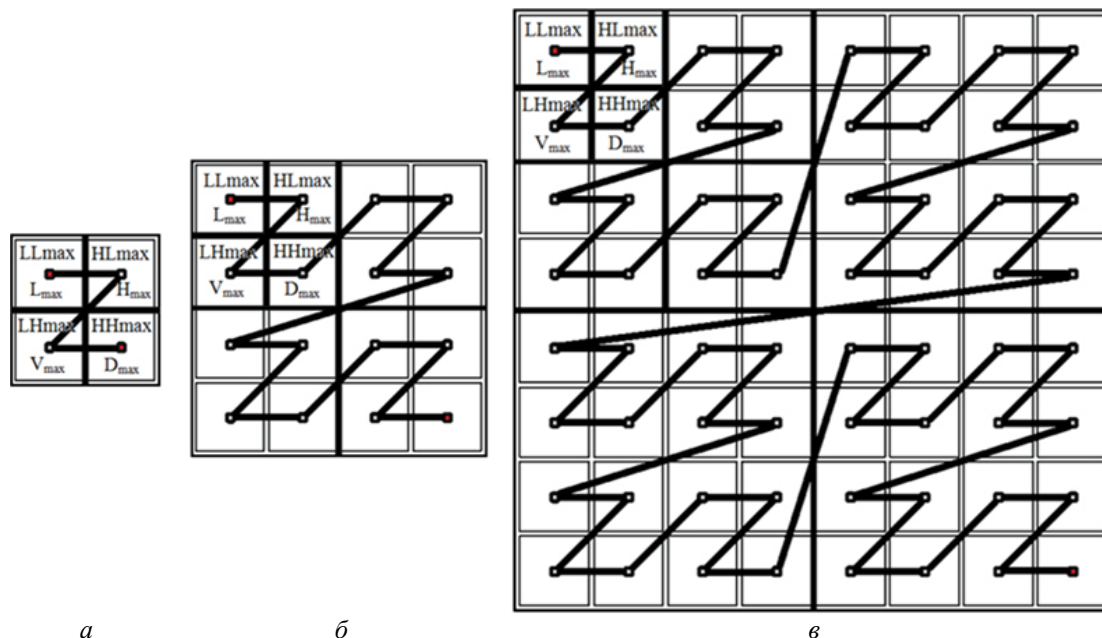


Рис. 1. Траектории рекурсивной Z-развертки для трех матриц вейвлет-коэффициентов:
a – 2×2 пикселя; *б* – 4×4 пикселя; *в* – 8×8 пикселей

	Текущий индекс	(Y, X)-координаты массива
<i>LL2</i>	0	(0, 0)
<i>HL2</i>	1	(0, 1)
<i>LH2</i>	2	(1, 0)
<i>HH2</i>	3	(1, 1)
<i>HL1</i>	4	(0, 2)
	5	(0, 3)
	6	(1, 2)
	7	(1, 3)
<i>LH1</i>	8	(2, 0)
	9	(3, 0)
	10	(2, 1)
	11	(3, 1)
<i>HH1</i>	12	(2, 2)
	13	(2, 3)
	14	(3, 2)
	15	(3, 3)

Рис. 2. Пример массива координат Z-перестановки для матрицы вейвлет-коэффициентов 4×4 пикселя

На основе битовых плоскостей переставленных вейвлет-коэффициентов формируются кодовые блоки. Выбор размера N_{CB} кодового блока влияет на быстродействие, степень сжатия и вычислительную сложность алгоритма НВСТ. Как правило, чем больше N_{CB} , тем выше степень сжатия, но тем больше аппаратных ресурсов требует алгоритм для своей реализации. Установлено, что наибольшие коэффициенты сжатия при допустимой вычислительной сложности для спутниковых изображений можно получить при размере кодового блока $N_{CB} = 1024$ элемента. Исходя из выбранного размера кодового блока, рассчитывается максимальное число уровней кластеризации $L_M = \log_4 N_{CB}$. Кодирование начинается со

старшей битовой плоскости и нулевого блока. Количество кодовых блоков для битовой плоскости определяется частным N / N_{CB} .

Оценка эффективности алгоритмов кодирования для сжатия потерями

Для сравнения алгоритмов эффективного кодирования для сжатия с потерями в среде Matlab реализована схема, приведенная на рис. 3. Она включает следующие блоки: прямого и обратного вейвлет-преобразований, квантования и восстановления значений вейвлет-коэффициентов, эффективного кодирования и декодирования, оценки размера исходного изображения, объема кода и коэффициента сжатия (CR), вычисления PSNR, формирования зависимости PSNR(CR). На входы схемы подаются исходное полутоновое изображение и коэффициент, определяющий потери при квантовании. На выходах схемы формируются восстановленное изображение и зависимость PSNR(CR) в виде таблицы, которая может быть представлена в графическом виде. Сжатие в данной схеме обеспечивается за счет потерь при квантовании и эффективного кодирования. Само эффективное кодирование потерь не вносит. В блоках эффективного кодирования и декодирования используются алгоритмы HBCT и MQ.

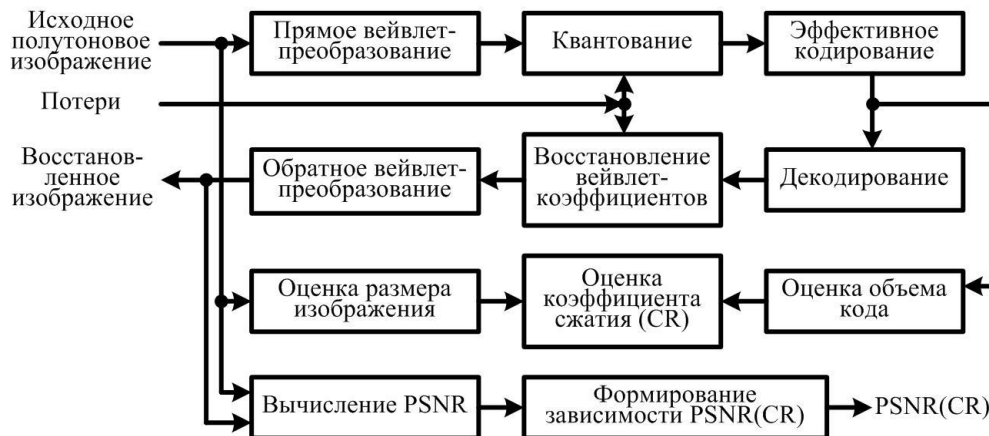


Рис. 3. Схема сравнения алгоритмов эффективного кодирования для сжатия с потерями

На рис. 4 приведены зависимости PSNR(CR) для кодеков HBCT и MQ, полученные с помощью схемы, приведенной на рис. 3. Как следует из рис. 4, кодеры HBCT и MQ обеспечивают приблизительно одинаковые потери при равных коэффициентах сжатия. При этом кодек HBCT имеет существенно меньшую вычислительную сложность в сравнении с кодеком MQ.

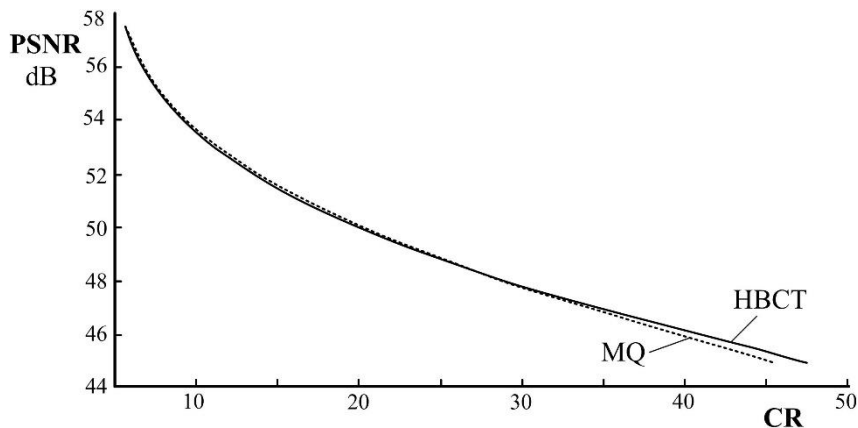


Рис. 4. Зависимости PSNR(CR) для кодеков HBCT и MQ

Заклучение

Проведена оценка эффективности НВСТ для сжатия полутоновых изображений с потерями по сравнению с MQ при использовании различных алгоритмов и параметров квантования. Установлено, что кодек НВСТ обеспечивает приблизительно одинаковые потери по сравнению с кодеком MQ при равных коэффициентах сжатия, но характеризуется существенно меньшей вычислительной сложностью.

ESTIMATION OF EFFICIENCY OF IMAGES EMBEDDED CODING WITH PRELIMINARY QUANTIZATION

V.U. NAVITSKI, E.U. SARAGAVETS, V.K. KANAPELKA

Abstract

The results of the comparison of the effectiveness of HBCT and MQ codecs for lossy compression are presented.

Keywords: image compression, quantization, efficient coding.

Список литературы

1. *Taubman D.S., Marcellin M.W.* JPEG2000: Image Compression Fundamentals, Standards and Practice. Boston, 2002.
2. *Новицкий В.В., Цветков В.Ю. и др.* // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных: материалы междунар. научно-технич. семинара. 2016. Ч. 1. С. 43–50.
3. *Islam A., Pearlman W.A.* // ISO/IEC/JTC1/SC29. 1998. №873. P. 312–326.
4. *Борискевич А.А., Цветков В.Ю.* // Докл. НАН Беларуси. 2009. Т. 53. №3. С. 38–48.

УДК 621.396.624

ИЗМЕРЕНИЕ ИНДИКАТРИСЫ ИЗЛУЧЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В СТАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

С.А. ЛУКАШЕВИЧ, В.Н. УРЯДОВ, А.И. ПОДЛУЖНЫЙ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 18 ноября 2017

Предложена методика измерения и пересчета термографических изображений беспилотных летательных аппаратов в индикатрису излучения в инфракрасном диапазоне длин волн.

Ключевые слова: инфракрасное излучение, беспилотный летательный аппарат, индикатриса, энергетические характеристики.

Введение

В последние годы стали часто применяться беспилотные летательные аппараты (БЛА), которые могут использоваться как для ведения воздушной разведки, так и для наблюдения, мониторинга, в том числе в военных целях. Основные отличия БЛА от пилотируемых летательных аппаратов (ЛА) заключаются в их малых размерах, низкой мощности двигателя и широком применении в процессе производства композитных материалов, что существенно осложняет их обнаружение имеющимися на вооружении средствами оптоэлектронных устройств (ОЭУ) инфракрасного диапазона (ИК). Таким образом, на данный момент существует необходимость проведения работ по измерению энергетической силы излучения БЛА и оценки возможности их обнаружения. Кроме этого, анализ индикатрис излучения позволит производителям БЛА разработать мероприятия по снижению заметности.

Обоснование методики измерений энергетических характеристик БЛА в ИК-диапазоне в статическом режиме

Основными источниками ИК-излучения БЛА являются его силовая установка и составные элементы (блок(-и) цилиндров, головка(-и) блока цилиндров (ГБЦ), система выпуска отработанных газов (ОГ)), а также струя выхлопных газов. Мероприятия, направленные на снижение ИК-излучения, могут привести к нежелательным изменениям летно-эксплуатационных характеристик БЛА, а также повлиять на боевую эффективность. Мероприятия по снижению инфракрасной заметности БЛА являются эффективными, в случае если они не изменяют тактико-технические характеристики ЛА при достижении заданных уровней ИК-излучения.

При проведении экспериментальных исследований БЛА устанавливается на поворотном устройстве (подвешивается на подъемном кране). Размеры площадки при этом должны позволять разместить измерительный прибор таким образом, чтобы исследуемый объект полностью попадал в поле его зрения. Для того чтобы исключить влияние фоновой засветки, измерения необходимо проводить либо в ясную погоду после захода солнца, либо в пасмурную погоду, но при условии отсутствия осадков или тумана. Измерения индикатрисы следует проводить в нескольких режимах работы силовой установки: форсажном, крейсерском и полетном малом газе. Для построения индикатрисы необходимо выбирать достаточное количество углов визирования и шаг их регулирования. Так как большинство головок

самонаведения управляемых ракет работают в диапазонах 1,8–3,2 мкм, 3,5–5,5 мкм, 6–14 мкм, то и измерения следует проводить в данных спектральных диапазонах. Измерения в ИК-диапазоне следует проводить в определенной последовательности.

1. Установка и фиксация БЛА в пространстве для достижения требуемых углов визирования.

2. Наведение измерительного прибора (тепловизора, радиометра) на объект измерения при помощи визирного устройства либо с учетом максимального принимаемого сигнала.

3. Измерение фонового ИК-излучения при неработающем двигателе. В случае применения радиометра (без возможности визуального наведения).

4. Вывод двигателя на необходимый режим и стабилизация его в течение заданного времени.

5. Измерение ИК-излучения прибором.

В ходе измерений необходимо также регистрировать температуру, относительную влажность, атмосферное давление воздуха, расстояние от измерительного прибора до объекта, угол визирования и азимут.

При проведении измерений тепловизорами необходимо преобразовать результат измерений полученных матриц температур (термограмм) в энергетические характеристики. На первом этапе преобразований необходимо вырезать из термограмм ячейки, которые не относятся к образу объекта исследования, с целью исключения влияний излучающих объектов, попавших в поле зрения измерительного прибора. После этого над матрицей температур можно производить преобразования по формулам Стефана-Больцмана или Планка [1].

После преобразования таблицы температур и вычитания фона следует рассчитать соответствующие энергетические характеристики.

$$M_e = \frac{\partial \Phi_e}{\partial S} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right], \quad (1)$$

где M_e – энергетическая светимость (поверхностная плотность потока энергии излучаемого площадкой), Φ_e – поток энергии, S – площадь излучающей площадки.

Энергетическая светимость может быть рассчитана по формуле Стефана-Больцмана для абсолютно черного тела (АЧТ):

$$M_e = \sigma T^4 \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right]. \quad (2)$$

Так как измерения проводятся для серого тела, то в формулу Стефана-Больцмана вводится параметр ε – коэффициент излучения с учетом обратного преобразования. Для исключения влияния данного коэффициента необходимо при расчетах использовать значение, установленное в тепловизионном приборе при измерении термограмм. Кроме этого, необходимо рассчитывать поток излучения относительно фона, поэтому формула Стефана-Больцмана приобретает вид:

$$M_e = \varepsilon \sigma (T_{об}^4 - T_{сп}^4) \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right], \quad (3)$$

где $T_{сп}$ – температура окружающей среды, $T_{об}$ – температура объекта.

С учетом того, что термограмма представляет собой набор пикселей с различными температурами, то для перехода от энергетической светимости к потоку излучения используются следующие выражения:

$$\Phi_e = M_e S \left[\text{Вт} \right], \quad (4)$$

$$\Phi_e = \varepsilon \sigma S_{пов} \sum_{i=1}^{N_{РКУ}} \sum_{j=1}^{N_{РЛХ}} (T_{обij}^4 - T_{сп}^4) \left[\text{Вт} \right], \quad (5)$$

где $S_{пов}$ – площади проекции части воздушной цели на картинную плоскость, проходящую через центр масс БЛА) и регистрируемую одним пикселем тепловизора; $N_{РКУ}$ – разрешающая

способность тепловизионного прибора по вертикали; N_{PIXX} – разрешающая способность тепловизионного прибора по горизонтали; $T_{обij}$ – температура пикселя с координатами i и j из термограммы в K .

$$S_{пов} = \frac{S_{FOV}}{R} [M^2], \quad (6)$$

где S_{FOV} – площадь картинной плоскости, регистрируемой полным полем зрения тепловизора; R – количество пикселей матрицы тепловизора.

$$S_{FOV} = 4d^2 \tan\left(\frac{\alpha_{FOVH}}{2}\right) \tan\left(\frac{\alpha_{FOVV}}{2}\right) [M^2], \quad (7)$$

где d – расстояние до картинной плоскости (объекта); α_{FOVH} – горизонтальный угол зрения тепловизора; α_{FOVV} – вертикальный угол зрения тепловизора.

$$R = N_{PIXY} N_{PIXX}, \quad (8)$$

где N_{PIXY} – разрешающая способность тепловизионного прибора по вертикали, N_{PIXX} – разрешающая способность тепловизионного прибора по горизонтали.

Тогда общее выражение для определения потока излучения, исходя из закона Стефана-Больцмана принимает вид:

$$\Phi_e = \varepsilon\sigma \frac{4d^2 \tan\left(\frac{\alpha_{FOVH}}{2}\right) \tan\left(\frac{\alpha_{FOVV}}{2}\right)}{N_{PIXY} N_{PIXX}} \sum_{i=1}^{N_{PIXY}} \sum_{j=1}^{N_{PIXX}} (T_{обij}^4 - T_{cp}^4) [Вт], \quad (9)$$

Энергетическая яркость показывает, как сильно излучает тело в заданном направлении. Это важная характеристика, поскольку при расчете теплообмена излучением приходится рассчитывать потоки от данной поверхности на другие тела, произвольно расположенные в пространстве. Большинство технических материалов с шероховатой, окисленной или «матовой» поверхностью являются так называемыми диффузными излучателями [2]: их энергетическая яркость не зависит от направления (угла Ψ). Для таких плоских излучателей, как показано ниже, энергетическая светимость M_e (по всем направлениям внутрь полусферы) связана с энергетической яркостью L соотношением [2]:

$$L = \frac{M_e}{\pi} \left[\frac{Вт}{Cp \times M^2} \right], \quad (10)$$

где M_e – плотность потока (энергетическая светимость) по всем направлениям внутрь полусферы. Следовательно, поток излучения в заданном направлении можно рассчитать следующим образом:

$$\Phi_e = \frac{M_e S}{\pi} d\omega \times \cos \psi \left[\frac{Вт}{Cp} \right], \quad (11)$$

$$\Phi_e = \frac{M_e S}{\pi} \left[\frac{Вт}{Cp} \right]. \quad (12)$$

Тогда энергетическая сила излучения в направлении перпендикулярном картинной плоскости [3]:

$$\Phi_e = \frac{\varepsilon\sigma}{\pi} \frac{4d^2 \tan\left(\frac{\alpha_{FOVH}}{2}\right) \tan\left(\frac{\alpha_{FOVV}}{2}\right)}{N_{PIXY} N_{PIXX}} \sum_{i=1}^{N_{PIXY}} \sum_{j=1}^{N_{PIXX}} (T_{обij}^4 - T_{cp}^4) \left[\frac{Вт}{Cp} \right], \quad (13)$$

Выражение (13) можно использовать для расчетов энергетических характеристик при проведении косвенных измерений.

Экспериментальные исследования

Экспериментальные исследования проводились для оценки возможности использования измерительных тепловизоров с целью получения индикатрисы излучения БЛА с двухтактным четырехцилиндровым двигателем внутреннего сгорания и дальнейшего построения индикатрисы излучения в ИК-диапазоне.

Тестовая термограмма сделана при угле визирования 0° и азимуте 180° (рис. 1).



Рис. 1. Тестовая термограмма БЛА (угол визирования – 0° , азимут – 180°)

Предварительный расчет энергетической светимости БЛА произведен для азимута 90° и угла визирования 0° . При проведении основных измерений, расчет будет выполнен для сферы (полусферы) с дискретностью углов места и азимутов, равными 15° . Энергетическая сила излучения для данной термограммы, исходя из выражения (13), в этом случае будет равна:

$$\Phi_e = 4,652 \left[\frac{\text{Вт}}{\text{Ср}} \right].$$

Заключение

Предложенная методика позволяет измерять энергетические характеристики БЛА косвенным методом, что подтверждено теоретическими расчетами и экспериментальными исследованиями. При статических измерениях с различными углами визирования и азимутами, возможно получить индикатрису ИК-излучения для БЛА в сфере либо полусфере, посредством которой можно определить энергетический поток, попадающий на линзу головки самонаведения, в зависимости от расстояния, угла визирования, азимута и затухания в атмосфере.

MEASUREMENT OF IR RADIATION INDICATRIX OF DRONES

S.A. LUKASHEVICH, V.N. URJADOV, A.N. PODLUZHNIY

Abstract

Methodic of measurement and calculation of drone's thermographic images to indicatrix of radiation in infrared wavelength range is proposed.

Keywords: infrared radiation, drone, indicatrix, energy characteristic.

Список литературы

1. Ландсберг Г.С. Оптика. М., 2003.
2. Солодов А.П. Тепломассообмен в энергетических установках. Инженерные методы расчета. М., 2015.
3. User's manual FLIR. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://panelmeters.weschler.com/Asset/Flir-I-series-user-manual.pdf>.

УДК 621.391.14

МАЖОРИТАРНОЕ ДЕКОДИРОВАНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ КОДОВ ПРИ МЯГКОМ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЯ НА ВЫХОДЕ ДИСКРЕТНОГО КАНАЛА СВЯЗИ

Е.Г. МАКЕЙЧИК, А.И. КОРОЛЁВ, М.Д. ИСАКОВИЧ, А.С. КОВАЛЕВСКИЙ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 22 октября 2017

Рассматривается метод построения и дается оценка корректирующей способности блочного кода на основе составного самоортогонального сверточного кода (СССК) с пороговым алгоритмом декодирования, корректирующего модульные ошибки. Установлено, что при блочном способе кодирования и декодирования двоичных символов (битов) информационных сообщений составными СССК с пороговым алгоритмом декодирования, обеспечивается коррекция модульных ошибок в α ($\alpha \geq 2$) раз большей кратности, чем кратность ошибок, корректируемых исходным (базовым) самоортогональным сверточным кодом (ССК).

Ключевые слова: самоортогональный сверточный код, блочный код, каналный кадр, каналный декодер, кратность ошибок.

Теория построения составных помехоустойчивых кодов рассматривается в работах [1–6]. Достоинство составных кодов заключается в увеличении в α ($\alpha \geq 2$) раз корректирующей способности исходных (базовых) помехоустойчивых кодов. Параметр α носит название коэффициента перемежения информационных символов, участвующих в формировании проверочных символов кода. Способ перемежения информационных символов может быть *простой* или *обобщенный* [5, 7]. Сущность *простого* способа перемежения при кодировании информационных символов состоит в том, что все показатели степеней порождающего полинома $P(x)$ базового кода умножаются на α или в порождающей $G(x)$ и проверочной $H(x)$ матрицах базового кода вводится $(\alpha - 1)$ нулевых строк и нулевых столбцов соответственно. При *обобщенном* способе перемежения в порождающей $G(x)$ и проверочной $H(x)$ матрицах базового кода вводится $(\alpha - 1)$ нулевых строк и столбцов, задаваемых показателями степеней $P(x)$, которые умножаются только на коэффициент перемежения α . Параметры составного кода с коэффициентом перемежения α ($\alpha \geq 2$), построенного на основе базисного кода с параметрами $P(x) = x^m + x^{m-i} + \dots + x^{m-j} + \dots + 1$, $i \neq j \geq 1$, $t_{\text{исп}} \leq (d_0 - 1)/2$, $t_{\text{обн}} \leq d_0 - 1$ будут равны: $P_c(x) = x^{\alpha m} + x^{\alpha m-i} + \dots + x^{\alpha m-j} + \dots + x^{\alpha m-j} + \dots + 1$, $t_{\text{исп.с}} \leq \alpha \cdot (d_0 - 1)/2$ и $t_{\text{обн.с}} \leq \alpha(d_0 - 1)$ бит. Таким образом, использование метода построения составного кода позволяет увеличить в α ($\alpha \geq 2$) раз корректирующую способность базисного кода при сохранении выбранного алгоритма декодирования.

Принципиальное отличие ССК с пороговым алгоритмом декодирования от групповых блочных кодов состоит в способе формирования кодовых символов, а именно, при использовании ССК с пороговым алгоритмом декодирования процесс кодирования или

формирование кодовых символов осуществляется непрерывно: нет четкого деления на блок из « k » информационных символов и блок из « l » проверочных символов, составляющих кодовую последовательность длиной (кратностью) $n = k + l$ двоичных символов или бит.

Для построения блочного кода на основе составного ССК с пороговым алгоритмом декодирования и корректирующего модульные ошибки, необходимо перейти от непрерывного способа кодирования информационных символов к блочному. Переход от непрерывного способа кодирования информационных символов на основе ССК с алгоритмом порогового декодирования к блочному способу кодирования выполняется по описанному далее [4, 6].

1. Для заданной скорости передачи кода $R = k_0/n_0$ или допустимой избыточности передаваемой информации $r = (1 - R)$ выбираются порождающие полиномы.

2. Показатели степеней выбранных порождающих полиномов умножаются на коэффициент перемежения α .

3. Определяется минимально допустимое количество передаваемых (кодируемых) информационных символов, используя следующее равенство неравенство

$$k_c \geq 2 \cdot m + 1, \text{ [бит]}, \quad (1)$$

где m – максимальная степень порождающих полиномов.

4. Длина кодовой последовательности равна

$$n_c = 2 \cdot k, \text{ [бит]}. \quad (2)$$

5. Минимальное кодовое расстояние равно

$$\alpha_{\text{обн.с}} = \alpha \cdot d_0 = \alpha(J + 1),$$

где J – число ортогональных проверок кода.

6. Кратность корректируемых ($t_{\text{исп.}}$) и обнаруживаемых $t_{\text{обн.}}$ ошибок соответственно равны $t_{\text{исп.с}} \leq \alpha(d_0 - 1)/2$, [бит]; $t_{\text{обн.с}} \leq \alpha(d_0 - 1)$, [бит]. (3)

7. Скорость передачи формируемого блочного кода зависит от способа формирования кодовой последовательности $F(x)$, а именно, для выбранного ССК с $R = k_0/n_0 = 2/3$ возможно построение канального кодека со скоростями передачи $R_1 = 2/3$ и $R_2 = 1/3$.

Далее рассматривается принцип построения канального кодека с $R = 2/3$.

Коррекцию модульных ошибок рассмотрим на примере использования блочного кода построенного на основе ССК с алгоритмом порогового декодирования со скоростью передачи кода $R = k_0/n_0 = 2/3$, $r = (1 - R) \cdot 100\% = (1 - 0,66) \cdot 100\% = 34\%$, $J = 3$. Из [5] выписываем табулированные порождающие полиномы исходного (базового) самоортогонального сверточного кода, реализующего пороговый алгоритм декодирования: $q_1(x) = x^7 + x^1 + 1$, $q_2(x) = x^8 + x^3 + 1$, $J = 3$.

Далее рассчитываем параметры составного блочного кода на основе выбранного ССК, используя выражение (1)–(3). Выбираем значение коэффициента перемежения кодируемых информационных символов $\alpha = 2$.

Параметры составного блочного кода на основе выбранного ССК определяем по формулам (1)–(3):

$$P_{1c}(x) = x^{\alpha \cdot 7} + x^{\alpha \cdot 1} + 1 = x^{2 \cdot 7} + x^{2 \cdot 1} + 1 = x^{14} + x^2 + 1,$$

$$q_{2c}(x) = x^{\alpha \cdot 8} + x^{\alpha \cdot 3} + 1 = x^{2 \cdot 8} + x^{2 \cdot 3} + 1,$$

$$k_c = 2 \cdot m + 1 = 2 \cdot 8 + 1 = 17 \text{ бит},$$

равную величину $(2 \cdot n_a - R)$, где $n_a = (m+1) \cdot n_0$ – длина кодового отражения базового ССК. Следовательно, информационный символ с наименьшим индексом информационного блока k_c имеет в блоковом коде значение $N = n_a \cdot R$. В рассматриваемом примере $N_1 = 8$ и $N_2 = 9$ соответственно для первой и второй систем формируемых проверок.

На рис. 2 приведены обобщенные структурные схемы канального кодера (а) и канального декодера (б), выполненных на основе рассмотренных параметров составного ССК, реализующих блочный способ кодирования и декодирования символов: \oplus – сумматор по модулю два; ФСПСП – формирователь символов псевдослучайной последовательности; БУ – буферное устройство, ДМХ – демультиплексор; МХ – мультиплексор; ФПС_к – формирователь проверочных символов кодера; ФПС_д – формирователь проверочных символов декодера; КО – корректор ошибок; АСП_д – анализатор синдромной последовательности ошибок декодера; $S(x)$ – синдромная последовательность.

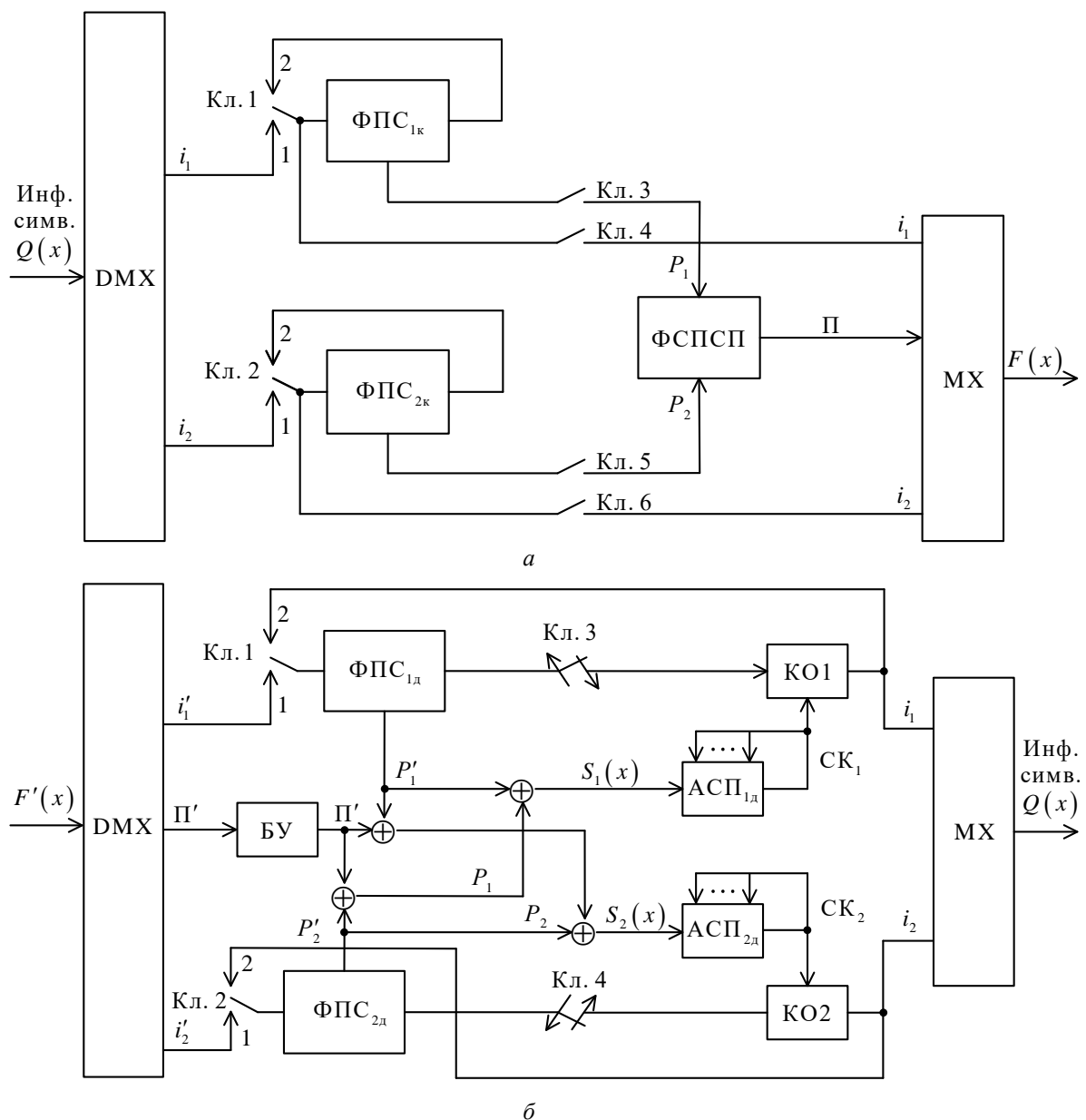


Рис. 2. Обобщенная функциональная схема канального кодера (а) и обобщенная структурная схема канального декодера (б), реализующих блочный принцип кодирования и декодирования на основе ССК с алгоритмом порогового декодирования

Канальный кодер содержит два канала кодирования, выполняемых на последовательных регистрах сдвига (RG), содержащие каждый по $k_c = 17$ ячеек памяти, трех вынесенных сумматоров по модулю два и трех ключей управления (Кл.) работой канала декодирования.

Кодирование передаваемых информационных символов сообщения $Q(x)$ выполняется следующим образом. Передаваемые информационные символы распределяются ДМХ на поток нечетных i_1 и четных i_2 информационных символов, которые через ключи Кл. 1 и Кл. 2, находящиеся в положении контактов 1, записываются в соответствующие регистры сдвига (RG) ФПСК: ключи Кл. 3 – Кл. 6 находятся в разомкнутом состоянии (стрелки вверх). По окончании $k_c = 17$ такта ключи Кл. 1 и Кл. 2 переводятся в положение контактов 2, в ключи Кл. 3 – Кл. 6 замыкаются (стрелки вниз), после чего начинается процесс формирования кодовых символов. Сформированные проверочные символы первого P_1 и второго P_2 каналов кодирования суммируются по модулю два, формируя таким образом символы псевдослучайной последовательности П. Информационные символы первого i_1 , второго i_2 и символы П поступают на соответствующие входы МХ, который формирует символы кодовой последовательности $F(x)$.

Из способа формирования символов кодовой последовательности $F(x)$ следует, что скорость передачи кода $R_c = i_1 + i_2 / i_1 + i_2 + П = 2/3 = 0,66$. Относительная избыточность передаваемой информации $r = (1 - R_c) \cdot 100\% = (1 - 0,66) \cdot 100\% = 34\%$.

Число ортогональных проверок определяется выражением [5, 7]

$$J_c = J \cdot n_0 = 3 \cdot 3 = 9,$$

а минимальное кодовое расстояние $d_{oc} = J_c + 1 = 9 + 1 = 10$.

Декодирование кодовых символов выполняется следующим образом. Принятые кодовые символы последовательности $F'(x)$ распределяются в ДМХ на три подпотока: i'_1 , i'_2 и P' . Информационные символы подпотоков i'_1 и i'_2 поступают через замкнутые ключи Кл. 1 и Кл. 2 (положение 1) соответственно на входы ФПС_{1д} и ФПС_{2д}, которые выполняются и работают как ФПС_к канального кодера. Сформированные проверочные символы каналов декодирования P'_1 и P'_2 поступают на соответствующие входы сумматоров по модулю два, на вторые входы которых поступают символы псевдослучайной последовательности П': осуществляется восстановление проверочных последовательностей P_1 и P_2 , сформированных канальным кодером $П' + P' = P_1 \oplus P_2 \oplus P'_1$, $П' \oplus P'_2 = P_1 \oplus P_2 \oplus P'_2 = P_1$.

Далее осуществляется формирование синдромных символов первого канала $S_1(x) = P_1 \oplus P'_1$ и второго $S_2(x) = P_2 \oplus P'_2$ декодирования, которые поступают на входы соответственно АСП_{1д} и АСП_{2д} данных каналов декодирования. В каждом из АСП принимается решение о достоверности принятых информационных символов по принципу порогового декодирования. Сформированные соответствующие сигналы коррекции СК₁ и СК₂ поступают на входы КО₁ и КО₂, на вторые входы которых поступают принятые информационные символы подпотоков i'_1 и i'_2 . Одновременно с коррекцией информационных символов осуществляется коррекция в АСП_{1д} и АСП_{2д} синдромных символов. Скорректированные информационные символы подпотоков i'_1 и i'_2 поступают на вход соответствующего ФПС_д для принятия решения о достоверности последующих декодируемых информационных символов. Объединение скорректированных информационных символов подпотоков i_1 и i_2 в последовательный поток информационных символов $Q(x)$ выполняется мультиплексором МХ.

Заключение

Предложен метод построения канального кодера блочного кода на основе составного самоортогонального сверточного кода (СССК) с пороговым алгоритмом декодирования со скоростью $R \geq 2/3$. Определены параметры канального кодера, реализующего блочный способ кодирования и декодирования информации, построенного на основе составного самоортогонального сверточного кода с пороговым алгоритмом декодирования. Установлено, что метод построения канальных кодеров на основе составных самоортогональных сверточных кодов с пороговым алгоритмом декодирования и реализующий блочный способ кодирования и декодирования информации, обеспечивает увеличение в $\alpha (\alpha \geq 2)$ раз корректирующую способность базового СССК. Для практического применения предложенного метода построения канальных кодеров для коррекции модульных (зависимых) ошибок достаточно использование коэффициента внутреннего перемежения информационных символов $\alpha = 2$.

CORRECTION OF MODULAR ERRORS BY BLOCK CODES, BUILT ON THE BASIS OF COMPOSITE SELF-ORDOGONAL CONSTRUCTION CODES

E.G. MAKEICHNIK, A.I. KOROLEV, M.D. ISAKOVICH, A.S. KOVALEVSKY

Abstract

The method of constructing and estimating the correcting ability of a block code based on a composite self-orthogonal convolutional code with a threshold decoding algorithm correcting modular errors is considered. It is established that in the block method of encoding and decoding of binary symbols (bits) of information messages by composite self-orthogonal convolutional code with a threshold decoding algorithm, correction of modular errors is ensured in $\alpha (\alpha \geq 2)$ times more than the multiplicity of errors corrected by the original (basic) self-orthogonal convolutional code.

Список литературы

1. Питерсон В., Уэлдон Э. Коды, исправляющие ошибки. М., 1976.
2. Радченко А.Н., Мирончиков Е.Г. // Радиотехника и электроника. 1961. №11. С. 18–33.
3. Блох Э.Л., Зяблов В.В. Линейные каскадные коды. М., 1982.
4. Дмитриев О.Ф. // Радиотехника. 1964. Т. 19, №4. С. 68–75.
5. Касагин Т., Токура Н., Ивадари Е. Теория кодирования. М., 1978.
6. Meggit I.E. // IRE Transaction on Information Theory. 1961. №4. P. 234–244.
7. Кларк Дж. мл., Кейн Дж. Кодирование с использованием ошибок в системах цифровой связи. Минск, 1987.

УДК 004.932.2

СОПРОВОЖДЕНИЕ ОБЪЕКТОВ НА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯХ С ПОМЕХАМИ

К.А. ВОЛКОВ, Д.И. КИРИЛЮК, А.А. НАСТИН,
Н.В. СТЕПАНОВ, Ч. ЦИХУЭЙ, А.Р. АЛЬ-РИФАИ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 30 ноября 2017

Рассмотрены вопросы сопровождения объектов на видеоизображениях с помехами. Предложен адаптивный метод сопровождения объектов на основе анализа уровня шума в кадре. Проведено практическое исследование применимости метода.

Ключевые слова: сопровождение объектов, видеоизображение, помеха.

Введение

Активное применение беспилотных летательных аппаратов (БЛА) для решения ряда практических задач по мониторингу дорожного движения, охране объектов и обнаружению нарушителей границ, осуществлению аэрофото- и кино съемки, разведки и корректировки огня в условиях военных действий делает необходимым использование алгоритмов автоматического сопровождения подвижных объектов на видеоизображении с бортовой камеры [1]. Однако БЛА малого и сверхмалого классов имеют существенные ограничения на массогабаритные параметры и как следствие, – ограниченную мощность и емкость бортовых энергосистем. В свою очередь, это обуславливает применение аналоговых трактов передачи видеоданных от БЛА к оператору, а также невозможность реализации сложных систем видеоаналитики непосредственно на борту. Потому реализация алгоритмов сопровождения и систем автоматического дистанционного управления БЛА во многих случаях производится на наземных пунктах управления, вынужденно оперирующих с видеопотоком, имеющим значительную задержку и содержащим помехи. Таким образом, актуальной является задача разработки алгоритма сопровождения подвижных объектов на видеоизображениях с помехами.

Анализ особенностей видеоизображения

Видеоизображение, передаваемое по аналоговому радиоканалу с последующей оцифровкой, имеет ряд особенностей, которые затрудняют использование существующих алгоритмов сопровождения объектов. Проведенный в работе анализ множества записей полученных с бортовой камеры БЛА видеоизображений позволил выявить следующие закономерности.

1. Видеоизображение может содержать помехи вида «соль-перец» и рассинхронизацию строк в виде «гребенки» (построение математических моделей помех, а также их статистическая оценка не производились). Также могут присутствовать эффект пропадания или искажения цвета.

2. Помехи присутствуют не на всех кадрах видеопоследовательности, однако обычно кадры с помехой сгруппированы подряд в последовательность из 5–30 кадров, которая повторяется через несколько минут, что обусловлено работой поворотной антенной системы.

3. Помеха может присутствовать на значительном числе кадров или на всей видеопоследовательности, что обуславливается особенностями рельефа в зоне полета БЛА,

метеоусловиями, источниками электромагнитных помех, низким качеством наземных кабельных систем и блока оцифровки.

В литературе представлен ряд методик по оценке уровня шума на видеоизображениях, использующих данные одного или нескольких кадров [1, 2].

Применение метрики на основе нескольких кадров обычно подразумевает наличие неподвижного фона изображения (для формирования модели усредненного фона и вычисления разности между ним и кадром), что для БЛА в чистом виде не применимо. Экспериментально установлено, что предварительное совмещение кадров (даже с субпиксельной точностью) для эмуляции неподвижности фона сцены приводит к значительному искажению значения метрики, что обуславливается погрешностью алгоритмов пиксельной аппроксимации, а также естественными эффектами параллакса для видеоизображения с подвижной камеры. Таким образом, значительные вычислительные затраты на совмещение кадров, расчет метрики, а также низкая презентативность этой группы методов для аэросъемки делают ее малоперспективной для использования в видеоаналитических системах БЛА.

Метрики уровня шума на основе одиночного кадра считаются менее точными, однако обычно требуют меньших вычислительных затрат. Методы этой группы можно разделить на 2 вида: методы на основе анализа спектра изображения (требуют больших вычислительных затрат) и методы на основе вычитания исходного и размытого изображений (математически более грубые). Важно отметить, что физический смысл методов этой группы сводится к оценке мощности высокочастотной составляющей спектра на изображении, причем разграничить влияние на нее объектов сцены и шумов затруднительно или невозможно.

Для оценки применимости метрики оценки уровня шума на основе одного кадра для обнаружения помех были проведены эксперименты с реальными видеозаписями бортовой камеры во время полета БЛА, а также видеозаписи с искусственным добавлением шума.

В результате анализа реальных полетных видеозаписей установлено, что значения метрики уровня шума для соседних кадров различают незначительно (1–20% в зависимости от формулы вычисления, видимых объектов сцены, скорости движения БЛА, наличия колебаний по крену и др.). В то же время для кадра с помехами метрика вырастает на 80–300% и более, что позволяет однозначно определять ситуации, когда после серии обычных кадров начинается серия кадров с помехами.

Для проверки применимости данного подхода также была разработано программное средство (ПС), осуществляющее изменение кадров, согласно выбранной модели шума с последующим вычислением метрики (рис. 1).



Рис. 1. Интерфейс программы для вычисления метрики уровня шумов

В ПС были реализованы параметризуемые генераторы искажений изображения на основе пространственных моделей шума (Гауссова, экспоненциального, равномерного, импульсного, шумов Рэлея, Эрланга) и частотных моделей шума (белого, красного, синего, серого). В результате анализа видеозаписей с искусственным добавлением шума установлено, что значение метрики по одному кадру наиболее презентативно для гауссовского и импульсного шумов и их комбинации, что визуально соответствует искажениям на реальных видеозаписях с бортовой камеры. В зависимости от используемой модели и ее параметров изменение метрики между исходным и зашумленным кадрами составило 50–300%. Также было отмечено, что другие модели шума могут детектироваться, но результаты их применения зрительно отличаются от встречающихся на полетных видеозаписях.

Анализ применимости существующих методов сопровождения

В настоящее время разработано и эффективно используется на практике значительное число алгоритмов сопровождения подвижных объектов [3]. Обобщенно каждый из них включает следующие этапы.

1. Выбор объекта на кадре для сопровождения. При этом производится ручное или автоматическое определение контуров или ограничивающего прямоугольника для сопровождаемого объекта.

2. Расчет параметров сопровождаемого объекта, используемых для метрики схожести при сравнении с возможными объектами-кандидатами на следующих кадрах.

3. Определение области поиска объекта на очередном кадре видеопоследовательности.

4. Поиск объектов-кандидатов в определенной области поиска и сравнение их с параметрами сопровождаемого объекта.

5. Определение координат объекта в кадре на основе метрики схожести или фиксации потери объекта.

6. Итерационное повторение шагов 3–6 для всех кадров видеопоследовательности, пока объект не будет потерян или сопровождение не будет прервано оператором.

Анализируя наиболее популярные способы определения метрики схожести объекта и кандидата, используемые на практике, можно выделить следующие основные из них:

- пространственная корреляция областей внутри ограничивающих прямоугольников (например, методы поиска шаблона, Лукаса-Канаде);

- схожесть ковариационных матриц, вычисленных для областей внутри ограничивающих прямоугольников;

- фазовая корреляция областей внутри ограничивающих прямоугольников;

- корреляция яркостных или цветовых диаграмм областей внутри ограничивающих прямоугольников;

- схожесть форм-факторов и/или геометрических параметров сегментов изображения, соответствующих проекции объекта;

- схожесть расположения внутренних особых точек и/или внешних контурных точек (SIFT, SURF, ORB, STAR и др.).

Для оценки применимости различных методов сопровождения подвижных объектов на основе библиотеки OpenCV 3.2 [4–6] был создан ряд программных реализаций автоматов сопровождения, которые были подключены к приложению управления целевой нагрузкой БЛА (рис. 2). Эксперименты проводились со следующими записями видеоизображения реальных полетов полученного с помощью цветной, черно-белой и тепловизионной камерами переданного по аналоговому радиоканалу с последующей оцифровкой; видеоизображения в реальном времени, полученного с помощью с цветной камеры; видеозаписью симуляции полета в среде моделирования X-Plane с программным эмулированием помех. Анализ полученных результатов позволил выявить следующие закономерности.

1. При увеличении на изображении количества помех любого типа увеличивается количество ошибок первого и второго рода (потеря объекта, переход на другой объект), при этом зависимость является нелинейной.

2. Уровень помех оказывает наибольшее влияние на качество сопровождения малоразмерных объектов, вплоть до невозможности захвата сопровождаемого объекта.

3. Наименее чувствительными к уровню шума являются методы на основе ковариационных матриц и фазовой корреляции. Наиболее чувствительными – методы на основе поиска ключевых точек. Исключением являются методы сопровождения на основе выделения особых точек, которые очень чувствительны к шумам.

4. Наилучшим образом сопровождается объект, при захвате которого кадр имел минимальный уровень помех. Это справедливо и для алгоритмов с перезахватом объекта в процессе сопровождения.



Рис. 2. Интерфейс программы управления целевой нагрузкой БЛА со включенным автоматом сопровождения

Адаптивный метод сопровождения объектов на виде с помехами

С учетом выявленных особенностей в работе был предложен адаптивный метод сопровождения объектов на видеоизображениях с помехами. Он включает в себя следующие шаги.

Шаг 1. Определение среднего уровня помех L_{AVG} за последние N кадров ($N = 10..100$) по выбранной метрике. Если уровень помех выше порогового ($L_{AVG} > L_{Corr}$), необходимо запретить захват (перезахват) объекта.

Шаг 2. Определение уровня помех в текущем кадре L_{Frame} . Если уровень помех L_{Frame} в текущем кадре значительно превышает средний уровень помех L_{AVG} ($L_{Frame}/L_{AVG} > n_{Accept}$, где n_{Accept} – пороговое значение), необходимо запретить захват (перезахват) объекта.

Шаг 3. Если разрешен захват объекта (выделение объекта-шаблона для поиска), то проведение первого захвата объекта в кадре по координатам, указанным оператором, или по найденным при сопровождении координатам.

Шаг 4. Расчет вектора параметров $\vec{P}_{Template}$ объекта-шаблона для сравнения с возможными объектами-кандидатами на следующих кадрах.

Шаг 5. Переход к следующему кадру и определение области поиска объектов-кандидатов.

Шаг 6. Поиск объектов-кандидатов и вычисление для каждого из них вектора параметров

$$\vec{P}_{Candidate}^i$$

Шаг 7. Выделение вектора $\vec{P}_{GoodCandidate}$ наиболее близкий к $\vec{P}_{Template}$ по выбранной метрике для сравнения из множества векторов параметров $\{\vec{P}_{Candidate}^i\}$.

Шаг 8. Если величина метрики сходства векторов параметров ниже порогового значения $n_{Similarity}$, – то фиксирование факта потери объекта при сопровождении и переход к шагу 1.

Шаг 9. Вычисление экранных координат найденного объекта.

Шаг 10. Если число кадров с момента захвата цели превышает пороговое значение $n_{Recapture}$, – то разрешение перезахвата цели.

Шаг 11. Если оператор отменил сопровождение – выход, иначе – переход к шагу 1.

Заключение

В работе проанализированы особенности использования алгоритмов сопровождения подвижных объектов на видеоизображениях, полученных по аналоговому радиоканалу с последующей оцифровкой. Предложен адаптивный метод сопровождения подвижных объектов, позволяющий значительно снизить количество случаев потери цели (до 8 раз) и случаев перехода на другой объект (до 3 раз) по сравнению с используемым прототипами за счет использования метрики уровня шума в кадре при осуществлении захвата и перезахвата объекта для сопровождения.

OBJECT TRACKING ON VIDEO IMAGES WITH INTERFERENCE

K.A. VOLKOV, D.I. KIRYLUK, A.A. NASTIN,
N.V. STEPANOV, Z. QIHUI, A.R. AL-RIFAI

Abstract

The issues of tracking objects on videoimages with interference are considered. An adaptive method for tracking objects on the basis of noise level analysis in the frame is proposed. Practical study of the applicability of the method is carried out.

Keywords: object tracking, videoimages, interference.

Список литературы

1. *Бабаян П.В., Алпатов Б.А., Стапаншин А.И. и др.* Системы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. М., 2008.
2. *Amit Y.* 2D Object Detection and Recognition: models, algorithms and networks. The MIT Press, 2002.
3. *Maggio E., Cavallaro A.* Video Tracking: Theory and Practice. New York, 2011.
4. *Bradski G., Kaehler A.* Learning OpenCV Computer Vision with OpenCV Library. O' Reilly Media Publishers, 2008.
5. *Baggio D., Escriva D., Mahmood N. et. al* Mastering OpenCV with Practical Computer Vision Projects. Birmingham, 2012.
6. *Gady A.* Introduction to programming with OpenCV. Chicago, 2006.

УДК 608.2

СИНТЕЗ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ УСКОРЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАКТА РАДИОВЕЩАНИЯ

Ю.С. БУРШ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 14 октября 2017

Статья посвящена решению проблемы ускорения измерений амплитудно-частотной характеристики в современных трактах распределения программ радиовещания. Предложенное решение основано на программном синтезе сложного испытательного сигнала, позволяющего увеличить скорость и точность измерений.

Ключевые слова: амплитудно-частотная характеристика, аудиотракт, измерение, испытательный сигнал, преобразование Фурье, синтез.

Введение

В системе радиовещания Республики Беларусь существует множество вариантов реализации трактов распределения программ радиовещания. Как правило, основным источником сигнала является компьютерная рабочая станция, воспроизводящая музыкальный, рекламный, новостной и другие виды эфирных материалов, заранее записанных и хранящихся в цифровом виде. Для воспроизведения используются либо цифро-аналоговый преобразователь, либо цифровой аудиоинтерфейс, подключаемый к цифровому пульту для микширования сигнала компьютера с остальными источниками звуковых сигналов. Для достижения максимального уровня качества необходимо, чтобы аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразования проводились минимальное количество раз. В идеальном случае оцифрованный сигнал должен быть преобразован в аналоговый вид только на стороне слушателя. Для этого необходимо иметь инфраструктуру для распространения и обработки сигнала в цифровом виде. На данный момент ни одна из белорусских радиостанций УКВ-ЧМ диапазона не может обеспечить полностью цифровой тракт доставки сигнала до передатчика. Поэтому все радиостанции Беларуси имеют смешанную инфраструктуру, состоящую из цифровых и аналоговых звеньев.

Для определения качественных параметров таких трактов нужно учитывать специфику как цифровых, так и аналоговых звеньев. В настоящее время, для определения качественных показателей аналоговой части тракта, по методикам, описанным в стандарте ГОСТ 32182-2013, требуется прерывать основное вещание для подачи испытательных сигналов на вход тракта. При круглосуточном режиме вещания данные измерения представляется возможным проводить только во время профилактических работ на передающих средствах. На практике такие профилактические работы проводятся два раза в год в период с 9 до 15 часов. Большую часть этого времени оборудование радиотелевизионных передающих центров обесточено.

Таким образом, возникает необходимость ускорить измерения таким образом, чтобы при незаметным для слушателя проведении профилактических работ на передающем оборудовании укладываться в сжатые сроки, либо сделать возможным измерение аналоговых параметров тракта без отключения основного вещания, при этом.

Теоретический анализ

Методика измерения параметров каналов и трактов звукового вещания регламентируется межгосударственным стандартом ГОСТ 32182-2013. Согласно требованиям стандарта, перед началом измерений измерительную аппаратуру соединяют с измерительным каналом, трактом или звеном в соответствии со схемой измерения. Измерение всех параметров, нормируемых стандартом, проводится с помощью сигнала синусоидальной формы с заданной частотой и амплитудой [1, с. 37].

Основные преимущества испытательных синусоидальных сигналов заключаются в том, что, несмотря на наличие в измеряемых объектах элементов реактивного сопротивления, обуславливающих процессы электрического дифференцирования и интегрирования, измерительные синусоидальные сигналы проходят по всем линейным цепям без нарушения своей формы, изменяясь лишь по амплитуде и приобретая те или иные фазовые сдвиги. В нелинейных цепях также имеет место искажение синусоидальных сигналов по форме, используемое для оценки нелинейных искажений. В случае измерения параметров аудиотракта, преимущества синусоидального сигнала становятся недостатками. Нечувствительность сигнала такой формы к линейным искажениям усложняет методику и увеличивает время измерений.

Таким образом, измерения гармоническим сигналом определенных частоты и амплитуды позволяют определить параметры аудиотракта только в одной точке АЧХ, в одной точке ФЧХ и одной точке передаточной характеристики. Для ускорения измерений нужно синтезировать аудиосигнал, позволяющий с помощью быстрого преобразования Фурье получить форму амплитудно-частотной характеристики.

Методика

Для синтеза испытательных сигналов выбран цифровой метод как наиболее гибкий, легкий в реализации, а также обеспечивающий высокую повторяемость результатов на практике. Для генерации испытательного сигнала принято решение использовать многокомпонентный сигнал, содержащий 2000 синусоидальных компонентов с нулевой начальной фазой и шагом частот 10 Гц. Частота дискретизации для всех последующих расчетов и испытаний была принята равной 48 кГц для соответствия ГОСТ 32182-2013 и совместимости с большинством современных компьютерных аудиокарт и цифровых аудиоинтерфейсов. Элементарные синусоидальные сигналы математически складываются в линейной системе, что практически недостижимо при использовании аналоговых методов обработки нелинейными активными элементами электронных схем. Кроме того, для получения такой суммы сигналов с помощью физических генераторов синусоидального сигнала их понадобилось бы 2000.

Длительность сигнала была принята равной 10 с. Форма сигнала представлена на рис. 1.

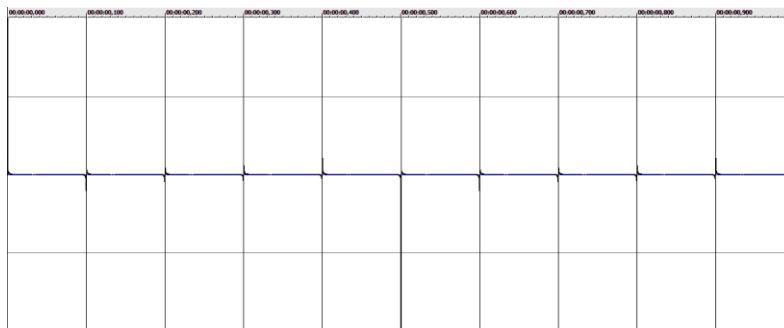


Рис. 1. Форма сигнала, синтезированного цифровым методом и отображаемого программой SoundForge

Для изучения спектрального состава данного сигнала можно использовать встроенный в SoundForge анализатор спектра, использующий прямое преобразование Фурье для получения амплитуд спектральных компонент. Для достижения наибольшего разрешения по частоте, был выбран метод построения по 65536 точкам. Состав спектра синтезированного многокомпонентного сигнала показан на рис. 2.

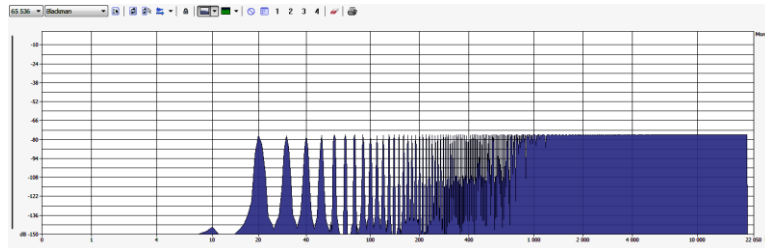


Рис. 2. Спектр синтезированного сигнала длительностью 10 с

Экспериментальная часть

Для проверки пригодности сигнала с нулевой начальной фазой компонент для измерения АЧХ и ФЧХ в качестве исследуемого тракта использовалась модель тракта на основе цифровой эквалазации, встроенный в программу SoundForge. После применения данной обработки к испытательному сигналу исследованы изменения его спектрального состава. На рис. 3, *а* показаны настройки эквалайзера, а на рис. 3, *б* – спектр испытательного сигнала после воздействия эквалайзера.

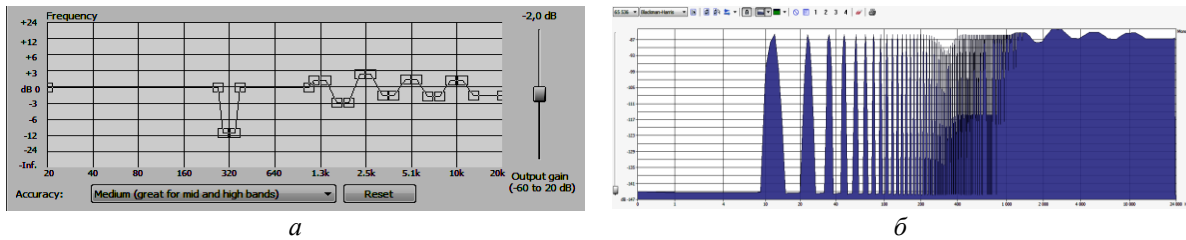


Рис. 3. Эквалазация: *а* – настройка графического эквалайзера; *б* – спектр синтезированного сигнала после обработки эквалайзером

На рис. 4 показаны результаты анализа АЧХ и ФЧХ полученные с помощью программы MathCad. Графики точно показывают все искажения АЧХ и ФЧХ, внесенные алгоритмом частотной обработки. На прямоугольных графиках ФЧХ пунктирной красной линией показана АЧХ, с целью отображения взаимосвязи между этими двумя графиками. Зеленая пунктирная линия на графике показывает частоту 15 кГц, максимальную для аудиосигналов УКВ-ЧМ вещания.

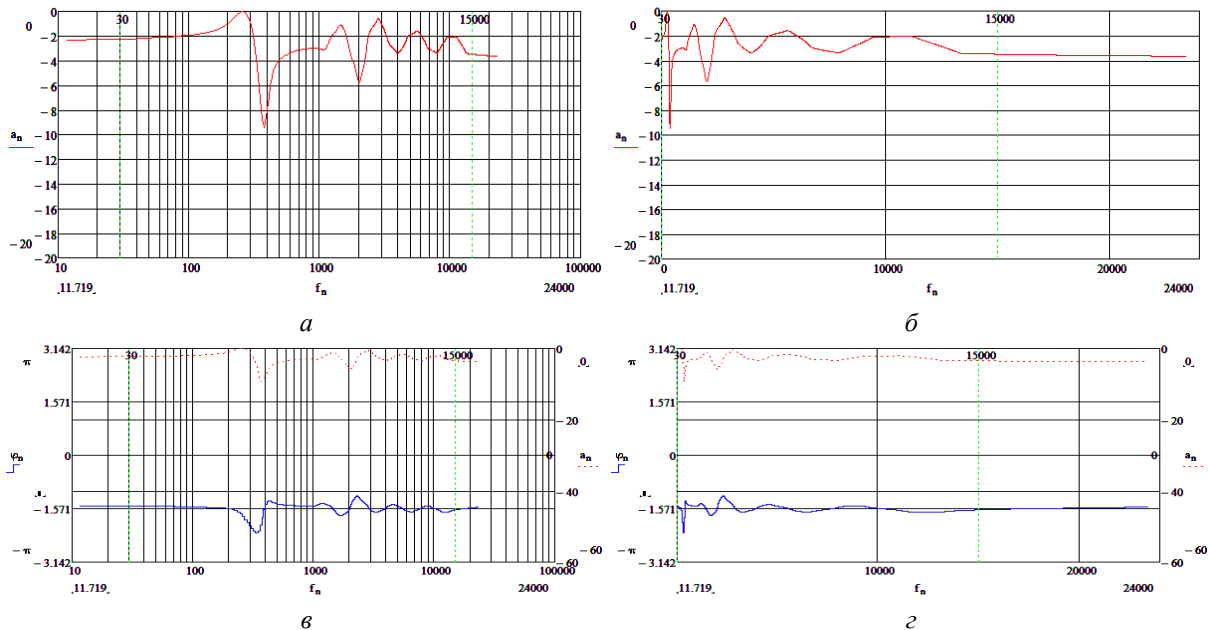


Рис. 4. Графики, построенные с помощью программы MathCad: *а* – АЧХ по логарифмической шкале частот; *б* – АЧХ по линейной шкале частот; *в* – ФЧХ по логарифмической шкале частот; *г* – ФЧХ по линейной шкале частот

Заключение

Установлено, что синтезированный многокомпонентный испытательный сигнал с нулевой начальной фазой составляющих его компонент может быть использован для определения АЧХ и ФЧХ испытуемого тракта. Преимущества измерений, проводимых с помощью данного сигнала, по сравнению с другими существующими методами измерений следующие.

1. Возможность определять на практике сочетание АЧХ и ФЧХ за одну процедуру измерений.

2. Уменьшение времени измерения АЧХ тракта с нескольких часов до 10 с.

3. Высокая детализация результатов измерений. Результатом измерений является значения АЧХ и ФЧХ в 2000 точках всего слышимого диапазона частот, изменяющиеся с равномерным шагом.

4. Возможность организации полностью автоматизированных измерений с высокой скоростью и автоматической отбраковкой.

5. Возможность автоматизации процесса получения коэффициентов настройки цифрового фильтра, корректирующего искажения АЧХ и ФЧХ тракта.

7. Возможность масштабирования диапазона частот и шага сетки частот синтезированного испытательного сигнала для исследования любых трактов передачи.

SYNTHESIS OF TEST SIGNALS FOR ACCELERATED MEASUREMENTS OF AMPLITUDE-FREQUENCY CHARACTERISTICS OF THE BROADCASTING TRACK

Y.S. BURSH

Abstract

The article is devoted to the solution of the problem of acceleration of amplitude-frequency characteristic measurements in the modern distribution paths of radio broadcasting programs. The proposed solution is based on the program synthesis of a complex test signal, which allows to increase the speed and accuracy of measurements.

Keywords: Fourier transform, amplitude-frequency characteristic, measurement, test signal, synthesis.

Список литературы

1. ГОСТ 32182–2013 Каналы и тракты звукового вещания по распределению и обмену программами. Типовые структуры. Основные параметры. Методы измерений. Термины и определения М., 2013.

УДК 621.391

АЛГОРИТМ НОРМАЛИЗАЦИИ ЯРКОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

В.В. РАБЦЕВИЧ, В.Ю. ЦВЕТКОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 10 ноября 2017

Предложен алгоритм нормализации яркости полутоновых АСМ-изображений. Выполнена оценка его эффективности, по сравнению с аналогами.

Ключевые слова: нормализация яркости, АСМ-изображения.

Введение

Выравнивание яркости является одной из наиболее важных задач при обработке изображений. Выбор подходящего метода зависит от задач, которые решаются при обработке. Известными и наиболее распространенными методами нормализации яркости в настоящее время являются Auto Levels, Auto Retinex, Multi Scale Retinex [1]. При анализе АСМ-изображений обычно используют алгоритм вычитания средней плоскости.

Изображения, получаемые при атомно-силовой микроскопии, часто имеют наклон, который может появиться по разным причинам: реальный наклон поверхности образца, температурный дрейф, который может привести к смещению образца во время сканирования, нелинейность пьезокерамического манипулятора [2]. Правильно выполненная компьютерная обработка АСМ-изображений позволяет устранять большинство дефектов сканирования, а также проводить необходимый анализ.

Целью работы является разработка алгоритма нормализации яркости с минимальным количеством погрешностей, которые в дальнейшем могли бы повлиять на достоверность полученных данных.

Используемые алгоритмы для нормализации изображений

Алгоритм вычитания плоскости среднего наклона широко применяется в атомно-силовой микроскопии и заключается в том, что из исходной матрицы значений вычитается плоскость среднего наклона. В результате получается матрица с меньшим диапазоном значений и мелкие детали отображаются большим количеством цветов, становятся более заметными. Нелинейности пьезоманипулятора могут приводить также к тому, что изображение получается вогнутым. В этом случае нужно вычитать не плоскость, а более сложную поверхность – параболическую или гиперболическую, что значительно увеличивает сложность начальной предобработки [2].

Вычитание крупномасштабных неровностей. Для исключения крупномасштабных неровностей поверхности изображение разбивается на одинаковые квадраты (например, для изображения 512×512 точек имеет смысл выбрать размер квадрата 16×16 или 32×32 точек, в зависимости от масштаба неровностей, которые необходимо исключить). В каждом квадрате находится величина абсолютного минимума. Затем массив, состоящий из значений абсолютных минимумов (в рассматриваемом случае массив будет 16×16 или 32×32 точек), интерполируется до начального количества точек (512×512) и вычитается из исходного массива. Таким образом, удастся почти полностью исключить крупномасштабные неровности на анализируемой

поверхности [3]. Необходимо отметить, что данный метод работает только в случае, когда типичный размер частиц значительно меньше характерных неровностей поверхности. Данный алгоритм чувствителен к наличию шума на анализируемой поверхности, особенно, низкочастотного. Его наличие может существенно исказить получаемый результат.

Алгоритм Autolevel. Данный алгоритм базируется на следующем принципе: самый темный цвет на изображении является черным, а самый светлый – белым. Если изображение содержит небольшие очень яркие или очень темные участки, то высока вероятность того, что алгоритм не даст желаемого результата. Также Autolevel очень чувствителен к импульсному шуму.

Алгоритм Auto Retinex. Рассмотренные выше алгоритмы не учитывают локальные окрестности пикселей, поэтому в тех случаях, когда изображение содержит как и сильно темные, так и сильно светлые локальные области, эти алгоритмы не могут обеспечить качественное восстановление изображения. В данных ситуациях целесообразно применять алгоритм Retinex и его модификации.

Алгоритм SSR (Single-Scale Retinex) выравнивает освещенность изображения, сохраняя локальный контраст в плохо и ярко освещенных областях. Коррекция происходит в соответствии с формулой $R(x, y, sigma) = \log[I(x, y)] - \log[I(x, y) \times G(x, y, sigma)]$, где G – Гауссиан, $sigma$ – коэффициента размытия. После применения SSR основная часть полученных пикселей принадлежит диапазону $[-1; 1]$.

Алгоритм MSR (Multi-Scale Retinex) предполагает использование взвешенной суммы SSR с разными коэффициентами размытия [1]: $MSR = w_1 \times SSR_1 + w_2 \times SSR_2 + \dots + w_n \times SSR_n$, причем $w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1$. Обычно, на практике $n = 3$ [1].

Разработанный алгоритм для нормализации АСМ-изображений

Исходными данными для алгоритма является полутоновое изображение F , в котором $f(y, x)$ – пиксели исходного изображения, принимающие значения в диапазоне $[0, 255]$.

Предлагаемый алгоритм позволяет на основе анализа размеров различных структур на изображении и их яркости разделить изображение и равномерно выровнять его части друг относительно друга.

Алгоритм состоит из следующих шагов.

Шаг 1. Сегментация исходного изображения F и получения матрицы S .

Шаг 2. Деление матрицы S делим на четыре равные части C_1, C_2, C_3, C_4 .

Шаг 3. Нахождение в каждой области C наиболее совпадающих по размеру сегментов v_1, v_2, v_3, v_4 , каждый из которых должен полностью принадлежать одной области C_1, C_2, C_3, C_4 .

Шаг 4. Нахождение самого яркого P_{max} и самого тусклого P_{min} пикселей в сегментах v_1, v_2, v_3, v_4 .

Шаг 5. Проведение параллельной линии между P_{max} и P_{min} , которая будет являться линией разделения на исходном изображении F .

Шаг 6. Нахождение Δ приращения на каждом шаге по формуле:

$$\Delta = \frac{(P_{max} - P_{min})}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}$$
, где x_1, x_2 и y_1, y_2 – координаты точек P_{max} и P_{min} .

Шаг 7. Добавление или исключение на исходном изображении (начиная от линии раздела) $\Delta \times i$ при приближении к P_{max} или P_{min} соответственно (i – номер шага).

В результате выполнения данного алгоритма формируется новое изображение F' с выровненными уровнями яркости. Алгоритм позволяет внести изменения яркости изображения без нарушения его структуры. Достоинством данного алгоритма является линейность и высокая точность выравнивания различных частей изображения относительно друг друга.

Оценка эффективности алгоритмов нормализации АСМ-изображений

На рис. 1 представлены исходные АСМ-изображения с четко выраженной неравномерностью расположения на подложке и результаты обработки этих изображений алгоритмами Autolevel и Auto Retinex.

На рис. 2 представлены АСМ-изображения, обработанные алгоритмами Multi-Scale Retinex, вычитания плоскости среднего наклона и с помощью разработанного алгоритма.

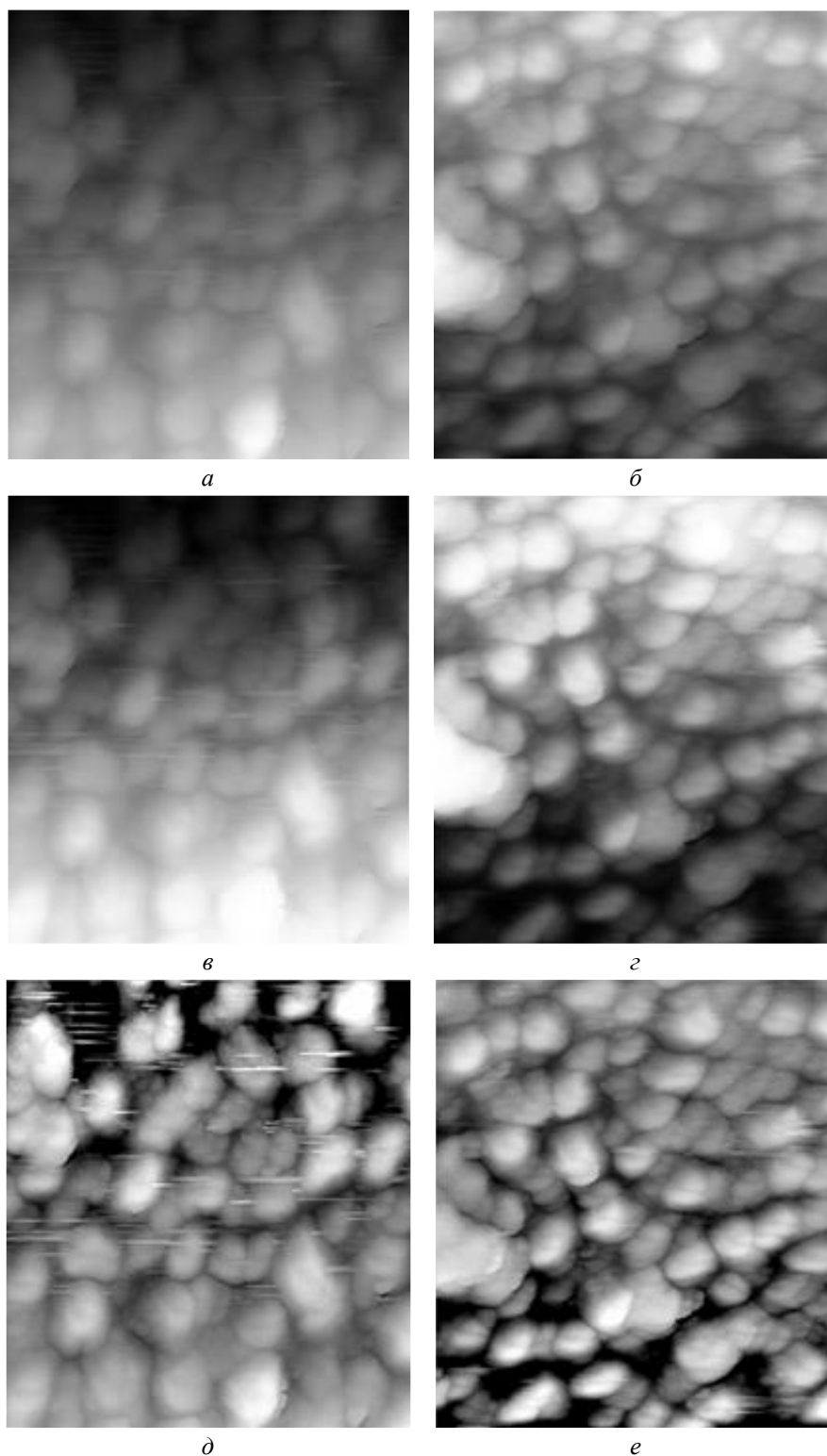


Рис. 1. Нормализация АСМ-изображений: *а, б* – исходные изображения; *в, г* – обработанные по алгоритму Autolevel; *д, е* – обработанные по алгоритму Auto Retinex

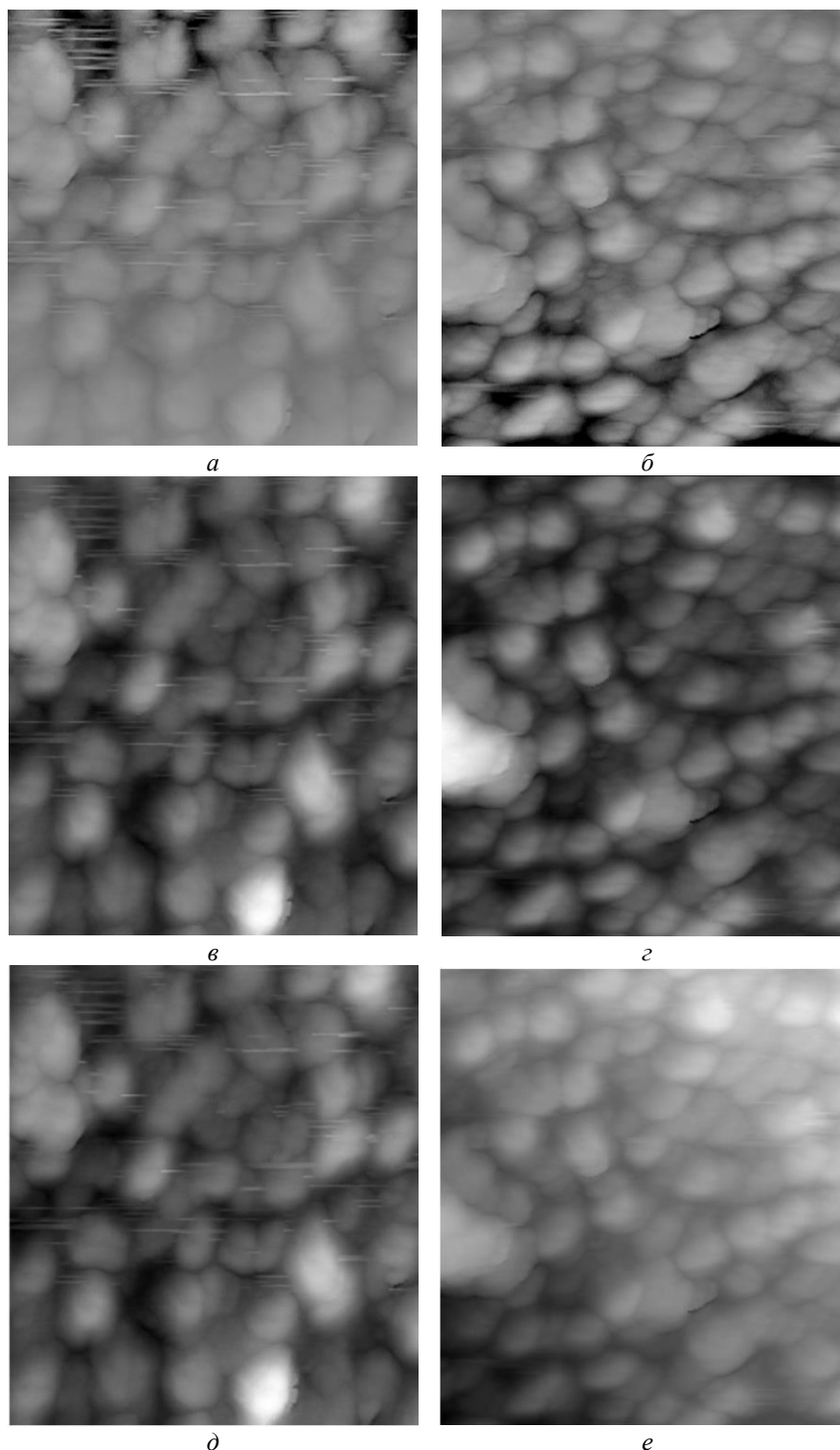


Рис. 2. Нормализация АСМ-изображений: *a, б* – обработанные по алгоритму Multi-Scale Retinex; *в, г* – вычитенной плоскостью среднего наклона; *д, е* – обработанные с помощью разработанного алгоритма

На рис. 3 представлены профили яркости рассмотренных изображений в направлении от левого верхнего угла до правого нижнего. По профилям яркости исходных изображений, четко прослеживается наклон всего образца (пунктирная линия соответствует первому изображению, сплошная – второму). На основе результатов анализа представленных профилей можно сделать вывод о том, что все алгоритмы, кроме алгоритма Autolevel, способны в некоторой степени убрать наклон и нормализовать поверхность, но только алгоритм вычитания средней плоскости и разработанный алгоритм способны сохранить форму профиля, что крайне важно при последующем анализе данных, получаемых с атомно-силового микроскопа.

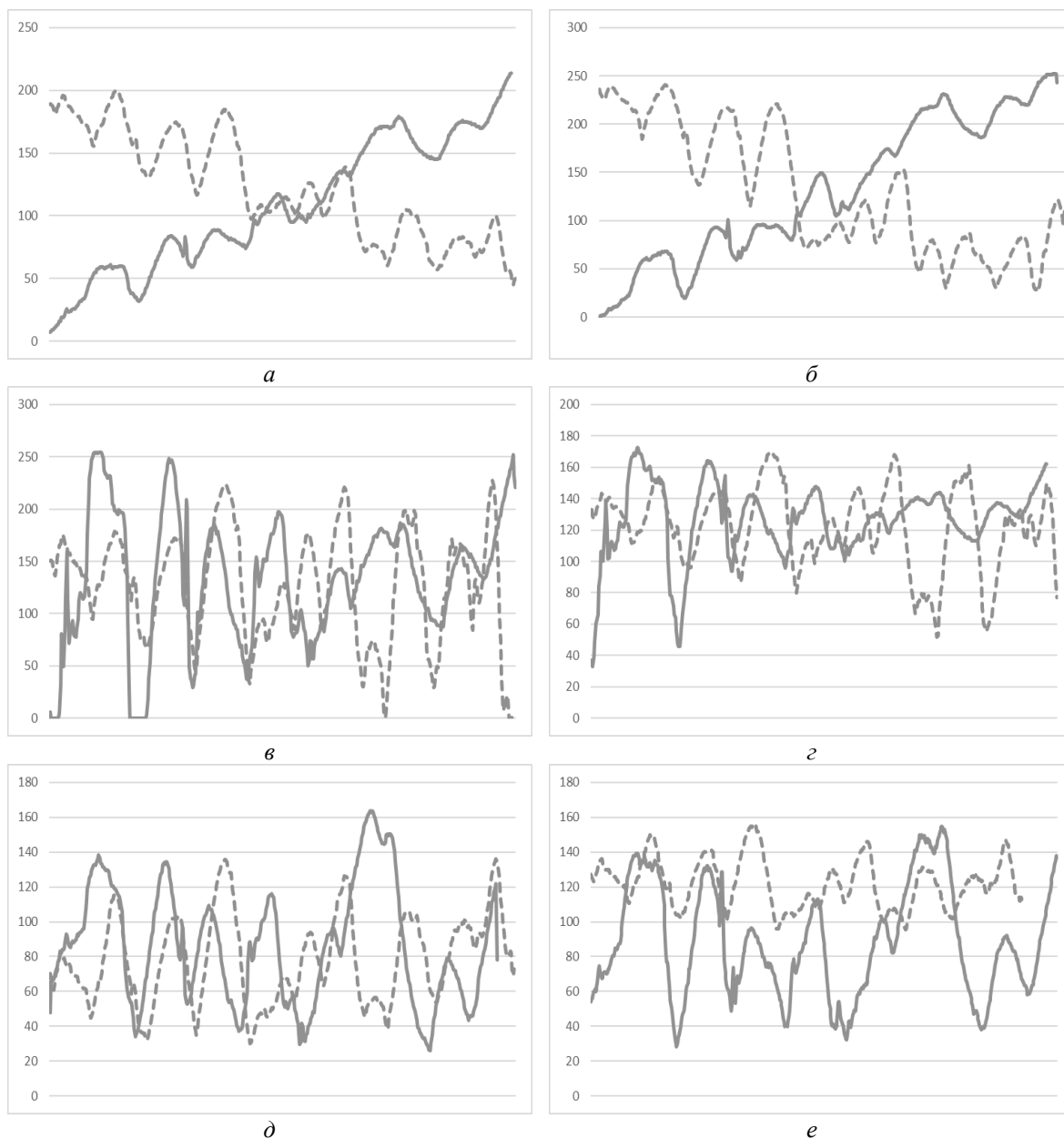


Рис. 3. Профили яркости обработанных изображений: *a* – исходные; *б* – обработанные по алгоритму Autolevel; *в* – обработанные по алгоритму Auto Retinex; *г* – обработанные по алгоритму Multis-Scale Retinex; *д* – с вычитенной плоскостью среднего наклона; *е* – обработанные с помощью разработанного алгоритма

На основе анализа представленных профилей яркости можно сделать вывод о том, что разработанный авторами алгоритм способствует уменьшению перепада яркости между крайними точками в 2,5 и в 9,9 раз соответственно для первого и второго тестового изображения, сохраняя при этом форму профиля.

Заключение

Для нормализации АСМ-изображений предложен алгоритм на основе выделения схожих областей. Суть алгоритма заключается в нахождении разницы в значениях между двумя схожими точками. Показано, что использование разработанного алгоритма обеспечивает выравнивание перепада яркости между крайними точками в 2,5 и 9,9 раза при сохранении формы профиля.

ALGORITHM OF NORMALIZATION OF BRIGHTNESS OF IMAGES ATOMIC-POWER MICROSCOPY

V.V. RABTSEVICH, V.Yu. TSVIATKOU

Abstract

The algorithm for brightness normalization of halftone AFM-images is suggested. It's efficiency is estimated in comparison with analogs.

Keywords: brightness normalization, AFM-images.

Список литературы

1. Носов А.В., Бузаев Д.В., Зотин А.Г. // Решетневские чтения. 2012. №16. С. 623–624.
2. Solomon C. // Fundamentals of Digital Image Processing. 2011. P. 263–286.
3. Чукланов А.П., Бородин П.А., Зиганишина С.А. и др. // Учебные записки казанского государственного университета. 2008. №7. С. 221–225.

УДК 004.732

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАЩИТЫ SSL-СЕРВЕРА

А.С. ЗАЙЦЕВ, О.Н. КОРОТЧЕНЯ, В.Ю. ЦВЕТКОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 29 ноября 2017

Статья посвящена разработке технического комплекса мероприятий для обеспечения защиты от атак SSL-сервера в банковских сетях. Описаны основные технические средства, методики и протоколы для создания защиты SSL-сервера.

Ключевые слова: сеть передачи данных, протокол, SSL-сервер, SSL-сертификат, TLS, TACAS+, RADIUS, SNMP.

Введение

На сегодняшний день одним из самых простых и популярных способов установления безопасной сессии является использование протокола SSL.

Техническая реализация SSL протокола основана на использовании SSL-сервера (рис. 1). Актуальность темы по обеспечению защиты SSL-сервера обусловлена необходимостью совершенствования методов и средств защиты информации, применяемых в системах дистанционного банковского обслуживания.

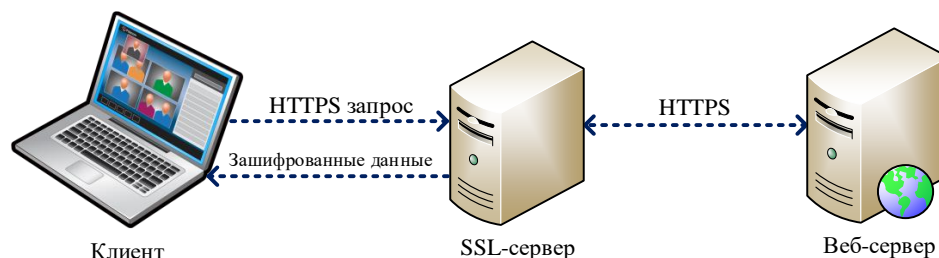


Рис. 1. Установление защищенного SSL соединения с помощью Веб-сервера

Помимо построения защищенного контура необходимо предпринимать ряд мер превентивного или проактивного характера для того, чтобы снизить риски.

Мероприятия, направленные на защиту сервера от атак, условно можно разделить на организационные и технические.

Организационные мероприятия включают в себя физическую защиту серверов: все оборудование должно находиться в специально оборудованных серверных комнатах с ограниченным доступом лиц.

Технические мероприятия защиты SSL-сервера на сетевом уровне

SSL-сервера должны представлять собой отказоустойчивую систему. Это можно достигнуть путем использования протокола VRRP (Virtual Router Redundancy Protocol). В рамках данного протокола используется понятие «виртуальный IP-адрес», который назначается на VRRP-группу. POS-терминалы подключаются на виртуальный IP-адрес. С помощью параметра

«Приоритет» назначается роль каждого из серверов в этой группе (Active, Standby). При доступности Active-устройства виртуальный IP-адрес «размещается» на нем. В случае неисправности Active-устройства виртуальный адрес «переходит» на Standby-устройство. Этот процесс занимает не более 1–2 с [1].

К основным мероприятиям защиты SSL-сервера при сетевых атаках можно отнести следующие.

1. Настройка безопасного метода аутентификации. Для реализации парольных политик и настройки аутентификации можно использовать как локальную базу, так и внешние серверы, например, TACAS+, RADIUS, LDAP, NTLM. Локальная база не поддерживает большое количество пользователей, а также не поддерживает некоторые сервисы по авторизации и аудиту, в связи с чем рекомендуется использование внешнего сервера.

На предприятии рекомендуется использовать централизованное управление доступом (centralized access control administration), которое предоставляет последовательные и унифицированные методы управления правами доступа пользователей и обеспечивает строгий контроль данных.

В качестве метода аутентификации необходимо выбрать аутентификацию с использованием RADIUS-сервера (рис. 2).

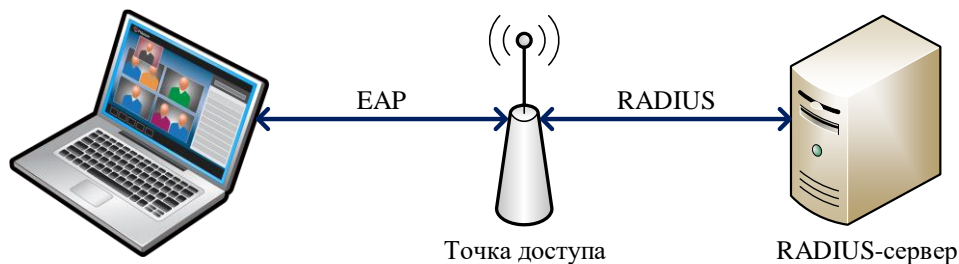


Рис. 2. Использование RADIUS-сервера для аутентификации

RADIUS (remote authentication dial-in user service) – это сетевой протокол, который обеспечивает клиент-серверную аутентификацию, авторизацию и аудит удаленных пользователей. Сервер доступа запрашивает у пользователя учетные данные для входа и передает их на RADIUS-сервер, на котором хранятся имена пользователей и пароли. При этом удаленный пользователь является клиентом сервера доступа, а сервер доступа является клиентом RADIUS-сервера. RADIUS позволяет компаниям хранить профили пользователей в централизованной базе данных. После успешной аутентификации пользователю присваивается предварительно настроенный профиль, определяющий, к каким ресурсам он может получить доступ. Эта технология позволяет компании иметь единую управляемую точку входа, что обеспечивает стандартизацию и предоставляет простой способ контроля использования удаленного доступа и сбора сетевой статистики.

При недоступности RADIUS-сервера будет использоваться локальная таблица пользователей. В данной таблице необходимо задать единственного пользователя с доступом READ-WRITE. Учетная запись этого пользователя должна храниться в службе безопасности предприятия. Учетную запись, используемую по умолчанию вендором, необходимо удалить.

В качестве RADIUS-сервера рекомендуется использовать сервер контроля доступа Cisco Secure ACS. Для пользователей, аутентифицированных RADIUS-сервером, необходимо использовать доменную парольную политику.

2. Настройка SNMP (Simple Network Management Protocol) – протокола, который используется для управления сетевыми устройствами. С помощью него программное обеспечение для управления сетевыми устройствами может получать доступ к информации, которая хранится на управляемых устройствах, в базе данных, которая называется MIB (рис. 3).

Устройство поддерживают первую, вторую и третью версии протокола. Наиболее безопасной является третья версия.

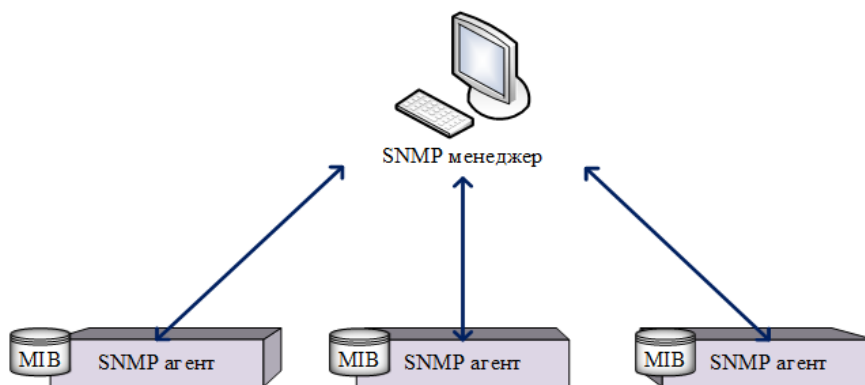


Рис. 3. Управление сетевыми устройствами с помощью SNMP

3. Использование двусторонней аутентификации для финансовых транзакций. Чтобы обеспечить целостность (защиту от фальсификации) и конфиденциальность, необходимо проводить аутентификацию объектов, а также обеспечивать надежность. Аутентификация помогает установить доверие между сторонами при проведении любых видов транзакций. Обеспечение надежности заключается в предотвращении следующих явлений: «Спуфинг» (имитация соединения), несанкционированные действия, фальсификация данных [2].

Содержание транзакции может быть перехвачено и злонамеренно либо случайно изменено в процессе передачи. Сведения, составляющие имена пользователей, номера кредитных карт и финансовую информацию, передаваемые в виде «открытого текста», слишком уязвимы для вмешательства со стороны.

Необходимо настраивать двустороннюю аутентификацию для финансовых транзакций (рис. 4). Проверку должен пройти не только SSL-сервер, но и терминальное оборудование (на данном этапе в работу вступают загруженные сертификаты на терминалы). Данная настройка проводится путем конфигурации Client Authentication Policies для туннелей, предназначенных для финансовых транзакций.

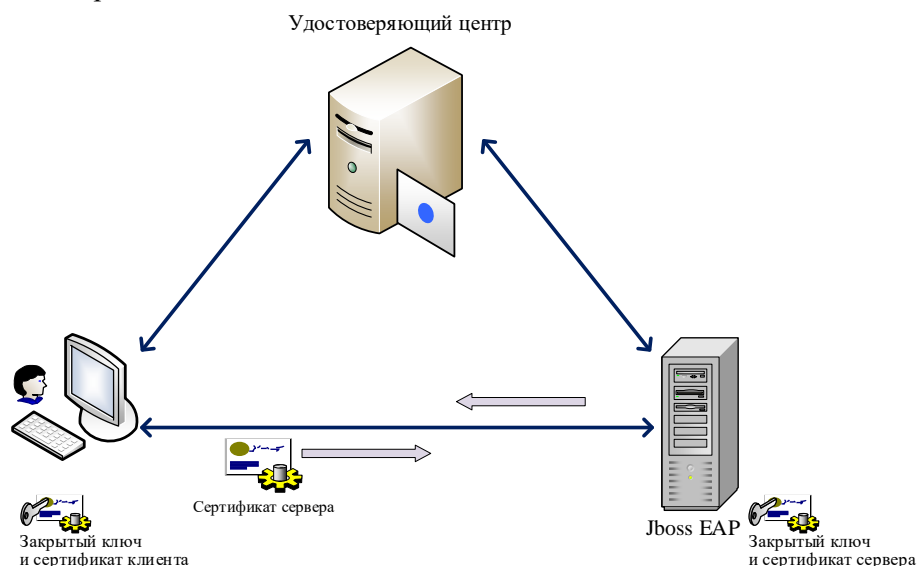


Рис. 4. Двусторонняя аутентификация с использованием удостоверяющего центра

4. Создание и загрузка сертификатов. Первоначальным этапом должна выступать подготовка терминального оборудования. В зависимости от используемого банка-эквайера на терминалы должны быть загружены конфигурационный профайл и клиентский сертификат [3].

Первоначально администратору SSL-сервера необходимо сгенерировать запрос на подписание сертификата, который передается в отдел информационной безопасности для подписания (рис. 5). При генерации запроса необходимо установить максимальную длину ключа. В зависимости от модели терминала запросы для него должны подписываться отделом

информационной безопасности либо различными партнерами-интеграторами. Далее после подписания запроса сертификат загружается администратором обратно на сервер.



Рис. 5. Пример генерации запроса нового сертификата

Технические мероприятия защиты SSL-сервера на системном уровне

Управление уязвимостями играет важную роль в процессе управления (обеспечения) безопасностью предприятия. Эксплуатация уязвимостей хакером может привести к несанкционированному доступу в сеть, раскрытию или краже конфиденциальной информации, нарушению требований законов и регуляторов, прерыванию бизнес-операций. Новые уязвимости появляются каждый день из-за недостатков в программном обеспечении, неправильной конфигурации приложений. Среди них могут быть выделены следующие.

1. Проверка информации о доступных обновлениях ПО. Для поддержания серверной платформы в актуальном состоянии, устранения выявленных ошибок и обеспечения требований безопасности необходимо своевременно производить обновление программного обеспечения [4].

Информацию о новых версиях ПО следует регулярно просматривать на сайте производителя серверного оборудования.

2. Разнесение оборудования по разным серверным площадям. Это позволит серверу всегда оставаться доступным, благодаря наличию возможности перехода на резерв.

3. Систематическое сканирование серверов для обнаружения уязвимостей/вирусов.

Интеллектуальный сканнер способен выявить максимальное количество уязвимостей в информационной системе до того, как они будут обнаружены и использованы злоумышленниками (рис. 6). Регулярное автоматическое сканирование требует минимального вмешательства специалиста.

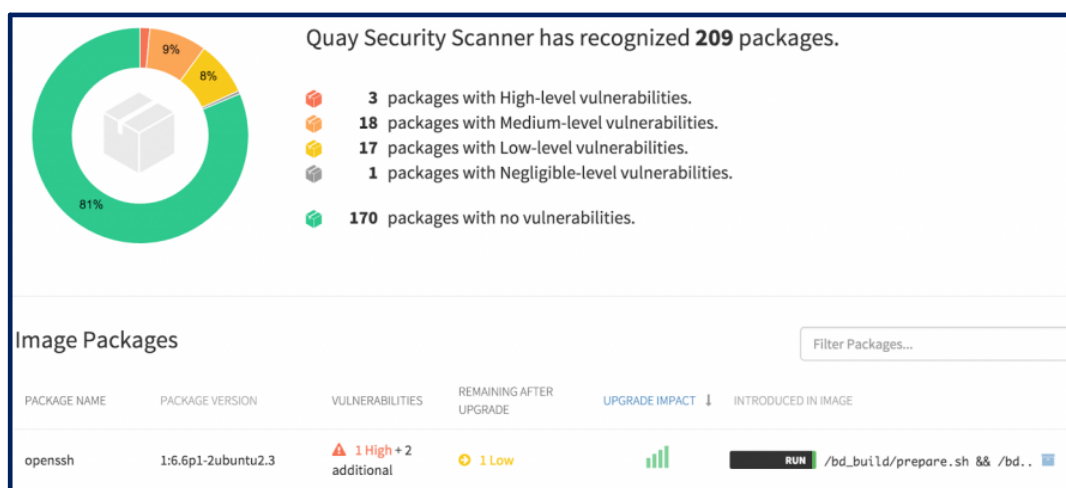
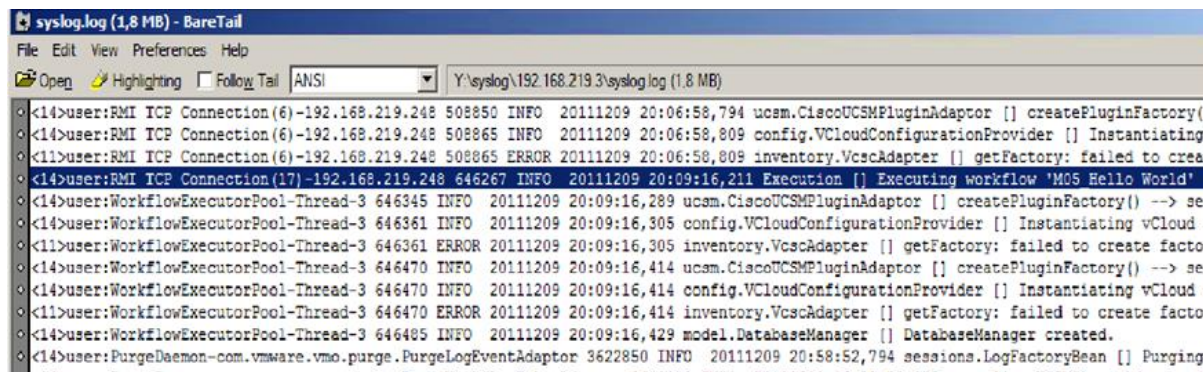


Рис. 6. Сканер уязвимостей сервера

4. Настройка аудита. Syslog (system log – системный журнал) – стандарт отправки и регистрации сообщений о происходящих в системе событиях (то есть создания логов), работающих по протоколу IP.

Необходимо настроить syslog на систему мониторинга и анализа данных предприятия, также E-mail оповещения и смс-рассылку (рис. 7). Оповещение будет приходить на почту администраторов, заведенных в таблице пользователей.



```
syslog.log (1,8 MB) - BareTail
File Edit View Preferences Help
Open Highlighting Follow Tail ANSI Y:\syslog\192.168.219.3\syslog log (1.8 MB)
<14>user:RMI TCP Connection(6)-192.168.219.248 508850 INFO 20111209 20:06:58,794 ucsm.CiscoUCSMPluginAdaptor [] createPluginFactory()
<14>user:RMI TCP Connection(6)-192.168.219.248 508865 INFO 20111209 20:06:58,809 config.VCloudConfigurationProvider [] Instantiating
<11>user:RMI TCP Connection(6)-192.168.219.248 508865 ERROR 20111209 20:06:58,809 inventory.VcscAdapter [] getFactory: failed to create factor
<14>user:RMI TCP Connection(17)-192.168.219.248 646267 INFO 20111209 20:09:16,211 Execution [] Executing workflow 'M05 Hello World'
<14>user:WorkflowExecutorPool-Thread-3 646345 INFO 20111209 20:09:16,289 ucsm.CiscoUCSMPluginAdaptor [] createPluginFactory() --> see
<14>user:WorkflowExecutorPool-Thread-3 646361 INFO 20111209 20:09:16,305 config.VCloudConfigurationProvider [] Instantiating vCloud c
<11>user:WorkflowExecutorPool-Thread-3 646361 ERROR 20111209 20:09:16,305 inventory.VcscAdapter [] getFactory: failed to create factor
<14>user:WorkflowExecutorPool-Thread-3 646470 INFO 20111209 20:09:16,414 ucsm.CiscoUCSMPluginAdaptor [] createPluginFactory() --> see
<14>user:WorkflowExecutorPool-Thread-3 646470 INFO 20111209 20:09:16,414 config.VCloudConfigurationProvider [] Instantiating vCloud c
<11>user:WorkflowExecutorPool-Thread-3 646470 ERROR 20111209 20:09:16,414 inventory.VcscAdapter [] getFactory: failed to create factor
<14>user:WorkflowExecutorPool-Thread-3 646485 INFO 20111209 20:09:16,429 model.DatabaseManager [] DatabaseManager created.
<14>user:PurgeDaemon-com.vmware.vmo.purge.PurgeLogEventAdaptor 3622850 INFO 20111209 20:58:52,794 sessions.LogFactoryBean [] Purging
```

Рис. 7. Syslog-сервер на базе Windows

5. Хранение резервных копий конфигураций. Необходимо делать копии системы после внесения каждого изменения в конфигурацию сервера. Файлы конфигураций загружаются администратором серверов на сервера резервного хранения, что позволит в экстренных ситуациях «откатиться» до нужной конфигурации системы.

Заключение

Разработаны основные принципы организации защищенного подключения с помощью SSL протокола. Использование этих принципов позволит не только снизить риски и защитить сервер от атак, но и поддерживать в актуальном состоянии всю систему процессинга, а также обеспечить отказоустойчивость системы.

DEVELOPMENT OF THE COMPLEX OF ACTIVITIES FOR PROTECTION OF SSL-SERVER

A.S. ZAITSEV, O.N. KOROTCHENJA, V.Yu. TSVIATKOU

Abstract

The article is devoted to the development of a technical complex to protect the SSL server in banking networks from attacks. The main technical means, methods and protocols for creating SSL server security are described.

Keywords: data network, protocol, SSL-server, SSL-certificate, TLS, TACAS+, RADIUS, SNMP.

Список литературы

1. Смелянский Р.Л. Компьютерные сети. М., 2011.
2. Уязвимость SSL протокола. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167404802003127.
3. Уязвимость криптографического протокола SSLv3 «Poodle». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.pwc.ru/ru/blogs/ekaterina_starostina/posts/9thpost.html.
4. Исследователями обнаружена новая атака, нацеленная на SSL/TLS. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ssl.ua/news/security-researchers-to-present-new-crime-attack>.

УДК 621.391

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИЙ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ФОРМУ СПЕКТРА ИНТЕРФЕРОГРАММЫ С ВЫХОДА БОРТОВОГО ФУРЬЕ-ВИДЕОСПЕКТРОМЕТРА

И.И. СИРОТКО, А.Д. ГОРБУКОВ, А.И. ГАЛКИН,
М.Н. КОТОВ*, А.А. ЧЕРНИЧЕНКО*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

**ОАО «Пеленг»
Макаенка, 25, Минск, 220114, Беларусь*

Поступила в редакцию 10 декабря 2017

Произведена оценка влияния вибраций летательного аппарата на форму спектра интерферограммы, получаемой с помощью бортового Фурье-видеоспектрометра.

Ключевые слова: Фурье-видеоспектрометр, спектр, интерферограмма.

Введение

Для дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) большой интерес представляют технологии спектрального анализа. Современные спектроанализирующие комплексы можно разделить на две группы: спектральные приборы, осуществляющие кодировку пространства длинами волн (интерферометры Фабри-Перо, дифракционные спектрометры и др.) и кодирующие длинами волн электрические частоты (Фурье-спектрометры и Адамар-спектрометры) [1]. Среди спектральных приборов, принадлежащих ко второй группе, наиболее успешно развиваются Фурье-спектрометры, характеризующиеся большей светосилой по сравнению с дифракционными решетками (выигрыш Жакино), одновременностью регистрации всех спектральных интервалов, большим диапазоном реализуемых спектральных разрешений, определяемых разностью хода в плечах интерферометра, большой шириной одновременно регистрируемого спектра.

Развитие Фурье-спектрометров идет по двум направлениям. Первое направление представлено динамическими Фурье-спектрометрами. Основой таких систем является интерферометр Майкельсона, в котором за счет изменения положения одного из зеркал изменяется оптическая разность хода лучей и происходит развертка интерферограммы во времени. Сигнал при этом регистрируется одноэлементным фотодетектором [2].

Второе направление связано с появлением многоэлементных фотоприемных устройств, благодаря которым стали возможны конструкции статических Фурье-спектрометров (Фурье-спектрометров), т.е. спектрометров без использования подвижных элементов. В таких системах изменение разности хода осуществляется в пространстве, в отличие от динамических Фурье-спектрометров, в которых развертка сигнала происходит во времени. Отсутствие подвижных элементов позволяет значительно уменьшить габариты спектрометра, увеличить его стойкость к вибрационным и тепловым (температурным) воздействиям. Многоэлементное фотоприемное устройство, используемое для считывания сигнала, позволяет добиться выигрыша в быстродействии и точности измерений в \sqrt{M} раз, поскольку каждый участок спектра измеряется не один, а M раз (выигрыш Фелжета) [3].

Для построения Фурье-видеоспектрометра могут использоваться двупреломляющие кристаллы (поляризационные интерферометры, реализованные на основе призм Волластона или пластин Саварта) [4–11]. Эти системы характеризуются высокой светосилой, нечувствительностью к рассеянному свету, высоким быстродействием. Недостатком таких спектрометров является малый телесный угол падающего излучения и ограничение по разрешающей способности [7]. Конструктивные преимущества Фурье-видеоспектрометра позволяют его использовать в технологиях ДЗЗ на базе малых летательных аппаратов космического и воздушного базирования. При этом качество спектральных характеристик, получаемых с помощью Фурье-видеоспектрометра, существенно зависит от линейности траектории полета летательного аппарата.

Целью работы является оценка влияния нелинейности траектории летательного аппарата на форму спектра интерферограммы, получаемой с помощью бортового Фурье-видеоспектрометра.

Обработка данных Фурье-видеоспектрометра

Последовательность кадров, формируемая видеоспектрометром для некоторого фрагмента местности, представляет собой оптический гиперкуб, где каждый кадр есть плоскость. В процессе перемещения летательного аппарата происходит удаление и добавление плоскостей оптического гиперкуба таким образом, что его объем остается постоянным. Каждая плоскость состоит из фрагментов интерференционных картин от различных участков местности. Фрагмент представляет собой строку пикселей. Кадры с выхода спектрометра в процессе перемещения летательного аппарата формируются таким образом, чтобы на каждом из них сдвиг интерференционной картины происходил ровно на один фрагмент. Интерференционная картина от одного участка местности, размер которой соответствует одной строке пикселей, может быть сформирована в результате конкатенации фрагментов интерференционных картин с различных плоскостей оптического гиперкуба (рис. 1).

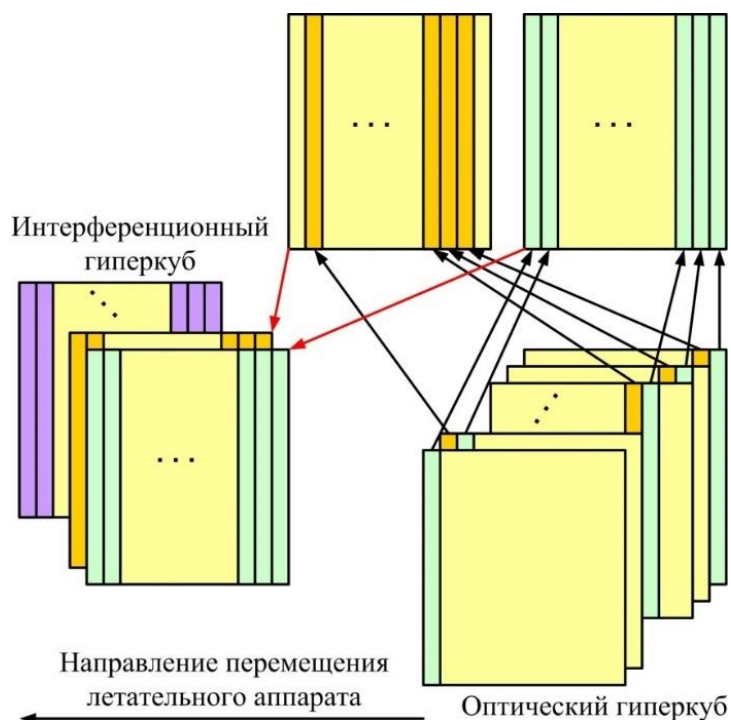


Рис. 1. Оптический гиперкуб и формирование интерференционного гиперкуба

В результате формируется одна плоскость интерференционного гиперкуба. Для ускорения процесса обработки интерферограмм целесообразно ограничить размер интерференционного гиперкуба, если это позволяет задача. Это реализуется в результате задания оператором размера и местоположения интересующего фрагмента на плоскости оптического гиперкуба. Из-за

нестабильности летательного аппарата и системы синхронизации возможны смещения плоскостей оптического гиперкуба.

Оценка искажений спектра интерферограммы при нестабильности частоты дискретизации

Если в процессе работы пространственная нестабильность системы, на которой крепится Фурье-видеоспектрометр, вызывает случайные смещения фотоприемной матрицы, то возникают смещения отсчетов интерферограммы относительно их нормального положения и искажения (размытие) ее спектра. Такую ситуацию можно смоделировать за счет случайного изменения частоты дискретизации используя опорный неискаженный сигнал. На рис. 2 и 3 приведены сигналы и их спектры при различном значении 3σ отклонения отсчетов от их нормального положения.

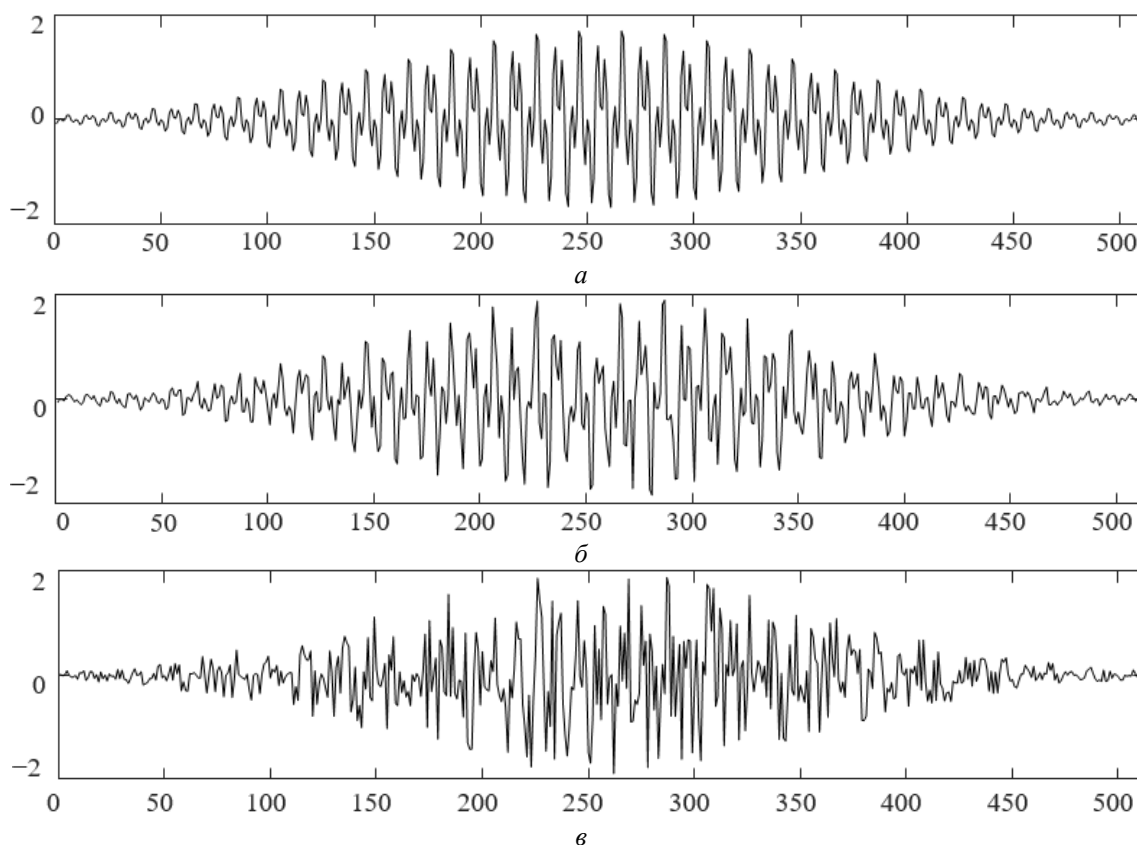


Рис. 2. Сигналы при различном значении 3σ отклонения отсчетов от их нормального положения:
 $a - 3\sigma = 0$; $b - 3\sigma = 1$; $v - 3\sigma = 5$

На рис. 4 приведены зависимости усредненных абсолютных уровней основной E_M и боковых E_S спектральных составляющих сигнала от отклонения отсчетов от их нормальных положений для различных частот дискретизации, выраженных в пикселях на период сигнала. Частоты дискретизации, выраженные в отсчетах (пикселях) на период имеют следующие значения: 1 – 2 пикс/Т; 2 – 4 пикс/Т; 3 – 6 пикс/Т; 4 – 8 пикс/Т; 5 – 10 пикс/Т.

Из рис. 4 следует, что для уменьшения искажения спектра интерферограммы необходимо повышать частоту ее дискретизации. В этом случае увеличение отклонения отсчетов от их нормальных позиций приводит к меньшей потере энергии главной составляющей спектра и меньшему росту боковых составляющих. При минимальной частоте дискретизации наблюдаются значительные искажения в спектре даже при незначительном отклонении отсчетов.

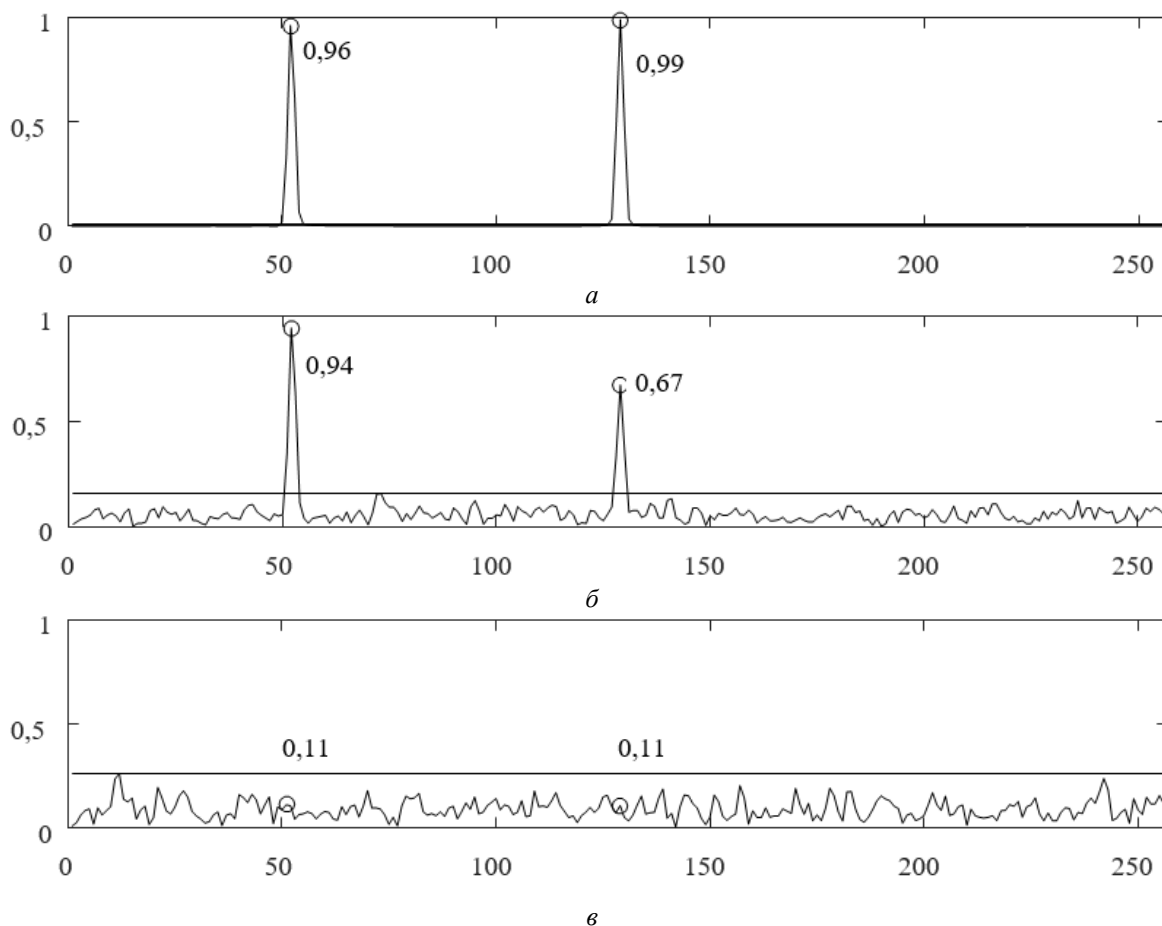


Рис. 3. Спектры при различном значении 3σ отклонения отсчетов от их нормального положения:
 $a - 3\sigma = 0$; $b - 3\sigma = 1$; $e - 3\sigma = 5$

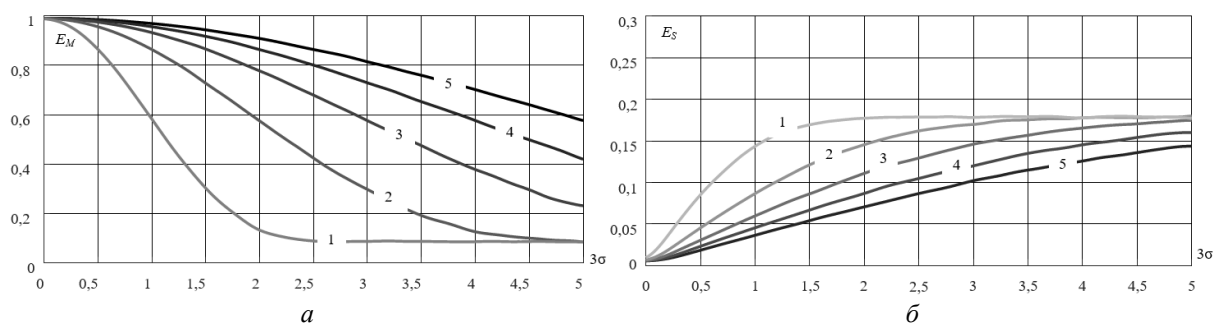


Рис. 4. Зависимости усредненного абсолютного уровня основной E_M (а) и боковых E_S (б) спектральных составляющих сигнала от случайного отклонения отсчетов 3σ для различных частот дискретизации

Из рис. 4 следует, что для уменьшения искажения спектра интерферограммы необходимо повышать частоту ее дискретизации. В этом случае увеличение отклонения отсчетов от их нормальных позиций приводит к меньшей потере энергии главной составляющей спектра и меньшему росту боковых составляющих. При минимальной частоте дискретизации наблюдаются значительные искажения в спектре даже при незначительном отклонении отсчетов.

Заключение

Выполнена оценка влияния вибраций летательного аппарата на форму спектра интерферограммы, получаемой с помощью бортового Фурье-видеоспектрометра. Установлено, что для повышения устойчивости результатов спектральной обработки интерферограмм земной поверхности необходимо повышать частоту их дискретизации.

EVALUATION OF INFLUENCE OF AIRCRAFT VIBRATIONS ON THE FORM OF INTERFEROGRAM SPECTRUM FROM OUTPUT OF FOURIER-VIDEOSPECTROMETER

I.I. SIROTKA, A.D. HARBUKOU, A.I. GALKIN,
M.N. KOTAU, A.A. CHERNICHENKO

Abstract

An evaluation of the effect of the aircraft flight path on the shape of the interferogram spectrum obtained by means of an onboard Fourier-videospectrometer is made.

Keywords: Fourier-videospectrometer, spectrum, interferogram.

Список литературы

1. Горбунов Г.Г. // Научно-технический вестник. 2004. №13. С. 151–155.
2. Белл Р.Дж. Введение в Фурье-спектроскопию. М., 1975.
3. Морозов А.Н., Светличный С.И. Основы Фурье-спектрометрии атмосферы М., 2006.
4. Harvey A.H., Fletcher-Holmes D.W. // Optics Express. 2004. Vol. 12, №22. P. 5368–5374.
5. Zhang C., Xiangli B., Zhao B. // Institute of physics publishing. J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 2004. №6. P. 815–817.
6. Дричко Н.М., Егорова Л.В., Таганов О.К. // Опт. журнал. 2006. Т. 73, №12. С. 51–56.
7. Ebizuka N. et al. // Applied Optics. 1995. Vol. 34, №34. P. 7899–7906.
8. Padgett M.J. et al. // Applied Optics. 1994. Vol. 33, №25. P. 6035–6040.
9. Hashimoto M., Kawata S. // Applied Optics. 1992. Vol. 31, №28. P. 6096–6101.
10. Carole C., Montarou T., Gaylord T. // Applied Optics. 2000. Vol. 39, №31. P. 5762–5767.
11. Courtial J. et al. // Applied Optics. 1997. Vol. 36, №13. P. 2813–2817.

УДК 004.732

КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ

М.А. АЛИСЕЕНКО, А.А. КОЧЕТКОВА, Б.В. НИКУЛЬШИН

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 20 ноября 2017

Рассмотрены виды трафика в мультисервисных сетях, а также методы и проблемы обеспечения QoS в них. Проведен анализ основных параметров, определяющих качество обслуживания, а также преимуществ и недостатков существующих методов его оценки.

Ключевые слова: мультисервисная сеть, задержка пакетов, джиттер, модель обеспечения QoS.

Введение

Современные мультисервисные сети используют протокол IP и ориентированы на передачу данных и мультимедийной информации, в частности, видеотрафик. При передаче мультимедийных данных по IP-сети возникают задержки, которые влияют на качество предоставляемых услуг.

Требования к характеристикам QoS определяются видом передаваемого по ним трафика, поэтому трафик должен классифицироваться.

Основные характеристики трафика приложений [1]:

- относительная предсказуемость скорости передачи данных (поточковый и пульсирующий трафик);
- чувствительность трафика к задержкам пакетов и их вариациям (трафик реального времени, трафик транзакций, трафик данных);
- чувствительность трафика к потерям и искажениям пакетов (приложения, чувствительные/устойчивые к потере данных).

Особенности пакетной передачи мультимедийных данных

Время прохождения пакета через IP-сеть при относительно высокой нагрузке плохо предсказуемо. Это связано, прежде всего, с пульсирующим характером мультимедийного трафика. Пульсации трафика могут возникать на выходе кодера, что связано с особенностями алгоритмов сжатия медиаданных и контента. Вариация задержки пакета в сети (джиттер пакета) тем больше, чем больше маршрутизаторов и коммутаторов в маршруте, по которому передается пакет. Для успешного декодирования медиаданных в пакетно-ориентированных сетях необходимо устранить джиттер пакетов. Компенсация джиттера в декодере происходит за счет джиттер-буфера [2], который хранит в памяти принятые пакеты в течение времени, определяемого его емкостью (длиной). В функции джиттер-буфера входит восстановление исходной очередности следования пакетов. Сокращение длины джиттер-буфера приводит к слишком частым потерям задержавшихся в сети пакетов, а увеличение его длины – к неприемлемо большой дополнительной задержке. Возможна динамическая настройка длины джиттер-буфера в процессе обслуживания.

Задержка пакетной передачи зависит от общей задержки сквозной передачи соединения IP и рассчитывается по формуле (1):

$$IPTD_{sat} = \sum_{n=1}^{N+1} \{T_{n,propagation} + T_{n,processing}\} + T_{buffer}, \quad (1)$$

где N – число повторных передач, согласно автоматическому запросу на повторение; $T_{n,propagation}$ – задержка на время распространения сигнала по линии связи n -й передачи; $T_{n,processing}$ – задержка обработки для передачи пакета по каналу и адаптация для n -й передачи по линии связи; T_{buffer} – задержка буферизации на интерфейсе соединения линии.

Проблемы, связанные с QoS могут быть разделены на две категории.

1. Не связанные с сетью проблемы, которые заключаются в следующем [3].

1.1. Перегрузка серверов, к которым пытаются получить доступ пользователи. В этом случае путями улучшения QoS являются модернизация серверов или использование дополнительных серверов с оптимальным разделением нагрузки между ними.

1.2. Ошибки работы сети. Например, по ошибке может быть сконфигурирован дублирующий IP-адрес, что приведет к проблемам маршрутизации.

2. Связанные с сетью проблемы, которые заключаются в следующем:

2.1. Проблемы оборудования, основной из которых является быстрое устаревание маршрутизаторов и коммутаторов и их программного обеспечения.

2.2. Недостаток пропускной способности сети доступа, причинами чего являются клиенты с низкоскоростными каналами доступа и перегруженные каналы.

2.3. Неравномерное распределение трафика по причине перегрузки некоторых каналов. Такие перегруженные каналы служат причиной большой задержки пакетов, джиттера или потери пакетов. Причинами этого в сети могут быть:

- непредвиденные события (обрыв волокна или отказ оборудования);
- изменение модели трафика, в то время как сетевая топология и пропускная способность не могут быть изменены так быстро;
- недоступность дополнительной пропускной способности на магистрали в нужное время.

Модели обеспечения гарантированного обслуживания

Интегрированное обслуживание (Integrated Service, IntServ). Модель интегрированного обслуживания обеспечивает сквозное (End-to-End) качество обслуживания, гарантируя необходимую пропускную способность. IntServ использует протокол сигнализации RSVP (Resource ReSerVation Protocol), который обеспечивает выполнение требований модели ко всем промежуточным узлам [1]. Структурная схема IntServ представлена на рис. 1.

Преимущества модели IntServ заключаются в четко определенной и гарантированной пропускной способности, а значит, в более высокой степени детализации. Этот механизм легко контролировать, поскольку можно следить за каждым маршрутом и каждым соединением. Отличительной особенностью протокола резервирования ресурсов RSVP является универсальность, т.к. отправлять запросы на резервирование может любое приложение, поддерживающее данный протокол. Однако имеется ряд недостатков, препятствующих широкому применению RSVP в пакетных сетях [1]:

- увеличение времени установления соединения;
- выявление отказов в выделении ресурсов для части информационных потоков;
- отсутствие предотвращения потери служебных сообщений RSVP;
- отсутствие высвобождения и резервирования необходимой полосы пропускания для высокоприоритетных потоков;
- недостаточное использование свободной полосы пропускания при резервировании.

Дифференцированное обслуживание (Differentiated Service, DiffServ). Архитектура DiffServ предполагает существование связанных областей сети (DiffServ-доменов), в пределах каждой из которых проводится единая политика по классификации служб передачи пакетов. Классификация проводится на основании анализа заголовков пакетов, но при этом могут приниматься во внимание и другие параметры, предусмотренные производителем маршрутизатора. В результате выполнения классификации каждому пакету ставится в соответствие номер некоторого класса обслуживания, реализованного в данном DiffServ-доме.

Такой номер класса обслуживания называется DiffServ CodePoint (DSCP). Пример сети, построенной согласно модели DiffServ, приведен на рис. 2.

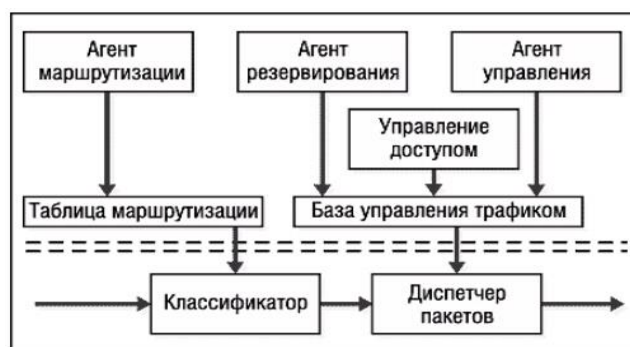


Рис. 1. Структурная схема IntServ

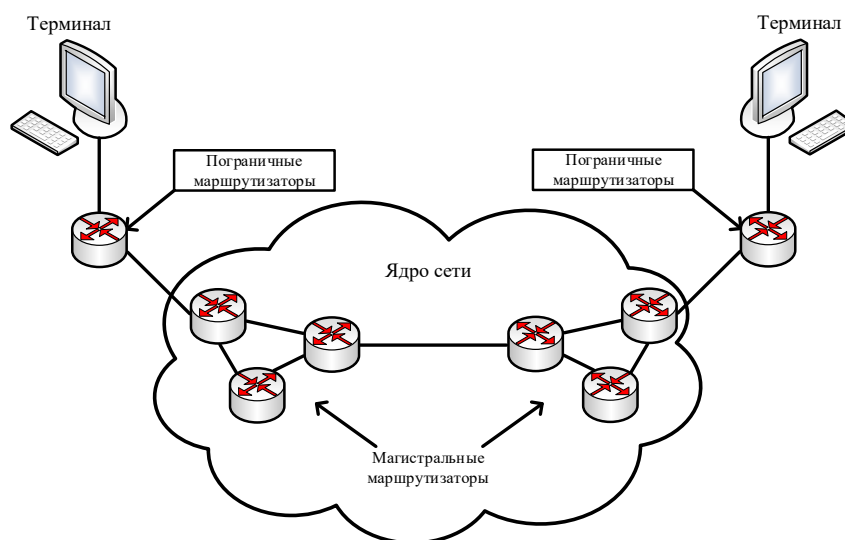


Рис. 2. Пример сети, построенной согласно модели DiffServ

Достоинства DiffServ заключаются в следующем.

1. Обеспечение единства обработки трафика определенного класса.
2. Разделение всего трафика на относительно небольшое число классов без необходимости анализа каждого информационного потока отдельно.
3. Отсутствие необходимости в организации предварительного соединения и резервировании ресурсов.
4. Отсутствие требования к высокой производительности сетевого оборудования.
5. Исключение необходимости использования вспомогательных протоколов сигнализации (т.е. проблема совместимости оборудования разных производителей неактуальна).

Недостатки модели DiffServ заключаются в следующем.

1. В условиях однородного трафика (например, только голосового) принцип применения приоритетов становится неактуальным, и сеть начинает работать в режиме Best Effort Service.
2. Отдельные внутренние маршрутизаторы могут отреагировать неоднозначно на значения битов в поле ToS или даже изменить их.
3. Поскольку DiffServ работает за счет выборочного сброса пакетов в периоды сетевой перегрузки, то соединения с низким приоритетом могут разорваться во время высокой сетевой активности.

Одной из реализаций модели DiffServ является технология многопротокольной коммутации на основе меток Multiprotocol Label Switching (MPLS), которая на сегодняшний день стала одной из основных для построения крупных сетей операторов, предоставляющих услуги с обеспечением качества обслуживания. Данная технология предназначена для ускорения коммутации пакетов в транспортных сетях. Основное ее отличие в том, что MPLS изначально не

является технологией обеспечения качества и становится таковой только при использовании протокола RSVP-TE.

Преимущества технологии MPLS:

- выбор маршрута на основе анализа IP-адреса;
- ускоренная коммутация (сокращает время поиска в таблицах);
- гибкая поддержка QoS, интегрированных сервисов и виртуальных частных сетей;
- эффективное использование явного маршрута;
- сохранение инвестиций в уже установленное АТМ-оборудование;
- разделение функциональности между ядром и граничной областью сети.

Однако внедрение технологии MPLS, как правило, связано с организацией высокоскоростной магистрали, что требует установки высокопроизводительного оборудования и, как следствие, серьезных финансовых затрат. Дополнительная гарантия доставки пакетов может создать проблемы в области масштабируемости.

Интегро-дифференцированное обслуживание (Integrated Services Operation over Diffserv Networks, Int-DifServ). Стандарт RFC2998 описывает принципы организации взаимодействия IntServ/RSVP и DiffServ для предоставления QoS от источника получателю. Слабые места одной модели компенсируются соответствующими решениями другой. С одной стороны, плохо масштабируемая IntServ на магистральных участках сети может быть заменена на более простую DiffServ. С другой стороны, с помощью RSVP решается вопрос с неопределенностью получаемого сервиса в DiffServ-сети. Основная проблема при взаимодействии DiffServ и RSVP – соответствие ресурсов, запрашиваемых через RSVP и предоставляемых в DiffServ-регионе (непрерывная последовательность DiffServ-доменов, в пределах которых могут оказываться дифференцированные услуги). Модель DiffServ представлена на рис. 3.

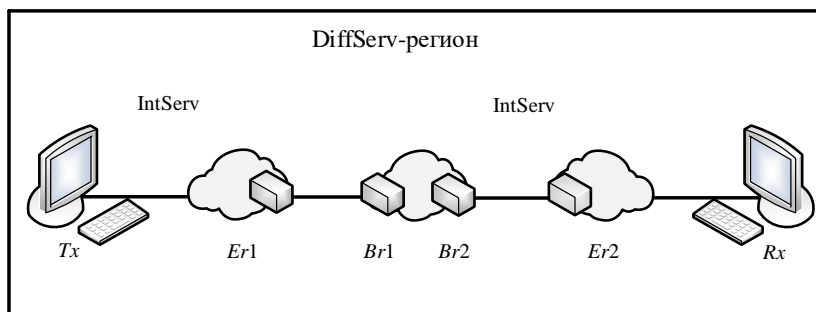


Рис. 3. Модель интегро-дифференцированного обслуживания IntDifServ

Сравнительные характеристики обеспечения QoS представлены в таблице.

Параметр	IntServ	DiffServ	MPLS	Int-Difserv
Метод обеспечения QoS	Резервирование	Приоритезация	Перемаршрутизация	Резервирование, приоритезация
Необходимость использования дополнительных протоколов	RSVP	Нет	LDP, CR-LDP, RSVP	RSVP
Требования к производительности маршрутизаторов	Высокие	Низкие	Средние	Средние
Эффективность масштабирования сети	Невысокая	Высокая	Высокая	Высокая
Совместимость оборудования разных производителей	Средняя	Высокая	Средняя	Средние
Гарантированность обеспечения качества	Высокая	Средняя	Высокая с использованием RSVP	Высокая

Практический подход к обеспечению QoS

Подход к обеспечению QoS включает в себя следующие шаги.

Шаг 1. Своевременное исправление уязвимостей. Отдельные точки неисправностей, узлы с низкой пропускной способностью и ошибки конфигураций должны быть устранены. Пропускная способность должна быть увеличена таким образом, чтобы даже отказ наиболее критичных маршрутов и каналов не приводил к перегрузкам сети. Должны быть оценены и перенастроены метрики внутреннего протокола шлюза (Interior Gateway Protocol, IGP), протокол граничного шлюза (Border Gateway Protocol, BGP) и политики равноправного информационного обмена.

Шаг 2. Деление трафика на классы. Предлагаются три класса обслуживания [4].

2.1. Premium-обслуживание, которое обеспечивает надежное обслуживание с низкой задержкой и малым джиттером. При таком обслуживании может обрабатываться, как трафик реального времени (например, видеоконференции), так и трафик, критичный к потерям (например, трафик управления сетью).

2.2. Assured-обслуживание, которое обеспечивает надежное и предсказуемое обслуживание. При таком обслуживании может обрабатываться трафик нереального времени виртуальных частных сетей (Virtual Private Network, VPN).

2.3. Обслуживание Best effort (подход «наилучшей попытки») – традиционное Интернет-обслуживание, эффективное для поддержки приложений нереального масштаба времени (передача файлов) и близких к реальному масштабу времени (аудио, видео).

Шаг 3. Защита Premium трафика и инжиниринг трафика. В предлагаемом подходе для защиты и инжиниринга используется многопротокольная коммутация по меткам (Multiprotocol Label Switching, MPLS).

Сначала в сети конфигурируются пути коммутации по метке (Label Switched Path, LSP). Каждый входной маршрутизатор будет иметь два LSP по отношению к выходному маршрутизатору. Один LSP используется для Premium трафика, а второй – для Assured и Best effort трафика. Premium LSP будет иметь разрешение на быструю перемаршрутизацию (защищенный канал, маршрутизатор или сегмент), которая необходима приложениям, не допускающим потери пакетов. Когда в защищенном сегменте происходит отказ, маршрутизатор непосредственно предшествующего защищенного сегмента (называемый защитным маршрутизатором) получит уведомление от второго уровня. Для обхода неисправности будет использоваться временное соединение LSP. Эта защита может вступить в силу в течение 50...100 мс. Во время быстрой перемаршрутизации путь, принятый за LSP, может быть условно оптимальным. Для исправления этого защитный маршрутизатор отправит сообщение входному маршрутизатору LSP, который вычислит новый путь для LSP и переключит трафик на новый LSP. Однако быстрая перемаршрутизация делает сеть значительно сложнее.

Для того чтобы избежать концентрации Premium трафика на любом канале, для каждого канала устанавливается верхний предел относительно того, сколько пропускной способности может быть задействовано для Premium трафика. Когда данная часть пропускной способности не используется, она при необходимости может быть использована трафиком других классов.

Инжиниринг трафика реализуется в целях предотвращения случаев перегрузок, вызванных неравномерным распределением трафика, и быстрого устранения перегрузки в случае ее возникновения.

При выполнении инжиниринга трафика на основе DiffServ появляется еще одна цель – держать долю Premium трафика для каждого канала на обоснованно низком уровне так, чтобы задержка и джиттер Premium трафика были низкими. При необходимости Premium трафик может занимать ресурсы низкоприоритетного трафика, доставка которого становится невозможной, если весь трафик является высокоприоритетным.

По сравнению с управлением трафиком в соответствии со схемами policing, shaping, а также буферизацией данных, инжиниринг трафика позволяет управлять как трафиком, так и работой сети в гораздо более широком масштабе. Он может быть рассмотрен как общий механизм управления.

Шаг 4. Организация очередей и планирование на основе деления на классы. На основании поля EXP (experimental) заголовка MPLS пакеты различных классов помещаются в различные очереди. Конфигурирование производительности и размера очередей является трудной задачей. Рассмотрим один из возможных подходов.

Скорость входного потока каждой очереди на интерфейсе может быть найдена путем суммирования скоростей всех проходящих в данной очереди LSP, используя протокол SNMP. Выходные скорости этих очередей должны регулярно устанавливаться (например, еженедельно). Необходимо отметить, что корректировка скоростей влияет только на производительность трафика, проходящего через определенный интерфейс.

Важно также предотвратить влияние перегрузок низкоприоритетного трафика, на работу высокоприоритетного трафика. Это полезно, когда пропускная способность сети становится недостаточной по причине обрыва волокна или другого отказа оборудования.

Шаг 5. Внедрение других схем управления трафиком (Policing и Shaping). Уровень обслуживания клиента SLA (Service Level Agreement) определяет величину трафика (если надо, то для каждого класса), который пользователь может отправить/принять. Однако схема Policing и Shaping могут оказывать влияние на работу устройств доступа. В таком случае есть альтернатива – агрегировать трафик от многих клиентов и следить/ограничивать его совместно.

Когда отказывает канал или маршрутизатор, IGP, MPLS и BGP необходимы для переконфигурации в течение временного промежутка от секунд до минут. В этот период пакеты будут испытывать большую задержку или теряться. Быстрая перемаршрутизация MPLS может защитить Premium трафик на период переконфигурации, что сделает сеть более доступной для Premium трафика, чем для Assured трафика. Кроме того, высокое значение отношения выходной скорости ко входной для Premium очереди позволяет Premium трафику иметь более низкие задержки и джиттер. Поскольку Assured трафик может использовать в три (или любое другое установленное значение) раза больше ресурсов, чем трафик Best effort, условия для его доставки будут лучше, чем для трафика Best effort, особенно, при возникновении отказа и большой загрузке канала.

В случае неисправности узла или канала инжиниринг трафика автоматически перемаршрутизирует трафик и позволит избежать любых перегрузок. Это может привести к небольшому увеличению задержки для некоторых видов трафика, т.к. выбирается более длинный путь, но предотвратит потерю пакетов и обеспечит низкий джиттер после восстановления сети.

Заключение

Рассмотрены основные проблемы обеспечения качества обслуживания (QoS) в мультисервисных сетях, а также технологии и рекомендации к его обеспечению. Основными параметрами, определяющими качество обслуживания, являются полоса пропускания, задержка пакетов, джиттер, потери пакетов. Для соблюдения характеристик QoS следует классифицировать трафик в зависимости от его назначения.

Проведен анализ технологий QoS, исходя из которого можно заключить, что ни одна из них не является универсальной. Однако стоит выделять несколько основных критериев QoS, а остальными пренебрегать.

Определено, что модель DiffServ подходит для применения в крупных ЛВС и территориально распределенных сетях (WAN), а также на стыке сетей провайдеров, в каналах с малой пропускной способностью. т.к. эта технология обеспечивает относительное увеличение полосы пропускания для приоритетных потоков.

Модель IntServ приемлема для использования в корпоративных сетях с целью решения ограниченного круга задач, но плохо пригодна для использования в высокоскоростных магистральных сетях и Internet. Этот механизм легко контролировать, однако уменьшается надежность передачи служебных сообщений и могут возникнуть проблемы совместимости оборудования в глобальных сетях.

Наиболее перспективными и сбалансированными технологиями QoS являются MPLS RSVP-TE и Int-DiffServ, в связи с тем, что они объединяют в себе лучшие стороны обеих моделей. Так, в MPLS за счет маршрутизации по меткам возможно более гибкое распределение ресурсов сети, что позволяет использовать несколько альтернативных путей доставки трафика для создания высокоскоростных магистралей, объединения локальных сетей. Однако эти технологии требуют высоких затрат на реализацию.

QUALITY OF SERVICE IN MULTISERVICE NETWORKS

M.A. ALISEYENKA, A.A. KACHATKOVA, B.V. NYKULSHYN

Abstract

The types of traffic in multiservice networks, as well as the methods and problems of providing QoS in them are considered. The main parameters that determine the quality of service, as well as the advantages and disadvantages of existing methods of its evaluation are analyzed.

Keywords: multiservice network, delay, jitter, QoS assurance model.

Список литературы

1. Листопад Н.И., Величкевич И.О. // Веснік сувязі. 2009. №2. С. 25–32.
2. Конопелько В.К., Лапшин С.М., Цветков В.Ю. Измерение и анализ трафика IP-телефонии. Минск, 2011.
3. Шувалов В.П., Крук Б.И., Попантонолуло В.Н. Телекоммуникационные системы и сети. М. 2005.
4. Xiao X. *et al.* // IEEE Commun. Mag. Dec. 2002. P. 38–43.

УДК 004.732

АВТОМАТИЗАЦИЯ И МАСШТАБИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SDN

С.Ю. ПАРХОМИК, А.Д. СЕМАК, И.Л. СЕЛЕЗНЕВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 10 ноября 2017

В данной статье рассмотрена основная проблема традиционного подхода к построению сетей передачи данных. Проанализированы принцип организации SDN сети и ее основные компоненты. Проведено сравнение подхода с использованием SDN сетей и традиционного подхода.

Ключевые слова: сеть передачи данных, программно-конфигурируемая сеть, информационный поток, контроллер.

Введение

В современном мире бизнес в сфере информационных технологий предъявляет большие требования к гибкости и масштабируемости компьютерных сетей. С ростом объемов сетевого трафика и количества подключенных к сети устройств конфигурирование крупномасштабных сетей превращается в сложную задачу. В традиционных коммутаторах и маршрутизаторах процессы передачи трафика и управления им неотделимы друг от друга и реализованы в одной «коробке»: специальные микросхемы обеспечивают пересылку пакетов с одного порта на другой, а вышележащее программное обеспечение (ПО) определяет правила такой пересылки, выполняет необходимый анализ пакетов, производит изменение содержащейся в них служебной информации (рис. 1).

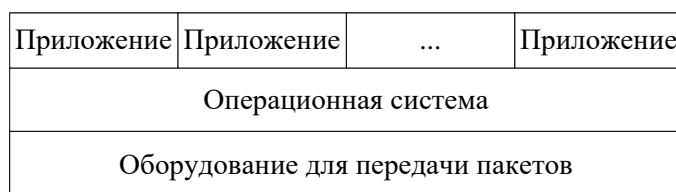


Рис. 1. Архитектура типичного коммутатора или маршрутизатора

Главная проблема данного подхода заключается в том, что основанная на нем сеть статична и потому не соответствуют динамике, свойственной современной сетевой инфраструктуре. Наиболее очевидным решением данной проблемы является использование виртуализации: инфраструктура должна работать как обычная физическая сеть, но выбор модели и месторасположение оборудования становятся менее критичным. Соответственно, настраивая виртуальную сеть, можно не знать ее состава и архитектуры. В таком случае на одном комплекте оборудования может быть развернуто несколько независимых и никак не пересекающихся сетей. Одной из наиболее перспективных разработок в данной области считается технология Software-Defined Network (SDN) или программно-конфигурируемая сеть (ПКС).

Основные компоненты SDN и их взаимодействие

Суть концепции SDN заключается в разделении функций управления и пересылки данных, передаче функций маршрутизации контроллеру сети и реализации на основе этого принципа легко масштабируемой, быстро и гибко настраиваемой виртуальной сети. Каждое SDN приложение фактически представляет собой интерфейс оптимизации сети под конкретные цели. Основная его роль – изменение сети в реальном времени под текущие требования обслуживаемой программы [1].

В информационных потоках архитектуры SDN можно выделить два основных направления обмена: первый («северный мост») – между SDN приложениями, второй («южный мост») – для управления физическими сетевыми устройствами (рис. 2).

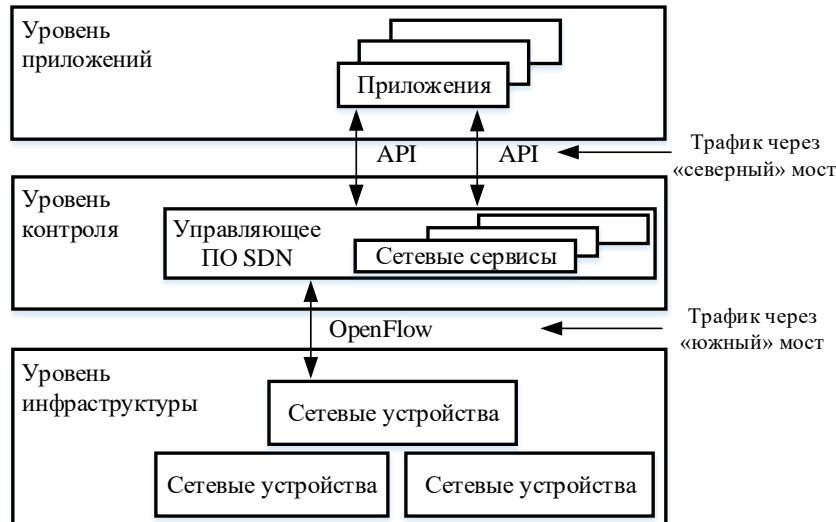


Рис. 2. Архитектура технологии SDN

Данный подход позволяет решить проблему разделения уровня управления и передачи данных, которая значительно ограничивает функциональность коммутатора и всей сети.

Организация обмена сообщениями протоколом OpenFlow

Идея OpenFlow основана на том, что все коммутаторы и маршрутизаторы содержат таблицу потоков, определяющую базовую функцию передачи данных – для каждого входящего пакета определить определенный исходящий интерфейс. Формат этих таблиц различен, но можно идентифицировать стандартный набор функций.

1. Каждая запись абстрактной таблицы передачи OpenFlow является «правилом» и связана с так называемым «поток» данных (flow). Поток определяется заголовком пакета – например, комбинацией адресов MAC, IP и номеров портов источника и получателя данных.

2. Другим элементом записи таблицы является «действие» (action), определяющее требуемую обработку пакетов потока. Различают четыре вида действий:

- передать пакет на определенный порт (порты) коммутатора;
- передать пакет контроллеру через «защищенный» канал: как правило, первый пакет неизвестного потока отправляется контроллеру для определения правила и создания новой записи таблицы передачи;
- отбросить пакет: это действие может быть использовано в борьбе с сетевыми атаками;
- пакет может быть направлен на «стандартную» обработку, это позволяет разделить потоки данных на потоки, управляемые OpenFlow, и потоки, управляемые другими механизмами.

3. Последний элемент содержит статистику – продолжительность потока, число полученных и переданных пакетов и другую дополнительную информацию [2].

Совокупность этих элементов образует правило, структура которого представлена на рис. 3.



Рис. 3. Упрощенная структура таблицы передачи OpenFlow

Все правила формируются на центральном контроллере и затем передаются в таблицу потоков коммутатора (рис. 4).

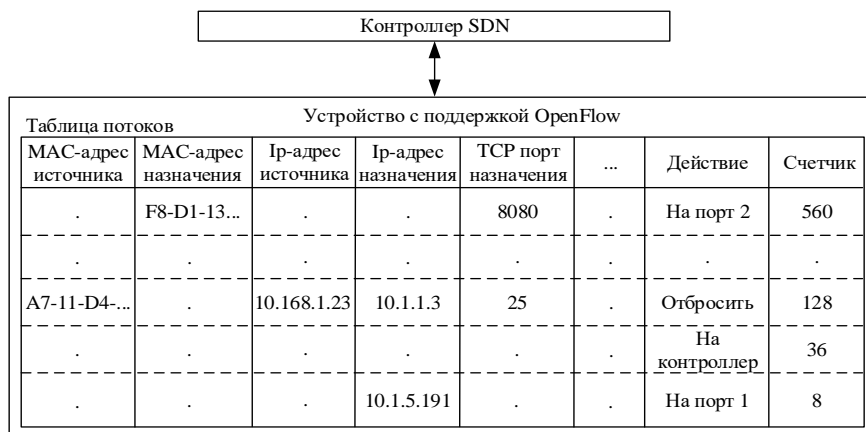


Рис. 4. Таблица потоков OpenFlow

На основании этой таблицы коммутатор определяет, что необходимо сделать с поступившим пакетом. Алгоритм поиска правила прост: у каждого пришедшего пакета «вырезается» заголовок (битовая строка определенной длины), и для него ищется правило в таблице потоков, у которого поле признаков ближе всего соответствует заголовку пакета. Если нужного правила в таблице не обнаружено, то пакет инкапсулируется и отправляется контроллеру, который формирует соответствующее правило для пакетов данного типа и устанавливает его на коммутаторе/коммутаторах. Также пакет может быть изменен или отброшен. Вместо того, чтобы основываться на конкретных конечных устройствах, OpenFlow дает возможность использовать более широкие пределы для классификации, вплоть до типа трафика, поступающего от каждой конечной точки [3].

Данный протокол не ограничивается только управлением трафиком. Совместимые с ним устройства могут выполнять и другие операции: переписывать либо отбрасывать пакеты, реализовывать балансировку нагрузки, выступать в качестве межсетевого экрана. Таким образом, отдельные элементы сети, использующие OpenFlow, становятся значительно более гибкими по сравнению с традиционной сетью.

SDN и традиционная архитектура сети передачи данных

Сеть передачи данных (СПД) – совокупность трех и более оконечных устройств (терминалов) связи, объединенных каналами передачи данных и коммутирующими устройствами (узлами сети), обеспечивающими обмен сообщениями между всеми оконечными устройствами. К основным параметрам сети передачи данных относятся следующие:

1. Время реакции: определяет время между возникновением запроса и получением ответа на этот запрос (рис. 5).

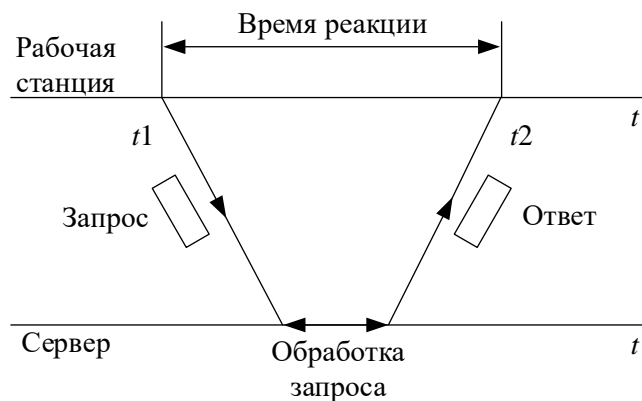


Рис. 5. Время реакции обработки запроса

2. Полоса пропускания – мера емкости соединения, часто определяемая как скорость передачи данных по каналу связи.

3. Отказоустойчивость – способность сети скрыть от пользователя отказ отдельных элементов: определяется количеством любых последовательных единичных отказов компонентов, после которого сохраняется работоспособность системы в целом.

4. Задержка передачи – задержка между моментом поступления данных на вход сетевого устройства и появления их на выходе, характеризует сетевые этапы обработки данных, не учитывая задержки обработки конечными узлами сети.

Эти параметры необходимо учитывать при построении сети, т.к. они оказывают непосредственное влияние на качество передачи данных.

Основные подходы построения сетей передачи данных представлены на рис. 6.

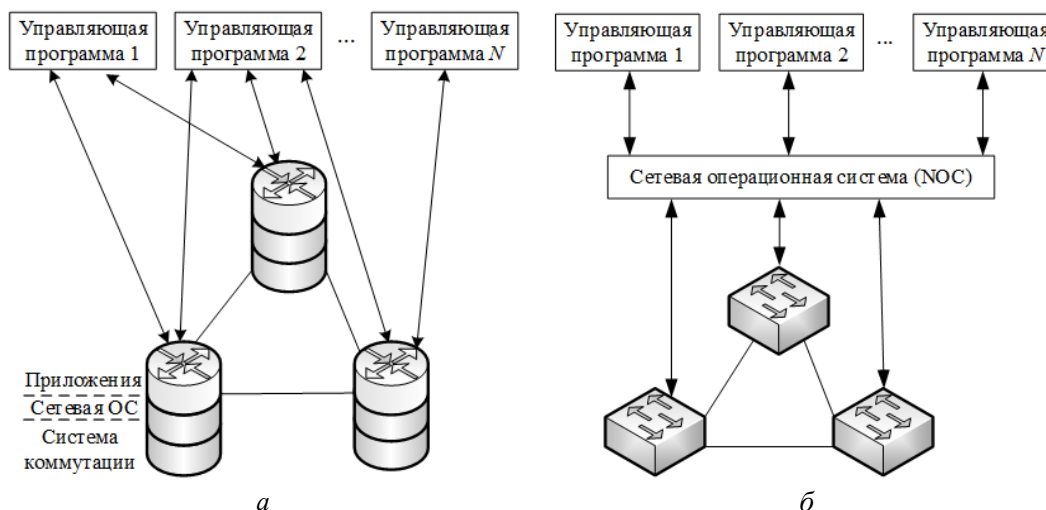


Рис. 6. Архитектура сети: *а* – традиционная архитектура с автономными сетевыми элементами; *б* – архитектура SDN с централизованной управляющей функцией

В традиционных коммутаторах и маршрутизаторах функции передачи трафика и управления реализованы на одном устройстве и неотделимы друг от друга (рис. 6, *а*). Такие сети обычно строятся с использованием протоколов динамической маршрутизации, где наиболее распространенным является протокол Open Shortest Path First (OSPF), который основан на технологии отслеживания состояния каналов. Отличительной особенностью подобных протоколов является быстрое реагирование на изменения сети. Кроме того, в отличие от дистанционно-векторных протоколов динамической маршрутизации, рассылка обновлений происходит либо в случае появления изменений, либо каждые 30 мин. В случае изменения состояния канала, устройство, обнаружившее такое изменение, формирует извещение о состоянии канала для соседних устройств [4].

В основе OSPF лежит алгоритм поиска кратчайшего пути – Short Path First (SPF), который также называют алгоритмом Дейкстры. Выбор оптимального маршрута происходит на основании метрики, рассчитываемой по формуле

$$\text{Стоимость маршрута} = \frac{\text{Эталонная полоса пропускания}}{\text{Полоса пропускания интерфейса}},$$

где Эталонная полоса пропускания – это пропускная способность, относительно которой высчитывается стоимость интерфейса: по умолчанию ее значение 100 Мб.

Например, если пропускная способность интерфейса 10 Мб, то значение его стоимости будет получено по формуле

$$\text{Стоимость маршрута} = \frac{100 \text{ Мб}}{10 \text{ Мб}} = 10.$$

Таким образом, чем выше пропускная способность интерфейса, тем ниже стоимость маршрута.

Достоинства протокола OSPF следующие.

1. Отсутствие ограничения на размер сети.
2. Разделение системы на области маршрутизации. Изменения топологии сети коснутся только той области, в которой они произошли, все остальные области не будут затронуты при перерасчете маршрутов.
3. Высокая скорость построения маршрута. Данный параметр выше, чем у дистанционно-векторных протоколов динамической маршрутизации.
4. Использование аутентификации. При установке соседства маршрутизаторов можно установить аутентификацию устройств.

К основным недостаткам OSPF относится:

1. Сложность настройки.
2. Дороговизна оборудования. При построении крупных сетей нужны высокопроизводительные маршрутизаторы для быстрого расчета новых маршрутов, в случае отказа одного из каналов связи.

Благодаря своим преимуществам перед остальными протоколами динамической маршрутизации, в настоящее время протокол OSPF широко применяется при построении средних и крупных сетей передачи данных.

В сравнении с традиционной архитектурой, концепция SDN предоставляет более гибкую инфраструктуру и предусматривает передачу управляющих функций центральному серверу-контроллеру, таким образом, заменяя традиционную распределенную модель маршрутизации на централизованную (рис. 6, б). Построение маршрута осуществляется на основе глобального представления сети (состояния всех сетевых элементов), которое должно поддерживаться в актуальном состоянии. Такой централизованный подход позволяет более функционально, быстро и эффективно управлять потоками данных в сети, т.к. создание новой топологии сети – это вычислительный процесс [2].

Важным элементом функционирования сети SDN является установка правил управления потоками в коммутаторе. Выделяют два основных подхода.

1. Реактивный подход. На запрос установки нового потока контроллер формирует одно правило и устанавливает его на коммутатор, инициировавший запрос. Он требует значительных вычислительных ресурсов контроллера, поскольку на каждом шаге маршрута запрашивается новое правило, однако не требуется информация о состоянии всей сети.

2. Проактивный подход. На запрос установки нового потока контроллер вычисляет маршрут (или его часть) для потока и устанавливает соответствующие правила на все коммутаторы этого маршрута. Он позволяет вычислить весь маршрут на основании информации о состоянии всей сети и быстро пропустить поток, тем самым значительно увеличивая пропускную способность.

Для разного типа трафика возможно использование одного из наиболее приемлемых подходов или при необходимости одновременно обоих.

Основными производителями оборудования для сетей SDN являются Huawei, Cisco, ZTE, Nokia, Run OS (Russian networks operation systems), HP. Типичные характеристики контроллера SDN (на примере контроллера RUN OS) представлены в таблице.

Характеристики контроллера RUN OS

Характеристика	Значение
Скорость обработки	30 млн. потоков/сек
Время установки нового соединения	45 мкс
Количество поддерживаемых коммутаторов	1000
Поддерживаемые технологии	Многопоточковая маршрутизация, работа с сетевыми протоколами (ARP, DNS, DHCP, BGP), трансляция адресов (NAT), балансировка нагрузки, виртуализация сетей, анти-DDoS, верификация сети, интеграция с системой управления ЦОД

Как видно из таблицы, контроллер поддерживает весь набор стандартных сетевых протоколов и при этом все необходимые расчеты производятся централизованно на нем, что позволяет значительно сократить нагрузку на промежуточное оборудование (коммутаторы).

Основные достоинства технологии SDN следующие.

1. Упрощение процесса вычисления маршрута. Расчет оптимального маршрута производится в контроллере, после чего в таблицу потоков коммутатора вносится изменение. Так же в контроллере можно настроить готовый сценарий выбора маршрутов при отказе одного из коммутаторов.

2. Увеличение возможности для модернизации сети, т.к. модернизация сети SDN – это задача написания нового приложения.

3. Выполнение всех сложных вычислений на контроллере. Вместо дорогостоящих маршрутизаторов можно использовать более простые и дешевые устройства.

К недостаткам SDN следует отнести:

1. Единая точка отказа. В случае выхода из строя контроллера ко всем коммутаторам будет применена базовая конфигурация (по умолчанию) и весь функционал, ранее установленный контроллером, будет утерян.

2. Критичность к ошибкам в настройке. Ошибка в настройке контроллера может привести к неработоспособности всей сети, а не только ее части; для современных программных средств конфигурирования контроллеров вероятность данной ошибки крайне низкая [1].

Теоретически неограниченные возможности сетей SDN к расширению позволяют строить крупные сети, масштабируемые в зависимости от решаемых задач. При этом сеть обладает требуемой «интеллектуальностью», необходимой для организации совместной работы больших групп коммутаторов.

Заключение

По итогам проведенного аналитического сравнения методов и средств управления SDN с традиционными методами и средствами управления сетевыми ресурсами и потоками данных в коммутируемых сетях можно отметить, что подход SDN позволяет выполнять функцию маршрутизации и доставки данных значительно лучше, чем в традиционных сетях. Подход SDN предоставляет более гибкие возможности по управлению трафиком, перегрузками, управлению сетевой инфраструктурой с помощью сетевых приложений, запущенных на логически централизованном контроллере. В распределенной среде традиционных коммутируемых сетей эти функции также реализованы, но в гибкости управления они существенно проигрывают возможностям, предоставляемым SDN сетями.

AUTOMATION AND SCALING OF LOCAL NETWORKS WITH USING SDN

S.U. PARKHOMIK, A.D. SIAMAK, I.L. SELEZNEV

Abstract

This article shows the main problem of the traditional approach to building data networks. A principle of SDN network organization and its main components are analyzed. Comparison of approach using SDN networks and traditional approach was carried out.

Keywords: data network, software-defined network, information flow, controller.

Список литературы

1. *Смелянский Р.Л.* Компьютерные сети. М., 2011.
2. Архитектура SDN. Анализ основных проблем на пути развития. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/12126/soi_2015_3_21.pdf.
3. Software-Defined Networking: The New Norm for Networks. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/white-papers/wp-sdn-newnorm.pdf>.
4. Автоматизация масштабирования локально-вычислительных сетей с использованием SDN. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://libeloc.bsuir.by/handle/123456789/13313>.

УДК 004.932.72

QR-АЛГОРИТМ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ОБОБЩЕННЫХ СОБСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ МАТРИЦ КОЭФФИЦИЕНТОВ КОВАРИАЦИИ

И.А. БОРИСКЕВИЧ, Я.Э. АЛЬ ХАШИМИ, Н.М.Н. НАИФ, Д.М. ЗЯБКИН, Д.С. ЩЕРБА

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 10 декабря 2017

Проведена оценка эффективности использования ковариационного дескриптора для поиска малоразмерных объектов на аэроизображениях. Определено минимальное количество итераций QR-алгоритма на основе преобразования Хаусхолдера для вычисления обобщенных собственных значений матриц коэффициентов ковариации и расстояния Римана.

Ключевые слова: аэроизображение, ковариационный дескриптор, расстояние Римана, обобщенные собственные значения, QR-алгоритм.

Теоретическая часть

Одним из эффективных подходов к решению проблемы поиска малоразмерных объектов на аэроизображениях является использование ковариационного дескриптора, основанного на вычислении коэффициентов ковариации между признаковыми матрицами объекта поиска и функции вычисления расстояния Римана в качестве метрики сходства дескрипторов, что обеспечивает инвариантность к масштабированию, повороту и изменению формы объекта [1, 2].

Алгоритм вычисления матрицы коэффициентов ковариации между двумя признаковыми изображениями включает следующие шаги.

Шаг 1. Определение координат пикселя в центре объекта.

Шаг 2. Выделение фрагмента изображения с учетом пикселя в центре объекта.

Шаг 3. Вычисление признаковых изображений интенсивности пикселей (исходный фрагмент изображения), первых и вторых частных производных по двум направлениям, модулей и углов направлений градиента пикселей, низкочастотные и высокочастотные поддиапазоны первого уровня разложения непрореженного лифтинг-вейвлет преобразования (ЛВП) Хаара.

Шаг 4. Вычисление матрицы коэффициентов ковариации:

$$C = \begin{bmatrix} c_{1,1} & \cdots & c_{1,D} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{D,1} & \cdots & c_{D,D} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $c_{i,j} = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (F_i(m,n) - \mu_i)(F_j(m,n) - \mu_j)$ – коэффициент ковариации между признаковыми изображениями; $F_{i(j)} = (F_{i(j)}(m,n))$ – i -е (или j -е) признаковое изображение объекта размером $M \times N$; μ_i – среднее арифметическое i -го признакового изображения; D – количество признаковых изображений.

Структурная схема вычисления матрицы коэффициентов ковариации представлена на рис. 1.

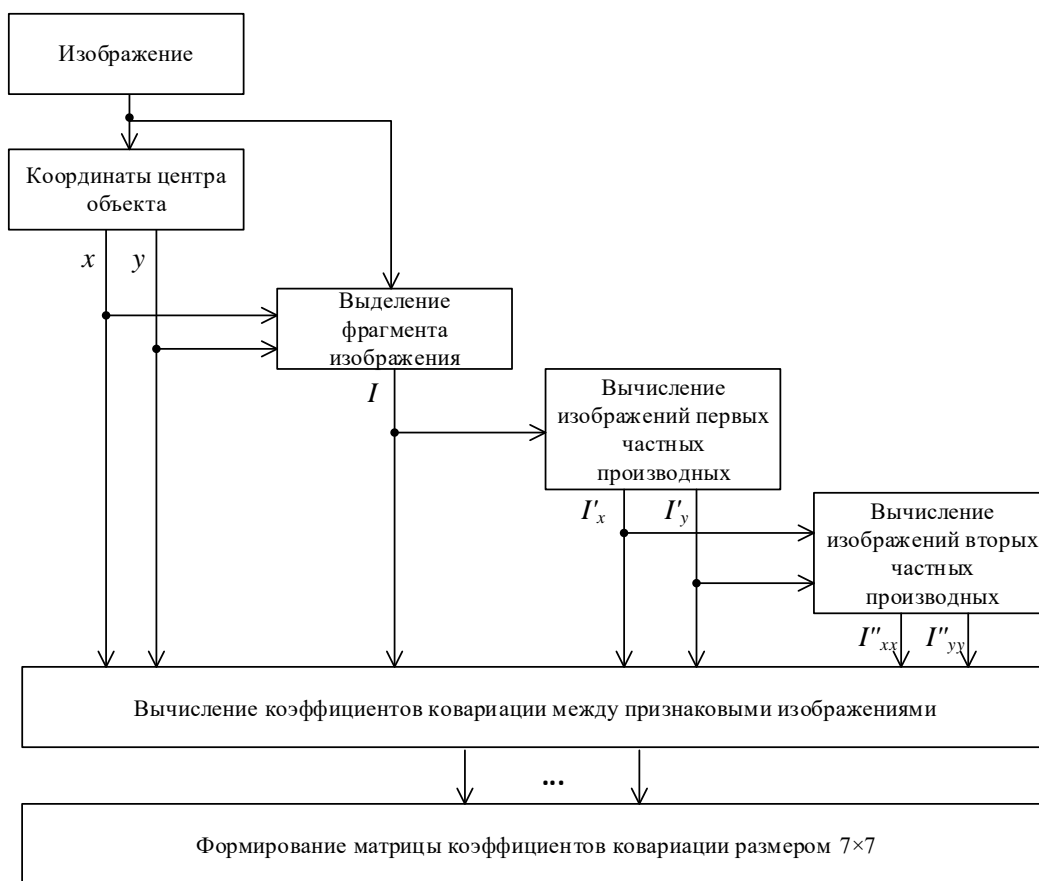


Рис. 1. Структурная схема вычисления матрицы коэффициентов ковариации

Граф-схема этапов вычисления коэффициента ковариации между признаковыми изображениями с размером 4×4 пикселя представлена на рис. 2. Из граф-схемы следует, что вычислительная сложность матрицы коэффициентов ковариации связана с размерами признаковых изображений. Вычислительная сложность ковариационного дескриптора определяется с помощью соотношений:

$$M_c = 28L_cMN, \quad (2)$$

$$A_c = 4XY + 84L_c + 28L_cMN, \quad (3)$$

где M_c и A_c – количество операций умножения и сложения для стандартного ковариационного метода; L_c – количество окон-кандидатов (перекрывающихся фрагментов видеокadra в пределах области поиска), связанное с размером видеокadra $X \times Y$ и величиной области перекрытия; $M \times N$ – размер объекта поиска.

Пространство матриц коэффициентов ковариации не является евклидовым. Их пространство не является замкнутым для произведения отрицательных скаляров. Поэтому для вычисления различия двух матриц коэффициентов ковариации используется расстояние Римана ρ , которое удовлетворяет следующим аксиомам метрики для положительно определенных симметричных матриц C_1 и C_2 .

1. Положительность: $\rho(C_1, C_2) \geq 0$ и $\rho(C_1, C_2) = 0$ если $C_1 = C_2$.
2. Симметричность: $\rho(C_1, C_2) = \rho(C_2, C_1)$.
3. Неравенство треугольника: $\rho(C_1, C_2) + \rho(C_1, C_3) \geq \rho(C_2, C_3)$.

Расстояние Римана определяется как корень квадратный из суммы квадратичных логарифмов обобщенных собственных значений двух матриц коэффициентов ковариации (матриц изображения объекта и окна-поиска на видеокadre). Расстояние Римана зависит от

собственных значений, вычисляемых не для каждой из матриц, а для двух матриц (обобщенных собственных значений).

Расстояние Римана $\rho^2(C_E, C_l)$ для матриц коэффициентов ковариации l -го окна поиска C_l и изображения объекта C_E :

$$\rho^2(C_E, C_l) = \sum_{i=1}^D \ln^2 \lambda_i(C_E, C_l), \quad (4)$$

где $\lambda_i(C_E, C_l)_{i=1, \dots, D}$ – i -е обобщенное собственное значение матриц коэффициентов ковариации изображения объекта C_E и l -го окна поиска C_l ; D – количество признаков изображений.

Наиболее эффективным подходом к решению проблемы нахождения обобщенных собственных значений вещественных симметричных положительно определенных матриц является использование QR-алгоритма на основе преобразования Хаусхолдера [3]. Одна итерация QR-алгоритма требует $O(n^3)$ флопс. При приведении матрицы к форме Хессенберга [3] сложность одной итерации QR-алгоритма сводится к $O(n^2)$ флопс.

Обобщенные собственные значения λ_i квадратных симметричных матриц $C_l(t)$ и C_E вычисляются с помощью соотношения

$$C_l(t)e = \lambda C_E e, \quad (5)$$

где e – собственные векторы матриц $C_l(t)$ и C_E .

При $C_E = I$ обобщенное собственное уравнение преобразуется в стандартную собственную проблему:

$$C e = \lambda e, \quad (6)$$

где $C = C_E^{-1} C_l(t)$.

В QR-алгоритме на k -й итерации вычисляется QR-факторизация матрицы $C^{(k)}$:

$$\begin{cases} C^{(k)} = Q^{(k)} R^{(k)}, \\ C^{(k+1)} = R^{(k)} Q^{(k)}, \end{cases} \quad (7)$$

где $R^{(k)}$ – верхняя треугольная матрица с ненулевыми диагональными элементами на k -й итерации; $Q^{(k)}$ – ортогональная матрица (столбцы образуют ортогональный базис для n -мерного векторного пространства столбцов матрицы или матрицу с ортогональными столбцами).

На начальном этапе QR-алгоритма $C^{(1)} = C$.

При выполнении условия $|\lambda_1| > |\lambda_2| > \dots > |\lambda_D|$ последовательность матриц $\{C^{(k)}\}$ сходится к верхней треугольной матрице или диагональной матрице, диагональные элементы которой аппроксимируют собственные значения исходной матрицы C .

Известно, что скорость затухания к нулю поддиагональных коэффициентов $a_{i,j}^{(k)}$ матриц $C^{(k)}$ для $i > j$, когда k стремится к бесконечности, зависит от соотношения $\max_i |\lambda_{i+1} / \lambda_i|$. Одним из критериев останова QR-алгоритма является выполнение условия $\max_{i>j} |a_{i,j}^{(k)}| \leq \varepsilon$, где $\varepsilon > 0$ – пороговое значение, выбираемое экспериментально с целью достижения компромисса между быстродействием и точностью.

В качестве критерия останова предложено использовать оценку изменения среднего значения расстояния Римана по выборке кадров для различного количества итераций QR-алгоритма. Для повышения быстродействия разработанных алгоритмов поиска малоразмерных объектов и стабилизации видеоизображения было определено минимальное количество

итераций QR-алгоритма на основе преобразования Хаусхолдера с целью вычисления обобщенных собственных значений матриц коэффициентов ковариации и расстояния Римана.

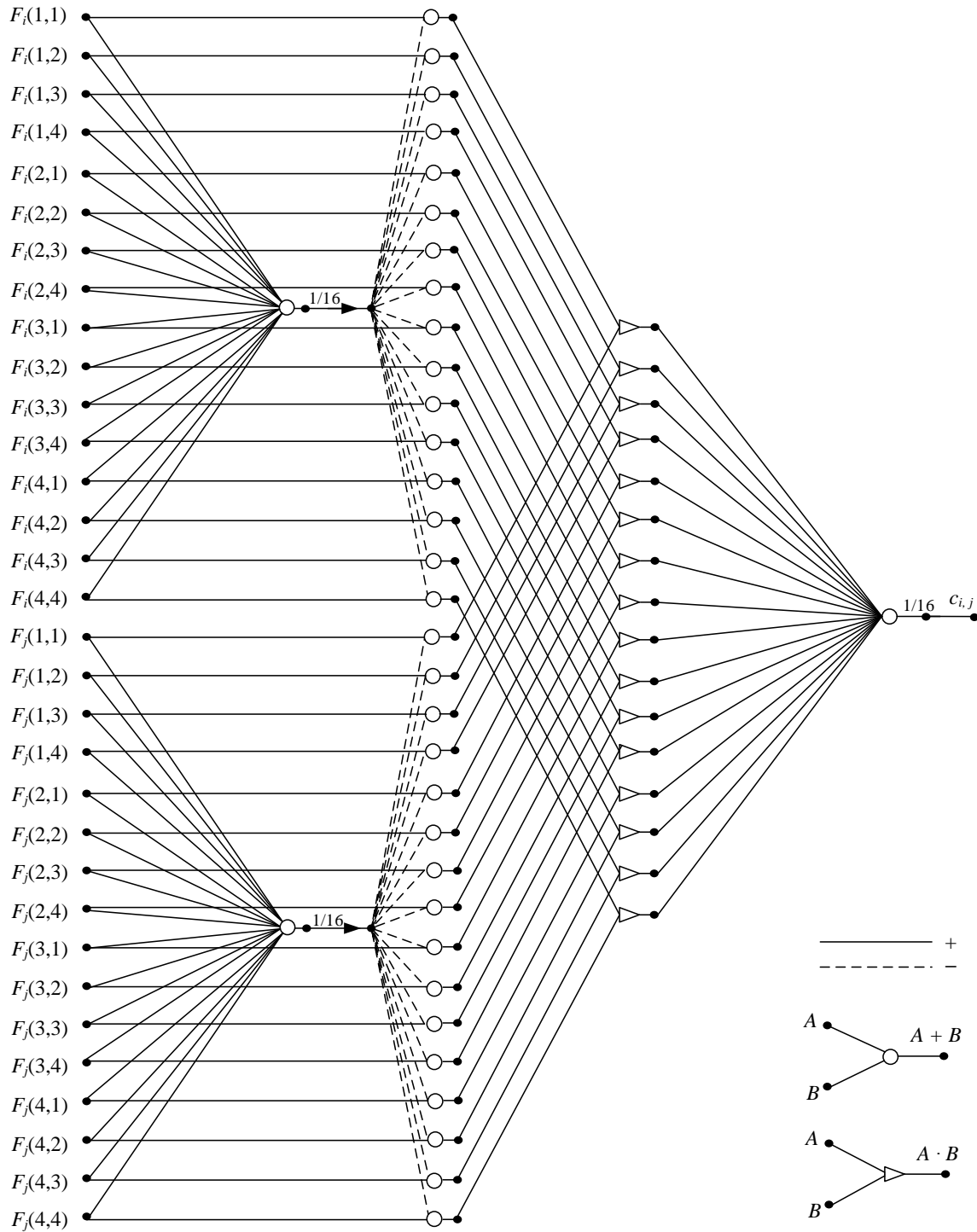


Рис. 2. Граф-схема вычисления коэффициента ковариации между признаковыми изображениями с размером 4×4 пикселя

Экспериментальная часть

В качестве исходных данных для оценки влияния числа итераций QR-алгоритма на эффективность ковариационного дескриптора были использованы видеопоследовательности, полученные с борта БЛА, общей длительностью более 4 ч с разрешением 720×576 пикселей и

кадровой частотой 30 кадров/с, что, в общей сложности, более составило более 400 000 видеокадров.

Результаты оценки эффективности ковариационного дескриптора в различных условиях наблюдения для различного числа итераций (шагов) QR-алгоритма представлены на рис. 3–4.

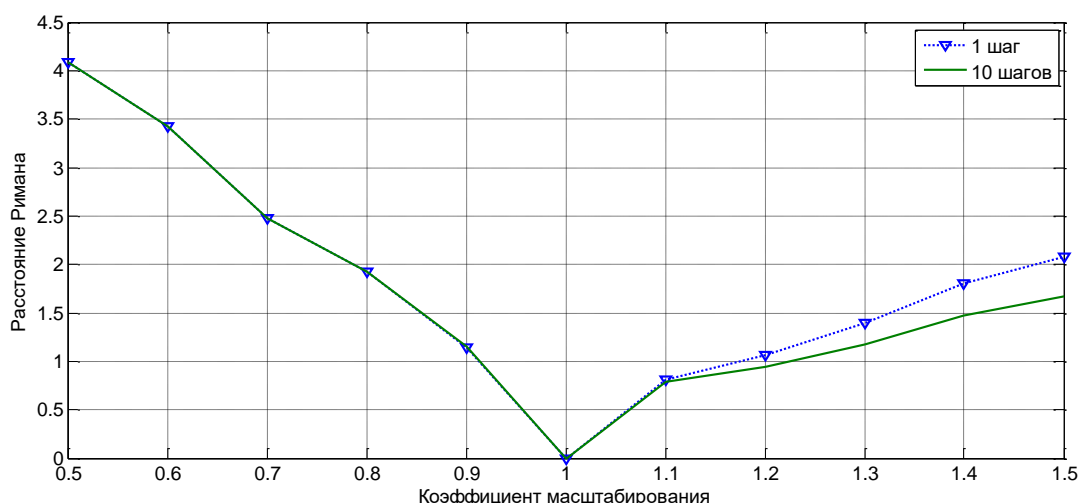


Рис. 3. Зависимость среднего значения расстояния Римана от коэффициента масштабирования изображения объекта для различного числа итераций QR-алгоритма

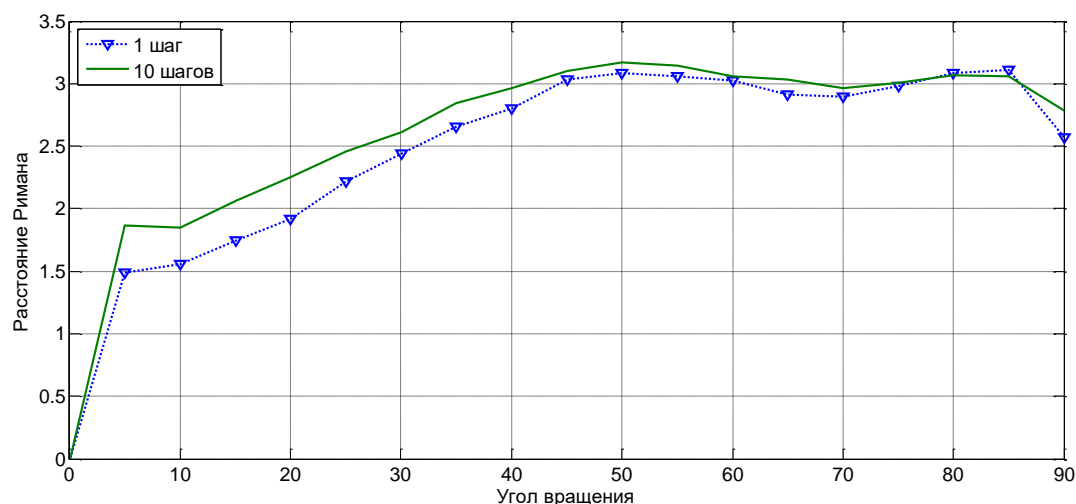


Рис. 4. Зависимость среднего значения расстояния Римана от угла вращения изображения объекта для различного числа итераций QR-алгоритма

Из рис. 3–4 следует, что увеличение числа итераций QR-алгоритма не оказывает значительного влияния на величину расстояния Римана и, следовательно, вероятность правильного обнаружения объекта. Поэтому для эффективной работы ковариационного дескриптора достаточно одной итерации QR-алгоритма с преобразованием Хаусхолдера.

Заключение

Выполнена оценка эффективности использования ковариационного дескриптора для поиска малоразмерных объектов на аэроизображениях в реальном масштабе времени. Установлено, что вычислительная сложность матрицы коэффициентов ковариации связана с размерами признаков изображений объекта и окон его поиска на видеокадре. Определено, что увеличение числа итераций QR-алгоритма не оказывает значительного влияния на значение расстояния Римана и для эффективной работы ковариационного дескриптора достаточно одной итерации QR-алгоритма с преобразованием Хаусхолдера.

QR-ALGORITHM FOR CALCULATION OF GENERALIZED EIGENVALUES OF COVARIANCE MATRICES

I.A. BARYSKIEVIC, Ya.E. AL HASHIMI, N.M.N. NAIF, D.M. ZIABKIN, D.S. SHCHERBA

Abstract

Efficiency estimation of a covariance descriptor for real time search of small objects in aerial images is provided. It is determined that computational complexity of the covariance matrix depends on the size of feature images of a search object and its candidate windows. It is found that the number of QR-algorithm iterations doesn't affect significantly on Riemann distance and for effective work of the covariance descriptor it is needed only a one iteration of QR-algorithm with Householder transformation.

Keywords: aerial image, covariance descriptor, Riemann distance, generalized eigenvalues, QR-algorithm.

Список литературы

1. Wu Y. et al. // IEEE Transactions on Image Processing. 2012. Vol. 21, №5. P. 2824–2837.
2. Борискевич И.А., Цветков В.Ю. // Докл. Национальной академии наук Беларуси. 2014. Т. 58, №3. С. 16–21.
3. Golub G.H. Matrix Computations. London, 1996.

УДК 621.382

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ, МОЩНЫХ И ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ НА ОСНОВЕ НИТРИДА ГАЛЛИЯ

И.Ю. ЛОВШЕНКО, В.С. ВОЛЧЕК, ДАО ДИНЬ ХА, В.Т. ХАНЬКО,
ДЖАМАЛЬ СААД А. ОМЕР*, В.Р. СТЕМПИЦКИЙ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

**Высший институт науки и техники
Триполи, Ливия*

Поступила в редакцию 18 ноября 2017

Описаны преимущества и недостатки применения нитрида галлия (GaN) по сравнению с другими полупроводниковыми материалами микроэлектроники. Показано, что высокая термическая, химическая и радиационная стойкость GaN позволяет использовать его для изготовления приборов, работающих при повышенных температурах и в экстремальных условиях, а его высокая теплопроводность упрощает охлаждение рабочей области. Определено, что сочетание высокой подвижности электронов и значительного поля пробоя делает его пригодным для изготовления мощных высокочастотных и высокотемпературных транзисторов. Рассмотрены конструктивные решения и технологические методы формирования приборных структур на основе GaN.

Ключевые слова: нитрид галлия, технология, приборная структура, датчик, моделирование.

Введение

Перспективными материалами с широким спектром практических применений являются структуры на основе полупроводниковых нитридов. Гетероструктуры на основе нитрида галлия и его твердых растворов обладают физическими свойствами, которые обеспечивают электронным приборам на их основе оптические, мощностные и частотные характеристики, позволяющие применять их в разных областях полупроводниковой электроники [1]. Спектр применения данного материала в оптоэлектронике широк: светодиоды сине-зеленой области видимого спектра, светодиоды ближнего ультрафиолетового диапазона, источники белого света на основе системы «кристалл – люминофор», активные среды лазерных диодов и др. [2]. Структуры на основе GaN перспективны не только для использования в оптоэлектронике, но и для применения в целях разработки компонентной базы силовой и СВЧ-электроники – диодов Шоттки (ДШ) и транзисторов с высокой подвижностью электронов (ТВПЭ); приборов, работающих в условиях жесткой радиации.

Характеристики нитрида галлия

Высокая по сравнению с другими полупроводниковыми материалами термическая, химическая и радиационная стойкость нитрида галлия позволяет использовать его для изготовления приборов, работающих при повышенных температурах и в неблагоприятных условиях [3]. Высокая теплопроводность нитрида галлия позволяет путем его использования упрощать решение проблем охлаждения рабочей области, а сочетание высокой подвижности электронов и значительного поля пробоя делает его пригодным для применения в процессе изготовления мощных высокочастотных и высокотемпературных транзисторов. Прямой

характер межзонных переходов, большая ширина запрещенной зоны, образование твердых растворов изоморфного замещения с нитридами алюминия и индия обуславливают возможность значительного расширения спектрального диапазона работы изготавливаемых на его основе светоизлучающих и фотоприемных устройств.

Преимуществами применения GaN в микроэлектронике являются следующие.

1. Высокая удельная плотность выходной мощности (компанией Cree [4] создан полевой GaN транзистор с гетеропереходом и управляющим затвором Шоттки (ГПТШ) с затвором длиной $L_z=0,55$ мкм и шириной $W_z=246$ мкм, выходная мощность $P_{\text{вых}}$ которого в непрерывном режиме на частоте 4 ГГц составляет выше 7,9 Вт при коэффициенте усиления по мощности $K_p=14$ дБ и коэффициенте добавленной мощности $h_{add}=54,8\%$. Таким образом удельная выходная мощность прибора $P_{\text{уд.вых}}=32,2$ Вт/мм [5] почти в три раза превышает предыдущие рекордные характеристики для ГПТШ).

2. Высокая рабочая температура (транзисторы сохраняют работоспособность при температурах до 500–600 °С [6]).

3. Применения для маломощных транзисторов в диапазоне частот от 1 ГГц до 25 ГГц (минимальный фактор шума GaN-транзистора с затвором длиной 0,12 мкм составляет 0,53 дБ на частоте 8 ГГц [7, 8]).

4. Возможность создания гибридных и монокристаллических микросхем на GaN-транзисторах [9].

5. Низкое по сравнению с традиционными транзисторами сопротивление во включенном состоянии (снижение потребления энергии) [10].

6. Удешевление GaN-приборов за счет применения высокоомных подложек Si (111). Главная трудность при использовании кремниевых подложек – получение в ходе эпитаксии качественного переходного слоя GaN-Si (111). Она обусловлена сильным различием коэффициента теплового расширения и параметров решетки этих двух материалов.

7. Высокая радиационная стойкость приборов [11].

Несмотря на наличие большого количества положительных свойств, приборные структуры на основе GaN имеют и ряд недостатков, основными из которых являются следующие.

1. Высокие требования к обеспечению эффективного теплоотвода от активной структуры.

2. Необходимость выращивания эпитаксиальных структур GaN на подложках, отличающихся по параметрам кристаллической решетки и тепловому расширению. Это обусловлено невозможностью реализации высокоомной подложки GaN (существенных успехов в решении данной задачи добились компании Ammono [12] и «Тринитри» [13]).

Для транзисторов существенной проблемой GaN-технологии является нестабильность тока стока I_c при увеличении напряжения стока V_c (например, резкое падение тока стока при достижении определенных значений V_c – эффект «коллапс»). Кроме того, обнаружилось ухудшение параметров приборов на высокой частоте, даже если они имели хорошие статические характеристики (эффект «дисперсия крутизны») и несоответствие в импульсном режиме выходного сигнала входному при изменении его значения (эффект «задержки затворного сигнала»). Все эти эффекты нестабильности связаны с дефектами материала (ловушечными центрами захвата), как на поверхности в области затвор-сток и затвор-исток, так и в объеме буферного GaN-слоя [14]. Предложены способы борьбы с ловушечными центрами на поверхности – пассивация поверхности готовых транзисторных структур тонкой диэлектрической пленкой SiN_x с определенным зарядом, связывающим поверхностные ловушечные состояния (уровень энергии ловушек $E_l=1,8$ эВ) [15].

Технология

Эпитаксиальные структуры GaN на подложках из сапфира, SiC, Si (111) выращиваются методами осаждения из паровой фазы металлоорганических соединений (англ. MOCVD), молекулярно-лучевой эпитаксии (англ. MBE) и хлоридно-гидридной эпитаксии (англ. HVPE). Несмотря на положительные результаты, достигнутые к настоящему времени, технология формирования исходных эпитаксиальных структур AlGaIn/GaN на подложках сапфира, SiC и Si (111) методами гетероэпитаксии еще далека от совершенства. Структуры, выращенные

методами MOCVD, MBE и HVPE, имеют большую плотность дефектов (от 10^6 до 10^9 см⁻²). Присутствие дефектов сказывается на долговременной работе, особенно в условиях высоких напряжений и повышенных температур. Более 30 компаний в мире являются производителями GaN-подложек, основные из которых – Imec, Epigan, Novagan, Azzurro, Dowa, Nttat, Powdec, Кума, Translucent, Dow Corning.

Гетероэпитаксия приводит к возникновению механических напряжений, вследствие рассогласования постоянных решеток. Различие температурных коэффициентов расширения подложки и слоя приводит к возникновению напряжения при охлаждении структуры до комнатной температуры, что может привести к ее изгибу или растрескиванию структуры.

С точки зрения коммерческого применения, наиболее перспективным вариантом является случай, когда в качестве подложки используется кремний. Одним из методов, пригодных для выращивания подложек нитрида галлия на кремниевой подложке, является метод хлорид-гидридной газофазной эпитаксии (ХГЭ) [16]. На сегодняшний день этот метод является единственным промышленно реализованным. Технологией получения подложек нитрида галлия владеют лишь несколько компаний. Традиционные режимы технологической операции не гарантируют проведение качественной ХГЭ на подложках из кремния, т.к. не способны предотвратить процесс химической реакции между галлием и кремнием при температурах выше 1170 К, вызванный диффузией кремния в растущий слой. В [17] показано, что использование затравочных слоев позволяет существенно снизить эффекты рассогласования в системе GaN/Si. При толщинах наращиваемого GaN 0,3 мкм были получены эпитаксиальные слои, не содержащие трещин. Значительный интерес представляет гибридная технология, объединяющая в себе стандартную кремниевую и GaN-технологии [17].

Во всех случаях формирование кристалла осуществляется только за счет сухого (плазмохимического) травления. При этом используются источники плазмы с высокой плотностью ионов, таких как электронно-циклотронный резонанс и индукционная плазма, в которых высокий поток ионов обеспечивает высокую эффективность разрыва связей GaN. Для легирования GaN примесями *n*- и *p*-типа используется имплантация ионов Si⁺ и Mg⁺ с последующим высокотемпературным отжигом при температуре выше 1320 К [18, 19].

Конструктивные решения

На данный момент в мире реализованы различные типы нитрид-галиевых СВЧ-транзисторов, подтверждающие перспективность этого класса приборов. Создание гетеропереходных полевых транзисторов с затвором Шоттки на AlGaN/GaN – одно из главных направлений СВЧ-полупроводниковой электроники. Основной элемент такой структуры – область двумерного газа в квантовом колодце, расположенная непосредственно под гетеропереходом. Подвижность в этой области составляет 2000 см²/Вс, а концентрация носителей 10^{13} см⁻². Структура ГПТШ представлена на рис. 1. Буферный слой улучшает параметры двумерного электронного газа, препятствует переходу его электронов на поверхностные состояния и объемные дефекты. Созданные конструкции ГПТШ позволяют получить выходную мощность более 8 Вт на частоте 4 ГГц [20].

На рис. 2 представлена приборная структура GaN-ТВПЭ, описанная в [21]. Типовая конструкция ТВПЭ на основе GaN лежит в основе многих перспективных химико-биологических сенсоров, датчиков давления и т.п. Светоизлучающий диод (СИД, англ. LED) на основе GaN представлен на рис. 3. Существует несколько разновидностей конструкции светодиодного чипа. Для светодиодов на основе классических соединений A_{III}B_V, таких как GaAs и InP, типичным в конструкции чипа является наличие контактных площадок на поверхности структуры. Вывод света также осуществляется через поверхность, поскольку подложка непрозрачна для излучения, генерируемого в активной области структуры. Такая конструкция чипа называется *face-up* или чип с излучением через поверхность. В настоящее время абсолютное большинство коммерческих светодиодных кристаллов на основе GaN выращивается на подложках монокристаллического сапфира. Наличие прозрачной для излучения и непроводящей подложки способствует использованию *flip-chip* конструкции светодиодного кристалла, в которой обе контактные площадки находятся на одной стороне структуры, а генерируемый свет выводится с противоположной стороны через прозрачную сапфировую подложку. Несомненным

достоинством является возможность монтажа чипа на плате-носителе без контактных проводников, что перспективно для массового производства.

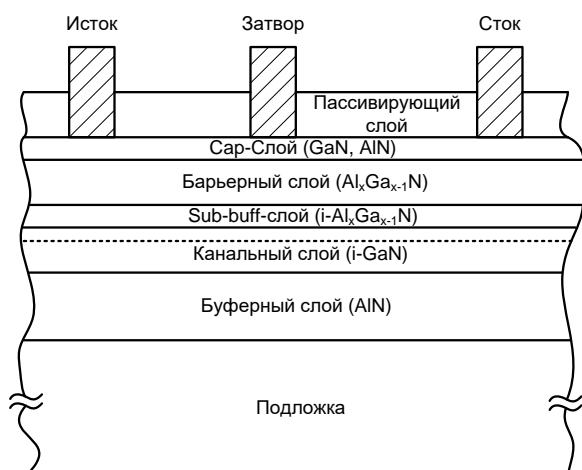


Рис. 1. Типовая структура GaN-ГПТШ

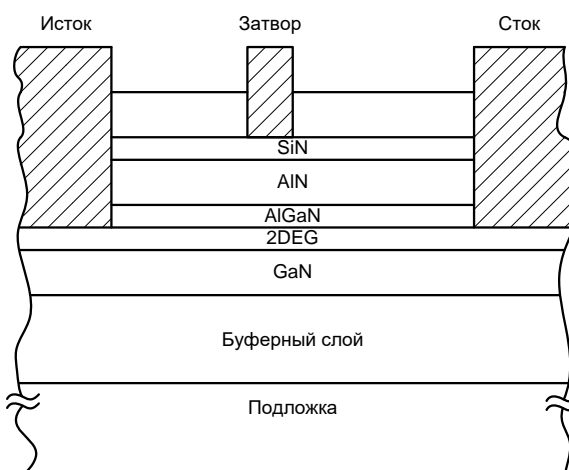


Рис. 2. GaN-ТВПЭ с изолированным затвором

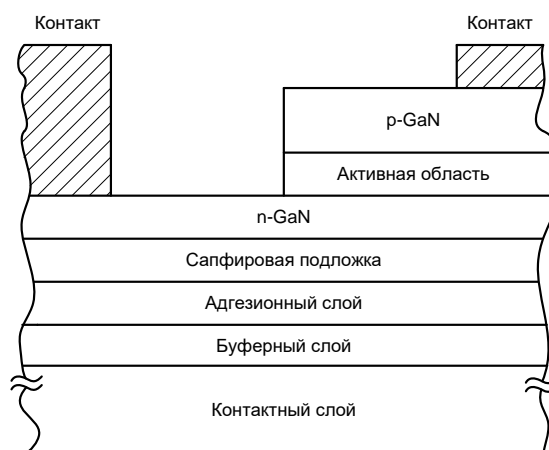


Рис. 3. GaN-СИД

В условиях эксплуатации светодиодов при повышенных токах особое значение приобретает обеспечение эффективного отвода тепла от кристалла. По этому параметру flip-chip кристаллы существенно превосходят face-up кристаллы, в которых сапфировая подложка, отделяющая кристалл от теплоотвода, имеет низкую теплопроводность и препятствует эффективному теплопереносу [22].

Так как GaN является достаточно перспективным полупроводниковым материалом с точки зрения создания радиационно-стойкой СВЧ элементной базы для использования в военной и космической технике, его применяют при изготовлении различных датчиков: УФ-излучения (рис. 4), датчик ИК-излучения и датчик ионизирующего излучения (ИИ) [23]. Повышенная устойчивость к ионизирующему излучению делают GaN перспективным материалом для создания длительно работающих солнечных батарей космических аппаратов. На рис. 5 в качестве примера представлена приборная структура ячейки и преобразователь солнечной батареи.

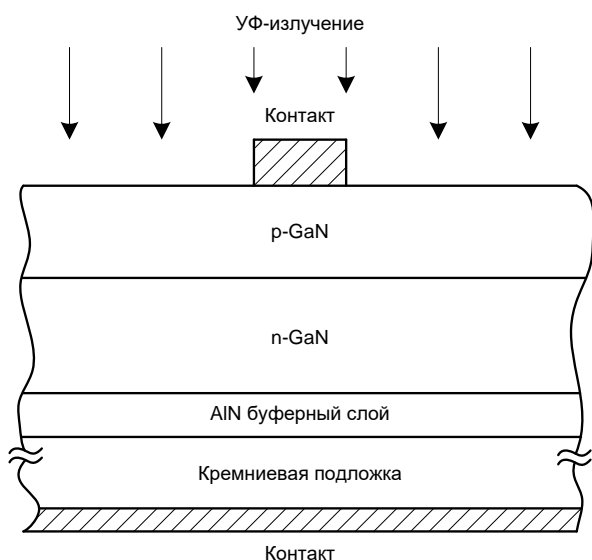


Рис. 4. Датчик УФ-излучения

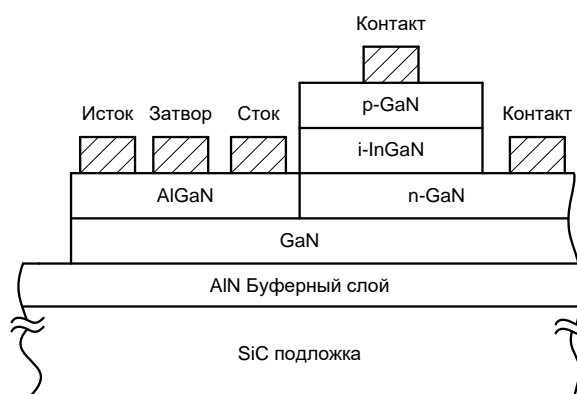


Рис. 5. Преобразователь солнечной батареи

Компьютерное моделирование приборных структур на основе Ga

Для создания перспективных приборов и устройств необходимо использовать современные системы проектирования, в частности, системы приборно-технологического моделирования. Такие системы позволяют численно оценивать влияние различных конструктивных и технологических решений на параметры разрабатываемых устройств, что существенно уменьшает затраты на проведение экспериментов.

Большинство современных САПР приборно-технологического моделирования были созданы, в первую очередь, для расчета приборов на основе кремниевой технологии. Модели, которые используются для расчета кремниевых приборов, прошли отработку и позволяют с высокой степенью точности рассчитывать статические и динамические характеристики. При переходе к широкозонным материалам, в частности, GaN, использовать данные модели невозможно. В последнее время разработано большое число моделей для расчета приборов на основе указанных материалов.

В программном комплексе компании Silvaco существует модуль Blaze, который позволяет имитировать устройства, изготовленные с использованием современных материалов. Он включает в себя библиотеку двойных, тройных и четверных полупроводниковых соединений, Blaze имеет встроенные модели для градуированных и резких гетеропереходов и имитирует бинарные структуры, такие как ПТШ, HEMTs и HBTs. Все измеримые DC, AC и переходные характеристики устройства могут быть получены в результате моделирования. В рассчитываемые характеристики DC входят пороговое напряжение, коэффициент усиления, токи утечки, напряжение и ток пробоя и т.д. В [24–30] представлены результаты моделирования приборных структур на основе GaN.

Благодарности

Представленные результаты получены в рамках выполнения задания 3.1.02 ГПНИ «Фотоника, опто- и микроэлектроника» и 1.8.05 ГПНИ «Информатика, космос и безопасность».

Заключение

Проведенный анализ и полученные ранее результаты показывают, что по сравнению с другими полупроводниками нитрид галлия (GaN) обладает объективными преимуществами для применения в качестве базового материала при изготовлении силовых, высокочастотных и оптоэлектронных приборов.

Высокая термическая, химическая и радиационная стойкость GaN позволяет использовать его для формирования структур, работающих при повышенных температурах и в экстремальных условиях, а высокая теплопроводность упрощает охлаждение рабочей области; сочетание высокой подвижности электронов и значительного поля пробоя делает его пригодным для изготовления мощных высокочастотных и высокотемпературных транзисторов.

TECHNOLOGICAL AND CONSTRUCTIVE SOLUTIONS FOR HIGH-FREQUENCY, POWERFUL AND OPTOELECTRONIC DEVICES BASED ON GALLIUM NITRIDE

I.Yu. LOVSHENKO, V.S. VOLCHECK, V.T. KHANKO,
DAO DINH HA, JAMAL SAAD, V.R. STEMPISTKY

Abstract

Advantages and disadvantages of gallium nitride (GaN) usage in comparison with other microelectronics semiconductor materials are described. It is shown that high thermal, chemical and radiation resistance of GaN makes possible to use it for the manufacture of devices operating at elevated temperatures and under extreme conditions, and high thermal conductivity simplifies the cooling of the working region. It is determined that combination of high mobility of electrons and a significant breakdown field makes it suitable for the manufacture of high-power high-frequency and high-temperature transistors. The design solutions and technological methods for the formation of based on GaN devices are proposed.

Keywords: gallium nitride, technology, device structure, sensor, modeling.

Список литературы

1. *Jayant Baliga B.* Fundamentals of Power Semiconductor Devices. Springer, 2008.
2. *Туркин А.Н.* // Компоненты и технологии. 2011. №5.
3. *Ансельм А.И.* Введение в теорию полупроводников. М., 1978.
4. LED Lighting, LED Technology, SiC & GaN Power, RF Solutions | Cree. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cree.com>.
5. *Wu Y.-F., Saxler A., Moore M. et al.* // IEEE Electron Devices Lett. 2004. №11(25). P. 117–119.
6. *Daumiller I., Kirchner C., Kamp M. et al.* // IEEE Electron Device Lett. 1999. №9. P. 440–450.
7. *Lu W., Kumar V., Piner E.L., Adesida I.* // IEEE Trans. Elec. Devices. 2003. №4(50). P. 1069–1074.
8. *Adesida I., Lu W., Kumar V.* // 6 Int. Conf. on Solid_State and IC Technology Proc. 2001. P. 1163–1168.
9. *Palmour J.W. et al.* // IEDM. 2001. P. 385–391.
10. *Kuzuhara M., Miyamoto H., Ando Y. et al.* // Phys. Stat. Sol. 2003. №1(200). P. 161–167.
11. *Данилин В.Н., Докучаев Ю.П., Жукова Т.А. и др.* // Обзоры по электронной технике. Сер.1. СВЧ-техника. 2001. Вып. 1.
12. Ammono. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ammono.com>.
13. Технологическая компания «Тринитри». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.trinitri.ru>.
14. *Binari S.C., Klein P.B., Kazior T.E.* // Proceedings of the IEEE. 2002. №6(90). P. 1048–1058.
15. *Lee J.S., Kim J.W., Lee J.H. et al.* // Electron. Lett. 2003. №9(39). P. 750–752.
16. *Мынбаева М.Г., Головатенко А.А., Печников А.И. и др.* // Физика и техника полупроводников. 2014. №11(48). С. 1573–1577.
17. *Chung J.W., Ryu K., Lu B. et al.* // Proceedings of the European Solid-State Device Research Conference 2010 (ESSDERC). 2010. P. 52–56.
18. *Taking S.* // Glasgow Theses Service, 2012. P. 175.
19. *Ануфриев Л.П., Бордусов С.В. и др.* Технология изделий интегральной электроники Минск, 2009.
20. *Щука А.А.* Нанoeлектроника. М., 2012.
21. *Parikh P., Mishra U., Wu Y.* // United States Patent. 2007. №7. P. 230–284.
22. *Марков Л.К. и др.* // Физика и техника полупроводников. 2013. №3(47). С. 386–391.
23. *Громов Д.В., Матвеев Ю.А., Назарова Г.Н.* // Институт экстремальной прикладной электроники НИЯУ «МИФИ». Москва, 2012.
24. *Волчѣк В.С. и др.* // Докл. БГУИР. 2015. №7(93). С. 99–105.

25. Волчѣк В.С., Дао Динь Ха, Ловиенко И.Ю. и др. // Докл. БГУИР. 2015. № 7(93). С. 99–105.
26. Волчѣк В.С., Стемпицкий В.Р. // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (КрыМиКо'2016). 2016. С. 1600–1606.
27. Volchek V., Dao Dinh Ha, Stempitsky V. et al. // 2016 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC). 2016. P. 264–267.
28. Волчѣк В.С., Стемпицкий В.Р. // Нитриды галлия, индия и алюминия – структуры и приборы. 2017. С. 122–123.
29. Волчѣк В.С., Стемпицкий В.Р. // Современные проблемы радиоэлектроники. 2017. С. 500–503.
30. Volcheck V.S., Stempitsky V.R. // J. Phys.: Conf. Ser. 2017. Vol. 917.

УДК 004.627

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО КВАНТОВАТЕЛЯ В АУДИОРЕЧЕВОМ КОДЕРЕ НА ОСНОВЕ РАЗРЕЖЕННОЙ АППРОКСИМАЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ

В.В. АВРАМОВ, В.Ю. ГЕРАСИМОВИЧ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 29 октября 2017

Приводится описание алгоритма кодирования аудиосигналов на основе согласованной подгонки со словарем частотно-временных функций с применением аппарата искусственных нейронных сетей для квантования параметров кодера. Определение словаря функций происходит посредством пакетного дискретного вейвлет-преобразования, перцептуально оптимизированного для анализируемого фрейма входного сигнала. Описана возможность применения нейронных сетей прямого распространения для решения задачи квантования параметров кодера. Приводятся структура нейросетевого квантователя и результаты исследования его эффективности.

Ключевые слова: аудиосигнал, нейронные сети, согласованная подгонка, квантование, частотно-временное преобразование.

Введение

Сжатие звуковой информации является актуальной задачей в современном мире, поскольку активное развитие и внедрение получают такие технологии как передача аудиоинформации по коммуникационным каналам (VoIP, VoLTE), потоковое вещание мультимедиа (Streaming Media), цифровое радиовещание (DAB). В каждой из перечисленных технологий одной из наиболее важных задач является компактное представление цифрового звукового сигнала. Современные алгоритмы сжатия звука обладают высокими показателями качества реконструированного сигнала и различными вариациями скорости битового потока. Однако они дифференцированы относительно типа входного сигнала: часть из них рассчитана на работу с речевыми входными данными (вокодеры) [1], другие же предназначены для работы со аудиоинформацией и не позволяют добиться максимальной степени сжатия для речи [2]. Существуют гибридные подходы, позволяющие работать с двумя типами входного звукового сигнала [3, 4], однако в данном случае в кодере предполагается использование двух моделей и детектора входного сигнала, который определяет, на какую из них направлять сигнал. Следовательно, разработка универсального кодера, способного работать со входными сигналами с различным звуковым информационным наполнением в реальном масштабе времени является актуальной задачей.

В работе показан алгоритм сжатия на основе согласованной подгонки (СП) со словарями частотно-временных функций, построенный на базе пакетного дискретного вейвлет-преобразования (ПДВП), перцептуально оптимизированного для входного фрейма сигнала. В любом аудиокодере с потерями важным шагом процесса кодирования является алгоритм квантования данных. В работе показан вариант применения аппарата искусственных нейронных сетей (ИНС) прямого распространения в качестве квантователя. Нейросетевое квантование [5] заключается в отображении многомерного пространства векторов с вещественными, непрерывными амплитудами компонент в некоторое дискретное множество. Иными словами, нейросетевое квантование – это совместное квантование вектора параметров, которое позволяет

исключить избыточность за счет эффективного использования взаимосвязанных свойств векторных параметров, к которым относят линейные и нелинейные зависимости, форму функции плотности вероятности, а также многомерность векторной величины.

Описание аудиоречевого кодера на основе согласованной подгонки

Алгоритм сжатия универсального масштабируемого аудиокодера состоит из двух основных частей: перцептуально оптимизированного ПДВП и СП. Входной фрейм сигнала поступает в блок адаптивного ПДВП, в котором осуществляется определение наиболее оптимального дерева декомпозиции на базе психоакустического моделирования [6, 7] и двух стоимостных функций – временной и перцептуальной энтропии [8]. Дерево декомпозиции ПДВП представляет собой словарь частотно-временных функций для следующего шага работы алгоритма кодирования – параметризации входного фрейма на основе СП алгоритма, позволяющего осуществить разреженную аппроксимацию сигнала, т.е. его представление минимальным числом ненулевых компонентов [9]. В разрабатываемом аудиокодере на данном шаге выбирается наиболее перцептуально значимые для восприятия элементы (атомы), которые дают максимальное соответствие между моделируемой и исходной скалограммами [10]. Алгоритм СП повторяется до тех пор, пока не достигнуто определенное условие остановки. Таким условием может служить фиксированное количество отобранных атомов, определенный порог энергии остаточного сигнала, а также перцептуальный критерий, который говорит о том, насколько релевантная для восприятия человеческим ухом информация находится в сигнале-остатке. Выбранные путем такого моделирования атомы необходимо заквантовать для их компактного представления.

Квантование на основе ИНС прямого распространения

Естественной архитектурой ИНС для реализации квантователя является сеть прямого распространения, содержащая входной, кодовый и выходной слои, причем размерность входного слоя должна быть равна размерности выходного слоя. Основной задачей обучения такой ИНС является получение на выходе вектора с минимальным отклонением от входного.

Однослойная сеть (сеть с одним скрытым слоем), описанная выше, весьма ограничена по своим вычислительным возможностям. Объем информации, запоминаемый и воспроизводимый ИНС данного типа, зависит от количества нейронов. Исходя из этого, очевидно, что одного скрытого слоя будет недостаточно, и выбор следует сделать в пользу многослойной архитектуры. Таким образом, для расширения возможностей необходимо применять многослойные нейронные сети [11].

При обучении многослойной нейронной сети (сети с числом скрытых слоев более двух), методом обратного распространения ошибки [12] возникает проблема затухающего градиента, которая приводит к низкой эффективности обучения таких ИНС. При вычислении градиента по методу обратного распространения ошибки его значение уменьшается по мере распространения от выходного слоя к входному [13]. Решением данной проблемы является разделение процесса обучения многослойной ИНС [14] на следующие две стадии.

1. Предварительное послойное обучение сети – последовательное попарное обучение соседних слоев ИНС.

2. Тонкая подстройка весовых коэффициентов – обучение всей сети по методу обратного распространения ошибки одним из градиентных методов.

Идея такого обучения заключается в том, что во время обучения не потребуется значительно менять веса многослойной сети, которые были проинициализированы послойным предобучением, как следствие проблема затухания градиента уже не будет так сильно влиять на данный процесс. Предобучение заключается в выделении пары соседних слоев многослойной нейронной сети, начиная со входного слоя, и обучения этой пары слоев. Процедура последовательно повторяется для всех слоев сети.

Установим формально задачу обучения нейросетевого квантователя как минимизацию функции потерь в пространстве весовых коэффициентов. Обозначим функцию, реализуемую сетью – f , обучающее множество – X , количество обучающих примеров – N , весовые

коэффициенты сети – \mathbf{W} , квантованный и неквантованный выходы кодового слоя \mathbf{V} и \mathbf{H} соответственно. Тогда функцию потерь в матричном виде можно записать следующим образом:

$$E(f(\mathbf{X}, \mathbf{W}), \mathbf{X}) = \frac{1}{2N} \cdot \|f(\mathbf{X}, \mathbf{W}) - \mathbf{X}\|^2 + \frac{\alpha}{2N} \cdot \|\mathbf{H} - \mathbf{V}\|^2 + \frac{\beta}{2} \cdot \left\| \frac{1}{N} \cdot \mathbf{H} \cdot \mathbf{H}^T - \mathbf{I} \right\|^2 + \frac{\gamma}{2N} \cdot \|\mathbf{H} \cdot \mathbf{1}_{N \times 1}\|^2, \text{ где } \mathbf{I} -$$

единичная матрица. В данном выражении первое слагаемое представляет собой среднеквадратичную ошибку между входом сети и ее выходом и соответствует основной цели обучения (получение на выходе вектора с минимальным отклонением от входного). Второе слагаемое в выражении отвечает за минимизацию ошибки квантования выходов кодового слоя. Его присутствие обусловлено тем, что функции активации кодового слоя, как и всех остальных слоев ИНС, является гиперболический тангенс, а получить двоичные коды можно лишь при использовании пороговой функции активации, которую нельзя использовать в сетях, обучающихся по алгоритму обратного распространения ошибки, т.к. данный алгоритм требует дифференцируемости передаточной функции. С целью увеличения емкости кодового слоя и предотвращения получения тривиальных кодов в алгоритм обучения были включены условия ортогональности выходов кодового слоя [15] и сбалансированности [16], регулируемые параметрами β и γ соответственно. Условие ортогональности позволяет получать более независимые преобразования в кодовом слое, а условие сбалансированности – коды, где «0» и «1» равновероятны.

Как показано на рис. 1, нейросетевой квантователь и деквантователь для атомов аудиокодера представлены шестислойной ИНС прямого распространения.

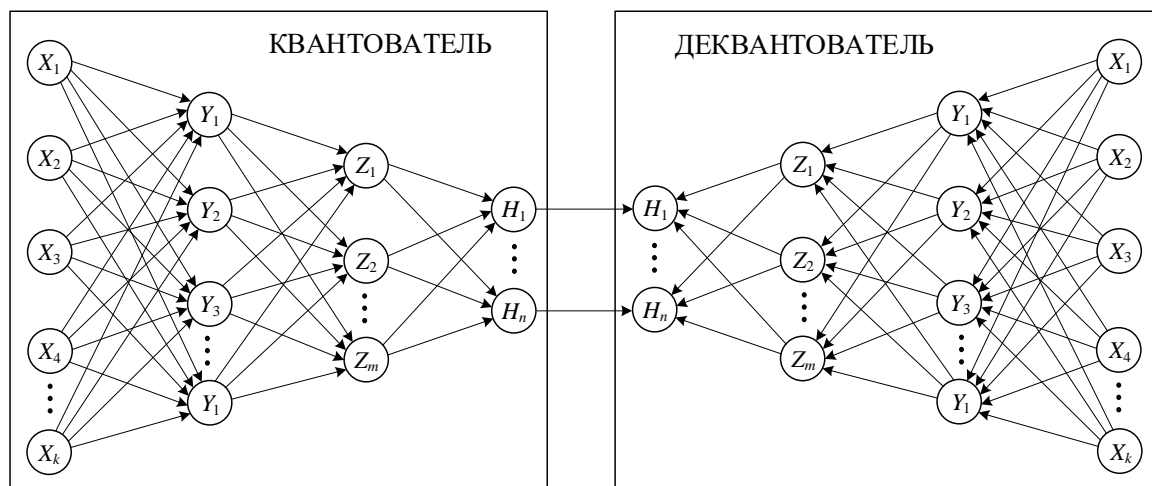


Рис. 1. Структура нейросетевого квантователя

В процессе обучения многослойная ИНС рассматривается как единая сеть, однако для функционирования в составе аудиокодера ее необходимо разделить на две части: квантователь, находящийся на стороне кодера, и деквантователь – на стороне декодера. Центральный слой рассматривается как кодовый в квантователе и как входной в деквантователе. Данный слой позволяет получить двоичное отображение входной информации (атомов). Кодовый вектор формируется в процессе прямого распространения от входного слоя нейронов квантователя к выходному. Реконструированный сигнал формируется симметричной нейронной сетью в процессе прямого прохода от входного слоя нейронов деквантователя к выходному. Поскольку деквантователь представляет собой симметричную ИНС, которая обучается вместе с квантователем, то он может реконструировать входной вектор с точностью, зависящей от обучения сети и ее внутренней архитектуры. Данный подход позволяет добиться большей глубины компрессии относительно скалярного квантования, при этом, с низкой степенью искажения выходного реконструированного аудиосигнала в случае успешного эффективного обучения ИНС.

Экспериментальные результаты исследований

Обучение нейросетевого квантователя проводилось для 200 атомов. Структура слоев ИНС квантователя аудиокодера в процессе обучения приведена в табл. 1.

Таблица 1. Конфигурации нейросетевого квантователя аудиокодера

Слой	Размер	Функция активации
1	200 (вход)	-
2	160	Гиперболический тангенс
3	128	Гиперболический тангенс
4	100 (код)	Гиперболический тангенс
5	128	Гиперболический тангенс
6	160	Гиперболический тангенс
7	200 (выход)	Линейная

Входной тестовой последовательностью служили одноканальные образцы звуковых сигналов (табл. 2) с частотой дискретизации 44.1 кГц и разрядностью отсчетов 16 бит. В табл. 2 показано усредненное для фреймов каждого образца среднеквадратическое отклонение (СКО).

Таблица 2. Тестовые образцы и ошибка их реконструкции

№	Наименование образца	Описание	Ошибка реконструкции (СКО)
1	es01	Вокал (SuzanVega)	$2,57 \cdot 10^{-5}$
2	es02	Речь на немецком языке	$1,22 \cdot 10^{-4}$
3	es03	Речь на английском языке	$1,69 \cdot 10^{-4}$
4	sc01	Соло на трубе и оркестр	$5,27 \cdot 10^{-5}$
5	sc03	Современная поп-музыка	$1,32 \cdot 10^{-4}$
6	si01	Клавесин	$1,76 \cdot 10^{-5}$
7	si02	Кастаньеты	$1,45 \cdot 10^{-5}$

Принцип расчета скорости битового потока при использовании скалярного квантования в аудиокодере подробно показан в [17]. Так, для варианта с использованием 200 атомов для реконструкции расчетная степень сжатия составляет порядка 19 раз. При этом, в каждом фрейме передаются 200 атомов, значения которых сепарировано квантуются, и с учетом распределения бит на отсчет получается, что для их представления необходимо примерно 380 бит. В описываемом способе квантования на основе ИНС все 200 атомов отображаются в единый вектор, состоящий из 100 двоичных значений. Следовательно, скорость битового потока для данного варианта с учетом необходимости кодирования дополнительной информации ИНС будет в 3,45 раз ниже, нежели при скалярном квантовании, т.е. степень сжатия приблизительно будет составлять 65,5 раз.

На рис. 2 отражены оригинальный и закодированный сигналы. Как видно из данных спектрограмм, в реконструированном сигнале почти полностью отсутствует информация на частотах, составляющих 15 кГц и более. Это связано с тем, что на этапе выбора атомов элементы данной частотной полосы показали минимальную информативность для восприятия сигнала человеческим ухом и не были включены в выходной набор атомов. Остальная часть информации была передана при реконструкции достаточно подробно, с учетом высокой степени сжатия.

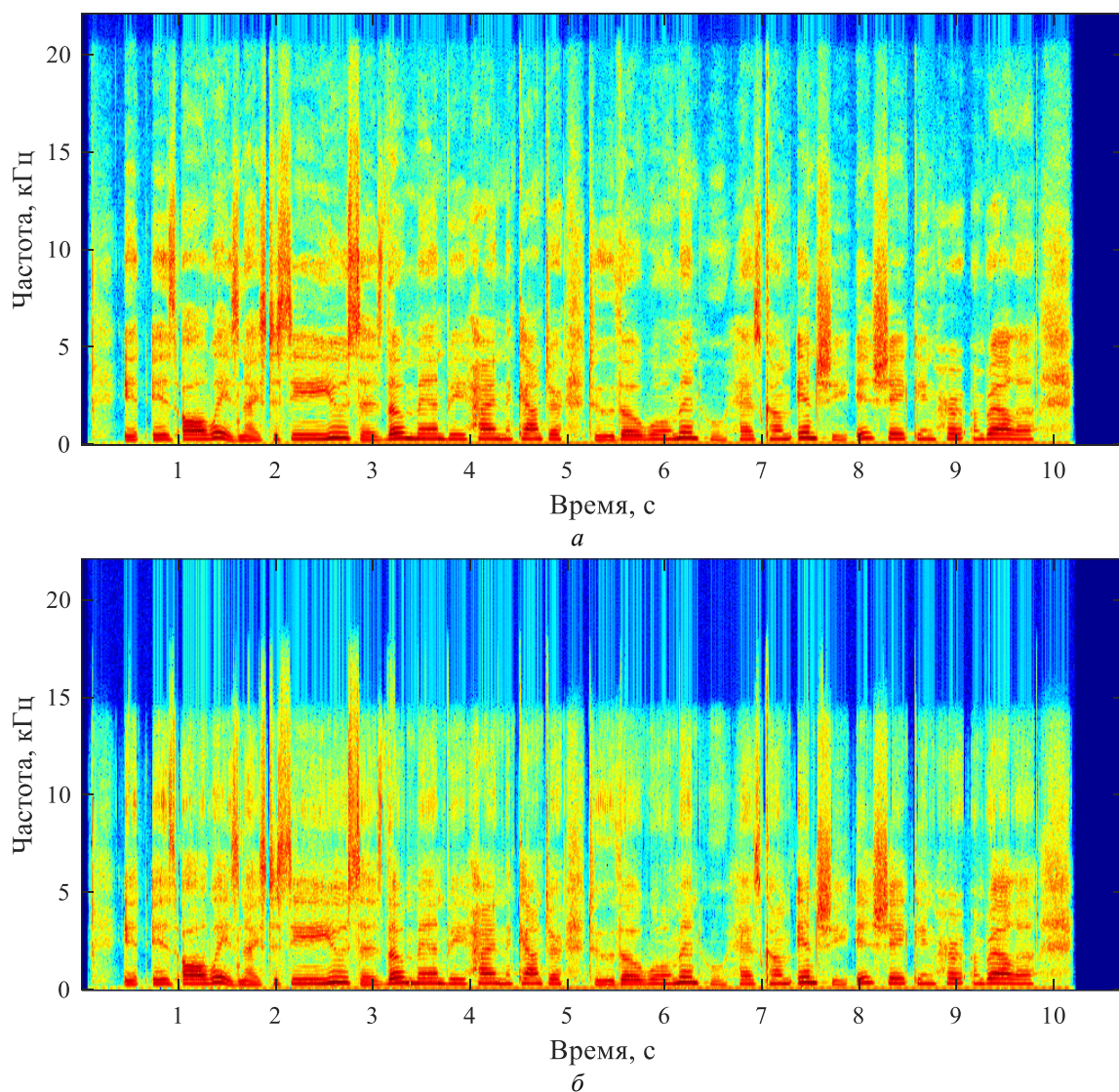


Рис. 2. Результаты работы нейросетевого квантователя универсального аудиокодера:
a – спектрограмма оригинального сигнала; *б* – спектрограмма реконструированного сигнала

Заключение

В работе описан универсальный масштабируемый аудиокодер на основе алгоритма СП с перцептуально оптимизированными словарями частотно-временных функций на базе ПДВП. Показан алгоритм квантования атомов на основе ИНС прямого распространения и проведен анализ результатов его работы. При использовании данного подхода достигнуты высокие результаты качества реконструированного сигнала при высокой степени сжатия. При этом, данный тип квантования, основанный на алгоритме машинного обучения, будет напрямую зависеть от объема информации в обучающей выборке и длительности процесса обучения, т.е. качество результатов будет возрастать при увеличении данных параметров.

APPLICATION OF THE NEURAL NETWORK QUANTIZER IN THE AUDIOSPEECH CODER BASED ON THE SPARSE APPROXIMATION AND STUDYING OF ITS EFFECTIVENESS

V.V. AVRAMOV, V.Y. HERASIMOVICH

Abstract

Description of the audio signal encoding algorithm based on the matching pursuit with the time-frequency dictionary and the artificial neural networks for quantization is given. Determination of the dictionary occurs through the perceptually optimized for the input signal frame wavelet packet transform. Utilization of the feed forward neural networks for the quantization goal is described. Structure of the quantizer and its performance evaluation is given.

Keywords: audiosignal, neural networks, matching pursuit, quantization, time-frequency transforms.

Список литературы

1. Spanias A. // Proceedings of the IEEE, Vol. 82. 1994. P. 1541–1582.
2. Painter T., Spanias A. // Proceedings of the international conference on digital signal processing. DSP 97. 1997. P. 179–205.
3. Valin J.-M. et al. // AES 135th Convention. 2013. P. 8942.
4. Vos K. et al. // AES 135th Convention. 2013. P. 8941.
5. Серков В.В., Петровский А.А. // Труды 4-й Международной конференции Цифровая обработка сигналов и ее применение DSPA'2002. 2002. С. 426–428.
6. Петровский Ал.А. // Речевые технологии. 2008. №4. С. 61–71.
7. Герасимович В.Ю., Петровский Ал.А. // Информатика. 2017. №4(56). С. 89–103.
8. Petrovsky Al., Krah D., Petrovsky A. // AES 114th Convention. 2003. P. 5778.
9. Mallat S., Zhang Z. // IEEE Transactions on Signal Processing. 1993. Vol. 41. №12. P. 3397–3415.
10. Petrovsky Al., Herasimovich V., Petrovsky A. // Signal Processing: Algorithms, Architectures, Arrangement, and Applications (SPA). 2016. P. 225–229.
11. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. М., 1992.
12. Rummelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J. // Computational models of cognition and perception. 1986. Vol. 1, Chap. 8.
13. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. М., 2006.
14. Bengio Y., Lamblin P., Popovici D. // NIPS. 2006. P.153–160.
15. Thanh-Toan Do, Anh-Dzung Doan, Ngai-Man Cheung // The 14th European Conference on Computer Vision. 2016. P. 219–234.
16. Erin V., Liang J., Lu G. et al. // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2015. P. 2475–2483.
17. Petrovsky Al., Herasimovich V., Petrovsky A. // AES 138th Convention. 2015. P. 9264.

УДК 621.39-048.78

КОНЦЕПЦИЯ ТЕРАБИТНЫХ СУПЕРКАНАЛОВ В DWDM-СИСТЕМАХ С БОЛЬШОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ

И.В. СИНКЕВИЧ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 29 ноября 2017

Разработаны методы повышения пропускной способности ВОСП. Выявленные тенденции и подходы к решению такой задачи позволяют актуализировать направление развития высокоскоростных оптических систем, использующих когерентное детектирование и DP-QPSK модуляцию.

Ключевые слова: когерентный формат, суперканал, канальная скорость, транспортные средства, пространственное мультиплексирование.

Введение

Цифровая связь по оптическим кабелям, приобретающая все большую актуальность, является одним из главных направлений научно-технического прогресса. В связи с ростом объемов передаваемой информации потребность в увеличении скорости ее передачи растет на всех уровнях, начиная с локальных сетей и соединений между компьютерами и заканчивая дальними транспортными сетями.

Развитие сети Internet, появление новых услуг связи, способствует росту передаваемых по сети потоков данных и ставит перед операторами задачу поиска пути увеличения пропускной способности транспортных сетей. При выборе решения необходимо учитывать разнообразие потребностей абонентов, потенциал для развития сети, а также экономическую целесообразность.

Задача увеличения пропускной способности волоконно-оптических систем передачи при сохранении дальности безрегенерационной передачи информации является наиболее актуальной для сетей дальней связи. Для ее решения во всем мире на смену системам, использующим модуляцию мощности и прямое детектирование, приходят когерентные оптические системы.

Теоретический анализ

Использование когерентного формата 100 Гбит/с DP-QPSK со сверхплотным расположением каналов позволяет увеличить пропускную способность одного волоконного соединения до 12–16 Тбит/с при использовании стандартного C-диапазона. Использование расширенного C-диапазона или одновременное использование C- и L-диапазонов позволяет довести суммарную емкость до 20–30 Тбит/с.

Однако возрастание до нескольких сотен числа DWDM-каналов существенно усложняют управление сетью. Увеличение канальной скорости позволит уменьшить число каналов. Кроме того, канальные скорости 400 Гбит/с и 1 Тбит/с могут потребоваться в сетях с новым поколением Ethernet. При увеличении канальной скорости при сохранении одной несущей возникает проблема резкого уменьшения дальности передачи без регенерации. Необходимость строительства дополнительных усилительных пунктов приводит к удорожанию систем связи.

Решением, позволяющим сохранить дальность передачи и увеличить канальную скорость, является использование множества несущих в одном объединенном канале, который принято называть суперканалом. Несущие частоты, относящиеся к одному каналу, принято называть поднесущими частотами. Поскольку наибольшей производительностью обладают системы связи на основе формата DP-QPSK, то именно его целесообразно использовать в сочетании с одной из технологий передачи информации на многих поднесущих: OFDM, OWDM или Nyquist WDM.

Суперканал – это совокупность нескольких (порядка 10), очень плотно расположенных оптических каналов, которые обычно называют оптическими поднесущими. Предполагается, что суперканал при прохождении по оптической сети будет управляться оптическими маршрутизаторами и коммутаторами как единое целое и суммарная скорость передачи информации по нему будет порядка терабит. Терабитный суперканал может быть образован 10 поднесущими, каждая из которых передает сигнал со скоростью 100 Гбит/с в формате DP-QPSK. Таким образом, использование этой технологии будет способствовать поддержанию будущего стандарта Terabit Ethernet.

В работе исследованы характеристики передачи терабитного суперканала, образованного 10 поднесущими PM-QPSK (10×100 Гбит/с). При расстоянии по частоте между поднесущими 27,5 ГГц ($SE=3,6$) дальность передачи по стандартному волокну составила 2226 км, а при расстоянии 30 ГГц – 2600 км ($SE=3,3$).

Суперканалы разделены некоторой неиспользуемой (защитной) спектральной полосой, необходимой при работе с оптическими маршрутизаторами OADM и WSS. Они маршрутизируют и переключают их как единое целое.

Наибольшей готовностью для систем дальней связи со скоростью 20 Тбит/с обладает техническое решение, основанное на использовании 200 каналов со скоростью 100 Гбит/с в формате DP-QPSK в $(C + L)$ -диапазонах.

Для реализации данной системы могут быть использованы существующие устройства:

- транспондеры для передачи 100 Гбит/с в DWDM канале на базе формата DP-QPSK;
- оптические усилители с поддержкой $(C + L)$ -диапазона с суммарным спектральным диапазоном 80 нм;

оптические мультиплексоры с шагом 33 ГГц (0,26 нм), применяемые для подводных линий связи.

Также могут быть использованы сетка с частотой 50 ГГц и расширенный диапазон $(C + L)$ -усилителей. Использование многоуровневых форматов DP-16QAM, DP-32QAM и DP-64QAM способствует увеличению канальной скорости и спектральной эффективности передачи, что позволяет создать DWDM-систему связи с суммарной скоростью 20 Тбит/с в C -диапазоне. Однако такое решение обуславливает уменьшение дальности передачи информации без регенерации из-за увеличения чувствительности к шумам усиленного спонтанного излучения.

Технология пространственного мультиплексирования с использованием многосердцевидных и многомодовых волокон может оказаться перспективной в будущем, но для ее практической реализации необходимо будет преодолеть много технических проблем. Эту технологию целесообразно использовать в сочетании с транспондерами 100 Гбит/с DP-QPSK. Терабитные суперканалы обеспечивают повышение эффективности управления сетями связи со скоростью 20 Тбит/с.

Заключение

При реализации высокоскоростных систем целесообразно использовать суперканалы, обеспечивающие эффективное управление оптическими сетями. Для увеличения пропускной способности BC представляется перспективным использование DP-QPSK-модуляции, т.к. при этом значительно снижается влияние хроматической дисперсии и нелинейности оптоволокна (по сравнению с использованием сигнала с амплитудной манипуляцией). Кроме того, при когерентном детектировании, используемом при приеме DP-QPSK-сигнала, достигаются гораздо более высокая чувствительность и возможность эффективного подавления шумов от смежных несущих.

THE CONCEPT OF THERAPIC SUPERCANNALS IN DWDM SYSTEMS WITH LARGE CAPACITY

I.V. SINKEVICH

Abstract

The methods for increasing the capacity of the VSP are developed. The revealed tendencies and approaches to the solution of the task posed make it possible to consider the direction of development of high-speed optical systems using coherent detection and DP-QPSK modulation relevant.

Keywords: coherent format, superchannel, channel speed, transporters, spatial multiplexing.

Список литературы

1. *Наний О.Е., Трещиков В.Н. // Фотон-Экспресс. 2013. №106. С. 18–23.*

УДК 681.322

МОДЕЛЬ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОЦЕЛЕВЫМИ РАБОТАМИ

А.Н. ПОПОВ

ОАО «Научно-исследовательский институт электронных вычислительных машин»
М. Богдановича, 155, Минск, 220040, Беларусь

Поступила в редакцию 09 декабря 2017

Рассмотрена модель экспертной системы, предназначенной для планирования и управления параллельно выполняемыми работами, характеризующимися случайными моментами поступления заявок на выполнение и различными приоритетами. Выделено ядро системы, базирующееся на пакетах календарного планирования.

Ключевые слова: экспертная система, параллельные работы, приоритеты, планирование.

Введение

При проектировании и создании новой техники, а также во многих других видах деятельности возникает необходимость планировать и обеспечивать эффективное выполнение работ, которые характеризуются: различными приоритетами; параллельным выполнением; случайными моментами поступления заявок на выполнение различных работ.

Адекватной моделью такого комплекса задач служит многосетевая многоцелевая модель [1]. Поскольку заявки на выполнение работ поступают в случайные моменты времени и не могут быть предусмотрены заранее, такая модель является стохастической.

Описание модели экспертной системы

В качестве одного из возможных вариантов построения экспертной системы управления многоцелевыми работами предлагается следующая модель.

Состояние управляемой системы $S(T)$ представляется для дискретных моментов времени T следующими наборами:

$$S(T) = (\{W_0\}, \{W_E\}, \{R_F\}, \{R_E\}), \quad (1)$$

где W_0 – работа, ожидающая выполнения; W_E – работа, выполняемая в данный момент; R_F – свободные ресурсы; R_E – задействованные в данный момент ресурсы.

В свою очередь, каждая из переменных W_0 , W_E , R_F , R_E представляется совокупностью параметров, таких как приоритет работы, необходимые для ее выполнения ресурсы, параметры материальных и нематериальных ресурсов.

Совокупность параметров для работы W_{0i} , ожидающей выполнения, имеет вид:

$$W_{0i} = (P_{0i}, \{R_{0Mi}\}, \{R_{0Ii}\}), \quad (2)$$

где P_{0i} – приоритет i -ой работы; R_{0Mi} – необходимые материальные ресурсы; R_{0Ii} – необходимые информационные ресурсы.

Финансовые ресурсы, которые также являются неотъемлемой частью ресурсного обеспечения, относятся к материальным ресурсам R_M .

Для выполняемой работы W_{Ej} совокупность параметров определяется выражением:

$$W_{Ej} = (P_{Ej}, \{R_{1Mj}\}, \{R_{1Ij}\}, \{R_{2Mj}\}, \{R_{2Ij}\}), \quad (3)$$

где P_{Ej} – приоритет j -й выполняемой работы; R_{1Mj} – использованные для j -й работы материальные ресурсы; R_{1Ij} – использованные для j -й работы информационные ресурсы; R_{2Mj} – необходимые для завершения j -й работы материальные ресурсы; R_{2Ij} – необходимые для завершения j -й работы информационные ресурсы.

Алгоритм работы экспертной системы включает анализ приоритетов выполняемых и ожидающих выполнения работ, анализ обеспечения наиболее приоритетных работ необходимыми ресурсами, формирование плана, обеспечивающего выполнение работ [2].

Особенностью управления многоцелевыми работами является наличие конфликтов, обусловленных ограничениями на используемые ресурсы. При возникновении таких конфликтов пользователь должен, во-первых, прибегать к изменениям приоритетов, во-вторых, если варьирование приоритетов не дает желаемого результата, должен привлекать дополнительные ресурсы.

Ядром экспертной системы является блок «Планирование выполнения работ», функционирующий во взаимодействии с блоком «Назначение ресурсов для работ». Для реализации этого ядра целесообразно использовать известные пакеты календарного планирования MS Project, Time Line, Open Plan, Spider Project [3–5], обеспечивающие как решение задач планирования, так и ряд дополнительных функций:

- оптимизацию календарного плана по минимуму затрат или по минимуму критического пути;
- стоимостной анализ работ;
- моделирование расходов и доходов по работам;
- создание и ведение справочников по ресурсам;
- создание и ведение библиотек типовых фрагментов планов.

Заключение

Представленная модель экспертной системы управления многоцелевыми работами является достаточно универсальной как в отношении характера выполняемых работ, так и в отношении масштабов реализующей их организации. Это позволяет рекомендовать рассмотренную модель экспертной системы для создания автоматизированных систем управления организациями различных отраслей.

MODEL OF THE EXPERT SYSTEM FOR MANAGEMENT CONCURRENT TASKS

A.M. PAPOU

Abstract

The model of the expert system intended for planning and management of concurrent tasks, characterized by random moments of receipt of applications for fulfillment and various priorities is considered. The core of the system based on the software for scheduling is allocated.

Keywords: expert system, concurrent tasks, priorities, scheduling.

Список литературы

1. *Vernadat F.* Enterprise Modelling and Integration: Principles and Application. London, 1996.
2. *Джесон П.* Введение в экспертные системы. М., 2001.
3. *Полковникова Е.В., Полковников А.В.* Планирование и управление проектами с использованием Time Line. М., 1994.
4. *Куперштейн В.И.* Современные информационные технологии в делопроизводстве и управлении. СПб., 1999.
5. *Маклаков С.В.* ВРwin и ERwin, CASE – средства разработки информационных систем. М., 1999.

УДК 621.397.46

РЕАЛИЗАЦИЯ ДЕСЕРИЛАЙЗЕРА TMDS-СИГНАЛОВ ВСТРОЕННЫМИ СРЕДСТВАМИ ПЛИС ФИРМЫ XILINX SPARTAN-6

Д.В. ЧИСТОБАЕВ

ОАО «Конструкторское бюро «Дисплей»
П. Бровка, 13а, Витебск, 210605, Беларусь

Поступила в редакцию 11 декабря 2017

Проведен анализ десерилайзеров интерфейсов DVI и HDMI. Составлены рекомендации по применению десерилайзера на ПЛИС Xilinx Spartan-6.

Ключевые слова: проекционная система индикации, десерилайзер, TMDS, ПЛИС.

Введение

В настоящее время в видеотехнике остаются популярными видеointерфейсы DVI и HDMI, использующие дифференциальные линии TMDS. Такие видеointерфейсы также используются в околосглазных дисплеях и микропроекторах. Для преобразования интерфейсов DVI и HDMI в формат микродисплейных модулей и ЖК-матриц используются десерилайзеры. Десерилайзер может быть реализован в виде отдельного корпуса микросхемы, что часто используется в видеоконтроллерах. В ПЛИС семейства Spartan-6 имеются встроенные модули для работы с дифференциальными сигналами TMDS, что существенно упрощает проектирование видеоконтроллера микродисплейного модуля, снижает энергопотребление и габариты печатной платы. TMDS (Transition Minimized Differential Signaling) – дифференциальный сигнал с минимизированными переходами. Такой сигнал лежит в основе интерфейсов DVI – цифровой видеointерфейс и HDMI – мультимедийный интерфейс высокой четкости.

Решения для преобразования видеointерфейсов DVI и HDMI

При проектировании видеоконтроллеров дисплейных устройств возникает необходимость преобразовывать стандартные видеointерфейсы DVI и HDMI в специализированные интерфейсы микродисплейных модулей или ЖК-матриц. Эту функцию возможно реализовать с помощью специализированных микросхем серилайзеров и десерилайзеров [1, 2].

Примером микросхемы десерилайзера является TFP401 фирмы Texas Instruments. Эта микросхема позволяет декодировать изображение формата Full HD 1080p.

Основные технические характеристики TFP401:

- разрешение входного сигнала – 1920×1080 (60 Гц);
- пиксельная частота – 165 МГц;
- потребляемая мощность – 1,2 Вт.

Более компактным решением является микросхема ADV7610 фирмы Analog Devices. Структурная схема данной микросхемы приведена на рис. 1. Она реализована в CSP_BGA корпусе размером 6×6 мм.

Основные технические характеристики ADV7610:

- разрешение входного сигнала – 1920×1080 (60 Гц);
- пиксельная частота – 165 МГц;
- потребляемая мощность – 1 Вт.

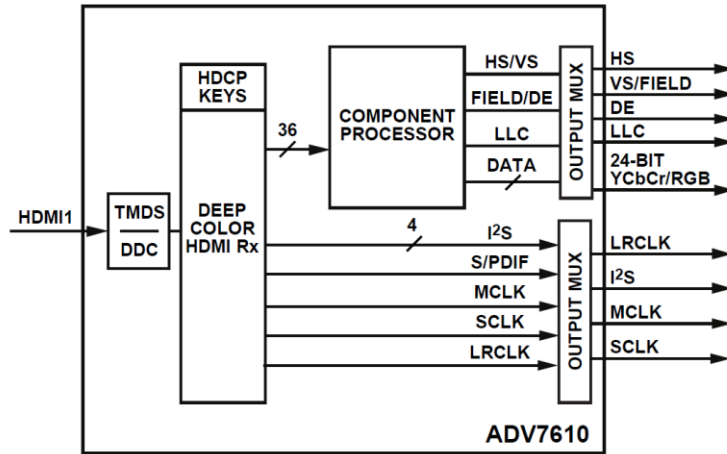


Рис. 1. Структурная схема ADV7610

Для микродисплейных модулей и ЖК-матриц с разрешением не более 1280×1024 (60 Гц) можно реализовать распаковку сигнала TMDS с помощью встроенных модулей ПЛИС Spartan-6 фирмы Xilinx [3].

Принцип конфигурации модулей для декодирования TMDS-сигналов представлен на рис. 2.

На схеме видно, что после преобразования получается декодированный видеосигнал RGB 24bit с синхронизирующими импульсами VSYNC, HSYNC, VDE. Далее его можно использовать для подключения большинства ЖК-матриц или для обработки и преобразования в интерфейс микродисплейного модуля или других устройств отображения в пользовательской программе ПЛИС. Встроенная программа ПЛИС позволяет более тонко настроить задержки синхроимпульсов, реализовать при необходимости запоминание строки кадра входного изображения, организовать шину управления подключенной ЖК-матрицы или микродисплейного модуля.

Недостатком данного решения является ограниченная частота входного сигнала, что не позволяет декодировать TMDS сигналы частотой более 1080 МГц. Преимуществами являются уменьшение энергопотребления, количества корпусов микросхем и массы видеоконтроллера, что является актуальным для окологлазных систем индикации.

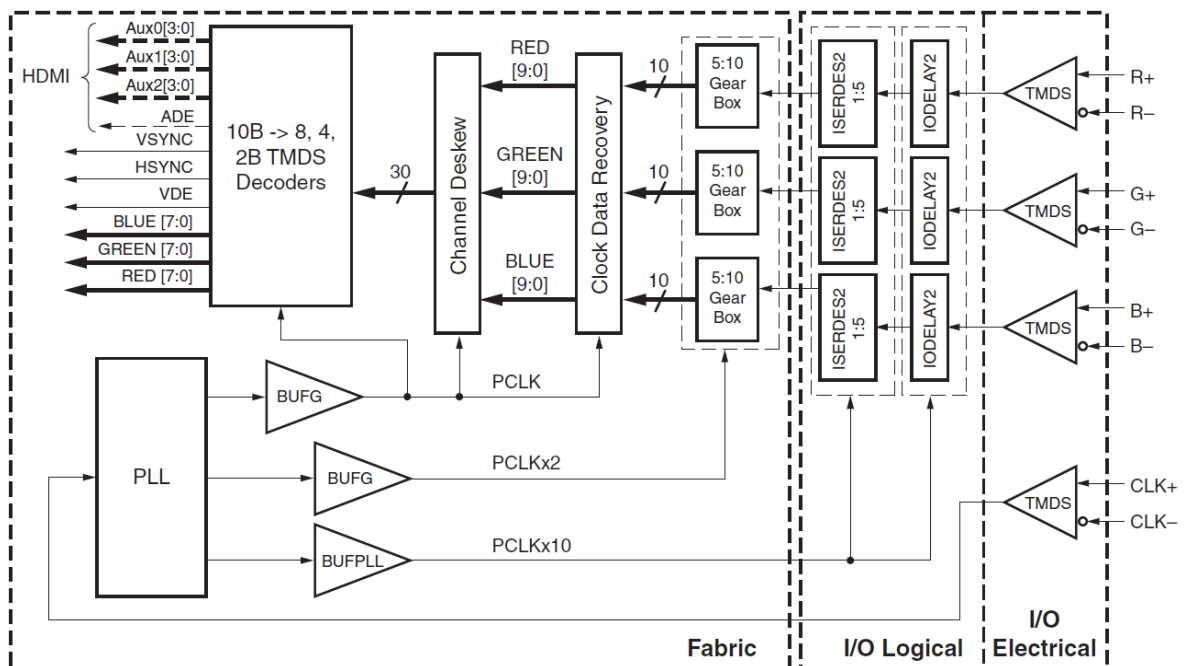


Рис. 2. Схема включения модулей ПЛИС Xilinx Spartan-6 для распаковки TMDS-сигналов

Заключение

В работе дан анализ решений для преобразований интерфейсов DVI и HDMI в специализированные интерфейсы микродисплейных модулей или ЖК-матриц. Наиболее дешевым решением является применение специализированных микросхем. При необходимости преобразования в нестандартные интерфейсы возможным решением может быть использование встроенных модулей ПЛИС Spartan-6, которое обеспечит работу интерфейса с разрешением не более 1280×1024 (60 Гц). Используя решение на ПЛИС, можно более гибко настроить выходной интерфейс уменьшить габариты печатной платы и массу устройства.

DESERIALIZATION OF TMDS SIGNALS USING EMBEDDED DEVICES IN FPGA XILINX SPARTAN-6

D.V. CHISTOBAEV

Abstract

The analysys of deserilizer of DVI and HDMI interfaces is conducted. Recommendations on the use of deserilizer on FPGA Xilinx Spartan-6 are given.

Keywords: projection display system, deserilizer, TMDS, FPGA.

Список литературы

1. *Supreetha Rao, Kiran Kumar V.G, Kanhu Charan Padhy* // VHDL Implementation of TMDS encoder for the transmission of video signals in serial communication [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ijarcet.org/wp-content/uploads/IJARCET-VOL-4-ISSUE-4-1576-1579.pdf>.
2. High-Definition Multimedia Interface Specification Version 1.3a. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fpga4fun.com/files/HDMISpecification13a.pdf>.
3. *Bob Feng* // XILINX, Implementing a TMDS Video Interface in the Spartan-6 FPGA. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.xilinx.com/support/documentation/application_notes/xapp495_S6TMDS_Video_Interface.pdf.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Аврамов Владислав Владимирович - магистрант кафедры электронных вычислительных средств БГУИР
2. Алисеенко Маргарита Александровна - магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
3. Аль Хашими Ясин Эхсан - магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
4. Аль-Рифаи Абдел Раззак - магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
5. Борискевич Илья Анатольевич - к.т.н., доцент кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
6. Бурш Юрий Сергеевич - магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
7. Волков Кирилл Аркадьевич - к.т.н., доцент кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
8. Волчѣк Владислав Сергеевич - аспирант кафедры микро- и нанoeлектроники БГУИР
9. Галкин Александр Ильич - студент кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
10. Герасимович Вадим Юрьевич - ассистент кафедры электронных вычислительных средств БГУИР
11. Горбуков Андрей Дмитриевич - студент кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
12. Дао Динь Ха - аспирант кафедры микро- и нанoeлектроники БГУИР
13. Джамаль Саад А. Омер - старший научный сотрудник Высшего института науки и техники, Ливия
14. Зайцев Алексей Сергеевич - магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
15. Зеленин Александр Сергеевич - старший преподаватель кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
16. Зябкин Дмитрий Михайлович - магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
17. Исакович Максим Дмитриевич - магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
18. Кирилюк Денис Игоревич - аспирант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
19. Ковалевский Алексей Сергеевич - магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
20. Конопелько Валерий Константинович - д.т.н., профессор кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
21. Королѣв Алексей Иванович - к.т.н., доцент кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
22. Коротченя Олеся Николаевна - магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
23. Котов Максим Николаевич - зам. начальника отдела НКУ «Космос» ОАО «Пеленг»
24. Кочеткова Анна Александровна - магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
25. Ловшенко Иван Юрьевич - ассистент кафедры микро- и нанoeлектроники БГУИР
26. Лукашевич Сергей Александрович - старший преподаватель кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

27. Макейчик Екатерина Геннадьевна - старший преподаватель кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
28. Наиф Моханад Нидал Наиф - магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
29. Настин Алексей Андреевич - магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
30. Никульшин Борис Викторович - к.т.н., проректор по учебной работе БГУИР
31. Новицкий Виталий Владимирович - аспирант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
32. Пархомик Сергей Юрьевич - магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
33. Подлужный Антон Игоревич - магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
34. Попов Александр Николаевич - к.т.н., начальник управления качества и стандартизации ОАО «НИИЭВМ»
35. Рабцевич Виолетта Викторовна - аспирант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
36. Саломатин Сергей Борисович - к.т.н., доцент кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
37. Селезнев Игорь Львович - к.т.н., доцент кафедры электронных вычислительных машин БГУИР
38. Семак Александр Дмитриевич - магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
39. Синкевич Игорь Васильевич - магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
40. Сиротко Иван Иванович - старший преподаватель кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
41. Сороговец Евгений Владимирович - студент кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
42. Сتمпицкий Виктор Романович - к.т.н., доцент кафедры микро- и нанoeлектроники БГУИР
43. Степанов Никита Владиславович - магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
44. Урядов Владимир Николаевич - к.т.н., доцент кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
45. Ханько Вероника Томашевна - аспирант кафедры микро- и нанoeлектроники БГУИР
46. Цветков Виктор Юрьевич - д.т.н., заведующий кафедрой инфокоммуникационных технологий БГУИР
47. Цихузэй Чжао - магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
48. Черниченко Антон Алексеевич - инженер-конструктор НКУ «Космос» ОАО «Пеленг»
49. Чистобаев Дмитрий Викторович - инженер-конструктор ОАО «КБ«Дисплей»
51. Шевчук Оксана Геннадьевна - ассистент кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
52. Щерба Дмитрий Сергеевич - магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР

